Förderprogramm des BMBF:
Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)

Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS)

Förderkennzeichen 0330701 C

Auftraggeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Aachen, Dezember 2008

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen

Fachhochschule Aachen, FB Architektur

Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg

Die vorliegende Studie setzt sich aus den folgenden Teilen zusammen:

Berichtsblatt (deutsch, englisch)

Kurze Darstellung zu Aufgabenstellung, Voraussetzungen, Planung und Ablauf, wissenschaftlicher und technischer Stand sowie Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Ergebnisse des Forschungsvorhabens

- Zusammenfassung Abschnitte A – D
- Abschnitt A: Datenbank
- Abschnitt B: Fallstudienanalyse
- Abschnitt C: Maßnahmen
- Abschnitt D: Meteorologie
- Ausgewertete Datenbanken und Online-Ressourcen sowie verwendete Literatur

Anlage Daten-DVD

Abschnitt E: Fallstudien und Untersuchungsschwerpunkte

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Publikation geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS), Abschnitt A: Datenbank, Abschnitt B: Fallstudienanalyse, Abschnitt C: Ziele, Maßnahmen und Methoden des kommunalen Risikomanagements, Abschnitt D: Radargestützte deutschlandweite Erfassung, Modellierung, Bewertung und Kurzfristvorhersage lokaler Extremniederschläge für urbane Gebiete, Abschnitt E: Fallstudien und Untersuchungsschwerpunkte	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Castro, Dietmar; Einfalt, Thomas; Frerichs, Stefan; Friedeheim, Klaus; Hatzfeld, Fritz; Kubik, Arthur; Mittelstädt, Robert; Müller, Meike; Seltmann, Joerg; Wagner, Andi	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2008 6. Veröffentlichungsdatum Publikation geplant 7. Form der Publikation - URBAS-Homepage ab 15.1.2009 - Fachzeitschrift; Publikation geplant
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) - Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Bachstraße 62 - 64, 52066 Aachen (Leitung) - Fachhochschule Aachen, FB Architektur, Prof. Castro, Bayernallee 9, 52066 Aachen - Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, 82383 Hohenpeißenberg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution P 935 10. Förderkennzeichen 0330701 C 11. Seitenzahl 1010
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 730 14. Tabellen 208 15. Abbildungen 484
16. Zusätzliche Angaben Mitarbeit der Deutschen Rückversicherung AG, Düsseldorf; Hansestadt Hamburg; Stadt Paderborn	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Auswahl: - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Workshop "Sicherung gegen Sturzfluten", Hannover, Mai 2008 - Wassertage Münster, Fachhochschule Münster, August 2008 - 11th International Conference on Urban Drainage ICUD, Edinburgh, August/September 2008	
18. Kurzfassung Mit dem Vorhaben URBAS wurden neue Erkenntnisse zum Risikomanagement von Sturzregen und Sturzfluten im besiedelten Raum gewonnen. URBAS liefert darüber hinaus neue Informationen zur regionalen Risikoverteilung und –ausprägung von Sturzregen in besiedelten Bereichen. Als konkrete Ergebnisse des Vorhabens liegt Folgendes vor: • Eine im Vorhaben entwickelte Datenbank mit über 400 erfassten Ereignissen mit Schadensfolgen in Deutschland der letzten ca. 20 Jahre ermöglicht einen fundierten Überblick über das Auftreten dieser Ereignisse und eine Schätzung der aufgetretenen Schäden. • Fallstudienberichte zu Sturzflutereignissen in 15 Kommunen in Deutschland. Auf der Grundlage der Bewertung von Siedlungsstrukturen, Topografie, meteorologischen Untersuchungen, Niederschlag-Abfluss-Analysen, Erfassung der aufgetretenen Schäden sowie Ex-Post-Analysen der praktizierten Reaktionsmuster wurden neue praxisnahe Erkenntnisse über Art, Ausprägung und Häufigkeit sowie Folgen von Sturzregen und Sturzfluten im besiedelten Raum erarbeitet. • Erarbeitung geeigneter und praktikabler Methoden der Gefahren- und Risikoanalyse für Sturzfluten in Kommunen und modellhafte Erarbeitung von Gefahren- und Risikokarten. • Sammlung und Bewertung von Maßnahmen zur Schadensminderung bei Sturzfluten (Warnung, Ereignisbewältigung, Vorsorge) in den Handlungsfeldern Wasserwirtschaft, Städtebau und Bauwesen, Katastrophenschutz • Weiterentwicklung des Unwetter-Warnsystems „KONRAD“ des Deutschen Wetterdienstes mit dem Ziel, u. a. insbesondere quasi stationäre konvektive Starkregenzellen besser zu erkennen, die häufiger Sturzfluten auslösen. • Die bundesweite Auswertung der Niederschlagsradarmessungen der letzten acht Jahre zeigt die Regionen in Deutschland, bei denen mit besonderer Starkregengefährdung zu rechnen ist. Als Nutzergruppen der Ergebnisse sind die potenziell betroffenen Kommunen, die Katastrophenschutzorganisationen, die mit Vorhersage und Warnung vor Extremereignissen befassten Institutionen und Wetterdienste, die mit Schadensregulierung befassten Versicherungen und Rückversicherungen sowie die betroffenen Bürger vorgesehen.	
19. Schlagwörter Sturzfluten, Sturzregen, Konvektion, Gewitter, Sturzflutereignisse, Fallstudien, Gefahren- und Risikoanalyse Sturzfluten, Gefahren- und Risikokarten, Ereignisbewältigung und Vorsorgemaßnahmen Sturzfluten,Vorhersage Starkregen und Sturzfluten	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN Publication planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title Prediction and Management of Flash Floods in Urban Areas in Germany (URBAS) Part A: Event Data Base Part B: Case Study Analysis Part C: Objectives, Methods and Measures of Urban Risk Management Part D: Radar Based Identification, Modelling, Evaluation and Prediction of Heavy Local Precipitation in Urban Areas Part E: Case Study reports	
4. author(s) (family name, first name(s)) Castro, Dietmar Einfalt, Thomas Frerichs, Stefan Friedeheim, Klaus Hatzfeld, Fritz Kubik, Arthur Mittelstädt, Robert Müller, Meike Seltmann, Joerg Wagner, Andi	5. end of project 31.12.2008 6. publication date Publication planned 7. form of publication - URBAS-Homepage since 15.1.2009 - Professional Journal
8. performing organization(s) (name, address) - Hydrotec Consulting Engineers, Bachstraße 62 - 64, 52066 Aachen (Germany) (Lead) - University of Applied Sciences Aachen, Department of Architecture, Bayernallee 9, 52066 Aachen (Germany) - German Weather Service (DWD), Albin-Schwaiger-Weg 10, D-82383 Hohenpeissenberg (Germany)	9. originator's report no. P 935 10. reference no. 0330701 C 11. no. of pages 1010
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 730 14. no. of tables 208 15. no. of figures 484
16. supplementary notes In cooperation with German Reinsurance AG, Düsseldorf, Hansestadt Hamburg, Town of Paderborn	
17. presented at (title, place, date) e.g. - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Workshop "Sicherung gegen Sturzfluten", Hannover, May 2008 - Wassertage Münster, University of Applied Sciences Münster, August 2008 - 11th International Conference on Urban Drainage ICUD, Edinburgh, August/September 2008	

18. abstract

Little is known about distribution, frequency and typical damage of flash floods in urban areas in Germany. There was poor knowledge about effective precautionary measures and disaster control. URBAS main objective is to increase the preparedness and the range of possible actions of urban and other actors (e.g. communities, public enterprises, emergency services, insurances, weather services) before, during and after rare small scale flash flood events. In addition URBAS presents new information about regions with higher probability of heavy precipitation and risk value in Germany.

URBAS provides the following results:

- A database with almost 400 flash flood and heavy rainfall events which caused damage in towns in Germany
- A detailed analysis of 15 case studies
- Methods of hazard and risk analysis in tows and design of hazard und risk maps
- Development of innovative and feasible actions and precautionary measures and recommendations for a preventive flood control of flash floods in urban areas
- Improving quality of heavy precipitation forecasts by upgraded KONRAD (Convection by radar) prediction tool of German Weather Service (DWD)
- An approach to a heavy precipitation hazard map for Germany based on statistical analyses of Radar data of eight years in Germany

19. keywords
flash floods, heavy precipitation, convection, thunderstorm, flash flood events, case studies, urban risk management flash floods, hazard and risk analyses, hazard and risk maps, heavy precipitation forecasts, precautionary measures, heavy precipitation hazard map

20. publisher	21. price

Förderprogramm des BMBF:
Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)

Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS)

Kurze Darstellung zu Aufgabenstellung, Voraussetzungen, Planung und Ablauf, wissenschaftlicher und technischer Stand sowie Zusammenarbeit mit anderen Stellen

im Auftrag des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Aachen, Dezember 2008

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Fachhochschule Aachen

Deutscher Wetterdienst

Inhaltsverzeichnis

I 1 Aufgabenstellung 1

I 2 Voraussetzungen 2

I 3 Planung und Ablauf 2

I 3.1 Teilaufgaben ... 2

I 3.2 Planung und Ablauf des Vorhabens ... 3

I 3.3 Projektpräsentation ... 5

I 3.4 Ergebnisse und Produkte ... 13

I 3.5 Berichte ... 14

I 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand 14

I 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 16

Teil I

I 1 Aufgabenstellung

Die Untersuchungsziele des Vorhabens sind im Antrag zum Vorhaben formuliert. Danach sollten neue Erkenntnisse zu Art, Ausprägung und Häufigkeit sowie über Schadensbilder und regionale Risikoverteilung und Vorhersage von Sturzregen in besiedelten Bereichen in Deutschland erarbeitet werden. Daraus abgeleitet sollten Empfehlungen zur Verminderung der Risiken und Schäden durch Überflutungen aus Sturzregen in urbanen Gebieten entwickelt werden.

Als Nutzergruppen der Ergebnisse sind die potenziell betroffenen Kommunen (Stadtplanung, Stadtentwässerung, Bauaufsicht), die Katastrophenschutzorganisationen, die mit Vorhersage und Warnung vor Extremereignissen befassten Institutionen und Wetterdienste, die mit Schadensregulierung befassten Versicherungen und Rückversicherungen sowie die betroffenen Bürger vorgesehen, die diese Ergebnisse des Vorhabens für Vorsorge- und Maßnahmenplanung zur Schadensminderung verwenden können.

In dem Vorhaben wurden die Untersuchungsschwerpunkte für einen bestimmten Ereignistyp (bzw. Schadenstyp), der bisher noch wenig untersucht wurde, formuliert. Nach der Richtlinie 2007/60/EG (Art. 4, Richtlinie 2007/60/EG, 2007) über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, die den Mitgliedsländern vorgibt, alle „signifikanten Hochwasserrisiken“ zu erfassen, zu bewerten und ggf. zu mindern, sind alle Arten von Hochwasser, u. a. auch Sturzfluten und Hochwasser in Städten einzubeziehen, sofern sie ein signifikantes Risiko darstellen.

Die wissenschaftlich-technischen Arbeitsziele lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Verbesserung der Kenntnisse über diesen Ereignistyp (Arten, Verlauf, Häufigkeit, maßgebliche Parameter)
- Verbesserung der Kenntnisse über die regionale Gefahren- und Risikoverteilung
- Verbesserung der Kenntnisse über Überflutungsbilder und -schäden in urbanen Räumen
- Entwicklung von Handlungsvorschlägen zu Risikoermittlung und -darstellung im kommunalen Raum, zu Vorhersage und Warnung, zu Vorsorgemaßnahmen in den verschiedenen administrativen Handlungsbereichen inklusive der Stadtplanung sowie zu Einsatz- und Schutzmaßnahmen im Ereignisfall und deren Operationalisierung für den kommunal-administrativen Bereich und zu der privaten Vorsorge von Haushalten und gewerblicher Wirtschaft.
- Verbesserung der Kenntnisse über Vorhersagemethoden und deren Zuverlässigkeit, Verbesserung der vorhandenen Verfahren der Vorhersage

Ziel ist, mit Blick auf die gesamte Ereigniskette von Wettervorhersage, Niederschlagsentstehung und -verlauf, Abfluss- und Überflutungsentstehung und -verlauf, Schadensarten und -umfang neue Erkenntnisse über Handlungsmöglichkeiten zu gewinnen, die

- innovativ und praktikabel sind,
- ein sinnvolles Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen und
- die Handlungsmöglichkeiten der kommunalen und privaten Akteure berücksichtigen.

I 2 Voraussetzungen

Der Förderantrag für das Vorhaben basiert auf der Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur BMBF-Förderaktivität „Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse“ vom 22. März 2004.

Der Förderantrag wurde im Mai 2004 eingereicht und am 13.04.2005 bewilligt.

Voraussetzung der erfolgreichen Bearbeitung des Vorhabens war, dass zu Vorhabensbeginn mindestens 15 Kommunen gefunden werden mussten, die zu einer aktiven Mitarbeit in dem Vorhaben bereit waren. Diese wichtige Voraussetzung konnte erfüllt werden, die Gewinnung weiterer Kommunen zur Mitarbeit wäre möglich gewesen.

I 3 Planung und Ablauf

I 3.1 Teilaufgaben

Das Vorhaben wurde von den Verbundpartnern

- Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Bachstraße 62 - 64, 52066 Aachen (im Folgenden: Hydrotec),
- der Fachhochschule Aachen, FB Architektur & Städtebau, Prof. Castro, Bayernallee 99, 52066 Aachen (im Folgenden: FH Aachen) sowie
- dem Deutschen Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, 82383 Hohenpeißenberg (im Folgenden: DWD), durchgeführt.

Die Projektleitung lag bei Dipl.-Ing. Hatzfeld, Hydrotec.

Kooperationspartner im Vorhaben sind:

- die Deutsche Rückversicherung AG, Hansaallee 177, 40549 Düsseldorf,
- die Stadt Paderborn, Stadtentwässerungsbetrieb (STEB), STEB 22 Planung, Pontanusstraße 55, 33102 Paderborn und
- die Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt; Amt für Bau und Betrieb; Abteilung Gewässer - B 52, Stadthausbrücke 8, 20355 Hamburg, die zwischen-

zeitlich in Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer, Geschäftsbereich Gewässer und Hochwasserschutz, Fachbereich Planung und Entwurf von Gewässern - G1-Sachsenkamp 1-3, 20097 Hamburg geändert wurde.

Die Bearbeitung des Vorhabens wurde in sieben Teilaufgaben untergliedert und bearbeitet:

Teilaufgabe	Beschreibung	Hauptbearbeitung durch
Teilaufgabe I	Fallstudien in 15 ausgewählten repräsentativen Kommunen	Hydrotec Fachhochschule Aachen
Teilaufgabe II	Meteorologische Untersuchungen, Gefahrenanalyse Niederschlag	DWD
Teilaufgabe III	Niederschlags-/Abflussanalysen, Gefahrenanalyse Abfluss	DWD Hydrotec
Teilaufgabe IV	Mikroskalige Bewertung potenzieller Schäden, Risikoanalyse	Hydrotec Deutsche Rück
Teilaufgabe V	Gefahren- und Risikoanalyse als kommunale bzw. regionale Aufgabe, Ex-Post-Analyse bisher praktizierter Reaktionsmuster der relevanten Akteure	Hydrotec Fachhochschule Aachen
Teilaufgabe VI	Empfehlungen zu Vorbeugemaßnahmen bei Extremniederschlagsereignissen, Bewertung nach Kosten-Nutzen-Verhältnis	Hydrotec Fachhochschule Aachen
Teilaufgabe VII	Erfahrungsaustausch, Veröffentlichung und Verbreitung der Ergebnisse	Hydrotec Fachhochschule Aachen DWD

Arbeitspakete werden jeweils von einem oder mehreren Projektbeteiligten bearbeitet. Teilaufgaben und / oder Arbeitspakete werden mit einem Meilenstein abgeschlossen, wenn dieses für den Projektablauf wichtige inhaltliche und zeitliche Voraussetzungen bedeutet.

I 3.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Bearbeitungsablauf des Vorhabens war im Antrag zum Vorhaben formuliert, in einem Projektablaufplan in MS-Projekt dargestellt und wurde in den Zwischenberichten präsentiert. Der Ablaufplan wurde entsprechend des Projektfortschritts aktualisiert.

Das Vorhaben wurde in enger Zusammenarbeit der Projektbeteiligten erarbeitet.

Es wurden 9 Projekttreffen unter Beteiligung aller Verbundpartner und aller Kooperationspartner durchgeführt.

Treffen	Termin	Veranstaltungsort
1. Partnertreffen	10.05.2005	Hydrotec in Aachen
2. Partnertreffen	26.07.2005	Hydrotec in Aachen
3. Partnertreffen	20.10.2005	BSU in Hamburg
4. Partnertreffen	21.03.2006	Hotel Rheingoldhof München-Neubiberg (Tag d. Hydrologie)
5. Partnertreffen	19.10.2006	STEB in Paderborn
6. Partnertreffen	13.03.2007	Potsdam (RIMAX-Statusseminar)
7. Partnertreffen	28.09.2007	DWD, Meteorologisches Observatorium, Hohenpeißenberg
8. Partnertreffen	22.02.2008	Deutsche Rück in Düsseldorf
9. Partnertreffen	24.07.2008	Hydrotec in Aachen

Bei den Projekttreffen wurden die Ergebnisse der in der Zwischenzeit erarbeiten Untersuchungspositionen vorgestellt und diskutiert. Weiterhin wurde jeweils anhand der Projektplanung ein Soll-Ist-Vergleich des Arbeitsfortschritts durchgeführt.

Zu allen Projekttreffen wurden Protokolle erstellt, die dort präsentierten Vorträge sind in der internen Projekthomepage dokumentiert.

Zu Beginn des Vorhabens wurde eine Projekthomepage (www.urbanesturzfluten.de) erstellt. Die Projekthomepage besteht aus einem öffentlichen und einem internen Teil.

Abbildung 1: Projekthomepage www.urbanesturzfluten.de

Der interne Teil wurde für die Projektkoordination, die gegenseitige Information, den Datenaustausch und die gemeinsame Berichtserstellung genutzt.

I 3.3 Projektpräsentation

Das Vorhaben wurde mithilfe zahlreicher verschiedener Medien einem breiten Publikum vorgestellt. Das Spektrum der Adressaten reicht hierbei von kleineren geschlossenen Kreisen (z. B. Vortrag vor dem Bauausschuss in Lohmar) über Tagungs- und Konferenzvorträge vor großem Fachpublikum bis hin zu öffentlichen Beiträgen. Neben Vorträgen, die z. T. schriftlich in Sammelbänden zu dem jeweiligen Konferenzen herausgegeben wurden, und Postern wurde das Vorhaben auch in Zeitschriftenartikeln, im Internet auf der Projekthomepage, im Rundfunk und Filmbeiträgen im Internet präsentiert. Der Schwerpunkt der Präsentationen lag in Deutschland, daneben wurde das Projekt aber auch in den deutschsprachigen Ländern Schweiz und Österreich vorgestellt. Englischsprachige Projektvorstellungen wurden für internationale Veranstaltungen in Frankreich, Großbritannien, Spanien, Costa Rica, Australien und im Oman erstellt.

Die nachfolgende Tabelle enthält die chronologische Zusammenstellung der Präsentationen.

In diesem Zusammenhang sei auch auf die Projekthomepage und die WEB-Broschüre (Band 1, Teil I, Abschnitt C) hingewiesen, die das Projekt URBAS ebenfalls präsentieren. In Kapitel 6 in Teil II befindet sich eine Auflistung der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen.

Veranstaltungstitel	**Termin**	**Ort**	**Vortragender bzw. Teilnehmer**	**Vortragstitel bzw. Art der sonstigen Teilnahme**	**Projektposter**	**Sonstige Präsentationsform**
RIMAX Kick-off Meeting	20.6.2005 - 21.6.2005	Potsdam	F. Hatzfeld	URBAS Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten	Vorstellung URBAS-Vorhaben	Vorhabensbeschreibung
RIMAX-Workshop "Erfassung von Hochwasserschäden"	1.12.2005 - 2.12.2005	Dresden	F. Hatzfeld	Diskussionsbeiträge	Vorstellung URBAS-Vorhaben	
1. Extremwetter Kongress	16.2.2006 - 17.2.2006	Hamburg	Dr. T. Einfalt	Diskussionsbeiträge		
Conferencia Internacional sobre la Predicción de Crecidas International Workshop on Flash Flood Forecasting	13.3.2006 - 17.3.2006	San José, Costa Rica	Prof. G. Meon	Past and present challenges in flash flood forecasting Präsentation einiger URBAS Folien		
Tag der Hydrologie	22.3.2006 - 23.3.2006	München	F. Hatzfeld T. Einfalt A. Kubik		Vorstellung URBAS-Vorhaben	Infostand
Messe Wasser Berlin	1.4.2006	Berlin	F. Hatzfeld		Vorstellung URBAS-Vorhaben	
European Geoscience Union EGU, General Assembly	2.4.2006 - 7.4.2006	Wien, Österreich	F. Hatzfeld, M. Müller, Dr. J. Seltmann	URBAS Prediction and management of flash floods in urban areas		Veröffentlichung als Konferenzbeitrag

Veranstaltungstitel	**Termin**	**Ort**	**Vortragender bzw. Teilnehmer**	**Vortragstitel bzw. Art der sonstigen Teilnahme**	**Projektposter**	**Sonstige Präsentationsform**
DWA-Veranstaltung „Niederschlag“	27.4.2006 - 28.4.2006	Magdeburg	Dr. T. Einfalt	URBAS_RADAR - Meteorologische Untersuchungen: Gefahrenanalyse Niederschlag	Vorstellung URBAS-Vorhaben	
Gastvorlesung im Projekt FLOODmaster der TU Dresden	15.5 2006	Dresden	Dr. T. Einfalt	Weather Data and Technologies		
Seminar der Kommunal- und Abwasserberatung NRW "Grundstücksentwässerung – Ein Problem des Abwasserbetriebs?"	13.6.2006	Düsseldorf	S. Frerichs	URBAS Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten	Vorstellung URBAS-Vorhaben	
International Workshop on Flash Floods in Urban Areas and Risk Management	4.9.2006 - 6.09.2006	Muscat, Oman	F. Hatzfeld	URBAS Prediction and management of flash floods in urban areas		Veröffentlichung als Konferenzbeitrag
Acqua Alta/ RIMAX-Seminar	13.9.2006 - 15.9.2006	Hamburg	F. Hatzfeld, A. Kubik, Dr. T. Einfalt	URBAS Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten	Vorstellung URBAS-Vorhaben	Messestand
4th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology ERAD	18.9.2006 - 22.9.2006	Barcelona, Spanien	Dr. Th. Einfalt A. Wagner Dr. J. Seltmann, P. Lang	URBAS Prediction and management of flash floods in urban areas URBAS_RADAR a statistical approach to radar climatology	1) URBAS-Radar - a Statistical approach to radar climatology 2) URBAS - An approach to flash flood statistic	Veröffentlichung als Konferenzbeiträge

Veranstaltungstitel	**Termin**	**Ort**	**Vortragender bzw. Teilnehmer**	**Vortragstitel bzw. Art der sonstigen Teilnahme**	**Projektposter**	**Sonstige Präsentationsform**
3. Fachtagung des Dresdner Kompetenz-zentrums Wasser	4.10.2006	Dresden	Dr. O. Buchholz	URBAS Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten		Veröffentlichung als Konferenzbeitrag (Kurzfassungstext)
DWD-Workshop	14.11.2006	Offenbach	F. Hatzfeld	URBAS Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten	Poster	
4. Hochwasserschutz-forum in der Metropol-region Rhein-Neckar	16.11.2006	Ludwigs-hafen	Dr. K. Friedeheim	URBAS Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten	Vorstellung URBAS-Vorhaben	Veröffentlichung als Konferenzbeitrag
7. Workshop on Pre-cipitation in Urban Ar-eas	7.12.2006 - 10.12.2006	St. Moritz, Schweiz	M. Jessen, Dr. T. Einfalt	A tentative to use rainfall statistics from rain-gauges for radar covered neighbouring areas		Veröffentlichung als Konferenzbeitrag
DWA-Expertengespräch: Gründung der DWA-Arbeitsgruppe RIMAX "Umsetzung von RIMAX-Ergebnissen in die Praxis"	07.12.2006	Hennef	F. Hatzfeld	URBAS Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten - Kurzvorstel-lung		
RIMAX-Statusseminar	14.3.2007 - 16.3.2007	Potsdam	F. Hatzfeld	URBAS Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten	Kanalüberstau bei Extremniederschlä-gen und Sturzfluten; Gefahrenkarten für Kommunen; Fallstu-die Meschede	Veröffentlichung als Konferenzbeitrag (Kurzfassung)

Veranstaltungstitel	**Termin**	**Ort**	**Vortragender bzw. Teilnehmer**	**Vortragstitel bzw. Art der sonstigen Teilnahme**	**Projektposter**	**Sonstige Präsentationsform**
Gastvorlesung im Projekt FLOODmaster der TU Dresden	7.5 2007	Dresden	Dr. T. Einfalt	Weather Data and Technologies		
URBAS-Workshop an der FH Aachen	8.5.2007	Aachen	F. Hatzfeld M. Lummer A. Kubik D. Ackermann S. Frerichs M. Müller K. Kubella T. Kesseler	Vorstellung F+E-Vorhaben URBAS, ca. 40 Teilnehmer Kanalnetzberechnungen / Abschätzung von Überflutungsgefahren Abschätzung der Überflutungsgefährdung mit SAGA-GIS Kommunale Gefahren- und Risikokarten für Sturzfluten Stadtplanerische Vorsorge vor Sturzflutrisiken Verbesserung der Vorsorge durch Bürgerinformation Starkregenereignisse aus rechtlicher Sicht Das Warnmanagement des DWD		Fragebogenaktion zur webbasierten Broschüre, Vorstellung MEDIS, Beiträge von URBAS (F. Hatzfeld, M. Müller, Dr. T. Einfalt)
DMG Kolloquium des Meteorologischen Instituts der Ludwig-Maximilians-Universität München:	17.6.2007 - 19.6.2007	München	A. Wagner	Vortrag: URBAS – Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten. Sowohl URBAS als auch das Teilprojekt URBAS_Radar wurde im Meteorologischen Kolloquium der Universität München innerhalb eines eingeladenen Vortrags vorgestellt (Beitrag DWD)		

Veranstaltungstitel	**Termin**	**Ort**	**Vortragender bzw. Teilnehmer**	**Vortragstitel bzw. Art der sonstigen Teilnahme**	**Projektposter**	**Sonstige Präsentationsform**
Novatech	25.6.2007 - 28.6.2007	Lyon, Frankreich	Dr. T. Einfalt, A. Wagner, Dr. J. Seltmann	URBAS Forecasting and management of flash floods in urban areas	URBAS Prediction and management of flash floods in urban areas	Vortrag im Veranstaltungssammelband, Beitrag im Internetfernsehen unter: http://www.canalc2.tv/video.asp?idvideo=6587 canal 2 tv
33rd Conference on Radar Meteorology	06.8.2007 - 10.08.2007	Cairns, Australien	A. Wagner, Dr. J. Seltmann	URBAS Prediction and management of flash floods in urban areas	Vorstellung URBAS-Vorhaben (engl.)	
International Conference on Earth System Modelling	27.8.2007 - 31.08.2007	Hamburg	Dr. T. Einfalt	A Methodology Using Radar to Detect Climate Change in Raingauge Station Statistics	Vorstellung URBAS-Vorhaben	Radiointerview NDR und DLF mit Dr. T. Einfalt
Meteorologentagung DACH	10.9.2007 - 14.9.2007	Hamburg	A. Wagner, Dr. J. Seltmann Dr. T. Einfalt, M. Jessen	URBAS_Radar – statistische Korrekturen und Auswertungen von Radardaten Die räumliche Verteilung von bemessungsrelevanten Starkregen über Lübeck	2 Poster in jeweils engl. und deutsch	Veröffentlichung als Konferenzbeitrag
BWK Veranstaltung zu Hochwasserrückhalt in Hamburg und Schleswig-Holstein	27.09.2007	Rendsburg	Dr. T. Einfalt, D. Ackermann	Nutzung von Radardaten für kleinräumige hydrologische Anwendungen		Veröffentlichung als Konferenzbeitrag (CD 2007 des BWK Nord)

Veranstaltungstitel	**Termin**	**Ort**	**Vortragender bzw. Teilnehmer**	**Vortragstitel bzw. Art der sonstigen Teilnahme**	**Projektposter**	**Sonstige Präsentationsform**
4. Fachtagung des Dresdner Kompetenz-zentrums Wasser zum Thema „Nieder-schlagsmessung und – vorhersage für die Hochwasserwarnung“ und Expertenwerkstatt	4.10.2007 - 5.10.2007	Dresden	Prof. Ch. Bern-hofer, J. Seegert, Dr. T. Einfalt	Ko-Organisation der Veranstaltung und Leitung der Expertenwerkstatt		Fazit im RIMAX-Newsletter2-08
Weather Radar and Hydrology	10.3.2008 - 14.3.2008	Grenoble, Frankreich	Dr. T. Einfalt	URBAS: Prediction and Management of Flash Floods in Urban Areas		Veröffentlichung als Konferenzbeitrag
Extremwetterkongress	27.3.2008	Hamburg	Dr. T. Einfalt	URBAS – Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten		
Tag der Hydrologie	27.3.2008	Hannover	Dr. T. Einfalt	URBAS – Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten	Vorstellung URBAS-Vorhaben	Veröffentlichung als Konferenzbeitrag (1 S. Abstract)
Akademie für Raum-forschung und Landes-planung ARL Work-shop "Sicherung gegen Sturzfluten"	22.5.2008	Hannover	Prof. D. Castro, S. Frerichs	Starkregen und Sturzfluten - Kommunale Hand-lungsmöglichkeiten zur Risikobewältigung		Vortragsdokumenta-tion auf der Home-page der Akademie
Gastvorlesung im Pro-jekt FLOODmaster der TU Dresden	5.5 2008	Dresden	Dr. T. Einfalt	Weather Data and Technologies		

Veranstaltungstitel	**Termin**	**Ort**	**Vortragender bzw. Teilnehmer**	**Vortragstitel bzw. Art der sonstigen Teilnahme**	**Projektposter**	**Sonstige Präsentationsform**
14th European Water, Wastewater and Solid Waste Symposium IFAT	6.5.2008	München	Dr. T. Einfalt	URBAS: Prediction and Management of Flash Floods in Urban Areas		
DWA-RIMAX-Praxistreffen	26.6.2008 - 27.6.2008	Potsdam	F. Hatzfeld	Moderationsunterstützung und Protokoll für die Arbeitsgruppe Hochwasservorhersage	Poster Ergebnisse und Produkte	
HochwasserKompe-tenzCentrum HKC-Arbeitsgruppe	10.7.2008	Köln	F. Hatzfeld	URBAS – Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten.		
Wassertage Münster	27.8.2008	Münster	F. Hatzfeld M. Müller	URBAS – Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten Schadenserhebung URBAS		Veröffentlichung als Konferenzbeitrag (Abstract)
11th International Con-ference on Urban Drai-nage ICUD	31.8.2008 - 5.9.2008	Edinburgh, GB	Dr. T. Einfalt, M. Jessen	Detecting Climate Change with the help of Rain-gauges and Radar		Veröffentlichung als Konferenzbeitrag
Bauausschuss Lohmar	2.9.2008	Lohmar	F. Hatzfeld	URBAS – Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten - Fallstudie Lohmar		
Rhein-Sieg-Kreis	5.11.2008	Siegburg	Dr. T. Einfalt	Klimawandel – wie können sich Kommunen auf Starkniederschläge vorbereiten?		

I 3.4 Ergebnisse und Produkte

Die Ergebnisse und Produkte sind in Teil I des Schlussberichts Abschnitte A bis D vorgestellt.

Als konkrete Ergebnisse des Vorhabens liegt Folgendes vor:

- Eine im Vorhaben entwickelte Datenbank mit über 400 erfassten Ereignissen mit Schadensfolgen in Deutschland der Jahre 1980 bis 2007 ermöglicht einen fundierten Überblick über das Auftreten dieser Ereignisse in Deutschland und eine Schätzung der aufgetretenen Schäden in Kommunen infolge dieser Sturzfluten.
- Fallstudienberichte mit den Ergebnissen der durchgeführten Analysen von Ereignissen in 15 Kommunen in Deutschland. Sie liefern auf der Grundlage der Bewertung von Siedlungsstrukturen und Topografie, von meteorologischen Untersuchungen, Niederschlags-Abfluss-Analysen, Erfassung der aufgetretenen Schäden sowie Ex-Post-Analysen bisher praktizierter Reaktionsmuster (Vorsorge, Ereignismanagement) neue praxisnahe Erkenntnisse über Art, Ausprägung und Häufigkeit und Folgen von Sturzregen und Sturzfluten im besiedelten Raum.
- Als weitere für die Praxis relevante Ergebnisse wurden neue Methoden der Vor-Ort-Schadenserhebung sowie geeignete und praktikable Methoden der Gefahren- und Risikoanalyse für Sturzfluten in Kommunen erarbeitet und dokumentiert.
- Neben einer modellhaften Erarbeitung von Gefahren- und Risikokarten für Kommunen wurde eine „Good-Practice“-Sammlung und Bewertung zu Maßnahmen zur Schadensminderung bei Sturzfluten (Warnung, Vorbeugung, Katastrophenschutz) erstellt.
- Ein weiterer Arbeitsbereich des Vorhabens war die Weiterentwicklung des Unwetter-Warnsystems „KONRAD“ des Deutschen Wetterdienstes mit dem Ziel, u. a. insbesondere quasi stationäre konvektive Starkregenzellen besser zu erkennen, die häufiger Sturzfluten auslösen.
- Die bundesweite Auswertung der Niederschlagsradarmessungen der letzten acht Jahre zeigt die Regionen in Deutschland, bei denen mit besonderer Starkregengefährdung zu rechnen ist. Die Ergebnisse dieser Auswertungen wurden mit vorhandenen extremwertstatistischen Untersuchungsergebnissen verglichen.

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden in zahlreichen Veröffentlichungen und Veranstaltungen vorgestellt. Der Schlussbericht liegt im Januar 2009 vor.

Diplomarbeiten

Im Rahmen von URBAS wurden Diplomarbeiten erstellt und Promotionen vorbereitet.

An der Universität Bonn wurde eine aus dem Vorhaben abgeleitete Diplomarbeit zum Thema „Vorbeugender Hochwasserschutz am Beispiel der Fallstudie Lohmar“ von M. Habel abgeschlossen. Die Ergebnisse liefern Erkenntnisse für die Bearbeitung der Fallstudie Lohmar.

Im Rahmen der Diplomarbeit „Entwicklung und Erprobung eines GIS-gestützten Starkregen-Abflussmodells zur Gefahrenanalyse von urbanen Sturzfluten“ von B. Tyrna wurden an der Universität Stuttgart für einige Fallstudien Entwürfe von Gefahrenkarten für Sturzfluten erstellt.

I 3.5 Berichte

Die Durchführung und der Stand des Vorhabens wurden jeweils nach Ablauf eines Kalenderhalbjahres in insgesamt 6 Zwischenberichten dokumentiert.

Zwischenbericht Nr.	Berichtszeitraum	Erstellungsdatum
1	01.05.2005 – 30.06.2005	August 2005
2	01.07.2005 – 31.12.2005	Januar 2006
3	01.01.2006 – 30.06.2006	Juli 2006
4	01.07.2006 – 31.12.2006	Februar 2007
5	01.01.2007 – 30.06.2007	August 2007
6	01.07.2007 – 31.12.2007	Februar 2008

Der Schlussbericht gliedert sich in 4 Teile:

- Teil I beschreibt die Aufgabenstellung für das Vorhaben und die Voraussetzungen sowie den Ablauf und den wissenschaftlichen Stand, an den mit diesem Vorhaben angeknüpft wurde.
- Teil II stellt u. a. die Ergebnisse, ihren Nutzen und die Verwertbarkeit detailliert dar. Hinzu kommt eine Beschreibung des Fortschrittes anderer Stellen auf dem Gebiet des Vorhabens.
- Teil III enthält den Erfolgskontrollbericht.
- Weiterhin wird dem Schlussbericht eine Kurzfassung (Berichtsblatt) beigelegt, die die wesentlichen fachlichen Inhalte des Schlussberichtes enthält.

I 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Bedeutung der Sturzflutereignisse bzw. der konvektiven Starkregen hat in der wissenschaftlichen Forschung im Bereich Meteorologie und Hydrologie, aber auch in der wasserwirtschaftlichen Praxis und Umwelt- und Wassergesetzgebung in den letzten Jahren im europäischen Raum zugenommen.

Mit der Erfassung, Analyse und Bewertung dieser Ereignisse sind eine Vielzahl von Forschern, Wetterdiensten, Versicherungen, Fachbüros und anderen privaten Institutionen befasst (vgl. Schlussbericht Abschnitt A). Vor allem im Zusammenhang mit der Untersuchung der Folgen der Klimaänderung ist das Thema Starkniederschläge in den Fokus gerückt, hier beschäftigen sich die Forschungsvorhaben zum einen mit einem Versuch, die grobskaligen Vorhersagen bzgl. Niederschlagsentwicklung der Klimaforschung auf kleinere Regionen zu übertragen und zu bewerten, zum anderen Anpassungsstrategien zu entwickeln, um auf die erwarteten Änderungen vorausschauend reagieren zu können.

Mehrere Forschergruppen im RIMAX-Kontext haben Forschungsvorhaben zum Thema Erfassung und Vorhersage von Starkregenereignissen durchgeführt. Der Stand dieser Aktivitäten ist im Berichtsteil Abschnitt D dokumentiert. Beim RIMAX-Workshop „Hochwasservorhersage“ (27. Juni 2008) wurde deutlich, dass die Kombination der gemessenen Nieder-

schlagsdaten der Bodenmessstationen mit Radardaten die Erfassung der aktuellen Niederschläge verbessert, die Ergebnisse aber sind insbesondere in kleinen Einzugsgebieten noch nicht befriedigend. Niederschlagsvorhersagen weisen nach wie vor große Bandbreiten (bezüglich Menge, zeitlich-räumlicher Zuordnung) auf, die u. a. zu der Anwendung bzw. Entwicklung von Ensembletechniken geführt haben.

Bezüglich der Niederschlag-Abfluss-Berechnungen sind in den letzten Jahren zunehmend Ansätze entwickelt worden oder in der Entwicklung, bei denen leistungsfähige Geografische Informationssysteme (GIS) mit hydrologischen und hydraulischen Berechnungsalgorithmen koppelt werden. Damit werden die bisher fast ausschließlich verwendeten Bausteine „hydrologische Modelle“ zur Abflussberechnung, „hydraulische Modelle“ zu Wasserspiegellagenberechnung bzw. zur Kanalnetzberechnung und „Geografische Informationssysteme“ zur Überflutungsflächenbestimmung mit GIS gestützten Systemen ergänzt. Die Ansätze hierzu werden im Bericht Abschnitt C vorgestellt. Unterstützt werden diese Ansätze durch eine immer bessere digitale Datenbasis der erforderlichen Eingangsdaten, beispielweise DGM. Parallel zu den Forschungsvorhaben der Hydrologie der Landsysteme werden und wurden auch die stadthydrologischen und -hydraulischen Systeme weiterentwickelt. Die Weiterentwicklung der Kanalnetzmodelle, die darauf abzielen, beispielsweise die Interaktion von Kanalnetz mit dem Oberflächenabfluss auf der Straße (bei Überstau) besser abzubilden, die Vorgänge an den Einleitungsstellen der Kanalisation in die Gewässer (beispielsweise Rückstau) genauer zu erfassen und die Beeinflussung des Kanalnetzes durch das Grundwasser zu beschreiben, war u.a. auch Thema von RIMAX-Vorhaben, wird aber auch von den kommerziellen Anbietern dieser Programme kontinuierlich betrieben (vgl. Schlussbericht Abschnitt C).

Auch im Bereich der Schadenserfassung und Bewertung der Schäden haben sowohl im RIMAX-Kontext als auch bei den technisch-wissenschaftlichen Vereinen in Deutschland weitere Forschungsvorhaben und Untersuchungen stattgefunden. Die Europäische Gesetzgebung (Richtlinie 2007 /60/EG (Art.4, Richtlinie 2007/60/EG, 2007) über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken) hat zwar für die Risikoerfassung und –darstellung der Hochwasserrisiken ein vergleichsweise einfaches Verfahren der Schadenserfassung und -bewertung vorgeschlagen, gleichwohl werden diese Vorgaben zu einer weiteren Belebung dieses Forschungsthemas beitragen, weil die Kosten-Nutzen-Bewertung bei den Hochwasserschutzmaßnahmen auch weiterhin relevant sein wird.

Eine Vielzahl von Forschungsvorhaben und öffentlichen und privaten Institutionen beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung der Bausteine des Hochwasserrisikomanagements, die im Wesentlichen aus „Risiko ermitteln, bewerten und darstellen“, der „Katastrophenabwehr und -bewältigung“ und den Möglichkeiten der „Risikovorsorge“ bestehen. Für den Bereich der Flussüberschwemmungen ist eine Konsolidierung der eingesetzten Instrumentarien und eine Angleichung der Methoden und Darstellungen, zum Beispiel bei den Hochwassergefahrenkarten, in Deutschland zu erkennen. Die neue Europäische Gesetzgebung (s.o.) wird hier vermutlich zu einer weiteren Vereinheitlichung führen.

Die Methodenentwicklung zur Risikoermittlung an Universitäten und privaten forschungsnahen Institutionen beschäftigt sich hauptsächlich mit einer Effektivierung der eingesetzten Instrumente (zunehmende Digitalisierung der Daten, Automatisierung der Kalibrierung von Modellen), einer weiteren Detaillierung der Berechnungen (beispielsweise von eindimensionalen zu zweidimensionalen Berechnungen bei der Hydraulik, Einbindung verfeinerter Niederschlagsmodelle, Berücksichtigung kleiner dezentraler Systeme wie Versickerungsanlagen und natürliche Retentionsräume in die Modellierung) und einer weiteren Integration der unter-

schiedlichen Bereiche (Kopplung der Stadthydrologie mit Landhydrologie, Kopplung von Mengen- und Gewässergütebetrachtung).

Bei den Maßnahmen ist einerseits eine stärkere Kooperation des Katastrophenschutzes und der für Vorsorgemaßnahmen zuständigen öffentlichen (wasserwirtschaftlichen) Einrichtungen zu erkennen, zum anderen eine verstärkte Verlagerung der Zuständigkeiten für Vorsorge von den Wasserbehörden auf die Kommunen und die Bürger selbst. Im Bereich der Maßnahmen selbst konzentrieren sich viele Forschungsvorhaben auf die Themen „Vorhersage und Warnung“ (s.o.) und „Information“.

Bezüglich der Maßnahmenkonzeption und der Kenntnis der Wirksamkeit dieser Maßnahmen aus den Handlungsfeldern Flächenvorsorge, Natürlicher Wasserrückhalt, Technischer Hochwasserschutz, Bauvorsorge, Risikovorsorge durch Versicherung, Informationsvorsorge (Vorhersage und Warnung), Verhaltensvorsorge (Aufklärung) und Vorbereitungen zur Abwehr von Hochwassergefahren sind mit Ausnahme der Vorhersage und Warnung und der Verhaltensvorsorge u. E. kaum noch offene methodische Fragen; das erforderliche Instrumentarium ist im Bereich der Flussüberschwemmungen weitgehend entwickelt.

In den letzten Jahren sind eine Vielzahl von DIN Normen und Richtlinien oder Veröffentlichungen der wasserwirtschaftlichen Fachverbände herausgegeben worden, in denen spezielle Aspekte des Risikomanagements beispielsweise an Infrastruktureinrichtungen behandelt werden (DIN Normen zur Grundstücks- und Stadtentwässerung, Schutz von Kläranlagen und Wasserwerken). In einzelnen Bereichen wird an Optimierungen gearbeitet und geforscht (Verbesserung der Bauverfahren von Deichen, neue Systeme für dezentralen Hochwasserschutz, Einsatz neuer Medien für Warnung, etc.), ebenfalls Themen, die im RIMAX-Kontext bearbeitet wurden. Der Stand der Forschung und Technik hierzu wird, soweit es mit dem Thema Sturzflut in Zusammenhang steht, im Schlussbericht Abschnitt C behandelt.

I 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Auf der Kick-Off Veranstaltung in Potsdam wurde für einige Vorhaben eine Zusammenarbeit vereinbart. Generell wurden die RIMAX Veranstaltungen zum Informationsaustausch und zu gegenseitigen Anregungen genutzt.

Wichtige Erfahrungen, die auch für URBAS relevant waren (bspw. Erkenntnisse zu Sturzfluten), lieferte das Projekt **FLOODmaster** unter der Leitung von Prof. Bernhofer von der TU Dresden. In diesem Projekt werden ebenfalls kleinräumige Extremniederschläge untersucht. Dort wird jedoch ein anderes Instrumentarium zur Vorhersage dieser Ereignisse auf Eignung und Anwendbarkeit hin untersucht. Im gegenseitigen Austausch wurde festgestellt, dass seitens FLOODmaster großes Interesse an der URBAS-Ereignisdatenbank und den praxisnahen Produkten, die aus dem URBAS-Projekt hervorgehen, besteht.

Eine engere Kooperation entstand zwischen dem RIMAX-Projekt **MEDIS** und URBAS. Auf dem Seminar fand ein reger Austausch der Vertreter beider Projekte statt; Ergebnis ist u.a. ein gemeinsamer Entwurf einer webbasierten Hochwasserbroschüre. Diese webbasierte Broschüre zur Bürgerinformation über Hochwasservorsorge ist in Zusammenarbeit mit der Vernetzungsplattform Naturkatastrophen NaDiNe entstanden. Das Angebot richtet sich an Kommunen, die ihre Bürgerinnen und Bürger über die Möglichkeiten und Potenziale privater Hoch-

wasservorsorge aufklären möchten. Sie sollen darin unterstützt werden, qualifiziert und kostengünstig Informationsmaterial zu erstellen. Die Kommunen können die so entstandene Broschüre oder einzelne Merkblätter ausdrucken, um sie zu verteilen oder auf ihrer Homepage veröffentlichen. Im Oktober 2008 ging das Angebot der webbasierten Broschüre zur Hochwasservorsorge in die Testphase.
(http://nadine.helmholtzeos.de/Vorsorgebroschuere.html)

Ein Vertreter der Firma Hydrotec traf in Grenoble am 29.6.2007 den Verantwortlichen für das **OHM-CV** (Observatoire Hydro-Meteorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais, http://www.lthe.hmg.inpg.fr/OHM-CV/index.php) in Frankreich. Dieses Observatorium untersucht Sturzflutereignisse im Mittelmeerraum (z. B. die Sturzflut im Gard-Gebiet, die 2002 mehr als 600 mm Niederschlag in 48 Stunden erbrachte). Es wurden einige Arbeitsunterlagen ausgetauscht und ein weiterer, unregelmäßiger Kontakt vereinbart.

Kontaktaufnahme / Abklärung mögliche Zusammenarbeit mit der Kommunal- und Abwasserberatung NRW GmbH Mai / Juni 2006

Kontaktaufnahme / Abklärung mögliche Zusammenarbeit mit der Akademie für Raumforschung und Landesplanung ARL Mai 2008

Mitarbeit bei der DWA-Arbeitsgruppe RIMAX "Umsetzung von RIMAX-Ergebnissen in die Praxis" (seit 12 / 2006)

Mitarbeit bei der Arbeitsgruppe Risikomanagement des HochwasserKompetenzCentrum HKC- Köln. (seit 6 /2008) zum Thema Sturzfluten

Förderprogramm des BMBF:
Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)

Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS)

Zusammenfassung (Abschnitte A bis D)

im Auftrag des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Aachen, Dezember 2008

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Fachhochschule Aachen

Deutscher Wetterdienst

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Abschnitt A: Ereignisdatenbank 2

3 Abschnitt B: Fallstudienanalyse (Synopse der Fallstudienberichte) 3

4 Abschnitt C: Ziele, Maßnahmen und Methoden des kommunalen Risikomanagements 6

5 Abschnitt D: Meteorologie - Radargestützte deutschlandweite Erfassung, Bewertung und Kurzfristvorhersage lokaler Extremniederschläge für urbane Gebiete 10

1 Einleitung

Im Jahr 2007 wurde mehr als 40-mal über erhebliche Überflutungsschäden in Kommunen in Deutschland berichtet, die von lokalen sommerlichen Sturzregen ausgelöst wurden. Ein aktuelles Beispiel ist das Unwetter in **Dortmund** am 26.07.2008 mit geschätzten Schäden in zweistelliger Millionenhöhe. Über diese „Sturzfluten“ im urbanen Raum lagen bislang nur wenige fundierte Untersuchungen vor. Es besteht Bedarf an geeigneten Methoden der Gefahren- und Risikoanalyse und -darstellung, an einsetzbaren Vorhersage- und Warnsystemen sowie an umsetzbaren Konzepten für vorsorgende Schutzmaßnahmen und Handlungsanweisungen für den Einsatz der Hilfskräfte im Ereignisfall.

Die Beteiligten

Von Mai 2005 bis Dezember 2008 wurden in dem Vorhaben URBAS "Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten" unter der Leitung von Hydrotec, Aachen, diese Ereignisse deutschlandweit untersucht. Vom Bundesministerium für Forschung (BMBF) wurden dazu Mittel aus dem Förderprogramm "Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)" bewilligt. Projektpartner sind der Fachbereich Architektur, Prof. Castro, der Fachhochschule Aachen und der Deutsche Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, in Kooperation mit der Deutschen Rückversicherung AG, Düsseldorf, und den Städten Paderborn (Stadtentwässerungsbetriebe STEB) und Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG).

Untersuchungsziele

In dem Vorhaben sollten neue Erkenntnisse zu Art, Ausprägung und Häufigkeit sowie über Schadensbilder und regionale Risikoverteilung und Vorhersage von Sturzregen in besiedelten Bereichen in Deutschland erarbeitet werden. Daraus abgeleitet sollten Empfehlungen zur Verminderung der Risiken durch Überflutungen aus Sturzregen in urbanen Gebieten entwickelt werden.

Als Nutzergruppen der Ergebnisse sind die potenziell betroffenen Kommunen (Stadtplanung, Stadtentwässerung, Bauaufsicht), die Katastrophenschutzorganisationen, die mit Vorhersage und Warnung vor Extremereignissen befassten Institutionen und Wetterdienste, die mit der Schadensregulierung befassten Versicherungen und Rückversicherungen sowie die betroffenen Bürger vorgesehen, die die Ergebnisse des Vorhabens für die Vorsorge- und Maßnahmenplanung zur Schadensminderung verwenden können.

In dem Vorhaben wurden die Untersuchungsschwerpunkte für einen bestimmten Ereignistyp (bzw. Schadenstyp), der bisher noch wenig untersucht wurde, formuliert. Nach der Richtlinie 2007/60/EG (Art. 4) über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, die den Mitgliedsländern vorgibt, alle „signifikanten Hochwasserrisiken“ zu erfassen, zu bewerten und ggf. zu mindern, sind alle Arten von Hochwasser, u. a. auch Sturzfluten und Hochwasser in Städten einzubeziehen, sofern sie ein signifikantes Risiko darstellen.

Berichte

Die Untersuchungsergebnisse sind in fünf Berichtsteilen zusammengefasst:

- Ereignisdatenbank
- Fallstudienanalyse (Synopse der Fallstudienberichte)
- Ziele, Maßnahmen und Methoden des kommunalen Risikomanagements
- Meteorologie: Radargestützte deutschlandweite Erfassung, Bewertung und Kurzfristvorhersage lokaler Extremniederschläge für urbane Gebiete
- Fallstudienberichte und Untersuchungsschwerpunkte von 15 Kommunen

2 Abschnitt A: Ereignisdatenbank

Zunächst wurde eine Definition des Untersuchungsgegenstands Sturzflut und Sturzflutereignis vorgenommen. In URBAS wurde eine problemorientierte Definition des Sturzflutbegriffs festgelegt. Erfasst wurden (konvektive) Niederschlagsereignisse und daraus entstandene Abflüsse, die zu Schäden in bebauten Gebieten geführt haben. Ziel war, in URBAS die Ereignisse zu untersuchen, für die es bis heute in Deutschland keine oder nur wenig entwickelte Risikomanagementansätze gibt und für die es voraussichtlich in absehbarer Zeit (noch) keine Hochwasserrisikomanagementpläne geben wird.

Der maßgebliche Zeitraum für das Auftreten der untersuchten Ereignisse reicht von Mai bis September. Per Definition wurden in dieser Untersuchung die Ereignisse, die außerhalb dieses Zeitraums liegen, nicht als Sturzflutereignisse gekennzeichnet.

Die in die Datenbank aufgenommenen Ereignisse reichen bis in die späten 1970er Jahre zurück, der Schwerpunkt der Erfassung liegt in dem Zeitraum nach der Jahrtausendwende. Für die Datenerfassung wurden alle bereits vorhandenen und zugänglichen Datensammlungen u. a. der Projektpartner (DWD, Deutsche Rückversicherung) ausgewertet. Die Datenbank wurde so aufgebaut, dass auch begleitende Wettererscheinungen (Sturm, Hagel, Gewitter) einheitlich zugeordnet werden können.

Der aktuelle Stand der Ereignisdatenbank umfasst 422 Ereignisse, die einen Zeitraum von fast 30 Jahren (ohne Anspruch auf Vollständigkeit in den weiter zurückliegenden Jahren) abdecken. Davon werden 298 Ereignisse oder ca. 71 % aller Ereignisse als Sturzflutereignisse gekennzeichnet.

Bezüglich der räumlichen Verteilung in Deutschland sind Schwerpunkte mit häufigen Ereignissen zu erkennen. Dieses sind die Ballungsräume in Nordrhein-Westfalen, die Orte entlang der Rheinschiene, die Mittelgebirge und der Alpenvorraum sowie die Großstädte Hamburg, Berlin, München, Frankfurt, Stuttgart und Hannover.

Die Untersuchung der räumlichen Verteilung der Ereignisse in Deutschland ergibt keine etwa gleichmäßige Verteilung der Auftretenshäufigkeit von Schadensereignissen, sondern es sind signifikante Unterschiede zu erkennen. Diese Unterschiede sind auch feststellbar, wenn die Flächengröße der Bundesländer berücksichtigt wird und, wenn auch nicht in einem so starken Maß, wenn die Anzahl der Ereignisse auf die Siedlungs- und Verkehrsfläche der Länder bezogen wird. Bei einem Ereignis werden im Durchschnitt von sechs Orten Schäden gemeldet.

Sofern zu den Ereignissen Niederschlagsangaben vorlagen oder beschafft werden konnten, wurden sie in die Datenbank aufgenommen. Die räumlich-zeitliche Zuordnung und die Definition „Ereignis“ stellt ein Problem dar, da die jeweils unterschiedliche Genese der Niederschlagsentstehung nicht im Detail erfasst werden konnte. Eine Rekonstruktion der Wetter- und Niederschlagsverhältnisse für alle erfassten Ereignisse war im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht möglich, dieses wurde jedoch für die Fallstudien durchgeführt.

Die in der Datenbank erfassten Niederschläge wurden mit den in Deutschland häufig verwendeten Bemessungsniederschlägen des KOSTRA-Atlasses (DWD, 2005) und des Maximierten Gebietsniederschlags (DWD, 1997) verglichen.

Die Auswertungen machen deutlich, dass viele der erfassten Ereignisse – soweit Niederschlagsangaben vorliegen - die KOSTRA-Werte für seltene Wiederkehrzeiten, auch für 100-jährlich, überschreiten.

Für die in der URBAS-Ereignisdatenbank erfassten Starkregenereignisse und Sturzfluten wurden Schadensschätzungen auf der Grundlage der erfassten Angaben zu den Schäden erstellt. Sowohl bei der Abschätzung der Schadensarten (Überflutung, Hagel etc.), den Eingangsdaten zu den Einheitswerten der Schäden an den Objekten, bei der Mengenabschätzung der betroffenen Objekte und der Stichprobenauswahl der Ereignisse mit ausreichend belastbaren Informationen sind große Unsicherheiten

vorhanden, die durch unterschiedliche Berechnungsansätze berücksichtigt wurden, aber nicht gänzlich aufgehoben werden können.

Besonders schadensreiche Jahre waren 1994, 2001 und 2002, mit Abstand gefolgt von 2007. Es ergibt sich ein Mittelwert von ca. 160 Mio. € Schaden pro Jahr. Dabei überschreiten die Schadenssummen in nur fünf von 18 Jahren eine Größenordnung von 200 Mio. € pro Jahr. Es ist offensichtlich, dass durch wenige große Ereignisse, wenn sie in die Berechnung von Mittelwerten einbezogen werden, die Höhe des Schadens für ein häufig vorkommendes, „typisches“ Ereignis überschätzt wird.

Die Auswertung zur Anzahl der Ereignisse pro Jahr lässt einen zunehmenden Trend bei der Anzahl erfasster Ereignisse erkennen. Dies ist im Wesentlichen dadurch bedingt, das die Erfassungsquote abnimmt, je länger die Ereignisse zurückliegen. Die Aufschlüsselung zeigt, dass dies besonders die kleineren Ereignisse unter 1 Mio. € bzw. unter 100.000 € Schaden betrifft. Betrachtet man die Schadenssummen pro Jahr, zeigt sich, dass sich diese hauptsächlich aus Ereignissen > 1 Mio. € Schaden zusammensetzen.

Wenn die großen Schadensereignisse nicht berücksichtigt werden, ergibt sich, dass die Einzelereignisse an einem Tag am häufigsten Schäden in einer Größenordnung zwischen einer und zwei Mio. € verursachen.

3 Abschnitt B: Fallstudienanalyse (Synopse der Fallstudienberichte)

Anhand von Fallstudien in 15 repräsentativen Kommunen in der Bundesrepublik wurden meteorologische Untersuchungen, Abflussanalysen, eine Bewertung potenzieller Schäden, Ex-Post-Analysen der praktizierten Reaktionsmuster der relevanten Akteure während der untersuchten 23 Ereignisse sowie die Erhebung der im Anschluss getroffenen Maßnahmen nach einem einheitlichen Vorgehen durchgeführt. Die untersuchten Ereignisse haben überwiegend in und nach 2002 stattgefunden.

Für die Mitarbeit bei den Fallstudien konnten Kommunen aus 10 Bundesländern gewonnen werden. Die Fallstudien umfassen Großstädte wie Berlin und Hamburg, aber auch kleine Gemeinden mit etwas über 1000 Einwohnern. Es sind verschiedene deutsche Großlandschaften und zugehörige Naturräume vertreten. In einigen Kommunen wurden darüber hinaus Untersuchungsschwerpunkte festgelegt, bei denen spezifische Untersuchungsmethoden getestet oder Lösungsansätze entwickelt wurden.

Die Beschreibung der baulichen Struktur der Untersuchungsbereiche (d. h. der betroffenen Stadtbezirke) erfolgte anhand städtebaulich abgeleiteter Klassen, die unter Einbeziehung der Entstehungszeiten zu drei Strukturtypen zusammengefasst wurden. Bei etwa 50 % der Kommunen liegen die tiefsten Bereiche der Siedlungsflächen unter 100 mNN, bei den übrigen in verschiedenen Höhenklassen bis 600 m. Der Höhenunterschied zwischen tiefsten und höchstgelegenen Gemeindeflächen beträgt im Mittel ca. 250 m.

Sechs Kommunen sind der atlantisch beeinflussten, neun der kontinentalen Klimaregion zuzuordnen. In allen Kommunen waren nach der Ersterhebung (für die Datenbank) mehrere Ereignisse mit Schäden aufgetreten. Diese Ereignisliste wurde mit den kommunalen Kontaktpartnern bewertet und die wichtigsten 23 Ereignisse ausgewählt.

Die Auswertung der Fallstudien zeigt, dass es in mehr als der Hälfte der untersuchten Ereignisse eine offizielle Warnung des DWD vor Starkregen, teilweise auch vor Gewitter, Hagel oder Böen gab. Die Kurzfristvorhersagen mit KONRAD haben eine noch höhere Vorhersagetrefferquote, wobei die Einschränkung besteht, dass stationäre Zellen, von denen eine besondere Starkregengefährdung ausgeht, häufiger nicht erkannt werden.

Viele Ereignisse werden von den vorhandenen Bodenmessstationen des Niederschlags zumindest in der Tagessumme relativ gut erfasst. Die Erfassung mit Radar hat eine etwas bessere Quote, nach An-

eichung werden auch die Niederschlagshöhen gut abgebildet. 8 der 16 Ereignisse, die bewertet werden konnten, haben Niederschlagssummen als Tageswerte, die im Vergleich zu KOSTRA mindestens 100-jährlich, oft noch seltener sind. Für die Stundensummen trifft dieses Verhältnis ebenfalls zu. Hier sind 10 Ereignisse mindestens 100-jährlich.

Die Mehrzahl der untersuchten Kommunen liegt an großen oder mittleren Gewässern, die mit Ausnahme von Braunschweig und Zwickau nicht an den Überflutungen beteiligt waren, meistens nicht einmal außergewöhnliche Abflussanstiege verzeichnet haben. Bei fast allen untersuchten Ereignissen hat Hangabfluss und eine Ausuferung der kleinen Gewässer und Gräben stattgefunden. In den meisten der untersuchten Fälle hat auch eine Überlastung der Kanalisation bzw. der Straßeneinläufe stattgefunden, wobei häufig der Zufluss von außen liegenden nicht kanalisierten Bereichen oder auch der Rückstau aus den Gewässern zu einem Versagen der Kanalisation geführt hat. In Aachen und Berlin kam es ausschließlich zu Kanalüberstau ohne Beteiligung von Gewässern.

In URBAS wurden sowohl einfache (rasterbasierte Analysen, z. B. mit SAGA GIS) als auch komplexe Methoden der Überflutungsberechnung (2-D-hydrodynamische Simulation mit vereinfachter Abbildung der Interaktion zum Kanalnetz) angewendet und die Ergebnisse miteinander verglichen und bewertet.

Bei den Objekten waren in der Mehrzahl Wohnhäuser betroffen: Die Anzahl bewegt sich zwischen 50 und über 1.700 Häuser. Im Mittel waren bei den auswertbaren Ereignissen etwa 350 Wohnhäuser betroffen. Die Schäden sind überwiegend vollgelaufene Keller, häufiger werden aber auch Parterrewohnungen in Mitleidenschaft gezogen. Des Öfteren werden Tiefgaragen bei Sturzregen geflutet. Bei Gewerbe und öffentlichen Gebäuden sind meistens Einzelobjekte betroffen.

Insbesondere im Mittelgebirge treten wegen der hohen Fließgeschwindigkeiten Schäden an den Gewässern, an Brücken und Durchlässen auf. Hier sind durch Hangabfluss häufiger Hangrutschungen zu verzeichnen; beim Übergang vom Hangabfluss in den Abfluss auf und entlang von Straßen sind Erosionsschäden, zumindest Ablagerungen, festzustellen. Infolge von Überstau treten häufig Schäden am Kanalsystem selbst auf, hier insbesondere an den Schächten und z. T. auch an den Kanälen selbst.

In zwei Fällen waren Krankenhäuser von Überflutungen betroffen, z. T. mit hohen Einzelschäden. In drei Fällen zählten die Gebäude der Rettungskräfte selbst zu den von Hochwasser Betroffenen.

Die überschläglich anhand von Einheitswerten berechneten Schadenssummen, soweit sie ermittelt werden konnten, bewegen sich in der Größenordnung zwischen 0,27 Mio. und 14,8 Mio. €. Der Mittelwert liegt bei 4,2 Mio. €, ohne den höchsten Wert (Berlin) bei 3,35 Mio. €.

Strukturell waren vor allem Gebiete des „Typs Einfamilienhaus“ vor dem „Städtischen Typ“ betroffen, der Schwerpunkt der Entstehungszeit der betroffenen Bereiche liegt bis zum Ende des 19. Jahrhunderts und der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Neben den neueren Wohnerweiterungsgebieten ist auch der „Dörfliche Typ“ und der "Städtische Typ" aus der Zeit bis Ende des 19. Jahrhunderts häufig von durch Starkregen verursachte Sturzfluten betroffen.

Bei den untersuchten Ereignissen handelt es sich i. Allg. um sogenannte Großschadensereignisse, also Ereignissen unter der Schwelle einer Katastrophe. Dabei zeigt sich erwartungsgemäß, dass große Kommunen in der Regel kaum Probleme haben, die Ereignisse mit eigenen Mitteln zu bewältigen, während die kleineren Kommunen kaum ohne die Unterstützung durch benachbarte Einsatzkräfte auskommen.

Allgemein sind die Zuständigkeiten im Einsatzfall klar geregelt; Schwierigkeiten und Probleme treten häufig erst im Einsatz bei der Kommunikation und Koordination zwischen den verschiedenen Organisationen, bei der Information der betroffenen Bevölkerung und beim Maßnahmenmanagement auf. In einigen Fällen waren Gebäude und Einrichtungen der Hilfsdienste selbst betroffen, deren Einsatzfähigkeit allein dadurch sehr eingeschränkt wurde.

In nahezu allen dokumentierten Einsätzen in den Fallstudien erfolgte eine Nachbarschaftshilfe (gegenseitige Hilfe auf Anforderung) auf Anforderung der Feuerwehren vor Ort. Die Hilfen wurden relativ früh nach der Alarmierung angefordert, was auf den schnellen Ablauf der durch Starkregen verursachten Sturzfluten zurückzuführen ist. In den Fallstudien ist teilweise in kurzer Zeit eine große Anzahl von Hilfsanforderungen aus der Bevölkerung bei den Feuerwehren eingegangen. Da diese nicht alle gleichzeitig abgearbeitet werden konnten, erfolgte eine Prioritätensetzung durch die Einsatzleitung vor Ort oder im Einsatzstab.

In den Fallstudien wurde beobachtet, dass der Ereignistypus „Starkregen und Sturzfluten“ in größeren Städten und Großstädten weniger 'katastrophal' eingestuft wird, als in kleineren und kleinen Städten und Gemeinden. Gründe hierfür können sein, dass in den größeren Städten Berufsfeuerwehren tätig sind, die aufgrund der professionellen Einsatzleitung, der personellen Kapazitäten, der besseren Ausbildung, Ausrüstung und der tagtäglichen Praxis Schadensereignisse und Notstände „gelassener“ angegangen werden als bei den Einsätzen der Freiwilligen Feuerwehren in den kleineren Städten und Gemeinden. Bei der Einstufung von Starkregen- und Sturzfluteinsätzen spielt möglicherweise eine Rolle, dass in den kleineren Städten und Gemeinden ein direkterer Kontakt zwischen (betroffenen) Bürgern, Hilfsorganisationen, Verwaltung und Politik besteht, sodass sich hier schneller Handlungsdruck aufbaut.

An den größeren Gewässern sind in fast allen Fällen Überschwemmungsgebietsausweisungen bzw. –festsetzungen vorhanden, an den kleinen Gewässern, an denen die Schäden aufgetreten sind, generell nicht. In den meisten Fällen sind für die kleinen Gewässer und die kanalisierten Bereiche Schwachstellen und potenzielle Gefährdungsbereiche verwaltungsintern bekannt, sie werden jedoch nur in wenigen Fällen dokumentiert und veröffentlicht. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Kenntnisse über die praktizierten verwaltungsinternen Beteiligungsverfahren Eingang in die kommunalen Planungen finden, eine Erhebung dazu war im Rahmen des Vorhabens nicht möglich.

Die Fallstudien zeigen, dass sich mit bundesweit vorhandenen topografischen und bodenbezogenen Informationen anschaulich und mit geringem Aufwand erste Hinweise auf mögliche Risiken durch Abflüsse aus Sturzregen gewinnen lassen.

Von zentraler Bedeutung für den Wert der Fallstudien war die Erhebung der Maßnahmen, die die Kommunen zur Hochwasserbewältigung und Hochwasservorsorge nach den Schadensereignissen ergriffen haben (Lessons learned).

Generell werden die planerischen Möglichkeiten der Flächenvorsorge bisher vergleichsweise selten genutzt. Aufgrund des Eigentums- und Bestandsschutzes, aber auch des hohen Aufwandes, ist das Anpassungspotenzial an Sturzflutrisiken im Gebäude- und Siedlungsbestand eingeschränkt und erfordert ein mittel- und langfristiges Vorgehen. Die oft betonte gute Abstimmung zwischen Bebauungsplanung und Entwässerungsplanung führt aber offensichtlich dazu, dass die wasserwirtschaftlichen Belange häufiger berücksichtigt werden, ohne dass sich dieses in schriftlich dokumentierten Maßnahmenpaketen niederschlägt.

Zum Maßnahmenbereich der Abflussminderung gehören gesplittete Abwassergebühren, Regenwasserversickerung und Niederschlagswassermanagement. Diese Maßnahmen sind in fast allen untersuchten Kommunen inzwischen eingeführt. Allerdings machen diese Systeme bisher nur einen geringen Anteil an der Stadtentwässerung aus, weil der Bestand weitgehend unverändert bleibt.

Die Auswertung der Fallstudien zeigt, dass nach den Ereignissen häufig die technischen Maßnahmen trotz der hohen Kosten als Lösungen gewählt werden. Kosten-Nutzen-Berechnungen im klassischen Sinne sind nach den Erhebungen nicht durchgeführt worden, wobei Maßnahmen insbesondere in kleineren Kommunen in den Ratsausschüssen besprochen und verabschiedet werden müssen. Hierbei wird die Kostenseite meist intensiv diskutiert.

Im Bereich der Bauvorsorge sind an erster Stelle die Maßnahmen zur Rückstausicherung der Gebäude gegen Rückstau aus dem Kanalnetz zu nennen. Diese sind generell in allen Ortssatzungen vorge-

schrieben, aber häufig nicht realisiert. Viele Städte und Stadtwerke versuchen durch Bürgerinformation, die Hausbesitzer zum Einbau dieser Sicherungen zu animieren. Vereinzelt werden auch andere Maßnahmen der Bauvorsorge genannt. Hierzu zählen baurechtlich abgesicherte Maßnahmen zur Kellernutzung, Vorhaltung von Material zum Gebäudeschutz, Broschüren zur Bauvorsorge, insbesondere auch zum Umgang mit Öltanks.

An den größeren Gewässern sind bei allen Fallstudienkommunen die Überschwemmungsgebiete festgesetzt und veröffentlicht. Für die kleinen Gewässer trifft das generell nicht zu. Den Bürgern sind aus diesem Grund potenzielle Gefahren nicht bekannt, es sei denn, Hochwasserprobleme sind bereits häufiger aufgetreten. Die Erhebung zeigt, dass bei den zuständigen kommunalen Ämtern und Behörden häufig gute Kenntnisse über potenzielle Gefahrenbereiche an den Gewässern vorhanden sind, aber nur in Ausnahmenfällen in Form von Gefahren- und Risikokarten veröffentlicht wurden. Ebenso sind die Schwachstellen im Kanalsystem den jeweiligen Fachbehörden bekannt und dienen u. a. als Planungsgrundlage für die Sanierungsplanung. Aber auch hier gilt, dass diese Kenntnisse häufig nicht öffentlich gemacht werden.

Die Fallstudien zeigen, dass oftmals zutreffende Warnungen vor Starkregen und Gewitter vor den Ereignissen veröffentlicht wurden. Das Problem liegt also weniger darin, dass eine Warnung fehlt, sondern dass diese Warnungen relativ häufig ausgegeben werden und die Vorhersagen räumlich zu unspezifisch sind, als das daraus ein konkretes Handeln abgeleitet werden könnte.

Nicht jeder Starkregen führt zu Sturzfluten, die Abflussbereitschaft des Gebiets ist ebenfalls entscheidend. Vorhersagen und Warnungen müssen zumindest so gut sein, dass sich die Aktivierung von Bereitschaftsdiensten lohnt, die Überwachung von „Hotspots“ (Verrohrungen, Rechen) vorbereitet und ein Schutz besonders verletzlicher Einrichtungen aufgebaut werden kann. Einige Bundesländer (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz) haben hier flächenbezogene Vorhersage- und Warnsysteme aufgebaut, die auch die Abflussbereitschaft der Gebiete berücksichtigen.

Eine sinnvolle Verhaltensvorsorge setzt die Kenntnis einer potenziellen Gefahr voraus. Wie aufgezeigt, sind den Bürgen die Überflutungsgefahren allgemein nicht bekannt. Somit ist es selbst bei einer zutreffenden Warnung wahrscheinlich, dass sich die meisten Bürger gar nicht angesprochen fühlen.

4 Abschnitt C: Ziele, Maßnahmen und Methoden des kommunalen Risikomanagements

Kommunales Hochwasserrisikomanagement ist eine querschnittsorientierte Aufgabe mit unterschiedlichen Maßnahmentypen, deren Umsetzung das Zusammenwirken vieler Akteure erfordert. Maßnahmen der kommunalen Hochwasservorsorge in Bezug auf Sturzfluten lassen sich in drei Hauptgruppen unterscheiden:

- Gefahren- und Risikoanalyse sowie -bewertung als Grundlage für eine sinnvolle Maßnahmenkonzeption
- Ereignismanagement im Schadensfall
- Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes

Einleitend werden die rechtlichen Regelungen (Planungsrecht, Baurecht, Ordnungsrecht und Wasserrecht) zu Starkregen und Sturzfluten dargestellt. Die Rechtsgrundlagen enthalten vielfältige Regelungen, die sich auf den Aufgabenbereich „Sturzflut“ anwenden lassen. Diese Regelungen betreffen insbesondere die Vorsorge und Abwehr von Gefahren im ordnungsrechtlichen Sinne. Kennzeichnend ist die wachsende Verantwortungsübertragung auf den privaten Sektor aufgrund von Bürokratieabbau, Verwaltungsvereinfachung und Verfahrensbeschleunigung. Die rechtlichen Regelungen lassen im Bereich der Vorsorge große Handlungsspielräume im öffentlichen und privaten Bereich offen. Feststellbar ist häufig noch ein fehlendes Problembewusstsein bei den „fachfremden“ Akteuren.

Gefahren- und Risikoanalyse

Während es im Bereich der Flussüberschwemmungen zwischenzeitlich weitgehend abgestimmte Verfahren der Gefahren- und Risikoanalyse sowie der Darstellung in Gefahren- und Risikokarten gibt, sind entsprechende Untersuchungsmethoden und Darstellungen für den Überschwemmungstyp „Sturzflut“ im kommunalen Raum noch nicht etabliert.

Einleitend wurden die Gefährdungsarten und -prozesse bei Sturzfluten analysiert und beschrieben, die sich aus den Teilprozessen Gefährdung durch den Starkniederschlag selbst, Hangabfluss (wild abfließendes Wasser), Abfluss und Ausuferung der kleinen „kommunalen“ Gewässer und Abfluss und Überlastung der Grundstücksentwässerungsanlagen und der Kanalisation zusammensetzen.

Starkregen und Sturzfluten im besiedelten Raum lassen sich aus verschiedenen rechtlichen Blickwinkeln als kommunales bzw. staatliches Handlungsfeld betrachten. Ziel war insbesondere, die vorhandenen Regelungen zur Funktionssicherheit und zum planmäßigen Versagen der hydraulischen Systeme systematisch aufzuarbeiten.

Die Bauwerke der Stadtentwässerung können (planmäßig) bei Starkregen, der stärker als der Bemessungsregen für die städtischen Entwässerungssysteme ist, überlaufen und versagen. Ziel der Untersuchungen mit städtebaulichem Schwerpunkt war einerseits, die besonders gefährdeten städtischen Strukturen zu identifizieren, bei denen Schäden auftreten können (Bebauungsstruktur, Alter, Bebauungsdichte). Andererseits waren die städtischen Strukturen zu identifizieren, die eine besondere, hohe Verletzlichkeit gegenüber Überstau aufweisen. Beide Informationen bilden eine wichtige Grundlage für die Erstellung von Gefahrenkarten.

In URBAS wurden zum einen bereits angewendete Methoden der Gefahren- und Risikoanalysen einzelner Kommunen gesammelt und dokumentiert, so beispielsweise die Vorgehensweise in Hamburg. Zum anderen wurde eine Fülle von Ansätzen zur Bestimmung der überflutungsgefährdeten Flächen im kommunalen Raum entwickelt, getestet und auf Anwendbarkeit hin bewertet. Die Verwendung unterschiedlicher Methoden ist notwendig, weil örtliche Gegebenheiten, finanzielle und personelle Möglichkeiten der Kommunen und die jeweilige Problemlage so unterschiedlich sind, dass eine einzige Herangehensweise diesen nicht gerecht wird. Die untersuchten und bewerteten Methoden umfassen:

- Analysen der Fließwege unter Verwendung von digitalen Oberflächen- oder Geländemodellen
- Analysen auf Basis von Bodeninformationen und -daten
- Analysen von potenziellen Versagenspunkten der Kanalisation, der kommunalen Gewässer und von wild abfließendem Wasser
- Abfluss- und Überflutungsanalysen mit GIS-gestützten Methoden
- Abflussanalysen mit hydrologisch-hydraulischen Methoden und Modellen

Neben der Berechnung der Überflutungsflächen ist für eine Risikoanalyse die Erfassung von Schäden infolge der Überschwemmung erforderlich. Diese Verfahren sind in Veröffentlichungen des DVWK (heute DWA) und des BWK (DVWK, 1985; BWK, 2001) umfassend beschrieben, sodass in dem Bericht lediglich einige Beispiele dokumentiert sind. Weiterhin sind Beispiele für Gefahren- und Risikokarten für Sturzfluten sowie nutzbare Programme zur Gefahrenanalyse zusammengestellt worden.

Ereignismanagement im Schadensfall

Bei den untersuchten Ereignissen handelte es zumeist um Großschadensereignisse. Dabei zeigt sich, dass große Kommunen in der Regel weniger Probleme haben, die Ereignisse mit eigenen Mitteln zu bewältigen, während die kleineren Kommunen kaum ohne die Unterstützung durch benachbarte Einsatzkräfte auskommen.

Zuständigkeiten

Die Zuständigkeiten bei einem Einsatz sind allgemein klar geregelt. Schwierigkeiten und Probleme treten häufig erst bei der Kommunikation und Koordination zwischen den verschiedenen Organisationen, bei der Information der betroffenen Bevölkerung und beim Maßnahmenmanagement auf. Einige Kommunen haben diese Prozesse sehr sorgfältig analysiert und daraus Verbesserungen abgeleitet (beispielsweise Braunschweig).

Kommunikation

Die Notrufnummern sind insbesondere bei kleineren Kommunen nicht selten überlastet, aufgrund der heterogenen Informationen der betroffenen Bürger ist eine Bearbeitung und Prioritätensetzung bei den Einsätzen der Hilfsorganisationen nicht einfach. Hierzu wurden von einigen Kommunen gute Ideen entwickelt, die im URBAS-Schlussbericht dokumentiert sind.

Maßnahmen der Einsatzkräfte beim Ereignis

Wegen der Schnelligkeit und Heftigkeit der Ereignisse - die Gefährdung von Menschen ist nicht selten - sind die Maßnahmen „**Retten und Evakuierung**“ bei diesen Ereignissen fast immer erforderlich. Bei allen Ereignissen ist auch das unverzügliche Räumen und Absperren von Gefahrenzonen (Straßen, Unterführungen etc.) notwendig und es funktioniert meistens auch gut. Eine **Notversorgung** für die Bevölkerung ist hingegen selten notwendig. Eine Versorgung der Einsatzkräfte ist fast immer erforderlich, weil die Einsätze (insbesondere durch den Aufwand für die Schadensbehebung) häufig mehr als einen Tag dauern. Es gibt eine Reihe von **Sicherungsmaßnahmen**, die durch die Einsatzkräfte durchgeführt werden, wie beispielsweise die Beseitigung von Abflusshindernissen oder der Aufbau von Objektschutzeinrichtungen mit Sandsäcken oder mobilen Schutzelementen. Hier gibt es gute Beispiele in den Kommunen, wie diese Maßnahmen vorbeugend konzipiert, Zuständigkeit klar geregelt und die Handhabung geübt werden kann.

Die weiteren Aktivitäten der Einsatzkräfte umfassen **schadensmindernde Maßnahmen** wie das Leerpumpen und Räumen von Kellern, Tiefgaragen und Unterführungen, die Beseitigung von Schlamm und Geröll, die Reinigung etc. Bei diesen Maßnahmen spielt die **Nachbarschaftshilfe** eine herausragende Rolle, weil die vorhandenen Einrichtungen und Kapazitäten der Einsatzkräfte meist beschränkt sind.

Zu den **kurz- und mittelfristigen Maßnahmen** der Schadensbehebung nach dem Ereignis zählen technische Maßnahmen zur Beseitigung von Engstellen im Gewässer, Kanal- und Sinkkastenräumung, Unterstützung der Bevölkerung bei schadensmindernden Maßnahmen (Beratung, Trocknungsgeräte), Unterstützung bei Sperrmüll-, Schlamm- und Abfallbeseitigung sowie weitere Maßnahmen, die im Schlussbericht des Vorhabens zusammengestellt sind. Immer häufiger geht es auch um die Beweissicherung, Ursachenrecherche und die Bearbeitung rechtlicher Auseinandersetzungen.

Die prinzipiell möglichen Maßnahmen wurden im Bericht zusammengestellt und können als Checkliste für die Einsatzplanung herangezogen werden.

Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes bei Sturzfluten

Bei den extremen Niederschlägen und Abflüssen, die bei Sturzfluten auftreten, ist eine vollständige Schadensvermeidung nicht möglich. Die Analyse der Ereignisse zeigt aber, dass Schäden auch durch Planungs- und Baufehler in der Vergangenheit verursacht und durch nicht umgesetzte Schutzmaßnahmen entstanden sind oder zumindest vergrößert wurden. In URBAS wurden die Best-Practice-Maßnahmen aus den Fallstudien und der Literatur ausgewertet und zusammengestellt.

Flächenvorsorge

Aufgrund des Eigentums- und Bestandsschutzes, aber auch des hohen Aufwandes, ist das Anpassungspotenzial an Sturzflutrisiken im Gebäude- und Siedlungsbestand eingeschränkt und erfordert ein mittel- und langfristiges Vorgehen. Angepasste Nutzungen in gefährdeten Gebieten und ein besonderes Augenmerk auf besonders „verletzliche“ Nutzungen (Krankenhäuser, Einrichtungen der Hilfsorganisationen), Freihalten von Abflusswegen bei Versagen der Abflusssysteme, Schaffung oder gezielte Entwicklung von Rückhalteflächen zur schadlosen Zwischenspeicherung sind Beispiele für Maßnahmen, die sich auch im Bestand umsetzen lassen.

Größere Umsetzungschancen ergeben sich, sofern sturzflutbezogene Vorsorge- und Schutzmaßnahmen mit ohnehin laufenden Sanierungsmaßnahmen gekoppelt werden können. Hierzu zählen Straßensanierungsmaßnahmen mit einer Erhöhung von Bordsteinen oder Absenkung des Fahrbahnniveaus, Pflasterarbeiten im öffentlichen Raum, bei denen Kellerfenster durch außen liegende Einfassungen gegen das Eindringen von Wasser geschützt werden, sowie Anpassungen und Optimierungen der Entwässerungssysteme, die z. B. im Zusammenhang mit notwendigen Kanalsanierungen realisiert werden können.

Bei Neuplanungen und Neubebauungen bieten sich deutlich größere Chancen und Möglichkeiten, Sturzflutrisiken vorsorgend zu mindern. Im Rahmen ihrer Planungshoheit können Gemeinden aus städtebaulichen Gründen vielfältige Maßnahmen festsetzen, auch im Baugenehmigungsverfahren bestehen verschiedene Handlungsmöglichkeiten, vor allem die Information und Beratung.

Abflussminderung

Maßnahmen der Abflussminderung und -rückhaltung in den Sturzflutentstehungsgebieten, aber auch im städtischen Bereich mindern unmittelbar die Sturzflutgefahr. Dazu zählen die Änderung der Bearbeitung der (landwirtschaftlichen) Flächen mit Zielrichtung der Abfluss- und Erosionsminderung, die Realisierung von dezentralen Rückhaltemaßnahmen und die Versickerung in den bebauten Gebieten, die bezüglich Versagenshäufigkeit i. Allg. höhere Sicherheiten als die klassische Kanalisation aufweisen. Im Hinblick auf die Bewältigung des Klimawandels bietet sich überdies die Chance, Maßnahmen so zu kombinieren, dass unterschiedliche Klimafolgen in ihrer Intensität reduziert werden (beispielsweise intensive Dachbegrünungen zur Wärmeisolierung, Verbesserung des Stadtklimas und zur Rückhaltung von Starkregen).

Bauvorsorge

In der Broschüre „Wie schütze ich mein Haus vor Starkregenfolgen“ der Stadt Hamburg sind die Möglichkeiten, mit denen Hauseigentümer mit meist wenig aufwendigen Mitteln Bauvorsorge umsetzen können, anschaulich aufgeführt. Auch andere Kommunen wenden sich mit gutem Informationsmaterial und intensiver Beratung an ihre Bürger. In URBAS sind diese Beispiele gesammelt und ausgewertet worden. Broschüren zur Bauvorsorge gibt es viele, an die jeweiligen kommunalen Verhältnisse angepasste sind aber noch die Ausnahme. Herausragende Bedeutung haben funktionierende Rückstausicherungen und konstruktive Maßnahmen, mit denen das Eindringen von Oberflächenwasser in die Gebäude verhindert werden kann. Aufwendiger sind Maßnahmen gegen Bodenfeuchtigkeit, Sickerwasser und hohe Grundwasserstände, die infolge von Sturzfluten auftreten können. In diesem Handlungsfeld sind noch große Anstrengungen in der Öffentlichkeitsarbeit notwendig, um den potenziell betroffenen Grundstückseigentümern die Risiken von Sturzfluten und ihre Möglichkeiten zur Vorsorge nahe zu bringen.

Technische Maßnahmen

Eine generelle Erhöhung der Leistungsfähigkeit der städtischen Entwässerungssysteme (Kanalisation, „kommunale“ Gewässer) erscheint weder bezahlbar noch umsetzbar. Sinnvoll ist dagegen die Suche nach und Beseitigung von Abflussengpässen und „Versagenspunkten“ in der Kanalisation und den kleinen, oft erheblich überbauten Gewässern. Hierbei geht es vor allem auch darum, sich mit Überlastungsfällen zu beschäftigen - wie sie bei Sturzfluten auftreten. Auch technische Rückhaltemaßnahmen

an den kleinen Gewässern und im städtischen Entwässerungsnetz werden von einigen Kommunen realisiert, sind aber nur in Ausnahmefällen sinnvoll.

Risikovorsorge

Risikovorsorge bedeutet die finanzielle Vorsorge für den Schadensfall, beispielweise den Abschluss von Versicherungen. Die Versicherungsdichte bzgl. Hochwasser ist zurzeit noch gering, obwohl sich der Schadenstyp Sturzflut (Schaden kann überall auftreten, überschaubare Schadenssummen beim jeweiligen Ereignis) für Versicherungslösungen anbietet.

Informationsvorsorge: Gefahren müssen bekannt sein!

Die Kenntnisse über potenzielle Gefahrenbereiche sind bei den kommunalen Ämtern und Behörden häufig vorhanden, aber nur in Ausnahmenfällen in Form von Gefahren- und Risikokarten veröffentlicht worden. Somit fehlen häufig die erforderlichen Unterlagen für eine gezielte Beratung und Information für die möglichen Betroffenen, aber auch für die Ämter und Fachbehörden der Verwaltung, die nicht unmittelbar mit dem Thema Überflutung und Hochwasser zu tun haben. Dagegen gibt es eine Reihe von guten und informativen Broschüren für die Bürger, in denen mögliche Maßnahmen vorgestellt werden, wo der Ortsbezug aber häufig fehlt. URBAS hat sich an der Erstellung einer internetbasierten Informationsbroschüre beteiligt, aus der die Kommunen Bausteine für ihre ortsbezogene Bürgerinformation entnehmen können.

Warnung und richtiges Verhalten: Verhaltensvorsorge

Vorhersagen und Warnungen müssen zumindest so gut sein, dass sich die Aktivierung von Bereitschaftsdiensten lohnt, die Überwachung von „Hotspots“ (Verrohrungen, Rechen) vorbereitet und ein Schutz besonders verletzlicher Einrichtungen aufgebaut werden kann. In URBAS wurden Konzepte für einfache, kommunal umsetzbare Abflussvorhersagesysteme entwickelt und Beispiele aus Kommunen gesammelt. Der Aufbau umfangreicher Schutzmaßnahmen - wie bei Flussüberschwemmungen mit den langen Vorwarnzeiten - ist nicht möglich und wird auch in absehbarer Zukunft nicht möglich sein. Umso wichtiger ist die Umsetzung der vorbeugenden Maßnahmen.

Bereitschaft, Überwachung und Schutz müssen geplant, zwischen den Beteiligten vereinbart und in Trainings und Übungen, außerhalb von Hochwasserzeiten, eingeübt werden. URBAS gibt hierzu einige Beispiele.

5 Abschnitt D: Meteorologie - Radargestützte deutschlandweite Erfassung, Bewertung und Kurzfristvorhersage lokaler Extremniederschläge für urbane Gebiete

Im dicht besiedelten Deutschland verursachen Sturzfluten durchschnittliche Schäden von mehr als 100 Mio. € pro Jahr. Bestimmt wird das Auftreten lokaler Überschwemmungen durch das meteorologische Geschehen – ohne Starkregen keine Sturzflut. In URBAS waren deshalb die Arbeiten im meteorologischen Kontext entsprechend umfangreich:

- Untersuchung der meteorologischen Situation für 15 Fallstudien (26 Ereignisse), von der Synoptik über ausgegebene Warnungen, Auswertung der Radarmessungen und teilweise vorliegender Gutachten, Erstellung geprüfter und angeeichter Radardaten, bis zur Abschätzung der Jährlichkeit des Ereignisses
- Detailauswertung Meteorologie für Lübeck
- Erste statistische Auswertungen von Radardaten über die Jahre 2000 bis 2007, Erstellung und Anwendung statistischer Korrekturen für Radardaten, Vergleich mit KOSTRA und der Zeitreihenstatistik von Punktmessungen

- Konzeption und Umsetzung einer Verbesserung des Warnsystems KONRAD mithilfe einer zweiten Warnstufe sowie konzeptionelle Arbeiten zur Verbesserung von KONRAD mittels höherer raumzeitlicher Auflösung und Dualpolarisationstechnik

Fallstudienauswertung

Für jedes Ereignis der Fallstudien waren einer im Projekt vorab festgelegten Struktur zufolge einheitlich folgende Schritte durchzuführen:

- Beschreibung der Wetterlage, beobachteten Besonderheiten und ausgesprochenen Warnungen
- Beschreibung des Niederschlagsverlaufes während des Ereignisses anhand von Radardaten und KONRAD-Auswertungen
- Untersuchung der Niederschlagsmessungen aus Bodenstationen und aus Radardaten, mit Korrektur und Aneichung der Daten sowie Erstellung einer pixelgenauen Ereignissumme und, falls vorhanden, Auswertungen von Gutachten
- Abschätzung der Jährlichkeit des Ereignisses durch Vergleich mit KOSTRA

Auf diese Weise konnte der meteorologische Verlauf jedes Ereignisses einheitlich ausgewertet und eine Charakterisierung von Sturzfluten nach Ereignistyp vorgenommen werden. Insbesondere die Auswertung des Niederschlagsverlaufes auf Basis der Radardaten erbrachte weitere Erkenntnisse zur räumlichen Niederschlagsausbreitung, zu Niederschlagsstrukturen und zur Dynamik der Niederschlagszellen.

Es wurde anhand der Radardaten deutlich, dass sturzflutauslösende Niederschläge meist kleinräumige Zentren haben (< 10 km²), die sich schnell in ihrer Form und Intensität ändern, sodass räumlich präzise Warnungen und Vorhersagen für Flächen < 10 km² über mehrere Stunden nahezu ausgeschlossen sind. Mehr als 60 % der Ereignisse, die eine Sturzflut auslösten, hatten eine Wiederkehrzeit von mindestens 100 Jahren.

Untersuchungsschwerpunkt Meteorologie in der Fallstudie Lübeck

Für die Fallstudie Lübeck wurden über die Standardauswertung (s. o.) hinaus folgende Schwerpunkte untersucht:

- Untersuchung des Auftretens verschiedener Häufigkeiten über dem Stadtgebiet in verschiedenen Dauerstufen
- Vergleich von KOSTRA mit der 30-jährigen Reihe der DWD-Station Blankensee und mit dem historischen Bemessungsansatz in der Stadtentwässerung
- Untersuchung der Reihe Blankensee auf zeitliche Inhomogenitäten
- Untersuchung der Möglichkeit von Warnungen vor Starkregen

Aus der Reihe Blankensee wurden für den Zeitraum 2000 bis 2005 alle Ereignisse aus der partiellen Serie identifiziert und die zugehörigen Radarmessungen analysiert. Die Anzahl der Ereignisse, die die Jährlichkeiten 1, 5, 10, 20 und 100 überschreiten, wurde weiter bewertet. Es zeigt sich, dass extreme Niederschläge von bis zu 6 Stunden in den letzten 6 Jahren häufiger auftraten als statistisch zu erwarten war.

Der Vergleich zwischen den Statistiken KOSTRA 2000, KOSTRA 90, DWD-Statistik aus 1973 und aus der Reihe Blankensee zeigte, dass KOSTRA in der Regel geringere Niederschläge berechnete als die anderen Statistiken. Überraschend war dabei, dass die Auswertung aus 1973 für die meisten Dauerstufen und für die selteneren Wiederkehrzeiten näher an der neuesten Auswertung der Blankenseer Reihe lag als die KOSTRA-Werte. Diese alte Auswertung liegt der Bemessung der Kanalisation in Lübeck zugrunde. Die Bemessungswerte der Kanalisation in Lübeck entsprechen somit dem neuesten Stand der Erkenntnisse aus Auswertungen bis 2005.

Mithilfe des Zellverfolgungsalgorithmus des Programms SCOUT wurde ein Ereignis daraufhin untersucht, ob vor dem Eintreffen von Starkregen in Lübeck gewarnt werden kann. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass eine Warnung ca. 30 Minuten vor einem Ereignis möglich ist, diese aber räumlich nur auf Lübeck (200 km²) bezogen werden kann, nicht auf kleinere räumliche Einheiten. Für bestimmte Anwendungen (z. B. Vorwarnung der Feuerwehr) kann dieses jedoch bereits nützlich sein.

Radarstatistik und statistische Korrekturen

Die bekannten Schwächen von Punktmessungen zur Bestimmung von Flächenniederschlägen gelten auch für aus ihnen abgeleitete Klimatologien. Radardaten sind zwar in hoher räumlicher Auflösung flächendeckend verfügbar, ihre Statistik leidet aber neben den bekannten Fehlereinflüssen der Radarmessung unter vergleichsweise kurzen Zeitreihen. Für URBAS lagen Daten aus 8 Jahren von 16 operationellen Radaren vor, inklusive der Daten des Zellverfolgungs- und Warnprogramms KONRAD.

Diese Daten wurden hinsichtlich der räumlichen Verteilung von Starkniederschlägen und Zellzugbahnen im Sinne einer deutschlandweiten Häufigkeitsanalyse und regionalen Charakterisierung von meteorologischen Phänomenen mit Gefährdungspotenzial als Grundlage für eine „Gefahrenkarte“ ausgewertet. Die Ergebnisse spiegeln den bekannten Einfluss von Gebirgszügen (z. B. Schwarzwald) und Ballungsgebieten (z. B. Ruhrgebiet) auf die Starkregenverteilung wider, während die Zellzugbahnen ähnliche Maxima, aber eine geringere orographische Abhängigkeit zeigen.

Die statistischen Auswertungen dienten ferner als Ergänzung zu den Fallstudien und zur Erstellung statistischer Korrekturen zur Herstellung der Vergleichbarkeit in der Fläche. Damit lassen sich auch nach physikalischen Korrekturen noch verbleibende Effekte wie eine Entfernungs- bzw. Höhenabhängigkeit, Abschattungen sowie Über- und Unterkorrekturen von Clutter bereinigen.

Zu Projektbeginn wurde KOSTRA als möglicher Prototyp für eine grobe Gefahrenkarte von Starkniederschlägen angesehen. Die Untersuchungen im Projekt haben jedoch gezeigt, dass für die Erstellung einer Gefahrenkarte deutlich mehr Informationen erforderlich sind. Die Starkniederschlagsverteilung aus Radardaten kann die Auflösung von KOSTRA (ca. 8,5 km x 8,5 km) wesentlich verfeinern (1 km x 1 km).

Am Beispiel des Radars Hannover wurde untersucht, unter welchen Bedingungen die Datensätze von Bodenmessungen und Wetterradar die gleiche Grundgesamtheit repräsentieren. Eine Übertragung der zeitlichen Punktstatistiken auf räumliche Radarstatistiken sollte demnach auf konvektive Ereignisse und Bodenmesser nahe am Radar beschränkt bleiben.

Verbesserung von KONRAD

In den Fallstudien wurden die Warnungen dem eingetretenen, tatsächlichen Ereignis gegenübergestellt. Die Betrachtung der gesamten Ereigniskette zwischen Vorgeschichte, Warnung, Vorsorgemaßnahmen, Niederschlag, Abfluss, Schadensfall und -begrenzung ist hilfreich für die Verbesserung der Warnalgorithmen für kleinräumige Extremniederschläge.

So wurde für KONRAD eine zweite Starkniederschlagswarnstufe eingeführt. Während die bisherige Schwelle hohe Intensitäten in kurzer Zeit abdeckt (10 - 12 mm / 30 Minuten), wurde ein weiterer Schwellenwert für mäßige Intensitäten über einen längeren Zeitraum festgelegt. Letzterer wurde allerdings zugunsten einer besseren Vorwarnzeit unterdessen von drei auf eine Stunde verkürzt.

Die oben genannten Unzulänglichkeiten von Punktmessungen treten besonders im Zusammenhang mit seltenen Ereignissen und extremen Niederschlägen auf. Scharfe Gradienten können nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erfasst werden, die von der Dichte des Messnetzes und der Geometrie der Niederschlagsverteilung abhängen. Dieser Messeffekt wurde untersucht. Die Ergebnisse fließen in die Konzeption einer neuen Abtaststrategie für den Radarverbund ein, die zu einer höheren raumzeitlichen Auflösung führen soll. Am Radar Hohenpeissenberg sind derartige neue Volumenabtastungen bereits in Erprobung. Die Nutzung der Vertikalinformation aus der fünfminütlichen Verfügbarkeit von Volumendaten wird zu einer wesentlichen Verbesserung der Zellidentifikation und Wiedererkennung mithilfe von KONRAD führen. Weitere Verbesserungen werden von der Nutzung der Polarisationstechnik erwartet, z. B. für die Unterscheidung von Hagel und Starkregen. Auch hierzu laufen am Radar Hohenpeissenberg erste Untersuchungen.

Förderprogramm des BMBF:
Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)

Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS)

Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Abschnitt A: Datenbank

im Auftrag des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Aachen, Dezember 2008

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Fachhochschule Aachen

Deutscher Wetterdienst

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **III**

Tabellenverzeichnis **IV**

1 Vorgehensweise **1**

2 Sturzfluten **1**

2.1 Definition Sturzfluten *(flash floods)* 1

2.2 Untersuchungen und Forschungsvorhaben zu Sturzfluten....3

2.3 Ereignisdefinition für diese Untersuchung 4

3 Ereignisdatenbank **5**

3.1 Ereignissammlungen und –dokumentationen in Deutschland 5

3.2 Erhebung und Quellen 6

3.3 Aufbau der Ereignisdatenbank....6

3.3.1 Steckbrief....7

3.3.2 Allgemeine Information und Begleiterscheinungen 7

3.3.3 Erfassung der Ortsangaben....8

3.3.4 Erfassung der Niederschläge 8

3.3.5 Erfassung der Abflüsse und Überflutungen....8

3.3.6 Erfassung der Schäden 9

3.3.7 Erfassung der Maßnahmen 9

3.3.8 Erfassung der Links....10

3.4 Technische Umsetzung 10

3.5 Datenerfassung und Bewertung des Datenbestands....11

4 Untersuchung der Schäden der Ereignisse und Kostenschätzung **13**

4.1 Ziel und Vorgehensweise....13

4.2 Definition von Schaden 13

4.3 Methoden der Schadenserfassung und die in URBAS anwendeten Methoden 14

4.3.1 Schadensschätzung für die Kategorie „Gebäude“ 15

4.3.2 Schadensschätzung für die Kategorie „Infrastruktur/Verkehr“ 17

4.3.3 Kosten des Produktionsausfalls....18

4.3.4 Kosten der Einsätze der Hilfsdienste....18

4.4 Untersuchung der Schäden der Ereignisse der Datenbank 19

4.4.1 Interpretation und Festlegung der Mengenangaben....19

4.4.2 Berechnung der Schäden 20

5 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse 20

5.1 Alle Ereignisse und Sturzflutereignisse 20

5.2 Häufigkeit und räumliche Verteilung der Ereignisse 21

5.3 Zeitliche Verteilung 25

5.4 Niederschlag bei Ereignissen 26

5.4.1 Ereigniszuordnung und Intensitäten 26

5.4.2 Vergleich mit den in Deutschland verwendeten Bemessungsniederschlägen 27

5.5 Ergebnisse der Schadensauswertung 29

5.5.1 Auswertung nach Schadenskategorien 29

5.5.2 Schätzung der Schadenskosten 31

6 Bewertung der Ergebnisse 35

6.1 Vollständigkeit der Erfassung der Ereignisse 35

6.2 Vollständigkeit und Verlässlichkeit der erfassten Eingangsdaten 35

6.3 Veröffentlichung der Ergebnisse 36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Aufbau der Datenbank 6
Abbildung 3-2: Ereignisformular Steckbrief mit Stammdaten eines Ereignisses mit mehreren Schadensorten 7
Abbildung 3-3: Erfassung der Niederschlagsinformation und der Begleiterscheinungen (Auszug) 7
Abbildung 3-4: Erfassung der Ortsangaben 8
Abbildung 3-5: Erfassung der Niederschlagsmengen für den unter Region angegebenen Raum 8
Abbildung 3-6: Erfassung der Abflussinformationen 9
Abbildung 3-7: Erfassung der Schadensdaten 9
Abbildung 3-8: Erfassung der Maßnahmen 10
Abbildung 3-9: Erfassung der Datenquellen 10
Abbildung 5-1: In der URBAS-Ereignisdatenbank erfasste Sturzflutereignisse 21
Abbildung 5-2: Verteilung nach Bundesländern 22
Abbildung 5-3: Ereignisse im Jahr 2002 und im August 2002 24
Abbildung 5-4: Ereignisse im Erhebungszeitraum 25
Abbildung 5-5: Ereignisse nach Auftretenshäufigkeit in den Monaten 25
Abbildung 5-6: Niederschlagsereignisse am 9.8.2007 (links), 21.8.2007 (Mitte) und 25.6.2008 (rechts) 26
Abbildung 5-7: Niederschlagsmengen und Intensitäten für Nordrhein-Westfalen 27
Abbildung 5-8: Niederschlagsmengen und Intensitäten für Bayern und Baden-Württemberg 27
Abbildung 5-9: Ereignisse, bei denen die angegebenen Niederschlagswerte die Tabellenwerte aus KOSTRA für Niederschlagsdauer 60 Minuten und Wiederkehrzeit 1 Jahr (links) und 100 Jahre (rechts) überschritten haben 28
Abbildung 5-10: Niederschlagssummen bei den Ereignissen im Vergleich zu den Werten des MGN und KOSTRA-DWD 2000 für die Wiederkehrzeit 100 Jahre 29
Abbildung 5-11: Häufigkeit der Nennungen für die Schadenskategorien (Doppelnennungen möglich) 30
Abbildung 5-12: Schadenstypen und Schadensumfang der Schadenskategorie „Gebäude“ 30
Abbildung 5-13: Schadensmeldungstypen und Schadensumfang Kategorie „Infrastruktur“ 31
Abbildung 5-14: Summe der berechneten Schäden pro Jahr 33
Abbildung 5-15: Anzahl der Schäden pro Jahr nach Schadenssummenkategorien 34
Abbildung 5-16: Lognormalverteilung der Schäden 35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Einheitskosten, mit denen Schadensberechnungen durchgeführt wurden 16
Tabelle 4-2: Schadenskategorie Straßen- und Schienenschäden 17
Tabelle 4-3: Zahlenangaben für die beschreibenden Mengenangaben 19
Tabelle 4-4: Zahlenangaben für die beschreibenden Mengenangaben der Schäden 19
Tabelle 5-1: Datenbestand Ende 2007 20
Tabelle 5-2: Ereignisse mit der größten Anzahl genannter betroffener Orte 22
Tabelle 5-3: Verteilung der Ereignisse bezogen auf die Landesflächen der Bundesländer 23
Tabelle 5-4: Ereignisanzahl bezogen auf den Siedlungsflächenanteil der Länder 23
Tabelle 5-5: Zusammenstellung von Schadenssummen nach verschiedenen Berechnungsarten 33

1 Vorgehensweise

Die möglichst vollständige Erfassung von Sturzflutereignissen bildet die Grundlage für bundesweite Auswertungen zu diesem Überflutungstyp und die angestrebte repräsentative Auswahl der Fallstudien. Diese systematische Erfassung der Ereignisse in einer Ereignisdatenbank war in der ursprünglichen Projektplanung nicht vorgesehen. Bei Vorhabensbeginn wurde davon ausgegangen, dass ausreichend genaue und vollständige bundesweite Ereignissammlungen vorliegen, um eine gezielte und repräsentative Fallstudienauswahl vorzunehmen. Die Sichtung dieser Datenbestände hat gezeigt, dass zwar einige Materialsammlungen vorliegen, aber keine repräsentativen und vollständigen Erfassungen vorhanden waren, die einheitlich auswertbar und für die Aufgabenstellung geeignet waren. Insbesondere der Schadensaspekt ist meistens unzureichend erfasst. Weiterhin bestand das Ziel, die Auftretenshäufigkeit von Starkregen und die von Schadensfällen infolge Starkregen miteinander zu vergleichen, um zu klären, ob dort Zusammenhänge erkennbar sind und wie ausgeprägt diese sind. Deswegen wurde dieser Arbeitspunkt in das Arbeitsprogramm aufgenommen.

Die Vorgehensweise umfasste folgende Arbeitsschritte:

- Definition von Sturzfluten für diese Untersuchung (Kap. 2)
- Konzeption und Programmierung der Ereignisdatendank (Kap. 3)
- Eingabe von Ereignissen; Beschaffung und Auswertung vorhandener Ereignissammlungen, eigene Recherchen (Kap. 4)
- Entwicklung von Methoden der Schadenserfassung und Schadenskostenberechnung (Kap. 5)
- Auswertung und Darstellung der Ergebnisse (Kap. 6)
- Bewertung der Ergebnisse und Forschungsbedarf (Kap. 7)

2 Sturzfluten

2.1 Definition Sturzfluten *(flash floods)*

Von einer Sturzflut spricht man, wenn innerhalb von Minuten bis wenigen Stunden nach einem starken Regenereignis, einem Deich- oder Dammbruch oder dem Bruch einer Barriere (Erdrutsch, Eisdamm), plötzlich große Wassermassen ein Gebiet überfluten.

Bezüglich der Gebietsgröße und den Gebietseigenschaften des Entstehungsgebiets, der Charakteristik des auslösenden Niederschlags bzw. Ereignisses, der Abfluss- und Überflutungsparameter sowie der auftretenden Schäden gibt es eine Vielzahl von Definitionen in der Literatur.

Bei niederschlagsbedingten Sturzfluten übersteigt die Niederschlagsintensität häufig die Infiltrationsrate des Bodens, sodass das Wasser oberflächlich abfließt und eine rasch ansteigende, äußerst energiereiche Hochwasserwelle entsteht. Sie kann als regelrechter Schwall dem Gefälle folgen und in kürzester Zeit auch Bereiche erreichen, in welchen es nicht oder kaum geregnet hat. Die Dauer von Sturzfluten ist im Vergleich zu Flussüberschwemmungen sehr kurz und beträgt wenige Stunden, falls das Wasser abfließen kann. Sturzfluten verfügen über ein enormes Zerstörungspotenzial, bedingt durch hohe Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen sowie durch erhebliche Feststofftransporte, die im Erosions- und Ablagerungsbereich hohe Schäden hinterlassen können (Hlatky et al., 2003; Maniak, o. J). Bronstert (Bronstert et al, 2000) definiert Sturzfluten als “Local sudden floods (flash floods) describe flooding in small catchments (between approx. 10 km² and 1000 km²) that is mainly caused by short and highly intensive precipitation (e.g. thunderstorms). Flash floods occur primarily in hilly or

mountainous areas, because of prevailing rainfall mechanisms, thin soils and high runoff velocities. In general the duration of this type of this event is short but nevertheless it is also frequently connected with severe damage."

Nach Doswell (Doswell, 2000) können folgende Merkmale von Sturzflutereignissen aufgeführt werden:

- Sturzfluten sind mit konvektiven Gewittern assoziiert
- Sturzfluten auslösende Gewitter weisen häufig spezifische Merkmale auf (vgl. Teil I, Abschnitt D)

In früheren Veröffentlichungen dieses Autors (Doswell, 1995, 1997) werden Sturzfluten als Flutereignisse definiert, bei denen der Anstieg des Abflusses binnen weniger Stunden nach dem Niederschlag erfolgt. Hydrologische Bedingungen und Faktoren wie vorangegangener Niederschlag, Größe des Einzugsgebietes, Topographie des Einzugsgebietes, städtische Nutzung innerhalb des Einzugsgebietes und Bodendurchlässigkeit, Gefälle und weitere Faktoren entscheiden ebenso wie meteorologische Faktoren über das Entstehen einer Sturzflut. Der Niederschlag, der zu einer Sturzflut führt, ist in der Regel konvektiv.

Nach Mück (Mück, 2000) werden Sturzfluten als Überflutungen bezeichnet, die direkt oder wenig verzögert auf einen Starkregen folgen. Sie vermögen lokal große Schäden zu verursachen und sind in den mittleren Breiten der am häufigsten auftretende Überschwemmungstyp. Sturzfluten stellen nach Mück ein Problem dar, das nahezu überall auftreten kann. Der Auslöser für Sturzfluten sind lokale Niederschläge extremer Intensitäten, die einige Stunden dauern können. Der Großteil des Regens kann vom Boden nicht aufgenommen werden und fließt oberflächlich ab. Überflutungen treten nicht nur entlang Fließgewässer auf, sondern über all dort, wo Wassermassen zusammenfließen (Mück, 2000). Die intensiven **Starkregen** betreffen meist kleinere Gebiete (zwischen 10 und 100 km²).

Für die maßgebliche Niederschlagshöhe in einer bestimmten Dauer des Niederschlags, die Sturzfluten auslösen können, lassen sich keine allgemeingültigen Schwellenwerte angeben. Die minimale Niederschlagshöhe, die nötig ist, um eine Sturzflut zu verursachen, hängt dabei von den hydrologischen Bedingungen ab. Ein wesentlicher Faktor ist die Verweilzeit eines konvektiven Niederschlagsystems über einem geografischen Ort. Hauptursache für quasi stationäre konvektive Niederschlagsereignisse ist die Entwicklung neuer Niederschlagszellen an den Rückseiten vorangegangener konvektiver Zellen. Schwere konvektive Unwetter gehen v. a. in Süddeutschland zwangsläufig vor allem mit Gewittern einher (Mück, 2000).

Auch Kron (Kron, 2004) führt aus, dass Sturzfluten überall auftreten können, daher ist praktisch jeder bedroht. Sie entstehen durch intensiven, in der Regel kurzzeitigen Niederschlag in einem oft sehr kleinen Gebiet, typischerweise in Verbindung mit Gewittern. Der Boden ist meistens nicht wassergesättigt, da die Niederschlagsintensität jedoch die Infiltrationsrate übersteigt, fließt das Wasser oberflächlich ab und konzentriert sich sehr schnell im Vorfluter. Folge ist eine rasch ansteigende Hochwasserwelle, die als regelrechter Schwall zu Tal stürzen kann und in kürzester Zeit auch Bereiche erreicht, in denen es vielleicht nicht einmal geregnet hat.

Maniak (Maniak, o. J.) zieht auch flacher geneigte Gebiete in die Definition der Sturzflut ein. „In kleinen Gebieten führen örtlich begrenzte Starkregen zu Sturzfluten, die in steilen Einzugsgebieten plötzlich ansteigende und energiereiche Hochwasserwellen bilden. Da sich in steilen engen Tälern die Überschwemmungsflächen auf den gewässernahen Bereich beschränken, ergeben sich meist große Wassertiefen bzw. Fließgeschwindigkeiten mit hohem Zerstörungspotenzial. In flach geneigten Gebieten führen Starkregen häufig zu Überschwemmungen bei nicht angepasster Leistung des Entwässerungssystems."

Auch die Rückversicherungen beschäftigen sich mit der Entstehung und dem Ablauf von Sturzfluten. Bei der Schweizer Rückversicherung (Schweizer Rückversicherung AG, 1998) werden auch das Versagen der Kanalisation und mögliche Rückstaueffekte bei Sturzfluten angeführt.

Die Versicherungsbranche definiert Sturzfluten primär von der Schadensseite her. Wegen ihrer gegenüber Flussüberschwemmungen relativ höheren Häufigkeit, erreichen sie nach Schätzungen eine vergleichbar hohe Gesamtschadenssumme.

Laut Münchener Rück (Münchener Rück, 1999, S. 32) führen Sturzfluten „wegen ihrer hohen Frequenz zu einer durchschnittlichen jährlichen Gesamtschadensumme in etwa derselben Höhe wie aus den großen Flussüberschwemmungen. Die Schadenpotenziale sind in Städten, die in oder am Rande von Mittelgebirgen liegen, am größten."

2.2 Untersuchungen und Forschungsvorhaben zu Sturzfluten

In der europäischen Literatur sind eine Reihe von Sturzflutereignissen beschrieben und analysiert worden. Die Auswertung in diesem Vorhaben konzentriert sich auf die Ereignisse in Deutschland und im deutschsprachigen Raum.

Gudd (Gudd, 2003) hat Gewitter und Gewitterschäden in zwei Regionen Deutschlands untersucht und dabei auch die Schäden infolge Starkregen erfasst. In der Veröffentlichung befindet sich auch ein guter Überblick über vorhandene Datensammlungen in Deutschland zu Gewitterschäden, auch in Verbindung mit Starkregenereignissen (Gudd, 2003, S. 58ff). Gudd weist darauf hin, dass insbesondere die Ereignisbeschreibungen und Schadensdaten zu den Sturm- und Starkregenschäden gewitterbedingter Ereignisse „... in sehr heterogener Form oder häufig noch unbearbeitet ...“ vorliegen.

Schadensfolgen aus Starkregen werden in einer Veröffentlichung des Landesumweltamts Nordrhein-Westfalen anhand von fünf Ereignissen dokumentiert (LUA NRW, 2003).

Vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie liegen Ereignisanalysen des Hochwassers August 2002 in den Osterzgebirgsflüssen vor, die charakteristische Merkmale von Sturzfluten aufgewiesen haben (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2004).

Das Bayerische Landesamt für Umwelt veröffentlicht regelmäßig gewässerkundliche Monatsberichte und Kurzberichte, in denen über aktuelle Hochwasserereignisse, Hochwasser der letzten Jahre und historische Ereignisse berichtet wird und die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen beschrieben werden. In diesen Berichten werden auch Sturzflutereignisse beschrieben, beispielsweise das Ereignis September 2006 (Bayerisches Landesamt, 2006).

Fraefel und Hegg werten regelmäßig die Schäden aus Überflutungen in der Schweiz aus (Fraefel, Jeisy und Hegg, 2005). 2003 wurden dort ca. 88 % aller Sachschäden infolge von Gewittern und intensiven Regen verursacht, wobei der überwiegende Anteil (ca. 84 % oder 61 Mio. CHF) auf Wasserschäden zurückzuführen war. 2004 waren 66 % aller Sachschäden auf diesen Ereignistyp zurückzuführen, auch hier dominierten die Wasserschäden (81 % oder 39 Mio. CHF).

Weiterhin existieren eine Reihe von Untersuchungen zu Einzelereignissen, beispielsweise dem Ereignis in Felsberg in der Schweiz (Willi, 2004) oder der Gemeinde Wachtberg in Nordrhein-Westfalen, in der insbesondere die Schadensursachen vertieft untersucht wurden (Gemeinde Wachtberg, 2005).

Neben den Untersuchungen zu Ereignissen beschäftigen sich verschiedene deutsche und europäische Forschungsinstitutionen mit verschiedenen Aspekten von Sturzfluten.

Für den Ereignistyp Sturzflut im urbanen Raum liegen Untersuchungen in Europa vornehmlich aus

- dem Mittelmeerraum
  (z. B. http://natural-hazards.jrc.it/documents/floods/2003-presentations/ElsaSeminarFlashfloods.pdf) und
  (http://www.bom.gov.au/bmrc/basic/contents/hyrometeorology/DELRIEU_cevennes-vivarais.pdf) (Borga und Creutin, 2000),

- der Schweiz (Mesoscale Alpine Programme) und

- Großbritannien vor.

Auch in den USA wurden einige grundsätzliche Untersuchungen zu diesem Forschungsfeld veröffentlicht (Gruntfest und Ripps, 2001).

2.3 Ereignisdefinition für diese Untersuchung

In URBAS wurde eine problemorientierte Definition des Sturzflutbegriffs vorgenommen. Ziel war, in URBAS die Ereignisse zu erfassen und zu untersuchen, für die es bis heute in Deutschland keine oder nur wenig entwickelte Risikomanagementansätze gibt und für die es voraussichtlich in absehbarer Zeit (noch) keine Hochwasserrisikomanagementpläne geben wird.

Dieses sind vor allem (Sturzflut-) Ereignisse in den kleinen Einzugsgebieten, bei denen es zu Oberflächenabfluss im besiedelten Raum, zu einer Überlastung der (Klein-) Gewässer und der städtischen Entwässerungssysteme gekommen ist bzw. wo ein solches Risiko besteht.

Der Sturzflutbegriff wurde insofern weiter gefasst als in den oben beschriebenen Definitionen, als auch weniger geneigte oder flache Gebiete, die infolge Starkregen (und nicht durch Flussüberschwemmungen) geschädigt wurden, in die Untersuchung einbezogen wurden.

Folglich wurden als maßgebliche Einzugsgebietsgrößen für diese Untersuchung Gebietsgrößen zwischen weniger als 1 km² und etwa 50 km² festgelegt. In Ausnahmefällen wurden auch Ereignisse in größeren Einzugsgebieten erfasst, wenn das Ereignis Sturzflutcharakter aufgewiesen hat. Weiterhin wurde festlegt, dass diese Ereignisse im Zeitraum April bis September stattgefunden haben müssen und in den ausgewerteten Datensammlungen mit den Kennzeichnungen „Gewitter“ und/ oder „Starkregen“ und/oder „Sturzflut“ versehen waren.

Für die auslösenden Niederschläge wurden Niederschlagsdauern von maximal ca. 6 Stunden für die Starkregenphase festgelegt, wobei es in begründeten Einzelfällen hier auch Ausnahmen gibt. Für die Niederschlagsmenge wurde keine untere Grenze bezüglich Menge oder Wiederkehrhäufigkeit festgelegt. Maßgeblich für die Ereignisdefinition war zunächst, dass eine Schadensmeldung aus einem besiedelten Bereich vorlag.

3 Ereignisdatenbank

3.1 Ereignissammlungen und –dokumentationen in Deutschland

In Deutschland betreiben viele Institutionen, private Firmen und Organisationen mehr oder weniger systematische Sammlungen von Starkregen- und Sturzflutereignissen.

Der Deutsche Wetterdienst wertet systematisch die Messergebnisse der Niederschlags- und Klimamessstationen aus und veröffentlicht sie in monatlichen Witterungsreporten und jährlichen Wetterrückblicken, in denen auch die Extremereignisse dokumentiert sind.

Seit 1952 gibt der Verein Berliner Wetterkarte e.V., die „Berliner Wetterkarte“ als Newsletter heraus, in dem ebenfalls Extremwerte des Niederschlags monatlich und jährlich veröffentlicht werden.

Daneben gibt es eine Vielzahl von Organisationen, die Extremereignisse des Wetters und der Niederschläge sammeln und meistens im Internet veröffentlichen (Beispiel: TorDACH).

In verschiedenen Internetforen werden ebenfalls Ereignisse beschrieben. Auf der Seite von SKYWARN (http://www.skywarn.de) werden Beobachtungen von freiwilligen Wetterbeobachtern (Chaser) gesammelt und veröffentlicht.

In der Internetseite „Naturgewalten“ (http://www.naturgewalten.de, Thomas Sävert) werden in Jahresberichten und nach Unwettertypen Beschreibungen und Links zu Ereignisbeschreibungen veröffentlicht.

Systematische Sammlungen von Starkregen- und Sturzflutereignissen mit Schadensfolgen werden beispielsweise von den Rückversicherungen und den Schadensversicherern in Deutschland durchgeführt (beispielsweise Münchner Rück, 1999 und Jahresberichte der Deutschen Rück, verschiedene Jahrgänge). In dem Bericht der Münchener Rück (Münchner Rück, 1999) sind 56 Sturzfluten aus den Jahren 1970 bis 1998 sowie mehr als 130 Starkregenereignisse im Zusammenhang mit Sturm beschrieben und mit einer groben Schadensschätzung versehen.

Schäden aus „Sturzfluten“ und „Unwetter/Gewittersturm“ machen nach dieser Auswertung 8 % der volkswirtschaftlichen Schäden der Naturgefahren in dem Erfassungszeitraum von 1970 bis 1998 aus. Daraus berechnet sich ein Gesamtschaden für diesen Schadenstyp von ca. 3.000 Mio. DM im Erfassungszeitraum bzw. im Mittel ca. 100 Mio. DM pro Jahr auf dem Preisniveau 1998.

Die großen Überschwemmungsereignisse in Deutschland haben von 1970 bis 1998 nach Statistiken der Münchener Rück ca. 190 Mio. DM pro Jahr an Schäden verursacht (nach relativ groben Schätzungen der Versicherung). Die 15 größten Ereignisse hatten eine mittlere Schadensumme von etwa 223 Mio. Euro pro Ereignis. Die Hauptschäden traten fast alle an den Gewässern 1. und 2. Ordnung auf, wobei dieses ist in den vorliegenden Unterlagen der Münchener Rück nicht differenziert ausgeführt ist.

Hagelschäden werden separat erfasst; sie sind somit bei der Aufstellung ausgenommen (Münchner Rück, 1999, S. 7).

Neben diesen Überblicksauswertungen gibt es eine Vielzahl regionaler Auswertungen, beispielsweise von Gudd zu Gewittern und Gewitterschäden in Hessen (Gudd, 2003) oder die Analyse von kleinräumigen Starkregenschäden in Nordrhein-Westfalen (Landesumweltamt, 2003).

Schließlich sind in der Literatur, in Zeitungen und im Internet Beschreibungen und Analysen von Einzelereignissen mit sehr unterschiedlicher Informationsdichte und –zuverlässigkeit zu finden.

3.2 Erhebung und Quellen

Die in der URBAS-Ereignisdatenbank erfassten Ereignisse reichen bis in die späten 1970er Jahre zurück, der Schwerpunkt der Erfassung liegt auf dem Zeitraum nach der Jahrtausendwende. Während die weiter zurückliegenden Ereignisse fast ausschließlich in Zeitungen, Berichten und in der Literatur beschrieben sind, werden die aktuellen Ereignisse zunehmend im Internet und häufig sehr detailliert dokumentiert. Für die Datenerfassung wurden vorab alle bereits vorhandenen und zugänglichen Datensammlungen der Projektpartner (DWD, Deutsche Rückversicherung) ausgewertet:

- Naturkatastrophen in Deutschland, Münchener Rückversicherung, Schadenerfahrungen und Schadenpotentiale, daraus Ereignisse aus den Sparten "Sturm" und "Überschwemmung (Sturzflut)" ab 1970

- Archiv der herausragenden Wetterereignisse
  http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/monitoring/Wetter_archiv.htm

- Ereignisbeschreibungen aus TorDACH

Der Ereignistyp ist häufig nicht eindeutig festzulegen, da viele Ereignissammlungen den Fokus auf einen Hauptaspekt (z. B. Sturm) legen und die Begleiterscheinungen nur textlich beschrieben sind.

3.3 Aufbau der Ereignisdatenbank

Die URBAS-Ereignisdatenbank wurde so aufgebaut, dass alle aufgetretenen Wettererscheinungen aus einer Liste ausgewählt und somit systematisch erfasst werden können.

Oberstes Ordnungsschema ist der Tag, an dem das oder die Ereignisse stattgefunden haben. Alle Ereignisse an einem Tag, auch wenn sie in unterschiedlichen Regionen aufgetreten sind, werden zunächst als ein Ereignis behandelt. Wenn eine genauere Zuordnung der Ereignisse eines Tages zu unterschiedlichen Ereignistypen möglich ist, kann eine weitere Unterteilung vorgenommen werden, d.h. das mehrere Ereignisse einem Tag zugeordnet werden können. Niederschläge und Schäden eines Ereignisses können mehreren Regionen zugeordnet werden, wenn dazu Informationen vorliegen. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 3-1 aufgezeigt.

Das System ist so konzipiert, dass es entsprechend des größer werdenden Datenaufkommens „mitwachsen“ kann.

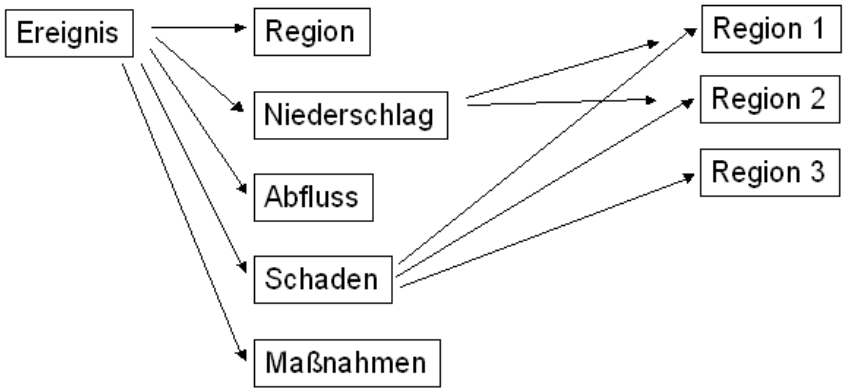


Abbildung 3-1: Aufbau der Datenbank

Neben den in der Abbildung aufgeführten Rubriken enthält die Datenbank die Formulare „Steckbrief“, „Allgemein“ und „Links“.

3.3.1 Steckbrief

Die folgenden Abbildungen zeigen die interaktiven Formulare zur Erfassung von Ereignissen und die Darstellung der erfassten Ereignisse. Alle Eingabefelder sind mit Erläuterungs- und Hilfetexten „hinterlegt“. Der Steckbrief zeigt in zusammengefasster Form alle thematischen Informationen, die in den Einzelformularen eingegeben wurden.

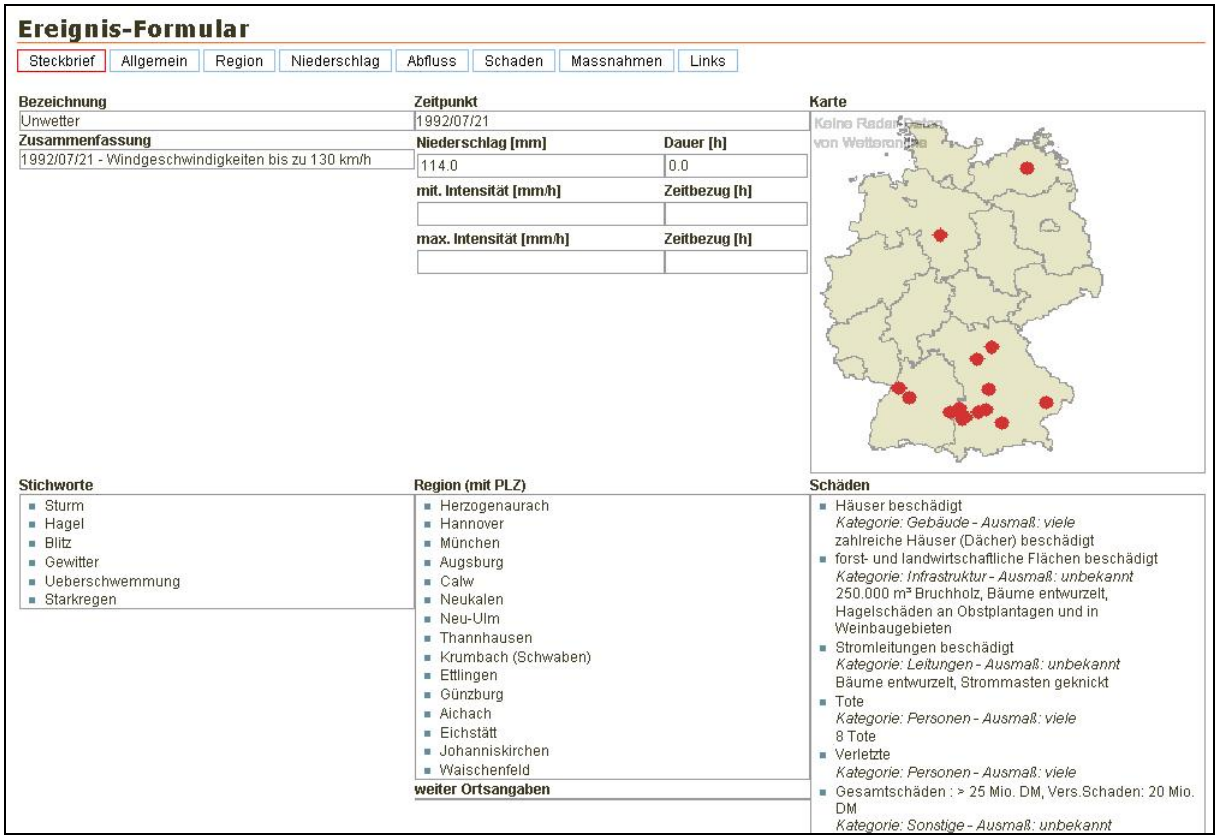


Abbildung 3-2: Ereignisformular Steckbrief mit Stammdaten eines Ereignisses mit mehreren Schadensorten

3.3.2 Allgemeine Information und Begleiterscheinungen

In diesem Formular werden Informationen zum Ereignistyp und begleitenden Erscheinungen wie Überflutungstyp und Wettererscheinungen erfasst. Die umfassende Liste wird in der Abbildung 3-3 auszugsweise wiedergegeben.

Abbildung 3-3: Erfassung der Niederschlagsinformation und der Begleiterscheinungen (Auszug)

3.3.3 Erfassung der Ortsangaben

Ein wesentlicher Informationsblock ist die möglichst genaue Erfassung der Ortsangaben. Die kleinste darstellbare Einheit ist der Postleitzahlbezirk. Häufig sind die Ortsangaben in den Unwetterberichten aber relativ unscharf, sodass auch die Möglichkeit einer gröberen Verortung vorgesehen wurde.

Abbildung 3-4: Erfassung der Ortsangaben

3.3.4 Erfassung der Niederschläge

Für den im Formular „Region“ angegebenen Raum kann ein Niederschlagsformular ausgefüllt werden. Es besteht die Möglichkeit, jeweils Angaben zum Gesamtniederschlag einzutragen, aber auch bestimmte Starkregenphasen zu erfassen, die das tatsächliche Niederschlagsgeschehen charakterisieren.

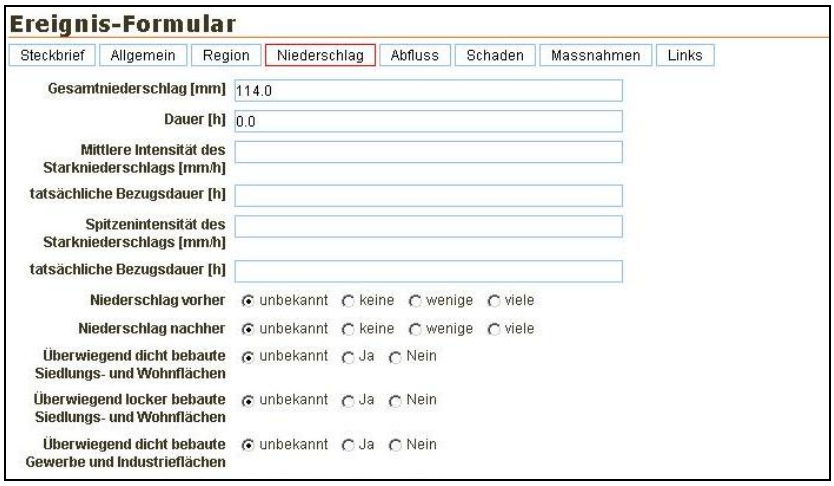


Abbildung 3-5: Erfassung der Niederschlagsmengen für den unter Region angegebenen Raum

3.3.5 Erfassung der Abflüsse und Überflutungen

Für die angegebenen Orte kann jeweils ein Abflussformular ausgefüllt werden. Es besteht die Möglichkeit, jeweils Angaben zu den Abflusswegen, der Überflutungsfläche und der Abflusscharakteristik (Abflusstiefen, Fließgeschwindigkeiten) einzutragen. Daneben können freie Texte eingetragen werden, da die Situationen häufig nicht mit standardisierten Angaben erfasst werden können.

Abbildung 3-6: Erfassung der Abflussinformationen

3.3.6 Erfassung der Schäden

Für die angegebenen Orte kann jeweils ein Schadensformular ausgefüllt werden. Aus einer Auswahlliste können die Schadenskategorien: Personen, Gebäude, Infrastruktur, Verkehr, Leitungen, Sonstige und „unbekannt“ ausgewählt werden. Weiterhin können in vereinfachter Weise der Umfang der Schäden und die Art der Schädigung eingetragen werden.

Auch hier können freie Texte eingetragen werden, da die Schäden häufig nicht mit standardisierten Angaben erfasst werden können.

Abbildung 3-7: Erfassung der Schadensdaten

3.3.7 Erfassung der Maßnahmen

Für die angegebenen Orte kann jeweils ein Maßnahmenformular ausgefüllt werden. Der Schwerpunkt der Maßnahmen liegt auf den Maßnahmen beim und unmittelbar nach dem Ereignis, die von den verschiedenen Hilfsdiensten eingeleitet wurden. Es können beliebig viele Maßnahmen erfasst werden, die sowohl aus Auswahllisten gewählt werden können als auch in freier Eingabe vorgenommen werden können.

Abbildung 3-8: Erfassung der Maßnahmen

3.3.8 Erfassung der Links

Für die Ereignisse können jeweils die maßgeblichen Quellen und das veröffentlichte Hintergrundmaterial erfasst werden.

Abbildung 3-9: Erfassung der Datenquellen

Der Datenbestand ist umfangreich, da er Zeitungsberichte, Fotos, Wetterkarten, Filme usw. enthält.

3.4 Technische Umsetzung

Als Plattform für den Aufbau der Internetpräsenz für Projektinformationen wurde das Contentmanagementsystem (CMS) Plone (http://www.plone.org) eingesetzt. Das System nutzt das Application-Framework ZOPE (htttp://www.zope.org) und die Skript-Sprache Python (http://www.python.org). Alle verwendeten Softwareprodukte sind Open Source lizenziert.

Für den Aufbau der Formularanwendungen ergab sich dadurch eine hohe Flexibilität zur Anpassung an die während des Projektverlaufs wechselnden Anforderungen. Über die CMS-Funktionalität konnte neben der allgemein der Öffentlichkeit zugänglichen Internetpräsenz, auch ein nur den Projektbeteiligten zugänglicher Bereich für interne Informationen bereitgestellt werden. Die Mehrsprachunterstützung wurde genutzt, um wichtige Teile der Internetpräsenz auch in englischer Sprache bereitzustellen.

Die Daten wurden in einer PostgreSQL-Datenbank gespeichert. (http://www.postgresql.org). Über die PostGIS-Extension (http://postgis.refractions.net) wurde auch eine einfache GIS-Übersichtsdarstellung in die Formularanwendung integriert. Dadurch können die über Postleitzahlen eingegebenen Ortsbezüge direkt in der GIS-Ansicht kontrolliert werden. Auch für diesen Teil wurden konsequent Open-Source-Anwendungen eingesetzt. Diese geschah auch in dem Versuch sicherzustellen, dass eine Weiternutzung der Anwendung über den Projektzeitraum hinaus ohne weitere Lizenzkosten möglich bleibt.

Für die Weiterverarbeitung der in der Datenbank erfassten Daten wurde über die ODBC-Schnittstelle eine Verbindung von den verschiedenen Arbeitsplatzrechnern zum Internet-Server hergestellt. Auf diese Weise war die Auswertung der Daten sowohl mit den Microsoft-Office Anwendungen Access oder Excel als auch mit der ArcGIS-Anwendung möglich.

Text- bzw. bildreiche Informationen, wie die im Internet bzw. in Interviews recherchierten Unterlagen, wurden parallel zu den datenbankbasierten Informationen im CMS abgelegt. So konnten zumindest die internen Bearbeiter bequem auf alle für die einzelnen Fallstudien verfügbaren Daten zugreifen. Auf die Freigabe dieser Informationen im Internet wurde bewusst verzichtet, da dadurch erhebliche urheberrechtliche Probleme hätten entstehen können.

3.5 Datenerfassung und Bewertung des Datenbestands

Die Erfassung und Eingabe von Ereignissen in die Datenbank erfolgte in Zusammenarbeit von Hydrotec und der FH Aachen von Ende 2005 bis Mitte September 2007. Damit sind auch die Ereignisse 2007 noch vollständig erfasst, da zum Auswertezeitpunkt das Zeitfenster für Sturzfluten schon vorüber war.

Die Erfassung der Sturzflutereignisse erfolgt über einen Online-Fragebogen, der auf der von Hydrotec erstellten Projektinternetseite aufgebaut wurde. Über die standardisierte Eingabemaske können auch Verwaltungsmitarbeiter und Institutionen der Kommunen, wie Feuerwehrzentralen, Tiefbauämter und Einrichtungen des kommunalen Katastrophenschutzes, erreicht werden. Die erfassten Daten werden in der beschriebenen Datenbank gesammelt und gepflegt.

Niederschläge und begleitende Wettererscheinungen

Für die Niederschlagserfassung wurden alle verfügbaren Angaben zusammengestellt. Neben Angaben der offiziellen Niederschlagsstationen (des DWD) wurden auch möglichst viele Messungen privater Betreiber verwendet. Bei kleinräumigen Ereignissen konnten die Angaben räumlich zugeordnet werden. Bei großräumigen Ereignissen war dies meist nicht möglich.

Abflüsse und Überflutungen

Die Beschreibung der Abflüsse und Überflutungen wurde aus den erfassten Ereignisbeschreibungen abgeleitet. Insbesondere bei weiter zurückliegenden Ereignissen und Ereignissen, die gleichzeitig in mehreren Ortschaften stattgefunden haben, war eine Zuordnung nicht immer möglich.

Schäden

Die Beschreibung der Schäden und die Schätzung der Schadenssummen wurden aus den vorliegenden Ereignisbeschreibungen entnommen, sofern nicht eine eigene Schadensschätzung durchgeführt wurde. In den meisten Fällen wird in den Berichten zu den Ereignissen nicht offensichtlich, aus welchen Quellen die Schadenskostenschätzung stammt und wie verlässlich die Schätzungen sind. Insbesondere bei weiter zurückliegenden Ereignissen und Ereignissen, die gleichzeitig in mehreren Ortschaften stattgefunden haben, war eine Zuordnung nicht immer möglich.

Maßnahmen

Die Beschreibung der Maßnahmen beim Ereignis und unmittelbar nach dem Ereignis wurde aus den vorliegenden Beschreibungen entnommen. Da sich die Zeitungsberichte und sonstigen Ereignisbeschreibungen häufig auf die Berichte der Polizei und Feuerwehren stützen, können sie vermutlich als relativ verlässlich angesehen werden.

4 Untersuchung der Schäden der Ereignisse und Kostenschätzung

4.1 Ziel und Vorgehensweise

Für die in der URBAS-Ereignisdatenbank erfassten Starkregenereignisse und Sturzfluten wurde eine Schadensschätzung auf der Grundlage der erfassten Angaben zu den Schäden erstellt.

Dazu wurden in der Ereignisdatenbank die entsprechenden Tabellen und Algorithmen vorgesehen. Zunächst wurden die Schäden, die bei den untersuchten Ereignissen der 15 Fallstudien aufgetreten sind, selektiert, kategorisiert und die Schadenshöhe geschätzt. Grundlage der Schätzungen bildeten ausführliche Internet- und Literaturrecherchen in den Bereichen Baukosten und Bauschäden sowie Veröffentlichungen von Versicherungen und die Ergebnisse der Fallstudieninterviews.

Die Schätzungen wurden den Vertretern der Kommunen, die als URBAS-Fallstudien teilgenommen haben, zur Plausibilisierung zur Verfügung gestellt.

Im Anschluss wurden diese geschätzten Einheitskosten auf alle Ereignisse der URBAS-Ereignisdatenbank übertragen. Zusammengefasst wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Detaillierte Analyse und Schadensschätzung der 15 Fallstudien (siehe Teil I, Abschnitt E)
- Erarbeitung von Schätzgrößen zu Einheitskosten für die untersuchten Schadensarten
- Erarbeitung von Kategorisierungen der Mengenangaben aus unscharfen Angaben der Schadensberichte
- Übertragung der Erkenntnisse und der Methodik auf die URBAS-Ereignisdatenbank

Weil die Schadensangaben zu den in der Datenbank erfassten Ereignissen i. Allg. nicht mehr Informationen liefern, wurden nur drei Schadenskategorien festgelegt:

- Gebäude
- Verkehr und Infrastruktur
- Sonstige

Es wurde keine Unterscheidung in Gebäudeschäden und Schäden an der Einrichtung vorgenommen, weil die Schadeninformationen der ausgewerteten Quellen i. Allg. dazu nicht ausreichen. Die Schadensangaben umfassen pauschal die Kosten für den Ersatz von zerstörten Einrichtungsgegenständen (Wiederbeschaffung), die Kosten für die Reparatur von Einrichtungsgegenständen, die Aufwendungen für den Personaleinsatz und das Material zur Wiederherrichtung der beschädigten Gebäudeteile.

4.2 Definition von Schaden

Bei einer Überflutung können Personenschäden (Tote, Verletzte, psychische Belastung), Sachschäden und sonstige Schäden, beispielsweise Umweltschäden und immaterielle Schäden wie Verlust von Kulturgütern auftreten.

Die Sachschäden können weiterhin unterschieden werden in Schäden an der Infrastruktur (Verkehr, Ver- und Entsorgung, Gewässer etc.), an Gebäuden (privat, öffentlich, Gewerbe und Industrie) und Schäden an den Einrichtungen bzw. am Warenbestand auftreten.

Zum Gebäude werden neben der eigentlichen Gebäudehülle und den Innenwänden auch die nicht beweglichen Einrichtungsgegenstände gezählt, wie fest verlegte Teppiche, Türen und Wandverkleidungen. Bei Gewerbe und Industrie zählen dazu fest installierte Maschinen und andere stationäre Produktionseinrichtungen. Gebäudeschäden können infolge Durchfeuchtung, Verschlammung und Verschmutzung (Öl), Aufprall des Wassers sowie Auftrieb von Gebäudeteilen, beispielsweise durch ansteigendes Grundwasser bei nicht ausreichendem Gewicht des Bauteils, auftreten.

Schäden an der Einrichtung bzw. am Warenbestand treten ebenfalls infolge Durchfeuchtung, Verschlammung und Verschmutzung auf, insbesondere bei Heizungen und Elektrogeräten im privaten Bereich können schon relativ geringe Wasserstandshöhen zu einer völligen Zerstörung führen.

Schäden an Gebäuden und Einrichtungsgegenständen können teilweise durch Trocknung oder Reparatur behoben werden, häufig ist eine Wiederbeschaffung der Einrichtungsgegenstände und der zerstörten Waren erforderlich.

Neben den Schadenskosten sind bei der Berechnung der Schäden infolge Hochwasser ebenfalls die Kosten des Katastropheneinsatzes der Hilfsdienste zu berücksichtigen.

4.3 Methoden der Schadenserfassung und die in URBAS anwendeten Methoden

Grundlegende und in Deutschland verbreitete Methoden der Erfassung von Schäden infolge Überschwemmung sind in Veröffentlichungen des DVWK (heute DWA) und des BWK (DVWK, 1985, BWK, 2001) beschrieben.

Generell wird in mikroskalige, mesoskalige und makroskalige Verfahren unterschieden. Mikroskalige Verfahren erfordern Schadensinformationen zu jedem geschädigten Objekt, die beiden anderen genannten Verfahren sind gröber und arbeiten mit (Nutzungs-) flächenbezogenen Ansätzen.

Bei den mikroskaligen Verfahren wird der Schaden – meistens getrennt nach Gebäudeschaden und Schaden an den Einrichtungsgegenständen – gutachterlich erfasst oder, wenn dieses nicht möglich ist, aus vorhandenen Schadenskalkulationen an vergleichbaren Objekten abgeleitet. In der Regel ist – neben den vorhandenen Einrichtungsgegenständen selbst – die Einstauhöhe des Wassers im Gebäude der maßgebliche Parameter für die Schadenhöhe. Auch Einstaudauer und Aufprallgeschwindigkeit des Wassers werden z. T. als Parameter für die Schadenskalkulation herangezogen.

Bereits durch die gewählte Methode der Schadensschätzung können relativ große Unterschiede in den berechneten Schadenssummen entstehen, je nachdem ob der Restwert der geschädigten Gegenstände berücksichtigt wird oder ausschließlich der Wiederbeschaffungswert bei einer erforderlichen Neuanschaffung angesetzt wird.

Für die Genauigkeit der Schadensschätzung ist weiterhin entscheidend, ob eine detaillierte Schadensaufnahme durch einen Gutachter erfolgte oder eine pauschale Schätzung mit Hilfe von Einheitswerten vorgenommen wird.

Schließlich können Schadenskosten von Ereignissen, die zu unterschiedlichen Zeiträumen stattgefunden haben, nicht ohne Weiteres miteinander verglichen werden; es muss eine Anpassung des Kostenwerts des Erhebungsjahrs an den Zeitwert des Auswertezeitpunkts erfolgen. Hiermit werden Wertsteigerungen und inflationsbedingte Änderungen zwischen Erhebungszeitpunkt und Auswertezeitpunkt berücksichtigt (LAWA, 1993 und Folgejahrgänge).

In der Regel liegen diese für eine Bewertung der Qualität der Schadensschätzung erforderlichen Informationen bei den für URBAS ausgewerteten Schadensberichten nicht vor.

Die Schadensberichte der erfassten Ereignisse enthalten in der Regel die Anzahl der geschädigten Objekte meistens ohne detaillierte Angaben zu den Einstauhöhen oder sonstigen Angaben zu Scha-

densarten. Schäden an besonders wichtigen Einrichtungen in der Kommune (Krankenhäuser, sonstige öffentliche Einrichtungen) werden in der Regel in den Schadensberichten detaillierter beschrieben.

In URBAS wurden folgende Methoden der Schadenserfassung angewendet:

- In zwei Kommunen wurde eine detaillierte Befragung der betroffenen Einwohner durchgeführt (vgl. Teil I, Abschnitt E).
- Bei allen Fallstudien wurde eine Auswertung und Digitalisierung der Einsatzorte der Feuerwehr vorgenommen, sodass zumindest der Typ, die Lage und die Anzahl der geschädigten Objekte bekannt waren (vgl. Teil I, Abschnitt E).
- Bei einigen Fallstudien lagen darüber hinaus auch die Einsatzberichte der Feuerwehren vor, in denen detailliertere Angaben zu den Schadensarten und der Schadensbehebung zu entnehmen waren.
- Generell wurden alle vorliegenden Quellen (Zeitungsberichte, Beschreibungen, Berichte der Verwaltungen etc.) zu den Ereignissen in Hinblick auf die Schäden ausgewertet.

Die Schadensangaben lassen sich häufig auch nicht kategorisieren. Beispielsweise können „Verluste an der Viehwirtschaft“ oder „Schäden auf Weihnachtsmärkten“ nicht ökonomisch sinnvoll bewertet werden.

Eine weitere Schwierigkeit der Schadensschätzung bei Sturzflutereignissen ist der Umstand, dass Schäden bei diesen Ereignissen häufig auf mehrere Ursachen zurückzuführen sind. Meistens handelt es sich um eine Kombination von Blitzschäden, Sturmschäden und Wasserschäden, wobei ein Sturmschaden in der Folge auch Wasserschäden auslösen kann.

Eine methodisch saubere Trennung ist auch aufgrund der meist recht globalen Schadensangaben nicht immer möglich.

4.3.1 Schadensschätzung für die Kategorie „Gebäude“

Für die Kategorie „Gebäude“ wurde eine Unterteilung in Wohnhäuser, in Gebäude von Gewerbe und Industriebetrieben sowie Gebäude der öffentlichen Einrichtungen vorgenommen. Es erfolgte keine Differenzierung in Gebäude- und Einrichtungsschaden, da die Datengrundlage dazu nicht ausreichend war. Auch hier wurden alle verfügbaren Unterlagen herangezogen: generell wurden die verfügbaren Pressemeldungen ausgewertet, im Einzelfall wurden auch verfügbare Unterlagen von Feuerwehr, THW etc. ausgewertet.

Schadenskategorie Gebäude: Wohngebäude

Für die Abschätzung von Einzelschäden an Gebäuden wurde Werte aus der HOWAS-Datenbank verwendet (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 1996).

Bei Sturzflutereignissen werden bei den Wohngebäuden überwiegend nur die Keller überflutet. So wurde in keinem Fall ein Wohngebäudeschaden (35.000 €) in der Schadensabschätzung für die betrachteten Fallstudien berücksichtigt.

Tabelle 4-1: Einheitskosten, mit denen Schadensberechnungen durchgeführt wurden

Kategorie	**Kosten in €**	**Anmerkung**
Mittlerer Schaden Keller	7.740	HOWAS, Einfamilienhaus, 1 m Überflutungshöhe
Mittlerer Schaden Wohngebäude	35.000	HOWAS, Einfamilienhaus, 1 m Überflutungshöhe
Tiefgarage mit KFZ	135.750	Annahme: 15 KFZ mit jeweils einem Wert von 9.000 Euro (Quelle: MURL (2000))
Tiefgarage ohne KFZ	5.750	

Schadenskategorie: Gebäude- und Sachschäden: Gewerbe und Industrie

Grundlage der Schadensermittlung der Sachschäden der Gewerbe- und Industriebetriebe einer Branche bildet das mittlere spezifische Anlagevermögen inklusive der Vorräte aller Betriebe dieser Branche, das aus Gewerbestatistiken ermittelt wurde (LDS NRW, 2000, S. 28 ff).

Der Schaden eines Betriebs wird in Abhängigkeit von der Objektgröße (soweit bekannt) mit einer pro Branche festgelegten Schadensfunktion ermittelt. Als maßgeblicher Wasserstand wurde - soweit keine genaueren Kenntnisse vorlagen - ein mittlerer Wasserstand von 35 cm angenommen.

Die Kosten des Produktionsausfalls bzw. des Umsatzausfalls der Betriebe wurden aus der mittleren jährlichen Bruttowertschöpfung der Betriebe berechnet, die tatsächlichen Ausfallzeiten wurden als Funktion des Wasserstands bei dem Ereignis bestimmt. Die Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen (1997) wurde aus der Veröffentlichung des Landesamts für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen „Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung und Arbeitnehmerentgelt in Nordrhein-Westfalen 1991 – 1999“ (LDS NRW 2000b) für alle Wirtschaftsbereiche entnommen.

Beispiel Handel

Das mittlere spezifische Anlagevermögen inklusive der Vorräte aller Betriebe (45.570 in Nordrhein-Westfalen) des Handels, (Handel, Instandhaltung und Reparatur) in Nordrhein-Westfalen betrug 1995 ca. 670.000 € (LDS 2000a, S.66, 67). Bei einem Schädigungsgrad von beispielsweise 5 % würde der mittlere Schaden ca. 33.400 € pro Betrieb betragen.

Die Bruttowertschöpfung (BWS) für den Dienstleistungsbereich Handel, Gastgewerbe und Verkehr betrug pro Jahr (1997) im Mittel pro Betrieb etwa 1,56 Mio. Euro oder 4.300 € pro Tag (LDS 2000a, S. 21). Die Größe der Unternehmen kann berücksichtigt werden, indem die BWS mit Faktoren in Abhängigkeit von der Größe des Unternehmens beaufschlagt wird. Bei einer Betriebsunterbrechung von einem Tag würde der Umsatzverlust demnach 4.300 € betragen.

Die Lohnkosten für den Helfereinsatz während des Ereignisses wurden mit 5.700 Euro ermittelt, sodass für Betriebe des Handels (mit den obigen Annahmen) insgesamt ein mittlerer Schaden von etwa 43.000 € ermittelt wurde. Dieser Wert für den Helfereinsatz stellt einen Pessimalwert dar, der für den Einsatz von vier Feuerwehrfahrzeugen mit fünf Einsatzkräften bei einer Dauer von 6 Stunden angesetzt wurde.

Schadenskategorie Gebäude: Öffentliche Einrichtungen

Mit einer vergleichbaren Vorgehensweise wurden die Gesamtschäden für die am häufigsten genannten Objekte der öffentlichen Einrichtungen abgeschätzt.

Dazu gehören:

- Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen
- Schulen und andere soziale und öffentliche Einrichtungen
- Bahnhöfe, Flughäfen
- Schwimm- und Sportplätze, Sporthallen, Grünanlagen

4.3.2 Schadensschätzung für die Kategorie „Infrastruktur/Verkehr“

Zu dem Bereich der öffentlichen Infrastruktur zählen:

- Verkehrswege (Straßen, Schienen, Flughäfen, Wasserwege)
- Einrichtungen der Ver- und Entsorgung (Wasser-, Strom-, Gas-, Fernwärme- und Kommunikationsleitungen, Abwasserleitungen)
- (kleine) Gewässer

Schäden treten auf durch Verschlammung, teilweiser Schädigung oder Zerstörung der Einrichtungen. Durch die Betriebsunterbrechung können Folgeschäden (Verkehrsbehinderungen, Verkehrsunfälle etc.) auftreten.

Tabelle 4-2: Schadenskategorie Straßen- und Schienenschäden

Straßen	**Kalkulationsannahme**	**Durchschnittlicher Gesamtschaden**
Straßen unterspült, zerstört	300 m² betroffene Fläche, falls keine anderen Informationen vorlagen	35.000 Euro
Straßen/Tunnel/Unterführung unter Wasser	Pumpkosten	3.800 Euro
Straßen/Tunnel/Unterführung unter Geröll/Schlamm	Räumungskosten, Einsatz schweres Baggergerät	4000 Euro
Schienen mit Geröll und Schlamm überdeckt	Räumungskosten	4000 Euro
Schienen unterspült	150 m² betroffene Schienenfläche, wenn keine anderen Angaben erhältlich waren	400.000 Euro
Verklausungen von Brücken und Durchlässen	Lohnkosten	120 Euro pro Verklausung
Brücken	Vollständige Zerstörung	250.000 Euro (Quelle: Hydrotec Schadendatenbank Schadensfunktionen.xls, Infrastruktur
Stege	Vollständige Zerstörung	25.000 Euro

Ver- und Entsorgungsleitungen

Die Kosten für Reinigung – soweit möglich -, Reparatur oder Neubau von Versorgungsleitungen wurden auf der Grundlage von Angaben nach Kiese und Leineweber (Kiese und Leineweber, 2001, S. 67 ff) angenommen.

Die Reparatur von geschädigten Leitungen kann demnach im Mittel mit 50 € pro m, der Neubau zwischen 500 und 1000 € pro m angesetzt werden.

Kraftfahrzeuge

Der mittlere Wert eines Kraftfahrzeugs wurde entsprechend der Untersuchung „Hochwasserschadenspotenziale am Rhein in Nordrhein-Westfalen“ (MURL, Februar 2000) mit einem Vermögenswert (Zeitwert) von 9.000 Euro angenommen. Bei der Angabe „zerstörte Fahrzeuge“ wurde ein Schädigungsgrad von 100 % angenommen, bei der Angabe „beschädigte Fahrzeuge“ 50 % Schädigungsgrad. Bei einem Wasserstand von 50 cm kann ein Schaden von etwa 20 % des Vermögenswertes angesetzt werden, bei 35 cm Wasserstand beträgt der Schaden etwa 4 % vom Vermögenswert.

4.3.3 Kosten des Produktionsausfalls

Die Bruttowertschöpfung wird zur Ermittlung der Verluste durch Produktionsausfall bzw. Betriebsunterbrechung herangezogen. Die Bruttowertschöpfung ergibt sich aus dem Gesamtwert der im Produktionsprozess erzeugten Waren und Dienstleistungen (Produktionswert), abzüglich des Werts der im Produktionsprozess verbrauchten, verarbeiteten oder umgewandelten Waren und Dienstleistungen. Nach ESVG 95 (Europäisches System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen) wird die BWS zu Herstellungspreisen ausgewiesen.

Die Bruttowertschöpfung wurde in Abhängigkeit von Wirtschaftszweig und -abteilung und der Größe der Objekte ermittelt. Die Größe der Objekte wird über einen Faktor berücksichtigt. Die Einteilung in die Gruppen „klein“, „mittel“ und „groß“ erfolgte nach Einheitswerten in Euro.

4.3.4 Kosten der Einsätze der Hilfsdienste

Bei Schätzung der Einsatzkosten beim Einsatzmanagement wird angenommen, dass die Hilfeleistungen der Feuerwehren und des THW die Unterhaltung der Feuerwehr sowie die Erstattung von Lohnausfallkosten bzw. Lohnfortzahlung beinhalten.

Die Brandschutz-/Feuerwehrgesetze der Länder sowie die Feuerwehrsatzungen der Gemeinden haben hierzu unterschiedliche und z. T. widersprüchliche Regelungen zur Kostenerstattung. Für die Beseitigung von Sturm- und Wasserschäden sind teilweise Kostenersatzansprüche vorgeschrieben.

Grundsätzlich gilt, dass für die Einsätze bei Brand, Rettung von Leben/Gesundheit (Mensch und Tier) und bei technischer Hilfeleistung bei Not- und Unglücksfällen, Naturereignissen, Katastrophen und Notständen keine Leistungen berechnet werden. Für andere Leistungen kann Schadenersatz verlangt werden, beispielsweise wenn kein Katastrophenalarm und kein Notstand ausgegeben wurden. Diese trifft bei den in URBAS erfassten Ereignissen in den meisten Fällen zu. Allerdings wird oft auf Kostenersatz in Fällen von „unbilliger Härte“/ “Inanspruchnahme von Billigkeit“ verzichtet.

Für URBAS wurden pauschale Annahmen in Abhängigkeit von der Anzahl der Feuerwehreinsätze bzw. Notrufe (1 Einsatz = mindestens 1 überfluteter Keller als Schaden) und der Einsatzkräfte (= Lohnausfallkosten) getroffen.

Die Lohnkosten beziehen sich auf den mittleren Stundensatz von Einsatzkräften (überwiegend von Feuerwehrleuten) und sind ein Mittelwert von Stundensätzen, die in diversen Feuerwehrsatzungen aufgeführt sind und ausgewertet wurden.

4.4 Untersuchung der Schäden der Ereignisse der Datenbank

4.4.1 Interpretation und Festlegung der Mengenangaben

In der Regel sind in den vorhandenen Ereignisbeschreibungen keine exakten Mengenangaben enthalten. Häufig handelt es sich um erste Schätzungen, die auf der Basis der Angaben der Feuerwehr und der Polizei berichtet werden. Um die Mengenangaben für die Datenbank auswertbar zu machen, mussten diese unscharfen Angaben in Zahlen ausgedrückt werden. Dabei wurden die Schätzungen eher in den niedrigeren Bereich angesiedelt. In der folgenden Tabelle sind die gewählten Zahlenangaben für die beschreibenden Mengenangaben aufgeführt.

Tabelle 4-3: Zahlenangaben für die beschreibenden Mengenangaben

Begriff	**Festlegung**	**Begriff**	**Festlegung**
Einige	10	Knietief	50 cm
Wenige	5	Meterhoch	100 cm
Mehrere	20	mehr als ein Meter	125 cm
Viele	50	mehr als 1	2
Dutzende	25	mehr als 40	45
Hunderte	200	mehr als 100	125
Etliche	100	mehr als 150	175
Unzählige	300	mehr als 220	250
Zahllose	300	mehr als 700	750
Vielzahl	50		
Zahlreiche	50		
Zahlreiche, wenn zugleich mehrere Orte betroffen sind	500		

Unscharfe Mengenangaben sind auch in dem Bereich der Schadensbeschreibungen und Schätzungen der Schadenshöhe vorhanden. In der folgenden Tabelle sind ebenfalls Zahlenangaben für die beschreibenden Mengenangaben festgelegt.

Tabelle 4-4: Zahlenangaben für die beschreibenden Mengenangaben der Schäden

Begriff	**Festlegung**	**Begriff**	**Festlegung**
Mehrere Verletzte	5	Schaden in Millionenhöhe	2.000.000
Mehrere Tote	5	mehrere Millionen	2.000.000
Mehrere Tote und Verletzte	10	Millionenschäden	2.000.000
Tausende	2.000	zweistellige Millionenhöhe	11.000.000
Mehrere Hunderttausend	200.000	mehrere 100 TDM / Hunderttausende	200.000
mehr als 1 Million	1.500.000	mehr als 10 Millionen	11.000.000
Millionenschaden	2.000.000		

4.4.2 Berechnung der Schäden

Die ermittelten Einheitskosten der Schäden wurden in der Datenbank abgelegt. Sie werden generell auf alle Schadensangaben einheitlich angewendet. Insbesondere die weiter zurückliegenden Ereignisse haben allerdings z. T. überhaupt keine Schadensangaben. Diese sind bei der Auswertung nicht berücksichtigt worden, auch nicht mit anderen pauschalierten Ansätzen.

In die Ereignisdatenbank wurde ein Algorithmus zur Berechnung der Schadenssummen eingebaut mit dem Ziel, eine deutschlandweite monetäre Schätzung der Schäden infolge von Starkregenereignissen und Sturzfluten erstellen zu können.

Zunächst wurden für die untersuchten 15 Fallstudien (Teil I, Abschnitt B) typische Wasserschäden selektiert, kategorisiert und ihre Schadenshöhe geschätzt. Grundlage der Schadensschätzung bildeten ausführliche Internet- und Literaturrecherchen in den Bereichen Baukosten und Bauschäden. Weiterhin wurden Veröffentlichungen von Versicherungen und Ergebnisse der Fallstudieninterviews berücksichtigt. Auf dieser Grundlage wurden Einheitskosten für Schäden festgelegt. Die Einheitskosten können - wenn bessere Erkenntnisse vorliegen oder Sensibilitätsanalysen durchgeführt werden sollen - ersetzt werden.

Die Schadensschätzungen wurden den Vertretern der Kommunen, die bei den Fallstudien mitgewirkt haben, zur Verifizierung bereitgestellt.

In einem zweiten Schritt wurden die auf diese Weise verifizierten Werte modifiziert auf alle Ereignisse der URBAS-Ereignisdatenbank übertragen.

5 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

5.1 Alle Ereignisse und Sturzflutereignisse

Die Datenerhebung wurde Ende September 2007 abgeschlossen. Den Datenbestand der Ereignisdatenbank zeigt die Tabelle 5-1.

Tabelle 5-1: Datenbestand Ende 2007

Informationsart	Datenumfang
Allgemeine Informationen	420
Ortsangaben: Region	2614
Ortsangaben: Postleitzahl	2040
Angaben zu Niederschlägen	564
Angaben zu Abflüssen und Überflutungen	231
Schadensangaben	1908
Angaben zu Maßnahmen	568
Links	1213

Der aktuelle Stand der Datenbank beträgt 420 Ereignisse, die einen Zeitraum von fast 30 Jahren abdecken. Davon sind 299 - deutlich mehr als die Hälfte aller Ereignisse - Sturzflutereignisse (Ereignis im Zeitraum April bis September mit Kennzeichnung Gewitter und/oder Starkregen und/oder Sturzflut).

Die erfassten Ereignisse wurden nach verschiedenen Kriterien ausgewertet. Auswertekriterien sind die räumliche und zeitliche Verteilung (überregional, Einzelereignis), der Niederschlagstyp, die Niederschlagssummen im Vergleich mit Bemessungswerten, die Schadenstypen, die Schadenhäufigkeiten und –summen pro Ereignis sowie die herausgegebenen Warnungen vor dem Ereignis.

5.2 Häufigkeit und räumliche Verteilung der Ereignisse

Die räumliche Verteilung der erfassten Ereignisse und die Häufigkeit des Auftretens an einem Ort (nur verortete Ereignisse) zeigt die folgende Abbildung 5-1.

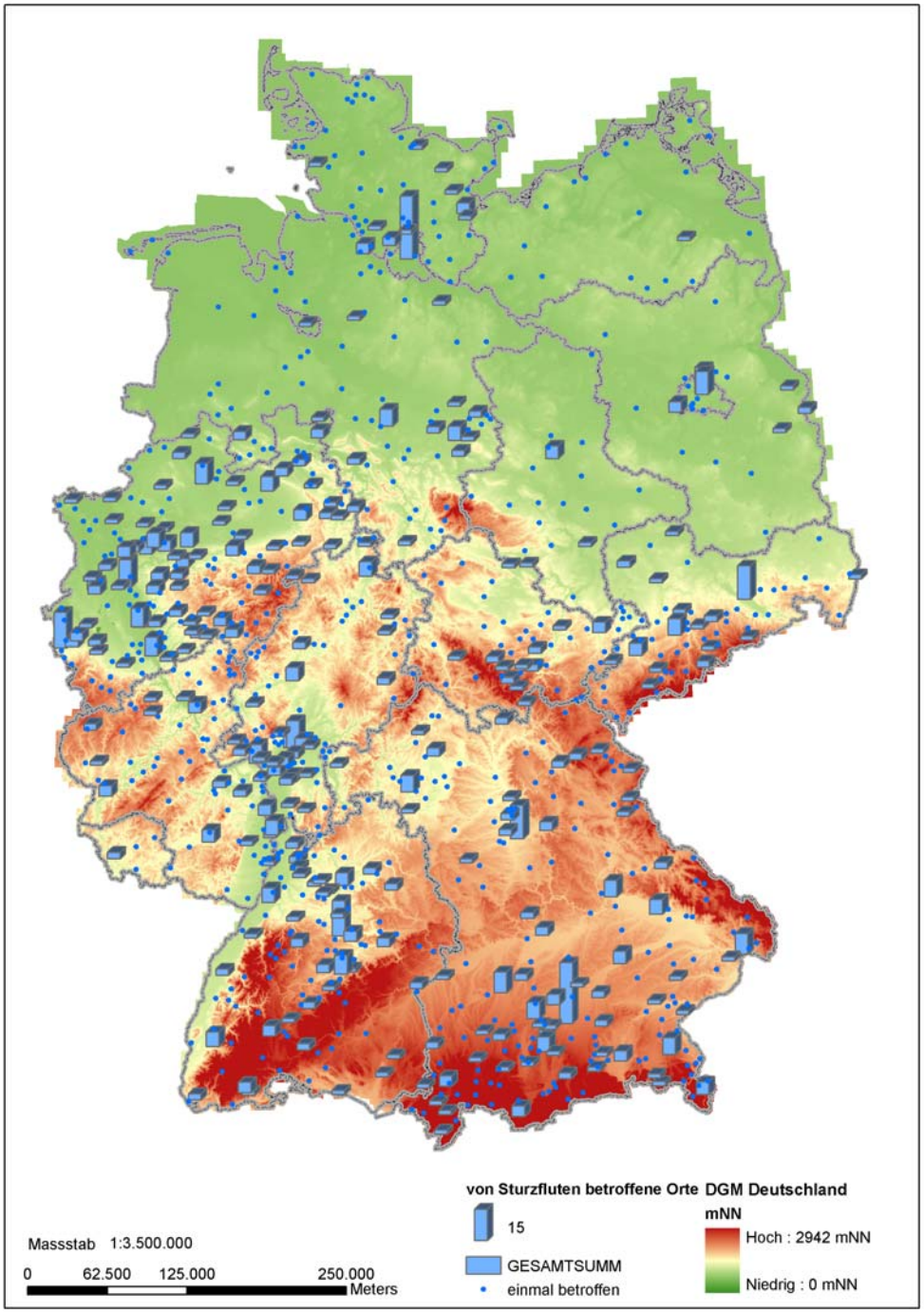


Abbildung 5-1: In der URBAS-Ereignisdatenbank erfasste Sturzflutereignisse (Stand 31.09.2007)

Räumliche Schwerpunkte mit häufigen Ereignissen sind die Großstädte Hamburg, Berlin, München, Frankfurt, Stuttgart und Hannover, die Ballungsräume in Nordrhein-Westfalen, die Orte entlang der Rheinschiene und der Alpenvorraum.

Bei einem Ereignis werden im Durchschnitt von sechs Orten Schäden gemeldet, es können an einem Ereignistag aber wesentlich mehr Orte betroffen sein (Tabelle 5-2).

Tabelle 5-2: Ereignisse mit der größten Anzahl genannter betroffener Orte

Ereignis_Id	Datum	Alle Orte	mit PLZ	freie Ortsangabe
20070822_2	21.08.2007	70	37	33
20070812_2	09.08.2007	56	23	33
20060629_2	25.06.2006	48	39	9
20070611_2	10.06.2007	44	29	15
20070823_1	22.08.2007	41	21	20
20040723_01	23.07.2004	38	27	11
20060608_1	29.07.2005	36	25	11
20070621_7	21.06.2007	31	16	15
20040708_01	08.07.2004	30	18	12

Die Verteilung nach Bundesländern zeigt die Abbildung 5-2. In den Flächenstaaten Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen treten die meisten Ereignisse auf.

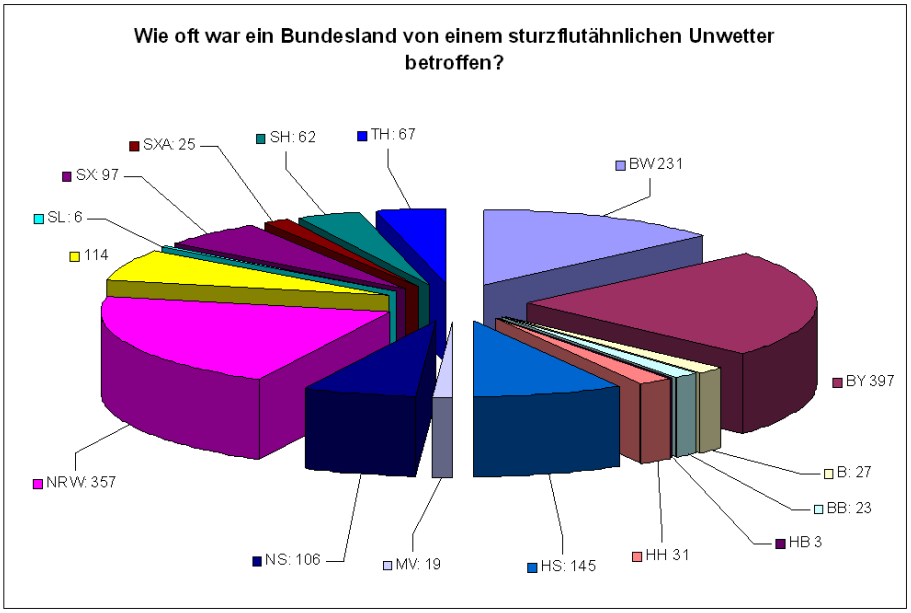


Abbildung 5-2: Verteilung nach Bundesländern

Bezogen auf die jeweilige Landesfläche der Bundesländer ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle 5-3: Verteilung der Ereignisse bezogen auf die Landesflächen der Bundesländer

Bundesland	Flächen (gerundet)	Ereignisse	Potenzielle Anzahl Ereignisse bei Annahme Gleichverteilung nach Fläche	Differenz Ereignisse zu pot. Anzahl Ereignisse	Über bzw. unter Durchschnitt
	km²	Anzahl	Anzahl	Anzahl	%
Baden-Württemberg	35.752	231	171	60	35
Bayern	70.549	397	338	59	17
Berlin	892	27	4	23	532
Brandenburg	29.478	23	141	-118	-84
Bremen	404	3	2	1	55
Hamburg	755	31	4	27	757
Hessen	21.115	145	101	44	43
Mecklenburg-Vorpommern	23.179	19	111	-92	-83
Niedersachsen	47.620	106	228	-122	-54
Nordrhein-Westfalen	34.084	357	163	194	119
Rheinland-Pfalz	19.853	114	95	19	20
Saarland	2.569	6	12	-6	-51
Sachsen	18.415	97	88	9	10
Sachsen-Anhalt	20.446	25	98	-73	-74
Schleswig-Holstein	15.763	62	75	-13	-18
Thüringen	16.172	67	77	-10	-13
Gesamt	357.046	1710	1.708		

Es wird deutlich, dass aus den Flächenländern Nordrhein-Westfalen, Hessen, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Bayern und Sachsen sowie aus den Städten Hamburg, Berlin und Bremen überdurchschnittlich viele Schadensmeldungen vorliegen, während aus den anderen Bundesländern eine unterdurchschnittliche Anzahl Ereignisse gemeldet wurden.

Tabelle 5-4: Ereignisanzahl bezogen auf den Siedlungsflächenanteil der Länder
(Siedlungsflächen = Gebäude und Freifläche, Erholungsfläche und Verkehrsfläche)
(1) Quelle der Flächenangaben: Statistisches Bundesamt, 2007

	Fläche	Ereignisse	Siedlungs- und Verkehrsfläche (1)	Potenzielle Anzahl Ereignisse bei Annahme Gleichverteilung nach Siedlungsfläche	Differenz Ereignisse zu pot. Anzahl Ereignisse	Über bzw. unter Durchschnitt
	km²	Anzahl	km²	Anzahl	Anzahl	%
Baden-Württemberg	35.752	231	486.992	183	48	27
Bayern	70.549	397	760.700	285	112	39
Berlin	892	27	61.928	23	4	16
Brandenburg	29.478	23	253.564	95	-72	-76
Bremen	404	3	22.828	9	-6	-65
Hamburg	755	31	44.220	17	14	87
Hessen	21.115	145	319.671	120	25	21
Mecklenburg-Vorpommern	23.179	19	167.864	63	-44	-70
Niedersachsen	47.620	106	623.364	234	-128	-55
Nordrhein-Westfalen	34.084	357	736.961	276	81	29
Rheinland-Pfalz	19.853	114	274.061	103	11	11
Saarland	2.569	6	51.675	19	-13	-69
Sachsen	18.415	97	214.816	81	16	20
Sachsen-Anhalt	20.446	25	210.108	79	-54	-68

	Fläche	Ereignisse	Siedlungs- und Verkehrsfläche (1)	Potenzielle Anzahl Ereignisse bei Annahme Gleichverteilung nach Siedlungsfläche	Differenz Ereignisse zu pot. Anzahl Ereignisse	Über bzw. unter Durchschnitt
	km²	Anzahl	km²	Anzahl	Anzahl	%
Schleswig-Holstein	15.763	62	188.368	71	-9	-12
Thüringen	16.172	67	144.955	54	13	23
Gesamt	357.046	1710	4.562.075	1.712		

Ein ähnliches Bild, aber mit deutlich ausgeglicheneren Abweichungen insbesondere bei den Stadtstaaten, ergibt sich, wenn man die Anzahl der Ereignisse auf die Siedlungs- und Verkehrsfläche der Länder bezieht. Nur bei Bremen und bei Thüringen ergibt sich eine Umkehrung der Aussage.

Aus der Analyse lassen sich zwei Ergebnisse ableiten:

- Auch bei Berücksichtigung der Flächengröße der Länder ergibt sich keine etwa gleichmäßige Verteilung der Auftretenshäufigkeit von Schadensereignissen, sondern es sind signifikante Unterschiede zu erkennen.

- Diese Unterschiede sind, wenn auch nicht in einem so starken Maß, auch feststellbar, wenn die Anzahl der Ereignisse auf die Siedlungs- und Verkehrsfläche der Länder bezogen wird.

Die am häufigsten betroffenen Orte sind Hamburg, München, Berlin, Frankfurt am Main, Aachen, Köln, Stuttgart, Nürnberg, Dresden, Düsseldorf, Hannover, Bonn, Lübeck, Reutlingen, Augsburg, Gelsenkirchen, Fürstenfeldbruck, Würzburg, Karlsruhe und Münster.

Die Verteilung des Auftretens der Ereignisse im Jahr 2002 insgesamt und nur im August 2002 zeigt die folgende Abbildung 5-3.

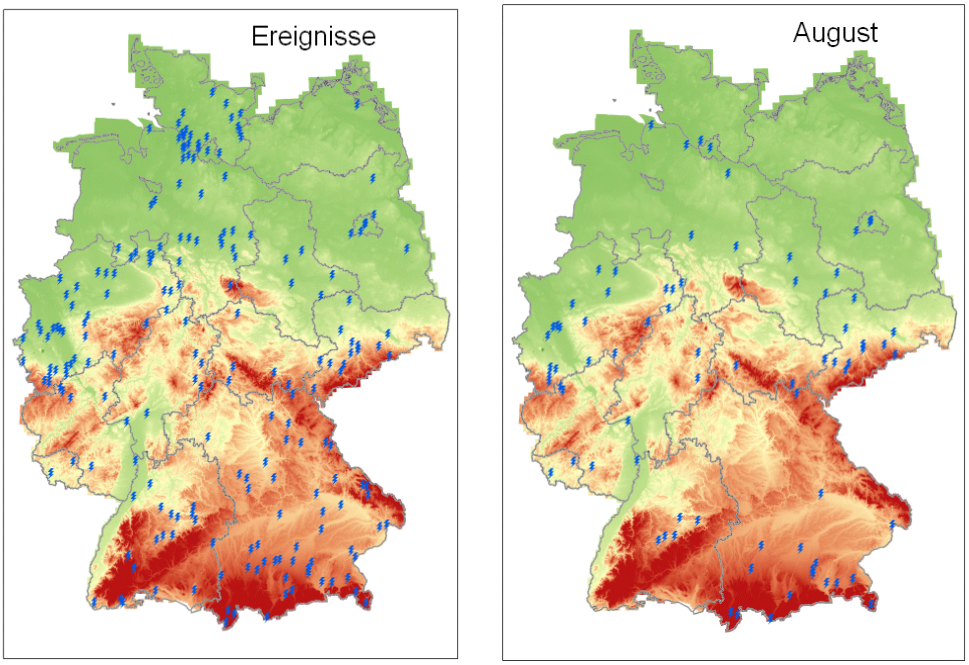


Abbildung 5-3: Ereignisse im Jahr 2002 und im August 2002

5.3 Zeitliche Verteilung

Die Häufigkeit des Auftretens der erfassten Ereignisse über den Erfassungszeitraum zeigt die Abbildung 5-4. Es werden zum einen die Anzahl aller Ereignisse gezeigt, zum anderen die Zuordnung der Ereignisse nach dem Ereignistyp Gewitter, Starkregen und Sturzfluten, wie sie in dem zugrunde liegenden Datenmaterial eingeordnet waren. Die Zunahme der erfassten Ereignisanzahl in jüngerer Zeit kann auch auf eine vollständigere Erfassung zurückzuführen sein, eine absolute Zunahme kann daraus nicht sicher abgeleitet werden.

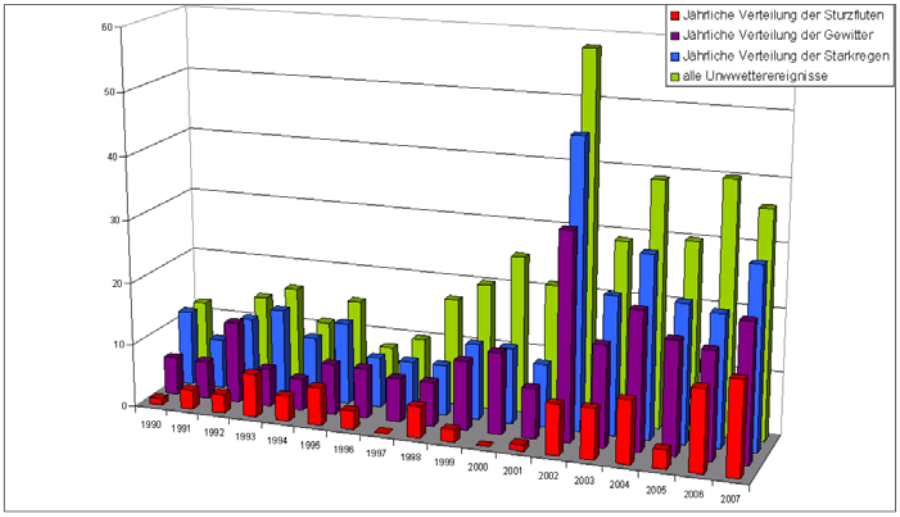


Abbildung 5-4: Ereignisse im Erhebungszeitraum

Die Verteilung des Auftretens der Ereignisse nach Ereignistypen und nach Auftretenshäufigkeit in den Monaten zeigt die folgende Abbildung 5-5.

Unwetter und Starkregenereignisse können im ganzen Jahr auftreten, der maßgebliche Zeitraum für diese Ereignisse ist aber von Mai bis September. Per Definition wurden die Ereignisse, die außerhalb dieses Zeitraums liegen, nicht als Sturzflutereignisse gekennzeichnet.

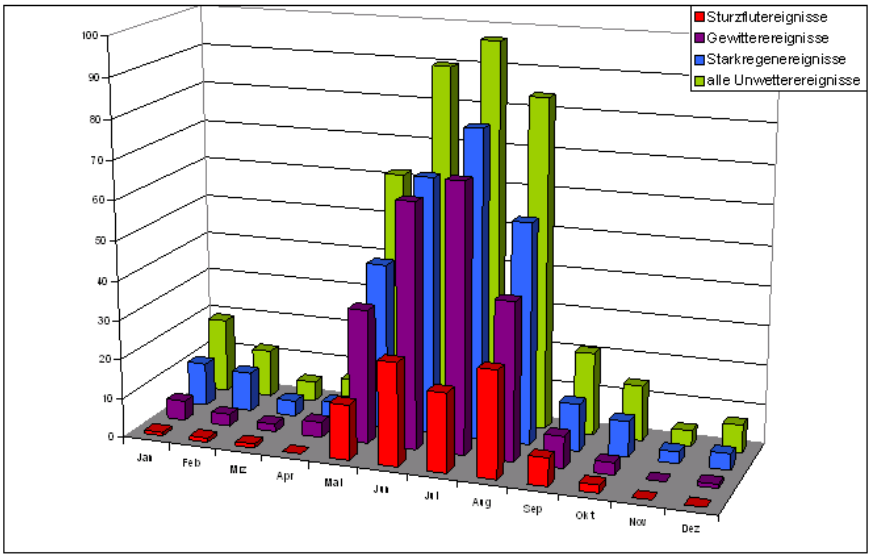


Abbildung 5-5: Ereignisse nach Auftretenshäufigkeit in den Monaten

5.4 Niederschlag bei Ereignissen

5.4.1 Ereigniszuordnung und Intensitäten

Sofern zu den Ereignissen Niederschlagsangaben vorlagen oder beschafft werden konnten, wurden sie in die Datenbank aufgenommen.

Die räumlich-zeitliche Zuordnung und die Definition „Ereignis“ stellt ein Problem dar. Die folgende Abbildung 5-6 zeigt drei Ereignisse, die jeweils an einem Tag stattgefunden haben und die auf jeweils unterschiedliche Genesen zurückgeführt werden konnten. Für die in die Grafik eingetragenen Orte sind in den Quellen Schäden angegeben worden.

Die Problematik liegt darin, diese Ereignisse so zu differenzieren, dass sie als Einzelereignisse definiert werden können. Um dieses zu bewerkstelligen, müssten jeweils meteorologische Analysen durchgeführt werden, mit denen beispielweise einzelne Gewitterzellen oder auslösende Frontensysteme lokalisiert werden könnten.

Dies war im Rahmen dieses Vorhabens nicht möglich und in Bezug auf die Fragestellungen auch nicht zwingend erforderlich, ist aber bei der Interpretation der Auswertungsergebnisse zu beachten.

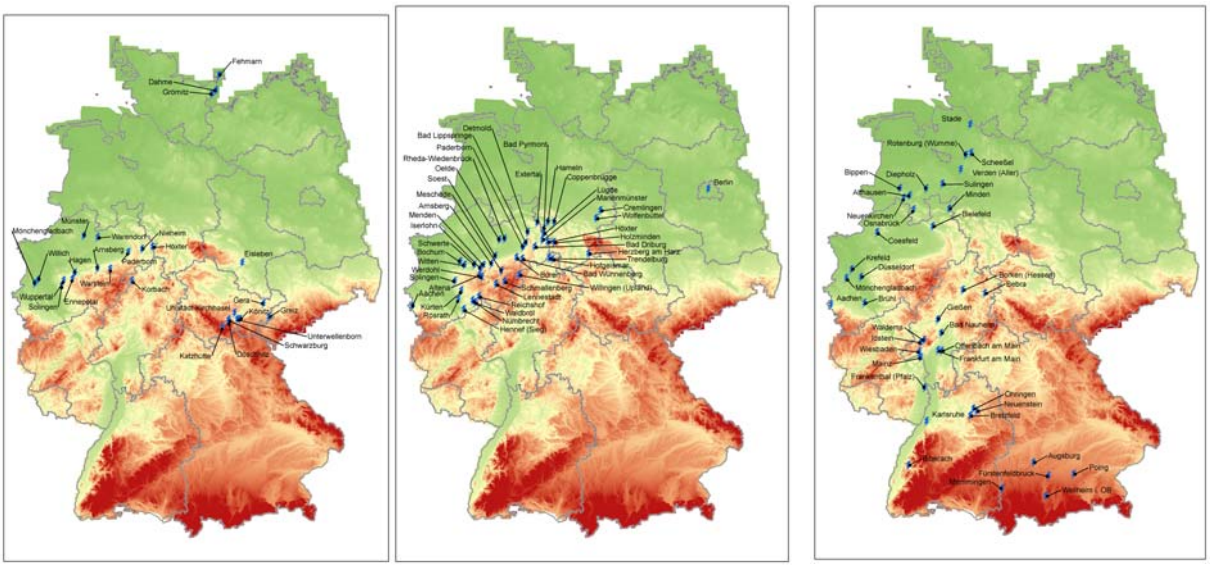


Abbildung 5-6: Niederschlagsereignisse am 9.8.2007 (links), 21.8.2007 (Mitte) und 25.6.2008 (rechts)
Quelle: eigene Abbildung

Die Datenbank eröffnet die Möglichkeit, die Niederschlagsdaten nach bestimmten Suchkriterien auszuwerten. Die folgende Abbildung zeigt beispielsweise die Niederschlagsdaten der Ereignisse mit bekannten Niederschlagsintensitäten in Nordrhein-Westfalen. Ereignisse mit bekannten Niederschlagsintensitäten liegen für bundesweit 173 verschiedene Orte in der Datenbank vor.

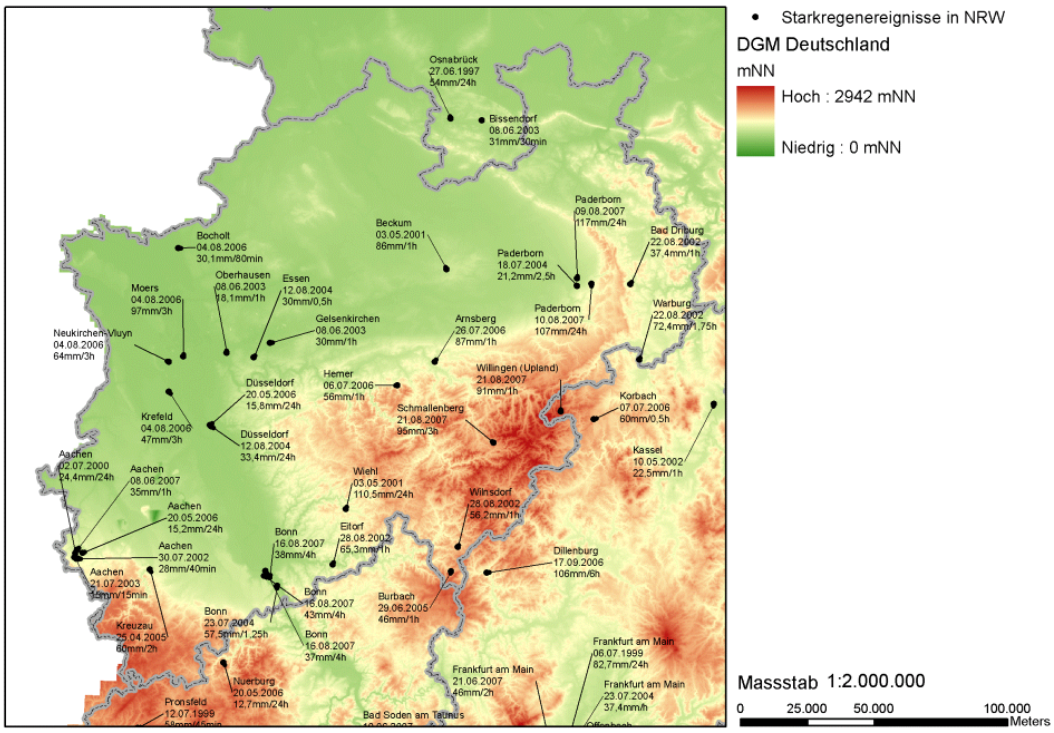


Abbildung 5-7: Niederschlagsmengen und Intensitäten für Nordrhein-Westfalen

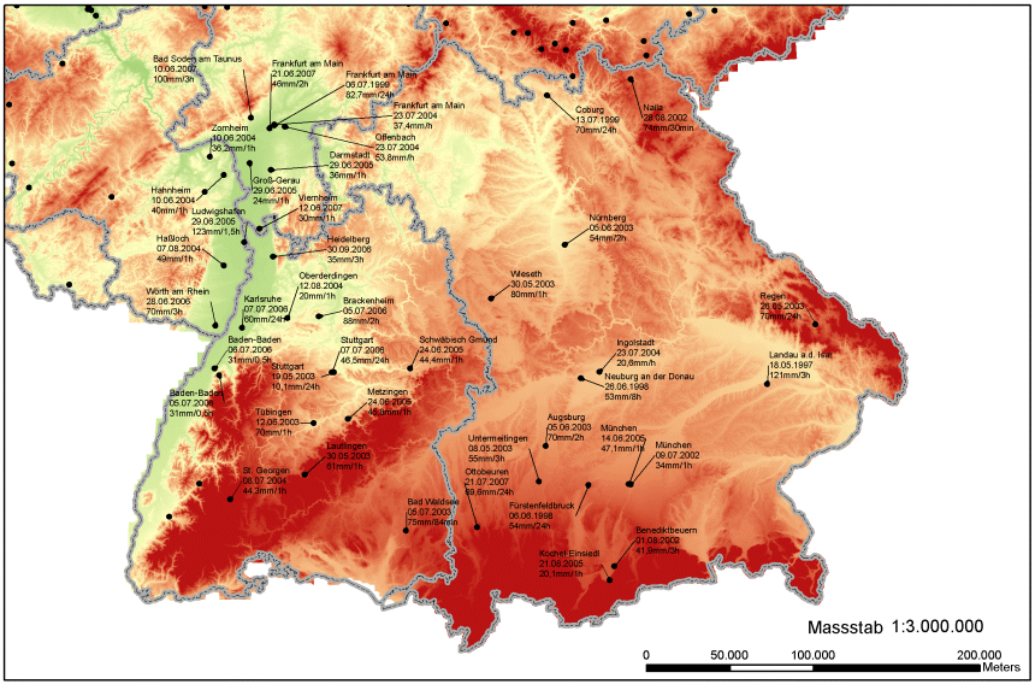


Abbildung 5-8: Niederschlagsmengen und Intensitäten für Bayern und Baden-Württemberg

Die Auswertung aller Intensitäten bezogen auf eine Stunde oder andere Niederschlagsdauern ermöglicht Vergleiche mit den Niederschlägen des KOSTRA-Atlasses (DWD, 2005).

5.4.2 Vergleich mit den in Deutschland verwendeten Bemessungsniederschlägen

Die in der Datenbank erfassten Niederschläge wurden mit den in Deutschland häufig verwendeten Bemessungsniederschlägen des KOSTRA-Atlasses (DWD, 2005) und des Maximierten Gebietsniederschlags (MGN) (DWD, 1997) verglichen. Eine Beschreibung dieser Veröffentlichungen befindet

sich in Teil I, Abschnitt D dieser Untersuchung. Für diese Darstellungen wurden die KOSTRA-Karten insofern vereinfacht, als die feinere Intensitätsabstufung des Atlasses auf deutlich weniger Klassen zusammengefasst wurde. Der Vorteil dieser Darstellung ist, dass die regionalen Verteilungsmuster der Niederschlagsintensitäten besser zu erkennen sind.

Bezüglich der KOSTRA-Werte kann dieser Vergleich für verschiedene Jährlichkeiten und Dauerstufen durchgeführt werden. Die folgende Abbildung 5-9 zeigt die Ereignisse, bei denen die Niederschlagswerte die Tabellenwerte aus KOSTRA für die Niederschlagsdauer 60 Minuten und Wiederkehrzeit 1 Jahr und 100 Jahre überschritten haben.

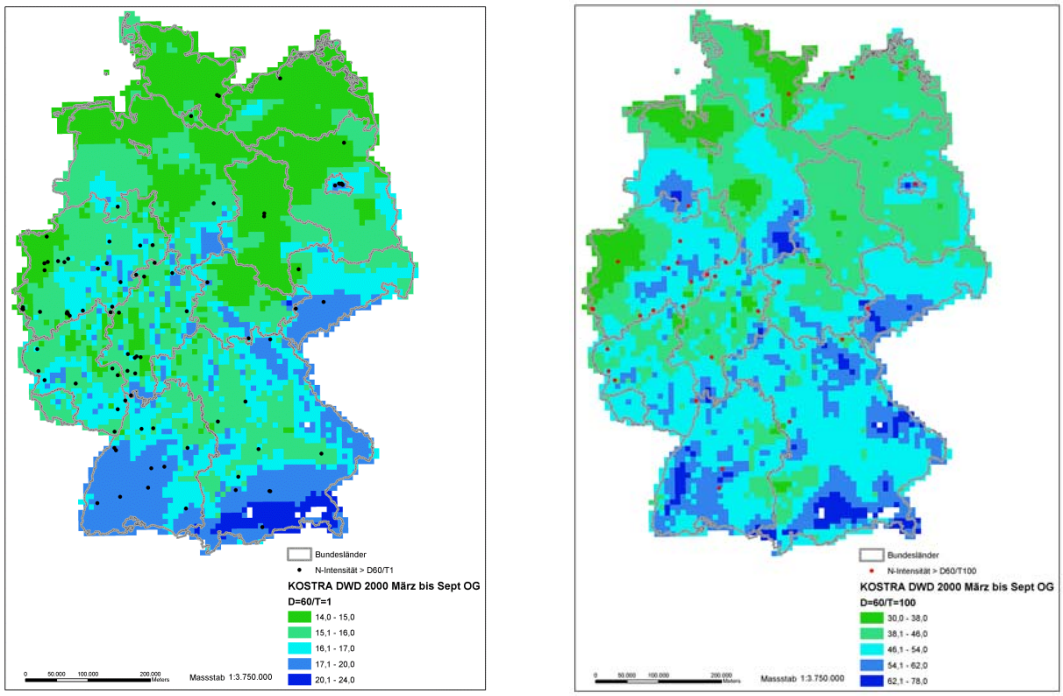


Abbildung 5-9: Ereignisse, bei denen die angegebenen Niederschlagswerte die Tabellenwerte aus KOSTRA für Niederschlagsdauer 60 Minuten und Wiederkehrzeit 1 Jahr (links) und 100 Jahre (rechts) überschritten haben

Bezüglich der KOSTRA-Werte wurde dieser Vergleich für verschiedene Jährlichkeiten und Dauerstufen durchgeführt, was jedoch hier nicht im Einzelnen dokumentiert wird. Die Darstellungen und Auswertungen machen deutlich, dass viele der erfassten Ereignisse - soweit Niederschlagsangaben vorliegen - die KOSTRA-Werte für seltene Wiederkehrzeiten, auch für 100-jährlich, überschreiten.

Die folgende Abbildung 5-10 zeigt die Niederschlagswerte der Ereignisse im Vergleich zu den Werten des MGN. Der MGN wird nach der Definition des DVWK als diejenige Niederschlagshöhe verstanden, die in einem unendlich langen Zeitraum bei stationären klimatischen Verhältnissen zwar erreicht werden kann, aber nie überschritten wird (DVWK, 1997).

Die Abbildung des MGN in der Karte bezieht sich auf die Sommerzeit, Juni bis August, für die Dauerstufe 1 Stunde und eine Gebietsgrößenstufe von 25 km². Die Karte wurde so aufbereitet, dass einerseits die ISO-Linien des MGN gleicher Höhe, zum anderen das Niederschlagsmuster des KOSTRA-Atlasses für die Wiederkehrzeit 100 Jahre und die Niederschlagsdauer 1 Stunde zu erkennen sind.

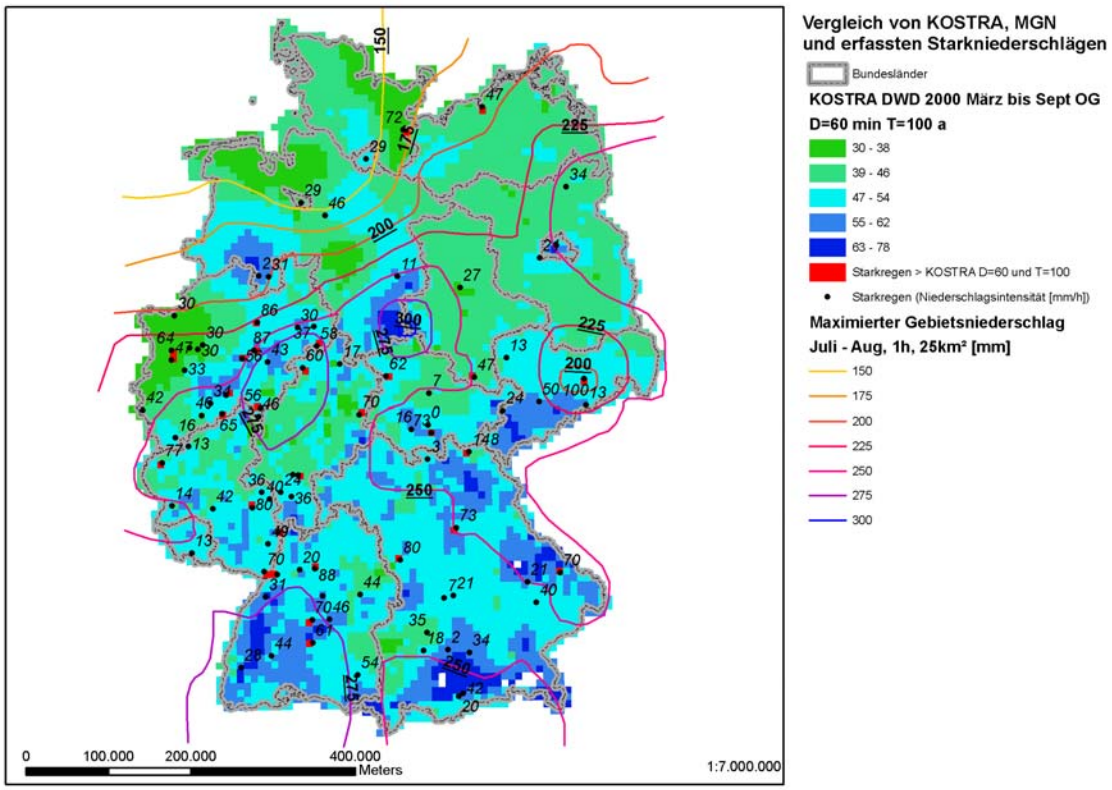


Abbildung 5-10: Niederschlagssummen bei den Ereignissen im Vergleich zu den Werten des MGN und KOSTRA-DWD 2000 für die Wiederkehrzeit 100 Jahre (eigene Darstellung)

Die Auswertung verdeutlicht, dass bei einigen URBAS-Ereignissen die Niederschlagshöhen bis zu 2/3 der MGN-Werte erreichen.

5.5 Ergebnisse der Schadensauswertung

5.5.1 Auswertung nach Schadenskategorien

Die Vorgehensweise der Erfassung und Auswertung der Schäden der Ereignisdatenbank ist in Kapitel 4 detailliert beschrieben.

Wenn weder eine Schadensumme als Schätzung in den vorhandenen Informationsmaterialien noch die Anzahl der betroffenen Objekte angegeben war, wurde keine Schätzung abgegeben.

Im Zeitraum zwischen 1977 und 2007 haben sich in den Monaten April bis September 299 Ereignisse mit den Attributen „Sturzflut“ oder „Starkregen“ oder „Gewitter“ ereignet.

Für die Schadenschätzung konnten 206 Ereignisse aus der Gesamtzahl von 299 Ereignissen (ca. 70 %) berücksichtigt werden. Für diese Ereignisse lagen insgesamt 1897 Schadenmeldungstypen, davon 1561 Schadenmeldungstypen für Sturzflutereignisse, vor. Ein Schadenmeldungstyp wie beispielsweise „überflutete Keller“ kann sich auf mehrere Orte beziehen, d. h. dass die „tatsächliche“ Anzahl der gemeldeten Schäden höher sein kann.

Die Abbildung 5-11 zeigt die Häufigkeit der Nennungen für die Schadenskategorien „Personen, Gebäude, Infrastruktur, Verkehr, Leitungen, Sonstige und „unbekannt“.

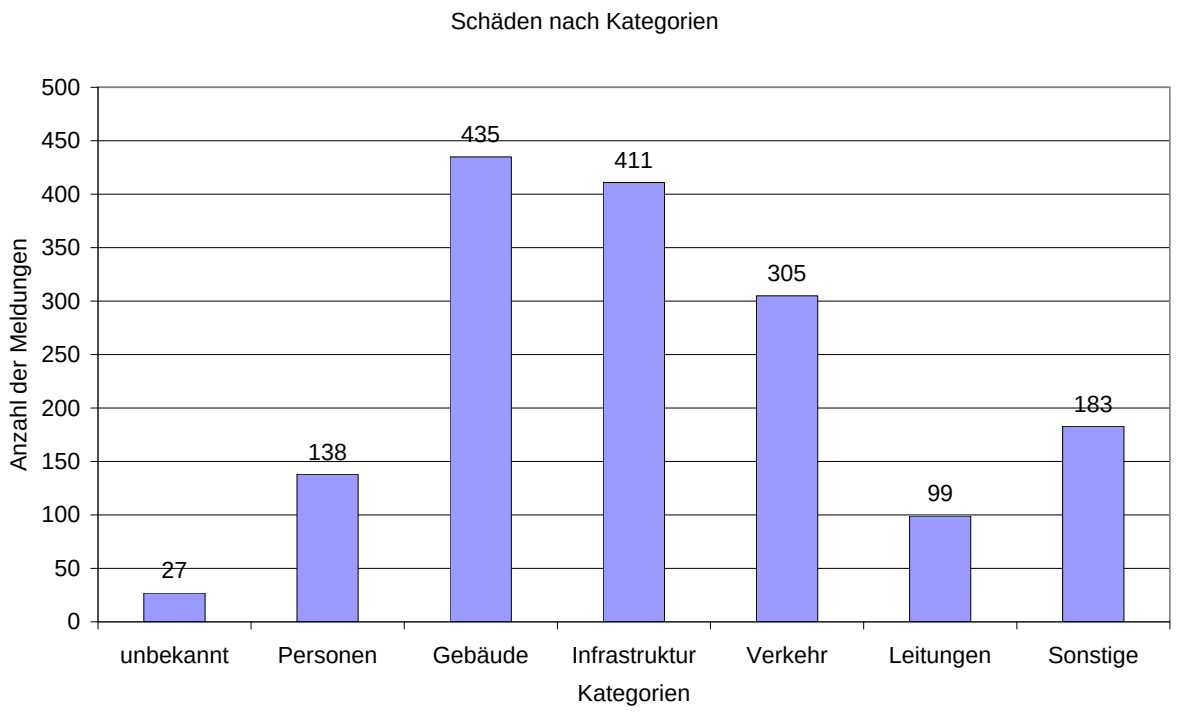


Abbildung 5-11: Häufigkeit der Nennungen für die Schadenskategorien (Doppelnennungen möglich)

Eine weitere Differenzierung der Schadenmeldungen nach Schadenstypen und Schadensumfang ist möglich und wurde durchgeführt. Die folgende Abbildung 5-12 zeigt für die Schadenskategorie „Gebäude“ eine Auflistung der Schäden.

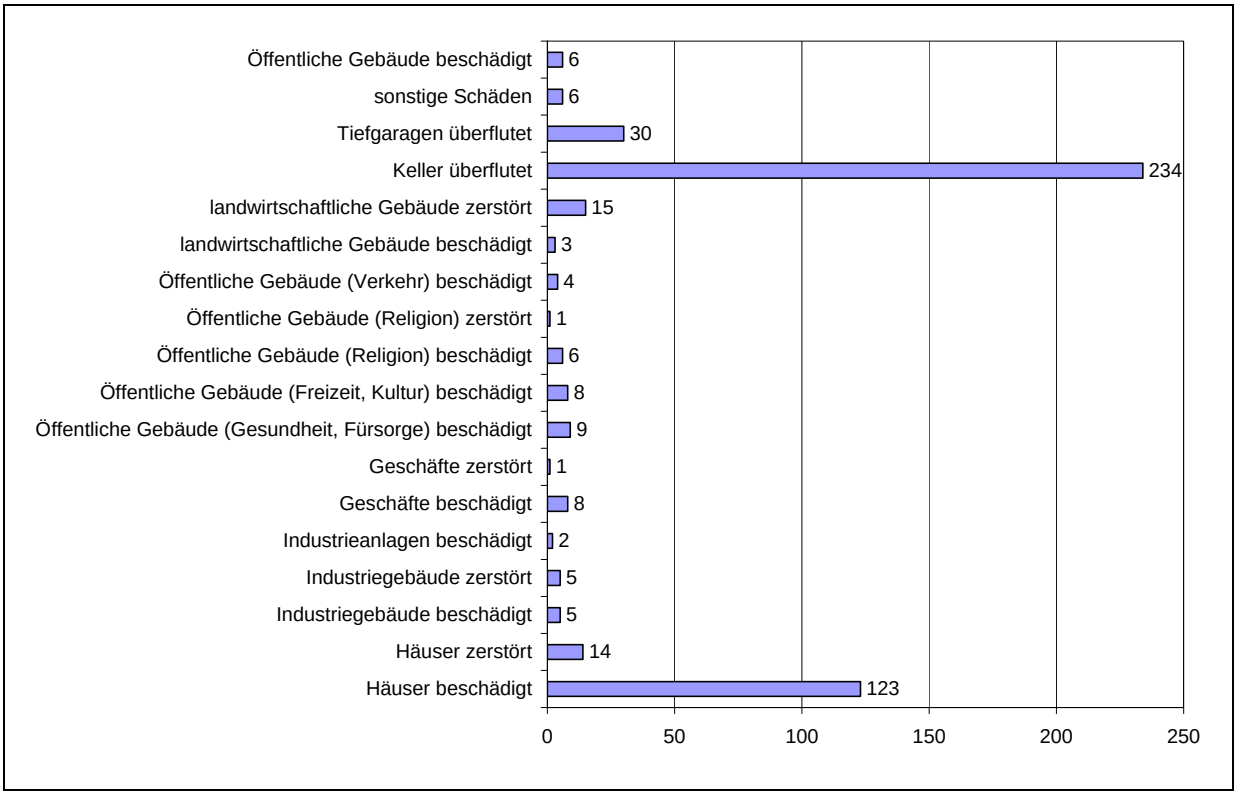


Abbildung 5-12: Schadenstypen und Schadensumfang der Schadenskategorie „Gebäude“

In der Kategorie „Gebäudeschäden“ sind „überflutete Keller“ mit 234 Meldungen die häufigste Schadenmeldung. In dieser Kategorie sind „Häuser beschädigt“ sowie „überflutete (Tief-) Garagen“ ebenfalls häufig genannte Schadenmeldungen.

In der Kategorie „Verkehrsinfrastruktur“ sind die Schadenbilder „überflutete Straßen“, „überflutete Unterführungen“ und „überflutete Schienen“ die am häufigsten gemeldeten Schäden. Behinderungen des Straßen- und Schienenverkehrs sowie Beschädigungen von Fahrzeugen durch umgestürzte Bäume aber u. a. auch durch hohe Wasserstände in Unterführungen und in tiefer gelegenen Straßenabschnitten und Garagen treten bei Sturzflutereignissen häufig auf. In einigen Fällen führen Sturzfluten zu einer „Überlastung der Kanalisation“. Durch enormen Wasserdruck werden die Schachtdeckel der Kanalisation herausgepresst (bei 7 Ereignissen) und verursachen Schäden (z. B. Verkehrsunfälle, ebenfalls bei 7 Ereignissen).

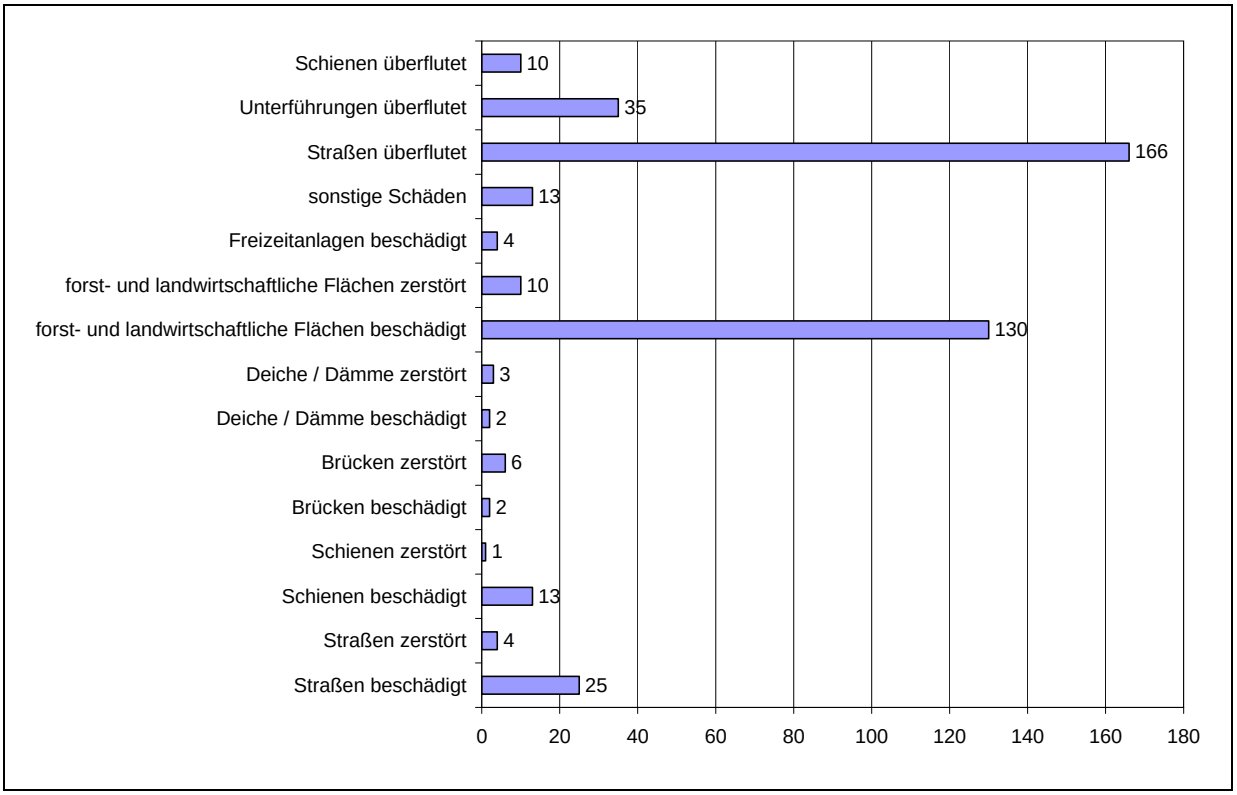


Abbildung 5-13: Schadensmeldungstypen und Schadensumfang Kategorie „Infrastruktur“

Die Anzahl der in diesem Zeitraum insgesamt betroffenen Gebäude beträgt mindestens 12.500, wobei es sich allerdings um eine vorsichtige Schätzung handelt. Etwas mehr als ein Drittel (37 %) der sturzflutartigen Ereignisse mit typischen Schäden (n = 136) ist durch genaue Aussagen zur Anzahl der betroffenen Gebäude dokumentiert. Die tatsächliche Anzahl der von Sturzfluten betroffenen Gebäude dürfte beträchtlich höher als 12.500 Objekte sein.

5.5.2 Schätzung der Schadenskosten

Auf die zugrunde liegenden Annahmen zu der Mengenabschätzung der geschädigten Objekte sowie den Schadenskosten wurde in Kapitel 4 eingegangen.

Bei der Schadensauswertung wurden drei verschiedene Berechnungsansätze kombiniert:

1. Dort wo Schäden in den Schadenskategorien „Personen“, „Gebäude“, „Infrastruktur“, „Verkehr“ und „Leitungen“ so dokumentiert waren, dass zwar keine Kosten, aber Aussagen zum Umfang abgeleitet werden konnten, wurden die Kosten als Produkt aus der klassifizierten An-

zahl der Schäden (siehe Kap. 4.4.1) und der Einheitskosten für die jeweilige Schadensart (s. Tabelle 4-1) abgeschätzt.

2. In der Kategorie „Sonstige“ wurden alle anderen Schadensangaben zusammengefasst. Entweder wurden direkt die angegebenen Kosten berücksichtigt oder aber die Kosten auf Basis der beschriebenen Schäden abgeschätzt.

3. Die Kosten für die Maßnahmen zur Schadensbegrenzung und für Aufräumarbeiten wurden ebenfalls gesondert abgeschätzt.

Für alle Berechnungen wurden ggf. die angegebenen DM-Beträge in Euro umgerechnet.

Zu den unter Punkt 1 zusammengefassten Schadenskategorien liegen 1354 Angaben zum Schadensumfang (87 %) vor, bei denen der Schaden monetarisiert werden konnte. Die Gesamtschadenssumme in dieser Gruppe beträgt 686 Mio. Euro.

Nach der Berechnungsart unter Punkt 2 „Sonstige“ konnten 180 Angaben zum Schadensumfang (11,5 %) verwertet werden. Die Summe aller Schäden ist hier deutlich höher. Sie beträgt 2,2 Mrd. Euro.

Die Aufrechnung aller Angaben zu Kosten „Schadensbegrenzung und Aufräumarbeiten“ unter Punkt 3 ergab lediglich 12,8 Mio. Euro.

Die Summe der Kosten aller Ereignisse mit Sturzflutpotenzial beträgt nach den Auswertungen der Datenbank ca. 2,9 Mrd. Euro.

Als mittlerer Schaden pro Ereignis bei einer Anzahl von 299 Ereignissen wurden 9,6 Mio. Euro errechnet. Verteilt man die ermittelten Gesamtkosten gleichmäßig auf die den Ereignissen zugeordneten 1619 Postleitzahlenbezirke ergibt sich ein Mittelwert von 1,8 Mio. Euro pro Ort (Postleitzahlenbezirk). Im Schnitt sind von einem Ereignis jeweils 5 - 6 Orte (Postleitzahlenbezirke) betroffen. Diese Werte sind sicherlich nur als grober Anhalt zu betrachten.

Die erfassten Schadensereignisse mit den höchsten Schadenssummen waren die Ereignisse:

- **04.07.1994**
  514 Mio. € (Nordrhein-Westfalen (Schwerpunkt: Köln, Bonn) Unwetter, Hagel, Blitzschlag, Starkregen, hohe Schäden im Verkehrsbereich, in der Infrastruktur und Landwirtschaft) (Quelle: Münchener Rück)

- **10.08.2002**
  266 Mio. € (Ereignisse im Vorfeld des Elbehochwassers)

- **03.08.2001**
  225 Mio. € (Unwetter mit Starkregen und Sturmböen im Alpenvorland)

Bei drei weiteren Ereignissen liegt die Schadenssumme über jeweils 150 Mio. €. Für alle übrigen Ereignisse liegt die Schadenssumme unter 100 Mio. €.

In der Gesamtzahl von 299 Ereignissen sind auch 93 Datensätze berücksichtigt, für die keine verwertbaren Kosten abgeschätzt werden konnten. Hier ist zu erkennen, dass viele Ereignisse oft zwar als Unwetter bekannt sind, aber bezüglich der Schäden nicht (sonderlich) relevant oder zumindest nicht aufgefallen sind.

Lediglich für 25 Ereignisse konnten Kosten auf Basis von Kostenschätzungen nach allen drei Berechnungsarten ermittelt werden. Stark vereinfacht könnte man die so erfassten Ereignisse als „gut dokumentiert“ charakterisieren.

Berechnet man die Gesamtschadenssummen und Mittelwerte pro Ereignis ergeben sich folgende Werte:

Tabelle 5-5: Zusammenstellung von Schadenssummen nach verschiedenen Berechnungsarten

	Anzahl Ereignisse	**Gesamte Schadenssummen (Mio. €)**	**Mittlerer Schaden pro Ereignis (Mio. €)**
Alle Ereignisse	299	2.850	9,5
Nur Ereignisse mit Schadensummen > 0 €	206	2.850	13,8
Nur „gut dokumentiert“	25	414	16,6
Nur Berechnungsart 1	143	686	4,8
Nur Berechnungsart 2	109	2.150	19,7

Die nachfolgende Grafik zeigt die Verteilung der Schadenssummen pro Jahr ab 1990. Auch das Jahr 2007 kann hier als vollständiges Jahr betrachtet werden, da zum Auswertezeitpunkt das Zeitfenster für Sturzfluten schon vorüber war. Die Darstellung zeigt verschiedene Größenordnungen von Schäden als gestaffelte Balken.

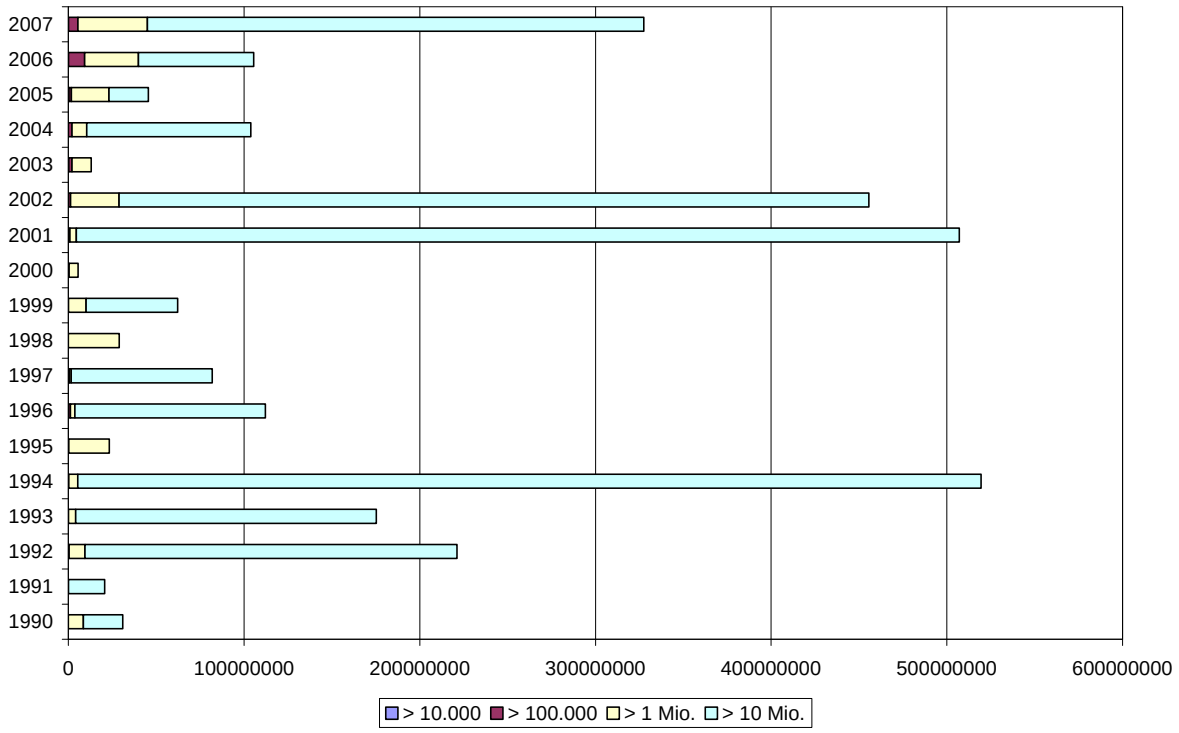


Abbildung 5-14: Summe der berechneten Schäden pro Jahr

Die Grafik zeigt deutlich die drei besonders schadensreichen Jahre 1994, 2001 und 2002 mit Abstand gefolgt von 2007. Es ergibt sich ein Mittelwert von ca. 160 Mio. € pro Jahr. Dabei überschreiten die Schadenssummen in nur fünf von 18 Jahren eine Größenordnung von 200 Mio. € pro Jahr. Es ist offensichtlich, dass durch wenige große Ereignisse die zuvor berechneten Mittelwerte die Höhe des Schadens für ein häufig vorkommendes, „typisches“ Ereignis überschätzen.

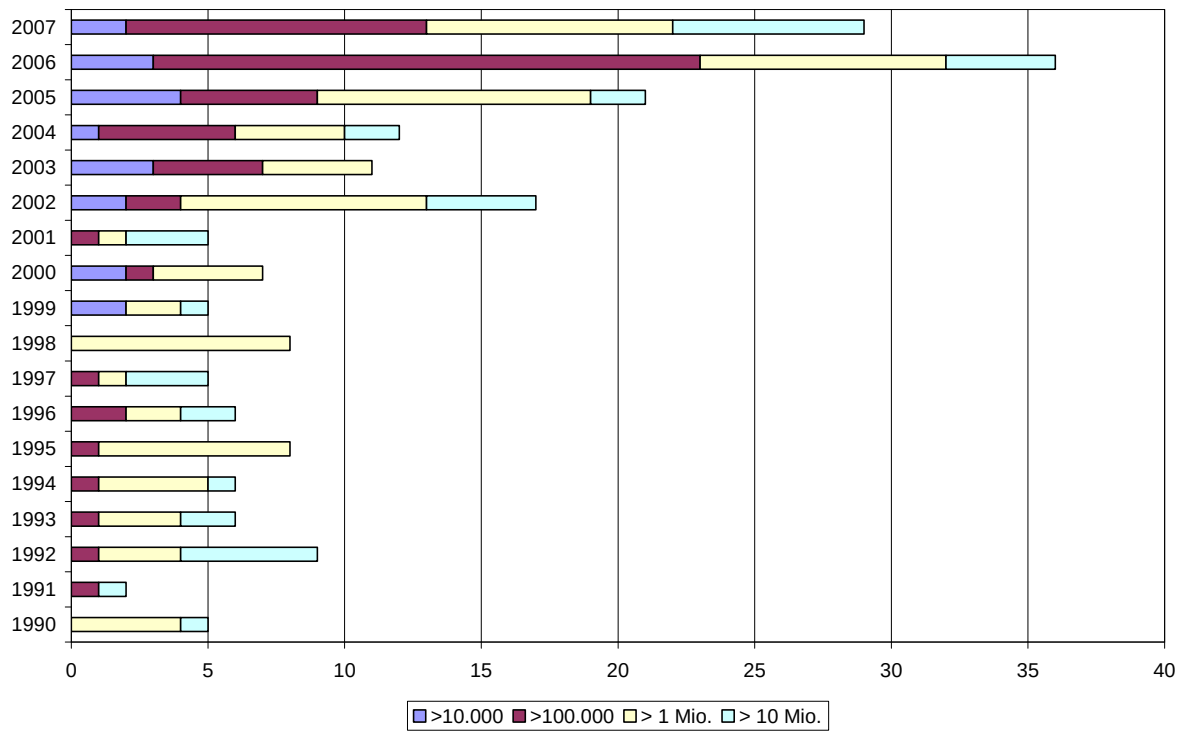


Abbildung 5-15: Anzahl der Schäden pro Jahr nach Schadenssummenkategorien

Die Auswertung zur Anzahl der Ereignisse pro Jahr lässt einen zunehmenden Trend bei der Anzahl erfasster Ereignisse erkennen. Dies ist im Wesentlichen dadurch bedingt, das die Erfassungsquote abnimmt, je länger die Ereignisse zurückliegen. Die Aufschlüsselung zeigt, dass dies besonders die kleineren Ereignisse unter 1 Mio. € bzw. unter 100.000 € Schaden betrifft. Betrachtet man die Schadenssummen pro Jahr, zeigt sich, dass diese sich hauptsächlich durch die Ereignisse > 1 Mio. € zusammensetzen.

Zur Ableitung der Größenordnung der Schäden durch die am häufigsten vorkommenden Einzelereignisse wurde ein Histogramm der Schadenssummen auf Basis der Lognormalverteilung für die Schadenssummen erstellt.

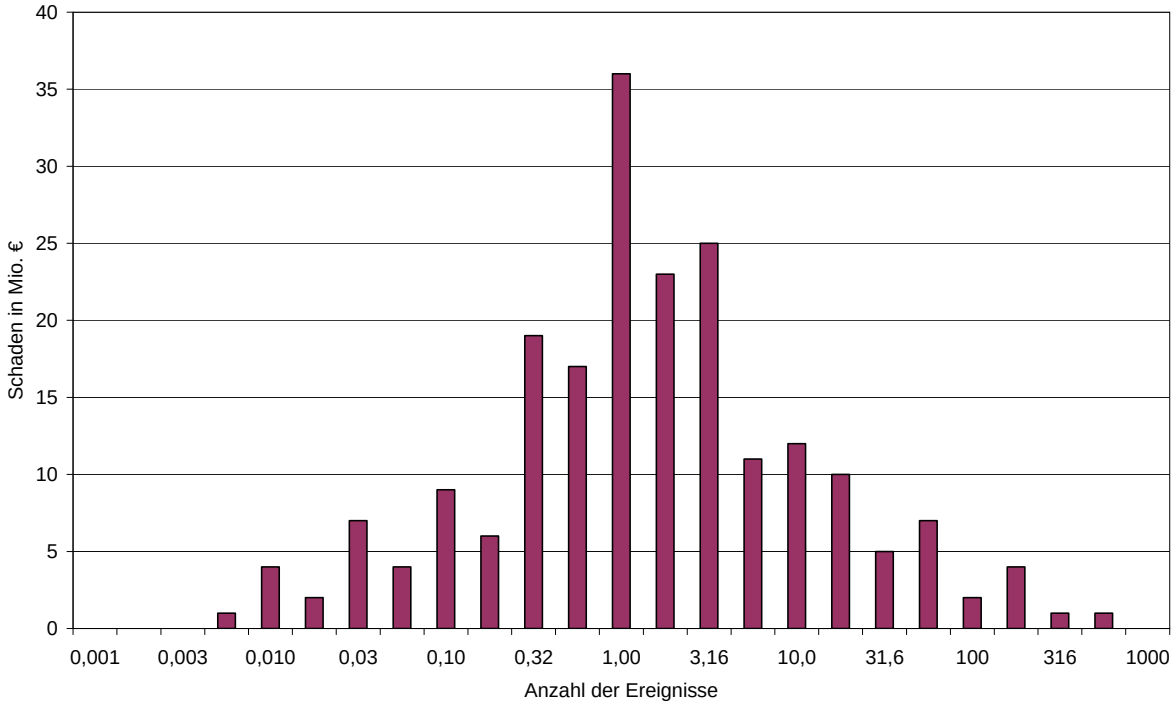


Abbildung 5-16: Lognormalverteilung der Schäden

Abbildung 5-16 lässt erkennen, dass Einzelereignisse am häufigsten Schäden in einer Größenordnung zwischen einer und zwei Mio. € verursachen.

6 Bewertung der Ergebnisse

6.1 Vollständigkeit der Erfassung der Ereignisse

Die in diesem Vorhaben durchgeführten Internet- und Literaturrecherchen lassen den Schluss zu, dass zumindest seit dem Jahr 2000 die Erfassung der signifikanten Ereignisse weitgehend vollständig sein dürfte. Davor sind wahrscheinlich größere Lücken bei der Ereigniserfassung vorhanden, eine Größenordnung der Erfassungsquote kann hier nicht bestimmt werden.

6.2 Vollständigkeit und Verlässlichkeit der erfassten Eingangsdaten

Wie oben aufgezeigt, sind die zur Verfügung stehenden Informationen sehr heterogen und können i. Allg. nicht oder nur mit großem Aufwand auf ihre Zuverlässigkeit überprüft werden. In den Fallstudien (Teil I, Abschnitt B) bestand jedoch die Möglichkeit, den Tatsachengehalt der Informationen der Medien und anderer Quellen zu überprüfen. Wie sich dort gezeigt hat, stützen sich die Ereignis- und Schadenbeschreibungen sehr häufig auf die Angaben der Feuerwehr, der Polizei und anderer Einsatzkräfte. Bei diesen amtlichen Angaben kann man von einem hohen Grad an Verlässlichkeit ausgehen. Anders sieht es bei den Schätzungen der Schadenssummen aus. Hier ist es in der Regel nicht möglich, die Basiszahlen zu erfahren, aus denen die Schadensschätzung abgeleitet wurden.

Die Beurteilung, was ein Schadensfall ist, weicht von den bei den Fallstudieninterviews gewonnenen Informationen von dem Bild ab, das die Datenbankinformationen vermitteln. Dieser Vergleich lässt die Schlussfolgerung zu, dass bei Kommunen, die in der Datenbank mehrfach als Betroffene von

Sturzfluten genannt werden, die Anzahl der tatsächlich als schadensrelevant eingeschätzten Sturzflutereignisse geringer ist.

Zwei Aspekte führen dazu, dass die „Betroffenheit“ der Kommunen laut Beschreibung der Ereignisdatenbank von der Betroffenheit, die in Interviews geäußert wird, häufiger deutlich abweicht. Zum einen stellt sich heraus, dass der Schaden von den Betroffenen und den kommunalen Behörden anders wahrgenommen wird, als dieser in den Medien dargestellt wird. Zum anderen kommt hinzu, dass die Schadensschwerpunkte bei der Datenbankerfassung nicht genau lokalisiert werden können und relativ global aufgenommen werden müssen. Schadensmeldungen, die nicht unmittelbar einer Stadt zugeordnet werden können, werden bei fehlenden Informationen allen von Sturzfluten betroffenen Orten zugewiesen.

Aufgetretene Niederschläge

Sofern zu den Ereignissen Niederschlagsangaben vorlagen oder beschafft werden konnten, wurden sie in die Datenbank aufgenommen. Die räumlich-zeitliche Zuordnung und die Definition „Ereignis“ stellt ein Problem dar, da die jeweils unterschiedliche Genese der Niederschlagsentstehung nicht im Detail erfasst werden konnte. Eine Rekonstruktion der Wetter- und Niederschlagsverhältnisse für alle Ereignisse war im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich.

Schäden und Schadenskosten

Auf die zugrunde liegenden Annahmen zu der Mengenabschätzung der geschädigten Objekte sowie den Schadenskosten wurde in Kapitel 4 eingegangen. Sowohl bei der Abschätzung der Schadensarten (Überflutung, Hagel etc.), den Eingangsdaten zu den Einheitswerten der Schäden an den Objekten, bei der Mengenabschätzung der betroffenen Objekte und der Stichprobenauswahl der Ereignisse mit ausreichend belastbaren Informationen sind große Unsicherheiten vorhanden. Deswegen wurden bei der Schadensauswertung verschiedene Berechnungsansätze kombiniert und die Auswahlbedingungen jeweils definiert.

6.3 Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Erhebungsdaten der Einzelereignisse wurden auf der URBAS-Homepage veröffentlicht und stehen für eigene Recherchen zur Verfügung. Lediglich die urheberrechtlich geschützten gesammelten Informationen sind nur über eine Zugangsberechtigung zu erreichen.

Als Plattform für den Aufbau der Internetpräsenz für Projektinformationen wurde das Contentmanagementsystem (CMS) Plone (http://www.plone.org) eingesetzt. Das System nutzt das Application-Framework ZOPE (htttp://www.zope.org) und die Skript-Sprache Python (http://www.python.org). Alle verwendeten Softwareprodukte sind Open Source lizenziert. Das System ist so konzipiert, dass es entsprechend des größer werdenden Datenaufkommens „mitwachsen“ kann.

Förderprogramm des BMBF:
Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)

Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS)

Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Abschnitt B: Fallstudienanalyse

im Auftrag des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Aachen, Dezember 2008

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Fachhochschule Aachen

Deutscher Wetterdienst

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **III**

Tabellenverzeichnis **IV**

1 Fallstudien und Untersuchungsschwerpunkte **1**

1.1 Vorgehensweise 1

1.2 Auswahl und Festlegung der Fallstudien 2

1.3 Dokumentation der Fallstudien 3

2 Bearbeitung der Fallstudien **4**

2.1 Ortsbeschreibung 4

2.1.1 Lage, Verwaltung, Naturraum, ... 4

2.1.2 Flächennutzung und Siedlungsstruktur 6

2.1.3 Böden und Geologie 8

2.1.4 Topografie 9

2.1.5 Klima 10

2.1.6 Entwässerungsstruktur 11

2.2 Meteorologische Untersuchungen: Vorhersage, Warnung und Niederschlag sowie begleitende Wetterumstände 11

2.2.1 Vorhersage und Warnung bei den Fallstudienereignissen 12

2.2.2 Niederschlagsuntersuchungen für die Fallstudien 12

2.3 Abfluss- und Überflutungsanalyse 13

2.3.1 Untersuchungsumfang und Methoden 13

2.3.2 Abfluss und Überflutungsberechnungen mit dem Programm SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) 13

2.3.3 2-D-Simulationsrechnungen für die Fallstudien Paderborn und Lohmar 15

2.3.4 Ergebnisdokumentation 17

2.4 Schadenserhebung und -berechnung 17

2.4.1 Schadenserhebung bei den Fallstudien 17

2.4.2 Mikroskalige Erfassung von Sturzflutschäden mittels Befragung *(Beitrag Frau Müller, Deutsche Rück)* 19

2.4.3 Schadensarten und Stadtstruktur 20

2.4.4 Städtebauliche Analyse 20

2.5 Hochwasserbewältigung, Ereignismanagement 23

2.5.1 Zuständigkeiten, Koordination und Zusammenarbeit 23

2.5.2 Laufende Information über das Ereignis 23

2.5.3 Abwehr der Hochwasserwirkungen und schadensmindernde Maßnahmen 23

2.6 Kommunale Risikoanalyse 24

2.6.1 Überflutungsgefährdung und Risiko 24

2.6.2 Kommunale Risikoanalysen für Sturzfluten und Hochwasser 26
2.6.3 Zuständigkeiten, Dokumentation und Veröffentlichung der Gefahren- und Risikoerhebungen 27
2.7 Vorsorgemaßnahmen 27
2.7.1 Untersuchungsziel und Maßnahmendefinition 27
2.7.2 Handlungsbereiche einer Kommune 27
2.7.3 Erfahrungen mit der Schadensminderung/-verhinderung durch Vorsorge 28

3 Untersuchungsschwerpunkte 29

3.1.1 Konzept für die Automatisierung des Frühwarnsystems (Hamburg) 29
3.1.2 Kleinräumliche Varianz von Starkniederschlägen (Lübeck) 29
3.1.3 2-D-Abflussuntersuchungen im städtischen Raum (Paderborn, Lohmar) 30
3.1.4 Mikroskalige Schadenserhebungen (Lohmar, Hersbruck) 30
3.1.5 Auswertung von Hochwasserbroschüren für Bürger 31
3.1.6 Mitarbeit an der MEDIS Broschüre 31

4 Synopse und Ergebnisse 31

4.1 Verwaltung, Lage und Topografie 32
4.2 Meteorologische Untersuchungen und Ereignisse 32
4.2.1 Klimaregionen, Niederschläge, Ereignisse 32
4.2.2 Vorhersage, Warnungen und Niederschläge 33
4.3 Gewässer, Siedlungsentwässerung, Abflüsse und Überflutung 36
4.4 Schadenserhebung und – schätzungen 38
4.4.1 Schadensauswertung 38
4.4.2 Schadensarten und Stadtstruktur 40
4.5 Hochwasserbewältigung, Ereignismanagement 41
4.5.1 Ereigniszuordnung bei den Fallstudien 41
4.5.2 Zuständigkeiten, Einsatzleitung und Einsatzdurchführung 42
4.5.3 Kommunikation und gegenseitige Hilfe sowie Mitwirkung bei Feuerwehreinsätzen und im Katastrophenschutz 44
4.5.4 Maßnahmen der Einsatzkräfte beim Ereignis 45
4.5.5 Resümee: Hilfeleistung und Katastrophenschutz bei Starkregenereignissen 45
4.6 Kommunale Gefahren- und Risikoanalyse 48
4.7 Vorsorgemaßnahmen 49
4.7.1 Flächenvorsorge 50
4.7.2 Abflussminderung 51
4.7.3 Technische Maßnahmen 52
4.7.4 Bauvorsorge 53
4.7.5 Risikovorsorge 55
4.7.6 Informationsvorsorge 55
4.7.7 Verhaltensvorsorge 56
4.7.8 Erfahrungen mit der Schadensminderung/-verhinderung durch Vorsorge 57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Geografische Lage der Fallstudien und Fallbeispiele (Stand 31.12.2007).....3
Abbildung 2-1: Geografische Lage der Stadt Hersbruck.....5
Abbildung 2-2: Flächennutzung nach CORINE Landcover 1996 für Fallstudie Lohmar.....6
Abbildung 2-3: Höhenverhältnisse in der Gemarkung der Stadt Lohmar.....9
Abbildung 2-4: Topografie und Hangneigung im Untersuchungsbereich Dillenburg 10
Abbildung 2-5: Auswertung der Entwässerungsstruktur, hier Kanalisationsnetz in Lohmar 11
Abbildung 2-6: Visualisierung der Radarmessungen für die Doppelsturzflut in Lohmar am 29. und 30.06.2005.....13
Abbildung 2-7: Fließwege bzw. Abflussraten (-tiefe) berechnet von SAGA am Bespiel Paderborn .14
Abbildung 2-8: Darstellungsbeispiel der Berechnung mit SAGA GIS am Beispiel von Lohmar.....15
Abbildung 2-9: Maximale berechnete Wassertiefen im Ortskern Wewer (eigene Berechnungen).....16
Abbildung 2-10: Maximale Wassertiefen in 3-D-Ansicht (Blickrichtung NW; eigene Berechnung)...17
Abbildung 2-11: Feuerwehreinsätze (rot) im Stadtgebiet Lohmar nach dem Doppelsturzflutereignis vom 29. - 30.06.2005 18
Abbildung 2-12: Beispiel für einen Vergleich der Feuerwehreinsätze mit Starkniederschlagsfeldern aus Radarbildern nach dem Unwetterereignis vom 18.07.2002 in Lübeck.....19
Abbildung 2-13: Ursachen der Überflutung in Lohmar (Teilergebnis der Befragung).....20
Abbildung 2-14: Überschwemmungsgefährdete Bereiche und historische Überschwemmungsgebiete im Bereich Lohmar-Nord.....25
Abbildung 2-15: Karte „wassersensible Bereiche“ in Bayern.....27
Abbildung 2-16: Drei alternative Varianten zur Risikominderung am Jabach (Umflutgraben, Schutzwand und Regenrückhaltebecken).....27
Abbildung 4-1: Maximale Stundensumme für den 07.08.2004, Fallstudie Deidesheim (Zeiten in UTC) 33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Auswahlkriterien für Kandidatenauswahl und Prüfung der Repräsentativität 2
Tabelle 2-1: Übersicht über die Lage, administrative Zuordnung und Naturraum der Fallstudien 4
Tabelle 2-2: Katasterfläche von Lohmar nach Nutzungsarten der Landesvermessungsverwaltung...6
Tabelle 2-3: Ableitung städtebaulicher Strukturtypen aus Bebauungsstrukturen 7
Tabelle 2-4: Übersicht zu den bodenbezogenen Informationsquellen für die Fallstudien.....8
Tabelle 2-5: Klimatypen und Jahres- bzw. Sommerniederschläge 10
Tabelle 2-6: Übersicht über die städtebaulichen Analysen der Fallstudien 21
Tabelle 2-7: Beispiele für Maßnahmen der Kommunen.....24
Tabelle 3-1: Theoretische Volumenbilanzänderungen bei einer Änderung des Bemessungsstandards in Lübeck 30
Tabelle 4-1: Untersuchte Ereignisse 32
Tabelle 4-2: Warnungen, Niederschlagserfassung und statistische Einordnung 34
Tabelle 4-3: Gewässer und Siedlungsentwässerung, Abflüsse und Überflutung.....36
Tabelle 4-4: Schadensauflistung der Fallstudien 39
Tabelle 4-5: Betroffene städtebaulichen Strukturtypen 40
Tabelle 4-6: Einstufung der Ereignisse in den Fallstudienstädten 41
Tabelle 4-7: Einsatzleitung und Umfang der Einsätze in den Fallstudien 43
Tabelle 4-8: Beurteilung der Einsätze durch die Akteure.....47
Tabelle 4-9: Kommunale Gefahren- und Risikoanalyse 48
Tabelle 4-10: Maßnahmen der Flächenvorsorge bei den Fallstudien 50
Tabelle 4-11: Maßnahmen der (nicht technischen) Abflussminderung und -rückhaltung.....51
Tabelle 4-12: Technische Maßnahmen 52
Tabelle 4-13: Bauvorsorge.....54
Tabelle 4-14: Informationsvorsorge.....55
Tabelle 4-15: Verhaltensvorsorge 56
Tabelle 4-16: Erfahrungen mit der Schadensminderung/-verhinderung durch Vorsorge 57

1 Fallstudien und Untersuchungsschwerpunkte

1.1 Vorgehensweise

Der zentrale Arbeitsbereich der Untersuchung war eine detaillierte Analyse von Ablauf und Folgen von Starkregen- und Sturzflutereignissen in 15 Städten und Gemeinden in Deutschland.

Die Fallstudienauswahl erfolgt in drei Arbeitsabschnitten:

- Erstellung einer deutschlandweiten Ereignisdatenbank auf der Basis vorhandener Dokumentationen, Auswertung (vgl. Teil I, Abschnitt A)
- Auswahl und Bewertung von ca. 40 bis 50 geeignet erscheinenden Kandidaten
- Auswahl von 21 Fallstudienkandidaten mit anschließender Entscheidung für 15 Fallstudien

Die Bearbeitung der Fallstudien erfolgte in den Arbeitsschritten:

- Auswahl der Fallstudien
- Aufbereitung des vorhandenen Materials aus Berichten, Internetrecherchen, Presse- und TV-Dokumentationen
- Klärung der Mitwirkungsbereitschaft, Endauswahl
- Endgültige Festlegung der Fallstudien
- Ein Interview oder mehrere Interviews in den Kommunen, Protokollierung, Datenanforderung, Vor-Ort-Erhebungen
- Aufbereitung und Auswertung des Materials der Kommune
- Eigene Untersuchungen, Bearbeitung der Untersuchungsschwerpunkte
- Fallstudienberichte, Abstimmung des Berichts mit der Kommune
- Schlussbearbeitung und Synopse

Die Ansprechpartner in den Kommunen waren Vertreter der Gemeinde- und Stadtverwaltung, insbesondere der Tiefbauämter und Stadtentwässerungsbetriebe/Stadtwerke, sowie der Umweltämter, der Wasserbehörden, des Katastrophenschutzes, der Feuerwehren etc. Angeforderte Unterlagen zur Bearbeitung der Fallstudien sind in den meisten Fällen in erwartet guter Qualität zur Verfügung gestellt worden.

Die Interviews wurden mit standardisierten Fragebögen geführt, mit den Themenbereichen:

- allgemeine Daten zu Gesprächspartnern und -terminen
- Beschreibung und Analyse der aufgetretenen Ereignisse (extreme Starkregen, Überflutungen im Stadtgebiet infolge Kanalisationsüberlastung, Ausuferung kleiner Gewässer)
- Zuständigkeiten, Vorgehensweise bei der kommunalen Hochwasserrisikoanalyse und Darstellung der Ergebnisse infolge o. g. Ereignisse
- Zuständigkeiten, Vorgehensweise, Einführung und Umsetzung von kommunalen Vorsorgemaßnahmen
- Organisation, Maßnahmen und Erfahrungen der kommunalen Hochwasserbewältigung
- Interessen der Kommune bei der Mitarbeit an dem Vorhaben

Der Interviewleitfaden ist in Teil I, Abschnitt E Anlagen dokumentiert.

Die Ergebnisse der Interviewgespräche wurden protokolliert, durch eigenes Material und Recherchen ergänzt und nach Absprache mit den Interviewpartnern im internen Bereich der Projekthomepage allen Projektpartnern zur Ergänzung und Überprüfung zur Verfügung gestellt.

Die weitere Vorgehensweise wurde unter Berücksichtigung des Forschungsziels, der vorhandenen Möglichkeiten der Kommune, der Datenlage und einem möglichen Interessenschwerpunkt der Kommune festgelegt.

1.2 Auswahl und Festlegung der Fallstudien

Die Kandidaten für diese Fallstudien wurden anhand einer Kriterienliste aus der Ereignisdatenbank ausgewählt. Die Auswahlkriterien wurden so formuliert, dass eine möglichst gute Repräsentativität der Fallstudien gewährleistet ist.

Tabelle 1-1: Auswahlkriterien für Kandidatenauswahl und Prüfung der Repräsentativität

Kriterium	**Ausprägung**
Ereignistyp	Gewitter und/oder Starkregen und/oder Sturzflut
Ereigniszeitraum	• primär Ereignisse nach dem 01.01.2000, gut dokumentierte Ausnahmen zugelassen • überwiegend sommerliche Ereignisse zwischen Mai und September (gem. KOSTRA)
Niederschlag	• Monate Mai bis einschließlich September und "Ereignis" wie "Sturzflut" oder wie "Starkregen"
Größe der Kommune (nach Bähr/Heineberg) und Verwaltungsstatus	• Kleinstadt 5.000-20.000 EW • Mittelstadt 20.000-100.000 EW • Großstadt 100.000-1.000.000 EW • Millionenstadt > 1.000.000 EW • Kreisangehörig oder kreisfrei
Siedlungs- und Freiraumstrukturen	• geringe Bebauungsdichte (lockere Bebauung) • mittlere Bebauungsdichte • Kerngebiete • Industriegebiete
Regionale Verteilung (politisch)	• Bundesländer
Topografie	• Flachland • Mittelgebirge • hohe Mittelgebirge und Hochgebirge
Klimaregion	• Ozeanisch geprägtes Klima • Kontinental geprägtes Klima • Übergangsbereich
Exposition	• Luv-Seite • Lee-Seite
Entwässerungsstrukturen	• Mischsystem • Trennsystem
Schadenshöhe	Schäden • bis 1 Mio. € • >1 bis 5 Mio. € • >5 bis 50 Mio. € • > 50 Mio.
Ereignishäufigkeit	• einmalig betroffen • mehrmals betroffen
Datenlage und Bereitschaft zur Mitarbeit	Hohe Bereitschaft muss vorhanden sein.

Das Resultat war eine Liste mit 43 Kandidaten mit jeweils einem oder mehreren Starkregen- bzw. Sturzflutereignissen.

Zu den Kommunen aus der Kandidatenliste, die als Fallstudien besonders geeignet erschienen, wurde Kontakt hergestellt. Für die endgültige Auswahl der 15 Fallstudien waren weiterhin die Datenlage und Aktualität sowie die Bereitschaft zur Mitarbeit und die getroffenen Maßnahmenkonzepte von entscheidender Bedeutung.

Weiterhin wurden weitere Fallbeispiele in die Bearbeitung aufgenommen. Diese Fallbeispiele repräsentieren spezifische Problemfälle und Lösungen, die für die Untersuchungsfragestellung bedeutsam sind (hohe Einzelschäden, typische Konfliktsituationen zwischen betroffenen Bürgen und öffentlicher Verwaltung etc.). Sie werden in einem geringeren Detaillierungsgrad (Grobanalyse) bearbeitet als die anderen Fallstudien (Detailanalyse). Hier wird vornehmlich auf bereits vorhandenes und in geringem Umfang neu erhobenes Material zurückgegriffen.

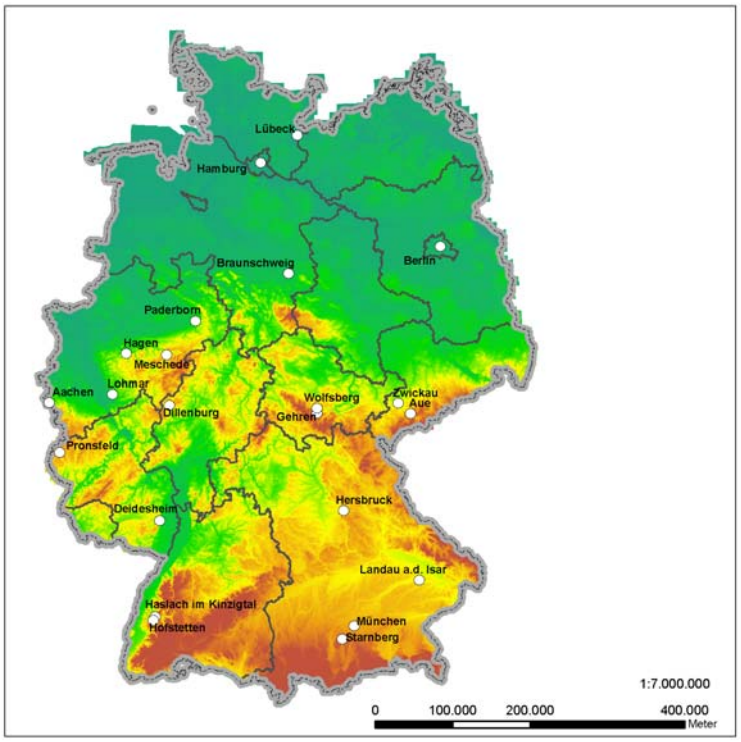


Abbildung 1-1: Geografische Lage der Fallstudien und Fallbeispiele (Stand 31.12.2007)

1.3 Dokumentation der Fallstudien

Die Fallstudienberichte bestehen in der Regel aus zwei, in einigen Fällen aus drei oder vier Teilen:

- Teil A basiert auf Interviews in den jeweiligen Kommunen sowie eigenen Datenerhebungen und -auswertungen. Es umfasst eine Orts- und Gebietsbeschreibung, eine detaillierte Ereignisbeschreibung, eine Beschreibung bzw. Berechnung von Abfluss, Überflutung und Schäden, eine Beschreibung der Hochwasserbewältigung, eine Analyse des Stands des kommunalen Risikomanagements und eine Dokumentation der nach dem Ereignis getroffenen Vorsorgemaßnahmen.
- Teil B enthält die Standarduntersuchungen zu den Teilaufgaben Warnung und Niederschlag, die für alle Fallstudien und Ereignisse (mit Ausnahmen von Starnberg) durchgeführt werden.
- Die bei einigen Fallstudien durchgeführten zusätzlichen Schwerpunktuntersuchungen sind in einem dritten Teil C und gegebenenfalls in Teil D zusammengefasst.

2 Bearbeitung der Fallstudien

2.1 Ortsbeschreibung

Für die Mitarbeit bei den Fallstudien konnten Kommunen aus 10 Bundesländern gewonnen werden. Mehrere Fallstudien wurden in NRW und Bayern durchgeführt, in den anderen genannten Bundesländen jeweils eine (vgl. Tabelle 2-1).

Die Ortsbeschreibung umfasst einheitlich für alle untersuchten Kommunen Angaben zu

- Lage, Verwaltung und Naturraum
- Flächennutzung und Siedlungsstruktur
- Böden und Geologie
- Topografie
- Klima
- Entwässerungsstruktur mit den Komponenten natürliche Gewässer und Kanalisation

2.1.1 Lage, Verwaltung, Naturraum,

Die Lage und der Naturraum der Fallstudienstädte wurden für alle Fallstudien einheitlich in textlichen und kartografischen Beschreibungen erhoben. Zur Beschreibung der Lage werden die Bundesländer und bei kreisangehörigen Gemeinden die Kreise angegeben, weiterhin die Einwohnerzahl (Quelle: Fallstudien) und die Höhenlage als Anhaltswerte. Die Beschreibung der Naturräume erfolgte anhand der naturräumlichen Haupteinheiten und Haupteinheitsgruppen von Meynen und Schmithüsen, modifiziert vom Bundesamt für Naturschutz (Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2001).

Tabelle 2-1: Übersicht über die Lage, administrative Zuordnung und Naturraum der Fallstudien

Fallstudie	Bundesland	Kreisfreie Stadt bzw. Kreis	Ein-wohner	Naturräumliche Haupteinheit	Haupt-einheitengruppe	Höhelage in mNHN (Anhaltswerte)
Aachen	Nordrhein-Westfalen	kreisfrei	257.000	Übergang Nordwest-deutsches Tiefland/ Westliche Mittelge-birge	Niederrheinische Bucht/Vennvorland	124 – 415
Berlin	Berlin	–	3.397.000	Nordostdeutsches Tiefland	Brandenburgische Platten/ Ostbrandenburgisches Heide- und Seengebiet	29 - 114
Braun-schweig	Nieder-sachsen	kreisfrei	245.000	Nordwestdeutsches Tiefland	Nördliches Harzvorland/Weser-Aller-Flachland	62 - 111
Deides-heim	Rheinland-Pfalz	Bad Dürk-heim	3.700	Südwestliche Mittel-gebirge und Stufen-land	Nördliches Oberrheintiefland/ Pfälzer Wald	107 - 485
Gehren/ Wolfsberg	Thüringen	Ilm-Kreis	3.600/ 3.300	Östliche Mittelgebirge	Thüringer Be-cken/Thüringisch-Fränkisches Mittelge-birge	413 - 809
Hamburg	Hamburg	–	1.750.000	Nordwestdeutsches Tiefland	Elbmarsch/Schleswig-Holsteinische Geest	10 – 106
Haslach/ Hofstetten	Baden-Württem-berg	Ortenau-kreis	6.900/ 1.600	Südwestliche Mittel-gebirge und Stufen-land	Schwarzwald	205 – 930 (beide Ortsla-gen)

Fallstudie	Bundesland	Kreisfreie Stadt bzw. Kreis	Ein-wohner	Naturräumliche Haupteinheit	Haupt-einheitengruppe	Höhelage in mNHN (Anhaltswerte)
Hersbruck	Bayern	Nürnberger Land	12.300	Südwestliche Mittel-gebirge und Stufen-land	Fränkisches Keuper-Lias-Land	330 - 613
Landau an der Isar	Bayern	Dingolfing-Landau	13.000	Alpenvorland	Unterbayerisches Hü-gelland	329 - 469
Lohmar	Nordrhein-Westfalen	Rhein-Sieg-Kreis	32.000	Übergang Nordwest-deutsches Tief-land/Westliche Mit-telgebirge	Bergisch-Sauerländisches Gebir-ge/Niederrheinische Bucht	57 - 235
Lübeck	Schleswig-Holstein	kreisfrei	214.000	Nordwestdeutsches Tiefland	Schleswig-Holsteinisches Hügel-land	3 - 46
Meschede	Nordrhein-Westfalen	Hochsauer-land	33.000	Westliche Mittelge-birge	Bergisch-Sauerländisches Gebir-ge	230 - 692
Paderborn	Nordrhein-Westfalen	Paderborn	144.000	Übergang Nordwest-deutsches Tief-land/Westliche Mit-telgebirge	Westfälische Tieflands-bucht	91 - 345
Starnberg	Bayern	Starnberg	23.000	Alpenvorland	Subalpines Jungmorä-nenland	569 - 717
Zwickau	Sachsen	Zwickau	96.000	Östliche Mittelgebirge	Erzgebirgsvorland	249 - 446

Für alle Fallstudien wurden Übersichtskarten angefertigt, die die administrative Zuordnung der Städte und Gemeinden verdeutlichen (siehe nachfolgendes Beispiel).

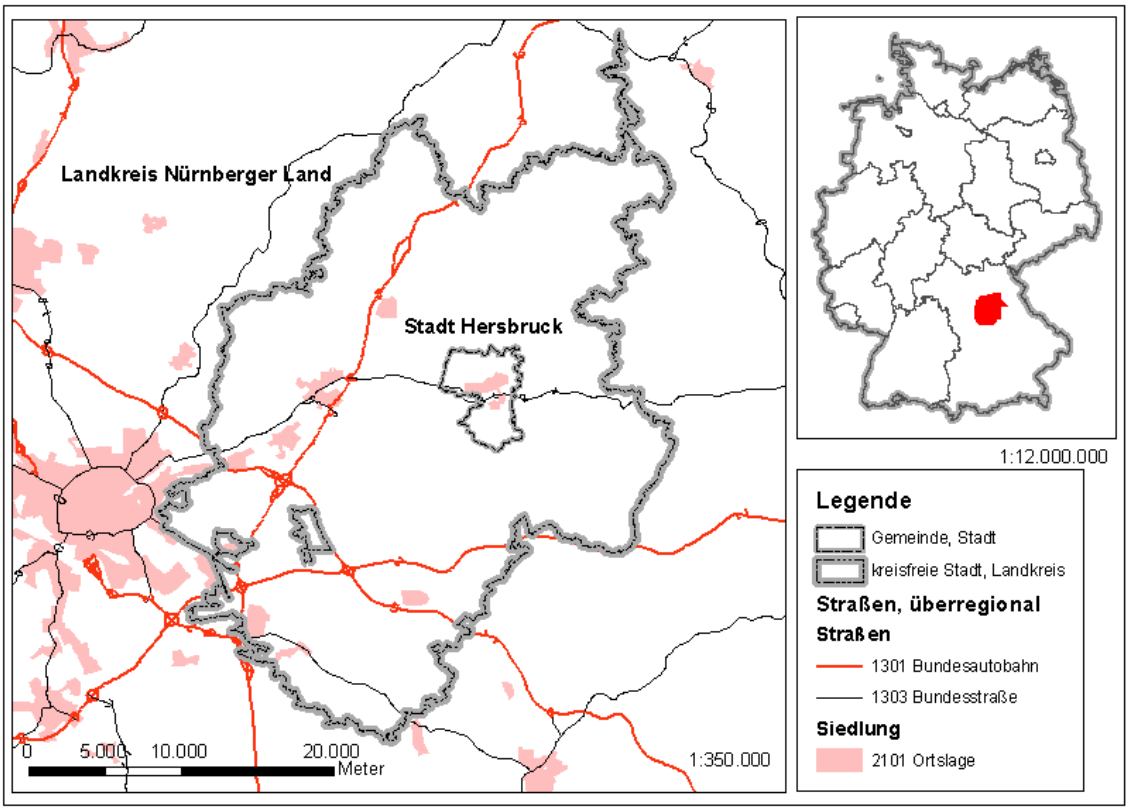


Abbildung 2-1: Geografische Lage der Stadt Hersbruck

Quelle: DLM 250

2.1.2 Flächennutzung und Siedlungsstruktur

Flächennutzungen und Siedlungsstruktur wurden auf gesamtstädtischer Ebene anhand einer einheitlichen Auswertung von CORINE Landcover sowie der Katasterfläche nach Nutzungsarten der Landesvermessungsverwaltungen erhoben und dargestellt (siehe nachfolgendes Beispiel).

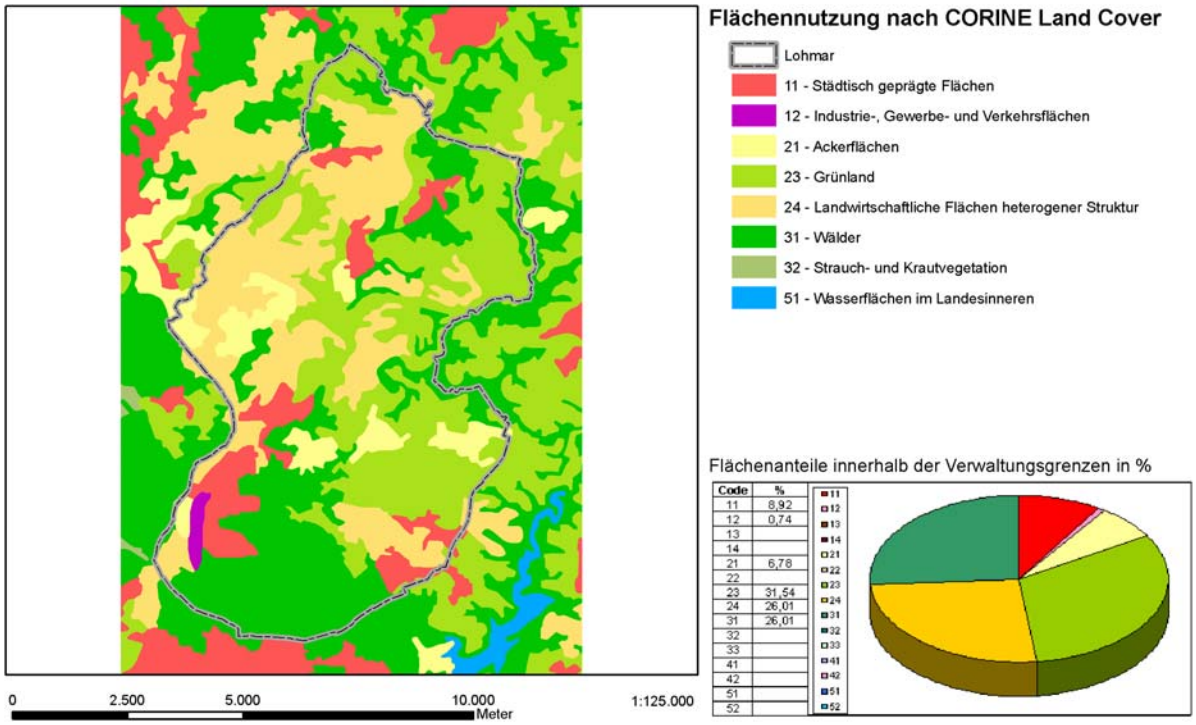


Abbildung 2-2: Flächennutzung nach CORINE Landcover 1996 für Fallstudie Lohmar

Tabelle 2-2: Katasterfläche von Lohmar nach Nutzungsarten der Landesvermessungsverwaltung

Nutzungsart	Lohmar		NRW insgesamt
	ha	in %	in %
Bodenfläche insgesamt	6.555,5	100,0	100,0
Siedlungs- und Verkehrsflächen	1.467,4	22,4	21,8
Gebäude- und Freiflächen	825,3	12,6	12,6
Betriebsflächen ohne Abbauland	7,1	0,11	0,5
Erholungsfläche	146,2	2,2	1,6
Verkehrsfläche	485,8	7,4	6,8
Friedhof	3,0	0,05	0,2
Landwirtschaftsfläche	2.889,4	44,1	50,1
Waldfläche	2.083,4	31,8	25,2
Wasserfläche	93,4	1,4	1,9
Übrige Nutzungsarten inkl. Abbauland	21,9	0,3	1,1

Quelle: Statistisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Stand: 31.12.2005

Für die Untersuchung der 23 Ereignisse in den 15 Fallstudien wurden die Nutzungs- und Bebauungsstrukturen in 38 betroffenen Orts- und Stadtteilen anhand der Digitalen Topografischen Karte 1 : 25.000 DTKV25 und dem Digitalen Basis-Landschaftsmodell Basis-DLM der Bundesrepublik Deutschland dargestellt und untersucht. Die Informationen zu den betroffenen Stadtbereichen wurden weiter durch Informationen aus den Ortsbegehungen sowie kommunalen und anderen Darstellungen zu ihrer ungefähren Entstehungszeit ergänzt.

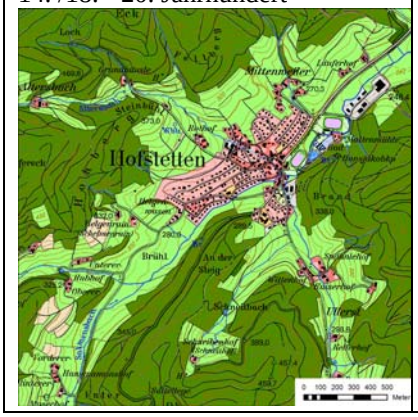
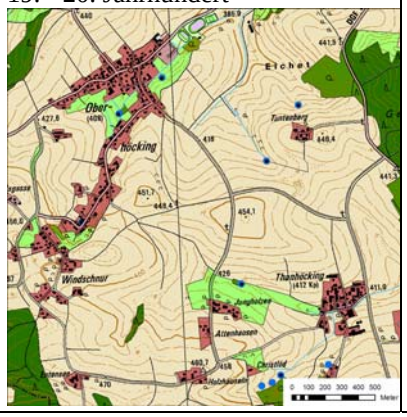
Die Beschreibung der baulichen Struktur der Untersuchungsbereiche erfolgte anhand städtebaulich abgeleiteter Klassen, die unter Einbeziehung der Entstehungszeiten zu drei Strukturtypen zusammengefasst wurden. Die Zusammenfassung erfolgte vor dem Hintergrund der vergleichsweise kleinen Anzahl an Fallstudien, bei der eine tiefere Differenzierung von städtebaulichen Strukturtypen nicht sinnvoll ist.

Unterschieden wurde in

- „Städtischer Typ“, der historisch gewachsene Gebiete bis neuere Erweiterungsgebiete mit Blockrandbebauung, (hoch-) verdichtete Zeilen- und Reihenbebauung bzw. Geschosswohnungsbau umfasst,
- „Dörflicher Typ“, der freistehende Wohn- und Geschäftsgebäude unterschiedlicher Größe und landwirtschaftliche Hofstellen zumeist in dichter Bebauung in historisch gewachsenen Gebieten beinhaltet,
- „Einfamilienhaustyp“, bei dem es sich um neuere Wohnerweiterungsgebiete mit Ein- und Zweifamilienhausbebauung handelt.

Die folgende Übersicht verdeutlicht die Zuordnung der städtebaulichen Strukturklassen zu den drei Strukturtypen.

Tabelle 2-3: Ableitung städtebaulicher Strukturtypen aus Bebauungsstrukturen

Städtischer Typ		
Aachen Kaiserplatz/Rehmviertel Blockrandbebauung 19. Jahrhundert	Dillenburg Blockrand/Dorf/EFH/Industrie- und Gewerbegebiet 14. /19. - 20. Jahrhundert	Lübeck Roter Hahn Zeilen/Reihen 20. Jahrhundert
Dörflicher Typ		
Hofstetten Dorf/EFH 14. /18. - 20. Jahrhundert	Landau an der Isar Oberhöcking /Thanhöcking Dorf/EFH 19. - 20. Jahrhundert	Meschede Calle Dorf/EFH 18. - 20. Jahrhundert
		

Einfamilienhaustyp		
Lohmar Lohmar-Nord EFH 20. Jahrhundert	Paderborn Wever EFH 20. Jahrhundert	Starnberg Percha EFH 20. Jahrhundert

2.1.3 Böden und Geologie

Soweit möglich, wurden aus allgemein zugänglichen Quellen ergänzende Informationen zu den Bodenverhältnissen in den von Starkregen und Sturzfluten betroffenen Stadt- und Ortsteilen ermittelt. Es handelt sich dabei beispielsweise um Bodenkarten, Bodenkonzeptkarten oder Ableitungen daraus, wie der Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern. Bodenkarten und daraus abgeleitete Produkte konnten für insgesamt 13 der 15 Fallstudien gesichtet und/oder ausgewertet werden. Diese Informationsquellen lagen allerdings in sehr heterogener Form vor und unterschieden sich teilweise deutlich hinsichtlich Gegenstand, Aussagetiefe oder Maßstäblichkeit, sodass sie nicht oder nicht unmittelbar untereinander vergleichbar sind. Eine große Einschränkung liegt überdies in dem Umstand, dass bodenbezogene Aussagen häufig nur für den Außenbereich, nicht jedoch für die Siedlungsbereiche vorliegen.

Tabelle 2-4: Übersicht zu den bodenbezogenen Informationsquellen für die Fallstudien

Fallstudie	**Bodenbezogenen Informationsquellen**
Aachen	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche NRW
Berlin	Bodenarten
Braunschweig	Bodenübersichtskarte, Karte Überflutungs- und potenziell überflutungsgefährdete Bereiche
Deidesheim	Karte Wasserrückhaltevermögen, Karte Grund-, Stau- und hangnasse Böden, Karte Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser, Karte Grundnässebeeinflusste Böden
Dillenburg	Hydrologischer Atlas von Deutschland 1.3 Bodenübersicht
Gehren/Wolfsberg	Hydrologischer Atlas von Deutschland, 1.3 Bodenübersicht
Haslach/Hofstetten	Bodenkundliche Einheiten, Bodentypen
Hersbruck	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Landau an der Isar	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Lohmar	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche
Lübeck	Bodenkarte, Karte Versickerungseigenschaften und Grundwasserstände
Meschede	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche

Fallstudie	Bodenbezogenen Informationsquellen
Paderborn	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche
Starnberg	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Zwickau	Bodenübersichtskarte, Bodenkonzeptkarte

2.1.4 Topografie

Zur Untersuchung der Fallstudien lag das Digitale Geländemodell der Bundesrepublik Deutschland vor und wurde für die Fallstudienstädte insgesamt sowie die von Starkregen und Sturzfluten betroffenen Stadt- und Ortsteile ausgewertet. Aus dem Digitalen Geländemodell 25 wurde überdies die Geländeneigung in den Untersuchungsbereichen abgeleitet, die Hinweise auf besondere Gefährdungspotenziale durch schnell abfließendes Wasser bietet.

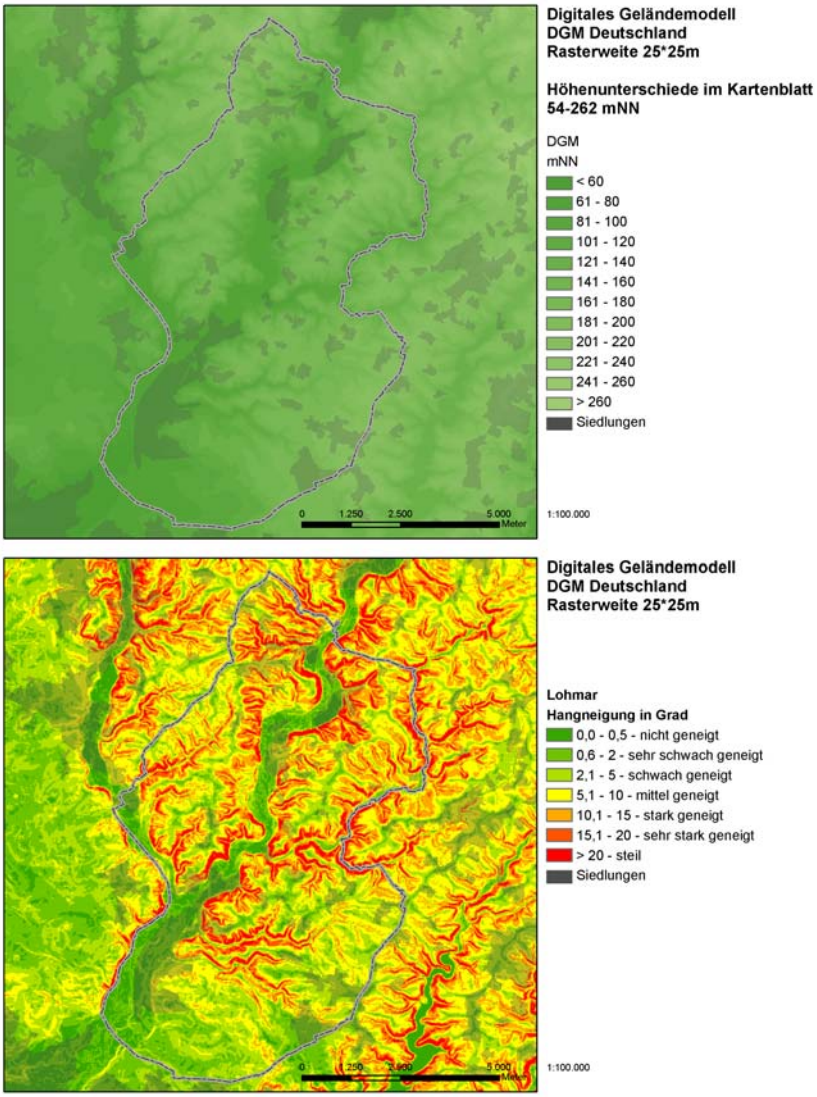


Abbildung 2-3: Höhenverhältnisse in der Gemarkung der Stadt Lohmar

Quelle: DGM50 Deutschland, Basis DLM

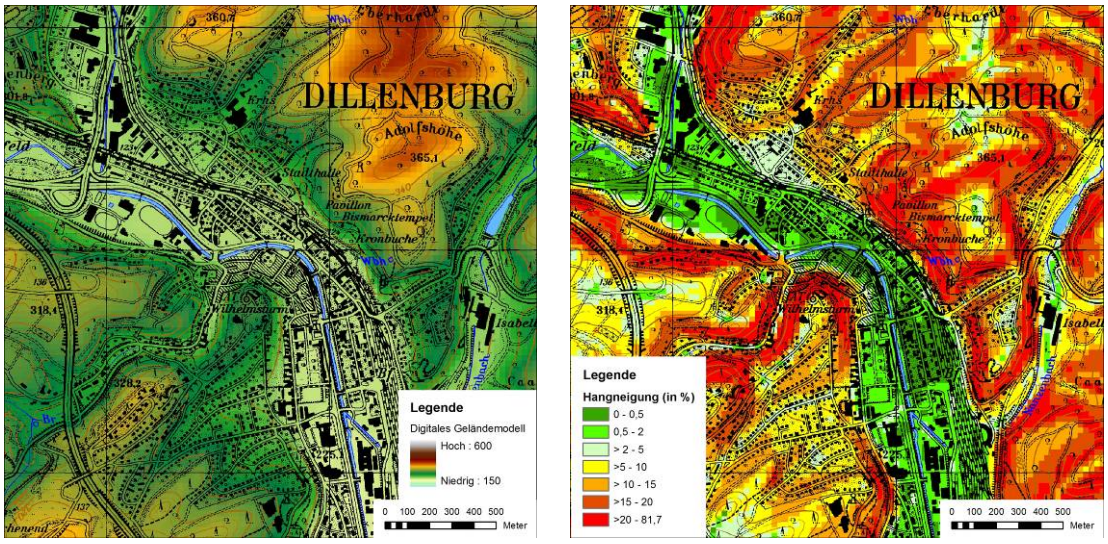


Abbildung 2-4: Topografie und Hangneigung im Untersuchungsbereich Dillenburg

Quelle: DTK25, DGM25 Deutschland

Bei den Auswertung der Topografie wurden die Höhenlage, die Höhenunterschiede und die Reliefenergie ausgewertet.

2.1.5 Klima

Die untersuchten Kommunen wurden den Klimatypen nach Neef zugeordnet und die maßgeblichen Angaben zu den Niederschlägen bestimmt.

Tabelle 2-5: Klimatypen und Jahres- bzw. Sommerniederschläge

Fallstudie	**Klimatyp nach Neef**	**Jahresniederschlag**	**Sommerniederschlag**
		mm/a	**mm/Halbjahr**
Aachen	atlantisch	800 – 900	400 - 500
Berlin	kontinental	600 – 700	300 - 350
Braunschweig	atlantisch	600 – 700	300 – 350
Deidesheim	kontinental	550 – 700	300 - 350
Gehren/Wolfsberg	kontinental	600 - 1000	350 – 750
Hamburg	atlantisch	700 - 900	350 - 450
Haslach/Hofstetten	kontinental	583	333
Hersbruck	kontinental	800 – 1100	400 – 450
Landau a. d. Isar	kontinental	700 – 900	450 – 500
Lohmar	atlantisch	1000 – 1100	450 - 500
Lübeck	atlantisch	700 – 800	300 - 350
Meschede	kontinental	keine Angabe	keine Angabe
Paderborn	atlantisch	800 – 1000	400 - 500
Starnberg	kontinental	1200 – 1400	600 - 800
Zwickau	kontinental	800 – 1000	350 - 450

2.1.6 Entwässerungsstruktur

Bei den Fallstudien wurden die Oberflächengewässer und sonstige Entwässerungsstrukturen sowie die Art und Struktur der Siedlungsentwässerung erfasst. Die Daten wurden in der Regel von den kommunalen Fachbehörden zur Verfügung gestellt und ggf. aufbereitet. Die Auswertung ist in Kap. 4.3 enthalten. Hierbei war es auch bedeutsam, Festlegungen der Kommunen zu den Schutzgraden und Bemessungswerten der kommunalen hydraulischen Systeme zu erheben. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel aus einer Fallstudie.

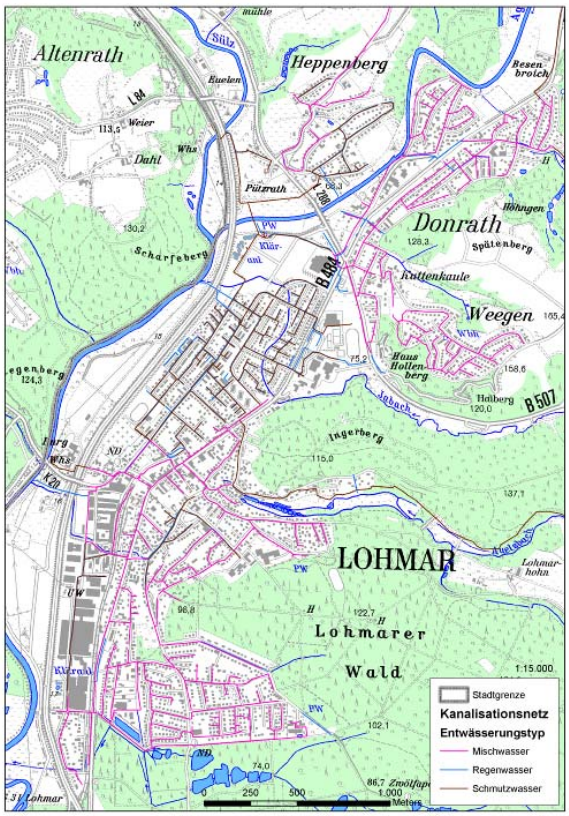


Abbildung 2-5: Auswertung der Entwässerungsstruktur, hier Kanalisationsnetz in Lohmar

Quelle: Stadt Lohmar

2.2 Meteorologische Untersuchungen: Vorhersage, Warnung und Niederschlag sowie begleitende Wetterumstände

Die meteorologischen Untersuchungen umfassen eine Analyse der klimatischen Situation, der getätigten Vorwarnungen vor dem Ereignis, der Auswertung der Niederschlags-Radarbilder des Ereignisses und den Stationsdaten der vorhandenen Niederschlagsstationen. Diese Daten wurden mit vorliegenden Extremwertstatistiken (KOSTRA, MGN) und den Bemessungswerten der Kanalisation verglichen und bewertet.

In diesem Arbeitsabschnitt wurde untersucht, ob es eine Vorwarnung zu dem jeweiligen Ereignis gab, aus welcher Wetterlage das Ereignis entstanden ist, wie sich Niederschlagsmenge und -verlauf beim Ereignis entwickelt haben, wie die räumliche Verteilung des Niederschlages war und wie aufgetretene Größen im Vergleich zu lokalen Bemessungsgrößen (Kanalisation, kommunale Gewässer) laut KOSTRA einzuordnen sind.

2.2.1 Vorhersage und Warnung bei den Fallstudienereignissen

Im Arbeitsschritt „Warnung“ wurde untersucht, ob und wie vor dem Ereignis gewarnt worden ist. Die offiziellen Wetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes seit 2003 wurden zur Verfügung gestellt. Diese Datenbestände der DWD-Systeme KONRAD und FeWIS wurden ausgewertet und die Erkenntnisse aus den Interviews herangezogen. In den Datenarchiven von KONRAD können Warnungen bis zum Jahr 2000 zurückverfolgt werden, das FeWIS-Archiv beinhaltet Warnungen erst seit Anfang 2003.

2.2.2 Niederschlagsuntersuchungen für die Fallstudien

Im Arbeitsschritt „Ereignisanalyse“ wurde das Niederschlagsgeschehen während des Ereignisses untersucht. Die erforderlichen Ausgangsdaten für die Untersuchung wurden vom DWD zur Verfügung gestellt und aus anderen Quellen beschafft. Das Wetterereignis wurde anhand der Wetterlage, der Ausdehnung und des Verlaufs und hinsichtlich der beobachteten Besonderheiten beschrieben und ausgewertet. Aufzeichnungen der Niederschlagsstationen und Radardaten wurden geprüft, miteinander mittels Aneichung verknüpft, ausgewertet und zu Tageswerten zusammengefasst. Soweit möglich, wurden die Ergebnisse visualisiert, ein Beispiel zeigt die folgende Abbildung.

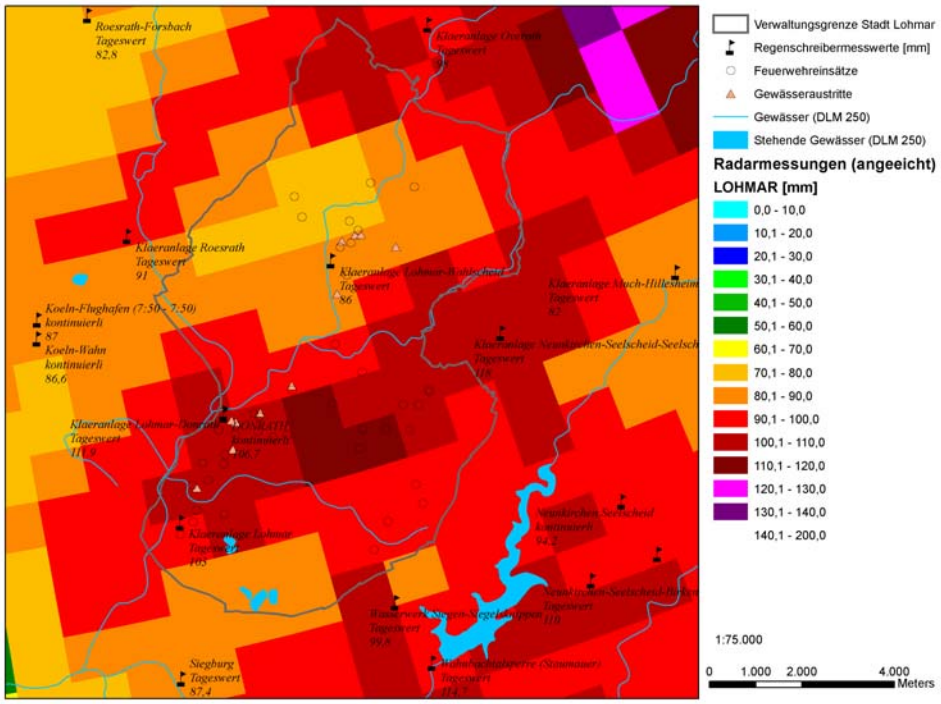


Abbildung 2-6: Visualisierung der Radarmessungen für die Doppelsturzflut in Lohmar am 29. und 30.06.2005

Quellen: DWD, einfalt&hydrotec, Basis DLM, Stadt Lohmar

Im Arbeitsschritt „Analyse und Bewertung “ wurden die gemessenen Niederschläge mit den vorhergesagten Werten aus den Warnungen verglichen. Weitere Vergleiche zwischen Aufzeichnungen der Niederschlagsschreiber und Radarwerten, Tagesniederschlägen und den KOSTRA-Werten, zwischen maximalen Stundenwerten und KOSTRA-Werten und in Einzelfällen mit RADOLAN-Messungen ermöglichten eine Einordnung und Bewertung der Ereignisse. Hierbei wurden auch Gutachten des DWD ausgewertet, sofern solche vorlagen. Weiterhin wurde der Ereignisniederschlag mit Bemessungswerten der Kanalisation verglichen, sofern diese Daten zur Verfügung standen. Die Ergebnisse wurden mit Schlussfolgerungen und Bewertungen zusammengefasst.

2.3 Abfluss- und Überflutungsanalyse

2.3.1 Untersuchungsumfang und Methoden

Abflüsse im urbanen Raum aufgrund von Starkregenereignissen verhalten sich i. Allg. anders als Abflüsse infolge gewässerverursachter Überschwemmung (wobei eine Abgrenzung nicht immer eindeutig ist). Aufgrund des hohen Versiegelungsgrads in städtischen Gebieten sind Niederschläge schnell abflusswirksam. Entwässerungsstrukturen, Topografie und Siedlungs- und Freiraumstrukturen haben Einfluss auf das Abflussverhalten und den Überflutungsprozess.

Da die Kanalisationssysteme i. Allg. nur auf Jährlichkeiten bis 5 Jahre (mit Überstau auf ca. 30 Jahre) bemessen sind, kommt es bei den selteneren Ereignissen zum Abfluss über Straßen und Wege, über ehemals vorhandene Abflussrinnen und (häufig) stark zurückgebaute kleine Bäche. Zusätzliche können oberflächige Abflüsse seitlich aus natürlichen Einzugsgebieten den kanalisierten Gebieten zufließen. Die Abflusskonzentration und Ausbildung der Fließwege bildet sich in Abhängigkeit der Topografie sowie der Bebauung aus. Abflussverschärfungen können auftreten, wenn Kanalisationsbauwerke z. B. durch extremen Hagelfall verstopfen. Anhand der Fallbeispiele sowie daraus abgeleiteten differenzierten Siedlungsstrukturtypen wurde untersucht, wie sich dieser Niederschlags-Abflussprozess genau vollzieht.

Für alle Fallstudien wurden Berechnungen mit dem GIS-basierten hydrologischen Verfahren des Programms SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) durchgeführt (vgl. Teil I, Abschnitt C).

Bei zwei Fallstudien wurden zur Niederschlag-Abflussberechnung feinmaschige zweidimensionale hydrodynamischen Abflussberechnungen mit HYDRO_AS-2D durchgeführt. Die Abbildung zeigt beispielhaft Ergebnisse aus Paderborn für den Ortskern Wewer. Die parallele Untersuchung mit komplexen 2-D-Modellen und vereinfachten Ansätzen ermöglicht eine Qualitätsbeurteilung der Ergebnisse dieser vereinfachten Methoden.

Schließlich wurden am Beispiel der Fallstudien systematisch vereinfachte Ansätze für die Ermittlung von Gefährdung und von Gefahrenpunkten untersucht, die sich durch zunehmenden Datenbedarf und Komplexität unterscheiden. Diese Ansätze werden in Teil I, Abschnitt C dieser Untersuchung dokumentiert.

2.3.2 Abfluss und Überflutungsberechnungen mit dem Programm SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis)

Für alle untersuchten Fallstudien sind GIS-basierte Abflussberechnungen mit dem Programm SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) durchgeführt worden. Die Berechnungen mit SAGA basieren auf einem Geländemodell im 25-Meter-Raster (DGM 25), den ATKIS DLM 25 Landnutzungsdaten (Rauheiten) und einem vereinfachten effektiven Blockniederschlag aus Radarmessungen.

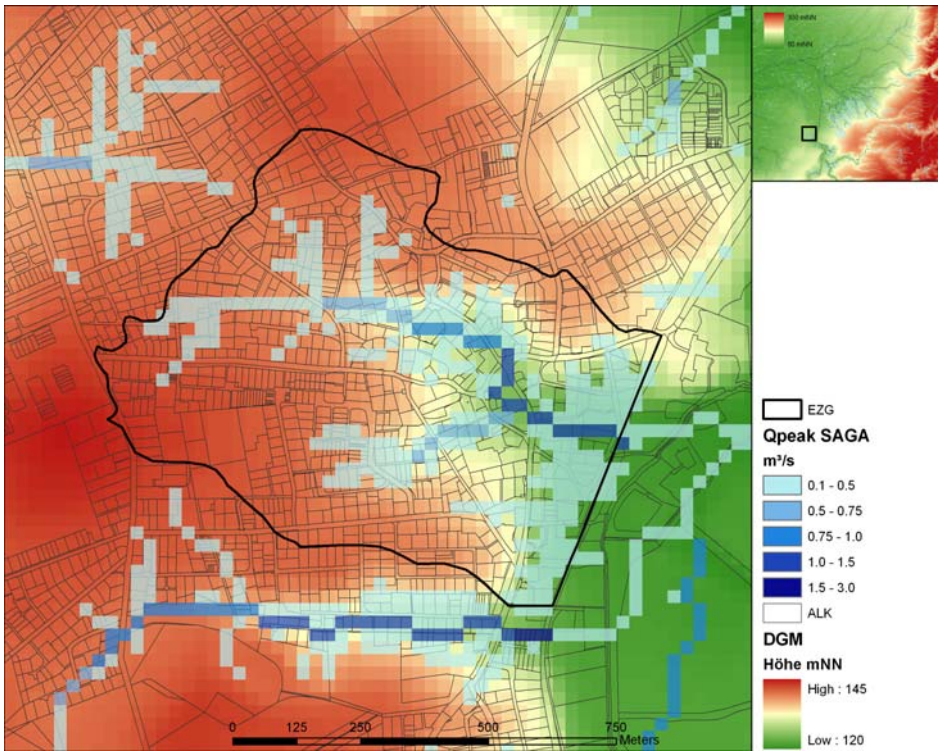


Abbildung 2-7: Fließwege bzw. Abflussraten (-tiefe) berechnet von SAGA am Beispiel Paderborn

Nach der Prüfung auf Eignung wurde das Verfahren auf alle Untersuchungsgebiete angewendet.

Eingangsdaten sind Boden- und Landnutzungsdaten sowie KOSTRA-Werte für Starkniederschläge. Die Ergebnisse werden als Spitzenabfluss in m³/s, die Fließgeschwindigkeiten in m/s sowie bevorzugte Abflussbahnen berechnet.

Die Ergebnisse der Berechnungen wurden anhand der vorhandenen Daten zu den Gewässern sowie den Schadensberichten auf Plausibilität überprüft.

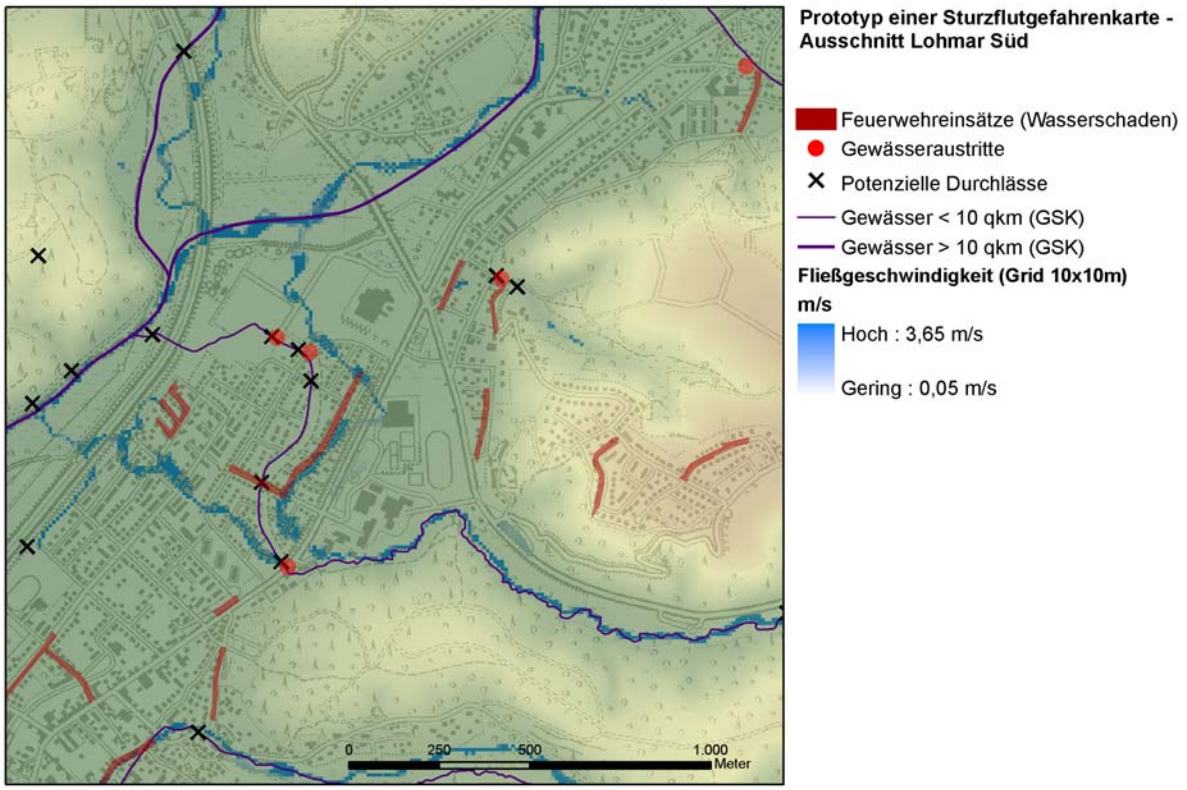


Abbildung 2-8: Darstellungsbeispiel der Berechnung mit SAGA GIS am Beispiel von Lohmar

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in den Fallstudienberichten Teil I, Abschnitt E im Einzelnen dokumentiert.

2.3.3 2-D-Simulationsrechnungen für die Fallstudien Paderborn und Lohmar

In Zusammenarbeit mit den Kommunen Paderborn und Lohmar wurden zweidimensionale, hydrodynamische Modellierungen der aufgetretenen Sturzflutereignisse durchgeführt.

Dazu wurden auf der Grundlage von hochgenauen Geländemodellen (Laserscan Surface Models) feinmaschige instationäre 2-D-Simulationen der Abflüsse mit dem Programm HYDRO_AS-2D "zwischen Häusern" und mit Bezug auf die unterschiedlichen Freiraumstrukturen durchgeführt.

Die Besonderheit der 2-D-Simulation in der Fallstudie Paderborn lag darin, dass ein flächenhafter Abfluss aus einem Gebietsniederschlag in einem städtischen Gebiet ohne größere Oberflächengewässer in Abhängigkeit des tatsächlichen Niederschlagverlaufs simuliert wurde. Um das Niederschlagsereignis möglichst realistisch abzubilden, wurde die Simulation in Einzelzeitschritten von jeweils fünf Minuten Dauer durchgeführt. Die Wassertiefen wurden in Abhängigkeit von zeitvariablen effektiven Niederschlagsintensitäten und der Landnutzung für jeden Knotenpunkt im Berechnungsnetz ermittelt. Als Ergebnis der Berechnung eines Zeitschrittes wurden die Werte für die Wassertiefen jedes Knotens zwischengespeichert und für das nächste Zeitintervall mit den effektiven Niederschlagsintensitäten der nächsten fünf Minuten addiert. Danach wurden sie als Anfangswassertiefen für den nächsten zu berechnenden Zeitschritt angesetzt. Dieser Vorgang wurde solange wiederholt, bis alle vorgegebenen Niederschlagsintervalle bearbeitet worden sind.

Abflüsse im Kanalnetz können mit HYDRO_AS-2D nicht direkt simuliert werden. Es ist jedoch möglich, einzelne Knotenpunkte als Einläufe in das Kanalnetz zu definieren. Für das 2-D-Modell Wewer wurde exemplarisch in zwei Muldenbereichen, in welchen sich Wasser bei Starkregenereignissen wiederholt gestaut hat, eine Kopplung mit dem Kanalnetz realisiert.

Die Simulation mit HYDRO_AS-2D liefert Ergebnisse für verschiedene, räumlich detaillierte und zeitabhängige Parameter:

- Fließtiefen [m]
- Fließgeschwindigkeiten [m/s]
- Fließrichtungen
- Wasserstände [mNN]
- Maximal erreichte Wasserstände [mNN] während der gesamten Berechnung
- Überflutungsdauer [h]
- Maximal erreichte Schubspannungen [N/m²]

Sie werden für jeden Knoten des Berechnungsnetzes und für verschiedene Zeitschritte berechnet.

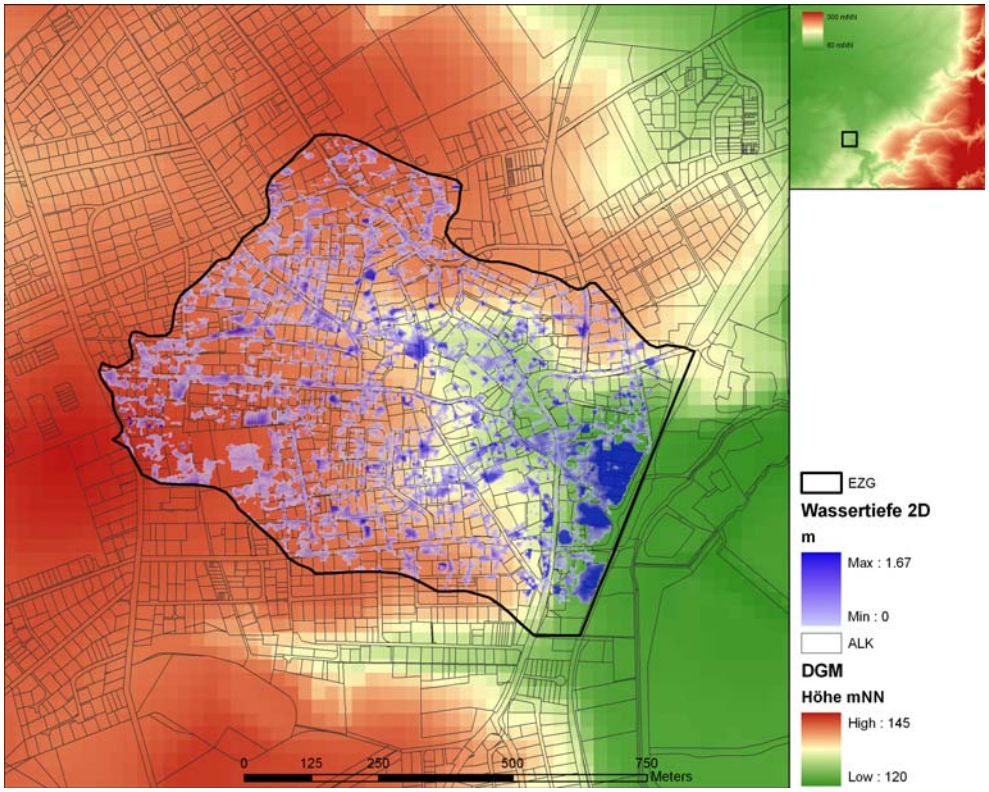


Abbildung 2-9: Maximale berechnete Wassertiefen im Ortskern Wewer (eigene Berechnungen)

Ergebnis ist neben der Kenntnis typischer Abflusssituationen und deren Verlauf im urbanen Raum die Identifikation besonderer Gefahrenpunkte, die für die Stadtplanung relevant sind. Vorliegende Ergebnisse aus durchgeführten Forschungsprojekten (RisUrSim) wurden berücksichtigt.

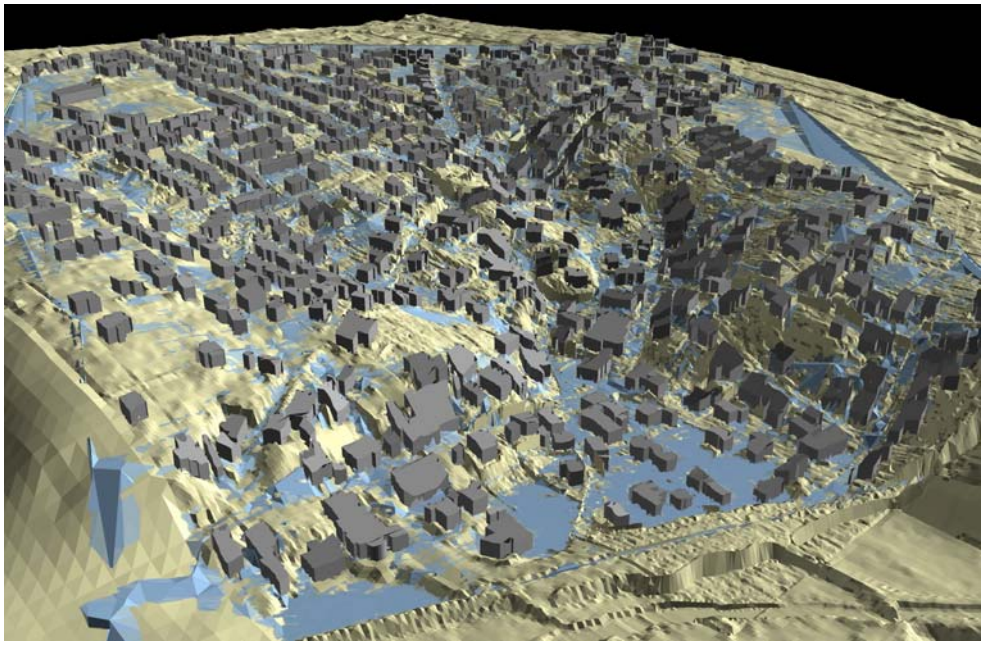


Abbildung 2-10: Maximale Wassertiefen in 3-D-Ansicht (Blickrichtung NW; eigene Berechnung)

Neben den detaillierten 2-D-Berechnungen zur Abfluss- und Überflutungsberechnung wurden systematisch Ansätze für die Abflussberechnung untersucht, die sich durch zunehmenden Datenbedarf und zunehmende Komplexität unterscheiden (Teil I, Abschnitt C).

2.3.4 Ergebnisdokumentation

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den Fallstudienberichten Paderborn und Lohmar in Teil I Abschnitt B, Berechnungen mit SAGA GIS und Berechnungen mit HYDRO_AS-2D dokumentiert.

2.4 Schadenserhebung und -berechnung

2.4.1 Schadenserhebung bei den Fallstudien

Die Erhebung der geschädigten Objekte erfolgte anhand der Informationen der Feuerwehren, der Ergebnisse der Interviews und eigener Recherchen teilweise vor Ort. Die Informationen der Feuerwehren mussten in der Regel georeferenziert und kartografisch aufbereitet werden. Nicht immer konnten die Schäden vollständig erfasst werden. In Abbildung 2-11 sind die Feuerwehreinsätze nach einer Sturzflut in Lohmar verortet.

Die Schadensberechnungen erfolgten nach den Methoden, die in Teil I, Abschnitt A beschrieben sind. Schadensauswertungen und -karten wurden für alle Fallstudien erstellt, soweit Daten vorhanden sind.

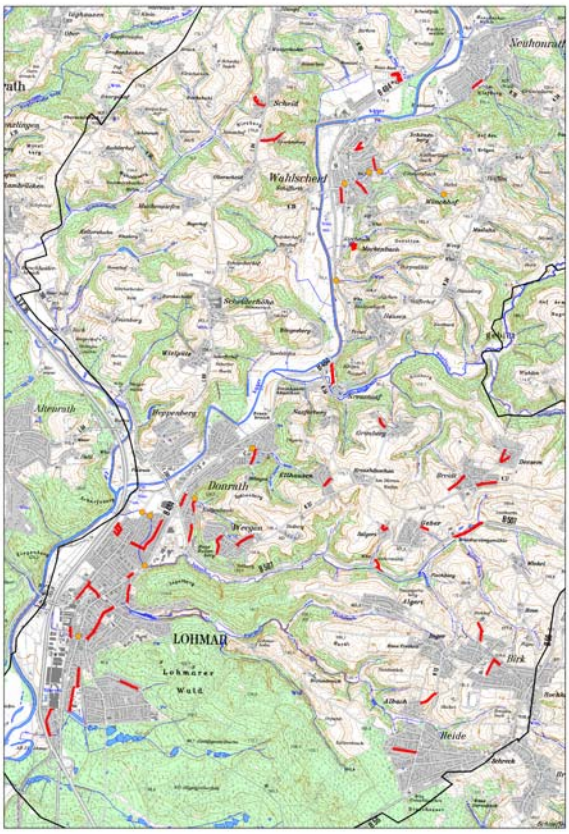


Abbildung 2-11: Feuerwehreinsätze (rot) im Stadtgebiet Lohmar nach dem Doppelsturzflutereignis vom 29. - 30.06.2005

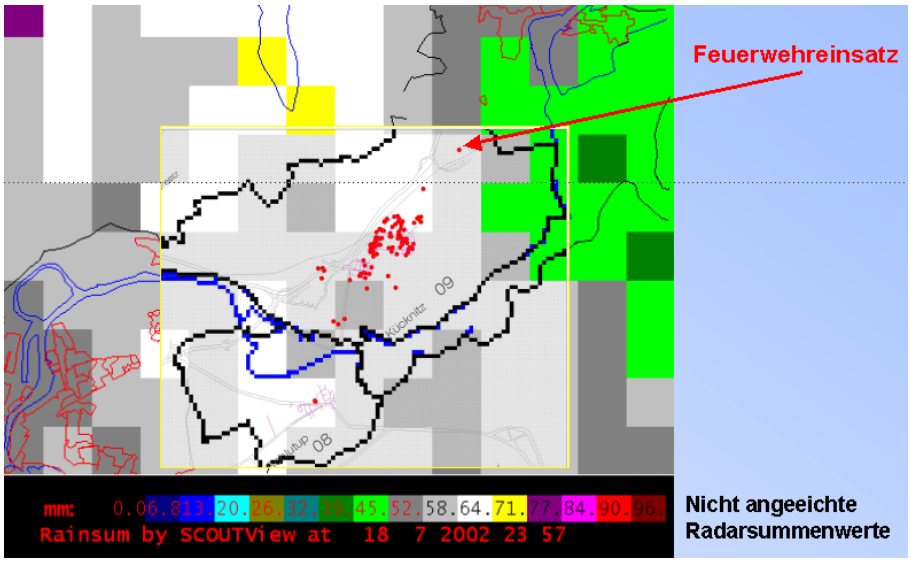


Abbildung 2-12: Beispiel für einen Vergleich der Feuerwehreinsätze mit Starkniederschlagsfeldern aus Radarbildern nach dem Unwetterereignis vom 18.07.2002 in Lübeck

Quelle: einfalt&hydrotec

Die Schadensdaten und Berechnungsergebnisse wurden in allen Fallstudien zusammengestellt und den Kommunen zur Plausibilitätsprüfung vorgelegt.

2.4.2 Mikroskalige Erfassung von Sturzflutschäden mittels Befragung *(Beitrag Frau Müller, Deutsche Rück)*

Am 29. und am 30.06.2005 führten überregionale, extreme Starkniederschlagsereignisse in den Städten Hersbruck und Lohmar zu Sturzfluten und verursachten großen Schäden. In Anbetracht der großen Anzahl der Betroffenen und der Aktualität des Ereignisses wurde unter der Leitung der Deutschen Rückversicherung eine telefonische Befragung der Betroffenen in beiden Städten durchgeführt. Während der Befragungszeit wurden alle ermittelten Haushalte von einem unabhängigen Befragungsinstitut angerufen und mithilfe eines von der Deutschen Rück und dem GeoForschungsZentrum Potsdam (Projekt MEDIS) entwickelten Fragebogens befragt. Der eingesetzte Fragebogen wurde in Zusammenarbeit mit der Deutschen Rückversicherung, dem GFZ in Potsdam und der Fachhochschule Aachen für URBAS modifiziert und an die spezifischen Eigenschaften von Sturzfluten angepasst.

Im Vorfeld der Befragung wurden die betroffenen Bürger und die breite Öffentlichkeit über das Vorhaben informiert. Die Information erfolgte über die Veröffentlichung einer Pressemeldung in den lokalen Zeitschriften und auf den Homepages der Städte sowie über die Verteilung von Postwurfsendungen (Flyer mit Informationen über URBAS) an die betroffenen Haushalte durch studentische Mitarbeiter der FH Aachen. Hierbei haben sich beide Kommunen sehr kooperativ gezeigt. Die verteilten Informationsbroschüren sind den Fallstudienberichten in Teil I, Abschnitt E beigefügt.

Die telefonische Befragung wurde vom 21.11.2006 bis zum 19.12.2006 vom Marktforschungsinstitut explorare, Bielefeld, durchgeführt. Die Feldzeit der Befragung dauerte etwa 2-3 Wochen, die Feldzeit entfiel auf die Monate November und Dezember 2006. Mithilfe der von der jeweiligen Feuerwehr bereitgestellten Listen betroffener Straßen konnten 1277 gültige Telefonnummern von Privathaushalten ermittelt werden, 534 in Hersbruck und 743 in Lohmar. Während der Feldzeit wurden alle Telefonnummern angerufen, rund 50 % waren nicht betroffen oder sind im Rahmen der Screenings (z. B. bei überwiegend gewerblicher Nutzung des Gebäudes) entfallen, 25 % wollten nicht teilnehmen und 11 % wurden während der Feldzeit nicht erreicht. Insgesamt wurden 173 Interviews realisiert, 111 in Lohmar und 62 in Hersbruck. Die durchschnittliche Interviewdauer betrug rund 25 Minuten.

Die Befragungsdaten wurden aufbereitet, anschließend wurde eine statistische Analyse durchführt. In Betracht gezogen wurden nur vollständig ausgefüllte Fragebogen. Abgebrochene und somit unvollständige telefonische Befragungen wurden nicht berücksichtigt. Die Auswertung der Befragungsdaten erfolgte mit der statistischen Software SPSS, alternativ wurden die Daten in Access und Excel weiter aufbereitet.

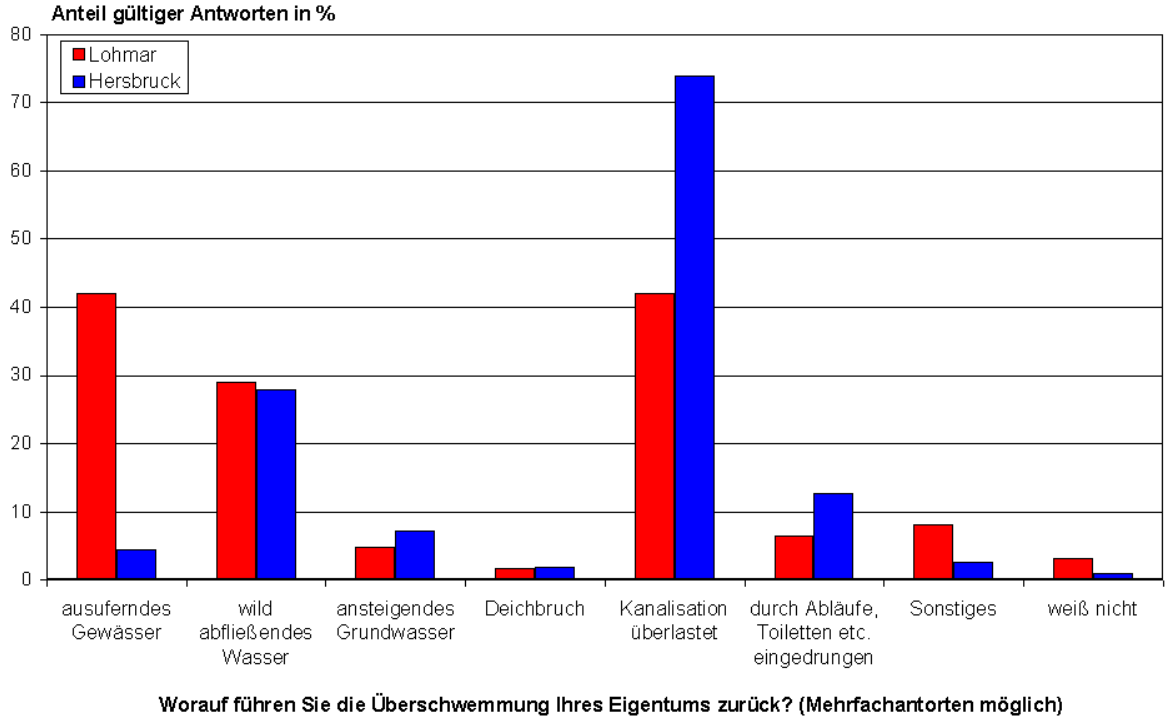


Abbildung 2-13: Ursachen der Überflutung in Lohmar (Teilergebnis der Befragung).

Die Ergebnisse wurden in den Fallstudienberichten Lohmar und Hersbruck zusammengefasst und den Kommunen verfügbar gemacht. Vorgehensweise und Ergebnisse sind weiterhin in einem Bericht in Teil I, Abschnitt E, Fallstudienberichte detailliert beschrieben.

2.4.3 Schadensarten und Stadtstruktur

Im Themenbereich Schadensarten und Stadtstruktur war das Ziel, Methoden zu entwickeln, mit denen die Verletzlichkeit von Siedlung und Infrastruktur über städtebauliche Parameter praxisnah ermittelt werden kann. Die Untersuchungen hierzu umfassen Ansätze, wie aus den Planwerken (FNP, B-Plan) und allgemein verfügbaren Nutzungsdaten (CORINE, Luftbilder etc.) systematisch potenzielle Schadensgrößen ermittelt werden können.

2.4.4 Städtebauliche Analyse

Auf der Basis der Fallstudien wurde untersucht, ob und in welcher Form und welchem Umfang bestimmte städtebauliche Strukturen besonders von Starkregen und Sturzfluten betroffen sind. Hierzu wurde für die jeweils betroffenen Stadt- und Ortsteile die städtebauliche Struktur bestimmt und einer von drei Strukturtypen zugeordnet, ferner wurden die Topografie und Hangneigung betrachtet, soweit möglich bodenbezogene Informationen hinzugezogen und die Ereignisbeschreibungen analysiert. Die folgende Tabelle 2-6 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse der städtebaulichen Analysen in den 38 Stadt- und Ortsteilen der 15 Fallstudien; in den Anlagen zu Teil I, Abschnitt B, sind die Auswertungen dokumentiert.

Tabelle 2-6: Übersicht über die städtebaulichen Analysen der Fallstudien

Fallstudie Ortsteil/Teilgebiet	**Baustruktur Städtb. Strukturtyp**	**Entstehungs-zeit**	**Hinweiskarten auf pot. gefährdete Bereiche**
Aachen			
Kaiserplatz/Rehmviertel	Blockrand Städtischer Typ	19. Jh.	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche
Burtscheid	Blockrand Städtischer Typ	19.-20. Jh.	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche
Berlin			
Friedenau	Blockrand Städtischer Typ	19. Jh./20. Jh.	Bodenarten
Wannsee	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Bodenarten
Braunschweig			
Wenden	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Bodenübersichtskarte, Karte Überflutungs- und potenziell überflutungsgefährdete Bereiche
Lehndorf	Dorf/EFH Einfamilienhaustyp	12. Jh./20. Jh.	Bodenübersichtskarte, Karte Überflutungs- und potenziell überflutungsgefährdete Bereiche
Kälberwiese	EFH/Blockrand Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Bodenübersichtskarte, Karte Überflutungs- und potenziell überflutungsgefährdete Bereiche
Querum / Schuntersiedlung	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Bodenübersichtskarte, Karte Überflutungs- und potenziell überflutungsgefährdete Bereiche
Riddagshausen	Dorf Dörflicher Typ	15. Jh./19.-20. Jh.	Bodenübersichtskarte, Karte Überflutungs- und potenziell überflutungsgefährdete Bereiche
Deidesheim			
Deidesheim	Dorf/Blockrand/EFH Städtischer Typ	14. Jh./19.-20. Jh.	Karte Wasserrückhaltevermögen, Karte Grund-, Stau- und hangnasse Böden, Karte Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser, Karte Grundnässebeeinflusste Böden
Gehren/Wolfsberg			
Gehren	Dorf Dörflicher Typ	13. Jh./19.-20. Jh.	-
Finnlandsiedlung	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	-
Jesuborn	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	-
Gräfinau-Angstedt	Dorf/EFH Dörflicher Typ	13. Jh./19.-20. Jh.	-
Hamburg			
St. Pauli	Zeilen, Blockrand Städtischer Typ	16./17. Jh. - 19./20. Jh.	Karten zu Präventionsmaßnahmen der Stadt Hamburg
Fuhlsbüttel	EFH, Reihen, Zeilen, Blockrand Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Karten zu Präventionsmaßnahmen der Stadt Hamburg
Osdorf	Zeilen/EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Karten zu Präventionsmaßnahmen der Stadt Hamburg
Billstedt	Zeilen/Reihen Städtischer Typ	20. Jh.	Karten zu Präventionsmaßnahmen der Stadt Hamburg
Neugraben	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Karten zu Präventionsmaßnahmen der Stadt Hamburg
Haslach/Hofstetten			
Haslach	Blockrand/EFH Städtischer Typ	13. Jh./18.-. Jh./20. Jh.	Bodenkundliche Einheiten, Bodentypen

Fallstudie Ortsteil/Teilgebiet	**Baustruktur Städtb. Strukturtyp**	**Entstehungs-zeit**	**Hinweiskarten auf pot. gefährdete Bereiche**
Hofstetten	Dorf/EFH Dörflicher Typ	14. Jh./18.-. Jh.20. Jh.	Bodenkundliche Einheiten, Bodentypen
Hersbruck			
Buch	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Ellenbach	Dorf/EFH Dörflicher Typ	19.-20. Jh.	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Landau an der Isar			
Landau	(Blockrand)/EFH Städtischer Typ	13. Jh./20. Jh.	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Oberhöcking	Dorf/EFH Dörflicher Typ	19.-20. Jh.	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Thanhöcking	Dorf/EFH Dörflicher Typ	19. Jh.-20. Jh.	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Fichtheim	Dorf/EFH Dörflicher Typ	19. Jh.-20. Jh.	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Lohmar			
Lohmar-Nord	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche
Lübeck			
Lorenz-Süd	Zeilen/Block Städtischer Typ	20. Jh.	Bodenkarte, Karte Versickerungseigenschaften und Grundwasserstände
Lorenz-Nord	Zeilen/Reihen Städtischer Typ	20. Jh.	Bodenkarte, Karte Versickerungseigenschaften und Grundwasserstände
Roter Hahn	Zeilen/Reihen Städtischer Typ	20. Jh.	Bodenkarte, Karte Versickerungseigenschaften und Grundwasserstände
Meschede			
Meschede	Blockrand/EFH Städtischer Typ	10. Jh./19.-20. Jh.	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche
Calle	Dorf/EFH Dörflicher Typ	18.-20. Jh.	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche
Paderborn			
Wever	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Bodenkarte, Karte Überschwemmungsgefährdete Bereiche
Starnberg			
Percha	EFH Einfamilienhaustyp	20. Jh.	Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Bayern
Zwickau			
Marienthal	Dorf/EFH/Zeilen/Reihen Städtischer Typ	19.-20. Jh.	Bodenübersichtskarte, Bodenkonzeptkarte
Niederplanitz	Blockrand/EFH Städtischer Typ	19.-20. Jh.	Bodenübersichtskarte, Bodenkonzeptkarte
Schneppendorf	Dorf/EFH Dörflicher Typ	19.-20. Jh.	Bodenübersichtskarte, Bodenkonzeptkarte

Bei den untersuchten Ereignissen handelt es sich mit einer Ausnahme mindestens um 50-jährige, zumeist aber 100-jährige und noch seltenere Ereignisse, also um Starkregen und Sturzfluten im Sinne der Ereignisdefinition des Vorhabens. Dabei handelt es sich sowohl um lokale (konvektive) wie auch regionale (frontengebundene) Ereignisse.

2.5 Hochwasserbewältigung, Ereignismanagement

2.5.1 Zuständigkeiten, Koordination und Zusammenarbeit

In diesem Arbeitsbereich wurde untersucht, wie gut und effektiv das Einsatzmanagement und die Zusammenarbeit der verschiedenen Hilfsdienste bei den untersuchten Ereignissen funktioniert haben. Die Informationen wurden im Wesentlichen durch die Befragung der zuständigen Stellen sowie Auswertung von Einsatzberichten, Zeitungen etc. erhalten. Im Einzelnen wurde ermittelt:

- Vorhandene oder beim Ereignis eingerichtete organisatorische Einrichtungen, beispielsweise die Einrichtung von zentralen Leitstellen
- Zeitpunkt der Schadensmitteilung bzw. Alarmierung
- Beteiligte Einsatzkräfte (Organisationen, Anzahl der Einsatzkräfte und Zusammenarbeit der eingesetzten Hilfsdienste)
- Wer forderte die Hilfsdienste wann an?
- Zeitpunkt des Eintreffens am Schadensort und der Durchführung von Hilfsmaßnahmen
- Existierten Einsatzregeln für den Ereignisfall für welche Adressaten?
- Wie ist das Zusammenwirken der Beteiligten (Erfolgsfaktoren, Hemmnisse)?

In der Regel konnte zumindest eine wesentlicher Anteil dieser Informationen ermittelt werden. In einigen Fällen ist das Einsatzmanagement von den betroffenen Kommunen selbst im Nachhinein detailliert ausgewertet worden (Braunschweig, Lohmar), sodass hier wertvolle Erfahrungsberichte und übertragbare Analyseergebnisse vorliegen.

2.5.2 Laufende Information über das Ereignis

In diesem Arbeitsbereich wurde ermittelt, wie gut die Warnungen vor dem Ereignis waren, ob diese im Ereignisfall genutzt wurden und wie der Informationsfluss über den Ereignisverlauf während des Ereignisses zwischen den verschiedenen Organisationen funktioniert hat. Die Informationen wurden im Wesentlichen durch die Befragung der zuständigen Stellen sowie Auswertung von Einsatzberichten, Zeitungen etc. erhalten. Im Einzelnen wurde ermittelt:

- Wurden eigene Vorhersagen (der Kommunen, der Hilfsdienste) erstellt oder Vorhersagen anderer Dienste bezogen?
- Wurden diese Vorhersagen für Warnungen genutzt?
- Gab es eine Vorwarnung, wenn ja durch wen?
- In welcher Form erfolgte eine Verbreitung der Warnungen an Hilfsdienste und Öffentlichkeit (Art, Informationswege, Adressaten)?
- Wie erfolgten die Erfassung eintreffender Meldungen, die Informationsaufbereitung und die Weitergabe von Informationen und Warnungen?

In der Regel konnte zumindest ein Teil dieser Informationen ermittelt werden. In allen Fällen konnte jedoch zumindest eine Einschätzung der Qualität der Kommunikation zwischen den Hilfsdiensten erfragt werden.

2.5.3 Abwehr der Hochwasserwirkungen und schadensmindernde Maßnahmen

In diesem Arbeitsbereich wurde ermittelt, welche Maßnahmen die verschieden Hilfsdienste zur Abwehr der Hochwasserwirkungen (Sofortmaßnahmen) durchgeführt haben und welche kurz- und mittelfristige Maßnahmen zur Schadensminderung und Schadensbehebung ergriffen wurden.

Unter Sofortmaßnahmen werden beispielsweise die Freihaltung von Abflusswegen, der Schutz von Objekten oder die Entfernung gefährdeter Objekte und erforderliche Evakuierungen verstanden. Die Tabelle 2-7 zeigt die Zusammenstellung von einigen Maßnahmen, die in den untersuchten Kommunen in diesem Handlungsbereich durchgeführt wurden.

Tabelle 2-7: Beispiele für Maßnahmen der Kommunen

Sofortmaßnahmen	Alarmierung Schutzmaßnahmen (Sandsäcke, Aqua-Barrier bzw. Hochwasserschutzwand) Verkehrslenkung Notunterkünfte und Versorgung
Kurz- und mittelfristige Maßnahmen	Technische Maßnahmen (Beseitigung von Engstellen im Gewässer, Kanal- und Sinkkastenräumung, Technik Feuerwehr) Unterstützung bei schadensmindernden Maßnahmen (Beratung, Trocknungsgeräte) Unterstützung bei Sperrmüll- und Schlammbeseitigung Unterstützung bei Schadensschätzung Unterstützung bei Spendensammlung und Schadensregulierung Beauftragung verschiedener Gutachten Informationsmaßnahmen (Hochwasserfibel)

Eine umfassende Aufarbeitung und Darstellung dieser möglichen Maßnahmen erfolgt in Teil I, Abschnitt C dieser Untersuchung.

2.6 Kommunale Risikoanalyse

2.6.1 Überflutungsgefährdung und Risiko

In den untersuchten Fallstudien können unterschiedliche Hochwassertypen mit potenzieller Überflutungsgefährdung auftreten:

- Überflutung durch wild abfließendes Wasser (Hangabfluss)
- Überflutung durch Hochwasser an kleinen Gewässern (mit kurzer Vorwarnzeit)
- Überflutung infolge Überlastung der Kanalisation bzw. Störung der Funktionsfähigkeit
- Überflutung durch Hochwasser an größeren Gewässern mit langer Vorwarnzeit
- Überflutung durch Sturmflut

Zunächst wurde untersucht, für welche dieser potenziellen Gefährdungen – sofern sie in der jeweiligen Kommune gegeben waren – bereits Gefährdungs- oder Risikountersuchungen durchgeführt worden sind und ggf. in Texten oder Karten als Gefahren- und Risikokarten dargestellt wurden. Hierbei wurden sowohl die Ersteller dieser Karten erfasst, die Aktualität der Informationen, der Zugang zu diesen Daten und Darstellungen als auch – soweit ermittelbar- die Berücksichtigung dieser Kenntnisse in der kommunalen Planung. Die folgende Abbildung 2-14 zeigt die Auswertung für die Stadt Lohmar, für die entlang der Agger verschiedene Überschwemmungsgebietsbestimmungen erfolgt sind.

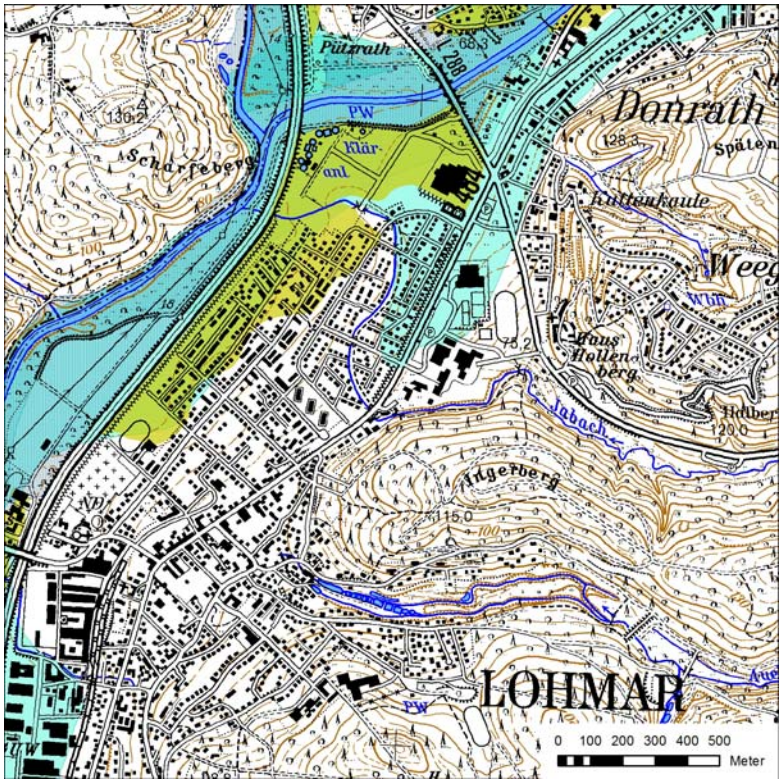


Abbildung 2-14: Überschwemmungsgefährdete Bereiche und historische Überschwemmungsgebiete im Bereich Lohmar-Nord

Quelle: Digitale Karte der hochwassergefährdeten Bereiche NRW

In den Fallstudien wurden mögliche Hinweise aus einfach zugänglichen Informationsgrundlagen zur Topografie und zum Boden daraufhin geprüft, ob sie Hinweise über mögliche Sturzflutrisiken enthalten.

Topografische Informationen lagen mit der DTK25 und dem DGM25 in allen Fallstudien vor. Beide Datenquellen bieten die Möglichkeit, anhand des Verlaufs von Höhenlinien (DTK25) oder entsprechender Klassifizierung der Rasterwerte (DGM25) interpretierend mögliche Abflusswege anhand von Rinnen und Rillen im Geländeverlauf auch unabhängig von (Kleinst-)Gewässern zu erkennen. Die Fallstudien zeigen den Ablauf des Niederschlagswassers in diesen Geländestrukturen. Sehr anschaulich und mit geringem Aufwand lassen sich erste Hinweise auf mögliche Risiken durch Geländeabflüsse gewinnen. In 13 der 15 Fallstudien lagen bodenbezogene Informationen und daraus abgeleitete Produkte vor (beispielsweise Karte Wassergefährdete Bereiche, Bodenkonzeptkarten u. Ä.), allerdings in sehr heterogener Qualität.

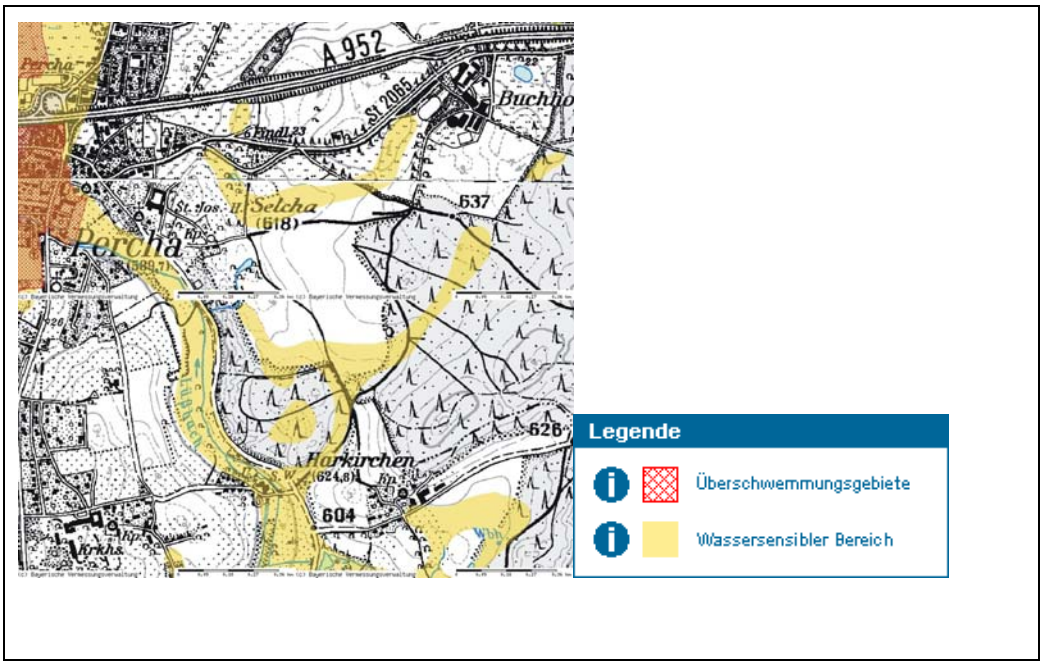


Abbildung 2-15: Karte „wassersensible Bereiche“ in Bayern

Wassersensible Bereiche werden anhand der Auen und Niedermoore abgegrenzt. Sie kennzeichnen den natürlichen Einflussbereich des Wassers, in dem es zu Überschwemmungen kommen kann. An den kleineren Gewässern sind in der Regel keine Überschwemmungsgebiete ermittelt und amtlich festgesetzt. Die Darstellung von Auenstandorten und Niedermooren gibt hier den einzigen Hinweis auf mögliche Überschwemmungen (einschließlich hoher Grundwasserstände). An größeren Gewässern ergänzen die Auen/Niedermoore die Informationen zu den Überschwemmungsgebieten (z. B. Gebiete hinter Deichen, extreme Überschwemmungsereignisse über ein HQ_{100} hinaus).

Bei der Darstellung bleiben die Wirkungen von Hochwasserschutzmaßnahmen (z. B. Deiche, Talsperren, Rückhaltebecken, Gewässerausbau etc.) unberücksichtigt. Mit Auen/Niedermooren wird der Standort angesprochen, unabhängig von der derzeitigen Nutzung und dem Wert für den Naturschutz. Die Darstellung dieser Gebiete dient dazu, das Bewusstsein für mögliche Gefahren durch Überschwemmungen und/oder zeitweilig hohe Grundwasserstände zu schärfen, um Schäden zu vermeiden.

2.6.2 Kommunale Risikoanalysen für Sturzfluten und Hochwasser

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde erhoben, ob für weitere, bisher nicht in Gefährdungs- oder Risikountersuchungen dargestellte überflutungsgefährdete Bereiche von der Kommune selbst Untersuchungen zu Gefahrenpunkten oder zu überflutungsgefährdeten Gewässerabschnitten bzw. kanalisierten Bereichen durchgeführt wurden. Hierbei war vor allem bedeutsam, zu ermitteln, mit welchem Ziel und unter Verwendung welcher Methoden diese Untersuchungen erfolgt sind. Die Abbildung 2-16 zeigt ein Beispiel für die Untersuchung der Leistungsfähigkeit und potenzieller Austrittspunkte eines kleinen Gewässers, die auch für die Konzeption von Maßnahmen verwendet wurde.

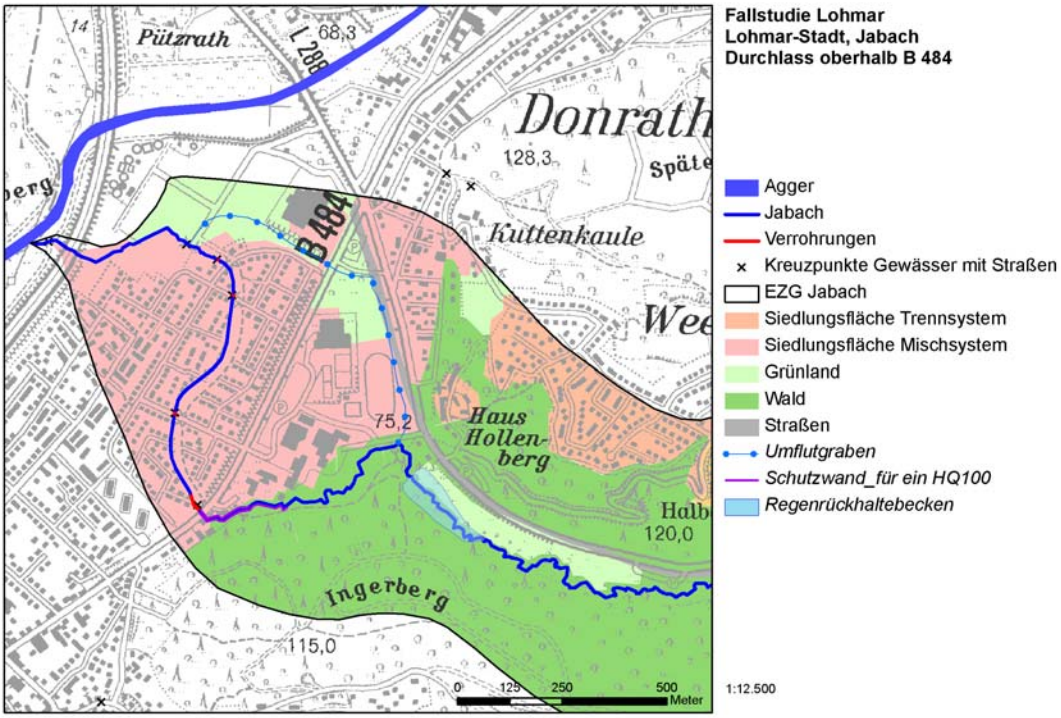


Abbildung 2-16: Drei alternative Varianten zur Risikominderung am Jabach (Umflutgraben, Schutzwand und Regenrückhaltebecken)

Quelle: Gewecke und Partner, 2006

2.6.3 Zuständigkeiten, Dokumentation und Veröffentlichung der Gefahren- und Risikoerhebungen

In diesem Arbeitsschritt wurde erhoben, ob in der jeweiligen Kommune die Zuständigkeiten für eine Dokumentation und Information der Bürger festgelegt ist und in welcher Form diese Information stattgefunden hat.

2.7 Vorsorgemaßnahmen

2.7.1 Untersuchungsziel und Maßnahmendefinition

In diesem Untersuchungsabschnitt bestand das Ziel, zu ermitteln, welche Art von Vorsorgemaßnahmen in der Kommune in der Vergangenheit oder infolge des Ereignisses geplant und umgesetzt worden ist. Die Maßnahmendefinition orientiert sich an den Handlungsbereichen, die von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser in den Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz (LAWA, 1995) veröffentlicht wurden und beispielsweise vom Deutschen Komitee für Katastrophenvorsorge (DKKV, 2002, S. 10) ergänzt wurden.

2.7.2 Handlungsbereiche einer Kommune

Für die Erhebung wurden in dem Fragebogen die einzelnen Handlungsbereiche definiert und beschrieben. Ziel der Erhebung war insbesondere, beispielhafte Vorsorgemaßnahmen zu identifizieren und zu dokumentieren. Die Handlungsbereiche sind im folgenden kurz beschrieben:

- Flächenvorsorge

Unter „Maßnahmen der Flächenvorsorge“ werden das Freihalten und die Sicherung überflutungsgefährdeter Flächen vor Neubebauung, das Freihalten und die Sicherung bedeutender Abflusswege und Retentionsflächen (außerhalb der Gewässer) sowie die Sicherung von Flächen für bauliche Hochwasserschutzmaßnahmen und Gewässerausbauten verstanden. Hierzu können auch Maßnahmen zur Geländemodellierung gehören, die mit dem Ziel erfolgen, den schadlosen Abfluss von Überstau zu gewährleisten. Im Wesentlichen können hierzu Instrumente der Bauleitplanung bei Neu- und Sanierungsplanungen eingesetzt werden, z. T. bestehen auch für andere Fachplanungen (Straßenplanung, Freiraum- und Landschaftsplanung) in diesem Bereich Handlungsmöglichkeiten.

- Nicht-technische abflussmindernde Maßnahmen

Nicht technische Maßnahmen zur Abflussminderung außerhalb der geschlossenen Bebauung können beispielsweise die Aufforstung von Flächen, die Schaffung natürlicher Rückhalteflächen oder eine veränderte Bearbeitung von landwirtschaftlichen Flächen umfassen. Innerhalb der Siedlungsbereiche sind dies beispielsweise Maßnahmen zur Entsiegelung, zur Regenwasserversickerung und zum Regenwasserrückhalt.

- Technische Maßnahmen

Technische Maßnahmen zur Abflussminderung an Gewässern und in der Kanalisation umfassen die Schaffung von Rückhalteräumen und Bau von Rückhaltebecken an Gewässern und im Kanalnetz. Die Verbesserung der Abflussleistung im Gewässer und im Kanalnetz kann durch Ausbau und Unterhaltung, insbesondere die Beseitigung von Abflussengpässen und kritischen Bauwerken erzielt werden oder in größeren Kanalnetzen die aktive Kanalsteuerung umfassen. Zu diesen Maßnahmen zählen ebenfalls die Errichtung und Unterhaltung von Anlagen zum Schutz gefährdeter bebauter Bereiche (Deiche, Mauern, mobile Schutzelemente).

- Bauvorsorge

Maßnahmen der Bauvorsorge umfassen vorbeugende Maßnahmen an gefährdeten Objekten wie hochwasserangepasstes Bauen oder die Vorhaltung fester und mobiler Schutzeinrichtungen, insbesondere an bodennahen Gebäudeöffnungen wie ebenerdige Eingangstüren, Terrassentüren, Kellerlichtschächte, Kellerzugänge und Leitungsdurchführungen. Die wesentlichste Sicherungsmaßnahme für Bauwerke stellen aber funktionsfähige Rückstausicherungen dar.

- Risikovorsorge

Unter „Maßnahmen der Risikovorsorge“ wird eine finanzielle Vorsorge für den Fall, dass trotz Vorsorge ein Hochwasserschaden eintritt, verstanden. Dieses kann die Bildung von Rücklagen oder Versicherungslösungen beinhalten.

- Informationsvorsorge

Maßnahmen der „Informationsvorsorge“ umfassen die Information und Beratung der Betroffenen, beispielsweise die Veröffentlichung von Risikokarten und die Verbreitung von Informationsmaterial zu persönlichen und privaten Vorsorgemaßnahmen.

- Verhaltensvorsorge

„Verhaltensvorsorge“ umfasst die Komponenten „Verbesserung der Vorbereitung auf den Hochwasserfall“, die „Vorhersage und Warnung vor Hochwasser“ sowie die „Verbesserung der Gefahrenabwehr“. Dazu zählen auch Übungen, bei denen diese Handlungsabläufe außerhalb von Hochwasserzeiten eingeübt werden.

2.7.3 Erfahrungen mit der Schadensminderung/-verhinderung durch Vorsorge

Zu diesem Untersuchungskomplex konnten nur wenige Beispiele erhoben werden. Die untersuchten Ereignisse treten nur in Ausnahmefällen so häufig in einer Kommune auf, dass bereits Erfahrungen vorliegen könnten.

3 Untersuchungsschwerpunkte

3.1.1 Konzept für die Automatisierung des Frühwarnsystems (Hamburg)

Im Rahmen der Fallstudie Hamburg wurde als Bearbeitungsschwerpunkt pilothaft ein Konzept für eine kommunale Binnenhochwasservorhersage und -warnung entwickelt wird, welches als Beispiel für andere Kommunen dienen kann.

Ziel der Untersuchung war die Erstellung eines Konzeptes für die Erstellung und Automatisierung des Frühwarnsystems für Starkregen und Hochwasser der Binnengewässer, das auch auf andere Kommunen übertragen werden kann. Als Produkt wurde ein Pflichtenheft erstellt, das für den Aufbau einfacher kommunaler Frühwarnsysteme genutzt werden kann. Es ist in seiner Systemarchitektur bewusst allgemein und flexibel gehalten, um eine Übertragbarkeit auf andere Regionen (Fallstudien) und bereits vorhandene Systeme zu ermöglichen. Die Beschreibung befindet sich in Teil I, Abschnitt E als Teilbericht der Fallstudie Hamburg.

3.1.2 Kleinräumliche Varianz von Starkniederschlägen (Lübeck)

Die Bemessung der Kanalisation erfolgt i. Allg. mit Bemessungsniederschlägen oder gemessenen Regenreihen. Häufig stehen nur relativ wenige Niederschlagsmessstationen zur Ableitung dieser Niederschläge zur Verfügung. Die Festlegung der Niederschlagsdaten für die Bemessung bestimmt in starkem Maß den Entwässerungskomfort bzw. die Überstausicherheit eines Kanalnetzes. Ziel dieses Untersuchungsschwerpunkts war die Klärung der Fragen, ob räumliche Unterschiede bei den Bemessungsregen über Lübeck feststellbar sind. Nach einem Vergleich der bisher verwendeten Bemessungsniederschläge für die Stadtentwässerung mit KOSTRA und der über 30-jährigen Reihe der DWD-Station Blankensee wurde abgeschätzt, inwieweit diese die tatsächliche Belastungssituation bei Starkregen ausreichend genau abbilden. Weiterhin bestand die Fragestellung, ob ein Trend aus den bisherigen Messungen zu erkennen ist. Dazu wurden die Änderungen des Niederschlagsgeschehens aus der 30-jährigen Reihe in Kombination mit den Radarmessungen der bemessungsrelevanten Extremereignisse analysiert. Für die Entsorgungsbetriebe Lübeck bedeutsam war die Frage, ob ein Vergleich von Starkregen in allen Dauerstufen Zusatzinformationen und damit höhere Verlässlichkeit für die Bemessung bietet. Im Rahmen von URBAS war darüber hinaus die Frage bedeutsam, ob es mit den zur Verfügung stehenden Radardaten möglich ist, mindestens 30 Minuten vor einem Ereignis vor Extremniederschlägen zu warnen.

Die Aufstellung in der Tabelle 3-1 verdeutlicht mit einer vereinfachten Berechnung, welche Unterschiede sich in den Kanalnetzvolumen ergeben, wenn Bemessungswerte nur relativ gering geändert werden.

Tabelle 3-1: Theoretische Volumenbilanzänderungen bei einer Änderung des Bemessungsstandards in Lübeck

Lübeck	N=1 Jahr			N=5 Jahre		
Dauerstufe [min]	15	30	60	15	30	60
Kostra 90 [mm]	8.4	10.4	12.4	13.1	16.2	19.3
DWD Gutachten 1973 [mm]	9.6	12.6	15.9	15.9	20.5	25.4
Differenz [mm]	**1.2**	**2.2**	**3.5**	**2.8**	**4.3**	**6.1**
Differenz [%]	**13**	**17**	**22**	**18**	**21**	**24**
kanalisierte Fläche Lübeck (lt. Wasserrechtsanträgen) [km²]	49	49	49	49	49	49
Abflussbeiwert	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Volumen aus Differenz [m³]	245 000	342 222	431 447	345 157	411 122	470 709

Die Ergebnisse sind in dem Fallstudienbericht Lübeck in Teil I, Abschnitt E dokumentiert.

3.1.3 2-D-Abflussuntersuchungen im städtischen Raum (Paderborn, Lohmar)

In Zusammenarbeit mit den Kommunen Paderborn und Lohmar wurden zweidimensionale, hydrodynamische Modellierungen der aufgetretenen Sturzflutereignisse durchgeführt.

Dazu wurden auf der Grundlage von hochgenauen Geländemodellen (Laserscan Surface Models) feinmaschige instationäre 2-D-Simulationen der Abflüsse mit dem Programm HYDRO_AS-2D "zwischen Häusern" und mit Bezug auf die unterschiedlichen Freiraumstrukturen durchgeführt (vgl. Kap. 2.3.3). Die Ergebnisse sind in den Fallstudienberichten Lohmar und Paderborn Teil I, Abschnitt E dokumentiert.

3.1.4 Mikroskalige Schadenserhebungen (Lohmar, Hersbruck)

In den Kommunen Lohmar und Hersbruck wurden die Gebäude- und Hausratschäden nach einem Gewitter am 29. Juni 2005 durch telefonische Befragungen genauer erfasst. Während Hersbruck in der Vergangenheit bereits mehrfach von Sturzfluten heimgesucht wurde, hat es in Lohmar in der Vergangenheit keine größeren Ereignisse gegeben.

In Anbetracht der großen Anzahl der Betroffenen und der Aktualität der Ereignisse wurde eine telefonische Befragung der Betroffenen durchgeführt.

Anhand von Berichten und Einsatzlisten der Feuerwehren konnten die betroffenen Straßenzüge bestimmt werden. Die Liste betroffener Straßen, Straßenabschnitte und Hausnummernbereiche wurde an ein professionelles Befragungsinstitut weitergeleitet und dort die Telefonnummern der potenziell Betroffenen ermittelt.

Die Grundlage für den verwendeten Fragebogen bildete eine Befragungsaktion der Deutschen Rückversicherung und des GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ) aus dem Jahr 2003, als nach dem Hochwasser in Einzugsgebieten der Donau und der Elbe 2002 rund 1700 Betroffene in Bayern, Sachsen-Anhalt und Sachsen nach ihren Schäden befragt wurden. Dieser Fragebogen wurde modifiziert und an die spezifischen Eigenschaften von Sturzfluten angepasst.

Im Vorfeld der Befragung wurden die betroffenen Bürger und die breite Öffentlichkeit über das Vorhaben informiert. Dazu wurden rund 900 Postwurfsendungen in Lohmar und rund 400 in Hersbruck an

die betroffenen Haushalte verteilt. Der Flyer enthielt Informationen über URBAS, die Ankündigung der telefonischen Befragung sowie die Aufforderung, daran teilzunehmen.

Die telefonischen Befragungen in Lohmar und in Hersbruck wurde vom 21.11.2006 bis zum 19.12.2006 vom Marktforschungsinstitut explorare, Bielefeld, durchgeführt. Insgesamt wurden in Lohmar 62 und in Hersbruck 111 vollständige Interviews durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in Teil I, Abschnitt E als Teilbericht dokumentiert.

3.1.5 Auswertung von Hochwasserbroschüren für Bürger

Hochwasserbroschüren für Bürger dienen der Vorsorge und können den Kommunikationsprozess erleichtern. Im Rahmen einer Literatur- und Internetrecherche wurde das Angebot an und die Inhalte von Hochwasserbroschüren in Deutschland und ihre Praxistauglichkeit in Bezug auf den Vorsorgeaspekt von Starkregenereignissen und Sturzfluten untersucht. Die Ergebnisse und Empfehlungen sind in dem Abschnitt E als Teilbericht dokumentiert.

3.1.6 Mitarbeit an der MEDIS-Broschüre

Weiterhin wurde an den Bausteinen der webbasierten Broschüre gearbeitet. Die Idee zu dieser Broschüre entstand in Zusammenarbeit mit dem RIMAX-Projekt MEDIS (Beteiligte u. a. GeoForschungs-Zentrum Potsdam und Deutsche Rückversicherung aus Düsseldorf).

Um Hinweise zu Nutzerwünschen und Praxistauglichkeit zu erhalten, wurden Feedbackfragebögen verteilt und rund 70 Kommunen angeschrieben und bis Ende August 2007 um Rückmeldung gebeten. 17 Kommunen haben den ausgefüllten Feedbackfragebogen zurückgesendet. 65 % der befragten Kommunen finden die Idee einer webbasierten Broschüre sehr hilfreich und praxistauglich, 71 % würden die Nutzung des Angebots durch die Kommune aktiv unterstützen und 88 % wären bereit, das System zu testen, sobald die ersten Module im Internet verfügbar sind.

4 Synopse und Ergebnisse

Anhand von Fallstudien in 15 repräsentativen Kommunen in der Bundesrepublik wurden meteorologische Untersuchungen, Abflussanalysen, eine Bewertung potenzieller Schäden, Ex-Post-Analysen der praktizierten Reaktionsmuster der relevanten Akteure während der untersuchten 23 Ereignisse sowie die Erhebung der im Anschluss getroffenen Maßnahmen nach einem einheitlichen Vorgehen durchgeführt. Die untersuchten Ereignisse haben überwiegend in und nach 2002 stattgefunden.

In einigen Kommunen wurden darüber hinaus Untersuchungsschwerpunkte festgelegt, bei denen spezifische Untersuchungsmethoden getestet oder Lösungsansätze entwickelt wurden.

Als Ergebnis dieses Arbeitspakets liegen einheitliche Fallstudienberichte sowie synoptische Auswertungen vor.

Die Fallstudienberichte Teil I, Abschnitt E bestehen aus zwei bis vier Teilen:

- Der Teil A enthält die Beschreibung der Fallstudie in der festgelegten standardisierten Form.
- Der Teil B enthält die Standarduntersuchungen zu den Teilaufgaben Warnung und Niederschlag.
- Die Teile C und D enthalten die bei einigen Fallstudien durchgeführten Schwerpunktuntersuchungen.

4.1 Verwaltung, Lage und Topografie

Für die Mitarbeit bei den Fallstudien konnten Kommunen aus 10 Bundesländern gewonnen werden. Mehrere Fallstudien wurden in NRW und Bayern durchgeführt, in den anderen genannten Bundesländen jeweils eine (vgl. Tabelle 2-1). Sechs Kommunen sind kreisfreie Städte, die übrigen kreisangehörige Gemeinden. Die Fallstudien umfassen Großstädte wie Berlin und Hamburg, aber auch kleine Gemeinden mit etwas über 1.000 Einwohnern. Es sind verschiedene deutsche Großlandschaften und zugehörige Naturräume vertreten.

Flächennutzungen und Siedlungsstruktur

Die Beschreibung der baulichen Struktur der Untersuchungsbereiche erfolgte anhand städtebaulich abgeleiteter Klassen, die unter Einbeziehung der Entstehungszeiten zu drei Strukturtypen zusammengefasst wurden.

- Elfmal wurde der „Städtische Typ“ gebildet; er umfasst historisch gewachsene Gebiete bis neuere Erweiterungsgebiete mit Blockrandbebauung, (hoch-)verdichtete Zeilen- und Reihenbebauung/Geschosswohnungsbau.
- Zwölfmal wurde der „Dörfliche Typ“ gebildet, der freistehende Wohn- und Geschäftsgebäude unterschiedlicher Größe und landwirtschaftliche Hofstellen zumeist in dichter Bebauung in historisch gewachsenen Gebieten umfasst.
- Vierzehnmal war schließlich der „Einfamilienhaustyp“ betroffen, bei dem es sich um neuere Wohnerweiterungsgebiete mit Ein- und Zweifamilienhausbebauung handelt.

Topografie

Bei den Auswertung der Topografie wurden die Höhenlage, die Höhenunterschiede und die Reliefenergie ausgewertet. Bei sechs Kommunen liegen die tiefsten Siedlungsflächen unter 100 mNN, bei zwei Kommunen zwischen 100 und 200 mNN, bei drei zwischen 200 und 300 mNN, bei zwei zwischen 300 und 400 mNN und bei jeweils einer zwischen 400 und 500 bzw. zwischen 500 und 600mNN. Der Höhenunterschied zwischen tiefsten und höchstgelegenen Gemeindeflächen beträgt im Mittel ca. 250 m, wobei die kleinsten Höhenunterschiede zwischen 40 und 50 m, die größten bei über 700 m liegen. Die Reliefenergie ist bei den norddeutschen Städten und in Berlin und Braunschweig relativ gering, bei den übrigen Fallstudien sind große Höhenunterschiede innerhalb des Gemeindegebiets festzustellen.

4.2 Meteorologische Untersuchungen und Ereignisse

4.2.1 Klimaregionen, Niederschläge, Ereignisse

Sechs Kommunen sind der atlantisch beeinflussten, neun der kontinentalen Klimaregion zuzuordnen. Die Jahresniederschläge weisen teilweise sehr geringe, teilweise deutlich höhere Summen als der Mittelwert des Jahresniederschlags in Deutschland auf. In allen Kommunen waren nach der Ersterhebung (für die Datenbank) mehrere Ereignisse mit Schäden aufgetreten. Diese Ereignisliste wurde mit den kommunalen Kontaktpartnern bewertet und nur die wichtigsten 23 Ereignisse ausgewählt. Während der Bearbeitung wurden hieraus weitere Ereignisse gestrichen, weil beispielsweise zu wenig Daten vorlagen.

Tabelle 4-1: Untersuchte Ereignisse

	Ereignis 1	**Ereignis 2**	**Ereignis 3**
	Datum	**Datum**	**Datum**
Aachen	30.07.2002	21.07.2004 (nur Warnung und Niederschlag)	04.08.2006 (nur Warnung und Niederschlag)

	Ereignis 1	Ereignis 2	Ereignis 3
	Datum	**Datum**	**Datum**
Berlin	25.08.2006	07.07.2006	
Braunschweig	17.07.2002		
Deidesheim	07.08.2004		
Gehren/Wolfsberg	26.04.2006		
Hamburg	10.07.2002	01.08.2002	10.06.2004
Haslach/Hofstetten	28.06.2006		
Hersbruck	29.06.2005		
Landau a. d. Isar	18.05.1997		
Lohmar	29.06.2005	30.06.2005	
Lübeck	17.07.2002	18.07.2002	
Meschede	17.09.2006		
Paderborn	18.07.2004		
Starnberg	20./21.5.1999	19./20.7.1999	
Zwickau	10.08.2002		

4.2.2 Vorhersage, Warnungen und Niederschläge

Die Auswertung der Fallstudien zeigt, dass es in mehr als der Hälfte der untersuchten Ereignisse eine offizielle Warnung des DWD vor Starkregen, teilweise auch vor Gewitter, Hagel oder Böen gab.

Die Kurzfristvorhersagen mit KONRAD haben eine noch höhere Vorhersagetrefferquote, wobei die Einschränkung besteht, dass stationäre Zellen, von denen eine besondere Starkregengefährdung ausgeht, häufiger nicht erkannt werden.

Die regionale Ausbreitung lässt sich auf den Radarbildern relativ gut nachvollziehen.

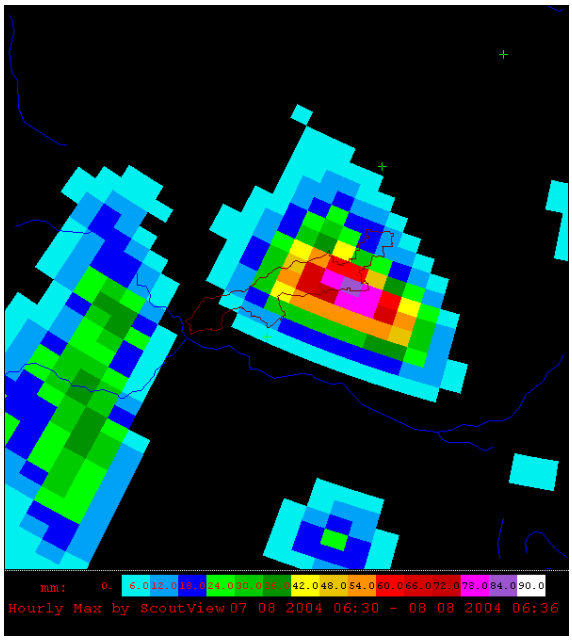


Abbildung 4-1: Maximale Stundensumme für den 07.08.2004, Fallstudie Deidesheim (Zeiten in UTC)

Die Ausbreitung der Ereignisse wurde unterschieden in lokal, regional bzw. überregional. Lokale Ereignisse sind singulär und traten nur in der bearbeiteten Kommune auf, bei den regionalen Ereignissen traten am gleichen Tag auch an anderen Orten Sturzregen auf (i. Allg. fronteninduzierte Ereignisse). Bei den 19 untersuchten Ereignissen sind beide Typen etwa gleich häufig vertreten.

Tabelle 4-2: Warnungen, Niederschlagserfassung und statistische Einordnung

Fall-studie	**Ereignis**	**Wetter-warnun-gen**	**KONRAD-Warnungen Fallstudie**	**Regionale Ausbrei-tung**	**Erfas-sung durch Boden-stationen**	**Qualität der Ra-darerfas-sung**	**Tn nach KOSTRA Tagessumme u. Std.-Summe**
	Datum	**ja, zutref-fend/ ja, nicht zutref-fend/ nein**		**lokal/ regional/ überre-gional**	**gut/ mittel/ schlecht**	**gut / mittel/ schlecht**	**Jahre**
Aachen	04.08.2006	ja, zutreffend	wenige Primärzellen, nur eine Warnung	lokal	gut	gut	< 0,5 < 1
	26.04.2003	ja, zutreffend	Primärzellen, Böen und Hagelwarnung	lokal	gut	gut	> 0,5 10
	30.07.2002	Keine Aufzeich-nung	Primärzellen, Hagel- und Starkregenwar-nung	regional	gut	k.A.	1 10
Berlin	25.08.2006	Keine Aufzeich-nung	keine Aufzeichnun-gen	lokal	gut	gut	> 100 > 100
	07.07.2006	ja, zutreffend	Langsame, nicht besonders starke Zellen	lokal	keine Angabe	keine Angabe	10 100
Braun-schweig	17.07.2002	nein	nur Sekundärzellen	über-regional	gut	gut	2 >100
Deides-heim	07.08.2004	ja, zutreffend	Starke Zellen, lange Verweilzeit, Stark-regen-, Böen- und Hagelwarnung	regional	schlecht	gut	> 100 > 100
Geh-ren/Wolfs berg	26.04.2006	ja, zutreffend	Einige Primärzellen, Hagel- und Böen-warnungen, Stark-niederschlagwar-nungen	lokal	mittel	gut	100 > 100
Hamburg	10.07.2002	nein	einige Primarzellen, Starkniederschlags-warnungen	regional	mittel	gut	10 – 20 10
	01.08.2002	nein	konvektive Zellen, Böen-, Hagel-, Starkregenwarnun-gen	regional	gut	mittel	20 – 50 > 100
	10.06.2004	ja, zutreffend	sehr starke Zellen, höchste Warnung für alle mögl. Warnun-gen	regional	HH gut NW mittel	schlecht	HH 1 NWv.HH 2 – 5 HH 5 NW v. HH 50

Fall-studie	Ereignis	Wetter-warnun-gen	KONRAD-Warnungen Fallstudie	Regionale Ausbrei-tung	Erfas-sung durch Boden-stationen	Qualität der Ra-darerfas-sung	Tn nach KOSTRA Tagessumme u. Std.-Summe
	Datum	**ja, zutref-fend/ ja, nicht zutref-fend/ nein**		**lokal/ regional/ überre-gional**	**gut/ mittel/ schlecht**	**gut / mittel/ schlecht**	**Jahre**
Haslach	28.06.2006	ja, zutreffend	viele kräftige Pri-märzellen, alle War-nungen	lokal	gut	gut	100 > 100
Hers-bruck	29.06.2005	ja, zutreffend	Sekundärzellen, Starkregenwarnung	lokal	gut	gut	> 100 > 100
Landau a. d. Isar	18.05.1997	keine Angabe	(KONRAD gab es noch nicht)	lokal	schlecht		10 – 20 10/2-3 Std.Sum.: 100
Lohmar	29.06.2005	ja, zutreffend	Starkregenwarnung	lokal	keine Angabe	schlecht	> 100 k. A.
Lübeck	17.07.2002	keine Angabe	Sekundärzellen, Starkniederschlags-warnung	über-regional	keine Angabe	gut	> 100 50
Mesche-de	17.09.2006	ja, zutreffend	Primärzellenhaufen, Starkniederschlags-warnung	über-regional	mittel	schlecht	100 100
Pader-born	18.07.2004	ja, zutreffend	schwache Primärzel-len, Hagelwarnun-gen	über-regional	keine Angabe	schlecht	P: 1-2 /Umgebung P:10 P: 2-5 /Umgebung P:50
Starnberg	21.05.1999	keine Angabe	(KONRAD gab es noch nicht)	regional	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
Zwickau	10.08.2002	nein	nicht für Zwickau, nur für Bereich östl. und nord-östl. von Zwickau	regional	keine Angabe	gut (aber Lücke von 25 Min.)	72-Std.- Sum. 50-100 / südl. v. Zwi-ckau: >100 1-2/ südl. v. Zwi-ckau: 10 - 20

Viele Ereignisse werden von den vorhandenen Bodenmessstationen zumindest in der Tagessumme relativ gut erfasst. Die Erfassung mit Radar hat aber eine etwas bessere Quote, nach Aneichung werden auch die Niederschlagshöhen gut abgebildet.

8 der 16 Ereignisse, die bewertet werden konnten, haben Niederschlagssummen als Tageswerte, die im Vergleich zu KOSTRA mindestens 100-jährlich, oft noch seltener sind. Für die Stundensummen trifft dieses Verhältnis ebenfalls zu. Hier sind 10 Ereignisse mindestens 100-jährlich.

4.3 Gewässer, Siedlungsentwässerung, Abflüsse und Überflutung

Anders als bei Flussüberschwemmungen wird die Schadenshöhe in Städten sehr stark von dem Zustand und der Leistungsfähigkeit der kleinen „kommunalen“ Gewässer, der Leistungsfähigkeit der Kanalisation und dem Funktionieren bzw. Versagen der Grundstücksentwässerungssysteme beeinflusst. Des Weiteren spielen Relief und Topografie und ihre Berücksichtigung bei der Siedlungsentwicklung, Grundstückbebauung und Entwässerungsplanung eine große Rolle. Zwischen den Abfluss- und Überflutungskomponenten bestehen gegenseitige Abhängigkeiten:

- Abflussentstehung und Abflussableitung aus Starkregenereignissen im urbanen Raum in Abhängigkeit von Gelände, Siedlungs- und Freiraumstruktur sowie Bebauungstyp
- Verhalten und Kapazitätsgrenzen der Infrastruktur der Regenwasserableitung und der sekundären Fließwege (Straßen, Wege)

Tabelle 4-3: Gewässer und Siedlungsentwässerung, Abflüsse und Überflutung

Fallstudie	**Gewässer**	**Kanalisation**	**Überflutung/Erosion**
Aachen	Wurm, Inde, kleine Gewässer, z. T. verrohrt	Überwiegend Mischkanalisation	Überstau der Kanalisation, Versagen von Rückstausicherungen
Berlin	Spree, Havel, kleine Gewässer, Seen	Überwiegend Trennkanalisation, Friedenau: Mischsystem; Wannsee: Trennsystem	Überstau der Kanalisation, Versagen von Rückstausicherungen
Braunschweig	Oker, Schunter, Wabe, Umflutgraben, kleine Gewässer	Trennsystem (überwiegend), Mischsystem Stadtkern, Doppelstockkanalnetz	Überflutung durch größere und kleine Gewässer, Rückstau an Bauwerken, Überlastung von Pumpwerken, Rückstau in Kanalnetz, Überstau der Kanalisation
Deidesheim	Nur kleine Gewässer, Gräben	Überwiegend Mischsystem	Hangabfluss, Ausufern von Gräben, Schlamm, Verstopfung von Gräben, Entwässerungs- und Rückhaltesystemen
Gehren/Wolfsberg	Ilm, Wohlrose, kleine Gewässer	Mischkanal	Hangabfluss, Ausufern von Gewässern und Gräben, Schlamm, Entwässerungs- und Rückhaltesystemen überlastet, Eisenbahndamm erodiert
Hamburg	Elbe; Alster, größere natürliche Gewässer (Wandse), kleine Gewässer und Entwässerungsgräben, Schöpfwerke, 250 HRB	Über 50 % Mischsystem, Trennsystem, Pumpwerke	Mehrere Ereignisse Ausuferung Entwässerungsgräben, Rückstau Gewässer in das Kanalnetz, Überstau Kanalnetz bzw. Überlastung der Straßeneinläufe, Überschreitung der Pumpkapazität, fehlende Rückstausicherungen
Haslach/Hofstetten	Kinzig, kleine Gewässer		Hangabfluss (aus Hagel), Bachüberflutung, Flutwelle, starke Erosion und Geschiebe, Verklausungen, Rückstau, Dammbrüche
Hersbruck	Pegnitz (I. Ordnung) kleine Gewässer	Überwiegend Mischkanalisation	Hangabfluss/Abfluss über Straßen, Ausuferung kleiner Gewässer, Kanalüberstau, Rückstau aus der Pegnitz Erosion ausgeprägt vorhanden
Landau	Isar, Vils	Innenstadt Mischsys-	Hangabfluss, Ausuferung kleiner Gewässer,

Fallstudie	Gewässer	Kanalisation	Überflutung/Erosion
	(I. Ordnung) kleine Gewässer, mehrere HRB vorhanden	tem, Außenbezirke Trennsystem, viele Pumpstationen	Verklausung, Überlastung Kanalisation, Erosion ausgeprägt vorhanden, Hangrutschungen
Lohmar	Agger kleine Gewässer, ein HRB vorhanden	Mischsystem (Kernstadt), Trennsystem (Ortslage) Pumpwerke	Hangabfluss, Ausuferung kleiner Gewässer, Verklausung, Überlastung Kanalisation (wenige Stellen), Erosion ausgeprägt vorhanden
Lübeck	Trave, kleine Gewässer	Mischsystem (30 %) Kernstadt, Trennsystem, viele Pumpwerke	Viele Schadensorte, Hangabfluss, Ausuferung kleiner Gewässer, Verklausung, Überlastung Kanalisation durch Zufluss von außen
Meschede	Ruhr, Henne, Hennetalsperre, kleine Bäche, z. T. in Kanalisation eingeleitet	Mischsystem (75 %) Pumpstationen	Viele Schadensorte, Hangabfluss in das Siedlungsgebiet, Ausuferung kleiner Gewässer, Verklausung, Überlastung Kanalisation durch Zufluss von außen, Ruhr: keine Auswirkungen Henne: starker Zufluss zur Talsperre
Paderborn	Lippe, Alme, kleine Gewässer, Gräben, Trockengräben	Mischsystem 50 %, Schadensort überwiegend Mischsystem	Hangabfluss, Straßenabfluss, Überlastung Kanalisation (nicht sicher feststellbar)
Starnberg	Würm (I. Ordnung), kleine Gewässer, Teiche	Trennsystem, Pumpwerke, Versickerungspflicht	Hangabfluss, Überlauf Weiher, Straßenabfluss
Zwickau	Zwickauer Mulde, kleine Gewässer, z. T. verrohrt, Teiche	Überwiegend Mischkanalisation, Neubaugebiete Trennsystem, Kanalsanierungsprogramm	Ausuferung kleiner Gewässer, Rückstau aus Mulde (Zusammenwirken Sturzflut und Muldehochwasser)

Die Mehrzahl der untersuchten Kommunen liegt an großen oder mittleren Gewässern, die mit Ausnahme von Braunschweig und Zwickau nicht an den Überflutungen beteiligt waren, meistens nicht einmal außergewöhnliche Abflussanstiege verzeichnet haben. Bei fast allen untersuchten Ereignissen hat Hangabfluss und eine Ausuferung der kleinen Gewässer und Gräben stattgefunden.

Die Städte werden teils überwiegend im Mischsystem, teils im Trennsystem entwässert. Bei den älteren Siedlungsbereichen herrschen dabei häufig Mischsysteme, bei den Stadterweiterungen häufiger Trennsysteme vor. In den meisten der untersuchten Fälle hat auch eine Überlastung der Kanalisation bzw. der Straßeneinläufe stattgefunden, wobei häufig der Zufluss von außen liegenden nicht kanalisierten Bereichen oder auch der Rückstau aus den Gewässern zu einem Versagen der Kanalisation geführt hat. In Aachen und Berlin kam es ausschließlich zu Kanalüberstau ohne Beteiligung von Gewässern. Es kann daraus abgeleitet werden, dass es selbst im wenig geneigten Gelände selten so ist, dass es allein zu einem Überstau der Kanalisation kommt, in der Regel wird die Kapazität der kleineren Gewässer bei diesen Ereignissen ebenfalls überschritten sein.

Die Starkregen führten zu mehr oder weniger intensiven Niederschlagsabflüssen im Gelände, in Gewässern und in kanalisierten Bereichen.

In URBAS wurden sowohl einfache (rasterbasierte Analysen, z. B. mit SAGA GIS) als auch komplexe Methoden der Überflutungsberechnung (2-D-hydrodynamische Simulation mit vereinfachter Abbildung der Interaktion zum Kanalnetz) angewendet und die Ergebnisse miteinander verglichen und bewertet. Die Anwendung und Eignung dieser Methoden zur Gefahren- und Risikoabschätzung ist in Teil I, Abschnitt C beschrieben.

4.4 Schadenserhebung und – schätzungen

Zur Abschätzung der zu erwartenden **Schäden** bei Sturzfluten wurden bei den Fallstudien mikroskalige Untersuchungen zu den eingetretenen Schäden durchgeführt. Die Erhebung der geschädigten Objekte erfolgte anhand der Informationen der Feuerwehren, der Ergebnisse der Interviews und eigener Recherchen teilweise vor Ort. In den meisten Fällen lagen gute Daten zu den Einsätzen der Feuerwehren und der sonstigen Rettungskräfte bei den Ereignissen vor, sodass die betroffenen Objekte und Schadensarten relativ sicher ermittelt werden konnten. Schadenskosten bzw. Schadensfunktionen wurden aus vorhandenen Quellen entnommen. Für zwei Fallstudien wurden darüber hinaus die betroffenen Privathaushalte per Telefon-Fragebogenaktion nach ihren Erfahrungen und Schäden befragt.

Die Auswertungen der Schadenserhebungen wurden in Karten dargestellt. Weiterhin wurden Vergleiche der Feuerwehreinsätze mit Starkniederschlagsfeldern, abgeleitet aus Radarbildern, durchgeführt.

4.4.1 Schadensauswertung

Bei den untersuchten Ereignissen war ein Toter zu beklagen. Über Verletzte wurde nicht berichtet, häufiger aber über Evakuierungen von Einzelpersonen, die sich im Keller oder im Auto in Unterführungen befanden.

In den Siedlungsräumen führten die Abflüsse zu Überflutungen von Straßen und Grundstücksfreiflächen und drangen in Gebäude ein. Dem Ereignistypus entsprechend waren dabei vor allem Räume unter bzw. dicht über der Erdoberfläche betroffen, wie die folgende Übersicht in Tabelle 4-4 zeigt. Bei den betroffenen Objekten waren in der Mehrzahl Wohnhäuser betroffen, die Anzahl bewegt sich zwischen 50 bis zu über 1700 betroffenen Häusern. Im Mittel waren bei den auswertbaren Ereignissen etwa 350 Wohnhäuser betroffen. Die Schäden sind überwiegend vollgelaufene Keller, häufiger werden aber auch Parterrewohnungen in Mitleidenschaft gezogen.

Naturgemäß werden sehr häufig Tiefgaragen bei Sturzregen geflutet, was in der Regel zu höheren Schadenssummen führt. Bei Gewerbe und öffentlichen Gebäuden sind meistens Einzelobjekte betroffen, größere Gewerbegebiete treten in den Fallstudien als Schadensobjekte nicht auf.

Insbesondere im Mittelgebirge treten infolge der hohen Fließgeschwindigkeiten Schäden an den Gewässern, an Brücken und Durchlässen auf. Hier sind infolge Hangabfluss häufiger Hangrutschungen zu verzeichnen, beim Übergang vom Hangabfluss in den Abfluss auf und entlang von Straßen sind Erosionsschäden, zumindest Ablagerungen festzustellen. Infolge Überstau treten häufig Schäden am Kanalsystem selbst auf, hier insbesondere Schäden an den Schächten und z. T. auch an den Kanälen selbst. Vereinzelt führen die Ereignisse zu Stromausfällen.

In zwei Fällen waren Krankenhäuser von Überflutungen betroffen, z. T. mit hohen Einzelschäden. Bei 5 Ereignissen wird das Aufschwimmen von Öltanks berichtet, wobei nur einmal ein Schadensfall durch Auslaufen des Öls bekannt ist.

In drei Fällen waren die Gebäude der Rettungskräfte selbst von Hochwasser betroffen, was vornehmlich Auswirkungen auf die Entgegennahmen der Notrufe und die Koordination des Einsatzes hatte.

Die überschläglich anhand von Einheitswerten berechneten Schadenssummen, soweit sie ermittelt werden konnten, bewegen sich in der Größenordnung zwischen 0,27 Mio. und 14,8 Mio. €. Der Mittelwert liegt bei 4,2 Mio. €, ohne den höchsten Wert Berlin 3,35 Mio. €.

Tabelle 4-4: Schadensauflistung der Fallstudien

Fallstudie	Wohnhäuser (WH)	Gewerbe, öffentliche Gebäude	Technische Infrastruktur	Einzelschaden/ Besonderheiten	Kosten in Mio. €
Aachen	42	12	Burtscheid: 30.07.2002 Kanalüberstau: Keller und Straßen überflutet, Gullydeckel herausgehoben; Kaiserplatz: 30.07.2002 Kanalüberstau: Keller und Straßen überflutet, Gullydeckel herausgehoben		0,27
Berlin (7./8. 07.2006)	1785 WH, Keller, z. T. EG,	ja, Anzahl nicht bekannt	Kanalüberstau, überflutete Straßen, Unterführungen, U-Bahn Friedenau: Kanalüberstau: Straßen 30 cm überflutet, Keller geflutet; Wannsee: Straße zum Löwen war 30 bis 40 cm hoch überflutet, Keller und Garagen überflutet		14,8
Braunschweig	250 WH, Keller, EG-wohnungen,	Geschäftsräume	Gewässerausuferung, Kanalüberstau, Überflutete Straßen, Stromverteilungsstationen, Zerstörung HW-Sicherungen im Kanalnetz, Kanalzusammenbrüche, Sandablagerungen	160 Heizöltanks aufgeschwommen, Ausfall Telefonanlage Betriebshöfe	3
Deidesheim	Ca. 100 WH, Keller geflutet,	Hotel, Tiefgarage	Wild abfließendes Wasser, Rückstau Vorfluter, Bahnlinie, Bahndurchlässe, Stromausfall	Hotel evakuiert	3,5
Gehren/ Wolfsberg	Ca. 90 WH, Keller und Garagen geflutet	Gewerbebetriebe	Wild abfließendes Wasser, Gewässerausuferung, Kanalüberstau, Straßen überflutet, verschüttet, unterspült, beschädigt, Kanalsystem verstopft, beschädigt, Rückstau aus Kanalisation	Öltanks aufgeschwommen	2,5
Hamburg (nur Ereignis 1.08.2002)	Ca. 1000 WH, Keller und EG geflutet		Überflutung von Straßen, Tunneln und Unterführungen, Straßen und Schienen blockiert, Stromausfall		8,2
Haslach/ Hofstetten	Ca. 40 WH, Keller geflutet, Gebäudeschäden, Tiefgaragen	Gewerbebetriebe, Bauhof, Bauernhöfe	Gewässerausuferung, wild abfließendes Wasser, Gewässerschäden, zerstörte Brücken, Unterführungen, verschlammte, zerstörte Straßen, Schwimmbad, Sportplatz	ein Toter, Öltanks aufgeschwommen, Einsatztagebuch	6,5
Hersbruck	300 WH, Keller geflutet, Tiefgaragen	Schule, Kindergarten	Wild abfließendes Wasser, Grabenüberstau, Kanalüberlastung/-überstau; Unterführungen geflutet, Hangrutschungen, Straßen geflutet, verschüttet, Schäden an vorh. HRB; Schäden am Kanalsystem	Öltanks ausgelaufen, Polizei Telefonanlage unter Wasser, Stromausfall Kläranlage	2,8
Landau	450 WH, Keller		Ausufernde Gewässer (Gräben), wild	Friedhof	4,5

Fallstudie	Wohnhäuser (WH)	Gewerbe, öffentliche Gebäude	Technische Infrastruktur	Einzelschaden/ Besonderheiten	Kosten in Mio. €
a. d. Isar	und EG geflutet		abfließendes Wasser, Kanalüberlastungen , Schäden an Gewässern, Straßen geflutet, verschüttet, zerstört, Schäden an vorh. HRB (Dammbruch), Schäden am Kanalsystem	Heizölschaden, 60 Tiere ertrunken, 3 Tage Pumpeinsätze	
Lohmar	250 WH, Keller geflutet	Gewerbebetriebe, Schule	Ausuferndes Gewässer, Kanalüberlastung, Schäden an Gewässern; Straßen geflutet, verschüttet, zerstört	Doppelereignis, überflutete Feuerwache	2,4
Lübeck	300 WH, Keller und EG geflutet	Gewerbebetriebe	Straßen geflutet, Bahnstrecke	Friedhof, Festival	3,2
Meschede	150 WH, Keller geflutet		Wild abfließendes Wasser, Hangrutschungen, Straßen geflutet, verschüttet, zerstört, Kanalüberstau, Kanalschäden, Schäden an Gewässern	Krankenhaus	2,3
Paderborn	60 WH, Keller und EG überflutet,	2 Banken	Wild abfließendes Wasser, Straßen geflutet		1,0
Starnberg	50 WH, Keller, EG geflutet Tiefgaragen	Gewerbe	Wild abfließendes Wasser, Straßen geflutet, verschüttet, zerstört, Verstopfung Kanalisation	Klinik	
Zwickau	Keller geflutet (keine genauen Angaben)		Ausufernde Gewässer, Kanalüberlastung, Kanalrückstau, Straßen überflutet		

4.4.2 Schadensarten und Stadtstruktur

Die drei städtebaulichen Strukturtypen (vgl. Kapitel 2.1.2) waren folgendermaßen betroffen:

Tabelle 4-5: Betroffene städtebaulichen Strukturtypen

Entstehungszeit/ Strukturtypen	bis Ende 19. Jahrhundert	1. Hälfte 20. Jahrhundert	2. Hälfte 20. Jahrhundert und später	Strukturtypen insgesamt
Städtischer Typ	7	1	7	15
Dörflicher Typ	10	1		11
Einfamilienhaustyp		6	10	16
Entstehungszeit insgesamt	17	8	17	42

Strukturell waren damit vor allem Gebiete des Typs Einfamilienhaus vor dem Städtischen Typ betroffen, der Schwerpunkt der Entstehungszeit der betroffenen Bereiche liegt bis zum Ende des 19. Jahrhunderts und der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Zusammenfassend zeigt sich in den Fallstudien, dass zumeist Siedlungsbereiche durch Sturzfluten betroffen waren, die in den letzten 50 bis 80 Jahren entstanden sind. Diese Gebiete nehmen häufig bautechnisch günstige oder attraktive Gebiete ein wie beispielsweise ebenes oder schwach geneigtes Gelände am Fuß von Hängen, häufig auch die Auenbereiche von Bächen und Flüssen. Entstanden sind diese Gebiete als Stadterweiterungen zur Aufnahme der in dieser Zeit durch Industrieentwicklung bzw. Flüchtlingsaufnahme und Wohlstandswanderungen rasch wachsenden Bevölkerung

Einfamilienhausgebiete sind unter den betroffenen Siedlungserweiterungsgebieten besonders gefährdet, vermutlich, da sie den größten Flächenanteil an allen Siedlungserweiterungen einnehmen und damit die Wahrscheinlichkeit, von Sturzfluten betroffen zu werden, entsprechend groß ist.

In den Einfamilienhausgebieten sind überdies die Schadenspotenziale am größten: Zum Einen durch das spezifische Nutzungsmuster von selbst genutzten Einfamilienhäusern, bei denen sich immer häufiger auch in den Untergeschossen und Kellerräumen hochwertige Nutzungen oder Sachgüter finden, zum Anderen verfügen die "Neubürger", die zumeist in den neueren Wohngebieten wohnen, nicht über das spezifische Wissen um lokale Gefahren wie die alteingesessenen Bürger, beispielsweise zu mehr oder weniger regelmäßig auftretende Überstaus und Sturzfluten.

Neben den neueren Wohnerweiterungsgebieten ist auch der „Dörfliche Typ“ und der "Städtische Typ" aus der Zeit bis Ende des 19. Jahrhunderts häufig durch Starkregen verursachte Sturzfluten betroffen. Dieser Gebietstypus findet sich historisch bedingt häufig direkt an sturzflutsensiblen Gewässern, die zur Wasserversorgung und Wasserkraftnutzung genutzt wurden bzw. an oder in der Nähe der im 19. Jahrhundert in den Flusstälern entstandenen Eisenbahnlinien, die dann Träger der wirtschaftlichen und industriellen Entwicklung und des Stadtwachstums waren.

4.5 Hochwasserbewältigung, Ereignismanagement

4.5.1 Ereigniszuordnung bei den Fallstudien

Ein weiterer Untersuchungsbereich der Fallbeispiele befasste sich mit relevanten administrativen Organisations- und Zuständigkeitsregelungen und den Entscheidungen und Aktionen der maßgeblichen Akteure beim Ereignis (Ex-Post-Analysen der Entscheidungs- und Handlungsabläufe).

Bei den untersuchten Ereignissen handelt es sich i. Allg. um Ereignisse unter der Schwelle einer Katastrophe; es handelte sich zumeist um sogenannte Großschadensereignisse. Dabei zeigt sich (erwartungsgemäß), dass große Kommunen in der Regel kaum Probleme haben, die Ereignisse mit eigenen Mitteln zu bewältigen, während die kleineren Kommunen kaum ohne die Unterstützung durch benachbarte Einsatzkräfte auskommen.

In 13 (von 15) URBAS-Fallstudien liegen zu 16 Ereignissen Angaben zum Einsatz der Feuerwehren und Hilfskräfte vor. Bei neun Ereignissen handelte es sich um Starkregen mit einer 100-jährlichen oder selteneren Eintrittswahrscheinlichkeit; die übrigen Ereignisse werden mit einer 2- bis 50-jährlichen Wahrscheinlichkeit eingestuft. Dabei wurden insgesamt zwei Ereignisse als Katastrophe eingestuft (Hamburg und Zwickau), wobei ein Ereignis auf ein Flusshochwasser zurückzuführen ist (Zwickau). Weder in der Freien und Hansestadt Hamburg noch in Sachsen wird rechtlich zwischen Großschadensereignissen und Katastrophen begrifflich differenziert. In den übrigen Fällen werden die Ereignisse als Großschadensereignis oder Schadensereignis mit Nachbarschaftshilfe eingestuft. In Berlin werden sowohl Einsätze aufgrund eines 10- wie eines 100-jährlichen Starkregens gleichartig als "Ausnahmezustand der Stufe 1" eingestuft (vgl. Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6: Einstufung der Ereignisse in den Fallstudienstädten

Fallstudie	Ereignisse	Ereigniseinstufung
Aachen	30.07.2002	Technische Hilfeleistung
Berlin	25.08.2006	Ausnahmezustand Stufe 1 (wetterbedingt) gem. "Alarm- und Ausrückeordnung der Berliner Feuerwehr"
	07.07.2006	Ausnahmezustand Stufe 1 (wetterbedingt) gem. "Alarm- und Ausrückeordnung der Berliner Feuerwehr"
Braunschweig	17.07.2002	Großschadensereignis aufgrund von Sturzflut und Überschwemmung als Mischtyp
Deidesheim	07.08.2004	Überörtliche allgemeine Hilfe/Katastrophe
Gehren/Wolfsberg	26.04.2006	Allgemeine Hilfe mit Nachbarschaftshilfe
	06.07.2006	Nicht bekannt
Hamburg	10.07.2002	Nicht bekannt
	01.08.2002	Katastrophe
Haslach	28.06.2006	Öffentlicher Notstand, der durch ein Naturereignis ausgelöst wurde inkl. Nachbarschaftshilfe
Hersbruck	29.06.2005	Öffentlicher Notstand mit Nachbarschaftshilfe
Landau a. d. Isar	18.05.1997	Öffentlicher Notstand mit Nachbarschaftshilfe
Lohmar	29.06.2005	Großschadensereignis mit überörtlicher Hilfe
	30.06.2005	Großschadensereignis mit überörtlicher Hilfe
Lübeck	17.07.2002	Technische Hilfe aufgrund Unwetter
	18.07.2002	Technische Hilfe aufgrund Unwetter
Meschede	17.09.2006	Großschadensereignis mit überörtlicher Hilfe
Paderborn	18.07.2004	Großschadensereignis mit überörtlicher Hilfe
Starnberg	1999	Nicht bekannt
Zwickau	10.08.2002	Katastrophe (Hochwasser an der Zwickauer Mulde)

4.5.2 Zuständigkeiten, Einsatzleitung und Einsatzdurchführung

In der Regel sind die Zuständigkeiten bzgl. eines Einsatzes klar geregelt, Schwierigkeiten und Probleme treten häufig erst im Laufe der „Abarbeitung“ bei der Kommunikation und Koordination zwischen den verschiedenen Organisation, bei der Information der betroffenen Bevölkerung und beim Maßnahmenmanagement auf. In einigen Fällen waren Gebäude und Einrichtungen der Hilfsdienste selbst betroffen, deren Einsatzfähigkeit allein dadurch sehr eingeschränkt wurde.

Einige Kommunen haben diese Prozesse sehr sorgfältig analysiert und daraus Verbesserungen abgeleitet (beispielsweise Braunschweig).

Die Regelung für die Einsatzleitung vor Ort richtet sich nach der Intensität des Schadensereignisses. Bei kleineren und mittleren Ereignissen liegt sie bei einer örtlichen Einsatzleitung, d. h. dem Leiter des eingesetzten Zuges der Feuerwehr. Auch sofern dieser gegenseitige Hilfe bei Nachbargemeinden angefordert hat, verbleibt die Einsatzleitung zumeist bei der örtlichen Einsatzleitung. Erst wenn diese den Gesamtablauf nicht (mehr) überblicken kann, geht die Einsatzleitung auf eine zentrale Einsatzleitung über, die die verschiedenen Einsatzkräfte steuernd lenkt. In verschiedenen Fallstudien wurde bereits bei oder kurz nach Alarmierung aufgrund einsetzender Sturzfluten eine zentrale Einsatzleitung eingesetzt bzw. aktiviert wurde. In einzelnen Fällen hat überdies der Bürgermeister die Einsatzleitung übernommen (vgl. Tabelle 4-7).

Tabelle 4-7: Einsatzleitung und Umfang der Einsätze in den Fallstudien

Fallstudie	Ereignis	Einsatzleitung	Einsatzkräfte	lokale/externe Einsatzkräfte
Aachen	30.07.2002	Berufsfeuerwehr (BF)	Berufsfeuerwehr (BF)	Nur lokal
Berlin	07.07.2006		BFW, FFW, THW mit allen Ortsverbänden, 39 Fahrzeuge und 201 Einsatzkräfte	
Braun-schweig	17.07.2002	Gefahrenabwehr-leitung, integrierte Leitstelle, örtliche Einsatzleitung	BFW, FFW, THW, Polizei	lokal
Deides-heim	07.08.2004	FW des Kreises Bad Dürkheim	FFW Deidesheim, Kreis Bad Dürkheim, BFW Ludwigsha-fen, THW Ludwigshafen, Neu-stadt, Worms, insg. 80 Einsatz-kräfte	lokal/extern
Gehren/ Wolfs-berg	26.04.2006	BM Gehren und Wolfsberg	FFW Gehren, Pennewitz, Möh-renbach, Neustadt, Großbrei-tenbach, THW, Polizei, WAVI, Privatfirmen	lokal, regional
Hamburg	10.07.2002		BFW, 25 FFW, THW	FHH, SH
	01.08.2002	Einsatzzentrale der BFW	BFW, FFW, THW, DLRG, insg. 900 Einsatzkräfte	Nicht bekannt
	10.06.2004	Einsatzzentrale der BFW	BFW	FHH
Haslach/ Hofstet-ten	28.06.2006	Führungsgruppe der Feuerwehren im Kinzigtal	FFW Hofstetten, Mühlenbach, Fischerbach und Zell a.H., THW, DRK, DLRG, Polizei, lokale Bauhöfe, insg. ca. 250 Einsatzkräfte	Haslach, Hofstet-ten, Kreisgebiet
Hers-bruck	29.06.2005	Kreisbrandrat (Koordination); FFW Hersbruck (örtliche Einsatz-leitung)	FFW aus Hersbruck, Neuhaus, Vorra, Pommelsbrunn, Hap-purg, Reichenschwand, THW; insg. ca. 180 Einsatzkräfte	Hersbruck, Kreisgebiet
Landau a. d. Isar	18.05.1997	FFW Landau	FFW aus Landau und Nachbar-gemeinden	Landau, Umge-bung
Lohmar	29.06.2005	Feuerwehr Loh-mar, Kreisfeuer-wehr- und Ret-tungsleitstelle	FFW aus Lohmar und Umge-bung, BFW aus Köln, THW, Polizei, DRK, insg. 560 Ein-satzkräfte	Lohmar und Umgebung
	30.06.2005	Feuerwehr Loh-mar, Kreisfeuer-wehr- und Ret-tungsleitstelle	FFW aus Lohmar und Umge-bung, BFW aus Köln, THW, Polizei, DRK, insg. 560 Ein-satzkräfte	Lohmar und Umgebung
Lübeck	17.07.2002	BFW Lübeck	BFW, 23 FFW Lübeck, THW, insg. 280 Einsatzkräfte	lokale Kräfte
	18.07.2002	BFW Lübeck	BFW, 23 FFW Lübeck, THW, insg. 280 Einsatzkräfte	lokale Kräfte
Meschede	17.09.2006	Örtliche Einsatz-leitung des Kreises	FW Meschede, FW aus der Umgebung, THW, DRK, Poli-zei, StraßenNRW, Bauhof der	lokale und regio-nale Kräfte

Fallstudie	Ereignis	Einsatzleitung	Einsatzkräfte	lokale/externe Einsatzkräfte
			Stadt Meschede, insgesamt ca. 205 Einsatzkräfte	
Starnberg	20./ 21.05.1999		FFW Starnberg	
	19./ 20.07.1999		FFW Starnberg	
Paderborn	18.07.2004	BFW Paderborn	BFW Paderborn, (F)FW aus der Umgebung, Polizei, STEB Paderborn, insgesamt 200 Einsatzkräfte	lokale und regionale Kräfte
Zwickau	10.08.2002	Katastrophenschutzstab der Stadt Zwickau	FW, THW, freiwillige Helfer; insgesamt rund 300 Einsatzkräfte	k.A.

BFW = Berufsfeuerwehren, FFW = Freiwillige Feuerwehren, FW = Feuerwehren, THW = Technisches Hilfswerk, DRK = Deutsches Rotes Kreuz, DLRG = Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft

4.5.3 Kommunikation und gegenseitige Hilfe sowie Mitwirkung bei Feuerwehreinsätzen und im Katastrophenschutz

Die Notrufnummern sind insbesondere bei kleineren Kommunen nicht selten überlastet, aufgrund der heterogenen Informationen der betroffenen Bürger ist eine Abarbeitung und Prioritätensetzung bei den Einsätzen der Hilfsorganisationen nicht einfach.

Sofern sich Schadensereignisse nicht mit eigenen Kräften bewältigen lassen, haben sich die Gemeindefeuerwehren gegenseitig auf Anforderung Hilfe zu leisten, sofern die Sicherheit in der eigenen Gemeinde dadurch nicht wesentlich gefährdet wird. In nahezu allen dokumentierten Einsätzen in den Fallstudien erfolgte eine derartige Nachbarschaftshilfe auf Anforderung der Feuerwehren vor Ort (vgl. Tabelle 4-7). Die Hilfen wurden relativ früh nach Alarmierung angefordert, was auf den schnellen Ablauf der durch Starkregen verursachten Sturzfluten zurückzuführen ist. Hervorzuheben ist der Einsatz der Kölner Hochwasserzentrale, die der Stadt Lohmar schnell und unbürokratisch mit Hochwasserschutzeinrichtungen (mobilen Dämmen) zur Hilfe kam.

Eine zur gegenseitigen Hilfe vergleichbare Regelung besteht auch im Bereich des Katastrophenschutzes. Hier kann die Katastrophenschutzbehörde eines Bezirkes, d. h. in der Regel eines Kreise oder einer kreisfreien Stadt, Hilfe bei benachbarten Katastrophenschutzbehörden anfordern, sofern sie mit ihren eigenen Kräften die Katastrophe nicht bewältigen kann. Im Fall des Katastrophenschutzes ist im Gegensatz zum Fall der gegenseitigen Hilfe aufgrund eines Schadensereignisses der Einsatz des Technischen Hilfswerkes in den Landesgesetzen zumeist ausdrücklich einbezogen.

Neben der gegenseitigen Hilfeleistung der Feuerwehren und Hilfsdienste über die Gemeindegrenzen hinaus spielen bei der Bewältigung von Starkregen und Sturzfluten die Regelungen zur Mitwirkung anderer Behörden möglicherweise eine Rolle. In den Katastrophenschutzgesetzen finden sich Regelungen, die hierzu bestimmen, dass Landesbehörden, die Landkreise, die Gemeinden, die kommunalen Zweckverbände und die sonstigen Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts, zur Mitwirkung im Katastrophenschutz verpflichtet sind. Im Fall von Starkregen und Sturzfluten sind dies vor allem die Wasserbehörden oder die Abwasserbeseitigungsbetriebe, die mit ihren Kompetenzen, Mitarbeitern und Fahrzeugen und Geräten zum Einsatz kommen. Allerdings sind die Wasserbehörden wie auch die anderen Ordnungsbehörden bereits aus ihren eigenen Zuständigkeitsregelungen heraus dazu verpflichtet.

In den Fallstudien ist teilweise in kurzer Zeit eine große Anzahl von Hilfsanforderungen aus der Bevölkerung bei den Feuerwehren eingegangen. Da diese nicht alle gleichzeitig abgearbeitet werden können, erfolgt eine Prioritätensetzung durch die Einsatzleitung vor Ort oder im Einsatzstab. Erwar-

tungsgemäß werden zunächst die Einsätze abgearbeitet, bei denen Leben und Gesundheit von Menschen und Tieren in Gefahr sind, erst danach Einsätze zum Schutz von Sachgütern. In Hamburg werden in diesen Fällen besondere Einsatzregeln in Kraft gesetzt, wonach die Einsatzzüge gegenüber 'normalen' Einsätzen verkleinert werden, um mehr Einsatzstellen erreichen zu können.

4.5.4 Maßnahmen der Einsatzkräfte beim Ereignis

Wegen der Schnelligkeit und Heftigkeit der Ereignisse - und die Gefährdung von Menschen ist nicht selten - sind die Maßnahmen „**Retten und Evakuierung**“ bei diesen Ereignissen fast immer erforderlich. Bei allen Ereignissen ist auch das unverzügliche Räumen und Absperren von Gefahrenzonen (Straßen, Unterführungen etc.) notwendig und es funktioniert meistens auch gut. Eine **Notversorgung** für die Bevölkerung ist hingegen selten notwendig, eine Versorgung der Einsatzkräfte ist fast immer erforderlich, weil die Einsätze (insbesondere durch den Aufwand für die Schadensbehebung) häufig mehr als einen Tag dauern. Es gibt eine Reihe von **Sicherungsmaßnahmen**, die durch die Einsatzkräfte durchgeführt werden, wie beispielsweise die Beseitigung von Abflusshindernissen oder der Aufbau von Objektschutzeinrichtungen mit Sandsäcken oder mobilen Schutzelementen. Hier gibt es gute Beispiele in den Kommunen, wie diese Maßnahmen auch vorbeugend konzipiert, Zuständigkeiten klar geregelt und die Handhabung geübt werden können.

Die weiteren Aktivitäten der Einsatzkräfte umfassen **schadensmindernde Maßnahmen** wie das Leerpumpen und Räumen von Kellern, Tiefgaragen und Unterführungen, die Beseitigung von Schlamm und Geröll, die Reinigung etc. Bei diesen Maßnahmen spielt die **Nachbarschaftshilfe** eine herausragende Rolle, weil die vorhandenen Einrichtungen und Kapazitäten der Einsatzkräfte meist beschränkt sind.

Zu den **kurz- und mittelfristigen Maßnahmen** der Schadensbehebung nach dem Ereignis zählen technische Maßnahmen zur Beseitigung von Engstellen im Gewässer, Kanal- und Sinkkastenräumung, Unterstützung der Bevölkerung bei schadensmindernden Maßnahmen (Beratung, Trocknungsgeräte), Unterstützung bei Sperrmüll-, Schlamm- und Abfallbeseitigung sowie weitere Maßnahmen, die im Teil C systematisch aufgelistet sind. Immer häufiger geht es auch um die Beweissicherung, Ursachenrecherche und die Bearbeitung rechtlicher Auseinandersetzungen.

4.5.5 Resümee: Hilfeleistung und Katastrophenschutz bei Starkregenereignissen

In den Vorrecherchen zu den Fallstudien und den Fallstudien wurde beobachtet, dass der Ereignistypus Starkregen und Sturzfluten in größeren Städten und Großstädten (Aachen, Berlin, Frankfurt am Main, Hamburg, Leipzig, München) weniger 'katastrophal' eingestuft wird, als in kleineren und kleinen Städten und Gemeinden. Dies überrascht vor allem auch vor dem Hintergrund, dass einige dieser Städte sehr häufig von starken und sehr starken Sturzfluten bzw. Sturzregen getroffen werden, wie die URBAS-Ereignisdatenbank zeigt. Hierfür lassen sich verschiedene Ursachen nennen:

- In den größeren Städten lassen sich bereits innerhalb der Stadt genügend Einsatzkräfte mobilisieren, um die Ereignisse bewältigen zu können; in den kleineren Städten und Gemeinden muss dagegen häufiger gegenseitige Hilfe bei den Nachbargemeinden angefordert werden.
- Die größeren Städte sind i. d. R. kreisfrei und verfügen somit zumeist über eine zentrale Einsatzleitung. Insofern benötigen sie keine weitere Unterstützung bei der Steuerung der Einsätze, wie dies bei kleineren Städten und Gemeinden der Fall ist.
- In den größeren Städten verfügen die Abwassersysteme vermutlich über größere Reserven als in den kleineren Städten, sodass das Niederschlagswasser schneller abgeleitet werden kann.
- Größere Städte nehmen häufig ebenere Flächen ein, wo das ablaufende Niederschlagswasser von Starkregenereignissen keine so große Schadwirkung entfalten kann wie in kleineren Städten und Gemeinden, die sich über Tal- und Hanglagen erstrecken.
- Bei der Einstufung von Starkregen- und Sturzfluteinsätzen spielt möglicherweise eine Rolle, dass in den größeren Städten Berufsfeuerwehren tätig sind, die aufgrund Ausbildung, Ausrüstung und tagtäglicher Praxis Schadensereignisse und Notstände 'gelassener' sehen als Einsatzkräfte der

Freiwilligen Feuerwehren in den kleineren Städten und Gemeinden. Auch besteht in den kleineren Städten und Gemeinden ein direkter Kontakt zwischen (betroffenen) Bürgern, Hilfsorganisationen, Verwaltung und Politik, sodass sich hier schneller Handlungsdruck aufbaut.

Im Querschnitt der Fallstudien zeigt sich, dass Starkregen und Sturzfluten die Hilfsdienste vor große Herausforderungen stellen, beispielsweise:

- Innerhalb kurzer Zeit ist häufig eine große Anzahl von Bürgern durch Überflutungen betroffen und fordert Hilfe an.
- Der Ablauf von Sturzfluten aufgrund von Starkregen lässt sich ohne genaue Analysen kaum vorhersehen und die Folgenbewältigung insoweit kaum vorausplanen; potenziell betroffene Gebiete können jedoch über Gefahrenkarten ermittelt werden.
- Ereignistypus und Ereignisablauf sind den Hilfskräften aufgrund ihrer relativen Seltenheit möglicherweise aus Übungen, nicht jedoch aus der Praxis bekannt.

Die bestehenden, in den Landesfeuerwehr- und den Landeskatastrophenschutzgesetzen niedergelegten Rechtgrundlagen zur Hilfeleistung und zum Katastrophenschutz bieten den örtlichen und überörtlichen Einsatzkräften grundsätzlich die notwendigen Möglichkeiten, die Folgen von Starkregen und Sturzfluten zu bewältigen. Fehlende oder unsachgemäß ausgerichtete Regelungsbereiche konnten in den untersuchten URBAS-Fallstudien nicht gefunden werden und wurden auch von den sachlich zuständigen Gesprächspartnern nicht genannt.

Die in den Fallstudien dokumentierten Einsätze von Feuerwehren und Hilfsdiensten zur Bewältigung der Folgen von Starkregen und Sturzfluten zeigen, dass die Einsatzkräfte i. d. R. technisch gut vorbereitet sind und effektiv und schnell den Betroffenen Hilfe leisten können. Für den einzelnen Betroffenen mag es möglicherweise im Schadensfall unverständlich erscheinen, dass ihm nicht sofort nach Alarmierung der Feuerwehr Hilfe geleistet wird, doch können die Einsatzkräfte gerade bei einer großen Anzahl von Alarmierungen in kurzer Zeit nicht alle Einsatzorte gleichzeitig anfahren.

Hier könnte es in Zukunft teilräumlich zu Problemen kommen, sofern die Bereitschaft in der Bevölkerung zur aktiven Teilnahme an den Freiwilligen Feuerwehren weiterhin nachlässt und die Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen ansteigt. Entlastend kann in diesem Fall die Aufklärung und Schulung potenziell von Sturzfluten betroffenen Bürgern (Gebäude- und Hauseigentümer und -nutzer) zur Vorbeugung vor den Risiken sein, d. h. insbesondere die baulichen Schutzmöglichkeiten gegen das Eindringen von oberirdisch abfließendem Niederschlagswasser und Sturzfluten.

In den Fallstudien haben die Akteure die Einsätze zumeist als gut und erfolgreich eingeschätzt. Die Fallstudien haben überraschenderweise gezeigt, dass die seltenen Ereignisse mit ihrem extremen Ablauf noch vergleichsweise gut durch die Einsatzkräfte beherrscht werden. Eine genaue Analyse der Einsätze und möglicherweise aufgetretener Probleme bietet die Chance, die Einsätze künftig zu verbessern. In Braunschweig wurde nach den katastrophalen Überschwemmungen vom 17.07.2002 eine umfassende Aufarbeitung und Analyse der Abläufe durchgeführt, die vielfältige Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten geliefert hat. Ein großer Teil der Empfehlungen ist mittlerweile umgesetzt.

Probleme wurden vereinzelt im Hinblick auf die Kommunikation und Koordination der Einsatzkräfte untereinander und mit der Einsatzleitung genannt. Dies ließ sich einerseits auf technische Probleme zurückführen (die später durch Modernisierung oder Ergänzung der Kommunikationsmittel behoben wurden), andererseits auf fehlende oder unklare Abstimmungen oder Verfahrensregelungen (wurde ebenfalls behoben).

Die Einsatzkräfte waren in zwei Fällen selbst Opfer von Sturzfluten (die Feuerwache in Lohmar wurde überflutet) bzw. wurden durch die Sturzfluten behindert (in Haslach wurden die Straßen überflutet und die Hilfskräfte mussten größere Umwege fahren).

Tabelle 4-8: Beurteilung der Einsätze durch die Akteure

Fallstudie	Beurteilung der Einsätze durch die Akteure
Aachen	Keine besonderen Vorkommnisse
Berlin	Keine besonderen Vorkommnisse
Braunschweig	Bedarf an lokalen Einsatzleitungen, räumliche Engpässe, Kommunikationsanlagen, Ausstattung von Fahrzeugen und Geräten
Deidesheim	Verbesserung von Kommunikation und Koordination
Gehren/Wolfsberg	gute Zusammenarbeit
Hamburg	keine Angaben
Haslach/Hofstetten	Zufahrtsstraße nach Hofstetten überflutet, Umweg notwendig
Hersbruck	keine Angaben
Landau a. d. Isar	Überlastung der Kommunikationsmittel
Lohmar	Überflutung der Feuerwache Lohmar
Lübeck	Überlastung der Telefonanlage, zwischenzeitlich behoben
Meschede	Problemlos, gute und eingespielte Kommunikation zwischen den Kräften (FW Meschede und Stadtverwaltung)
Starnberg	keine Angaben
Paderborn	sehr gute Kommunikation zwischen den Einsatzkräften
Zwickau	Nicht bekannt

Um sich einen **Überblick** über die Lage in den betroffenen Gebieten zu verschaffen, hat es sich in Hersbruck bewährt, diese zunächst mit neutralen Fahrzeugen anzufahren und auf der Basis der Beobachtungen Einsatzprioritäten festzulegen. So wird vermieden, dass sich die Bevölkerung allein gelassen fühlt, wenn Feuerwehrfahrzeuge durchfahren und nicht zur Hilfeleistung anhalten.

Für die Feuerwehren ist es bei durch Starkregen bedingten Großeinsätzen hilfreich, wenn betroffene Bürger, denen aufgrund der hohen Anzahl von **Hilfegesuchen** nicht direkt geholfen werden konnte und die sich dann selbst geholfen haben, der Einsatzleitung eine Entwarnung mitteilen würden, sodass diese Einsatzorte nicht mehr angefahren werden müssten. Diese Bitte an die Bevölkerung könnte beispielsweise Gegenstand einer Grundsatzinformation über Starkregen- und Sturzflutrisiken sein.

In der Natur der Sache liegt es, dass sich der Ablauf von Sturzfluten durch Starkregen nur schwer vorhersehen und vor allem ihre Bewältigung kaum vorausplanen lässt. Allerdings haben die Feuerwehren in häufiger von Sturzfluten betroffenen Städten aufgrund ihrer Erfahrungen bestimmte **Einsatzregeln** entwickelt, mit deren Hilfe sich die Ereignisabläufe durchaus positiv beeinflussen lassen:

- In Hamburg räumen die Feuerwehren bei entsprechenden Vorwarnungen des DWD die bekannten Schwachstellen im Gewässernetz von Abfluss behinderndem Material wie Abfällen, Holz etc., sodass die Rückstaugefahren in diesen Bereichen vermindert werden.
- In Starnberg wurde die Feuerwehr darin geschult, bei Starkregenereignissen den Schmeisser Weiher zu beobachten und ggf. den Grundablass zu öffnen, um das aufstauende Wasser geordnet abführen zu können.
- In Landau an der Isar bestehen Vereinbarungen, dass die Feuerwehren bei Starkregen die Regenrückhaltebecken kontrollieren und ggf. Drosseln/Schächte öffnen, um ein unkontrolliertes Überlaufen zu verhindern.

Es zeigt sich insofern, dass durch eine genaue Analyse vergangener Ereignisse im Ort wie in der Nachbarschaft Erkenntnisse über tatsächliche und mögliche Ereignisabläufe bei Starkregen gewonnen

und der Einsatzplanung zugänglich gemacht werden können; Einsätze lassen sich insofern auch zum Gegenstand von gezielten **Übungen** zum Training der Abläufe machen.

Als Hilfe für die **Planung von Einsätzen** kann überdies das DWA-Merkblatt 103 "Hochwasservorsorge für Abwasseranlagen" als Orientierung herangezogen werden, das Schutzziele für Abwasseranlagen anhand der Überschwemmungsintensität ableitet. Dies erfolgt anhand des Ereignistypus Flusshochwasser; grundsätzlich lässt sich die Einstufung auch auf Starkregen- und Sturzflutereignisse anwenden, sofern die Handlungsanweisungen systematisch auf die Besonderheiten des Ereignistyps und weitere Schutzgüter ausgedehnt werden (Straßen, Unterführungen, Grundstücksflächen, Gebäude, Unter- und Erdgeschosse, Infrastrukturen etc.) (VDI, 2006).

4.6 Kommunale Gefahren- und Risikoanalyse

An den größeren Gewässern sind in fast allen Fällen Überschwemmungsgebietsausweisungen bzw. – Festsetzungen vorhanden, an den kleinen Gewässern, an denen die Schäden aufgetreten sind, generell nicht. Die Aufstellung zeigt, dass in den meisten Fällen für die kleinen Gewässer und die kanalisierten Bereiche Schwachstellen und potenzielle Gefährdungsbereiche verwaltungsintern bekannt sind, sie werden jedoch nur in wenigen Fällen dokumentiert und veröffentlicht. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Kenntnisse über die praktizierten verwaltungsinternen Beteiligungsverfahren Eingang in die kommunalen Planungen finden, eine Erhebung dazu war im Rahmen des Vorhabens nicht möglich.

Tabelle 4-9: Kommunale Gefahren- und Risikoanalyse

Fallstudie	**ÜSG/Risikoanalysen**	**Vorhandene Maßnahmen (an kleinen Gewässern)**
Aachen	ÜSG Festsetzungen an Inde und Wurm (im Verfahren). Der Kanalnetzbetreiber hat die Überstaunachweise nach DIN berechnet inklusive der Analyse der potenziellen Fließwege des ausgetretenen Wassers und der Schäden	Sicherung von Randstreifen
Berlin	ÜSG Ausweisungen an Gewässern hier nicht relevant Die BWB führen Kanalnetzberechnungen zur Bemessung des Kanalnetzes und zum Überstaunachweis durch. Ergebnisse werden als interne Information der BWB für die befassten Abteilungen behandelt	Nicht zutreffend
Braunschweig	Karte der HW-gefährdeten Gebiete, abgeleitet aus der Geologischen Übersichtskarte von Niedersachsen M 1 : 500.000 (Gefahrenstufe 1 und 2); Untersuchungen zu Gefahren- und Risikobereichen nach dem HW; verschiedene Arten von Gefahrenkarten; Untersuchung eines Worst-Case-Szenarios	
Deidesheim	Keine ÜSG-Karten, aber geplant; Aufstellung Hochwasserschutzkonzept beauftragt	z. T. Bauvorsorge von privaten Bauherren vorhanden
Gehren/Wolfsberg	ÜSG an der Ilm, Wohlrose ausgewiesen, nicht festgesetzt; kleine Gewässer keine Festsetzungen	
Hamburg	ÜSG an großen und mittleren Gewässern; Risikountersuchungen Binnengewässer, insbesondere neuralgische Punkte; Kartendarstellung, Objektsteckbriefe, systematische Sammlung in Datenblättern, Information für Feuerwehr	Risikountersuchungen Binnengewässer
Haslach/Hofstetten	Keine ÜSG-Ausweisungen; kein vergleichbares Ereignis in der Vergangenheit	
Hersbruck	ÜSG-Ausweisung an der Pegnitz vorhanden, kleine Gewässer Ausweisungen nicht vorhanden, gute Übereinstimmung mit wassersensiblen Böden	

Fallstudie	**ÜSG/Risikoanalysen**	**Vorhandene Maßnahmen (an kleinen Gewässern)**
Landau	ÜSG-Ausweisung an der Isar vorhanden, kleine Gewässer Ausweisungen nicht vorhanden, gute Übereinstimmung mit wassersensiblen Böden	
Lohmar	ÜSG-Ausweisung an der Agger vorhanden, kleine Gewässer Ausweisungen nicht vorhanden; Schwachstellen bekannt, aber nicht dokumentiert, Untersuchungen z. T. vorhanden, mehrere Untersuchungen beauftragt	Deich in Ortslage HRB
Lübeck	ÜSG-Ausweisung an der Trave vorhanden, für kleine Gewässer Ausweisungen nicht vorhanden; Schwachstellen bekannt, aber nicht dokumentiert; mangelnde Unterhaltung wegen Naturschutz; Überstauprüfung der Kanalisation vorhanden, Rückstau auf Gewässern in Kanalisation, fehlende Rückstausicherungen, undichte Kanäle; Defizite Bauvorsorge (Bordsteine)	Trave: Mobiler HW-Schutz, Dienstanweisungen HW-Schutz
Meschede	ÜSG an Ruhr und Henne, kleine Gewässer Ausweisungen nicht vorhanden, Untersuchungsaufträge nach Ereignis	Rückstausicherungen, Kanalsanierungen
Paderborn	ÜSG nur Lippe und Alme, kleine Gewässer Ausweisungen nicht vorhanden; Schwachstellen bekannt, aber nicht dokumentiert; Risikofaktoren: keine Bordsteine in Erschließungsstraßen, Hauszufahrten ohne Anrampung, unzulässige Kellernutzung; Schwachstellen Kanalnetz bekannt (Überrechnung)	Kanalnetzberechnung, Zusammenarbeit STEB und Stadtplanung, Bürgerbroschüre
Starnberg	ÜSG nur für Würm; kleine Gewässer Ausweisungen nicht vorhanden; Schwachstellen bekannt, aber nicht dokumentiert, gute Übereinstimmung mit wassersensiblen Böden	
Zwickau	ÜSG und HW-Gefahrenkarten nur für Zwickauer Mulde, Mulde und einige Gewässer II. Ordnung; Schwachstellen Kanalnetz bekannt, aber nicht dokumentiert, viele Engstellen	

Topografische Informationen lagen mit der DTK25 und dem DGM25 in allen Fallstudien vor. Beide Datenquellen bieten die Möglichkeit, anhand des Verlaufs von Höhenlinien (DTK25) oder entsprechender Klassifizierung der Rasterwerte (DGM25) interpretierend mögliche Abflusswege anhand von Rinnen und Rillen im Geländeverlauf auch unabhängig von (Kleinst-)Gewässern zu erkennen. Die Fallstudien zeigen den Ablauf des Niederschlagswassers in diesen Geländestrukturen. Sehr anschaulich und mit geringem Aufwand lassen sich erste Hinweise auf mögliche Risiken durch Geländeabflüsse gewinnen.

In 13 der 15 Fallstudien lagen bodenbezogenen Informationen und daraus abgeleitete Produkte (beispielsweise Karte Wassergefährdete Bereiche, Bodenkonzeptkarten u. Ä.), allerdings sehr heterogener Qualität, vor (vgl. Tabelle 2-6). Aus diesen Quellen lassen sich grundsätzlich Hinweise auf potenzielle Sturzflutrisiken bereits anhand der Bodeneigenschaften gewinnen: Abflussgebiete und Schadensorte finden sich oftmals in Bereichen, deren Böden Einfluss von fließendem Wasser anzeigen (Kolluvien, Niedermoore, (Auen-) Gleye)). In Bayern wurde aus dieser Erkenntnis bereits das Warninstrument „Informationsdienst Überschwemmungsgebiete und Wassersensible Bereiche in Bayern“ abgeleitet.

4.7 Vorsorgemaßnahmen

Von zentraler Bedeutung für den Wert der Fallstudien war die Erhebung der Maßnahmen, die die Kommunen zur Hochwasserbewältigung und Hochwasservorsorge nach den Schadensereignissen ergriffen haben (Lessons learned s.u.).

4.7.1 Flächenvorsorge

Die Auswertung der Fallstudien zeigt, dass generell bei den großen und mittleren Gewässern, soweit sie in den untersuchten Kommunen vorhanden sind, eine Ausweisung bzw. Festsetzung von Überschwemmungsgebieten vorhanden ist, die i. Allg. auch in die Bebauungsplanung übernommen wurde. Die Festsetzungen zeigen sich vielfach als überarbeitungsbedürftig.

Tabelle 4-10: Maßnahmen der Flächenvorsorge bei den Fallstudien

Fallstudie	**Flächenvorsorge**
Aachen	Übernahme vorh. ÜSG-Ausweisungen in FNP bzw. B-Planung Sicherung von Rückhalteflächen und Flächen für Gewässerrenaturierung
Berlin	Die potenziell durch Kanalüberflutung gefährdeten Bereiche infolge hydraulischer Engstellen werden als eine interne Information der BWB für die befassten Abteilungen behandelt.
Braunschweig	ÜSG-Ausweisungen geplant, Überarbeitung vorh. ÜSG-Ausweisungen, Natürliche Rückhalteflächen erfassen und kennzeichnen Entlastungswege bei Kanalüberstau
Deidesheim	Ausweisung von Flächen zur HW-Entlastung, ÜSG sollen in B-Plan übernommen werden
Gehren/Wolfsberg	Flächensicherung und Verbote im ÜSG
Hamburg	ÜSG-Ausweisungen an großen und mittleren Gewässern; in FNP übernommen, HSE: Projekt STARG: Maßnahmen des Flächenmanagements; Vorschlag: Nutzung von Grünflächen als Zwischenspeicher
Haslach/Hofstetten	Gutachten zu Maßnahmen beauftragt
Hersbruck	Flächenfreihaltung entlang kleiner Gewässer
Landau a. d. Isar	Erarbeitung eines Maßnahmenkonzepts Flächensicherung für HW-Schutzmaßnahmen
Lohmar	Keine ÜSG an kleinen Bächen geplant, Randstreifen, B-Planung Potenzielle Stellen Kanalüberstau nicht bekannt
Lübeck	Konzept Freihaltung von Flächen, Notwasserwege, N-Rückhaltung, bei Erschließungsanträgen wird Überstaunachweis verlangt, Auflagen für Kellernutzung, Fluchträume
Meschede	Enge Abstimmung Planungsamt – Wasserbehörde insbesondere Hangabfluss
Paderborn	ÜSG werden bei B-Planung beachtet
Starnberg	--
Zwickau	ÜSG Festsetzung auch an kleinen Gewässern (konfliktreich)

Für die kleinen Gewässer, von denen die Überflutungen ausgegangen sind, gilt generell, dass solche Ausweisungen oder Abschätzungen potenziell betroffener Flächen nicht vorhanden sind.

Als realisierte Maßnahmen der Flächenvorsorge wurden neben der Berücksichtigung der festgesetzten ÜSG genannt:

- Festsetzung von ÜSG auch an kleineren Gewässern
- Flächenfreihaltung entlang kleinerer Gewässer (z. B. Randstreifen)
- Flächensicherung für Hochwasserschutzmaßnahmen
- Die planerische Sicherung von Notwasserwegen bzw. Entlastungswegen und Grünflächen als Zwischenspeicher in kanalisierten Gebieten

- Bei Erschließungsanträgen werden Überstaunachweise als Teil des Antrags verlangt.
- Bei der Bebauungsplanung selbst werden Auflagen für die Kellernutzung und Fluchträume sowie Konzepte zur Freihaltung von Flächen genannt.
- In vielen Fällen wurde die gute Abstimmung zwischen Bebauungsplanung und Entwässerungsplanung hervorgehoben.

Die prinzipiell möglichen Maßnahmen sind in Teil C dieser Untersuchung zusammengestellt.

Generell werden die planerischen Möglichkeiten der Flächenvorsorge bisher vergleichsweise selten genutzt. Aufgrund des Eigentums- und Bestandsschutzes, aber auch des hohen Aufwandes, ist das Anpassungspotenzial an Sturzflutrisiken im Gebäude- und Siedlungsbestand eingeschränkt und erfordert ein mittel- und langfristiges Vorgehen. Die oft betonte gute Abstimmung zwischen Bebauungsplanung und Entwässerungsplanung führt aber offensichtlich dazu, dass die wasserwirtschaftlichen Belange häufiger berücksichtigt werden, ohne dass sich dieses in schriftlich dokumentierten Maßnahmenpakten niederschlägt.

4.7.2 Abflussminderung

Maßnahmen der Abflussminderung und -rückhaltung in den Sturzflut-Entstehungsgebieten, aber auch im städtischen Bereich mindern i. Allg. unmittelbar die Sturzflutgefahr. Dazu zählen

- die Änderung der Bearbeitung der (landwirtschaftlichen) Flächen mit Zielrichtung der Abfluss- und Erosionsminderung,
- die Realisierung von dezentralen Rückhaltemaßnahmen und
- die Versickerung in den bebauten Gebieten.

Im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel bietet sich überdies die Chance, Maßnahmen so zu kombinieren, dass unterschiedliche Klimafolgen in ihrer Intensität reduziert werden (beispielsweise intensive Dachbegrünungen zur Wärmeisolierung, Verbesserung des Stadtklimas und zur Rückhaltung von Starkregen).

Tabelle 4-11: Maßnahmen der (nicht technischen) Abflussminderung und -rückhaltung

Fallstudie	**Abflussminderung**
Aachen	Gewässer: Gewässerrenaturierung, Versickerung, soweit möglich; gesplitteter Gebührenmaßstab, dezentraler Rückhalt,
Berlin	Regenwassermanagement, Entsiegelung, Versickerungsgebot; gesplitteter Gebührenmaßstab, dezentraler Rückhalt
Braunschweig	Versickerungsgebot; gesplitteter Gebührenmaßstab, dezentraler Rückhalt, Gewässer: Rückhaltung und verbesserte Unterhaltung, Maßnahmenmonitoring
Deidesheim	Erosionsschutzmaßnahmen (sind Pflicht, Umsetzung mangelhaft); gesplittete Gebühren
Gehren/Wolfsberg	Erosionsmindernde Bodenbearbeitung, Verhandlung mit Landwirten
Hamburg	Grundsätze der Stadtentwässerung: u. a. Regenwasserversickerung; Gebührenermäßigung für Niederschlagswasser, Leitfaden Regenwasserbewirtschaftung
Haslach/Hofstetten	zum Zeitpunkt des Interviews waren keine Maßnahmen geplant
Hersbruck	Gesplittete Abwassergebühren
Landau a. d. Isar	Kauf/Pacht von landwirtschaftlich genutzten und naturnahen Flächen für Rückhalt
Lohmar	Rückhalteflächensicherung durch Natur- und Landschaftsschutz, gesplittete Gebühren
Lübeck	Aufforstung als Retentionsfläche, Niederungsflächen Freihalten, Versickerung

Fallstudie	Abflussminderung
	in Satzung festgeschrieben, Gebührensplitting
Meschede	Versickerung nicht möglich, Gebührensplitting; Umwandlung von Acker in Grünland
Paderborn	Gebührensplitting, Beratung Regenwassermanagement
Starnberg	Versickerung nicht möglich
Zwickau	Versickerung in Satzung bzw. B-Plänen festgeschrieben, wasserdurchlässige Baustoffe

Die prinzipiell möglichen Maßnahmen sind in Teil I, Abschnitt C dieser Untersuchung zusammengestellt.

Gesplittete Abwassergebühren, Regenwasserversickerung und Niederschlagswassermanagement ist in fast allen untersuchten Kommunen inzwischen eingeführt. Im Hinblick auf die Versagenshäufigkeit weisen dezentrale Systeme i. Allg. höhere Sicherheiten als die klassische Kanalisation auf, wobei der Aspekt der erforderlichen „dezentralen“ Wartung dieser Anlagen hier nicht beurteilt werden kann. Im Übrigen sind diese Systeme bisher nur zu einen geringen Anteil in den Kommunen eingeführt, weil der Bestand weitgehend unverändert bleibt. In einigen Fällen wurden auch Vereinbarungen mit der Landwirtschaft zu geänderter Bewirtschaftung, Flächenkauf und Aufforstung zur Verbesserung des Rückhalts genannt. Vergleichbar mit dem Handlungsbereich der Flächenvorsorge werden die Möglichkeiten bisher vergleichsweise selten genutzt, da aufgrund des Eigentums- und Bestandsschutzes und des hohen Aufwandes im Bestand nur ein langfristiges Vorgehen erfolgreich sein kann.

4.7.3 Technische Maßnahmen

Die in den Fallstudien erfassten technischen Maßnahmen zeigt die Tabelle 4-12.

Bei den Gewässern werden vor allem verbesserte Unterhaltung, Beseitigung von Engstellen, Offenlegung kanalisierter Abschnitte, technischer Ausbau der Gewässer, Bau von Entlastungsgräben sowie die Anlage von Rückhaltebecken genannt. Grundlage der Ausbauten bilden i. Allg. fachtechnische Planungen mit hydrologisch-hydraulischen Nachweisen, die häufig nach den Ereignissen beauftragt wurden.

Bei der Kanalisation sind die Kenntnisse über die in der Kommune vorhandenen Systeme und Zustand und Leistungsfähigkeit der Kanäle und Kanalbauwerke in den letzten zwei Jahrzehnten deutlich verbessert worden, sodass die wenig leistungsfähigen Abschnitte i. Allg. bekannt sind. Häufig liegen Sanierungskonzepte mit Prioritätensetzung vor, wobei die Engpassbeseitigung nur ein Kriterium unter vielen andern sein kann (Bautechnik, Gewässergüte, Beseitigung vorhandener Schäden etc.).

Tabelle 4-12: Technische Maßnahmen

Fallstudie	Technische Maßnahmen
Aachen	Ertüchtigung von Teichen, Rückhaltebecken nach DIN 19700 Rückhaltungen im Kanalnetz, Sanierung von hydraulischen Engstellen
Berlin	Strategie: Verbesserung der Speicherkapazität der vorhandenen Kanäle und so möglichst den Bau neuen Speichervolumens zu vermeiden. Für die Untersuchungsgebiete Friedenau und Wannsee: technische Lösungen zur Beseitigung der kanaltechnischen Engpässe, Neubau Kanäle
Braunschweig	Bau von RRB; Engpässe prüfen und ggf. Neubau, Rückstausicherungen Kanalnetz, Kanalunterhaltung und –steuerung, Pumpanlagen prüfen; vielfältige Maßnahmen an Gewässern zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit, Rückhaltun-

Fallstudie	Technische Maßnahmen
	gen; HRB
Deidesheim	Verbesserung der Ableitungssysteme und Rückhaltung, verbesserte Unterhaltung der Gräben
Gehren/Wolfsberg	Technischer Ausbau der Gewässer beantragt, Anlage von Notgräben, Entwässerungsgräben, Dammsicherungen
Hamburg	Sanierung, Anpassung, Vergrößerung von HRB, verbesserte Gewässerunterhaltung
Haslach/Hofstetten	Werden zum Zeitpunkt der Erhebung erarbeitet
Hersbruck	Gewässerausbau, Bau von HRB, RRB
Landau a. d. Isar	Bau mehrerer HRB; Gewässerausbauten
Lohmar	Maßnahmenvorschläge aus Untersuchungen; Durchlässe vergrößern, Bachverrohrungen vergrößern, Offenlegen der verrohrten Bäche, Rückhaltebecken, Umflutgräben Neubau
Lübeck	Sanierung Vorfluter (auch als Bauauflage); Beseitigung von Engstellen an Gewässern, Kanalsanierung nach Prioritätenliste
Meschede	Gewässerunterhaltung, Beseitigung von Engstellen an Gewässern, Vergrößerung Straßenseitengräben, Kanalsanierung nach Prioritätenliste, Bepflanzung, Geschiebefänge, Sanierung RRB, Beauftragung Untersuchungen
Paderborn	Gewässerunterhaltung, Beseitigung von Engstellen an Gewässern, Kanalsanierung nach Prioritätenliste
Starnberg	Sanierung HW-Entlastung Weiher, Neubau Kanal- und Überlaufsystem, Sanierung und Neubau von Entlastungsgräben
Zwickau	Bau von HRB; verbesserte Gewässerunterhaltung

Die prinzipiell möglichen Maßnahmen der technischen Vorsorge sind in I, Abschnitt C dieser Untersuchung zusammengestellt.

Die Auswertung zeigt, dass nach den Ereignissen häufig die technischen Maßnahmen trotz der hohen Kosten als Lösungen gewählt werden. Kosten-Nutzen-Berechnungen im klassischen Sinne sind nach den Erhebungen nicht durchgeführt worden, wobei Maßnahmen insbesondere in kleineren Kommunen in den Ratsausschüssen besprochen und verabschiedet werden müssen. Hierbei wird die Kostenseite i. Allg. intensiv diskutiert.

Eine generelle Erhöhung der Leistungsfähigkeit der städtischen Entwässerungssysteme (Kanalisation, „kommunale“ Gewässer) auf sehr seltene Ereignisse erscheint weder bezahlbar noch umsetzbar. Sinnvoll ist dagegen die Suche nach und die Beseitigung von Abflussengpässen und „Versagenspunkten“ in der Kanalisation und den kleinen, oft erheblich überbauten Gewässern.

Hierbei geht es vor allem auch darum, sich mit Überlastungsfällen, wie sie bei Sturzfluten auftreten, zu beschäftigen. Auch technische Rückhaltemaßnahmen an den kleinen Gewässern und im städtischen Entwässerungsnetz werden von einigen Kommunen realisiert, sind aber nur in Ausnahmefällen sinnvoll.

4.7.4 Bauvorsorge

Die in den Fallstudien erfassten Maßnahmen der Bauvorsorge zeigt die Tabelle 4-13

An erster Stelle sind hier die Maßnahmen der Rückstausicherung der Gebäude gegen Rückstau aus dem Kanalnetz zu nennen. Diese sind generell in allen Ortssatzungen vorgeschrieben, aber häufig nicht realisiert. Viele Städte und Stadtwerke versuchen durch Bürgerinformation, die Hausbesitzer

zum Einbau dieser Sicherungen zu animieren. Rückstausicherungen sind heute vielerorts auch schon bei Normalbetrieb (d. h. nicht nur bei extremen Starkregenereignissen) der Kanalisation erforderlich. Wie weit in den untersuchten Fällen Rückstausicherungen zu einer maßgeblichen Schadensminderung beigetragen hätten, kann nicht sicher bestimmt werden. Da bei den Ereignissen aber generell Oberflächenabfluss in den bebauten Gebieten aufgetreten ist, wäre vermutlich eine Kellerflutung auch mit Rückstausicherungen eingetreten.

Vereinzelt werden auch andere Maßnahmen der Bauvorsorge genannt. Hierzu zählen baurechtlich abgesicherte Maßnahmen zur Kellernutzung, Vorhaltung von Material zum Gebäudeschutz, Broschüren zur Bauvorsorge, insbesondere auch zum Umgang mit Öltanks.

Tabelle 4-13: Bauvorsorge

Fallstudie	**Bauvorsorge**
Aachen	Rückstausicherungen verbindlich, Kontrolle durch die Stadt
Berlin	Rückstausicherungen verbindlich
Braunschweig	Prüfen der Folgen von Stromausfall, Rückstausicherungen, Liste vorbeugender Maßnahmen für Bürger, 15 Punkte zu Grundstücksentwässerung, Gebäude- und Kellernutzung, Kellerschutz, Drainagen, Schutz vor eindringendem Oberflächenwasser, Rückstausicherung
Deidesheim	Rückstausicherungen, Vorrichtungen zur Abschottung vom Straßenraum (privat)
Gehren/Wolfsberg	Rückstausicherungen
Hamburg	Broschüre für Bürger
Haslach/Hofstetten	Werden zum Zeitpunkt der Erhebung erarbeitet
Hersbruck	höhere Bordsteinhöhen, Beratung Öltanks, Rückstausicherungen und Einhaltung der Rückstauebene (Prüfung der Bauanträge),
Landau a. d. Isar	Rückstausicherungen und Einhaltung der Rückstauebene vorgeschrieben
Lohmar	Rückstausicherungen und Einhaltung der Rückstauebene vorgeschrieben, hochwertige Kellernutzungen verboten
Lübeck	Merkblatt Rückstau; Auflagen zu Hochwasser in Bebauungsplänen
Meschede	Vorhaltung Material mobiler HW-Schutz, Dammbalkenverschlüsse für Kreishaus
Paderborn	Broschüre Bauvorsorge
Starnberg	Angepasste Bauweise vorgeschrieben, mindestens 1,5 m Hochkeller über Geländeoberkante, Tiefgaragen mit Schotten verschließbar
Zwickau	Broschüre Gewässerunterhaltung; Rückstausicherungen

In der Broschüre „Wie schütze ich mein Haus vor Starkregenfolgen“ der Stadt Hamburg sind die Möglichkeiten, mit denen Hauseigentümer mit meist wenig aufwendigen Mitteln Bauvorsorge umsetzen können, anschaulich aufgeführt.

Broschüren zur Bauvorsorge gibt es viele, an die jeweiligen kommunalen Verhältnisse angepasste sind aber noch die Ausnahme. Herausragende Bedeutung haben funktionierende Rückstausicherungen und konstruktive Maßnahmen, mit denen das Eindringen von Oberflächenwasser in die Gebäude verhindert werden kann. Aufwendiger sind Maßnahmen gegen Bodenfeuchtigkeit, Sickerwasser und hohe Grundwasserstände, die infolge von Sturzfluten auftreten können. In diesem Handlungsfeld sind sicher noch große Anstrengungen in der Öffentlichkeitsarbeit notwendig, um den potenziell betroffenen Grundstückseigentümern die Risiken von Sturzfluten und ihre Möglichkeiten zur Vorsorge nahe zu bringen.

4.7.5 Risikovorsorge

Risikovorsorge bedeutet die finanzielle Vorsorge für den Schadensfall, beispielweise den Abschluss von Versicherungen. Die Versicherungsdichte bzgl. Hochwasser ist zurzeit noch sehr gering, obwohl sich der Schadenstyp Sturzflut (Schaden kann überall auftreten, überschaubare Schadenssummen beim jeweiligen Ereignis) für Versicherungslösungen anbietet. Der Grad der Versicherungsabdeckung war i. Allg. nicht bekannt.

4.7.6 Informationsvorsorge

Die in den Fallstudien erfassten Kenntnisse, Instrumente und Karten zeigt die Tabelle 4-13.

An den größeren Gewässern sind bei allen Fallstudien die Überschwemmungsgebiete festgesetzt und veröffentlicht. Für die kleinen Gewässer trifft das generell nicht zu. Den Bürgern sind aus diesem Grund potenzielle Gefahren nicht bekannt, es sei denn, Hochwasserprobleme sind bereits häufiger aufgetreten.

Die Erhebung zeigt, dass bei den zuständigen kommunalen Ämtern und Behörden häufig gute Kenntnisse über potenzielle Gefahrenbereiche an den Gewässern vorhanden sind, aber nur in Ausnahmenfällen in Form von Gefahren- und Risikokarten veröffentlicht wurden. Ebenso sind die Schwachstellen im Kanalsystem den jeweiligen Fachbehörden bekannt und dienen u. a. als Planungsgrundlage für die Sanierungsplanung. Aber auch hier gilt, dass diese Kenntnisse i. Allg. nicht öffentlich gemacht werden.

Somit fehlen häufig die erforderlichen Unterlagen für eine gezielte Beratung und Information für die möglichen Betroffenen, aber auch für die Ämter und Fachbehörden der Verwaltung, die nicht unmittelbar mit dem Thema Überflutung und Hochwasser zu tun haben. Dagegen gibt es eine Reihe von guten und informativen Broschüren für die Bürger, bei denen mögliche Maßnahmen vorgestellt werden, wo der Ortsbezug aber häufig fehlt.

Tabelle 4-14: Informationsvorsorge

Fallstudie	**Informationsvorsorge**
Aachen	Festgesetzte ÜSG können bei den zuständigen Behörden eingesehen werden. Gefahrenkarten für Kanalüberstau gibt es nicht, Ergebnisse der Überstaunachweise sind beim Betreiber bekannt
Berlin	Gebiete, für die aufgrund der Höhenlage, der Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes oder sonstiger Gründe eine erhöhte Überflutungsgefahr infolge Starkregen besteht, sind nur amtsintern bzw. bei der BWB bekannt. Die Ereignisse und Einsatzorte, an denen die Feuerwehr Einsätze mit Wasserschäden hatte, sind der BWB nicht bekannt. Ein Informationsaustausch wird angestrebt.
Braunschweig	Kanalinformationssystem; Veröffentlichung von ÜSG- und Gefahrenkarten, Einbindung der Feuerwehr, Informationsveranstaltungen, Merkblätter, Broschüre geplant
Deidesheim	Baugenehmigung: Gebäudeschutz gegen Hochwasser berücksichtigen, Bürgerinformation über HW-Schutzmaßnahmen
Gehren/Wolfsberg	Keine Risikokarten; Schwachstellen sind bekannt; Feuerwehr in Problempunkte eingewiesen
Hamburg	Karten für Sturmflut und Gewässer öffentlich, Karte für Starkregengefährdung nur amtsintern
Haslach/Hofstetten	Neuorganisation des Katastrophenmanagements

Fallstudie	Informationsvorsorge
Hersbruck	Information über Bauvorsorge (Zeitung)
Landau a. d. Isar	Merkblatt zu Rückstausicherung
Lohmar	Merkblatt zu Rückstausicherung
Lübeck	Karte der ÜSG
Meschede	ÜSG-Karten nur für Ruhr und Henne
Paderborn	ÜSG-Karten nur für große Gewässer
Starnberg	Regelmäßige Information über Amtsblatt
Zwickau	ÜSG-Karten und Gefahrenkarten

4.7.7 Verhaltensvorsorge

Gewitter und Starkregenwarnungen werden heute regelmäßig von den Wetterdiensten veröffentlicht.

Die Vorhersage- und Warnsysteme des DWD sind in Teil I, Abschnitt D der Untersuchung beschrieben. Die Güte der Vorhersagen bezüglich des Auftretens der Ereignisse ist heute bereits sehr zuverlässig, in Bezug auf die exakte räumliche Zuordnung und die Ausprägung (Wetter, Niederschlagsformen, Niederschlagsmenge) sind noch erhebliche Unschärfen vorhanden.

Die Fallstudien zeigen demnach, dass häufig zutreffende Warnungen vor Starkregen und Gewitter vor den Ereignissen veröffentlicht wurden. Das Problem liegt also weniger an dem Fehlen einer Warnung, sondern daran, dass diese Warnungen relativ häufig ausgegeben werden und die Vorhersagen räumlich zu unspezifisch sind, als das daraus ein konkretes Handeln abgeleitet werden könnte.

Nicht jeder Starkregen führt zu Sturzfluten, die Abflussbereitschaft des Gebiets ist ebenfalls entscheidend. Vorhersagen und Warnungen müssen zumindest so gut sein, dass sich die Aktivierung von Bereitschaftsdiensten lohnt, die Überwachung von „Hotspots“ (Verrohrungen, Rechen) vorbereitet und ein Schutz besonders verletzlicher Einrichtungen aufgebaut werden kann. Einige Bundesländer (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz) haben hier flächenbezogene Vorhersage- und Warnsysteme aufgebaut, die auch die Abflussbereitschaft der Gebiete berücksichtigen.

Hier sind auch die Aktivitäten der Stadt Hamburg zu nennen.

Eine sinnvolle Verhaltensvorsorge setzt die Kenntnis einer potenzielle Gefahr voraus. Wie in Kapitel 4.7.6 aufgezeigt, sind den Bürgen die Überflutungsgefahren nicht bekannt. Somit ist es selbst bei einer zutreffenden Warnung wahrscheinlich, dass sich die meisten Bürger nicht angesprochen fühlen.

Demgegenüber gibt es in mehreren Kommunen bereits eine gute Zusammenarbeit der wasserwirtschaftlichen Fachbehörden mit den Feuerwehren, die die Überwachung von Gefahrenpunkten übernehmen.

Tabelle 4-15: Verhaltensvorsorge

Fallstudie	Verhaltensvorsorge
Aachen	Berufsfeuerwehr, bei Einsätzen Abstimmung mit dem Kanalnetzbetreiber STAWAG
Berlin	Gefahrenabwehr durch die Feuerwehr gemeinsam mit dem Landesverband des Technischen Hilfswerks und den verschiedenen Hilfsorganisationen, Merkblatt der Feuerwehr
Braunschweig	Detaillierte Vorgaben zu Organisation, Planung der HW-Einsätze, Umwetterwarnung und HW-Vorhersage und Warnung, Bürgerinformation, Kommunikationseinrichtungen zu Notrufannahmen, Ausstattung mit Material für den HW-

Fallstudie	Verhaltensvorsorge
	Einsatz, Trainings
Deidesheim	Bürgerinformation
Gehren/Wolfsberg	Anschaffung Material für HW-Einsatz, HW-Warnsystem für Hauptgewässer, FeWIS wird genutzt
Hamburg	Organisation Katastrophenschutz, Unwetter- und Starkniederschlagsvorhersage FeWIS, HW-Vorhersage für kleine Gewässer: Konzeptentwicklung
Haslach/Hofstetten	--
Hersbruck	--
Landau a. d. Isar	Neue integrierte Leitstelle, Vereinbarungen mit Feuerwehr
Lohmar	Feuerwehr veröffentlicht Wetterwarnungen im Internet
Lübeck	Warnsystem für große Gewässer, Einsatz von FeWIS, Datenaustausch Feuerwehr – Stadtentwässerung; Einweisung der Feuerwehr in Kanalnetz, über HW-Situationen (große Gewässer)
Meschede	--
Paderborn	Einsatzbereitschaft STEB ganztägig, Feuerwehr keine feste Einsatzplanung
Starnberg	Feuerwehr kontrolliert technische HW-Schutzanlagen
Zwickau	HW-Alarm- und Einsatzplan für Gewässer I. und II. Ordnung; Baustellen werden erfasst, Warnung durch integrierte Leitstelle, Wasserwehrsatzung; Schwachstellen werden von Feuerwehr angefahren, sind im GIS erfasst

In URBAS wurden Konzepte für einfache, kommunal umsetzbare Abflussvorhersagesysteme entwickelt und Beispiele aus Kommunen gesammelt. Der Aufbau umfangreicher Schutzmaßnahmen - wie bei Flussüberschwemmungen mit den langen Vorwarnzeiten - ist nicht möglich und wird auch in absehbarer Zukunft nicht möglich sein. Umso wichtiger ist die Umsetzung der vorbeugenden Maßnahmen.

Bereitschaft, Überwachung und Schutz müssen geplant, zwischen den Beteiligten vereinbart und in Trainings und Übungen, außerhalb von Hochwasserzeiten eingeübt werden. URBAS zeigt hierzu gute Beispiele.

4.7.8 Erfahrungen mit der Schadensminderung/-verhinderung durch Vorsorge

Zu diesem Untersuchungskomplex konnten nur wenige Beispiele erhoben werden. Die untersuchten Ereignisse treten nur in Ausnahmefällen so häufig in einer Kommune auf, dass bereits Erfahrungen vorliegen könnten.

Tabelle 4-16: Erfahrungen mit der Schadensminderung/-verhinderung durch Vorsorge

Fallstudie	Besonderheiten
Aachen	Die Stadt schätzt die Überflutungsgefährdung von Fließgewässern als gering ein.
Berlin	--
Braunschweig	Stadt stellt HW-Schutzkonzept auf; detaillierte Vorgaben für Einsatzmanagement
Deidesheim	--
Gehren/Wolfsberg	--
Hamburg	HW-Vorhersage für kleine Gewässer: Konzeptentwicklung

Fallstudie	Besonderheiten
Haslach/Hofstetten	--
Hersbruck	Schadensbefragung
Landau a. d. Isar	Schadensbefragung, 2-D-Abflussuntersuchung
Lohmar	Schadensbefragung; 2-D-Abflussuntersuchung; Klärung der Zuständigkeiten
Lübeck	Konzept der Flächenvorsorge, Untersuchung zur Niederschlagsvariabilität; Nutzung Radardaten zur Warnung, Auswirkung unterschiedlicher Bemessungsniederschläge
Meschede	--
Paderborn	2-D-Abflussuntersuchung,
Starnberg	Maßnahmen der Bauvorsorge
Zwickau	Verhaltensvorsorge

In Hamburg erfolgt bei entsprechender Vorwarnung eine Überprüfung und ggf. Räumung der potenziellen Rückstaupunkte, womit ansonsten drohende Überflutungen vermieden werden konnten.

In Landau an der Isar werden nach entsprechender Schulung Rückstaubecken durch die Freiwilligen Feuerwehren kontrolliert und gesteuert, sodass Überflutungen vermieden bzw. Abschläge planvoll ablaufen können.

In Lübeck haben die Notwasserwege im neuen Baugebiet Hochschulstadtteil ihre prinzipielle Bewährungsprobe überstanden, allerdings nicht aufgrund eines Starkregenereignisses, sondern eines künstlichen Einstaus.

In Starnberg hat sich das technische Ableitungsbauwerk bei später stattfindenden Starkregenereignissen bewährt und die gefährdeten Baugebiete bisher vor erneuter Überflutung geschützt. Die Bedienung des Notablasses erfolgt nach entsprechender Schulung durch die Freiwillige Feuerwehr.

Förderprogramm des BMBF:
Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)

Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS)

Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Abschnitt C: Ziele, Maßnahmen und Methoden des kommunalen Risikomanagements

im Auftrag des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Aachen, Dezember 2008

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Fachhochschule Aachen

Deutscher Wetterdienst

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **IV**

Tabellenverzeichnis **VI**

1 Ziele, Maßnahmen und Methoden des kommunalen Risikomanagements 1

1.1 Untersuchungskonzept 1

1.2 Gefahr bzw. Gefährdung, Vulnerabilität und Risiko 1

1.3 Hochwasserrisikomanagement 3

2 Gefahren- und Risikoanalyse als Grundlage der Maßnahmenkonzeption 4

2.1 Methodenentwicklung der Gefahren- und Risikoanalyse im kommunalen Raum 4

2.2 Gefährdungsarten und Prozesse 4

2.2.1 Gefährdung durch Starkniederschlag 4

2.2.2 Gefährdung durch Hangabfluss, Abfluss und Ausuferung der Gewässer 5

2.2.3 Gefährdung durch Überlastung der Grundstücksentwässerungsanlagen und der Kanalisation 5

2.2.4 Zusammenwirken der Prozesse 6

2.3 Rechtlicher Rahmen 7

2.3.1 Starkregen und Sturzfluten im Wasserrecht 7

2.3.2 Starkregen und Sturzfluten im Planungsrecht 8

2.3.3 Starkregen und Sturzfluten im Baurecht 8

2.3.4 Starkregen und Sturzfluten als Gegenstand des Katastrophenrechts 8

2.4 Vorhandene Regelungen zur Funktionssicherheit und zum planmäßigen Versagen der hydraulischen Systeme 9

2.4.1 Wasserrecht 9

2.4.2 Wild abfließendes Wasser 10

2.4.3 Rechtliche Regelungen und Festlegungen zu Schutzgraden an kleinen Fließgewässern 10

2.4.4 Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke 12

2.4.5 Kanalisation / Stadtentwässerung 17

2.4.6 Planungsrecht 18

2.5 Methoden zur Bestimmung von überflutungsgefährdeten Flächen im städtischen Raum 22

2.5.1 Vorgehensweise 22

2.5.2 Nutzung vorhandener Überschwemmungsgebietsbestimmungen 22

2.5.3 Verfahren zur Bestimmung von Fließwegen und potenziellen Überflutungsgebieten ohne Abflussberechnung 23

2.5.4 Analyse von potenziellen Überflutungsbereichen und Versagenspunkten 26

2.5.5 Berechnung von Fließwegen und potenziellen der Überflutungsgebiete mit vereinfachten hydrologischen und hydraulischen Verfahren 31

2.5.6 Detaillierte Verfahren der Berechnung von Überschwemmungsgebieten 37

2.5.7 Detaillierte Verfahren zur Berechnung der Abflüsse und Überflutungen in kanalisierten Gebieten 38

2.6 Ermittlung von potenziellen Schäden 38

2.7 Beispiele für Gefahren- und Intensitätskarten für überregionale Gebiete 40

2.7.1 Gebiete mit Starkregen 40

2.7.2 Gebiete mit Sturzflutgefährdung 41

2.8 Beispiele für Gefahren- und Risikokarten im regionalen bzw. lokalen Maßstab 42

2.8.1 Gefährdungskarten für Massenbewegungen infolge Sturzfluten 42

2.8.2 Überflutungsrechnungen für Hangabfluss 43

2.8.3 Gefahrenkarten für Sturzfluten, Auswertung der Fallstudien 43

3 Ereignis- bzw. Katastrophenmanagement im Schadensfall 45

3.1 Vorgehensweise 45

3.2 Ereignistypologie 45

3.3 Recht und Organisation von Hilfeleistung und Katastrophenschutz 46

3.3.1 Rechtliche Grundlagen 46

3.3.2 Zuständigkeiten 46

3.3.3 Einsatzleitung 47

3.3.4 Gegenseitige Hilfe und Mitwirkung bei Feuerwehreinsätzen und im Katastrophenschutz 47

3.3.5 Hilfeleistung und Katastrophenschutz bei Starkregenereignissen 48

3.4 Maßnahmen der Katastrophenabwehr 48

3.4.1 Sofortmaßnahmen der Einsatzkräfte beim Schadensereignis 48

3.4.2 Kurz- und mittelfristige Maßnahmen zur Schadensminderung nach einem Ereignis 50

3.4.3 Erfahrungen aus den Fallstudien 51

4 Kommunale Hochwasservorsorge in Bezug auf Sturzfluten 52

4.1 Ziele und Maßnahmen des kommunalen Hochwasser-Risikomanagements 52

4.2 Vorgehensweise bei der Planung und Umsetzung von vorbeugenden Maßnahmen in der Kommune 53

4.3 Bau- und planungsrechtliche Grundlagen für den Umgang mit Sturzfluten auf kommunaler Ebene 54

4.3.1 Städtebauliche Handlungsmöglichkeiten 54

4.3.2 Bauordnungsrecht 61

4.4 Maßnahmentypen des vorbeugenden Hochwasserschutzes für Sturzfluten 64

4.5 Maßnahmen der Flächenvorsorge 64

4.5.1 Handlungsrahmen 65

4.5.2 Flächenvorsorge durch stadtplanerische Instrumente 65

4.5.3 Beispiele aus den Fallstudien: Beispiel Hochschulstadtteil Lübeck 66

4.5.4 Beispiele aus den Fallstudien: Beispiel Meschede 72

4.6 Maßnahmen zur Abflussminderung 74

4.7 Technische Maßnahmen 74

4.8 Maßnahmen der Bauvorsorge 75

4.9 Maßnahmen der Risikovorsorge 76

4.10 Maßnahmen zur Informationsvorsorge 76

4.11 Maßnahmen zur Verhaltensvorsorge 77

5 Anlagen 79

5.1 Anlage 1: Berechnung der Überschwemmungsgebiete mit dem GIS basierten Verfahren ArcGIS 79

5.2 Anlage 2: Übersicht über die Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetze 82

5.3 Anlage 3: Definition von Schadensereignis, Großschadensereignis und Katastrophe in den Landesgesetzen 88

5.4 Anlage 4: Übersicht über die Verwaltungsgliederung beim Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern 95

5.5 Anlage 5: Übersicht über Aufgaben und Zuständigkeiten bei Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern 98

5.6 Anlage 6: Übersicht über Nachbarschaftshilfe und Mitwirkung bei Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern 106

5.7 Anlage 7: Auswertung von Hochwasserbroschüren bzw. Hochwassermerkblättern 113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Gefährdung, Vulnerabilität und Risiko 2

Abbildung 1-2: Kreislauf des Hochwasserrisikomanagements 3

Abbildung 2-1: Versagensmöglichkeiten in den Systemen der Grundstücksentwässerung 6

Abbildung 2-2: Zusammenwirken der verschiedenen Abflussprozesse im kommunalen Raum.....7

Abbildung 2-3: Starkregen und Sturzfluten – Rahmenbedingungen kommunaler Handlungsoptionen.....9

Abbildung 2-4: Regelungen in der Gebäude- und Grundstücksentwässerung (eigene Darstellung)13

Abbildung 2-5: Vergleich der Orte der Feuerwehreinsätze in Lohmar beim Ereignis 30.06.2006 mit der Verbreitung der auen- und grundwasserbeeinflussten Böden.....23

Abbildung 2-6: Beispiele: Berechnetes ÜSG des 100 (blau gestrichelt) am Leyerbach/NRW und Vergleich mit den Bodentypen A3 (gelb) und G3 (pink) der Bodenkarte.....24

Abbildung 2-7: Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Landau (Quelle: Informationsdienst Überschwemmungsgefährdete Gebiete in Bayern 24

Abbildung 2-8: Analysen von potenziell überfluteten Talauen unter Verwendung von digitalen Oberflächen- oder Geländemodellen.....25

Abbildung 2-9: Analysen von Fließwegen unter Verwendung von digitalen Oberflächen- oder Geländemodellen im Vergleich zu den Orten mit Feuerwehreinsätzen 25

Abbildung 2-10: Analysen von Fließwegen unter Verwendung von digitalen Oberflächen- oder Geländemodellen in Hamburg.....26

Abbildung 2-11: Auswertung und Darstellung der Hauptfließrichtungen und Geländeneigungen....28

Abbildung 2-12: Gefahrenbereiche - Flow Accumulation auf Straßenflächen.....29

Abbildung 2-13: Verschneidung von Gewässern mit dem Straßennetz 30

Abbildung 2-14: Profile Curvature 31

Abbildung 2-15: Flow Accumulation Raster 32

Abbildung 2-16: Mit SAGA berechnete Abflüsse/Fließwege für das Ereignis am 17.09.2006 33

Abbildung 2-17: Berechnungsergebnisse mit dem GIS basierten Verfahren GRASS, Fließgeschwindigkeiten.....34

Abbildung 2-18: Berechnungsergebnisse mit dem GIS-basierten Verfahren GRASS, Abflusstiefen35

Abbildung 2-19: Beispiel einer Überflutungsfläche, die mit einem hydraulischen 2-D-Programm ohne Berücksichtigung der Gewässer berechnet wurde 36

Abbildung 2-20: Abflusstiefen bei einem flächendeckenden Niederschlagsereignis in Paderborn-Wewer nach 15 Minuten 37

Abbildung 2-21: Anwendungsbeispiel Sieg, Entwurf einer Hochwasserrisikokarte, Lastfall HQ_{100} .40

Abbildung 2-22: Gefahrenkarten für Hagel, Superzellen und Tornados in der Schweiz; Warnstufen: Gelb = Stufe leicht; Orange = Stufe mäßig; Rot = Stufe stark; Violett = Stufe extrem, Quelle: Skywarn, Schweiz.....41

Abbildung 2-23: Gefahrenstufen der Gefahrenkarten in der Schweiz, Quelle: Baudirektion Kanton Zürich, 2003 41

Abbildung 2-24: „Gefahrenkarte“ für Sturzfluten in den USA.....42

Abbildung 2-25: Beispiel einer Gefahrkarte Sturzfluten aus dem Oman, Quelle: Wasserwirtschaftsverwaltung Oman 42

Abbildung 2-26: Exemplarisches Datenblatt für einen „neuralgischen Punkt“ in Hamburg Wandsbek 44

Abbildung 4-1: Städtebaulicher Rahmenplan inkl. Nutzungsstruktur und Darstellung des Hochschulstadtteils Lübeck im Flächennutzungsplan; Quelle: Hansestadt Lübeck67

Abbildung 4-2: Ausschnitt aus dem B-Plan Nr. 09.04.00 Hochschulstadtteil, Teilbereich II vom 16.3.2003, Festsetzung von Notabflusswegen; Quelle: Bebauungsplan Hochschulstadtteil Lübeck, Stand 07.06.2002 68

Abbildung 4-3: Übersicht über die zeichnerischen und textlichen Festsetzungen im Bebauungsplan Hochschulstadtteil Lübeck; Quelle: Bebauungsplan Hochschulstadtteil Lübeck, Stand 07.06.2002 68

Abbildung 4-4: Integration des Notabflussweges in den Carlebachpark im Hochschulstadtteil der Hansestadt Lübeck; Quelle: Stadt Lübeck....69

Abbildung 4-5: Carlebachpark im Hochschulstadtteil Lübeck (linke Abbildung: mit probeweise eingestautem Niederschlagswasser); Quelle: Stadt Lübeck 69

Abbildung 4-6: Bebauungsplan 09.16.00 – Kronsforder Landstraße / Vorrader Straße – Rothebek, Quelle: Stadt Lübeck, Entwurf, Stand März 2005....70

Abbildung 4-7: Bebauungsplan 17.56.00 Genin Süd (Teilbereich II) vom 02.03.2000; Quelle: Hansestadt Lübeck....71

Abbildung 4-8: Hochwasserbezogenen Festsetzungen, Nachrichtliche Übernahmen und Vermerke im Bebauungsplan 62.2: 2. Änderung des Bebauungsplanes 63 "Sanierungsgebiet Rebell" vom 07.09.2007 73

Abbildung 5-1: Das Modell im ModelBuilder....81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes zum vorbeugenden Hochwasserschutz, die auch kommunale Aufgaben betreffen 11

Tabelle 2-2: Wiederholungszeitspanne T_n für die Bemessung des Rückhalteraums 12

Tabelle 2-3: Gegenüberstellung der alten und neuen bzw. noch geltenden Normen bei der Gebäude- und Grundstücksentwässerung in Deutschland 13

Tabelle 2-4: Bemessungsgrundlagen der Dachentwässerung 15

Tabelle 2-5: Übersicht der Entwässerungsobjekte und ihrer Bemessungsgrundlagen, Anwendungsbereiche der jeweiligen Regelwerke (vgl. auch DIN 1986-10:2002-03, Seite 5) 16

Tabelle 2-6: Empfohlene Häufigkeiten für den Überflutungsschutz bei Entwurf von Neu-anlagen und bei Verbesserung bestehender Systeme gem. DIN EN 752-4:1997, Abs. 6. 17

Tabelle 2-7: Empfohlene Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung (hier: Bezugsniveau Geländeoberkante) nach DWA-A 118 18

Tabelle 2-8: Hydrologisch relevante Parameter eines DGM (Quelle: Conrad, 1998; ESRI) 26

Tabelle 2-9: Hangneigungsstufen, Quelle: Schlichting et al., 1995; AG Bodenkunde 1982, FAO 1990 27

Tabelle 3-1: Sofortmaßnahmen der Einsatzkräfte und der Betroffenen beim Schadensereignis, Quelle: Lotz, 2005 und eigene Ergänzungen 48

Tabelle 4-1: Hochwasserrelevante Darstellungsmöglichkeiten des Flächennutzungsplans; Quelle: Forschungsgruppe Stadt + Dorf, 2001 in Anlehnung an Dapp, Heiland 55

Tabelle 4-2: Sturzflutbezogene Festsetzungen im Bebauungsplan; Quelle: eigene Zusammenstellung 57

Tabelle 4-3: Übersicht über die landesrechtlichen Regelungen über die Zulässigkeit von örtlichen Bauvorschriften über die Gestaltung und Begrünung von Grundstücksfreiflächen und über Grundstückseinfriedungen 59

Tabelle 4-4: Übersicht über die allgemeinen Anforderungen der Landesbauordnungen an bauliche Anlagen; Quelle: eigene Zusammenstellung 62

1 Ziele, Maßnahmen und Methoden des kommunalen Risikomanagements

1.1 Untersuchungskonzept

Kommunales Hochwasserrisikomanagement ist eine querschnittsorientierte Aufgabe mit unterschiedlichen Handlungsfeldern und Maßnahmentypen, deren Umsetzung das Zusammenwirken vieler Akteure erfordert.

Die Handlungsfelder der kommunalen Hochwasservorsorge in Bezug auf Sturzfluten lassen sich in drei Hauptgruppen unterscheiden:

- Gefahren- und Risikoanalyse als Grundlage der Maßnahmenkonzeption
- Hochwasserbewältigung im Ereignis bzw. im Schadensfall
- Ziele und Maßnahmen der kommunalen Hochwasservorsorge

Der vorliegende Berichtsteil ist nach diesen Handlungsfeldern aufgebaut. Zunächst werden die verwendeten Begriffe definiert.

In dem Berichtsteil **Gefahren- und Risikoanalyse** werden neben einer Analyse der Gefahren und Risiken infolge von Sturzfluten in besiedelten Gebieten schwerpunktmäßig die in dem Vorhaben entwickelten oder angewandten Analysemethoden vorgestellt.

In dem Berichtsteil **Hochwasserbewältigung** im Ereignis- bzw. im Schadensfall werden schwerpunktmäßig die rechtlichen Grundlagen, die organisatorischen Voraussetzungen in den Kommunen sowie mögliche Sofort- und kurz- bzw. mittelfristige Maßnahmen der Hilfsdienste und der Kommunen vorgestellt.

Die Bearbeitung dieses Untersuchungsbereichs basiert auf der Auswertung der Fachliteratur, der Analyse der vorgeschlagenen Maßnahmenpakete verwandter Projekte (EU, Deutschland) sowie der Auswertung der Fallstudien und Ereignissammlungen.

Der Berichtsteil **Ziele und Maßnahmen der kommunalen Hochwasservorsorge** enthält eine systematische Aufarbeitung der Ziele und Maßnahmen der kommunalen Hochwasservorsorge in Bezug auf Sturzflutereignisse.

1.2 Gefahr bzw. Gefährdung, Vulnerabilität und Risiko

Die Gefährdung infolge von Starkregen und daraus resultierender Überflutung wird beschrieben durch die Intensität und die Auftretenswahrscheinlichkeit dieses Prozesses. Dabei werden die potenziell möglichen Schäden zunächst nicht betrachtet (vgl. auch Merz, 2006, S. 9)

Die Intensität des Gefahrenprozesses wird durch eine oder mehrere für die Schadensentstehung maßgebliche physikalische Größen dieses Naturereignisses beschrieben.

Bei Flussüberschwemmungen sind dies beispielsweise die Ausdehnung der Überflutung, die Wassertiefe, z. T. auch die Fließgeschwindigkeit und das Produkt aus Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe, in einigen Fällen auch die Dauer der Überflutung (beispielsweise LAWA, 2006, S. 11). Bei Sturzfluten kann dieses z. B. die Ausdehnung der Überflutung, die Fließgeschwindigkeit, die Art und Menge der mitgeführten Stoffe und die Dauer bis zum Eintreffen der Überflutung (Vorwarnung) sein.

Intensitätskarten zeigen die Intensität des Gefahrenprozesses bezogen auf eine betrachtete Eintrittswahrscheinlichkeit.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird in der Regel in Wiederkehrzeiten angegeben. Dabei wird die Spanne von Eintrittswahrscheinlichkeiten bei Schadensbeginn bis hin zu Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremereignissen betrachtet.

Die Vulnerabilität (Verletzlichkeit) bestimmt, wie groß ein Schaden aufgrund eines bestimmten Ereignisses (Naturereignis, andere Schadensereignisse) sein kann (vgl. auch Merz, 2006, S. 11, zu den verschiedenen Definitionen der Vulnerabilität). Die Vulnerabilität setzt sich aus den Komponenten Exposition und Anfälligkeit zusammen. Die Exposition kann durch die physikalischen Größen des Gefahrprozesses beschrieben werden, die am Ort des betrachteten Objekts wirken (beispielsweise Wassertiefe, Dauer der Überflutung). Sinnvollerweise werden die Kriterien zur Beschreibung der Gefahr und der Exposition übereinstimmend gewählt. Mit Anfälligkeit werden die Auswirkungen des Gefahrprozesses auf das betrachtete Objekt beschrieben. Die Anfälligkeit wird maßgeblich von den Objekteigenschaften bestimmt, beispielsweise von der Bauweise bei Bauwerken, den verwendeten Materialien, der Einrichtung etc.

Der Begriff des Risikos betrachtet die beiden Aspekte Größe des Schadens und die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens. Da das Risiko aus den Komponenten Gefährdung und Vulnerabilität besteht, müssen bei der Betrachtung der Möglichkeiten der Risikominderung beide Komponenten untersucht und bewertet werden. Im Bereich des Hochwasserrisikos handelt es sich i. Allg. um diskrete Schadensereignisse mit einem bestimmten Schadensumfang, sodass das Risiko als Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadensereignisses je Zeiteinheit betrachtet werden kann (vgl. auch Merz, 2006, S. 13, DVWK, 1995).

Den Zusammenhang zwischen Gefährdung, Vulnerabilität und Risiko zeigt die folgende Abbildung.

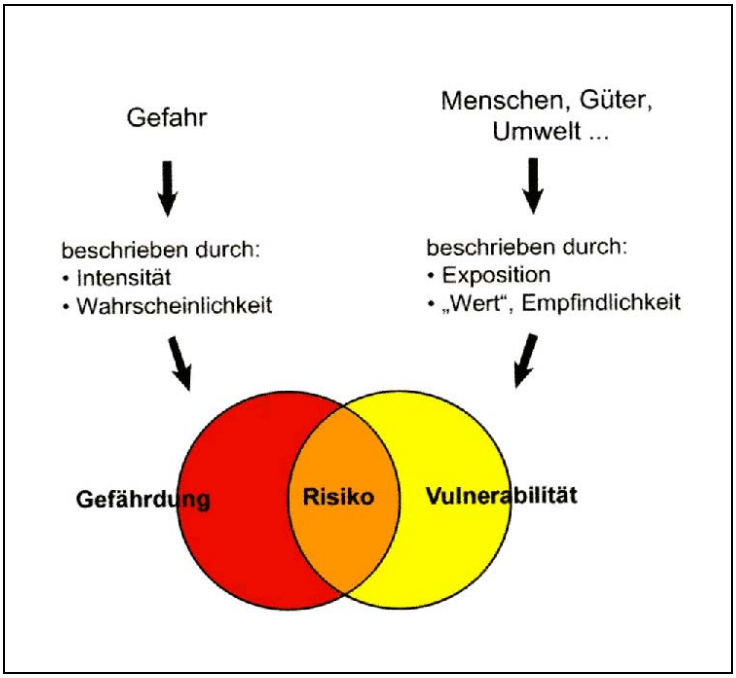


Abbildung 1-1: Gefährdung, Vulnerabilität und Risiko

Quelle: DKKV, 2004

1.3 Hochwasserrisikomanagement

Ziel des Risikomanagements ist die Beherrschung oder Verminderung vorhandener Risiken, insbesondere Begrenzung von Personen- und Sachschäden. Nach Merz muss das Hochwasserrisikomanagement als Prozess gesehen werden, der aus den Elementen

- Risiken und Schutzmaßnahmen analysieren (Risikoermittlung),
- Risiken und Schutzmaßnahmen bewerten (Risikobewertung),
- Risiken reduzieren durch Vorbeugung und Bereitschaftserhöhung (Risikohandhabung),
- Risikoniveau beobachten

besteht, wobei es notwendig ist, dass ein Kontext zwischen den Beteiligten des Risikomanagements (Betroffene, handelnde Akteure, gesellschaftliches Umfeld) hergestellt wird (Merz, 2006, S. 81 ff).

Nach anderen Autoren umfasst die Definition des Hochwasserrisikomanagements die Elemente Hochwasservorsorge und Hochwasserbewältigung (DKKV, 2004, S. 10).

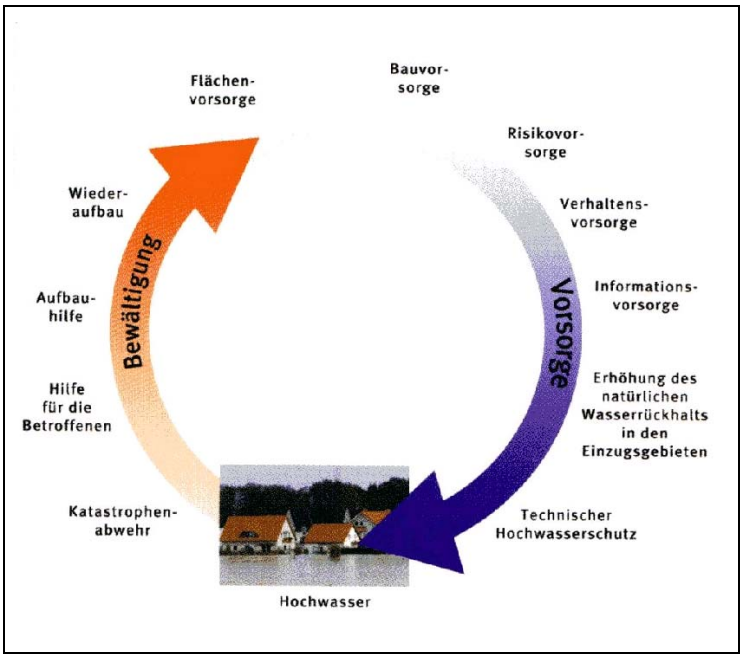


Abbildung 1-2: Kreislauf des Hochwasserrisikomanagements

Quelle: DKKV, 2004, S. 10

Diese im Kreislauf des Hochwasserrisikomanagements aufgezeigten Handlungsfelder der Hochwasservorsorge gehen auf die Veröffentlichungen der LAWA zurück (nach LAWA, 1995). Sie umfassen:

- Flächenvorsorge,
- Maßnahmen zur Abflussminderung (Versickerung, Rückhalt),
- Bauvorsorge,
- Risikovorsorge,
- Verhaltensvorsorge,
- Informationsvorsorge,
- Technischer Hochwasserschutz.

Für den Bereich der Hochwasserbewältigung wurden von der LAWA folgende Handlungsfelder definiert:

- Katastrophenabwehr,
- Hilfe für die Betroffenen,
- Aufbauhilfe und Wiederaufbau.

Die diesen Handlungsfeldern zugeordneten Maßnahmen unterscheiden sich beim Hochwasserrisikomanagement in Bezug auf Starkregen signifikant von denen bei Flusshochwasser, wie im Folgenden aufgezeigt wird.

Voraussetzung eines sinnvollen Hochwasserrisikomanagements ist die Kenntnis der potenziellen Gefahren und Risiken, die infolge dieser Ereignisse bestehen (Gefahren- und Risikoanalyse).

2 Gefahren- und Risikoanalyse als Grundlage der Maßnahmenkonzeption

2.1 Methodenentwicklung der Gefahren- und Risikoanalyse im kommunalen Raum

Bezüglich der Methoden und Darstellungen von Gefahren- und Risikoanalysen für Gewässerüberflutungen liegen bundesweite Erfahrungen vor. Verfahrensbeschreibungen und Beispiele für Gefahren- und Risikokarten sind aus fast allen Bundesländern bekannt (LAWA, 2006).

Weil hierbei aber hauptsächlich die Überflutungsgefährdung an mittleren und größeren Gewässern betrachtet wird, sind die Vorgänge, die bei Hangabfluss, der Ausuferung von kleineren städtischen Gewässern und der Überlastung der Kanalisation sowie der Interaktion dieser Prozesse auftreten, dort noch nicht ausreichend berücksichtigt (beispielsweise Interaktion der Prozesse, die Verlegungsgefährdung von Bauwerken und Brücken, Gewässerumlagerung in bebauten Gebieten). In der Regel liegen für die kleinen Gewässer weder Abflussinformationen, Profil- und sonstige Gewässerdaten sowie beispielsweise Bauwerksinformationen vor.

Eine Gefahren- und Risikoanalyse besteht aus den Komponenten:

- Gefahren- oder Gefährdungsanalyse,
- Verletzlichkeitsanalyse (potenzielle Schäden),
- Risikoermittlung und Risikodarstellung.

Die Gefahren- und Risikoermittlung für Überflutungen infolge von Hangabfluss, Ausuferung von (städtischen) Gewässern und Überlastung der städtischen Entwässerungssysteme unterscheidet sich voneinander und muss jeweils differenziert betrachtet werden.

2.2 Gefährdungsarten und Prozesse

2.2.1 Gefährdung durch Starkniederschlag

Starkniederschläge können einerseits zu Oberflächenabfluss und daraus resultierender Überflutung führen, andererseits aber auch selbst Schäden auslösen.

Bei Starkregen wird die Intensität des Gefahrenprozesses beschrieben, beispielsweise durch die Niederschlagsmenge pro Zeiteinheit (Intensität), die gesamte Niederschlagsmenge eines Ereignisses und die Aufprallenergie der Niederschlagstropfen. Bei Starkniederschlägen sind meistens darüber hinaus die begleitenden Wetterumstände (Hagel, Sturm, Gewitter) bei der Gefährdungsbetrachtung einzube-

ziehen. Niederschlag in Form von Hagel kann beispielsweise zu einer Verstopfung der Straßeneinläufe führen, sodass es trotz nicht ausgelasteter Kanalisation zu Überflutungen kommen kann.

Eine Gefährdung durch den Niederschlag selbst kann durch die Aufprallenergie der Niederschlagstropfen (Beispiel Ernteschäden), durch Benetzung von Flächen, die nicht vor Niederschlagsvernässung geschützt sind (z. B. infolge von Wind), oder bei Schäden an den Ableitungsflächen und -systemen (z. B. Dachschäden eines Sturms) erfolgen.

Im städtischen Raum treten Gefährdungen aber seltener durch den Niederschlag selbst auf, sondern entstehen durch den durch den Niederschlag erzeugten Abfluss.

2.2.2 Gefährdung durch Hangabfluss, Abfluss und Ausuferung der Gewässer

Durch Starkregen können Abflüsse auf der Bodenoberfläche entstehen, die sich in Hangabflüsse und Abflüsse im Gewässer unterscheiden lassen. Eine Gefährdung durch diese Abflussarten kann auftreten durch:

- Hangabfluss (wild abfließendes Wasser), der außerhalb, am Rand oder innerhalb von Siedlungsgebieten entstehen kann und sich in die Siedlungsflächen hinein bewegt. Hangabfluss kann über bebaute Grundstücke abfließen und dort zu Schäden führen. Er kann auch kanalisierten Gebieten zufließen und dort zu einer Überlastung der Kanalisation führen. Eine besondere Gefährdung geht von geneigten Ackerflächen aus, wenn sie frisch bearbeitet, d. h. unbewachsen sind. Hangabfluss kann bei sehr hohen Niederschlagsintensitäten aber auch auf Wiesen und bewaldeten Grundstücken entstehen. Talwärts führende Wege oder Geländesenken sind häufig die bevorzugten Abflussbahnen. Hangabfluss kann begünstigt werden, wenn ehemalige natürliche Entwässerungssysteme verschüttet oder beseitigt worden sind, was im Siedlungsbereich häufiger der Fall ist.

- Hochwasserabflüsse im Gewässer können zur Überlastung der betroffenen Gewässer einschließlich der Bauwerke und Anlagen an den Gewässern führen. Die ausufernden Wassermengen können ebenfalls kanalisierten Gebieten zufließen und zu einer Überlastung der Kanalisation führen. Besondere Gefahrenpunkte sind zu gering bemessene Brücken und Durchlässe, verrohrte Abschnitte mitsamt den häufig vorhandenen Zulaufrechen, stark verkrautete, mit Abfällen verschüttete (Grasschnitt) oder gehölzbestandene Gewässerabschnitte. Häufig wurde der Gewässerverlauf in Siedlungen geändert und folgt nicht mehr dem Taltiefsten.

Maßgebliche Kriterien zu Abschätzung der Gefährdung sind die Dauer bis zum Eintreffen der Überflutung (Vorwarnung), die Ausdehnung der Überflutung, die Fließgeschwindigkeit sowie die Art und Menge der mitgeführten Stoffe.

2.2.3 Gefährdung durch Überlastung der Grundstücksentwässerungsanlagen und der Kanalisation

Weiterhin kann infolge von Starkniederschlägen oder Zufluss von außerhalb eine Überlastung der Grundstücksentwässerungsanlagen und der Kanalisation erfolgen.

Die Überlastung der Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke kann die Dachentwässerungssysteme, Fallrohre und Grundleitungen, Grundstücksentwässerungsleitungen, die Hofentwässerung und Regenwasserspeicher- als auch Versickerungsanlagen betreffen. Häufiger ist jedoch der Fall, dass durch Rückstau aus der Kanalisation eine Überflutung oder ein Teileinstau der unter der Rückstauebene liegenden Kellerräume erfolgt. Die folgende Abbildung vermittelt einen Eindruck über die potenziellen Schwachstellen des Entwässerungssystems „Grundstück“.

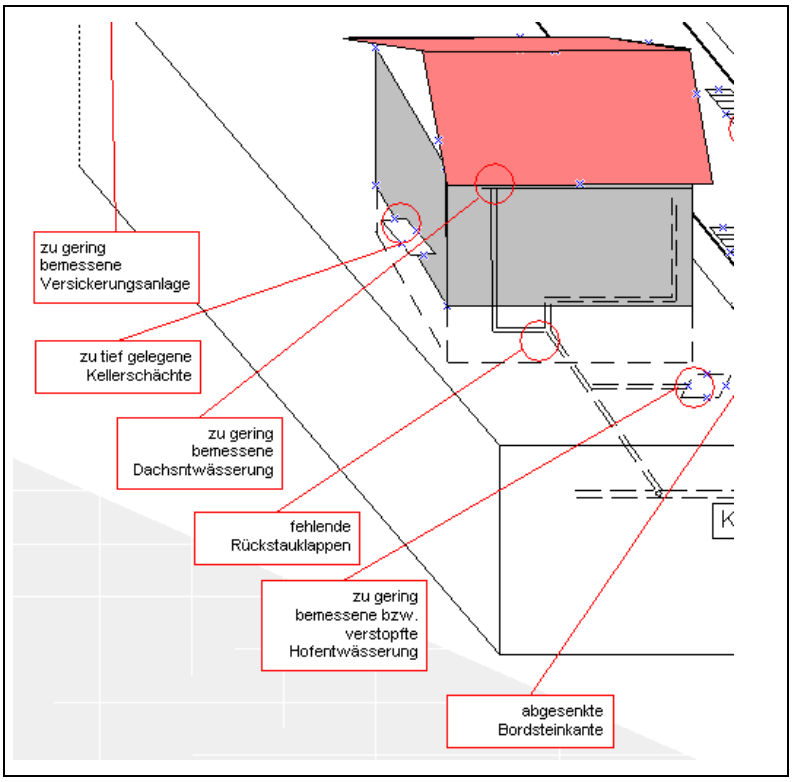


Abbildung 2-1: Versagensmöglichkeiten in den Systemen der Grundstücksentwässerung

Die Überschreitung der Kapazität der Kanäle und Anlagen der öffentlichen Kanalisation bei Starkniederschlägen kann sowohl bei Misch- wie Trennsystemen vorkommen. Wenn verrohrte Bäche und Drainagen an die Kanalisation angeschlossen sind, kann sich die Abflusserhöhung noch verstärken. Durch den Druckabfluss (oder auch durch den steigenden Luftdruck) können die Schachtdeckel angehoben werden, Schächte werden häufig dabei auch baulich in Mitleidenschaft gezogen. Der austretende Abfluss kann entlang des Straßenverlaufs in Gefällerichtung abfließen, falls Bordsteine in ausreichender Höhe vorhanden sind. Fehlen die Bordsteine oder sind sie beispielsweise bei Grundstückszufahrten abgesenkt, kann der Straßenabfluss über die Grundstückszufahrten den Gebäuden zufließen. Das auf den Straßen abfließende Wasser sammelt sich dann in den vorhandenen Geländesenken und kann ggf. durch die vorhandenen Straßeneinläufe wieder abgeleitet werden. Bei den kanalisierten Flächen von außen zulaufendem Wasser kann die Kapazität der Straßeneinläufe überschritten werden, Schlamm, Laub und Äste können diese verstopfen.

2.2.4 Zusammenwirken der Prozesse

Bei vielen Starkregenereignissen treten die beschriebenen Prozesse gleichzeitig auf und können sich gegenseitig verstärken. Hochwasser in den Bächen kann beispielsweise Rückstau in die Regenwassereinläufe der Kanalisation bewirken oder durch Überflutung die Kläranlage schädigen. Der Stofftransport bei Hang- und Gewässerabfluss kann ebenfalls die Funktionsfähigkeit der Kanalnetze beinträchtigen.

Die verschiedenen Prozesse und das Zusammenwirken sind vereinfacht in der Abbildung 2-2 dargestellt.

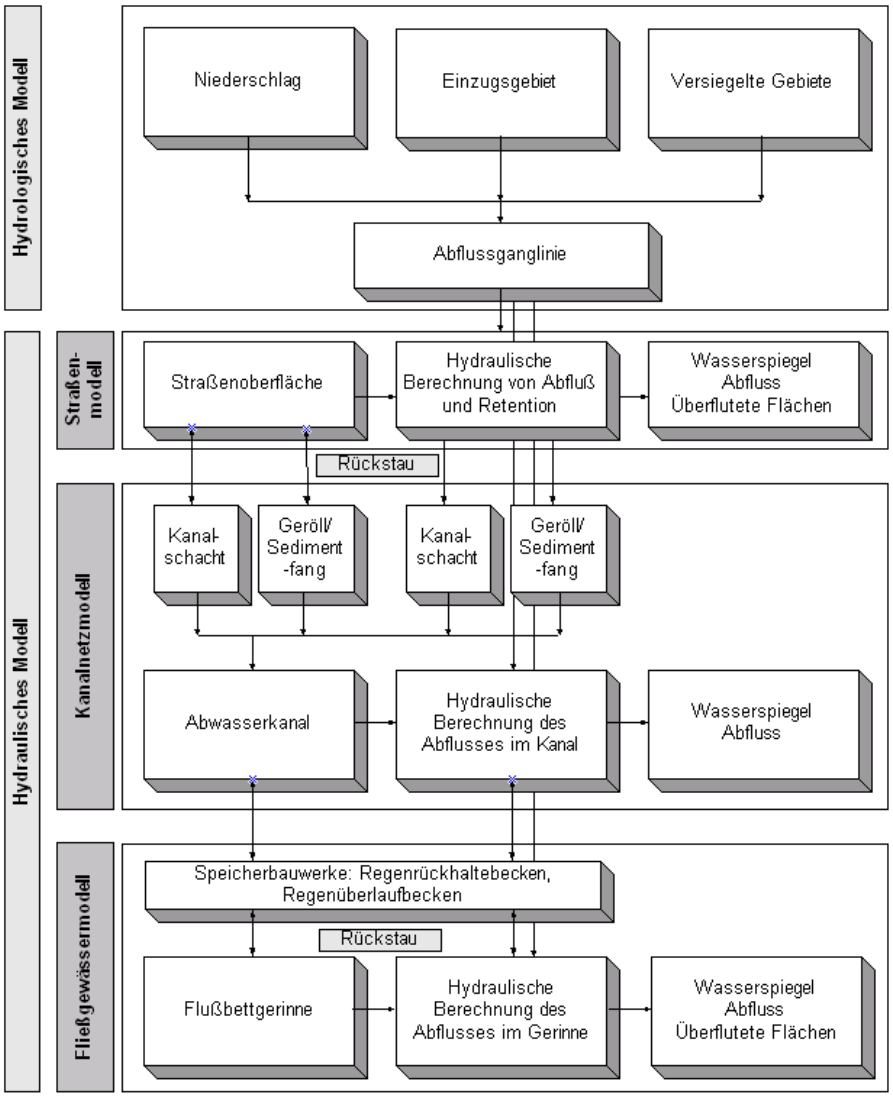


Abbildung 2-2: Zusammenwirken der verschiedenen Abflussprozesse im kommunalen Raum

Quelle: Mark et al., 2004, S. 287

2.3 Rechtlicher Rahmen

Starkregen und Sturzfluten im besiedelten Raum lassen sich aus verschiedenen rechtlichen Blickwinkeln als kommunales bzw. staatliches Handlungsfeld betrachten.

2.3.1 Starkregen und Sturzfluten im Wasserrecht

Dem Wesen nach gehören Starkregen und Sturzfluten dem Regelungsbereich des Wasserrechts an. Die Niederschlagswasserbeseitigung ist Gegenstand des Abwasserrechts, das durch zahlreiche rechtliche, normative und technische Normen und Bestimmungen geregelt ist. Für den "Normalfall" der Ableitung eines Niederschlagsereignisses im Siedlungsraum sind heutzutage kaum noch Probleme wahrzunehmen. Bemessung und Betrieb von Abwasseranlagen auf Privatgrundstücken und im öffentlichen Raum gewährleisten die geordnete und schadlose Ableitung des Niederschlagswassers. Systembedingt sind die Ableitungskapazitäten jedoch begrenzt und die Anlagen werden beim Überschreiten der Bemessungsgrenzen überlastet. Das DWA-Merkblatt 103 definiert hierfür drei unterschiedliche Systemzustände, für die Schutzziele und Vorsorgeempfehlungen formuliert werden (DWA, 2006).

Bei Starkregen- und Hochwasserereignissen unterliegt die Kanalisation teilweise einer hydraulischen Überlastung, Teilfunktionen der Abwasserableitung und -behandlung sind beeinträchtigt oder außer Betrieb. Bei ansteigender Ereignisintensität kann Niederschlagswasser in begrenztem Maße als Überstau aus der Kanalisation austreten, i. d. R. über die Straßenoberfläche zwischen den Bordsteinen, oder es sucht sich Abflusswege außerhalb der Kanalisation. Im Regelfall führen derartige begrenzte Überlastungssituationen zu keinen größeren Schäden, sofern die privaten Zuleitungen in die öffentlichen Kanalsysteme gegen Rückstau gesichert sind (dies ist allerdings häufig nicht der Fall). Im Fall des sog. Katastrophenregens versagen die Anlagen und Ableitungssysteme schließlich ganz und das abfließende Niederschlagswasser kann zu mehr oder weniger starken Überflutungen von tief liegenden Geländebereichen, Kellern, Tiefgaragen, Unterführungen etc. führen.

Desweiten können Starkregen zur Entstehung von Hochwasserwellen in kleinen Gewässersystemen wie (Trocken-)Gräben, Bächen, kleinen Flüssen führen. Diese reagieren im Gegensatz zu den großräumigen Flusssystemen empfindlich auf kleinräumige, kurze und starke Niederschlagsereignisse. Der Zufluss in die Gewässer kann dabei über das Gelände im Freiraum oberhalb der Siedlungsbereiche oder aus den unbebauten Flächen im Siedlungsraum erfolgen; zusätzlich kann die Hochwasserwelle durch Regenüberläufe bzw. Notabschläge aus der Kanalisation gespeist werden. Ufern die Gewässer aus, können sie wie das wild abfließende Niederschlagswasser zu mehr oder weniger starken Überflutungen von tief liegenden Geländebereichen, Kellern, Tiefgaragen, Unterführungen etc. führen.

2.3.2 Starkregen und Sturzfluten im Planungsrecht

Neben Ort, Stärke und Intensität des Niederschlagsereignisses und der Topografie beeinflussen Bodennutzung und Bebauungsstrukturen sowohl den Niederschlagsabfluss im Siedlungsbereich als auch die Schadenspotenziale. Hiermit ist das Planungsrecht gemäß BauGB berührt, das der Steuerung der baulichen und sonstigen Nutzung der Gemeindeflächen dient.

2.3.3 Starkregen und Sturzfluten im Baurecht

Je nach örtlichen Verhältnissen sowie Stärke und Intensität der Niederschlagsereignisse treten Schäden durch Starkregen und Sturzfluten vorrangig durch die Überflutung tief liegender Gebäudeteile (Keller, Tiefgaragen etc.), Abschwemmungen und Erosion von Bodenmaterial auf landwirtschaftlichen Flächen, Gärten etc. sowie strömungs- und nässebedingt an Fahrzeugen, Maschinen, Infrastrukturen auf. Schäden durch Starkregen und Sturzfluten an Immobilien berühren den Bereich des Baurechts, in dem Zulässigkeit und Ausführung der baulichen Anlagen geregelt werden.

2.3.4 Starkregen und Sturzfluten als Gegenstand des Katastrophenrechts

Am stärksten im öffentlichen Bewusstsein stehen Starkregenereignisse und Sturzfluten mit ihren unmittelbaren Folgen selbst, von den Betroffenen werden sie häufig als katastrophales Ereignis in ihrem Leben erlebt. Diese Ereignisse sind Anlass und Gegenstand von Hilfs- und Rettungseinsätzen von Feuerwehren, Polizei, Rettungsdiensten und anderen Hilfskräften. Planung und Steuerung dieser Einsätze obliegen den Katastrophenschutzbehörden und den ihnen zugeordneten Kräften. Wenngleich sich der Natur der Sache folgend die konkreten Einsätze kaum im Einzelnen vorhersehen und damit planen lassen, haben die Einsatzkräfte im Lauf der Jahre vielfältige Erfahrungen mit dem Ereignistypus gesammelt und die hieraus gewonnenen Erkenntnisse in Einsatzregeln, technischen Ausrüstungsgegenständen und Übungen umgesetzt. Nach Abwehr der unmittelbaren Gefahrensituationen steht die Bewältigung der Folgen im Vordergrund privater und kommunaler Aktivitäten (Aufräumarbeiten, Schadensbeseitigung, Schadensbegleichung etc.). Dies ist häufig mit einigem Konfliktpotenzial verbunden, wenn Betroffene feststellen müssen, dass sie über keinen Versicherungsschutz für das Schadensereignis verfügen und Dritte, wie bspw. die Gemeinde oder der Abwasserbeseitigungspflichtige, nicht herangezogen werden können.

In Deutschland regeln somit im Wesentlichen vier Rechtssysteme die kommunalen Handlungserfordernisse und Handlungsmöglichkeiten für den Umgang mit Starkregen und Sturzfluten im urbanen

Raum. Sie lassen sich – mit einzelnen Ausnahmen – einerseits dem Polizei- und Ordnungsrecht und andererseits dem Planungsrecht zuordnen (siehe Abbildung 2-3).

Abbildung 2-3: Starkregen und Sturzfluten – Rahmenbedingungen kommunaler Handlungsoptionen

2.4 Vorhandene Regelungen zur Funktionssicherheit und zum planmäßigen Versagen der hydraulischen Systeme

2.4.1 Wasserrecht

Das im Wasserhaushaltsgesetz und den Landeswassergesetzen verankerte Wasserrecht gibt den Gemeinden eine Reihe von Aufgaben und Instrumenten in die Hand, die im Zusammenhang mit der Bewältigung von und der Vorsorge vor Starkregen und Sturzfluten bedeutsam sind.

Grundlage für eine wasserrechtliche Behandlung von Starkregen und Sturzfluten im kommunalen Rahmen stellen das Wasserhaushaltsgesetz und die Landeswassergesetze dar, sowie in einigen Fällen das Nachbarrecht. Gemäß § 1, Abs.1, Nr.1, WHG erstreckt sich der Geltungsbereich des Wasserrechts auf "das ständig oder zeitweilig in Betten fließende oder stehende oder aus Quellen wild abfließende Wasser (oberirdische Gewässer)". Innerhalb der Siedlungsbereiche gelten zur Ableitung des Niederschlagswassers die Regelungen der Landeswassergesetze zur Abwasserbeseitigung. Daneben finden sich im Wasserrecht sowie teilweise auch im Nachbarschaftsrecht Regelungen, die das wild abfließende Wasser außerhalb der Gewässerbetten und der besiedelten Räume betreffen.

Im Gegensatz zu den Hochwasserereignissen in größeren Einzugsgebieten weisen Sturzfluten, die auf extreme Niederschlagsereignisse zurückzuführen sind, die Besonderheit auf, dass vorrangig kleine und Kleinstgewässer bis hin zu nur zeitweise Wasser führenden Grabensystemen oder das offene Gelände berührt sind. Die Verantwortung für derartige Gewässer liegt auf kommunaler oder Kreisebene.

Bau und Betrieb inkl. Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen von öffentlichen Abwasserbeseitigungsanlagen durch die Gemeinden bzw. die von ihnen beauftragten Institutionen und Verbände sind durch Gesetze, Richtlinien und Verordnungen sowie technische Bau- und Betriebsbestimmungen organisatorisch und technisch genau geregelt.

Für den Bau und Betrieb privater Abwasseranlagen (auf privaten Grundstücken) gelten zwar die gleichen rechtlichen Regelungen und vergleichbare technische Bau- und Betriebsbestimmungen, doch wird deren Einhaltung zumeist lediglich bei der Ersterstellung der Anlage geprüft. Erst seit Kurzem unterliegen private Abwasseranlagen (ebenso wie die öffentlichen Anlagenteile) der Pflicht zur regelmäßigen Dichtheitsprüfung; hiermit wird allerdings das Ziel verfolgt, Schaden von der Umwelt, insbe-

sondere von Boden und Grundwasser abzuwenden, nicht jedoch, Schaden vom Eigentum des Anlagenbetreibers zu vermeiden.

Die Prüfung, ob eine private Abwasseranlage ordnungsgemäß funktioniert und im Fall der Überlastung der öffentlichen Anlage durch Starkregen und Sturzfluten dicht ist, ist dem Anlagenbetreiber selbst überlassen. Er wird im Regelfall ein Fachunternehmen mit der Prüfung und Instandhaltung beauftragen.

Erfahrungsgemäß werden die Anlagen jedoch aus Kostengründen oder aufgrund fehlenden Problembewusstseins häufig nicht ausreichend gewartet. Fehlende oder funktionsuntüchtige Rückstausicherungen, unsachgemäße Anlagenerweiterungen oder andere Veränderungen führen bei extremen Niederschlagsereignissen immer wieder zu Gebäudeüberflutungen durch Rückstau und Schäden am Inventar in den Kellerräumen.

2.4.2 Wild abfließendes Wasser

Wild abfließendes Wasser fällt nicht unter den Regelungsbereich des Wasserhaushaltsgesetzes. Gleichwohl sind in einigen Landeswassergesetzen Regelungen zum wild abfließenden Wasser enthalten (beispielsweise NRW, LWG § 115). Andere Bundesländer verzichten auf diese Regelungen über das Wasserrecht, weil das Nachbarschaftsrecht nach § 903 BGB den Umgang mit möglichen Einwirkungen auf ein Grundstück, die von einem Nachbargrundstück ausgehen, grundsätzlich regelt. Generell besteht ein Anspruch auf Beseitigung und Unterlassung der Beeinträchtigung gemäß § 1004 BGB. Damit kann zunächst ein Unterlieger einen unbegrenzten Schutz gegen Einwirkungen vom Grundstück des Oberliegers verlangen. Dieses gilt allerdings nicht für den durch die natürlichen Geländeverhältnisse bedingten Wasserzufluss, der nach verschiedenen Rechtsvorschriften hinzunehmen ist. Der Unterlieger kann somit vereinfacht nur verlangen, dass durch Veränderungen auf dem Grundstück des Oberliegers keine Verschlechterung der Abflusssituation auftritt.

2.4.3 Rechtliche Regelungen und Festlegungen zu Schutzgraden an kleinen Fließgewässern

Die in URBAS betrachteten Gewässer sind überwiegend Gewässer III. Ordnung, bei denen i. Allg. die Eigentümer der angrenzenden Grundstücke für die Unterhaltung zuständig sind. Häufig wird diese Aufgabe an Wasser- und Bodenverbände oder die Kommunen übertragen bzw. die Kommunen selbst sind Grundstückseigentümer. Für die Bauwerke an den Gewässern sind i. Allg. die Eigentümer dieser Bauwerke, beispielsweise die Straßenbauverwaltung und die Bundesbahn, zuständig. Häufig lassen sich die Rechtsverhältnisse im besiedelten Raum nur mit hohem Aufwand klären.

Ein Problem ist die große Zahl ungenehmigter, teilweise illegaler Einbauten und Verrohrungen in und entlang von Gewässern. Sie sind oft unterdimensioniert und bewirken, dass Hochwasser nicht abgeführt werden können. Die Um- und Einbauten stammen überwiegend aus Zeiten, in denen Erlaubnisse oder wasserrechtliche Genehmigungen im Gegensatz zu heute noch nicht erforderlich waren.

Der Umfang der Unterhaltungspflicht ist i. Allg. in den Landeswassergesetzen geregelt, ist aber ein rechtlich komplexes Thema, weil für die Beurteilung der Verantwortlichkeiten zu klären ist, ob der Gewässerabfluss weitgehend anthropogen unbeeinflusst ist oder durch Einleitungen signifikant verändert wurde.

Bei Bauwerken in und an Gewässern ist zu unterscheiden zwischen der vorfluttechnischen Unterhaltungspflicht (i. S. turnusmäßiger Kontrollen und der Freihaltung vorhandener Abflussquerschnitte von Abflusshindernissen), welche dem Gewässerunterhaltungspflichtigen obliegt, und der baulichen Unterhaltungspflicht (i. S. der Einhaltung baurechtlicher Vorschriften und der Gewährleistung eines einwandfreien Betriebszustandes), die dem Anlageneigentümer der Anlagen am Gewässer obliegt.

Bei der Überprüfung der Bemessung von Verrohrungen ist zudem die historische Entwicklung zu beachten. Je nach Zeitpunkt galten für den Bau einer Verrohrung verschiedene Rechtsnormen. Daher gibt es vielfach für vorhandene Verrohrungen keine Genehmigungen bzw. Unterlagen zur Bemessung.

Weiterhin zu beachten ist, dass für kleine städtische Gewässer häufig nicht einmal hydrologische und hydraulische Basisdaten vorliegen.

Ein Grund für die stark unterschiedlichen Entwässerungsverhältnisse und Schutzgrade in den Kommunen ist, dass verbindliche Festlegungen hierzu fehlen.

Die Hochwasservorsorge ist weder im Planungsrecht, Baurecht, Naturschutzrecht noch im Wasserrecht als definierte kommunale Aufgabe mit ausgewiesenen Planungsinstrumenten formuliert, wie dies beispielsweise bei den Aufgaben der Bauleitplanung oder der Abwasserbeseitigung der Fall ist. Vielmehr leitet sich die Zuständigkeit der Kommunen und Kreise aus planungs- und wasserrechtlichen Regelungen ab, die implizit oder explizit die Berücksichtigung des vorbeugenden Hochwasserschutzes bei kommunalen Planungen und Maßnahmen erfordern. Es sind folgende Regelungsbereiche zu unterscheiden (UBA, 2002):

- Anpassungspflicht der Bauleitplanung an überregionale Gesamt- und Fachplanungen,
- Berücksichtigung des Hochwasserschutzes als abwägungsrelevanter Belang in der Bauleitplanung,
- Wahrnehmung wasserwirtschaftlicher Aufgaben auf der kommunalen Ebene.

Tabelle 2-1: Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes zum vorbeugenden Hochwasserschutz, die auch kommunale Aufgaben betreffen

Quelle: UBA, 2002, aus Patt, 2001, S. 519 (Auszug, verändert)

Bereich	**Erläuterung**	**Rechtsgrundlage**
Allgemeine Sorgfaltspflicht; Pflicht zum Ausgleich der Wasserführung	Jedermann ist verpflichtet, bei gewässerbezogenen Maßnahmen die erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine Vergrößerung und Beschleunigung des Wasserabflusses zu vermeiden.	§ 1a, Abs. 2 WHG; § 24 WHG; Näheres ist im Landesrecht geregelt
Gewässerunterhaltung	Pflege und Entwicklung eines Gewässers Ausrichtung an den Bewirtschaftungszielen	§§ 28 bis 30 WHG
Gewässerausbau; Deich- und Dammbauten	Natürliche Rückhalteflächen sind zu erhalten. Das natürliche Abflussverhalten darf nicht wesentlich verändert werden. Ausrichtung der Maßnahmen an den Bewirtschaftungszielen	§ 31 WHG
Abwasser- und Regenwasserbeseitigung	Pflicht zur ortsnahen Regenwasserbeseitigung	§ 18a bis c WHG, Näheres ist im Landesrecht geregelt

Diese Regelungen (mit Ausnahmen der Abwasser- und Regenwasserbeseitigung) enthalten generell keine Vorgaben zu einzuhaltenden Schutzgraden. Es wird i. Allg. lediglich vorgegeben, dass ein bestehender Schutzgrad (bzw. die bestehenden Abflussverhältnisse) nicht verschlechtert werden dürfen.

Bis 2004 gab die DIN 19700, Teil 99 vom Dezember 1965, eine Orientierungshilfe für Schutzgrade, die in Siedlungen und für andere Nutzungen vorgeschlagen wurden, wenn technische Hochwasserschutzanlagen zu bemessen waren. Diese Schutzgrade waren jedoch nicht verbindlich, sondern im Einzelfall zu überprüfen.

Tabelle 2-2: Wiederholungszeitspanne T_n für die Bemessung des Rückhalteraums
Quelle: DIN 19700, Teil 99, 1965

Klasse	**Unterlieger**	**T_n in Jahren**
I	Bebaute Gebiete, wichtige Verkehrsanlagen	50 bis 100
II	Einzelbauten, nicht dauernd bewohnte Siedlungen	25 bis 50
III	Landwirtschaftliche Intensivkulturen	10 bis 25
IV	Ackerflächen	5 bis 10

Die neue DIN 19700, Teil 10, verzichtet auf vergleichbare Vorschläge zu Schutzgraden, die folglich im Einzelfall zu bestimmen sind.

Bezüglich der Infrastrukturanlagen an Gewässern gibt es jedoch in den letzten Jahren zunehmend Arbeitshilfen und Vorschläge, wie die Hochwassersicherheit verbessert werden kann.

Für Wassergewinnungsanlagen haben Wricke u. a. (Wricke et al., 2003) Handlungsempfehlungen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes von Wasserversorgungsanlagen im Auftrag des DVGW entwickelt.

Für Abwasseranlagen ist das DWA-Merkblatt 103 „Hochwasservorsorge für Abwasseranlagen“ (DWA, 2006) veröffentlicht worden, in denen ein Ablaufschema zur Hochwasservorsorge von Abwasseranlagen einschließlich eines Verfahrens zur Risikoanalyse und Risikobewertung vorgeschlagen wird.

Für Einleitungen aus der Kanalisation legt das Arbeitsblatt ATV-A 128 fest, dass eine Hochwassersicherheit von T_n = 10 Jahre anzustreben ist. Vorschläge zur Vorgehensweise bei der Überprüfung und Bemessung finden sich beispielsweise bei Sartor (Sartor, 2008).

2.4.4 Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke

Für jedes dieser Ableitungssysteme gibt es eigene Regelwerke zur Bemessung und für den Betrieb, denen jeweils eigene Bemessungsziele und Schutzgrade zugrunde liegen.

2.4.4.1 Geltende Normen

Die bis 2001 geltende Normenreihe DIN 1986 für die Bemessung und den Betrieb der Gebäude- und Grundstücksentwässerungsanlagen behandelte den Bereich der Abwasserbeseitigung von der Sammlung des anfallenden Abwassers auf dem Dach und dem Grundstück bis zur Weiterleitung des Abwassers in die öffentliche Kanalisation. Grenze des Anwendungsbereichs der alten Norm war die Grundstücksgrenze.

Die ab 2001 gültige DIN EN 12056 begrenzt den Anwendungsbereich auf die Anlagenteile im und am Gebäude.

Die DIN EN 12056 behandelt die Planung und Bemessung von Entwässerungsanlagen innerhalb der Gebäude (Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Teil 2: Schmutzwasseranlagen, Teil 3: Dachentwässerung, Teil 4: Abwasserhebeanlagen) einschließlich der Anlagenteile am Gebäude, sofern diese der Entwässerung des Gebäudes dienen. Ergänzend zur DIN EN 12056 geben die DIN 1986-3 Regeln für Betrieb und Wartung der Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke sowie die DIN 1986-100 zusätzliche Bestimmungen für Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke vor. Weitere,

insbesondere technische Hinweise befinden sich in DIN 1986-4 (Werkstoffe) und DIN 1986-30 (Instandhaltung).

Die DIN EN 752 regelt die Anforderungen an Entwässerungsanlagen und die Bemessung, den Betrieb und den Unterhalt von Entwässerungsanlagen außerhalb von Gebäuden (z. B. Hof- und Verkehrsflächen auf dem Grundstück, Ortsentwässerung). Die folgende Tabelle 2-3 und Abbildung 2-4 liefern eine Übersicht über die neuen Regelungen in der Gebäude- und Grundstücksentwässerung. Entwässerungsleitungen, die unter einem Gebäude liegen, aber zur Entwässerungsanlage eines anderen, daneben liegenden Gebäudes gehören, fallen unter den Anwendungsbereich der DIN EN 752.

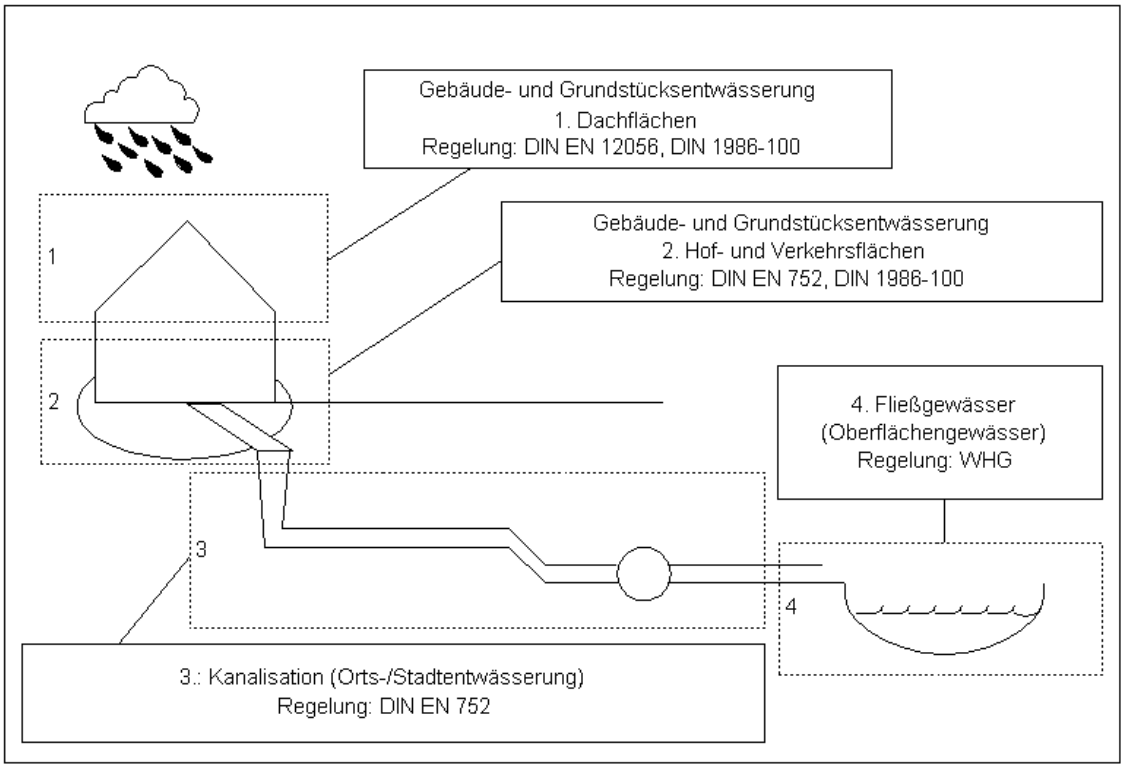


Abbildung 2-4: Regelungen in der Gebäude- und Grundstücksentwässerung (eigene Darstellung)

Tabelle 2-3: Gegenüberstellung der alten und neuen bzw. noch geltenden Normen bei der Gebäude- und Grundstücksentwässerung in Deutschland

Quelle: Heinrichs et al., 2005

Art der Entwässerung	**Alte Regelung**	**Neue Regelung**
Gebäudeentwässerung	DIN 1986-1, -2 und -31, DIN 18460	DIN EN 12056-1 bis -5, DIN 1986-100, DIN 1986-3, -4, -30, -32 und -33
Grundstückentwässerung		DIN EN 752-1 bis -7, DIN 1986-100, DIN 1986-3, -4 und -30, DIN EN 1610

2.4.4.2 Dachentwässerung und Fallleitungen

Dachentwässerung

Bemessungsgrundsatz der DIN 12056 ist, dass Leitungsanlagen und Bauteile der Regenentwässerungsanlage aus wirtschaftlichen Gründen für ein mittleres Regenereignis bemessen werden (Kommentar DIN EN 12056-3, Kap. 4).

Die Bemessung der Entwässerungsanlagen erfolgt über den Berechnungs- bzw. Bemessungsregen. Ein Berechnungsregen mit der Regenspende r(D,T) ist ein über die Dauer (D) gemitteltes Regenereignis (Blockregen), das mit einer statistisch zu erwartenden Häufigkeit (T) auftritt, z. B. ist r(5,100) ein Berechnungsregen mit einer 5-minütigen Regenspende, die im statistischen Mittel alle 100 Jahre auftritt.

Die Dachentwässerungsanlagen werden nach DIN 1986-100 mit einem Bemessungsniederschlag (Berechnungsregen) r(5,2) bemessen, d. h. der für eine Region zutreffenden 5-Minuten-Regenspende, die einmal in zwei Jahren überschritten wird.

Die in der DIN aufgeführten Werte wurden auf der Grundlage des KOSTRA-Atlasses (DWD, 1997) für etwa 90 Orte in Deutschland ermittelt. Die aufgeführten Spenden bewegen sich in der Spanne von 230 l/s/ha und 416 l/s/ha. (Dieses würde bei Hochrechnung auf eine Stunde theoretischen Werten von 82 mm/h bis 150 mm/h entsprechen).

Nach der DIN muss der Berechnungsregen r(5,2) zu jedem Zeitpunkt von einem Dach abgeführt werden können.

Nach DIN 1986-100 darf kein Regenereignis bis zum Jahrhundertregen r(5,100) die statische Sicherheitsreserve der Tragwerkskonstruktion des Daches beanspruchen.

Weiterhin gilt, dass jede Dachfläche mit einer in das Gebäude abgeführten oder am Gebäude verlaufenden Entwässerung mindestens einen Ablauf und einen Notüberlauf erhalten muss. Beim Versagen der Dachentwässerung muss die Differenz zwischen Jahrhundertregen und Berechnungsregen über Notüberläufe frei über die Fassade abgeführt werden können. Beim Überschreiten der Berechnungsregenspende kann es zu einer Überflutung der Dachfläche kommen. Damit diese Anforderung in jedem Fall sichergestellt ist, bedarf es bei größeren Grundstücken in der Regel Entspannungspunkten im Grundleitungssystem der Grundstücksentwässerung (vgl. Punkt 1.3). An diesen Punkten muss der Wasseraustritt auf schadlos überflutbaren Flächen ermöglicht werden. Auf Notüberläufe kann dann verzichtet werden, wenn dies planerisch und statisch berücksichtigt ist.

Fallleitungen, Sammel- und Grundleitungen

Vorgehängte Dachrinnen werden mit einer Regenspende r(5,2) bemessen. Bei Niederschlagsereignissen, die diese Bemessungswerte überschreiten, können die Rinnen überlaufen. Bei Starkregenereignissen oberhalb der Berechnungsregenspende erfolgt der Notüberlauf über die Rinnenlängsseite. Dabei darf das überlaufende Rinnenregenwasser keine Schäden an oder in Gebäuden anrichten.

Die Innendurchmesser der Fallleitungen können künftig kleiner bemessen werden als bisher. Mit der DIN EN 12056-3 wurde eine höhere Belastung der Leitungen zugelassen. Einzelheiten zum Bemessungsverfahren sind DIN EN 12056-3 zu entnehmen.

Tabelle 2-4: Bemessungsgrundlagen der Dachentwässerung

Quelle: Heinrichs et al., 2005

Art	**Bemessung alte Regelung**	**Bemessung neue Regelung**	**Statistische Bemessung**	**Quelle**
Dachentwässerung allgemein	Mindestregen-spende [1] 300 l/(s*ha) (nach DIN 1986-2 und DIN 18460)	Berechnungsregen $r_{(5,2)}$ (nach DIN EN 1986-100, DIN EN 12056-3)	Regen-spende $r_{(5,100)}$	Kommentar DIN EN 12056-3, S. 4-3, [1] DIN (1981), Rick-mann (1999)
Vorgehängte Dachrinnen	Mindestregen-spende[1] 300l/s/ha (nach DIN 1986-2 und DIN 18460)	Berechnungsregen $r_{(5,2)}$		Kommentar DIN EN 12056-3, S. 5-6, [1]DIN (1981), Rick-mann (1999)
Notüberlauf (-einrichtung)	Regenspende [2] aus einem Jahrhun-dert-regenereignis 600l/(s*ha)	Abfluss $Q_{not}>=r_{(5,100)}-r_{(5,2)}$		Kommentar DIN EN 12056-3, S. 5-35, Kommentar DIN 1986-100:2002-03, S. 44; [2]VDI 3806, S. 35
Überflutungs- und Überlastungs-nachweise		Berechnungsregen $r_{(5,100)}$		Kommentar DIN 1986-100:2002-03, S. 45

Starkregenereignisse oberhalb des Berechnungsregens sind allerdings planmäßig zu erwarten (planmäßiges Versagen bei Berechnungsregen). Folgen können Überlastungen der Leitungen bzw. Überflutungserscheinungen auf Niederschlagsflächen sein.

Eine Formel zur Berechnung des Regenwasserabflusses, bei dem eine Überflutung stattfindet, ist auf Seite 39 der DIN 1986-100:2002-03 zu finden. Die Jährlichkeit des Berechnungsregens muss für Niederschlagsflächen ohne Regenrückhaltung mindestens einmal in 2 Jahren betragen. Bei größeren Grundstücken können die Anlagen zur Regenwasserableitung nach DIN EN 752-4 und ATV-A 118 bemessen werden (DIN 1986-100:2002-03, Seite 41).

Tabelle 2-5: Übersicht der Entwässerungsobjekte und ihrer Bemessungsgrundlagen, Anwendungsbereiche der jeweiligen Regelwerke (vgl. auch DIN 1986-10:2002-03, Seite 5)

Nr.	Objekt	DIN	Quelle	Bemessungs-grundlage	Planmäßiges Versagen bei	Außerplanmäßiges Versagen bei
1	Dachflächen	DIN 1986-100, DIN EN 12056-3	Kommentar DIN EN 12056-3 Seite 4-3, DIN 1986-100 S. 5	Berechnungsregen $r_{(5,2)}$	Regenspende $r>r_{(5,2)}$	Katastrophenfall: Berechnungsregen $> r_{(5,100)}$
2	Grundstück (Hof- und Verkehrsflächen auf dem Grundstück)	DIN 1986-100, DIN EN 752	Kommentar DIN EN 12056-3 Seite 4-3/4, DIN 1986-100 S. 5	Kleine Grundstücke Berechnungsregen $r_{(5,2)}$; Große Grundstücke: Berechnungsregen $r_{(15,2)}$; Flächen unterhalb der Rückstauebene: Berechnungsregen $r_{(5,100)}$;	Oberhalb der Bemessungswerte	Hof- und Verkehrsflächen: Katastrophenfall bei $r>r_{(15,30)}$ Flächen unterhalb der Rückstauebene: $r>r_{(5,100)}$
3	Kanalisation (Ortsentwässerung)	DIN EN 752-2:1996	DIN EN 752-2: 1996 S. 3; Kommentar DIN EN 12056-3 S. 4-2	Entsprechend der Nutzung und der Größe des Entwässerungssystems vgl. Punkt 1.4 Kanalisation. Einteilung der Nutzflächen in ländliche Gebiete, Wohngebiete, Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete, unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen		

2.4.4.3 Grundstückentwässerung

Für die Grundstücksentwässerung gelten die DIN EN 752, die darüber hinaus auch die Ortsentwässerung behandelt und ergänzend die DIN 1986-100, deren Zuständigkeitsbereich an der Grundstücksgrenze aufhört. Bei kleineren Grundstücken mit einer abflusswirksamen Fläche < 800 m² geht die DIN 1986-100 davon aus, dass die Ortsentwässerung im Normalfall Regenspenden bis zum Berechnungsregen r(5,2) aufnehmen kann. In solchen Fällen sind die Grundleitungen mit r(5,2) zu bemessen. Weitere Nachweise für die Regenrückhaltung auf dem Grundstück sind nicht erforderlich, da die Spende r(5,2) größer als die bei r(15,30) ist (Heinrichs et al., 2005, Kommentar DIN EN 12056-3, Seite 4-3, 4-4, 4-5).

Bei größeren Grundstücken kann bei der Bemessung der Grundstücksentwässerung (Grundleitungen) davon ausgegangen werden, dass die Ortsentwässerung bei einem Regenereignis r <= r(15,30) noch in der Lage ist, einen Abfluss aufzunehmen, der sich rechnerisch aus der Regenspende r(15,2) ergibt. Wenn die Aufnahme eines solchen Abflusses in die Ortsentwässerung nicht gewährleistet werden kann, wird für das angeschlossene Grundstück mit „QDrossel“ eine Einleitungsbeschränkung festgelegt. Grundsätzlich gilt, dass auf dem Grundstück ein Regenwasservolumen zurückgehalten werden muss, das sich über 15 Minuten aus der Regenspendendifferenz zwischen r(15,30) und dem möglichen Abfluss bei r(15,2) ergibt. Eine Formel zur Berechnung des Regenrückhaltvolumens ist im Kommentar zu DIN EN 12056-3 enthalten (Heinrichs et al., 2005, Seite 4-5).

Ziel dieser dezentralen Rückhaltung auf den Grundstücken ist eine Entlastung der öffentlichen Kanalisation bis zum Bemessungsregen r(15,30). Die Sicherheit gegen Überflutung bzw. eine kontrollierte schadlose Überflutung des Grundstücks muss rechnerisch nachgewiesen werden. Die geforderte Rückhaltung kann durch kurzzeitiges Einstauen von Hof- und Verkehrsflächen auf dem Grundstück realisiert werden. Bei Grundstücken mit stärkerem Gefälle müssen bauliche Maßnahmen wie Rohrspeicher, Gräben, Becken und Mulden die Funktion der Rückhaltung übernehmen (Heinrichs et al., 2005: Kommentar DIN EN 12056-3, Seite 4-4). Oberhalb einer Regenspende r(15,30) reicht das Rückhaltevermögen der Grundstücke nicht aus, der „Katastrophenfall“ tritt ein. In solchen Fällen muss sichergestellt werden, dass das Wasser nicht in Gebäude eintreten kann. Innerhalb des Gebäudes liegende Flächen auf dem Grundstück, die unterhalb der Rückstauebene liegen, müssen auf einen 5-minütigen Jahrhundertregen r(5,100) bemessen werden (Heinrichs et al. 2005, Kommentar DIN EN 12056-4, Seite 5-18). Nach DIN EN 12056-4 ist für Flächen außerhalb des Gebäudes und unterhalb der Rückstauebene der öffentlichen Abwasseranlage oder eines anderen Vorfluters der Nachweis gegen Überflutung mit der örtlichen 15-Minuten-Regenspende zu führen, die einmal in 30 Jahren auftritt. Bei einer Gefährdung von Gebäuden oder Sachwerten sind Abwasseranlagen für das Jahrhundertereignis (r(5,100)) zu bemessen (Heinrichs et al.; 2005; Kommentar DIN EN 12056-4, Seite 4-1).

2.4.5 Kanalisation / Stadtentwässerung

2.4.5.1 Bemessungsgrundlagen und zulässige Überflutungshäufigkeiten

Der Geltungsbereich der DIN EN 752 reicht von der Dach- bzw. Gebäudeentwässerung bis zu dem Punkt, an welchem das Abwasser bzw. das Regenwasser in eine Kläranlage bzw. einen Vorfluter eingeleitet wird. Abwasserleitungen unter dem Gebäude fallen ebenfalls unter den Anwendungsbereich der DIN, solange sie nicht Bestandteil der Gebäudeentwässerung sind. Die DIN umfasst für die Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden Teil 1 „Allgemeines und Definitionen“, Teil 2 „Anforderungen“, Teil 3 „Planung“, Teil 4 „Hydraulische Berechnung und Umweltschutzaspekte“, Teil 5 „Sanierung“, Teil 6 „Pumpanlagen“, Teil 7 „Betrieb und Unterhalt“.

Die Anforderungen an den Überflutungsschutz in der öffentlichen Kanalisation werden in der DIN EN 752 Teil 2 unter Berücksichtigung der Art der baulichen Nutzung und der besonderen zu entwässernden Einrichtungen festgelegt. Neben grundsätzlichen Anforderungen an den Betrieb und die örtlichen Bedingungen sind weitere Faktoren bei der Bemessung der Anlagen zu berücksichtigen. Dazu zählen das Niederschlagsgeschehen, das Gefährdungspotenzial des Entwässerungssystems, die Topografie, die Vorflutsituation, die Hochwassergefährdung des Gewässers, Ableitungsmöglichkeiten im Straßenraum sowie das jeweilige Schadenspotenzial. Die folgende Tabelle 2-6 stellt die empfohlenen Anforderungen an den Überflutungsschutz in Abhängigkeit von der Nutzung zusammen. Diese Tabelle ist auch im ATV-Arbeitsblatt A 118 enthalten.

Tabelle 2-6: Empfohlene Häufigkeiten für den Überflutungsschutz bei Entwurf von Neuanlagen und bei Verbesserung bestehender Systeme gem. DIN EN 752-4:1997, Abs. 6.

Häufigkeit der Bemessungsregen (1-mal in „n-Jahren“)	**Ort**	**Überflutungshäufigkeit (1-mal in „n-Jahren“)**
1 in 1	Ländliche Gebiete	1 in 10
1 in 2	Wohngebiete	1 in 20
	Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	
1 in 2	- mit Überflutungsprüfung	1 in 30
1 in 5	- ohne Überflutungsprüfung	-
1 in 10	Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 50

Bei kleineren Entwässerungssystemen können, wenn einfache Bemessungsverfahren angewendet werden, die Werte nach der obigen Tabelle angewendet werden, solange aus der Planung keine anderen Werte hervorgehen. Ein hydraulischer Nachweis mittels Simulationsmodell (s.u.) kann ebenfalls verwendet werden.

Bei größeren Entwässerungssystemen, die mittels „Abflusssimulationsmodell entworfen werden“, wird empfohlen, das Maß des Überflutungsschutzes direkt festzulegen. Die Kanalisation sollte so ausgelegt werden, dass bei einem „angemessenen Bemessungsregen“ keine Überlastung auftritt. Nach einer Abflussberechnung mit dem Simulationsmodell sollten die Ergebnisse dann mit dem festgelegten Maß des Überflutungsschutzes oder mit der Überflutungshäufigkeit aus der Tabelle 2-7 verglichen und ggf. angepasst werden.

Für Niederschlagsflächen ohne geplante Regenrückhaltung muss die Jährlichkeit des Berechnungsregens mindestens einmal in 2 Jahren betragen. Dies gilt ergänzend zu den Regelungen der DIN EN 752-2 (Kanalisation) und DIN EN 12056-3 (Dachentwässerung) (DIN 1986-100:2002-03, S. 40).

Die folgende Tabelle zeigt die empfohlenen Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung nach DWA-A 118.

Tabelle 2-7: Empfohlene Überstauhäufigkeiten für den rechnerischen Nachweis bei Neuplanungen bzw. nach Sanierung (hier: Bezugsniveau Geländeoberkante) nach DWA-A 118

Ort	**Überstauhäufigkeiten bei Neuplanung bzw. nach Sanierung (1-mal in „n” Jahren)**
ländliche Gebiete	1 in 2
Wohngebiete	1 in 3
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	seltener als 1 in 5
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	seltener als 1 in 10 [1)]
[1)] Bei Unterführungen ist zu beachten, dass bei Überstau über Gelände i. d. R. unmittelbar eine Überflutung einhergeht, sofern nicht besondere örtliche Sicherungsmaßnahmen bestehen. Hier entsprechen sich Überstau- und Überflutungshäufigkeit mit dem in Tabelle 2-6 genannten Wert „1 in 50“!	

Für die Bemessung eines Kanalnetzes ist es nach der DIN nicht ausreichend, nur eine Regenspende mit einer Dauer von 15 Minuten zu verwenden, sondern es sind je nach örtlichen Bedingungen auch kürzere oder längere Regendauern anzusetzen. Die kürzeste Regendauer sollte in Abhängigkeit von der Geländeneigung und dem Befestigungsgrad gewählt werden. Eine Tabelle mit Vorgaben für die kürzeste Regendauer in Abhängigkeit von der mittleren Geländeneigung und der kürzesten Regendauer ist im Kommentar der DIN EN 12056-3, auf Seite 4-2 zu finden (Heinrichs et al., 2005).

2.4.6 Planungsrecht

Starkregen und Sturzfluten sind kein ausgewiesenes Handlungsfeld der kommunalen (Stadt-) Planung; Handlungserfordernisse und Handlungsmöglichkeiten erschließen sich jedoch mittelbar aus den bestehenden Regelungen. Dabei sind gegenüber dem Handlungsfeld Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge an Gewässern einige systematische Unterschiede zu beachten.

Sturzfluten gehen auf extreme konvektive Niederschlagsereignisse zurück, die sich insbesondere durch eine geringe räumliche Ausdehnung und zumeist kurze Ereignisdauer auszeichnen. Der Abfluss erfolgt über das freie Gelände, Geländerinnen und kleinere Gewässer, wo das fließende Wasser Schä-

den in kleinräumigem Maßstab verursachen kann. Größere Gewässer nehmen die Abflüsse dagegen zumeist problemlos auf. Hier treten Gefährdungen erst bei länger andauernden und großräumig ablaufenden, ergiebigen Niederschlagsereignissen auf.

Schutz- und Vorsorgemaßnahmen für diesen Typus von Hochwasser sind mittlerweile gut entwickelt (vgl. z. B. MKRO, UBA 34/03). Neben den technischen Maßnahmen (Rückhaltebecken, Deiche und Dämme) umfasst dies auf planerischer Ebene die Darstellung und Festsetzung von Flächen für den Hochwasserschutz und die Hochwasservorsorge. Dabei ist planungsrechtlich zwischen zwei Typen zu unterscheiden:

- Einerseits bietet das Raumordnungsrecht die Möglichkeit, Vorranggebiete und Vorbehaltsgebiete für den Hochwasserschutz darzustellen. Gemäß § 1 Abs. 4 BauGB ist die Gemeinde verpflichtet, ihre Bauleitplanung an diese Darstellungen anzupassen. Eine Darstellung oder Festsetzung von Baugebieten in Vorranggebieten für den Hochwasserschutz ist damit nicht möglich.
- Andererseits bietet das Wasserrecht auf der Grundlage von §§ 31b und 31c WHG die Möglichkeit, Überschwemmungsgebiete und überschwemmungsgefährdete Gebiete darzustellen und festzusetzen (vgl. Kapitel 2.4.1). In der Bauleitplanung sind die Gemeinden gem. § 5 Abs. 4a und § 9 Abs. 6a BauGB verpflichtet, festgesetzte Überschwemmungsgebiete in ihre Flächennutzungspläne bzw. Bebauungspläne nachrichtlich zu übernehmen und noch nicht festgesetzte Überschwemmungsgebiete zu vermerken. Dies bedeutet im Gegensatz zur Anpassungspflicht an die Darstellungen der Raumordnung und Regionalplanung jedoch, dass die Darstellung bzw. Festsetzung von Baugebieten nicht grundsätzlich ausgeschlossen ist (Frerichs et.al., 2003, S.16). Ob und unter welchen Voraussetzungen dies möglich ist, ergibt sich aus den spezifischen Regelungen der Landeswassergesetze.

Vorrang- und Vorbehaltgebiete

Vorranggebiete für den Hochwasserschutz der Raumordnung und Regionalplanung sind somit über die Anpassungspflicht der Bauleitplanung bis in den kommunalen Maßstab umzusetzen, Vorbehaltsgebiete der Raumordnung und Regionalplanung sowie wasserrechtliche Überschwemmungsgebiete und überschwemmungsgefährdete Gebiete unterliegen dem Abwägungsvorbehalt und können im Rahmen der Regelungen der Landeswassergesetze durch andere Darstellungen und Festsetzungen überlagert werden.

Starkregenverursachte Sturzfluten bleiben aufgrund ihrer Kleinräumigkeit vom raumplanerischen Instrumentarium zur Sicherung von Vorranggebieten und Vorbehaltsgebieten für den Hochwasserschutz unberücksichtigt und es lassen sich auch – zumindest derzeit – keine Anpassungspflichten der Bauleitplanung an überregionale Gesamt- und Fachplanungen der Raumordnung und Regionalplanung zum Schutz und zur Vorsorge vor Sturzfluten ableiten.

Wasserrechtliche Regelungen zum flächenbezogenen Schutz vor Sturzfluten sind auf der Basis von § 31b Abs. 2 WHG möglich. § 31b Abs. 2 WHG verpflichtet die Länder, Gewässer oder Gewässerabschnitte zu bestimmen, bei denen durch Hochwasser nicht nur geringfügige Schäden entstanden oder zu erwarten sind und die Öffentlichkeit über diese Gewässer zu informieren; außerdem sollen bestehende Überschwemmungsgebiete an neue Erkenntnisse angepasst werden. Für diese Gewässer sollen spätestens bis zum 10. Mai 2012 als Überschwemmungsgebiete mindestens die Gebiete festgesetzt werden, in denen ein Hochwasserereignis statistisch einmal in 100 Jahren zu erwarten ist (Bemessungshochwasser), für die Überschwemmungsgebiete mit einem hohen Schadenspotenzial bei Überschwemmungen, insbesondere Siedlungsgebiete, endet die Festsetzungsfrist am 10. Mai 2010. Ob diese Regelung tatsächlich Wirkung für den Schutz vor Sturzfluten zeigen kann, kann hier an dieser Stelle allerdings nicht abschließend eingeschätzt werden.

Im Hinblick auf Sturzfluten durch Starkregen werden durch diese Regelung lediglich räumliche Teilbereiche erfasst, in denen Schäden auftreten können, nämlich die Gewässer und ihre Randbereiche. Entsprechende Festsetzungen für das freie Gelände sind auf dieser Gesetzesbasis nicht möglich, auch wenn dort Sturzfluten häufiger als alle 100 Jahre auftreten können, wie in einzelnen Fallstudien gese-

hen. Für den Schutz und die Vorsorge vor Sturzfluten sind in besiedelten Bereichen auch insofern andere Regelungen heranzuziehen.

Bauleitplanung

Die Nutzung von Grundstücken im besiedelten Gebiet wird durch Baugesetzbuch und Baunutzungsverordnung geregelt. Aufgabe der Bauleitplanung gemäß Baugesetzbuch ist die Vorbereitung und Leitung der baulichen und sonstigen Nutzung der Grundstücke in der Gemeinde (vorbereitende Bauleitplanung und verbindliche Bauleitplanung). Für die Baugrundstücke setzt die verbindliche Bauleitplanung Art und Maß der baulichen Nutzung sowie die bebaubaren und unbebaubaren Bereiche fest.

Bauleitpläne sind die Flächennutzungspläne, die als vorbereitende Bauleitpläne behördenverbindlich sind, und die Bebauungspläne, die als kommunale Satzung allgemein verbindlich sind (§ 1 Abs. 2 BauGB). Die Verfahrensvorschriften zur Bauleitplanung sehen die Beteiligung der Öffentlichkeit (§ 3 BauGB) und der Behörden (§ 4 BauGB) vor; die Öffentlichkeits- und Behördenbeteiligung dient im Übrigen ausdrücklich der vollständigen Ermittlung und zutreffenden Bewertung der von der Planung berührten Belange (§ 4a Abs. 1 BauGB).

Bauleitpläne sind aufzustellen, sobald und soweit es für die städtebauliche Ordnung erforderlich ist (§ 1 Abs. 3 BauGB). Die Planungserfordernis umfasst zeitliche ("sobald") und inhaltliche ("soweit") Aspekte und ist an städtebauliche Gründe gebunden, d. h. Gründe, die sich aus dem BauGB ergeben und einen bodenordnerischen Bezug haben ("Vorbereitung und Leitung der baulichen und sonstigen Nutzung der Grundstücke in der Gemeinde"). Neben sachlichen Gründen, die sich bspw. aus der Veränderung von Rahmenbedingungen wie bspw. der Demografie oder einem anhaltenden Baulandbedarf ergeben, können sich Erfordernisse auch aus anderen Fachgesetzen, wie dem Wassergesetz ergeben. Denkbar ist bspw. der Fall, dass aufgrund der Festsetzung von Überschwemmungsgebieten an kleineren Gewässern im Bereich besiedelter Gebiete eine Neubewertung der derzeitigen Nutzung erforderlich wird.

Den Anpassungsmöglichkeiten von bestehenden Bebauungsgebieten und gewachsenen Siedlungsbereichen ohne Bauleitplanung im Hinblick auf Sturzfluten durch Starkregen sind jedoch durch den Bestandsschutz (der ein Eigentumsschutz ist) enge Grenzen gesetzt, da Eingriffe in bestehende Nutzungsrechte, insbesondere wenn sie aus welchen Gründen auch immer eingeschränkt oder sogar zurückgenommen werden sollen, i. d. R. entschädigungspflichtig sind.

Abwägung der Belange

Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind die öffentlichen und privaten Belange gegeneinander und untereinander gerecht abzuwägen. Welcher Art die öffentlichen Belange sein können, nennt beispielhaft § 1 Abs.6 BauGB. Für das Handlungsfeld Starkregen und Sturzfluten können als Handlungserfordernis oder Handlungsmöglichkeit insbesondere die folgenden hervorgehoben werden:

- die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse und die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung (§ 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB)
- Erhaltung, Erneuerung, Fortentwicklung, Anpassung und Umbau der vorhandenen Ortsteile (§ 1 Abs. 6 Nr. 4 BauGB)
- die Darstellungen von sonstigen Plänen, insbesondere des Wasser-, Abfall- und Immissionsschutzrechts (§ 1 Abs. 6 Nr. 7g)
- Belange des Hochwasserschutzes (§ 1 Abs. 6 Nr. 12)

Das Abwägungsgebot stellt das zentrale Instrument zur Steuerung der planerischen Freiheit einer Gemeinde dar. Seine Ausgestaltung wurde im Lauf der Zeit durch das Bundesverfassungsgericht entwickelt und konkretisiert (nach Frerichs et al., 2003 S.14). Diesem Planungsprinzip liegt die Erkenntnis zugrunde, dass jede auf Veränderung zielende Planung auf ein Interessengeflecht trifft, in dem vielseitige Belange betroffen sind und einem Belang nicht etwas zugesprochen werden kann, ohne einen

anderen Belang zwangsläufig zurückzustellen. Insofern werden an diesen Prozess höchste Anforderungen gestellt, um eine gerechte Abwägung zu gewährleisten.

Sturzflutereignisse sind im Hinblick auf die o. g. Belange unbestreitbar als zu berücksichtigende Belange in öffentlichen Planungsverfahren zu behandeln. Fachgesetzlich wird diesem Ereignistypus tatsächlich durch die diesbezüglichen Regelungen zum wild abfließenden Wasser, zur Sicherung eines geordneten Hochwasserabflusses in Kleingewässern, zu Gewässerrandstreifen und zur Abwasserbeseitigung Rechnung getragen (vgl. Kapitel 2.4.1).

Im Hinblick auf Schutz und Vorsorge vor Sturzfluten durch Starkregenereignisse spielt auch die Frage der gesicherten Erschließung eines Baugebietes als Voraussetzung für die Zulässigkeit eines Bauvorhabens eine große Rolle. Gemäß §§ 30 ff. BauGB sind Vorhaben u. a. dann zulässig, wenn die Erschließung gesichert ist bzw. "ausreichend gesichert" ist. Erschließung bezieht sich immer auf das Grundstück im Einzelnen, nicht auf ein Baugebiet im Ganzen, wobei allerdings im konkreten Fall auch eine funktionsfähige gebietsbezogene Erschließung bzw. Ver- oder Entsorgung Voraussetzung für Zulässigkeit eines einzelnen Vorhabens sein kann (Ernst, Zinkahn, Bielenberg, 1995).

Der Begriff der gesicherten Erschließung stellt einen eigenständigen Rechtsbegriff dar, der zu den bauplanungsrechtlichen Regelungen (Festsetzungen etc., s. u.) selbstständig hinzutritt (Ernst, Zinkahn, Bielenberg, 1995). Zweck der Regelung ist die Gewährleistung einer geordneten städtebaulichen Entwicklung, der es widerspräche, wenn Grundstücke bebaut werden, die nicht erschlossen sind. Ausnahmen und Befreiungen hiervon sieht das BauGB nicht vor. Träger der Erschließung, soweit sie nicht nach anderen gesetzlichen Vorschriften oder öffentlich-rechtlichen Verpflichtungen einem anderen obliegt, ist die Gemeinde.

Welcher Art die Erschließung zu sein hat, regelt das BauGB nicht, sie ist im Einzelnen aus der geplanten Nutzung und Bebauung der Grundstücke abzuleiten. Nach allgemeiner Auffassung handelt es sich mindestens um die verkehrliche Erschließung der Baugrundstücke inkl. der anbaufreien Sammelstraßen, die Grünflächen inkl. selbstständiger Kinderspielplätze und Immissionsschutzanlagen, die Ver- und Entsorgungsleitungen für Elektrizität, Wasser und Abwasser und Anlagen zur Beseitigung fester Abfallstoffe. Die Herstellung dieser Erschließungsanlagen obliegt der Gemeinde, wobei die Erschließungslast an der Grundstücksgrenze endet (Ernst, Zinkahn, Bielenberg, 1995).

Wie diese Erschließungsanlagen zu gestalten und zu betreiben sind, ist in den jeweils zuständigen Bundes- und Landesgesetzen und nachfolgenden Regelungen festgelegt, im Fall der Niederschlagswasserableitung nach dem Wasserhaushaltsgesetz und den Landeswassergesetzen sowie den sich daran anschließenden Regelungen, wie örtliche Satzungen oder technische Bemessungs- und Baubestimmungen.

In den Landeswassergesetzen erfolgt die Konkretisierung und Umsetzung der Regelungen.

Daneben erfolgt seit Jahrzehnten regelmäßig die Konkretisierung von Rechten und Pflichten der Abwasserentsorgungspflichtigen und der übrigen Beteiligten durch die Obersten Gerichte. Im Hinblick auf die Bauleitplanung stellt dabei das sog. "Weinbergurteil" des BGH (BGH vom 18.02.1999 – III ZR 272/96) eine wichtige Konkretisierung der Bemessungsregeln von Abwasseranlagen als Grundlage einer ordnungsgemäßen Abwägung dar.

Anlass für das Urteil war der Fall, dass es nach starken Regenfällen mit einer 20- bis 50-jährigen Wiederkehrwahrscheinlichkeit zu Schäden am Eigentum eines Grundstückseigentümers in einem Neubaugebiet kam. Das Niederschlagswasser floss von den Weinbergen, die sich oberhalb des Grundstückes befinden den Hang hinunter, sammelte sich in einer Wohnstraße und floss von dort auf das Grundstück des Klägers; die auf einen 1-jährigen Bemessungsregen ausgerichtete Kanalisation hatte das Niederschlagswasser nicht aufnehmen können. Die Wassermassen haben einen so hohen Druck aufgebaut, dass ein Kellerfenster zerbrach und das Wasser in den Keller eindrang. Das Gericht stellte fest, dass die Gemeinde für die Schäden haftet, da sie nach Amtshaftungsgrundsätzen schadenersatzpflichtig ist. Die Amtspflichtverletzung lag darin, dass die Gemeinde ihre Pflicht, das im Baugebiet anfal-

lende Abwasser zu beseitigen, nicht erfüllt hat. Zur Amtspflicht einer Gemeinde gehört nämlich auch, bei der Planung und Erstellung der für ein Baugebiet notwendigen Entwässerungsmaßnahmen die tatsächlichen Verhältnisse zu berücksichtigen, in diesem Fall also die abwasserwirtschaftlichen, abwassertechnischen sowie topografischen Verhältnisse; die Berücksichtigung des Berechnungsregens alleine reicht demnach nicht aus, um die geordnete Abwasserbeseitigung im Gebiet sicherzustellen und damit eine gesicherte Erschließung zu gewährleisten.

2.5 Methoden zur Bestimmung von überflutungsgefährdeten Flächen im städtischen Raum

2.5.1 Vorgehensweise

Während es im Bereich der Flussüberschwemmungen zwischenzeitlich weitgehend abgestimmte Verfahren der Gefahren- und Risikoanalyse und der Darstellung in Gefahren- und Risikokarten gibt (LAWA, 2006) sind entsprechende Untersuchungsmethoden und Darstellungen für den Überschwemmungstyp „Sturzflut“ im kommunalen Raum noch nicht etabliert.

Ziel dieses Arbeitsabschnitts war, einfache, aber ausreichend genaue Methoden zur Nachrechnung von Schadensereignissen und die Entwicklung von Gefahren- und Risikokarten für Sturzflutereignisse zu entwickeln.

In URBAS wurden zum einen bereits angewendete Methoden der Gefahren- und Risikoanalysen einzelner Kommunen gesammelt und dokumentiert, so beispielsweise die Vorgehensweise in Hamburg.

Zum anderen wurde eine Fülle von Ansätzen entwickelt, getestet und auf Anwendbarkeit hin bewertet, die sich durch zunehmenden Datenbedarf und Komplexität unterscheiden. Die Verwendung unterschiedlicher Methoden ist notwendig, weil örtliche Gegebenheiten, finanzielle und personelle Möglichkeiten der Kommunen und die jeweilige Problemlage so unterschiedlich sind, dass eine einzige Herangehensweise diesem nicht gerecht würde.

Die untersuchten und bewerteten Methoden umfassen:

- Nutzung vorhandener Überschwemmungsgebietsbestimmungen
- Verfahren der Schätzung von Überflutungsflächen ohne Abflussberechnung
- Analyse von potenziellen Versagenspunkten der Kanalisation, der kommunalen Gewässer und von wild abfließendem Wasser
- Abfluss- und Überflutungsanalysen mit GIS-gestützten Methoden
- Abfluss- und Überflutungsanalysen mit hydrologisch-hydraulischen Methoden und Modellen

Die parallele Untersuchung von vereinfachten Ansätzen und komplexen Modellen (2-D) ermöglicht eine Qualitätsbeurteilung der Ergebnisse dieser vereinfachten Methoden.

2.5.2 Nutzung vorhandener Überschwemmungsgebietsbestimmungen

In einigen Fällen liegen Überschwemmungsgebietsbestimmungen auch an kleineren Gewässern vor. Als Quellen stehen beispielsweise zur Verfügung:

- Überschwemmungsgebietsbestimmungen der staatlichen Stellen
- Überschwemmungsgebietsbestimmungen der Versicherungen (ZÜRS)
- Sonst. Überschwemmungsgebietsbestimmungen, zum Beispiel aus beobachteten Hochwassern

Die untersuchten Fallstudien zeigen, dass ÜSG-Ermittlungen bzw. Festsetzungen oder Aufzeichnungen zu Hochwasserereignissen an kleinen Gewässern aber die Ausnahme sind.

Eine effektive Verwendung von vorhandenen ÜSG-Bestimmungen ist dann möglich, wenn die Grenzen der ÜSG digital zur Verfügung stehen.

2.5.3 Verfahren zur Bestimmung von Fließwegen und potenziellen Überflutungsgebieten ohne Abflussberechnung

2.5.3.1 Abschätzung der potenziell betroffenen Flächen anhand von Bodeninformationen

Analoge oder digitale Bodenkarten können zur überschläglichen Ermittlung von potenziellen Überschwemmungsgebieten verwendet werden. Bei dieser Methode werden die „wassersensiblen“ Böden (z. B. Auenböden) mit den Nutzungen verschnitten und hieraus potenzielle Gefahrenbereiche ermittelt. Die folgende Abbildung 2-5 zeigt die Auenböden der Agger und der einmündenden Nebenbäche, die sich im Stadtgebiet von Lohmar überlagern.

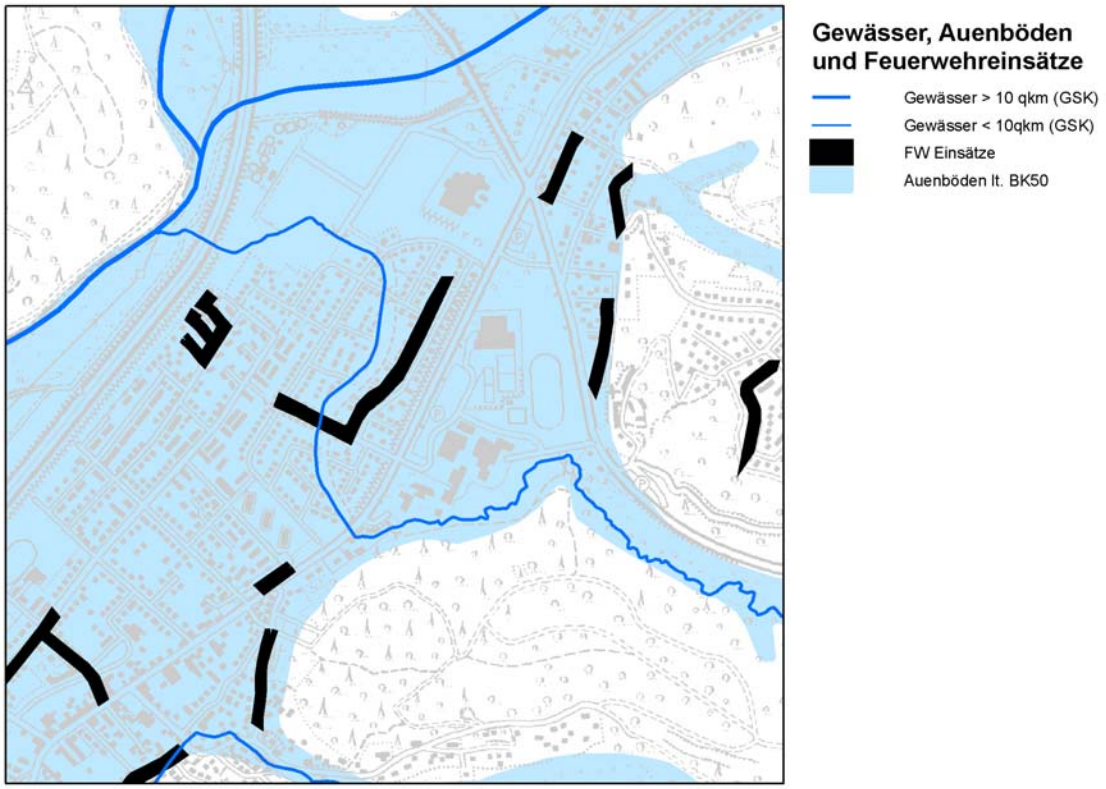


Abbildung 2-5: Vergleich der Orte der Feuerwehreinsätze in Lohmar beim Ereignis 30.06.2006 mit der Verbreitung der auen- und grundwasserbeeinflussten Böden.

Die „wassersensiblen“ Böden liegen in einigen Bundesländern digital in Form von (digitalen) Bodenkarten vor, z. T. auch bereits ausgewertet nach den in Frage kommenden Bodenarten (beispielsweise Bayern, NRW). In Bereichen, in denen Gewässerverlegungen stattgefunden haben, passen ggf. Böden und Gewässerverlauf nicht mehr zusammen. Diese Bereiche können durch den Vergleich des „historischen“ Gewässerverlaufs mit dem aktuellen Gewässerverlauf ermittelt werden. Die über die Auenböden ermittelten Flächen sind i. Allg. größer als die Überschwemmungsgebiete bei einem HQ_{100}.

Je leistungsfähiger die Gewässer ausgebaut sind, desto weniger werden die Überflutungsflächen beansprucht, d.h. die Flächen der Auenböden und die Überflutungsflächen nähern sich erst bei sehr seltenen Überflutungsereignissen an.

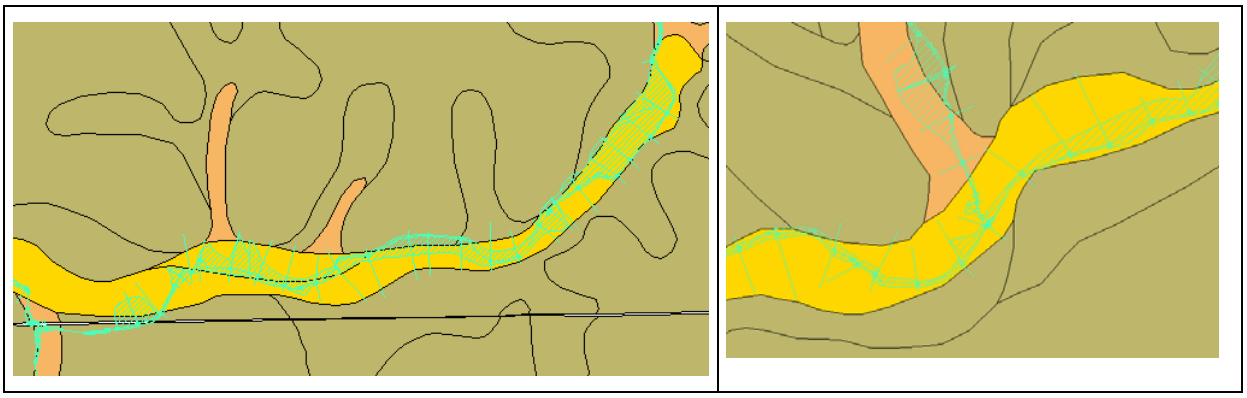


Abbildung 2-6: Beispiele: Berechnetes ÜSG des 100 (blau gestrichelt) am Leyerbach/NRW und Vergleich mit den Bodentypen A3 (gelb) und G3 (pink) der Bodenkarte

Bereiche mit wild abfließendem Wasser werden mit dieser Methode i. Allg. nicht erfasst. In Bayern sind diese Auswertungen der Böden landesweit vorhanden, auch in NRW und RLP gibt es dazu landesweite Auswertungen, die aber nicht wie in Bayern für diesen Zweck aufbereitet sind.

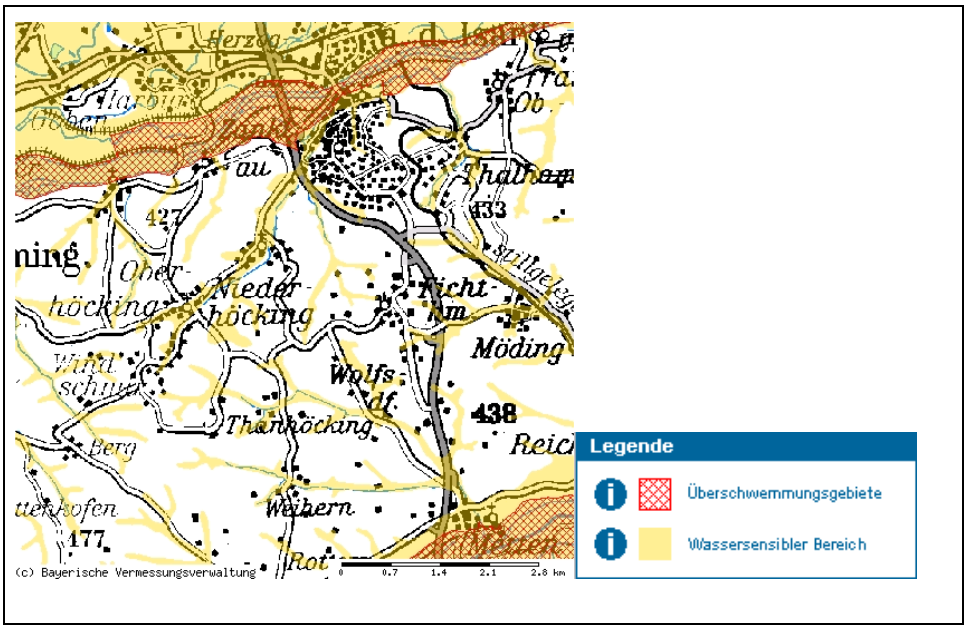


Abbildung 2-7: Überschwemmungsgebiete und wassersensible Bereiche in Landau (Quelle: Informationsdienst Überschwemmungsgefährdete Gebiete in Bayern

Die „wassersensiblen“ Böden passen sehr gut zu den Fließwegen, die sich aus den Analysen von Geländemodellen ergeben.

2.5.3.2 Abschätzung der potenziell betroffenen Flächen anhand der Auswertung von Geländemodellen

Talauen sind morphologisch i. Allg. durch Bruchkanten begrenzt. Die Talböden selbst weisen ein Gefälle in Fließrichtung und zu den Talflanken hin auf. Das Gefälle des Talbodens ist insbesondere im Mittelgebirge deutlich geringer als das der Talflanken. Über GIS-Operationen können entlang des Gewässers die Gefälleverhältnisse bestimmt und daraus relativ einfach die potenziell überfluteten Flächen bei einem extremen Abfluss bestimmt werden. In dem Beispiel Abbildung 2-8 sind die Talböden relativ gut zu erkennen.

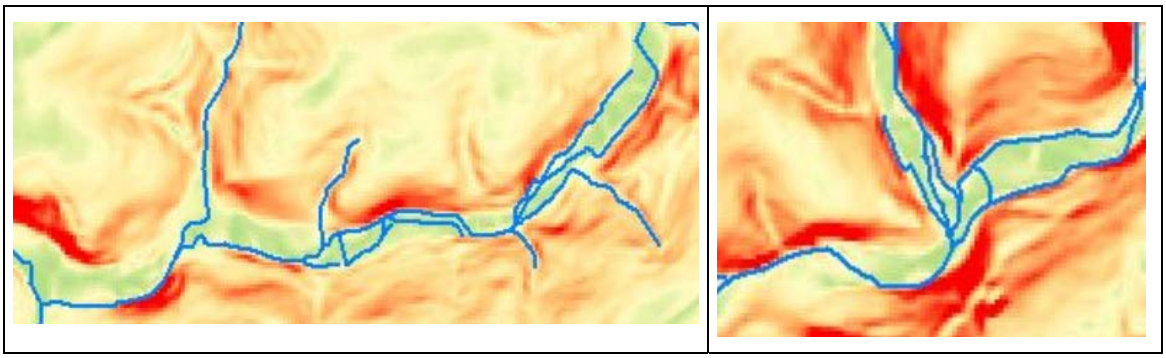


Abbildung 2-8: Analysen von potenziell überfluteten Talauen unter Verwendung von digitalen Oberflächen- oder Geländemodellen

Im Flachland müssen zusätzlich zu dem DGM die im Gelände vorhandenen Bruchkanten aufgenommen und ausgewertet werden, da andernfalls bei diesen Auswertungen zu große Flächen bestimmt werden.

Die Auswertung der Gefälleverhältnisse und der Reliefenergie kann auch für größere Flächen oder die gesamte Kommune effektiv durchgeführt werden. Das Beispiel Hersbruck zeigt anhand der Feuerwehreinsätze, dass die flächenhaften Überflutungen entlang der Talkanten entstanden sind, während die Abflüsse an den Hangbereichen den Gewässern bzw. den Tallinien gefolgt sind.

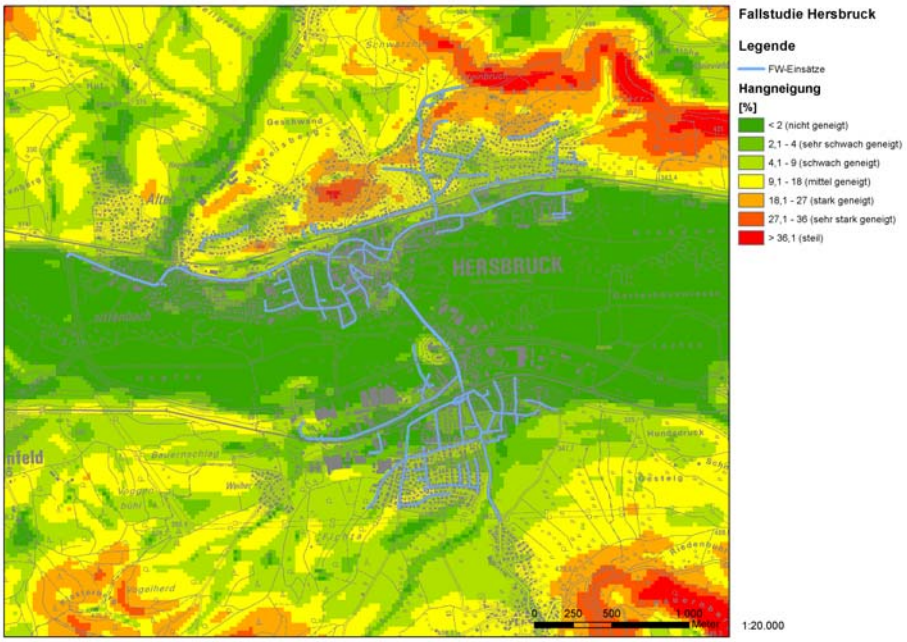


Abbildung 2-9: Analysen von Fließwegen unter Verwendung von digitalen Oberflächen- oder Geländemodellen im Vergleich zu den Orten mit Feuerwehreinsätzen

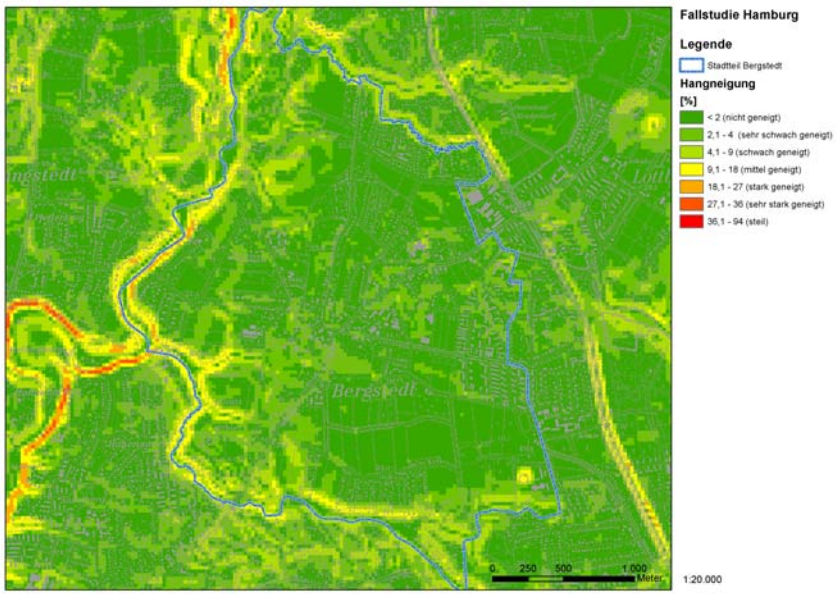


Abbildung 2-10: Analysen von Fließwegen unter Verwendung von digitalen Oberflächen- oder Geländemodellen in Hamburg

Auch in sehr flachem Gelände lassen sich potenzielle Fließwege selbst in dicht bebauten Siedlungsbereichen relativ einfach ermitteln.

2.5.4 Analyse von potenziellen Überflutungsbereichen und Versagenspunkten

Die Beschaffenheit der Erdoberfläche (Topografie, Relief) ist eine maßgebliche Größe bei der Verteilung der niederschlagsbedingten Abflüsse auf der Oberfläche. In Geografischen Informationssystemen (GIS) können Daten über die Beschaffenheit des Reliefs in Form eines Digitalen Geländemodells (DGM) bereitgehalten und weiter verarbeitet werden. Mithilfe von Werkzeugen eines GIS bzw. durch ihre Kombination mit geeigneten Algorithmen können hydrologisch relevante Größen ermittelt und in Form von rasterbasierten Grids dargestellt werden. Diese Grids können als Eingangsdaten für das weitere Processing dienen. Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl von Parametern, die für die Abbildung von hydrologischen Prozessen in einem GIS von Bedeutung sind.

Tabelle 2-8: Hydrologisch relevante Parameter eines DGM (Quelle: Conrad, 1998; ESRI)

Parameter	**Definition**	**Hydrologische Bedeutung**	**Werkzeug in der ArcGIS-Toolbox**
Hangneigung	Winkel des stärksten Gefälles	Abflussrate, Fließgeschwindigkeit	Slope
Exposition	Richtung des stärksten Gefälles	Abflussrichtung	Flow direction
Vertikalwölbung	Wölbung in Richtung des stärksten Gefälles	Abfluss-Beschleunigung, Erosions- bzw. Depositionsrate	Profile curvature
Horizontalwölbung	Wölbung der Isohypsen	Konvergierender, divergierender Abfluss, Bodenfeuchte	Planiform curvature
Abflussakkumulation	Anzahl der Rasterzellen mit akkumulierten Abfluss in jede Zelle	Abflusspfade, Gewässernetz, Einzugsgebietsgröße einer Rasterzelle	Flow accumulation

Parameter	**Definition**	**Hydrologische Bedeutung**	**Werkzeug in der ArcGIS-Toolbox**
Einzugsgebietsgröße	Größe des Gebietes, das durch einen Geländeausschnitt entwässert	Abflussmenge	Catchment, Basin, Watershed
Einzugsgebietsgefälle	Mittlere Hangneigung des aufwärts gelegenen Einzugsgebietes	Potenzielle Energie	-
Fließweg	Maximale Entfernung innerhalb eines Einzugsgebietes	Erosions-/Sedimentationsrate, Konzentrationszeit	Flow length

Das Digitale Geländemodell muss vor diesen Rechenoperationen von fehlerhaften Unebenheiten in der Rasteroberfläche befreit werden. Das Tool **„Flow Direction“** generiert aus dem DGM-Raster ein neues Raster und berechnet die Fließrichtung von einer Zelle in die nächst benachbarte unter Berücksichtigung der größten Gefälleunterschiede der benachbarten Zellen. Das Raster der Fließrichtungen ist die Voraussetzung für die Berechnung der Abflussakkumulation. Das Modul **„Flow Accumulation“** errechnet für jede Rasterzelle die Anzahl der Oberlieger, also die Anzahl der Raster, deren Abfluss sich in der betroffenen Zelle sammelt.

2.5.4.1 Slope (Hangneigung)

Eine weitere Methode der Identifizierung von Gefahrenbereichen infolge Sturzfluten ist die Berechnung der Hangneigung. Mit dem Modul „Slope“ können die größten Unterschiede des Wertes Z der benachbarten Rasterzellen ermittelt werden. Hänge ab 18 % Neigung (10°) gelten als stark geneigt.

Tabelle 2-9: Hangneigungsstufen, Quelle: Schlichting et al., 1995; AG Bodenkunde 1982, FAO 1990

Neigungsstufen		**Bezeichnung**
%	°	
0-2	0-0,5	nicht geneigt
2-4	0,5-2	sehr schwach geneigt
4-9	2-5	schwach geneigt
9-18	5-10	mittel geneigt
18-27	10-15	stark geneigt
27-36	15-20	sehr stark geneigt
>36	>20	steil

2.5.4.2 Flow Direction (Fließrichtung)

Das Raster zeigt für jede Rasterzelle die Hauptfließrichtung zur benachbarten Rasterzelle an. Im Zusammenhang mit dem Raster „Hangneigung“ (Slope) kann so eine Abschätzung über die potenzielle Fließgeschwindigkeit gewonnen werden.

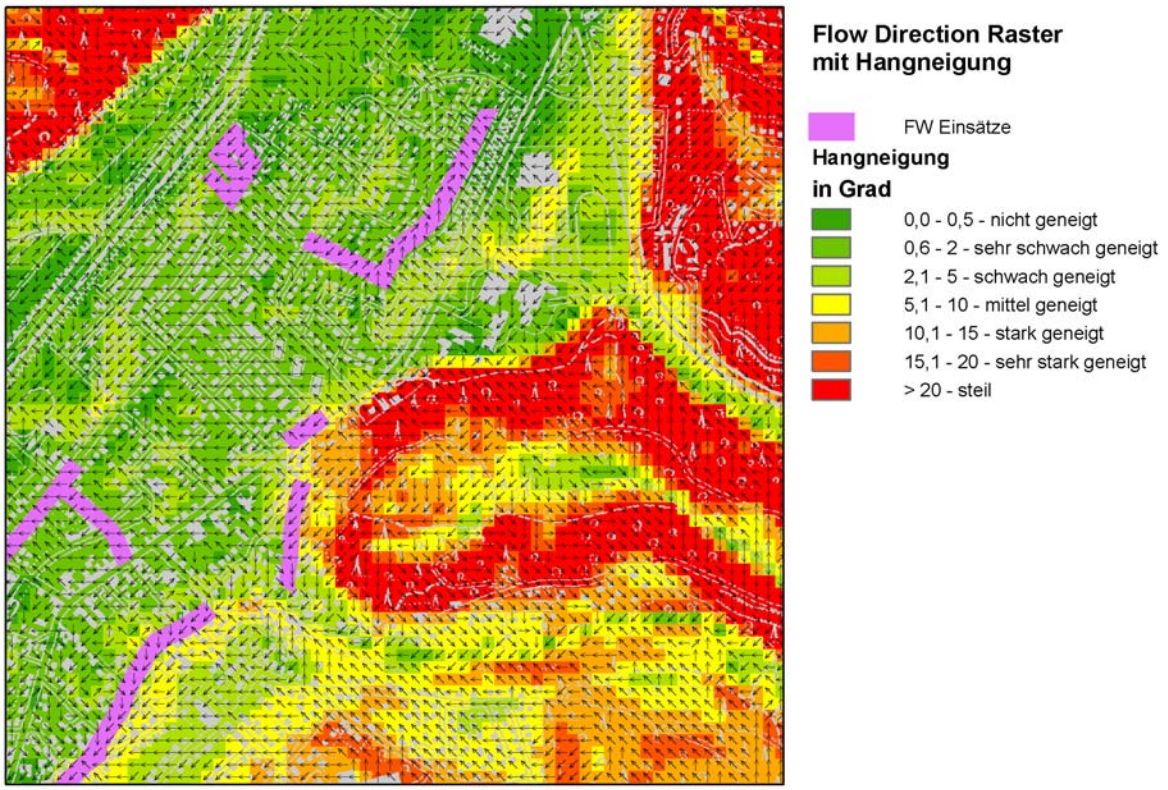


Abbildung 2-11: Auswertung und Darstellung der Hauptfließrichtungen und Geländeneigungen

2.5.4.3 Flow Accumulation (Abflussakkumulation)

Aus dem Vergleich eines mit „Flow Accumulation“ berechneten Rasters mit dem Gewässernetz kann der Schwellenwert erkannt werden, ab dem sich der Oberflächenabfluss sammelt und ein natürliches Fließgewässer bildet.

Weiterhin können hieraus Hinweise gewonnen werden, ob die Gewässer noch ihren natürlichen Verlauf folgen oder ob sie verlegt worden sind. Von Gewässern, deren Verlauf sich nicht mehr im Taltiefsten befindet, kann eine erhöhte Gefährdung ausgehen, da der Abfluss bei Überschreitung der Leistungsfähigkeit dem Gefälle folgt und tiefer liegende Bereiche überfluten kann.

2.5.4.4 Kombination von DGM-Informationen mit ATKIS-Infrastruktur

Eine Verschneidung des Rasters Flow Accumulation mit Verkehrsflächen liefern Rasterzellen, die den potenziellen Abfluss auf versiegelten Straßenflächen wiedergeben.

Hierzu wurden die Verkehrslinien aus dem Basis-DLM zu einem Raster von 10 m Breite umgewandelt, was etwa der normalen Straßenbreite entspricht. Das Ergebnis sind die durch die Straßenbefestigung versiegelten Rasterflächen, auf denen sich aufgrund der topografischen Lage der Abfluss von höher liegenden Gebieten sammeln kann. Diese Gebiete wurden zu Clustern zusammengefasst, wenn zwei Rasterflächen seitlich oder diagonal aneinandergrenzten. Sie sind in der folgenden Abbildung 2-12 mit einem doppelten Kreis gekennzeichnet.

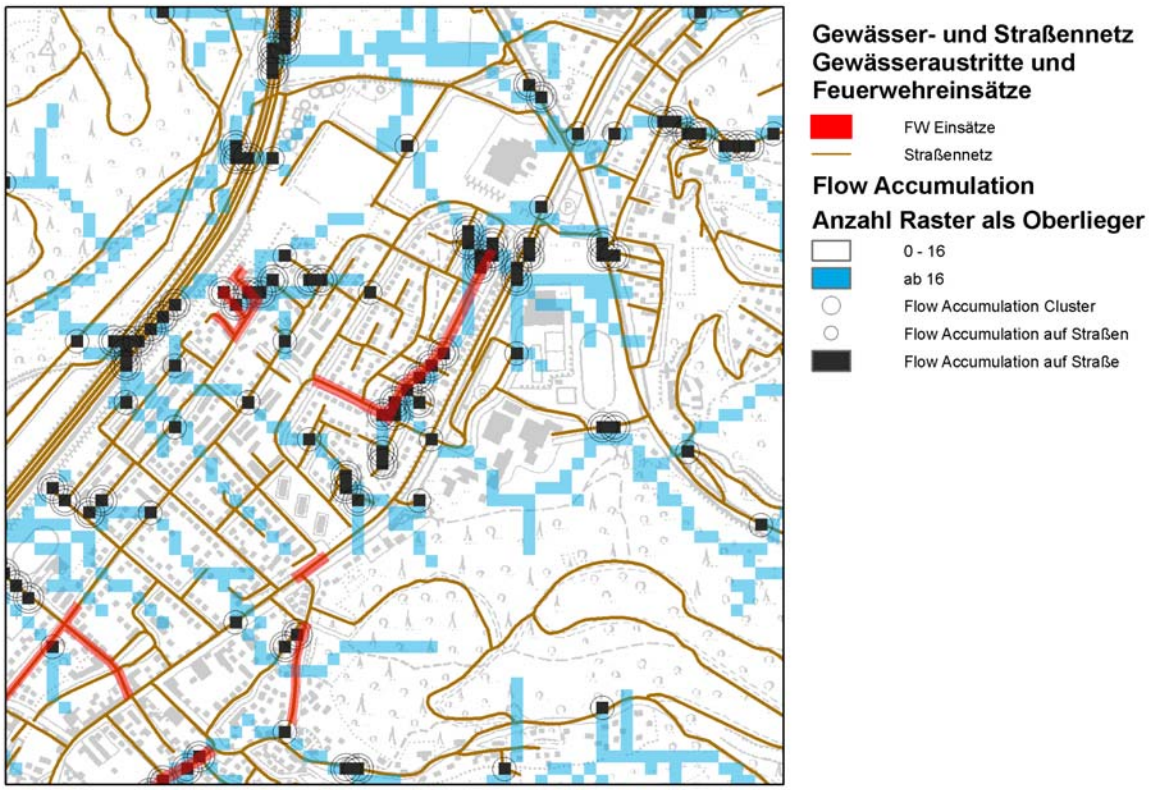


Abbildung 2-12: Gefahrenbereiche - Flow Accumulation auf Straßenflächen

Eine weitere Möglichkeit zur Lokalisierung von Gefahrenbereichen besteht in einer Verschneidung von Gewässerlinien mit dem Straßennetz. Als Ergebnis werden die Stellen bestimmt, an denen sich Durchlässe und Brücken befinden können, an denen es infolge von Verstopfungen, Verklausungen und Überlastung zu Überflutungen kommen kann.

Am Beispiel von Lohmar zeigt sich, dass einige Bauwerke an den Gewässern (gekennzeichnet mit einem Kreuz) den bei der Sturzflut aufgetretenen Abfluss nicht schadlos abführen konnten und dass es dort zu Überflutungen (blaue Raute) oder zum Feuerwehreinsatz in Folge überfluteter Keller (rote Flächen) gekommen ist.

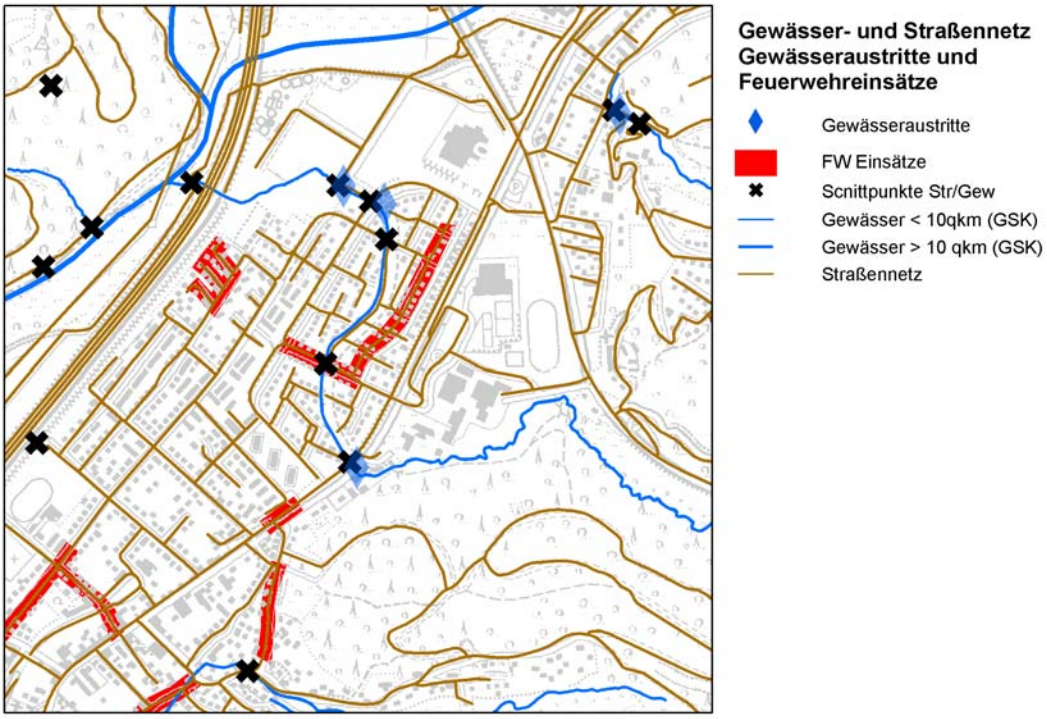


Abbildung 2-13: Verschneidung von Gewässern mit dem Straßennetz

2.5.4.5 Curvature

Das Modul „Curvature" berechnet die zweite Ableitung der Hangneigung (die Neigung der Hangneigung). Das Modul berechnet die Hangkrümmung in Richtung des Gefälles und bestimmt, ob ein Hang konvex oder konkav gekrümmt ist.

Hiermit können beispielsweise (Hang-) Bereiche identifiziert werden, in welchen die Hangneigung auf kürzester Entfernung zu oder abnimmt und wo folglich eine Abflussbeschleunigung bzw. -verzögerung zu erwarten ist.

Konkave Hangbereiche (Unterhänge) mit Bebauung / Infrastruktur können besonders gefährdet sein, da dort der Abfluss eine hohe Fließgeschwindigkeit aufweisen kann und infolge der hohen Energie hohe Schubspannungen und Aufprallenergie erzeugt.

„Planiform Curvature" errechnet Divergenzen und Konvergenzen quer zum Gefälle der Geländeoberfläche und liefert Hinweise darauf, wo der Oberflächenabfluss zusammen- und wo er auseinanderfließt.

Die folgende Abbildung 2-14 zeigt die Übergangsbereiche im Digitalen Geländemodell, in welchen stark konvexe Hangpartien in ihrer Konvexität abnehmen und Gebiete an Unterhängen, in welchen steile Hangpartien immer flacher werden und in Bereiche mit geringer Hangneigung übergehen. Im Vergleich zu den Feuerwehreinsätzen ist deutlich sichtbar, dass der Oberflächenabfluss überwiegend in den Unterhangsbereichen im Übergang zu flachen Bereichen zu Schäden geführt hat.

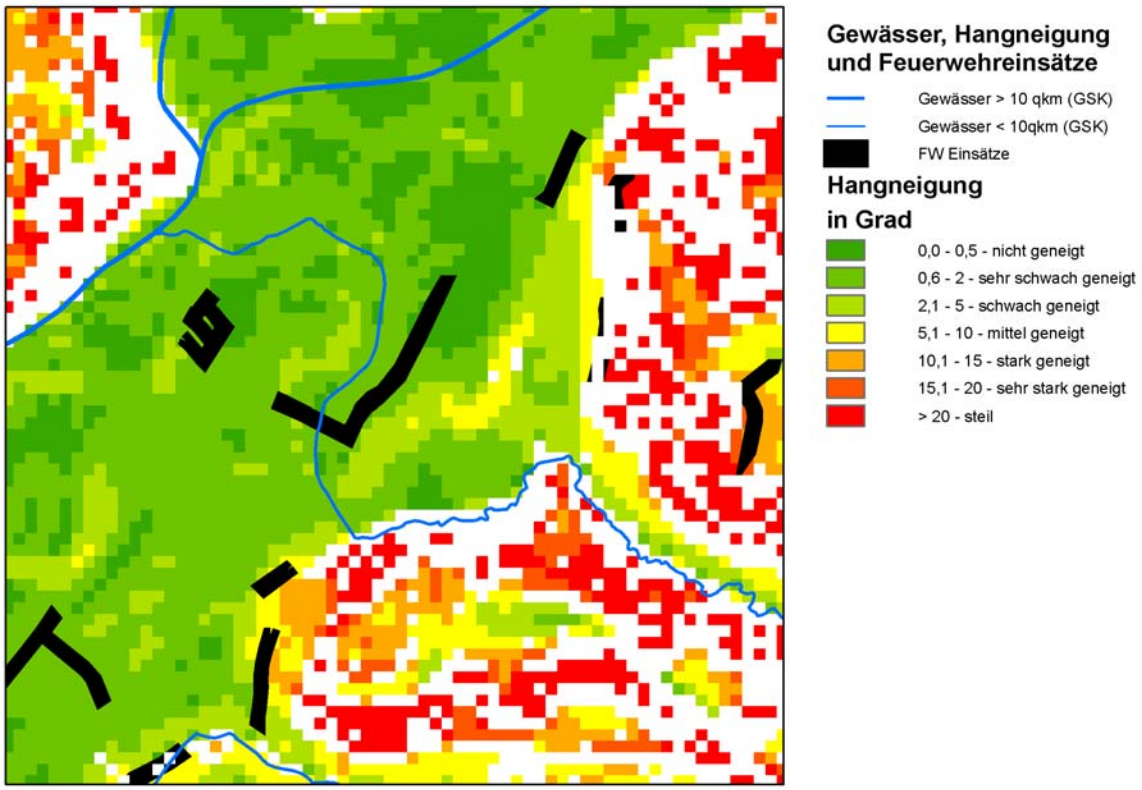


Abbildung 2-14: Profile Curvature

2.5.5 Berechnung von Fließwegen und potenziellen der Überflutungsgebiete mit vereinfachten hydrologischen und hydraulischen Verfahren

2.5.5.1 Generelle Vorgehensweise

Die Bestimmung von Abflusswegen und potenziellen Überflutungsflächen kann weiterhin mit Hilfe von vereinfachten hydrologischen und hydraulischen Verfahren erfolgen.

Mit diesen Methoden ist es möglich, auf der Grundlage von überall in Deutschland vorhandenen Daten mit geringem Aufwand potenziell gefährdete Flächen zu ermitteln. In der Regel ist eine Zuordnung von Wiederkehrzeiten zu den ermittelten Flächengrößen nur eingeschränkt möglich, wie aufgezeigt wird. Für die Bestimmung der Abflusswege und Überflutungsflächen sind die Arbeitsschritte:

- Bestimmung der Abflüsse (oder Niederschläge) für unterschiedliche Jährlichkeiten und
- Bestimmung der Überflutungsflächen

zu unterscheiden, die bei der Beschreibung der Verfahren jeweils gesondert betrachtet werden.

Die Verfahren sind für eine überschlägliche Gefahrenanalyse geeignet, für die Planung von Ausbau- und Schutzmaßnahmen sind i. Allg. die detaillierten hydrologischen und hydraulischen Verfahren anzuwenden.

Vereinfachte Methoden sollen über die Kombination des Abfluss auslösenden Niederschlags und der Abflussbereitschaft des Gebiets zu ähnlichen Lösungen für eine Gefahrenermittlung kommen wie die detaillierten Verfahren.

2.5.5.2 Berechnung der Überschwemmungsgebiete mit dem GIS basierten Verfahren ArcGIS

Das zugrunde liegende Niederschlag-Abfluss-Modell basiert auf einer Abfolge von rasterbasierten Berechnungen in einem GIS (ArcGIS) unter Verwendung der SCS Curve Number Methode. Als Eingangsdaten dienen Flächennutzungsdaten nach CORINE, der Gebietsniederschlag in Form eines Raster (z. B. aus einem Niederschlagsradarbild) und hydrologisch relevante Parameter abgeleitet aus einem Digitalen Geländemodell (DGM Deutschland) mit einer Rasterweite von 25 mal 25 m. Bei Verfügbarkeit von qualitativ höherwertigen Daten können als Flächennutzungsdaten ATKIS-Daten bzw. höher aufgelöste DGM verwendet werden. Das Modell ist in vier Schritten aufgebaut:

- Ermittlung des Effektivniederschlags
- Berechnung der Abflusskonzentration
- Berechnung der Gesamtabflussmenge pro Rasterzelle
- Berechnung der maximalen Abflussrate pro Rasterzelle

Das Verfahren ist in Anlage 1 detailliert beschrieben.

Die Ergebnisse können in Karten dargestellt werden. Der folgende Ausschnitt für das Untersuchungsgebiet der Fallstudie Lohmar zeigt die Raster, bei denen die Anzahl der oberhalb liegenden Raster einen festgelegten Schwellwert überschreitet. Für die Berechnungen wurde ein einheitlicher Gebietsniederschlag von 50 mm angenommen.

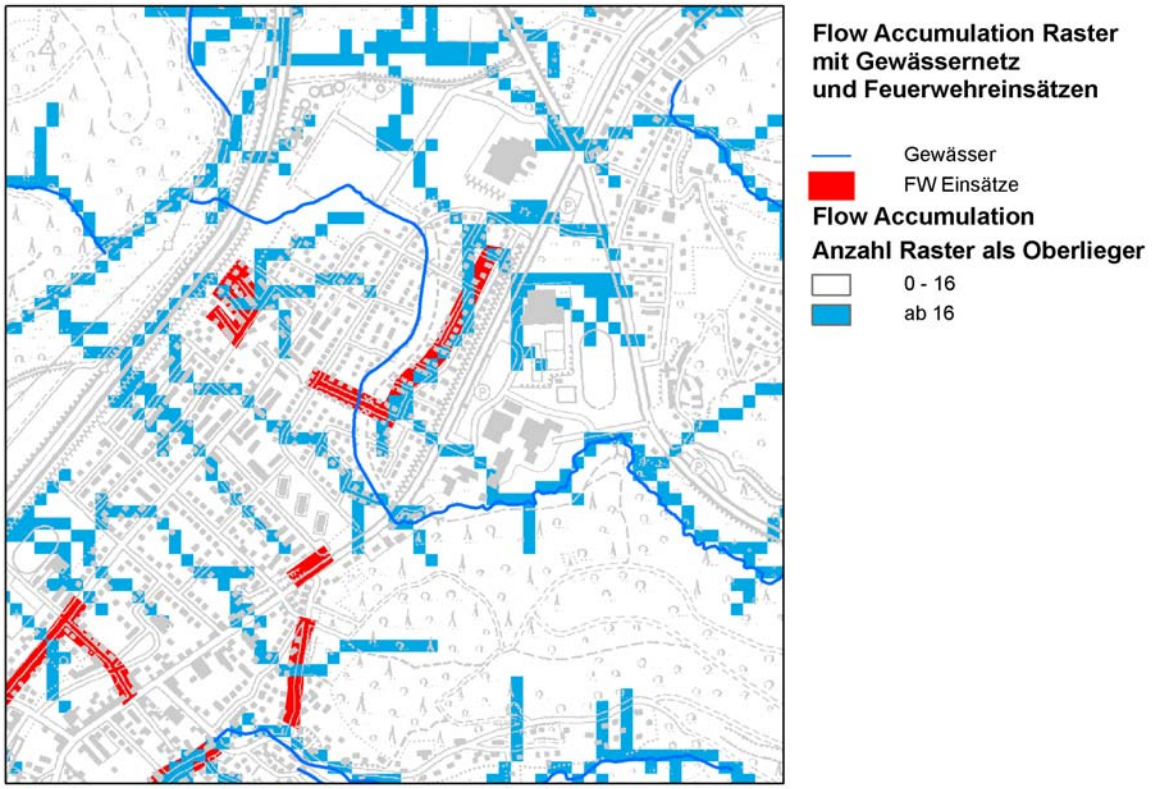


Abbildung 2-15: Flow Accumulation Raster

2.5.5.3 Berechnung der Überschwemmungsgebiete mit dem GIS-basierten Verfahren SAGA GIS

GIS-basierte Abflussberechnungen und Überflutungsberechnungen können beispielsweise mit dem Programm SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) durchgeführt worden. Die Berechnungen mit SAGA basieren auf einem Geländemodell im 25-Meter-Raster (DGM 25), den CORINE

Landnutzungsdaten (Rauheiten, Curve-Faktor) und einem vereinfachten Blockniederschlag, dessen Höhe frei gewählt werden kann. In den Fallstudien wurde einheitlich mit einer Niederschlagshöhe von 50 mm gerechnet.

Im Rahmen des Vorhabens wurde durch Tyrna (Tyrna, 2007) untersucht, wie die Eignung des Modells für die Fragestellung einzuschätzen ist und die Nutzbarkeit anhand einiger Fallstudien getestet. In dieser Arbeit befindet sich auch eine detaillierte Programmbeschreibung des Programms SAGA GIS.

Die folgende Abbildung 2-16 zeigt eine Übersicht über das mit SAGA berechnete Gebiet und einen Ausschnitt im Bereich der Stadt Meschede.

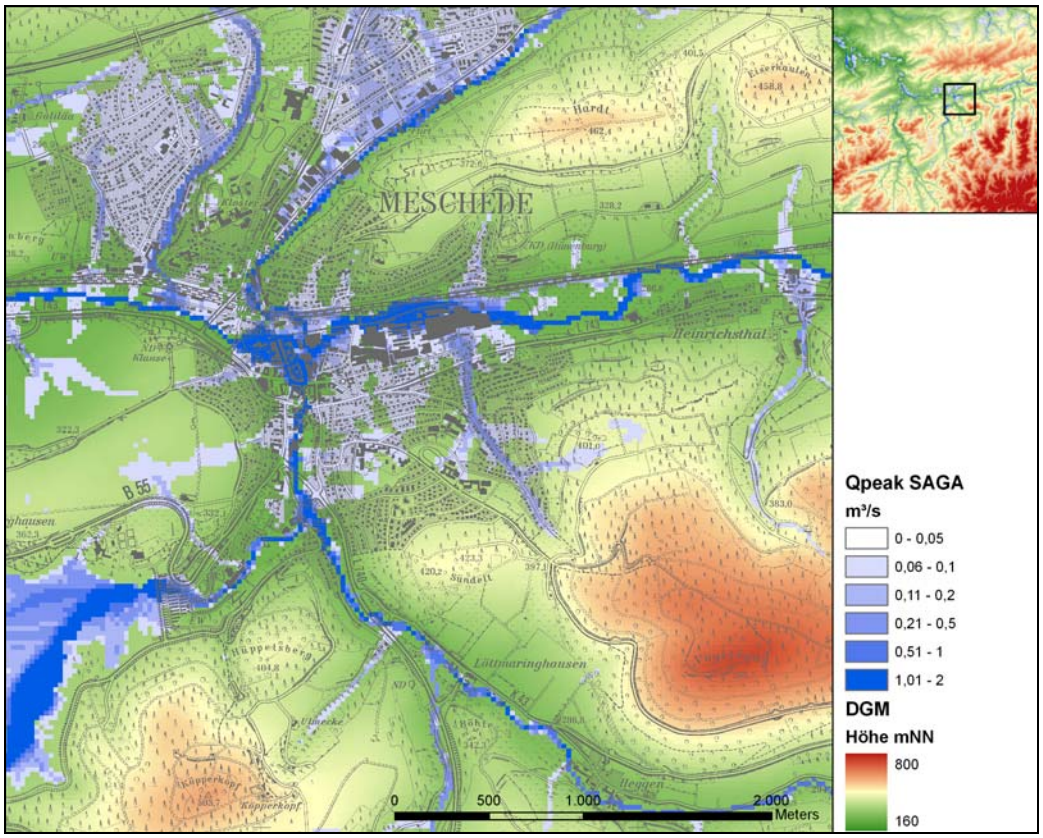


Abbildung 2-16: Mit SAGA berechnete Abflüsse/Fließwege für das Ereignis am 17.09.2006

2.5.5.4 Berechnung der Überschwemmungsgebiete mit dem GIS basierten Verfahren GRASS

GRASS ist open source GIS und hat mit Quantum GIS eine Windows-konforme Oberfläche. In GRASS 6.3 ist die Funktion r.sim.water integriert, mit der über die Eingabe von Niederschlägen Abflüsse und Überflutungsflächen berechnet werden können. Die Beschreibung des Moduls ist im Folgenden auszugsweise dokumentiert.

„r.sim.water is a landscape scale simulation model of overland flow designed for spatially variable terrain, soil, cover and rainfall excess conditions. A 2D shallow water flow is described by the bivariate form of Saint Venant equations. The numerical solution is based on the concept of duality between the field and particle representation of the modelled quantity. Green's function Monte Carlo method, used to solve the equation, provides robustness necessary for spatially variable conditions and high resolutions (Mitas and Mitasova 1998). The key inputs of the model include elevation (elevin raster map), flow gradient vector given by first-order partial derivatives of elevation field (dxin and dyin raster maps), rainfall excess rate (rain raster map or rain_val single value) and a surface roughness coefficient given by Manning's n (manin raster map or manin_val single value). Partial derivatives

raster maps can be computed along with interpolation of a DEM using the -d option in v.surf.rst module. If elevation raster is already provided, partial derivatives can be computed using r.slope.aspect module. Partial derivatives are used to determine the direction and magnitude of water flow velocity. To include a predefined direction of flow, map algebra can be used to replace terrain-derived partial derivatives with pre-defined partial derivatives in selected grid cells such as man-made channels, ditches or culverts. Equations (2) and (3) from this report can be used to compute partial derivates of the predefined flow using its direction given by aspect and slope.

Die Berechnungsergebnisse mit GRASS für die Stadt Paderborn, Stadtteil Wewer, sind in den Abbildungen 2-17 und 2-18 dargestellt.

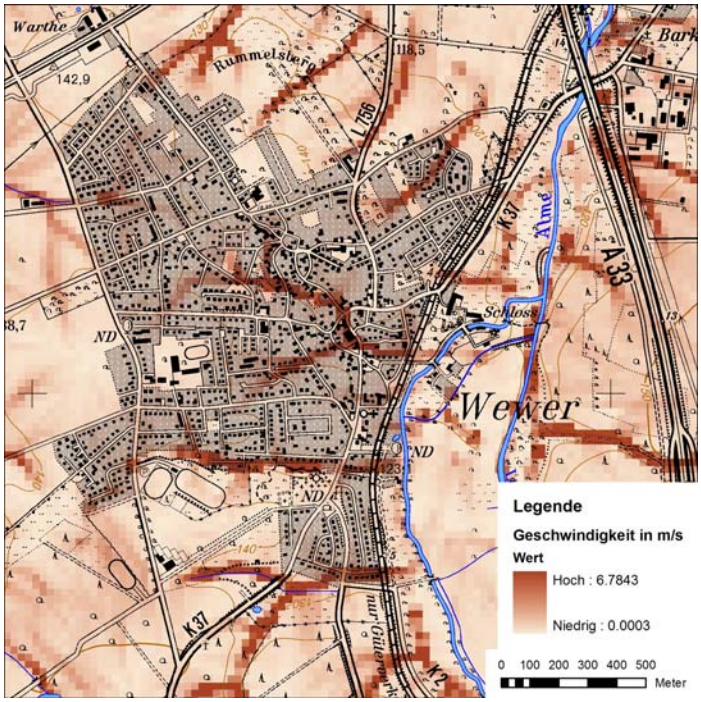


Abbildung 2-17: Berechnungsergebnisse mit dem GIS basierten Verfahren GRASS, Fließgeschwindigkeiten

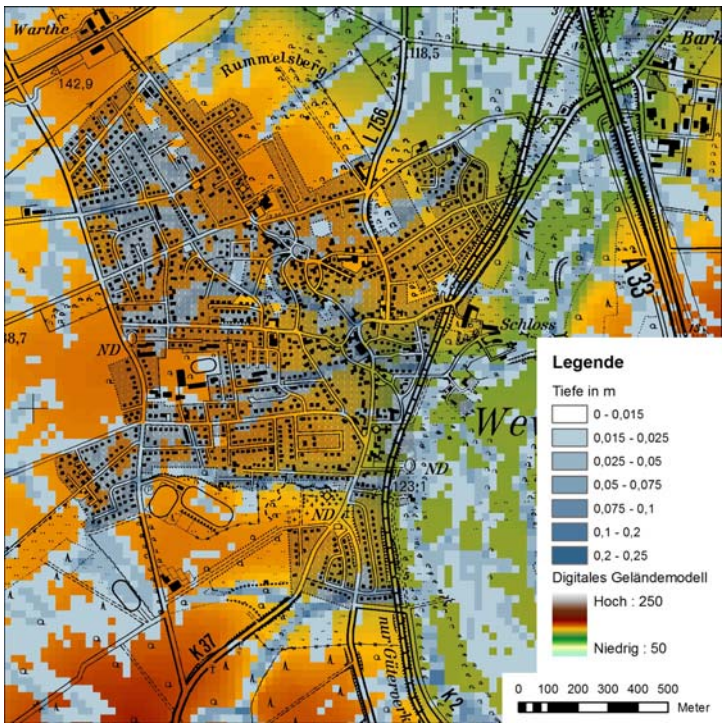


Abbildung 2-18: Berechnungsergebnisse mit dem GIS-basierten Verfahren GRASS, Abflusstiefen

Das Programm ist frei erhältlich. In URBAS wurden keine Qualitätsprüfungen des Programms und der Programmbedienung durchgeführt.

2.5.5.5 Weitere vereinfachte Verfahren

Mit diesen Verfahren können überschläglich Überschwemmungsgebiete ermittelt werden. Aus der Vielzahl solcher Verfahren seien drei Verfahren vorgestellt.

Programm „Modellierung Hochwassergefährdeter Bereiche“(MOHB)

Das Programm „Modellierung Hochwassergefährdeter Bereiche“ wurde von der Universität Bonn entwickelt und ist als Erweiterung zum Geografischen Informationssystem ArcView der Firma ESRI konzipiert worden. Als Eingangsdaten werden Abflusswerte, DGM, Gewässerverlauf (ATKIS), Brückenbauwerke und Rückstauhöhen an den Gewässermündungen benötigt. Das Programm läuft dabei grundsätzlich auf allen Plattformen, für die ArcView verfügbar ist. Für einige plattformabhängige programminterne Routinen wird eine Abfrage der Plattform durchgeführt, die in der vorliegenden Version UNIX- und MS-Windows 9x, NT4.0-Betriebssysteme berücksichtigt. Das Programm MOHB berechnet zwei Überschwemmungsflächen, den hochwassergefährdeten Bereich zum einen auf Grundlage der ATKIS-Gewässerlinie, zum anderen auf Basis der DGM5-Tiefenlinie. Die Umhüllende der beiden Teilergebnisse bildet die Ergebnisfläche.

Programm „Vereinfachte Hydraulische Berechnung Hochwassergefährdeter Bereiche“

Das Programm wurde von der Beratungsfirma Ernst Basler und Partner, AG, Schweiz (EBP, 2004) entwickelt und ist als Erweiterung zum Geografischen Informationssystem ArcView der Firma ESRI konzipiert worden. Eingangsdaten sind das vorhandene Höhenmodell (20 m Raster), die Gewässerlinien, die Einzugsgebietsgrenzen und -flächen, sowie eine maßgebliche Abflussgröße (Wahl einer bestimmten Jährlichkeit ist möglich) für das Mündungsprofil geschätzt oder ermittelt. Mithilfe des Geländemodells werden Talprofile (ohne die Gewässerprofile) in ausreichender Dichte erstellt (i. Allg. 200 m Abstand). Die Vorlandrauigkeiten werden einheitlich mit einem Rauheitswert angenommen. Das Gefälle wird aus dem mittleren Gefälle des Vorlands zwischen den Profilen ermittelt. Der Abfluss

an der Mündung wird für alle Profile in Abhängigkeit von der jeweiligen Einzugsgebietsgröße berechnet. Hiervon wurde ebenfalls in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße ein Wert abgezogen, mit dem die bordvolle Leistungsfähigkeit des Gewässers annähernd berücksichtigt wird. Mit diesen Eingangsgrößen wird eine stationäre gleichförmige Berechnung nach Strickler durchgeführt. Die berechneten Wasserspiegelhöhen wurden dann im GIS mit dem Geländemodell verschnitten und ein überschlägliches ÜSG erstellt.

Vereinfachte zweidimensionale hydrodynamische Wasserspiegelberechnungen ohne Gewässer

Bei diesem Verfahren werden die Überschwemmungsflächen mithilfe vereinfachter hydrologischer und hydraulischer Verfahren ermittelt. Anschließend können mithilfe der Verschneidung der Überflutungsflächen mit den Nutzungen die potenziellen Risikobereiche ermittelt.

Mit einem hydraulischen zweidimensionalen Wasserspiegellagenprogramm werden die Wasserstände auf dem Vorland berechnet, ohne dass eine Profilvermessung durchgeführt wird. Das Berechnungsnetz wird direkt aus dem DGM abgeleitet. Die Abflüsse müssen für die Berechnung bereitgestellt werden, wobei jeweils die geschätzte bordvolle Leistung des Gewässers vom Abfluss abgezogen werden kann.

Als Ergebnis dieser Berechnung kann ein überschlägliches ÜSG direkt erstellt werden.

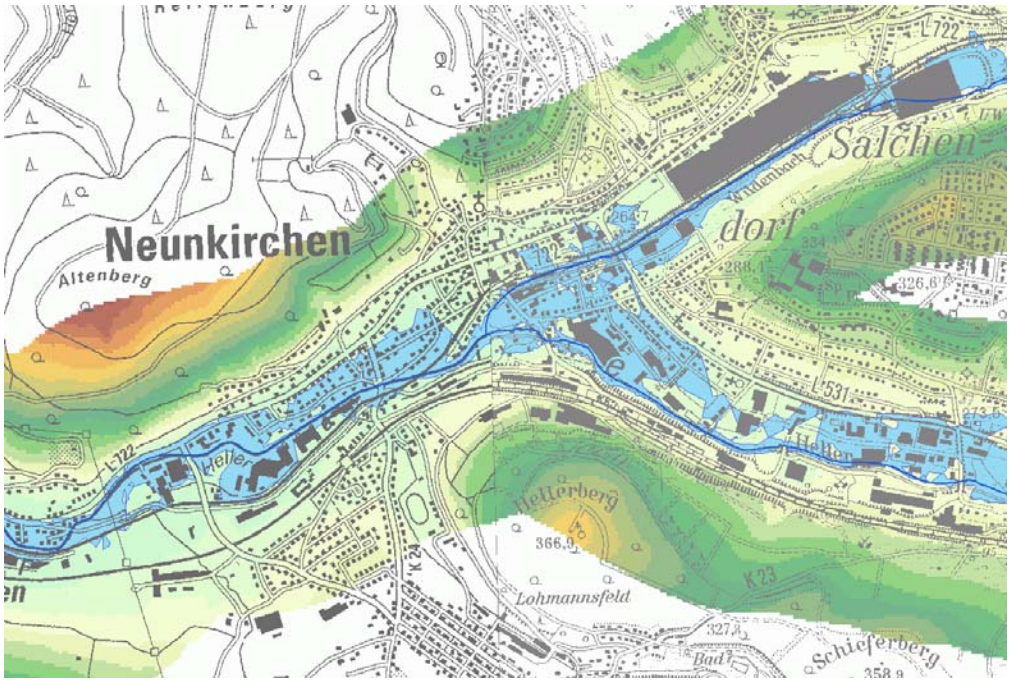


Abbildung 2-19: Beispiel einer Überflutungsfläche, die mit einem hydraulischen 2-D-Programm ohne Berücksichtigung der Gewässer berechnet wurde

2-D-Simulationsrechnungen für die Fallstudien Paderborn und Lohmar

In Zusammenarbeit mit den Kommunen Paderborn und Lohmar wurden zweidimensionale hydrodynamische Modellierungen der Abflüsse bei den untersuchten Sturzflutereignissen durchgeführt.

Die folgende Abbildung 2-20 zeigt das Abflussgeschehen in dem Stadtteil Wewer von Paderborn unter Berücksichtigung der städtischen Kanalisation. Bei einer flächendeckenden Niederschlagsbelastung von 100 mm innerhalb von 40 Minuten stellten sich nach 15 Minuten (900 s) die abgebildeten Wassertiefen ein.

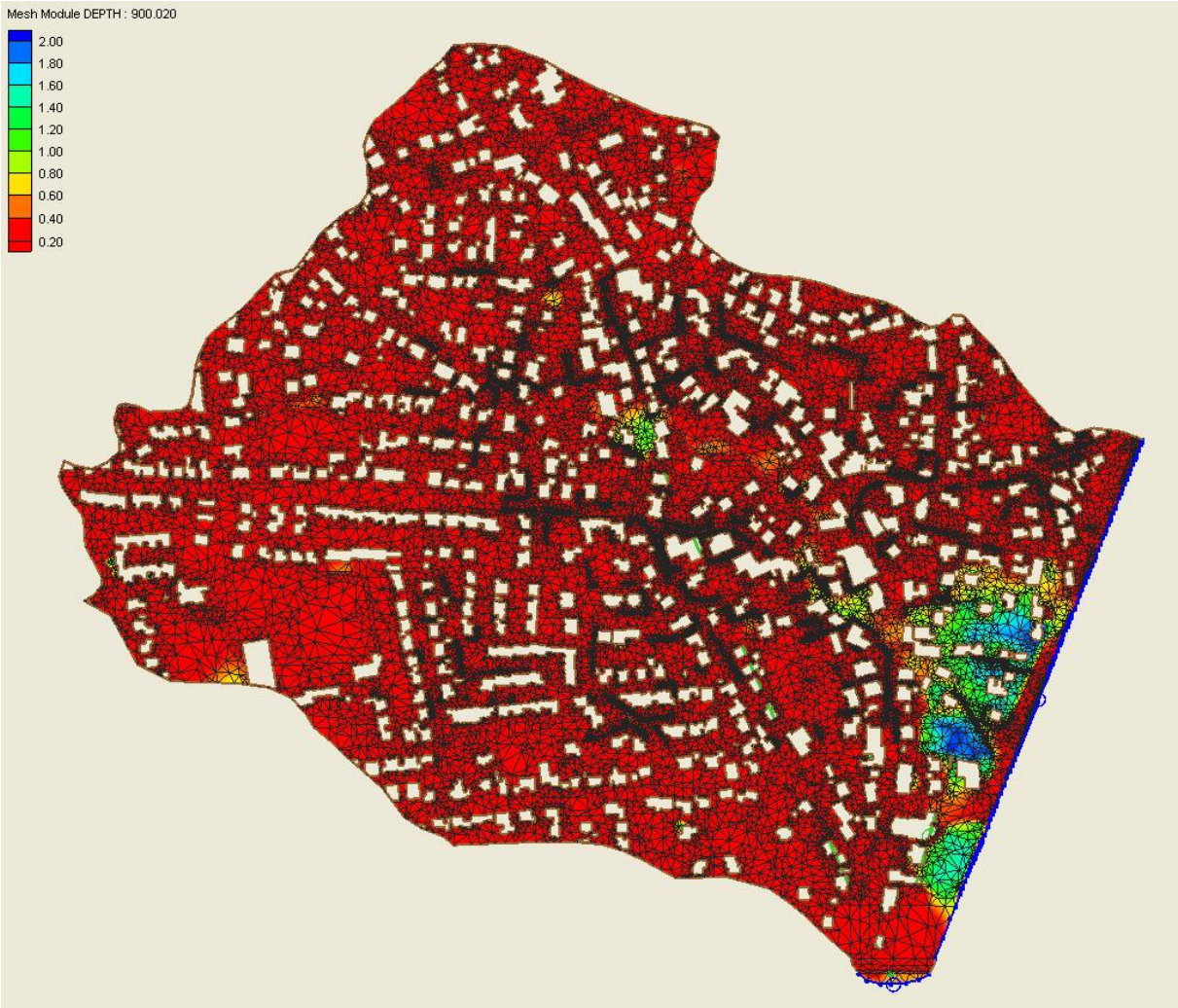


Abbildung 2-20: Abflusstiefen bei einem flächendeckenden Niederschlagsereignis in Paderborn-Wewer nach 15 Minuten

Bei diesen Simulationen mit dem Modell HYDRO_AS-2D wurde die Interaktion mit dem Kanalnetz vereinfacht abgebildet. An definierten Stellen des Berechnungsnetzes des Modells kann der Oberflächenabfluss auf der Straße durch Ausleitungen (in das Kanalnetz) verringert bzw. Zuflüsse erhöht werden.

2.5.6 Detaillierte Verfahren der Berechnung von Überschwemmungsgebieten

Wenn in einem Einzugsgebiet bzw. einer Kommune ein hohes Schadenspotenzial vorhanden ist, sollten detaillierte und belastbare hydrologische und hydraulische Verfahren sowie ausreichend genaue Verfahren der Schadenspotenzialermittlung angewendet werden. Mit diesen Verfahren ist darüber hinaus eine detaillierte Berücksichtigung von Wiederkehrzeiten des Hochwassers möglich.

Die Verfahren bestehen i. Allg. aus den Bausteinen:

- Bestimmung der Niederschlagsbelastung: Die Wahl des jeweiligen Verfahrens erfolgt in Abhängigkeit vom verwendeten Niederschlag-Abfluss-Modell.
- Ermittlung der Abflüsse: Die Ermittlung der Abflüsse erfolgt mit Niederschlag-Abfluss-Modellen in Form von einfachen Schätzmethoden bis hin zu komplexen Modellen, die es ermöglichen, die Überflutungsgefährdung auch für mehrere Jährlichkeiten zu bestimmen. In den städtischen Gebieten erfolgt die Berechnung des Oberflächenabflusses aus den natürlichen bzw.

wenig versiegelten Einzugsgebieten und des Abflusses in der Kanalisation heute häufig noch getrennt mit unterschiedlichen Modellen.

- Bestimmung der Wasserspiegellagen: Hydraulische Berechnung (1-D, 2-D) der städtischen Gewässer auf der Basis von vermessenen Profilen zur Bestimmung von überfluteten Flächen, Fließtiefen und Geschwindigkeiten pro festgelegter Jährlichkeit.
- Bestimmung der Auslastung der Kanalisation bzw. des Überstaus: Hydrodynamische Berechnung des Kanalnetzes zu Bestimmung der Auslastung des Kanalnetzes sowie der überlasteten Kanalstrecken. Die infolge von Überstau überfluteten Gebiete müssen i. Allg. in einem anschließenden Arbeitsschritt bestimmt werden.
- Bestimmung der Überflutungsflächen: GIS-gestützte Verschneidung der berechneten Wasserspiegelhöhen mit den Geländemodellen zur Erstellung von Intensitätskarten oder Gefahrenkarten

Diese Verfahren werden hier nicht näher beschrieben, weil sie ausreichend dokumentiert sind.

2.5.7 Detaillierte Verfahren zur Berechnung der Abflüsse und Überflutungen in kanalisierten Gebieten

2.5.7.1 Laufende Forschungsvorhaben

Am Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITM) werden mehrere Forschungsvorhaben zum Thema Hochwasser- und Risikomanagement in Siedlungsgebieten durchgeführt. Zurzeit (2007) wird dort das Forschungsvorhaben 3ZM-GRIMEX bearbeitet. Ziel ist die Entwicklung von Programmen, mit denen Überflutungen in städtischen kanalisierten Gebieten berechnet werden können und mit denen die Interaktion Kanalabfluss / Oberflächenabfluss bei Überstau besser abgebildet werden kann. Das angewandte Verfahren beruht auf Ergebnissen, die im Rahmen des EUREKA-Projektes RisUrSim gewonnen wurden. 3ZM-GRIMEX ist in das RIMAX-Programm eingebunden, mehrere Treffen zum Erfahrungs- und Ideenaustausch mit den Projektleitern von 3ZM-GRIMEX haben bereits stattgefunden.

2.5.7.2 Überstaunachweis mit kommerziellen Kanalnetz-Berechnungsprogrammen

Für die in Deutschland verbreiteten Kanalnetzprogramme sind Bausteine und Methoden entwickelt worden, mit denen die erforderlichen Überstaunachweise erstellt werden können.

Mit dem Programm Hystem Extran (http://www.itwh.de/S_extinfo.htm) können die Abflüsse von versiegelten und unversiegelten Flächen berechnet werden, die in das Kanalnetz eingeleitet werden. Mit dem Programm kann für bestimmte Ereignisserien berechnet werden, wie häufig ein Überstau an einem Schacht auftritt und wie groß das jeweilige Überstauvolumen bei den Ereignissen ist.

Je nach Häufigkeit des Überstaus und der Menge des Überstauvolumens kann vor Ort eine Beurteilung vorgenommen werden, wie groß die Gefährdung der vorhandenen Nutzungen einzuschätzen ist.

Vom Danish Hydrologic Institute, Horsholm, werden komplexe Abflussverhältnisse auf der Oberfläche und im Kanalnetz durch eine Kopplung der Softwarepakete MOUSE HD und MIKE 21 abgebildet (http://www.dhigroup.com/Software.aspx).

2.6 Ermittlung von potenziellen Schäden

Grundlegende und in Deutschland verbreitete Methoden der Erfassung von Schäden infolge Überschwemmung sind in Veröffentlichungen des DVWK (heute DWA) und des BWK (DVWK, 1985, BWK, 2001) beschrieben.

Generell wird in mikroskalige, mesoskalige und makroskalige Verfahren unterschieden. Mikroskalige Verfahren erfordern Schadensinformationen zu jedem geschädigten Objekt, die beiden anderen genannten Verfahren sind gröber und arbeiten mit (nutzungs-) flächenbezogenen Ansätzen.

Bei den mikroskaligen Verfahren wird der Schaden – meistens getrennt nach Gebäudeschaden und Schaden an den Einrichtungsgegenständen – gutachterlich erfasst oder, wenn dieses nicht möglich ist, aus vorhandenen Schadenskalkulationen an vergleichbaren Objekten abgeleitet. In der Regel ist – neben den vorhandenen Einrichtungsgegenständen selbst – die Einstauhöhe des Wassers im Gebäude der maßgebliche Parameter für die Schadenhöhe. Auch Einstaudauer und Aufprallgeschwindigkeit des Wassers werden z. T. als Parameter für die Schadenskalkulation herangezogen. Diese Erfassungsmethode wurde in den URBAS-Fallstudien angewendet.

Bereits durch die gewählte Methode der Schadensschätzung können relativ große Unterschiede in den berechneten Schadenssummen entstehen, je nachdem, ob der Restwert der geschädigten Gegenstände berücksichtigt wird oder ausschließlich der Wiederbeschaffungswert bei einer erforderlichen Neuanschaffung angesetzt wird.

Für die Genauigkeit der Schadensschätzung ist weiterhin entscheidend, ob eine detaillierte Schadensaufnahme durch einen Gutachter erfolgt oder eine pauschale Schätzung mithilfe von Einheitswerten vorgenommen wird.

Für eine effektive Erfassung der potenziellen Schäden können mesoskalige und makroskalige Verfahren angewendet werden.

Ein Beispiel einer solchen Vorgehensweise liefert die „Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken“ (Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie, EG-HWRM-RL), die am 26. November 2007 in Kraft getreten ist.

Ziel der Richtlinie ist die Verringerung des Risikos hochwasserbedingter nachteiliger Folgen insbesondere auf die menschliche Gesundheit und das menschliche Leben, die Umwelt, das Kulturerbe, die wirtschaftlichen Tätigkeiten und die Infrastrukturen. Die an einem Gewässer vorhandenen Nutzungen, beispielsweise auf der Grundlage der ATKIS-Daten, werden mit den berechneten Überflutungsgebieten verschnitten. Wo es möglich ist, können den Nutzungen auch Vermögenswerte (Euro/m²) und Schadensfunktionen zugeordnet werden. Schadenspotenziale können vereinfacht als %-Werte der Vermögenswerte angenommen werden.

Im Einzelnen werden die folgenden Schadensfolgen bzw. Nutzungen betrachtet:

- Beurteilung potenziell nachteiliger Folgen auf die **menschliche Gesundheit**:
  Die Anzahl der potenziell vom Hochwasser betroffenen Einwohner in Siedlungs- und Industrie-/Gewerbegebieten wird erfasst.
- Beurteilung potenziell nachteiliger Folgen auf die **Umwelt**:
  Es werden die betroffenen Trinkwassergewinnungsanlagen, der EG-Badegewässer, der NATURA 2000-Gebiete sowie der IVU-Anlagen erfasst.
- Beurteilung potenziell nachteiliger Folgen auf das **Kulturerbe**:
  Es werden wichtige Kulturdenkmäler erfasst.
- Beurteilung potenziell nachteiliger Folgen auf die **wirtschaftlichen Tätigkeiten**:
  Es werden die Industrie- und Gewerbegebiete oder –betriebe erfasst.

Ein Beispiel einer nach diesem Muster erstellten Risikokarte zeigt die folgende Abbildung 2-21.

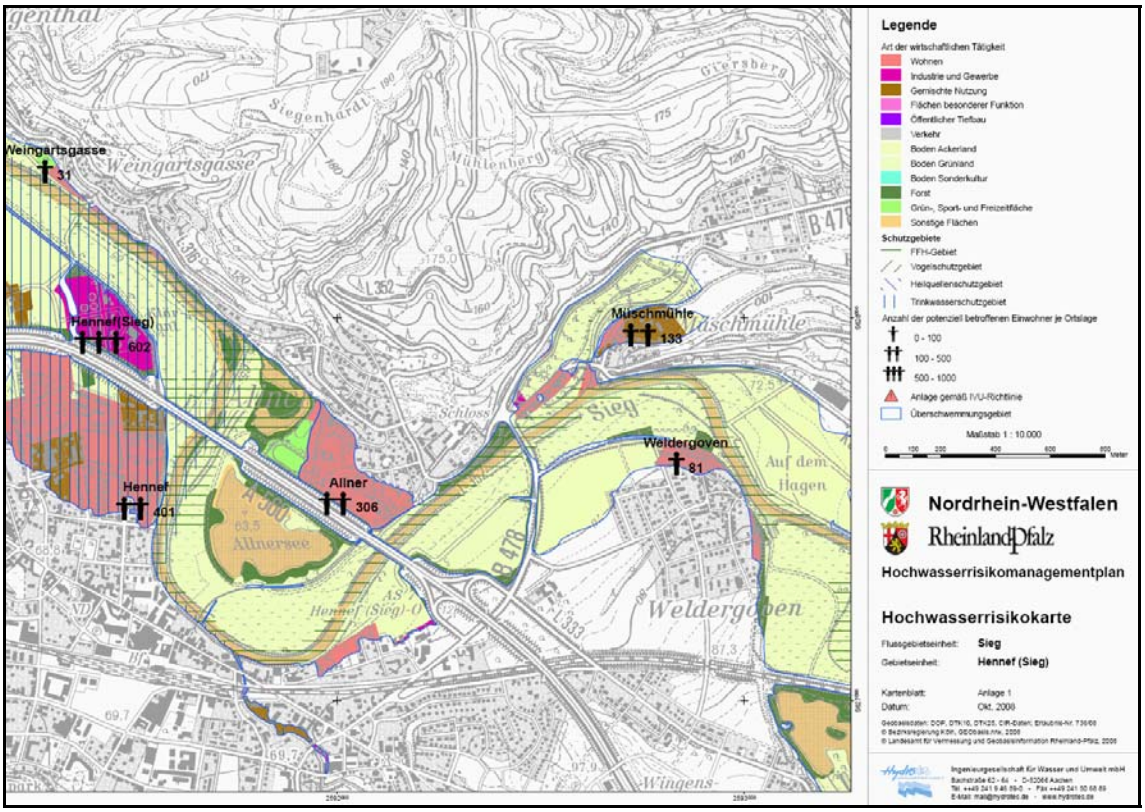


Abbildung 2-21: Anwendungsbeispiel Sieg, Entwurf einer Hochwasserrisikokarte, Lastfall HQ_{100}

2.7 Beispiele für Gefahren- und Intensitätskarten für überregionale Gebiete

2.7.1 Gebiete mit Starkregen

Intensitätskarten für Starkniederschläge in Deutschland wurden bisher im Rahmen des KOSTRA-Vorhabens des DWD erstellt (DWD 1990, DWD 1997, DWD 2005). Sie basieren auf der Auswertung von Niederschlagsmessern und -schreibern unter Berücksichtigung von meteorologischen und topografischen Daten.

Reudenbach (2003) hat im Rahmen einer Dissertation zum Thema “Konvektive Sommerniederschläge in Mitteleuropa“ Prototypen für Gefahren- und Intensitätskarten für den Zeitraum 1995-1998 erstellt. Er bediente sich dabei moderner Fernerkundungsverfahren, um räumlich verlässliche Aussagen treffen zu können.

Für die Schweiz existieren von der Skywarn Schweiz, einem Netzwerk ehrenamtlicher Wetterbeobachter, Gefahrenkarten für Tornados, Superzellen und Hagel (http://62.202.7.134/skywarn/index.aspx) (vgl. Abb. 2-23).

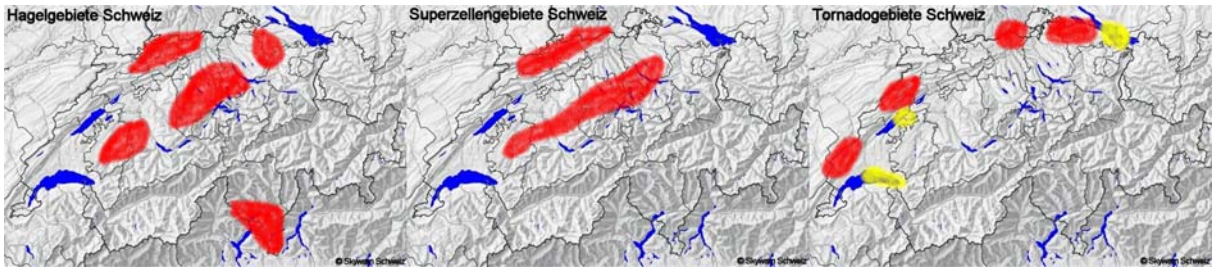


Abbildung 2-22: Gefahrenkarten für Hagel, Superzellen und Tornados in der Schweiz; Warnstufen: Gelb = Stufe leicht; Orange = Stufe mäßig; Rot = Stufe stark; Violett = Stufe extrem, Quelle: Skywarn, Schweiz

2.7.2 Gebiete mit Sturzflutgefährdung

Beispiele für Gefahrenkarten stammen aus der Schweiz (beispielweise Baudirektion Kanton Zürich, 2003; Leitfaden zur Umsetzung der Gefahrenkarten Hochwasser) und den USA. In der Schweiz erfolgt die Gefahren- und Risikoanalyse für alle Naturgefahren nach einem landesweit vorgegebenen Verfahren mit einheitlicher Darstellung. Das Management der Naturgefahren wird durch den Einsatz von drei verschieden Kartentypen unterstützt.

	erhebliche Gefährdung (Verbotsbereich)	Personengefährdung sowohl innerhalb als auch ausserhalb von Gebäuden; Zerstörung von Gebäuden möglich.
	mittlere Gefährdung (Gebotsbereich)	Personengefährdung vor allem ausserhalb von Gebäuden; Schäden an Gebäuden möglich.
	geringe Gefährdung (Hinweisbereich)	kaum Personengefährdung; geringe Schäden an Gebäuden und Sachschäden möglich.
	Restgefährdung (Hinweisbereich)	Ereignisse mit sehr geringer Eintretens-wahrscheinlichkeit.
		Nach dem derzeitigen Kenntnisstand keine oder vernachlässigbare Gefährdung.

Abbildung 2-23: Gefahrenstufen der Gefahrenkarten in der Schweiz, Quelle: Baudirektion Kanton Zürich, 2003

In den USA erstellen die National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) und der National Weather Service (NWS) eine Art „Gefahrenkarte“ für Sturzfluten. Die Häufigkeit der Vorkommen von Sturzfluten wurde pro Landkreis (county) für den Zeitraum von 1986 - 1999 ermittelt (vgl. Abb. 2-24).

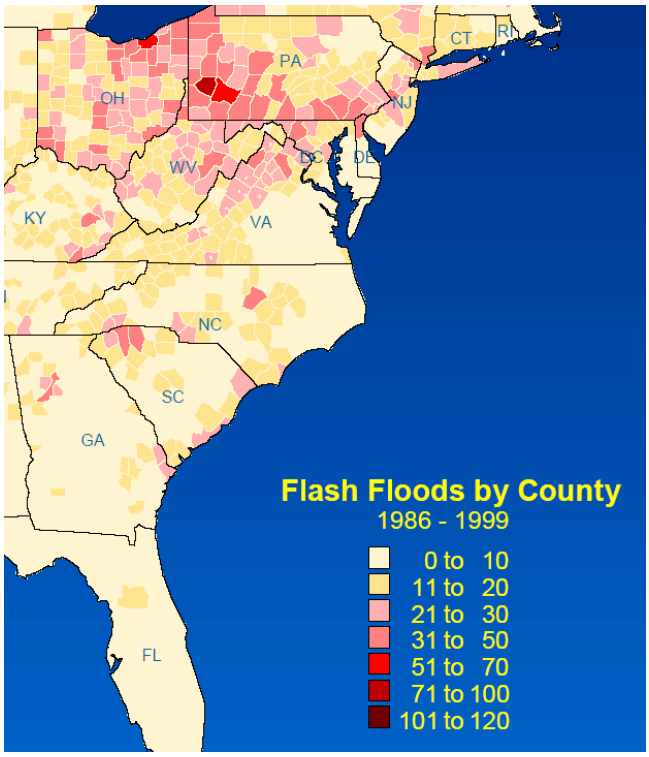


Abbildung 2-24: „Gefahrenkarte“ für Sturzfluten in den USA

Ein weiteres Beispiel einer Gefahrenkarte für Sturzfluten stammt aus dem Oman, in denen drei Gefahrenstufen dargestellt werden.

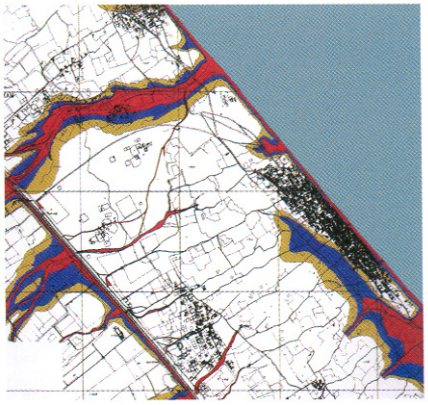


Abbildung 2-25: Beispiel einer Gefahrkarte Sturzfluten aus dem Oman, Quelle: Wasserwirtschaftsverwaltung Oman

2.8 Beispiele für Gefahren- und Risikokarten im regionalen bzw. lokalen Maßstab

2.8.1 Gefährdungskarten für Massenbewegungen infolge Sturzfluten

Von der Firma GEOKA in Trier wurden ein Verfahren (SPIRS) erarbeitet, welches auf der Basis von Geodaten eine Lokalisierung von Bereichen ermöglicht, die gegenüber Massenbewegungen infolge von Starkniederschlägen anfällig sind. Die prognostischen Gefahrenkarten werden durch Berechnung und Verschneidungen von Geodaten erstellt. Die sogenannten Ladwein-Karten stellen Räume dar, die aufgrund ihrer physikalischen Beschaffenheit (Neigung, Geologie, Böden, Vegetation, Exposition,

Grundwasserregime etc.) besonders anfällig gegenüber Massenbewegungen (z. B. Erdrutsche, Schlammlawinen, Hangbewegungen, Unterspülungen etc.) und potenziell gefährlich für Ansiedlungen sind.

2.8.2 Überflutungsrechnungen für Hangabfluss

Die Firma Geomer GmbH, Heidelberg, hat das Programm FloodArea auf Basis von ArcGIS zur Berechnung von Überschwemmungsbereichen insbesondere für Hangabfluss entwickelt.

Laut Programmbeschreibung ist eine Simulation von Starkregenereignissen mit variablem Abflussbeiwert (Hangabflussgefährdung) möglich. Integriert ist eine hydrodynamische Berechnung der überschwemmten Bereiche und der Überflutungstiefen. Dabei können auch nicht im Geländemodell enthaltenen Fließhindernissen (Deiche, Bahndämme etc.) berücksichtigt werden.
(http://www.geomer.de/ressourcenmanagement/produkte/floodarea/index.html)

2.8.3 Gefahrenkarten für Sturzfluten, Auswertung der Fallstudien

Hochwassergefahrenkarten treffen in Abhängigkeit von der Jährlichkeit des Abflusses Aussagen zu Überschwemmungsflächen, Einstauhöhen und ggf. anderen Kriterien der überschwemmten Gebiete entlang von Fließgewässern.

In Deutschland existieren nur für wenige große Gewässer (Nebenflüsse des Rheins in NRW, Neckar in Baden-Württemberg, größere Gewässer in Rheinland-Pfalz und Sachsen) solche Karten. Bisher sind die Hochwassergefahrenkarten nicht nach einheitlichen Standards erstellt worden, sondern sind von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich.

Für kleine Gewässer mit kleinen Einzugsgebieten (< 50 km²), die potenziell von Sturzfluten betroffen werden können, existieren solche Gefahrenkarten i. Allg. nicht. Nach neuen Richtlinienvorschlägen der EU sollen bis 2013 für alle Gewässer mit einem potenziell signifikanten Hochwasserrisiko Hochwassergefahrenkarten erstellt werden.

Erfahrungen aus den Fallstudien

An den größeren Gewässern sind bei fast allen Fallstudien Überschwemmungsgebietsausweisungen bzw. –Festsetzungen vorhanden, an den kleinen Gewässern, an denen die Schäden aufgetreten sind, generell nicht. Die Auswertung zeigt, dass in den meisten Fällen Schwachstellen und potenzielle Gefährdungsbereiche für die kleinen Gewässer und die kanalisierten Bereiche verwaltungsintern bekannt sind; sie werden jedoch nur in wenigen Fällen dokumentiert und veröffentlicht. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass diese Kenntnisse über die praktizierten verwaltungsinternen Beteiligungsverfahren Eingang in die kommunalen Planungen finden, auch wenn sie nicht immer Berücksichtigung finden.

In den meisten Fallstudien lagen bodenbezogene Informationen und daraus abgeleitete Produkte (beispielsweise Karte Wassergefährdete Bereiche, Bodenkonzeptkarten u. ä.) vor, allerdings in sehr heterogener Qualität. Aus diesen Quellen lassen sich grundsätzlich Hinweise auf potenzielle Sturzflutrisiken bereits anhand der Bodeneigenschaften gewinnen. Weitergehende Methoden für eine überschlägliche Ermittlung von potenziellen Überflutungsflächen, Gefahrenkarten und Risikokarten wurden in dem vorangegangenen Kapitel 2.5 vorgestellt.

Fallstudie Hamburg

In den vergangenen Jahren sind von der BSU in ihrem Zuständigkeitsbereich alle Punkte am Gewässernetz im Stadtgebiet, von denen Überflutungsgefahren ausgehen können, systematisch erfasst und untersucht worden, wie z. B. wenig leistungsfähige Durchlässe an den kleinen und mittleren Gewässern.

Diese neuralgischen Punkte wurden durch Abfragen bei den Bezirken ermittelt, die ihre Erfahrungen aus Beobachtungen bei aufgetretenen Hochwasser-Ereignissen haben.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in einheitlichen Datenblättern für alle untersuchten Punkte zusammengestellt worden. Die Datenblätter bestehen aus einem Übersichtsplan, einer Darstellung des potenziell betroffenen Bereichs, einer Beschreibung der möglichen Wirkungen und der erforderlichen Vorsorgemaßnahmen sowie Fotos und Notizen.

Abbildung 2-26: Exemplarisches Datenblatt für einen „neuralgischen Punkt“ in Hamburg Wandsbek

Die Gefahrenkarten bzw. Objektsteckbriefe stehen nur verwaltungsintern den Bezirken und Feuerwehren zur Verfügung.

Aufgabe der Datenblätter und Karten ist es, die Feuerwehr und die zuständigen Mitarbeiter in den Bezirken über die neuralgischen Punkte zu informieren; die Feuerwehr kann bei einer Unwetterwarnung die Kontrolle dieser Punkte zur Schadenvorsorge übernehmen.

Die Erfahrungen zeigen, dass der Feuerwehr hierdurch größere Einsätze erspart wurden, weil potenziellen Überflutungen vorgebeugt werden konnte.

Eine Verbesserung und Fortschreibung der Karten bzw. eine Aufnahme neuer Punkte erfolgt durch die Rückmeldungen von betroffenen Bürgern und Bezirken sowie der Auswertung von Feuerwehreinsätzen.

3 Ereignis- bzw. Katastrophenmanagement im Schadensfall

3.1 Vorgehensweise

Auf der Grundlage von ausführlichen Literatur- und Internetrecherchen wurden die Zuständigkeiten im Hochwasserfall und im Katastrophenschutz seitens der öffentlichen Hand ermittelt und aufgearbeitet. Die Rechtsgrundlagen (Landesfeuerwehr- bzw. -katastrophenschutzgesetze, vgl. Anlage 2) definieren im Grundsatz drei verschiedene Ereignistypen, die den Starkregenereignissen zugeordnet werden können: Hilfeleistung bzw. Schadensereignis, Großschadensereignis und Katastrophe. Je nach Ereignistyp übernehmen Akteure der unterschiedlichen Verwaltungsebenen (Kreis, Gemeinde, Ort) verschiedene Funktionen, wobei eine aufeinander abgestimmte Zusammenarbeit erforderlich ist. In den Fallstudien wurde parallel zu diesen Arbeiten die praktische Umsetzung dieser Regelungen bei den Ereignissen untersucht.

Im Rahmen einer Diplomarbeit, die von der URBAS-Arbeitsgruppe unterstützt wurde, wurden am Beispiel der Fallstudie Lohmar die Akteure und deren Aufgaben und Zuständigkeiten anhand von Experteninterviews vertieft untersucht.

3.2 Ereignistypologie

In den Rechtsgrundlagen wird mind. zwischen zwei, zumeist aber drei Ereignistypen unterschieden, wobei Großschadenereignisse und Katastrophen auch als einheitlicher Ereignistypus betrachtet werden. Eine Auswertung der verschiedenen Definitionen in den Ländern ist in Anlage 3 zusammengestellt. Im Einzelnen wird zwischen Schadensereignissen (des täglichen Lebens), Großschadensereignissen sowie Katastrophen unterschieden. Vereinfacht lassen sich die Ereignistypen auf der Basis der Landesgesetze folgendermaßen definieren:

Schadensereignis: bspw. Schadenfeuer (Brände), öffentliche Notstände, die durch Naturereignisse, Einstürze, Unglücksfälle und dergleichen verursacht sind, lebensbedrohliche Lagen von Menschen und Tieren, andere Notlagen für Menschen und Tiere, die durch einen Einsatz der örtlich zuständigen Feuerwehr bekämpft werden können

Großschadensereignis: Schadensereignisse, zu deren Bekämpfung nachbarliche (gemeinde- oder kreisüberschreitende) Hilfe mehrere Feuerwehren und anderer Hilfsdienste unter der einheitlichen Leitung einer aus der jeweils zuständigen Feuerwehr gebildeten Einsatzleitung benötigt wird

Katastrophe: Großschadensereignisse, die durch Kräfte der Feuerwehr und des Rettungsdienstes und trotz Nachbarschaftshilfe nicht in angemessener Zeit beseitigt werden können und den Einsatz der Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes unter einheitlicher Führung der jeweils zuständigen Katastrophenschutzbehörde erfordern

In 13 (von 15) URBAS-Fallstudien liegen zu den untersuchten Ereignissen für 16 Ereignisse Angaben zum Einsatz der Feuerwehren und Hilfskräfte vor. Bei neun Ereignissen handelte es sich um Starkregen mit einer 100-jährlichen oder selteneren Eintrittswahrscheinlichkeit; die übrigen Ereignisse werden mit einer 2- bis 50-jährlichen Wahrscheinlichkeit eingestuft. Dabei wurden insgesamt zwei Ereignisse als Katastrophe eingestuft (Hamburg und Zwickau), wobei ein Ereignis auf ein Flusshochwasser zurückzuführen ist (Zwickau). Weder in der Freien und Hansestadt Hamburg noch in Sachsen wird rechtlich zwischen Großschadensereignissen und Katastrophen begrifflich differenziert. In den übrigen Fällen werden die Ereignisse als Großschadensereignis oder Schadensereignis mit Nachbarschaftshilfe

eingestuft. In Berlin werden sowohl Einsätze aufgrund eines 10- wie eines 100-jährlichen Starkregens gleichartig als "Ausnahmezustand der Stufe 1" eingestuft (vgl. Tabelle Anlage 3).

Aufgrund ihrer relativ geringen räumlichen Ausdehnung und kurzen Dauer dürften Starkregen und Sturzfluten kaum die Intensität von Ereignissen erreichen, auf die die Definition der Katastrophe zutrifft. Tatsächlich handelt es sich ja bei den bislang in der Bundesrepublik aufgetretenen wasserbedingten Katastrophen um lang andauernde großräumig ablaufende Ereignisse wie bspw. die Flusshochwasser der letzten Jahre an Rhein, Oder, Donau und Elbe oder auch Sturmfluten.

3.3 Recht und Organisation von Hilfeleistung und Katastrophenschutz

3.3.1 Rechtliche Grundlagen

Starkregenereignisse und Sturzfluten mit ihren unmittelbaren Folgen werden im öffentlichen Bewusstsein häufig als katastrophales Ereignis erlebt. Diese Ereignisse sind Anlass und Gegenstand von Hilfs- und Rettungseinsätzen von Feuerwehren, Polizei, Rettungsdiensten und anderen Hilfskräften. Planung und Steuerung dieser Einsätze obliegt den Katastrophenschutzbehörden und den ihnen zugeordneten Kräften.

Wenngleich sich der Natur der Sache folgend die konkreten Einsätze kaum im Einzelnen vorhersehen und damit planen lassen, haben die Einsatzkräfte im Lauf der Jahre vielfältige Erfahrungen mit dem Ereignistypus gesammelt und die hieraus gewonnenen Erkenntnisse in Einsatzregeln, technischen Ausrüstungsgegenständen und Übungen umgesetzt. Im konkreten Fall jedoch zeigt sich häufig, dass sich theoretische Übungen nicht ohne weiteres auf die tatsächlichen Abläufe übertragen lassen.

Nach Abwehr der unmittelbaren Gefahrensituationen steht die Bewältigung der Folgen im Vordergrund privater und kommunaler Aktivitäten (Aufräumarbeiten, Schadensbeseitigung, Schadensbegleichung etc.). Dies ist häufig mit einigem Konfliktpotenzial verbunden, sofern bspw. Betroffene feststellen müssen, dass sie über keinen Versicherungsschutz für das Schadensereignis verfügen und Dritte wie bspw. die Gemeinde oder der Abwasserbeseitigungspflichtige nicht herangezogen werden können.

Feuerschutz und -bekämpfung, Hilfeleistung und Katastrophenschutz liegen in der Zuständigkeit der Länder, der Bund ist für den Zivilschutz (im Kriegsfall) zuständig. Gleichwohl hilft der Bund im Katastrophenfall bei Bedarf den Ländern mit Bundeskräften aus (Technisches Hilfswerk, ggf. Bundeswehr) (gem. § 1 Abs.(2) Nr. 3 THW-HelfRG).

Die Innenministerkonferenz erörtert und beschließt Leitlinien / Orientierungshilfen für die Gestaltung des Katastrophenschutzes. Zuständigkeiten, Abläufe, Rechte und Pflichten der Beteiligten sind in den Landesfeuerwehr- und Landeskatastrophenschutzgesetzen geregelt, in einigen Ländern sind diese zu einem einheitlichen Landesfeuerwehr- und -katastrophenschutzgesetz zusammengefasst (Brandenburg, Bremen, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Thüringen).

3.3.2 Zuständigkeiten

Die Zuständigkeiten und Abläufe zur Bekämpfung der Ereignisse und ihrer Folgen für Menschen, Tiere und Sachwerte unterscheiden sich zwischen den Ländern. Eine Übersicht über die Verwaltungsgliederung beim Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern zeigt Anlage 4. In Anlage 5 sind die Aufgaben und Zuständigkeiten bei Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern zusammengestellt. In der Regel sind für die Bekämpfung von Schadensereignissen und Großschadensereignissen die Gemeinden – ggf. in gegenseitiger Hilfe und dabei auch unter Steuerung durch eine beim Kreis angesiedelte Zentralen Einsatzleitung – für den Katastrophenschutz die Kreise und kreisfreien Städte als Untere Katastrophenschutzbehörde zuständig; die Katastrophenschutzbehörde bedient sich zur Leitung der Einsätze zumeist der beim Kreis angesiedelten Zentralen Einsatzleitung. Dehnt sich ein Katastrophenereignis über das Gebiet mehrerer Kreise und kreisfreier Städte aus, kann in einigen Ländern die Zuständigkeit auf die höhere oder bei besonders extremen Ereignissen die

höchste Katastrophenschutzbehörde übergehen (i. d. R. Bezirksregierung bzw. zuständiges Ministerium, Landesregierung).

Um ihre Aufgaben bei Vorbeugung und Abwehr von Bränden, Hilfeleistungen usw. erfüllen zu können, sind die Städte und Gemeinden verpflichtet, auf ihre Kosten eine den örtlichen Verhältnissen entsprechende leistungsfähige Feuerwehr mit einem geordneten Lösch- und Rettungsdienst aufzustellen, auszurüsten und zu unterhalten (bspw. § 3 Abs.1 FWG BW).

Je nach landesrechtlicher Regelung sind den Gemeinden, Kreisen, Bezirksregierungen und Ländern und ihren Behörden und Ämter noch weitere Kompetenzen und Zuständigkeiten, Aufsichts- und Weisungsfunktionen etc. zugewiesen.

3.3.3 Einsatzleitung

Die Regelung für die Einsatzleitung vor Ort richtet sich nach der Intensität des Schadensereignisses. Bei kleineren und mittleren Ereignissen liegt sie bei einer örtlichen Einsatzleitung, d. h. dem Leiter des eingesetzten Zuges der Feuerwehr. Auch sofern dieser Nachbarschaftshilfe angefordert hat, verbleibt die Einsatzleitung zumeist bei der örtlichen Einsatzleitung. Erst wenn diese den Gesamtablauf nicht (mehr) überblicken kann, geht die Einsatzleitung auf eine zentrale Einsatzleitung über, die die verschiedenen Einsatzkräfte steuernd lenkt. In verschiedenen Fallstudien wurde bereits bei oder kurz nach Alarmierung aufgrund einsetzender Sturzfluten eine zentrale Einsatzleitung eingesetzt bzw. aktiviert. In einzelnen Fällen hat überdies der Bürgermeister die Einsatzleitung übernommen.

3.3.4 Gegenseitige Hilfe und Mitwirkung bei Feuerwehreinsätzen und im Katastrophenschutz

Sofern sich Schadensereignisse nicht mit eigenen Kräften bewältigen lassen, haben sich die Gemeindefeuerwehren gegenseitig auf Anforderung Hilfe zu leisten, sofern die Sicherheit in der eigenen Gemeinde dadurch nicht wesentlich gefährdet wird. In nahezu allen dokumentierten Einsätzen in den Fallstudien erfolgte eine derartige Nachbarschaftshilfe auf Anforderung der Feuerwehren vor Ort. In Anlage 6 sind die entsprechenden Regelungen über Nachbarschaftshilfe und Mitwirkung bei Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern zusammengestellt. Die Hilfen wurden relativ früh nach Alarmierung angefordert, was auf den schnellen Ablauf der durch Starkregen verursachten Sturzfluten zurückzuführen ist.

Eine zur gegenseitigen Hilfe vergleichbare Regelung besteht auch im Bereich des Katastrophenschutzes. Hier kann die Katastrophenschutzbehörde eines Bezirkes, d.h. i. d. R. eines Kreises oder einer kreisfreien Stadt, Hilfe bei benachbarten Katastrophenschutzbehörden anfordern, sofern sie mit ihren eigenen Kräften die Katastrophe nicht bewältigen kann. Im Fall des Katastrophenschutzes ist im Gegensatz zum Fall der gegenseitigen Hilfe aufgrund eines Schadensereignisses der Einsatz des Technischen Hilfswerkes in den Landesgesetzen zumeist ausdrücklich einbezogen.

Neben der gegenseitigen Hilfeleistung der Feuerwehren und Hilfsdienste über die Gemeindegrenzen hinaus spielen bei der Bewältigung von Starkregen und Sturzfluten die Regelungen zur Mitwirkung anderer Behörden möglicherweise eine Rolle. In den Katastrophenschutzgesetzen finden sich Regelungen, die hierzu bestimmen, dass Landesbehörden, die Landkreise, die Gemeinden, die kommunalen Zweckverbände und die sonstigen Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts, zur Mitwirkung im Katastrophenschutz verpflichtet sind. Im Fall von Starkregen und Sturzfluten sind dies vor allem die Wasserbehörden oder die Abwasserbeseitigungsbetriebe, die mit ihren Kompetenzen, Mitarbeitern und Fahrzeugen und Geräten zum Einsatz kommen. Allerdings sind die Wasserbehörden wie auch die anderen Ordnungsbehörden bereits aus ihren eigenen Zuständigkeitsregelungen heraus dazu verpflichtet.

In den Fallstudien ist teilweise in kurzer Zeit eine große Anzahl von Hilfsanforderungen aus der Bevölkerung bei den Feuerwehren eingegangen. Da diese nicht alle gleichzeitig abgearbeitet werden können, erfolgt eine Prioritätensetzung durch die Einsatzleitung vor Ort oder im Einsatzstab.

3.3.5 Hilfeleistung und Katastrophenschutz bei Starkregenereignissen

Im Vergleich der in den Fallstudien dokumentierten Einsätze von Feuerwehren und Hilfsdiensten zur Bewältigung der Folgen von Starkregen und Sturzfluten zeigt sich, dass die Einsatzkräfte i. d. R. technisch gut vorbereitet sind und effektiv und schnell den Betroffenen Hilfe leisten können. Für den Einzelnen mag es möglicherweise im Schadensfall unverständlich erscheinen, dass ihm nicht sofort nach Alarmierung der Feuerwehr Hilfe geleistet wird, doch können die Einsatzkräfte gerade bei einer großen Anzahl von Alarmierungen in kurzer Zeit nicht alle Einsatzorte gleichzeitig anfahren.

3.4 Maßnahmen der Katastrophenabwehr

3.4.1 Sofortmaßnahmen der Einsatzkräfte beim Schadensereignis

Wegen der Schnelligkeit und Heftigkeit der Ereignisse - und die Gefährdung von Menschen ist nicht selten - sind die Maßnahmen „**Retten und Evakuierung**“ bei diesen Ereignissen fast immer erforderlich. Bei allen Ereignissen ist auch das unverzügliche Räumen und Absperren von Gefahrenzonen (Straßen, Unterführungen etc.) notwendig und es funktioniert meistens auch gut.

Eine **Notversorgung** für die Bevölkerung ist hingegen selten notwendig, eine Versorgung der Einsatzkräfte ist fast immer erforderlich, weil die Einsätze (insbesondere durch den Aufwand für die Schadensbehebung) häufig mehr als einen Tag dauern. Es gibt eine Reihe von **Sicherungsmaßnahmen**, die durch die Einsatzkräfte durchgeführt werden, wie beispielsweise die Beseitigung von Abflusshindernissen oder der Aufbau von Objektschutzeinrichtungen mit Sandsäcken oder mobilen Schutzelementen. Hier gibt es gute Beispiele in den Kommunen, wie diese Maßnahmen auch vorbeugend konzipiert, Zuständigkeiten klar geregelt und die Handhabung geübt werden können.

Die weiteren Aktivitäten der Einsatzkräfte umfassen **schadensmindernde Maßnahmen**, wie das Leerpumpen und Räumen von Kellern, Tiefgaragen und Unterführungen, die Beseitigung von Schlamm und Geröll, die Reinigung etc. Bei diesen Maßnahmen spielt die **Nachbarschaftshilfe** eine herausragende Rolle, weil die vorhandenen Einrichtungen und Kapazitäten der Einsatzkräfte meist beschränkt sind.

Tabelle 3-1: Sofortmaßnahmen der Einsatzkräfte und der Betroffenen beim Schadensereignis, Quelle: Lotz, 2005 und eigene Ergänzungen

Handlungsbereich	**Maßnahmen**
Aufbau der Organisation	• Einrichten der Organisationsstruktur und der Informationswege
Einschätzen der Gefahrenlage	• Begehung, Beobachtung des betroffenen Gebiets und der schadensauslösenden Prozesse
Warnen und Information über Gefahrenlage	• Beobachtung der weiteren Wetter- und Abflussentwicklung • Laufende Information über Ereignis • Information und Warnung der Bevölkerung durch die Einsatzkräfte

Handlungsbereich	**Maßnahmen**
Retten, Räumen und Evakuierung	• Retten aus Zwangslagen • Evakuierung von Menschen und Tieren • Erste Hilfe • Aufbau von Notwegen und Stegen • Bereitstellung von Evakuierungsfahrzeugen (Hubschrauber, Boote usw.)
Notversorgung	• Versorgung, Betreuung der Betroffenen, ggf. Notunterkünfte • Versorgung der Einsatzkräfte • Strom, Wasser, Kommunikation
Absperren von Gefahrenzonen	• Sicherungszonen an Hochwasserschutzeinrichtungen (Deiche usw.) einrichten • Straßensperrungen überfluteter Straßen und Unterführungen • Sicherung bei Brücken und Uferabbrüchen • Sicherungsmaßnahmen an Gebäuden • Abstellen von Stromversorgung, ggf. Gas und Wasser
Sicherungsmaßnahmen und schadensmindernde Maßnahmen durch Einsatzkräfte	• Aufbau von temporären Hochwasserschutzsystemen • Aufbau von Notdeichen (Sandsäcke usw.) • Überwachung / Kontrolle von Hochwasserschutzeinrichtungen • Deichverteidigung • Beseitigung von Abflusshindernissen / Verklausungen • Freihalten von Rechen und Einläufen • Umleitung von Gewässern • Pumpeinsätze zur Entlastung der Kanalisation • Aufbau bzw. Anbringen/ Schließen von Objektschutzeinrichtungen (Sandsäcke, Hochwasserklappen, Dammbalken, Abdichtungen) • Abdichten von Kanaldeckeln • Leerpumpen und Räumen von Kellern und Tiefgaragen • Leerpumpen von Unterführungen • Beseitigung von Schlamm und Geröll, Reinigung • Aufbau und Kontrolle von Ölsperren • Verbringung von Gütern und Objekten aus den gefährdeten Bereichen

Handlungsbereich	Maßnahmen
Sicherungsmaßnahmen durch Betroffene	• Private Vorsorge zur Versorgung mit Nahrungsmitteln, Medikamenten und Schutzeinrichtungen (z. B. Sandsäcke bereithalten) • Notbeleuchtung • Sicherungsmaßnahmen durchführen (Strom, Gas, Öltanks, gefährliche Flüssigkeiten) • Informationsmöglichkeiten sicherstellen: Radio, TV, Internet • Überflutete oder überflutungsgefährdete Bereiche meiden • PKW ab einer Wassertiefe über 50 cm verlassen • Nachbarn warnen • Regelungen für Abwesenheit treffen • Türen und Fenster verschließen/sichern/abdichten • Notstromaggregat bereithalten • Funktionsfähigkeit der Entwässerungsanlagen prüfen • Einrichtungsgegenstände aus Keller und anderen gefährdeten Bereiche räumen • Nicht gegen Rückstau gesicherte Objekte mit Verschlusstellern, Kanalblasen etc. verschließen

Viele dieser Sofortmaßnahmen sind bei den Ereignissen der Fallstudien zur Anwendung gekommen. Zu einzelnen Handlungsfeldern liegen eine Reihe von Informationsmaterialien und Broschüren vor, die für die Vorbereitung aus diesen Ereignissen genutzt werden können.

3.4.2 Kurz- und mittelfristige Maßnahmen zur Schadensminderung nach einem Ereignis

Zu den **kurz- und mittelfristigen Maßnahmen** der Schadensbehebung nach dem Ereignis zählen technische Maßnahmen zur Beseitigung von Engstellen im Gewässer, Kanal- und Sinkkastenräumung, Unterstützung der Bevölkerung bei schadensmindernden Maßnahmen (Beratung, Trocknungsgeräte), Unterstützung bei Sperrmüll-, Schlamm- und Abfallbeseitigung sowie weitere Maßnahmen. Immer häufiger geht es auch um die Beweissicherung, Ursachenrecherche und die Bearbeitung rechtlicher Auseinandersetzungen. Die folgenden Maßnahmen wurden bei den untersuchten Fallstudien umgesetzt:

- Informationstermine und Beratung für Anwohner
- Technische Maßnahmen (Beseitigung von Engstellen im Gewässer, Kanal- und Sinkkastenräumung, Technik Feuerwehr)
- Unterstützung bei schadensmindernden Maßnahmen (Beratung, Trocknungsgeräte)
- Unterstützung bei Sperrmüll, Schlamm und Abfallbeseitigung
- Unterstützung bei Schadensschätzung
- Unterstützung bei Spendensammlung und Schadensregulierung
- Beauftragung div. Gutachten zur Gefahren- und Risikoanalyse

Ein wesentlicher und nicht zu unterschätzender Teil dieser Maßnahmen wurde in Nachbarschaftshilfe umgesetzt, u. a. eine Erklärung dafür, dass die Schäden häufig sehr schnell beseitigt wurden.

3.4.3 Erfahrungen aus den Fallstudien

Im Querschnitt der Fallstudien zeigt sich, dass Starkregen und Sturzfluten die Hilfsdienste vor große Herausforderungen stellen, beispielsweise:

- Innerhalb kurzer Zeit ist häufig eine große Anzahl von Bürgern durch Überflutungen betroffen und fordert Hilfe an.
- Der Ablauf von Sturzfluten aufgrund von Starkregen lässt sich kaum vorhersehen und die Folgenbewältigung insoweit kaum vorausplanen; potenziell betroffene Gebiete könnten jedoch über eine Gefahren- und Risikoanalyse ermittelt werden.
- Ereignistypus und Ereignisablauf sind den Hilfskräften aufgrund ihrer relativen Seltenheit möglicherweise aus Übungen, nicht jedoch aus der Praxis bekannt.

Die bestehenden, in den Landesfeuerwehr- und den Landeskatastrophenschutzgesetzen niedergelegten Rechtgrundlagen zur Hilfeleistung und zum Katastrophenschutz bieten den örtlichen und überörtlichen Einsatzkräften grundsätzlich die notwendigen Möglichkeiten, die Folgen von Starkregen und Sturzfluten zu bewältigen. Fehlende oder unsachgemäß ausgerichtete Regelungsbereiche konnten in den untersuchten URBAS-Fallstudien nicht gefunden werden und wurden auch von den sachlich zuständigen Gesprächspartnern nicht genannt.

Die in den Fallstudien dokumentierten Einsätze von Feuerwehren und Hilfsdiensten zur Bewältigung der Folgen von Starkregen und Sturzfluten zeigen, dass die Einsatzkräfte i. d. R. technisch gut vorbereitet sind und effektiv und schnell den Betroffenen Hilfe leisten können. Für den einzelnen Betroffenen mag es möglicherweise im Schadensfall unverständlich erscheinen, dass ihm nicht sofort nach Alarmierung der Feuerwehr Hilfe geleistet wird, doch können die Einsatzkräfte gerade bei einer großen Anzahl von Alarmierungen in kurzer Zeit nicht alle Einsatzorte gleichzeitig anfahren.

Hier könnte es in Zukunft teilräumlich zu Problemen kommen, sofern die Bereitschaft in der Bevölkerung zur aktiven Teilnahme an den Freiwilligen Feuerwehren weiterhin nachlässt und die Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen ansteigt. Entlastend kann in diesem Fall die Aufklärung und Schulung potenziell von Sturzfluten betroffenen Bürgern (Gebäude- und Hauseigentümer und -nutzer) zur Vorbeugung vor den Risiken sein, d. h. insbesondere die baulichen Schutzmöglichkeiten gegen das Eindringen von oberirdisch abfließendem Niederschlagswasser und Sturzfluten.

In den Fallstudien haben die Akteure die Einsätze zumeist als gut und erfolgreich eingeschätzt. Die Fallstudien haben überraschenderweise gezeigt, dass die seltenen Ereignisse mit ihrem extremen Ablauf noch vergleichsweise gut durch die Einsatzkräfte beherrscht werden. Eine genaue Analyse der Einsätze und möglicherweise aufgetretener Probleme bietet die Chance, die Einsätze künftig zu verbessern.

Einschätzen der Gefahrenlage: Beispiel Hersbruck

Um sich einen Überblick über die Lage in den betroffenen Gebieten zu verschaffen, hat es sich in Hersbruck bewährt, diese zunächst mit neutralen Fahrzeugen anzufahren und auf der Basis der Beobachtungen Einsatzprioritäten festzulegen. So wird vermieden, dass sich die Bevölkerung allein gelassen fühlt, wenn Feuerwehrfahrzeuge durchfahren und nicht zur Hilfeleistung anhalten.

Organisation der Einsätze

Für die Feuerwehren ist es bei durch Starkregen bedingten Großeinsätzen hilfreich, wenn betroffene Bürger, denen aufgrund der hohen Anzahl von Hilfegesuchen nicht direkt geholfen werden konnte und die sich dann selbst geholfen haben, der Einsatzleitung eine Entwarnung mitteilen würden, sodass diese Einsatzorte nicht mehr angefahren werden müssen. Diese Bitte an die Bevölkerung könnte beispielsweise Gegenstand einer gemeindlichen Information über Starkregen- und Sturzflutrisiken sein.

Einsatzregeln: Beispiele aus Fallstudien

In der Natur der Sache liegt es, dass sich der Ablauf von Sturzfluten durch Starkregen nur schwer vorhersehen und vor allem ihre Bewältigung kaum vorausplanen lässt. Allerdings haben die Feuerwehren in häufiger von Sturzfluten betroffenen Städten aufgrund ihrer Erfahrungen bestimmte Einsatzregeln entwickelt, mit deren Hilfe sich die Ereignisabläufe durchaus positiv beeinflussen lassen:

- In Hamburg räumen die Feuerwehren bei entsprechenden Vorwarnungen des DWD die bekannten Schwachstellen im Gewässernetz von Abfluss behinderndem Material wie Abfällen, Holz etc., sodass die Rückstaugefahr in diesen Bereichen vermindert wird.
- In Starnberg wurde die Feuerwehr darin geschult, bei Starkregenereignissen den Schmeisser Weiher zu beobachten und ggf. den Grundablass zu öffnen, um das aufstauende Wasser geordnet abführen zu können.
- In Landau an der Isar bestehen Vereinbarungen, dass die Feuerwehren bei Starkregen die Regenrückhaltebecken kontrollieren und ggf. Drosseln/Schächte öffnen, um ein unkontrolliertes Überlaufen zu verhindern.

Übungen

Es hat sich gezeigt, dass durch eine genaue Analyse vergangener Ereignisse im Ort wie in der Nachbarschaft Erkenntnisse über tatsächliche und mögliche Ereignisabläufe bei Starkregen gewonnen und der Einsatzplanung zugänglich gemacht werden können; Einsätze lassen sich insofern auch zum Gegenstand von gezielten Übungen zum Training der Abläufe machen.

Als Hilfe für die **Planung von Einsätzen** kann überdies das DWA-Merkblatt 103 "Hochwasservorsorge für Abwasseranlagen" als Orientierung herangezogen werden, das Schutzziele für Abwasseranlagen anhand der Überschwemmungsintensität abgeleitet. Dies erfolgt anhand des Ereignistypus Flusshochwasser, grundsätzlich lässt sich die Einstufung auch auf Starkregen- und Sturzflutereignisse anwenden, sofern die Handlungsanweisungen systematisch auf die Besonderheiten des Ereignistyps und weitere Schutzgüter ausgedehnt werden (Straßen, Unterführungen, Grundstücksflächen, Gebäude, Unter- und Erdgeschosse, Infrastrukturen etc. (VDI, 2006).

4 Kommunale Hochwasservorsorge in Bezug auf Sturzfluten

4.1 Ziele und Maßnahmen des kommunalen Hochwasser-Risikomanagements

Die Ziele und Maßnahmen des kommunalen Hochwasser-Risikomanagements werden auf dem Hintergrund der rechtlichen Anforderungen, der örtlichen Situation, der festgestellten Risikoausprägung, den bereits vorhandenen Schutzeinrichtungen und ggf. unter Berücksichtigung von Kosten / Nutzenaspekten von den Kommunen und Kreisen selbst festgelegt.

Die Analyse der rechtlichen und normativen Anforderungen im Wasserrecht (vgl. Kap. 2.3) im Planungs- und im Ordnungsrecht (Kap. 2.4.6) hat gezeigt, das den Kommunen große Handlungsspielräume bei der Ziel- und Maßnahmenfestlegung offen stehen.

So werden im Allgemeinen keine Schutzziele für kleine Gewässer beispielsweise in Form von zulässigen Versagenswahrscheinlichkeiten der Gewässer, Ableitungssysteme und Bauwerke angegeben. Allerdings wird häufig der Schutz vor einem 100-jährlichen Abfluss in der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen verwendet, insbesondere sind oftmals öffentliche Zuschüsse mit dieser Auflage verknüpft.

Im Unterschied dazu sind für die öffentliche Kanalisation die zulässigen Versagenswahrscheinlichkeiten festgelegt. Hier besteht dennoch ein relativ großer Entscheidungsspielraum, da die angewendeten

Bemessungsverfahren es ermöglichen, größere oder geringere Sicherheitsspielräume zuzulassen. Weiterhin ist es den Kommunen weitgehend freigestellt, die Sanierung oder hydraulische Verbesserung der bestehenden Kanalisation nach eigenen Schwerpunkten und Möglichkeiten anzugehen, mit Ausnahme der Einleitungen in die Gewässer, für die wasserrechtliche Regelungen gelten.

Soweit Schutzziele oder Anforderungen im Planungsrecht angegeben sind, unterliegen sie sehr häufig der Abwägung und bieten somit einen breiten Entscheidungskorridor für gemeindliche Zielfestlegungen (vgl. Kap. 2.4.6).

Den von den Kommunen festgelegten Zielen des Hochwasserrisikomanagements sollten Handlungsbereiche mit konkreten und überprüfbaren Teilzielen zugeordnet werden. Die Handlungsbereiche können sich beispielsweise an den Vorschlägen der LAWA orientieren, die als Handlungsbereiche die Flächenvorsorge, den natürlichen Wasserrückhalt, den technischen Hochwasserschutz, die Bauvorsorge, die Risikovorsorge, die Informationsvorsorge und die Verhaltensvorsorge aufgezeigt hat. Ergänzend sollten die Vorhaltung und Vorbereitung der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes sowie die Hochwasserbewältigung als Handlungsbereiche festgelegt werden.

4.2 Vorgehensweise bei der Planung und Umsetzung von vorbeugenden Maßnahmen in der Kommune

Ausgangspunkt des kommunalen Risikomanagements bildet die Festlegung der zuständigen Ämter, der jeweils zugewiesen Aufgaben und gegebenenfalls der Koordinierungsverfahren innerhalb der Behörden zur Abstimmung der Vorgehensweise.

In der ersten Bearbeitungsstufe sollte für das Gemeindegebiet eine vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos erfolgen. Grundlage der Bewertung bildet die Auswertung der bisher aufgetretenen Schadensfälle durch Starkregen und Sturzfluten. Die in URBAS erarbeiteten Fallstudien können hierbei als Bearbeitungsmuster angesehen werden. Hierbei sollten die Erfahrungen und Kenntnisse der befassten Ämter, sonstiger mit der Thematik befassten Institutionen und ggf. Bürgeranregungen berücksichtigt und aufgearbeitet werden.

Hilfreich für diese Bewertung kann eine überschlägliche Bestimmung der potenziellen Überflutungsgebiete bei Starkregen sowie der besonders überstaugefährdeten Kanalnetzstränge sein (vgl. Kap. 2.5). Ergänzend zu der Überflutungsabschätzung können auch die aufgezeigten Methoden zur Ermittlung besonderer Gefahrenpunkte, beispielsweise zur Ermittlung von kritischen Bauwerken oder Gewässerumlegung, angewendet werden.

Die potenziellen Überflutungsgebiete können mit den vorhandenen Nutzungen überlagert werden, sodass die Schadensschwerpunkte und gefährdete empfindliche Infrastruktureinrichtungen ermittelt werden können.

Auf der Grundlage dieser Bewertung kann entschieden werden, ob eine Ermittlung und Erstellung von Gefahrenkarten und Risikokarten mit detaillierten hydrologischen und hydraulischen Methoden für Abflussbahnen, Gewässer und Kanalnetz erforderlich und angemessen ist (vgl. Kap. 2.5.7).

Nach der Einschätzung der festgestellten Risikoausprägung und den bereits vorhandenen Schutzeinrichtungen sollten die Ziele und Handlungsbereiche des kommunalen Hochwasserrisikomanagements festgelegt, dokumentiert und durch die kommunalen Gremien bestätigt werden.

Im Anschluss erfolgt eine Konzeption der Maßnahmen entsprechend den maßgeblichen Handlungsbereichen und eine Festlegung der Prioritäten und Rangfolgen der Maßnahmenumsetzung. Die Fortschritte und Erfolge bei der Umsetzung des Plans sollten überwacht und dokumentiert werden.

Entscheidend für die Umsetzung der Maßnahmen und die Einbeziehung der Bürger in die Eigenvorsorge ist die Information und Anhörung der Öffentlichkeit zu den ergriffenen Maßnahmen und Aktionen.

4.3 Bau- und planungsrechtliche Grundlagen für den Umgang mit Sturzfluten auf kommunaler Ebene

4.3.1 Städtebauliche Handlungsmöglichkeiten

In den vorangegangenen Kapiteln wurde aufgezeigt, dass durch Starkregen verursachte Sturzfluten Inhalt und Gegenstand städtebaulicher Planung und des Abwägungsprozesses sein können. Im Folgenden soll gezeigt werden, dass das Planungsrecht auch über das materielle und verfahrensmäßige Instrumentarium verfügt, mit dem sich Schutz und Vorsorge vor Sturzfluten in Baugebieten erreichen lassen.

Öffentlichkeits- und Behördenbeteiligung

Öffentlichkeits- und Behördenbeteiligung gem. §§ 3ff. BauGB bieten im Hinblick auf die Ermittlung von Gefahren durch Sturzfluten vielfältige Chancen und Möglichkeiten:

- Die von einer Planung berührten Bürger und Anwohner eines Gebietes verfügen häufig über detaillierte Ortskenntnisse und Kenntnisse von besonderen Vorkommnissen wie dem Ablauf von Starkregenereignissen. In verschiedenen Fallstudien wurde berichtet, dass Bürger über regelmäßige Straßenüberflutungen nach Starkregen berichteten, von denen die Gemeinde oder die Behörden keine Kenntnis hatten.
- Das Beteiligungsverfahren bietet die grundsätzliche Möglichkeit, Bürger über potenzielle Gefahren und Einschränkungen durch Starkregen und Sturzfluten in Baugebieten und die dagegen vorgesehenen Maßnahmen zu informieren. Allerdings stößt dies auf verschiedene Einschränkungen.
- Bebauungspläne werden zumeist für Gebiete aufgestellt, die noch keine Bewohner haben; Ortskenntnisse liegen insofern eher nicht vor. Allerdings haben in verschiedenen Verfahren Bürger auf mögliche Überlastungen der bestehenden Kanalisation hingewiesen, an die noch ein neues Baugebiet angeschlossen werden sollte.
- Im Rahmen von Bauleitplanungen werden so viele verschiedene und wichtige Belange behandelt, dass die Frage der Sturzfluten allein schon vom zeitlichen Umfang eher am Rande behandelt wird.
- Einschränkend ist jedoch zu konstatieren, dass die Öffentlichkeitsbeteiligung in Bauleitplanverfahren zumeist so formalisiert, dass eine eher informative und vorsorgende Darstellung von Vorsorgemaßnahmen vor Sturzfluten sich nur schlecht integrieren lässt und voraussichtlich auch nicht alle potenziell Betroffenen erreicht.

Im Rahmen der Behördenbeteiligung sind die Wasserbehörden und die Abwasserbetriebe in der allergrößten Zahl der Verfahren zu beteiligen. Hier können sie alle sie betreffenden Belange formulieren und in das Abwägungsverfahren einbringen. Bei geeigneter Verfahrensgestaltung bietet sich überdies die Chance zu einem konstruktiven Abstimmungsverfahren. Das Fallbeispiel Lübeck zeigt, wie und in welchem Umfang die Behördenbeteiligung zur Vorsorge vor Sturzflutgefahren offensiv genutzt werden kann.

Flächennutzungsplanung

Neben den verfahrensbezogenen Regelungen verfügt das Städtebaurecht über eine ganze Reihe von materiellen Regelungsmöglichkeiten, mit denen den Gefahren vor Sturzfluten vorsorgend begegnet werden kann. In der vorbereitenden Bauleitplanung - dem Flächennutzungsplan trifft die Gemeinde die Vorentscheidung über die bauliche und sonstige Nutzung ihres Gemeindegebietes (§ 5 Abs. Abs. 1 BauGB). Damit trifft sie auch die Vorentscheidung über die Freihaltung oder bauliche Inanspruchnahme von Flächen, die für die Rückhaltung oder Ableitung von Sturzfluten von Bedeutung sind oder die aufgrund ihrer Lage und topografischen und sonstigen Eigenschaften besonders durch Sturzfluten gefährdet sind.

Unmittelbaren Bezug zur Hochwasservorsorge hat die Möglichkeit, die Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind, darzustellen (§ 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB). Darüber hinaus bestehen vielfältige Möglichkeiten, mittelbar auf eine hochwasserangepasste Nutzung der Gemeindefläche hinzuwirken, wie Tabelle 4-1 zeigt.

Neben den Darstellungsmöglichkeiten für angepasste Nutzungen verfügt der Flächennutzungsplan über weitere Möglichkeiten, auf Gefahren durch Sturzfluten hinzuweisen. Gem. § 5 Abs. 3 Nr. 1 BauGB sollen im Flächennutzungsplan Flächen, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen gegen äußere Einwirkungen oder bei denen besondere bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Naturgewalten erforderlich sind, gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung hat eine Warnfunktion für mögliche Nutzer der Flächen, insbesondere Eigentümer und Bauwillige von Bauflächen, die im Flächennutzungsplan dargestellt werden, aber auch an Genehmigungs- und Bewilligungsbehörden und schließlich die Gemeinde selbst im Hinblick auf möglicherweise aus dem Flächennutzungsplan zu entwickelnde Bebauungspläne (Frerichs et al., 2003 S. 50).

Tabelle 4-1: Hochwasserrelevante Darstellungsmöglichkeiten des Flächennutzungsplans; Quelle: Forschungsgruppe Stadt + Dorf, 2001 in Anlehnung an Dapp, Heiland

Maßnahmen	**Darstellungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplan**	
	BauGB	**Inhalt**
Retentionsraumsicherung und -erweiterung	§ 5 Abs. 2 Nr. 7	Wasserflächen, Häfen und die für die Wasserwirtschaft vorgesehenen Flächen sowie die Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind (z. B. Flächen für Deiche, Dämme, Gräben, Vorfluter und die freizuhaltenden Abfluss- und Retentionsgebiete (vgl. Lüers, 1996, a.a.O., S. 241)
	§ 5 Abs. 2 Nr. 5	Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe
	§ 5 Abs. 2 Nr. 9a	Flächen für die Landwirtschaft
	§ 5 Abs. 2 Nr. 9b	Flächen für Wald
	§ 5 Abs. 2 Nr. 10	Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
Rückhalt von Niederschlagswasser in der Fläche	§ 5 Abs. 2 Nr. 4	Flächen für Versorgungsanlagen, für die Abfallentsorgung und Abwasserbeseitigung, für Ablagerungen sowie für Hauptversorgungs- und Hauptabwasserleitungen
	§ 5 Abs. 2 Nr. 1	Begrenzung der neu für die Bebauung vorgesehenen Flächen und Beschränkung der Art und des Maßes der baulichen Nutzung
	§ 5 Abs. 2 Nr. 5	Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe
	§ 5 Abs. 2 Nr. 10	Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft

Maßnahmen	**Darstellungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplan**	
	BauGB	**Inhalt**
Verringerung des Schadenspotenzials	§ 5 Abs. 2 Nr. 1	Begrenzung der neu für die Bebauung vorgesehenen Flächen und die Beschränkung der Art und des Maßes der baulichen Nutzung
	§ 5 Abs. 2 Nr. 5	Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe
	§ 5 Abs. 2 Nr. 10	Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft

Im Hinblick auf die Maßstäblichkeit von Sturzfluten ist diese Warnfunktion besonders wichtig, da damit tatsächlich Flächen gekennzeichnet werden können, die grundsätzlich bebaut werden könnten und innerhalb derer lediglich (kleinere) Teilbereiche aufgrund ihrer besonderen Eigenschaft durch Sturzfluten gefährdet sind (bspw. Rinnen, Gräben, Kleinstgewässer unterhalb der Darstellungsschwelle der Flächennutzungsplanung wie dem sachlichen Geltungsbereich der Wassergesetze oder der Festsetzungsschwelle für Überschwemmungsgebiete). In den sich anschließenden Planungs- und Genehmigungsverfahren kann dann sachgerecht die tatsächliche Gefährdung untersucht, bewertet und berücksichtigt werden.

Hingewiesen wurde bereits auf die nachrichtliche Übernahme von Überschwemmungsgebieten und die Vermerkung von Überschwemmungsgebieten, die noch nicht festgesetzt worden sind.

Bebauungsplanung

Die Bebauungsplanung umfasst als verbindlicher Bauleitplan die rechtsverbindliche Festsetzung der städtebaulichen Ordnung (§ 8 Abs. 1 BauGB) in ihrem jeweiligen Geltungsbereich (§ 9 Abs. 7 BauGB). Er wird von der Gemeinde als Satzung beschlossen und stellt somit ein allgemein verbindliches Ortsgesetz dar. Vergleichbar zu den Darstellungsmöglichkeiten in der Flächennutzungsplanung besteht in der Bebauungsplanung die Möglichkeit zu Festsetzungen, die unmittelbar der Vorsorge und Abwehr von Gefahren durch Hochwasser und Sturzfluten dienen und solchen, die dies mittelbar tun.

Unmittelbar dem Hochwasserschutz und dem Schutz vor Sturzfluten dienen Festsetzungen von Flächen für die Wasserwirtschaft, für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses (§ 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB). Entsprechende Fachplanungen haben jedoch im Rahmen der §§ 7 und 38 BauGB Vorrang vor derartigen Festsetzungen in einem Bebauungsplan (Löhr, in: Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, § 9 RdNr. 58). Die Festsetzungsmöglichkeit für Flächen für die Wasserwirtschaft beinhaltet im Wesentlichen die sachlichen Gegenstände des Wasserhaushaltsgesetzes und der Landeswassergesetze, auch soweit sie Inhalte von wasserwirtschaftlichen Rahmenplänen und Bewirtschaftungsplänen nach §§ 36 und 36b WHG sein können, also auch Maßnahmen der Wasserbewirtschaftung (Bielenberg/Söfker, in: Ernst/Zinkahn/Bielenberg, BauGB, § 9 RdNr. 136). Als Wasserschutzanlagen können insbesondere Deiche und Dämme festgesetzt werden (Bielenberg/Söfker, in: Ernst/Zinkahn/Bielenberg, BauGB, § 9 RdNr. 136). Festsetzungen gem. § 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB können in bestimmten Fällen Entschädigungspflichten gem. § 40 Abs. 1 Satz 1 Nr. 13 BauGB auslösen. Im Hinblick auf Sturzfluten decken diese Festsetzungsmöglichkeiten also lediglich einen Teil des Wasserabflusses durch Sturzfluten ab, nämlich den, der längs bestehender Gewässer verläuft.

Unmittelbaren Bezug zum Ereignistypus Sturzfluten hat demgegenüber die Möglichkeit, Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser festzusetzen (§ 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB). Der Niederschlagswasserrückhaltung und -versickerung in Baugebieten kommt im Hinblick auf die Reduzierung von Risiken durch Sturzfluten innerhalb gewisser Grenzen eine hohe Bedeutung zu. Anlagen zur Niederschlagswasserrückhaltung

und -versickerung sind allerdings auf bestimmte Bemessungsregen ausgerichtet. Sofern diese überschritten werden, entfällt ihre Wirksamkeit.

Tatsächlich kann es im Fall einer Überlastung zu einem Versagen der Anlagen kommen und bspw. Muldensysteme oder Niederschlagswasserrückhaltungen überlaufen oder Dämme brechen. Niederschlagswasserversickerung ist schließlich auf geeignete Untergrund- und Grundwasserverhältnisse angewiesen. In geeigneten Bereichen können derartige Anlagen allerdings eine erstaunliche Leistungsfähigkeit erreichen, wie das Beispiel München zeigt. Hier wird bei allen Neubauvorhaben in den geeigneten Gebieten die Niederschlagswasserversickerung verbindlich vorgeschrieben, auch in innerstädtischen Gebieten und bei Grundstücken, die vollständig bebaut sind (mündliche Auskunft des Entwässerungsbetriebes der Landeshauptstadt München). In der Hansestadt Lübeck wird neben der Versickerung bei für die Versickerung ungünstigen Verhältnissen die Niederschlagswasserrückhaltung innerhalb der Bebauungsplangebiete festgesetzt und im Rahmen der Realisierung erreicht (s. u.).

Mittelbar für den Schutz und die Vorsorge vor Gefahren durch Sturzfluten können eine ganze Reihe weiterer Festsetzungsmöglichkeiten des BauGB genutzt werden (siehe Tabelle 4-2). Dabei sind die räumlich sehr detaillierten Festsetzungsmöglichkeiten als insgesamt sehr gut geeignet einzuschätzen, Gefahren und Risiken von durch Starkregen verursachte Sturzfluten vorzusorgen. Tatsächlich handelt es sich bei den Sturzfluten weniger um weiträumige Abflüsse großer Wassermengen, wie dies bei Flusshochwassern der Fall ist, sondern um kleinräumige und teilweise eng begrenzte Abflüsse, denen in vielen Fällen durchaus ausreichend Raum auch in bestehenden Bebauungsgebieten in der Form von Notwasserwegen oder Notabflusswegen geschaffen werden kann. Folgende Möglichkeiten lassen sich nennen:

Tabelle 4-2: Sturzflutbezogene Festsetzungen im Bebauungsplan; Quelle: eigene Zusammenstellung

Festsetzung	**Wirkung**
Art und Maß der baulichen Nutzung der Grundstücke (§ 9 Abs. 1 Nr. 1 BauGB)	Mit dieser Festsetzung werden Nutzung und die Dichte der Bebauung eines Baugebietes bestimmt. Im Hinblick auf die Gefährdungen durch Sturzfluten können bspw. verträgliche oder unempfindliche Nutzungen für die betroffenen Teilbereiche gewählt werden, wie bspw. Grünflächen. Mit der Festsetzung der Bebauungsdichte wird mittelbar der Grad der Versiegelung bestimmt und damit der Anteil der Grundstücksflächen, der an die Kanalisation oder sonstige zulässige Abwasseranlagen angeschlossen wird.
Bauweise, überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung baulicher Anlagen (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB)	Mit diesen Festsetzungen lassen sich kleinräumig und detailliert die Flächen auf Grundstücken von Bebauung freihalten, die bei extremen Niederschlagsereignissen von Überstau oder Sturzfluten betroffen sein können, oder die für eine ausnahmsweise Notentwässerung ("Notwasserwege") freigehalten werden sollen.
Die Flächen für Nebenanlagen, die aufgrund anderer Vorschriften für die Nutzung von Grundstücken erforderlich sind, wie Spiel-, Freizeit- und Erholungsflächen sowie die Flächen für Stellplätze und Garagen mit ihren Einfahrten (§ 9 Abs. 1 Nr. 4 BauGB)	Festsetzung von Bereichen auf Grundstücken, die im Vergleich mit der Hauptnutzung wie Wohnen, Gewerbe, Dienstleistungsnutzungen etc. ein geringeres Schadenspotenzial aufweisen, in diesem Sinne also unempfindlicher gegenüber Überstau und Sturzfluten sind.

Festsetzung	Wirkung
Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind und deren Nutzung (§ 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB)	Diese Festsetzungsmöglichkeit bietet vergleichbare Möglichkeiten wie die gem. § 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB. Zusätzlich können geeignete, d. h. unempfindliche Nutzungen für die freizuhaltenden Flächen festgesetzt werden.
Die öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe (§ 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB)	Derartige Flächennutzungen sind im Allgemeinen unempfindlich gegenüber ausnahmsweise und kurzfristige Überflutungen, stellen also geeignete Nutzungen für Notentwässerungen dar (siehe auch Fallstudie Lübeck, s. u.).
Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern u. a., Bindungen für Bepflanzungen, Gewässer (§ 9 Abs. 1 Nr. 25a und b BauGB)	Festsetzungen und Bindungen für Bepflanzungen können einerseits helfen, Schadenspotenziale zu verringern, andererseits Notabflusswege von Hindernissen freizuhalten.
Festsetzung einer Höhenlage für Festsetzungen gem. Abs. 1 (§ 9 Abs. 3 Satz 1 BauGB)	Da Abflüsse von extremen Starkregen im freien Gelände bzw. in bebauten Gebieten bereits durch kleinste Höhenunterschiede in die eine oder andere Richtung gelenkt werden können, kann es im Einzelfall notwendig sein, für einen geordneten Notabfluss genaue Vorgaben zur Geländeoberfläche zu machen.
Festsetzungen gem. Abs. 1 für einzelne Geschosse eines Gebäudes (§ 9 Abs. 3 Satz 2 BauGB)	Mit dieser Festsetzung lassen sich Geschossweise oder im Verhältnis zur Geländeoberfläche Gebäudenutzungen festsetzen bzw. ausschließen und somit bspw. Aufenthaltsräume, die gem. Landesbauordnungen auch in Kellerräumen zulässig wären, ausschließen.

Kennzeichnungen

Ebenso wie im Flächennutzungsplan sollen gem. § 9 Abs. 5 Nr. 1 BauGB im Bebauungsplan Flächen, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen gegen äußere Einwirkungen oder bei denen besondere bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Naturgewalten erforderlich sind, gekennzeichnet werden. Auch hier hat die Kennzeichnung eine Warnfunktion für die derzeitigen und die künftigen Nutzer der Flächen, insbesondere Eigentümer und Bauwillige von Baugrundstücken, die im Bebauungsplan als Baufläche festgesetzt sind, aber auch die Genehmigungs- und Bewilligungsbehörden für die Vorhaben, die durch den Bebauungsplan ermöglicht werden. Als Ergebnis mit der Auseinandersetzung mit möglichen Gefahren durch Sturzfluten sollte der Bebauungsplan allerdings einen Teil der notwendigen Vorsorgemaßnahmen vor den Gefahren durch geeignete Festsetzungen beinhalten, sodass tatsächlich nur noch bauliche Schutzmaßnahmen notwendig bleiben. Insgesamt stellt diese Kennzeichnung jedoch eine gute Möglichkeit dar, vor Gefahren durch seltene Sturzflutereignisse zu warnen und eine angepasste bauliche Nutzung zu erreichen.

Nachrichtliche Übernahmen und Vermerke

Hingewiesen wurde bereits auf die nachrichtliche Übernahme von Überschwemmungsgebieten und die Vermerkung von Überschwemmungsgebieten, die noch nicht festgesetzt worden sind.

Wie auch in der Flächennutzungsplanung sollen im Bebauungsplan festgesetzte Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 31b Abs. 2 Satz 3 und 4 des WHG nachrichtlich übernommen werden (§ 9 Abs. 6a BauGB). Noch nicht festgesetzte Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 31b Abs. 5 sowie überschwemmungsgefährdete Gebiete im Sinne von § 31c WHG sollen im Bebauungsplan vermerkt werden.

Städtebauliche Gebote

Zur Durchsetzung ihrer Planung stellt das besondere Städtebaurecht in den §§ 175 ff. BauGB den Gemeinden eine Reihe städtebaulicher Gebote zur Verfügung. Diese hängen teilweise von Festsetzungen in den Bebauungsplänen ab, teilweise können sie unabhängig von diesen erlassen werden (Frerichs et al. 2003, S. 65). Im Hinblick auf Starkregen und Sturzfluten können das Pflanzgebot gem. § 178 BauGB und das Rückbau- und Entsiegelungsgebot gem. § 179 BauGB bedeutsam sein. Eine praktische Bedeutung haben diese Gebote kaum, ihr Nutzen wird insbesondere als "ultima ratio" bei der Herstellung einvernehmlicher Lösungen gesehen (Stock, in: Ernst/Zinkahn/Bielenberg, BauGB, § 177 RdNr. 3).

Örtliche Bauvorschriften

Einige Landesbauordnungen ermächtigen die Gemeinden, örtliche Bauvorschriften über die Gestaltung und Begrünung der Grundstückfreiflächen und über Einfriedungen als städtebauliche Satzung gem. BauGB zu beschließen. Tabelle 4-3 gibt einen Überblick über diese Möglichkeiten in den Landesbauordnungen. Derartige Satzungen können potenziell eine gute Möglichkeit sein, in durch Sturzfluten gefährdeten Gebieten nachträglich Maßnahmen auf Grundstücksfreiflächen festzusetzen, die der Vorsorge vor diesbezüglichen Schäden dienen. Dies kann bspw. die Freihaltung von Bereichen dienen, über die in Extremfällen Niederschlagswasser schadlos (oder schadarm) abgeleitet werden kann. Ob und mit welcher Wirkung derartige Satzungen bereits beschlossen worden sind, kann allerdings an dieser Stelle nicht eingeschätzt werden.

Einfriedungen von Baugrundstücken können auch dazu dienen, zusammen mit ergänzenden Absperrvorrichtungen an Zugängen und Zufahrten Grundstücke und damit auch Gebäude vor frei abfließendem oder überstauendem Niederschlagswasser bei extremen Ereignissen zu schützen.

Tabelle 4-3: Übersicht über die landesrechtlichen Regelungen über die Zulässigkeit von örtlichen Bauvorschriften über die Gestaltung und Begrünung von Grundstücksfreiflächen und über Grundstückseinfriedungen

Bundesland	**Örtliche Bauvorschriften**	
	Gestaltung Grundstücksfreiflächen	**Einfriedungen**
ARGE Bau Musterbauordnung 2002	Gestaltung der unbebauten Flächen der bebauten Grundstücke (§ 86 (1) Nr. 5 MBO 2002)	Notwendigkeit, Art, Gestaltung und Höhe von Einfriedungen (§ 86 (1) Nr. 5 MBO 2002)
Baden-Württemberg	–	–
Bayern	Gestaltung der unbebauten Flächen der bebauten Grundstücke (Art. 81 (1) Nr. 5 BayBO)	Notwendigkeit, Art, Gestaltung und Höhe (Art. 81 (1) Nr. 5 BayBO)
Berlin	–	–
Brandenburg	–	Notwendigkeit oder Verbot von Einfriedungen (§ 81 (1) Nr. 1 BbgBO)

Bundesland	**Örtliche Bauvorschriften**	
	Gestaltung Grundstücksfreiflächen	**Einfriedungen**
Bremen	Gestaltung der unbebauten Flächen (§ 87 (1) Nr. 4 BremLBO) Begrünung der Freiflächen der Baugrundstücke (§ 87 (1) Nr. 5 BremLBO)	Notwendigkeit, Art, Gestaltung und Höhe (§ 87 (1) Nr. 4 BremLBO)
Hamburg	–	–
Hessen	Gestaltung der unbebauten Flächen (§ 81 (1) Nr. 3 HBO) Begrünung der Freiflächen der Baugrundstücke (§ 81 (1) Nr. 5 HBO	Notwendigkeit, Art, Gestaltung und Höhe (§ 81 (1) Nr. 3 HBO
Mecklenburg-Vorpommern	Gestaltung der unbebauten Flächen (§ 86 (1) Nr. 5 LBauO MV)	–
Niedersachsen	Gestaltung der nicht überbauten Flächen der bebauten Grundstücke (§ 56 (1) Nr. 6	Gestaltung, Art und Höhe (§ 56 (1) Nr. 3 NBauO)
Nordrhein-Westfalen	Gestaltung, Begrünung, Bepflanzung der unbebauten Flächen (§ 86 (1) Nr. 4 BauO NRW)	Herstellung oder Verbot sowie Art, Höhe und Gestaltung von Einfriedungen (§ 86 (1) Nr. 5 BauO NRW)
Rheinland-Pfalz	Gestaltung, Begrünung, Bepflanzung der unbebauten Flächen (§ 88 (1) Nr. 3 und Nr. 7 LBauO RP)	Notwendigkeit, Art, Gestaltung und Höhe von Einfriedungen (§ 88 (1) Nr. 3 LBauO RP)
Saarland	Gestaltung, Begrünung, Bepflanzung der unbebauten Flächen (§ 85 (1) Nr. 3 LBO SL)	Verpflichtung oder Verbot sowie Art, Höhe und Gestaltung von Einfriedungen (§ 85 (1) Nr. 4 LBO SL)
Sachsen	Gestaltung, Begrünung, Bepflanzung der unbebauten Flächen (§ 89 (1) Nr. 4 SächsBO)	–
Sachsen-Anhalt	–	–
Schleswig-Holstein	Gestaltung, Begrünung, Bepflanzung der unbebauten Flächen(§ 92 (1) Nr. 3 LBO SH)	Notwendigkeit, Zulässigkeit, Art, Gestaltung und Höhe von Einfriedungen (§ 92 (1) Nr. 3 LBO SH
Thüringen	Gestaltung der unbebauten Flächen (§ 83 (1) Nr. 4 ThürBO)	Notwendigkeit, Art, Gestaltung und Höhe von Einfriedungen (§ 83 (1) Nr. 4 LBO SH

4.3.2 Bauordnungsrecht

Extreme Starkregen und daraus resultierende Sturzfluten führen häufig zu Schäden in und an Gebäuden, wie die URBAS-Datenbank und die Fallstudien zeigen. Insofern stellt sich die Frage, ob und in welchem Umfang eine an diese Risiken angepasste Baugestaltung durchgesetzt werden kann. Rechtliche Grundlage für die Prüfung und Genehmigung von baulichen Anlagen sind die Landesbauordnungen. Da sie sich im Wesentlichen an die Musterbauordnung der ARGE Bau orientieren, wird im weiteren Text auf diese eingegangen und die länderspezifischen Regelungen in tabellarischen Auflistungen aufgeführt.

Baurechtliche Aufgaben

In der Bundesrepublik Deutschland besteht grundsätzliche Baufreiheit, die durch öffentliche und private Belange eingeschränkt wird. Das Bauordnungsrecht regelt die sich insofern ergebenden rechtlichen Anforderungen an eine konkrete bauliche Anlage. Die ordnungsrechtliche Aufsicht über das private und öffentliche Baugeschehen stellt eine staatliche Aufgabe dar, die auf die Kreise und kreisfreien Städte sowie kreisangehörige Gemeinden einer bestimmten Größenordnung als Untere Bauaufsichtsbehörde (früher: Baupolizei) übertragen ist.

Die Bauaufsichtsbehörde nimmt die Aufsicht über die Einhaltung der rechtlichen und technischen Baubestimmungen im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens wahr. Im Zuge der Verwaltungsvereinfachung und zur Förderung der Wohnungsversorgung wurden allerdings zahlreiche Bauvorhaben von diesem Genehmigungsverfahren befreit, insbesondere handelt es sich dabei um kleinere Wohngebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser). Die Verantwortung für die Einhaltung der materiell-rechtlichen Bauvorschriften wurde dabei an den Bauherren, den Architekten und die übrigen am Bau beteiligten Ingenieure delegiert.

Baurechtliche Anforderungen

Bauliche "Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden" bestimmen § 3 Abs. 1 MBO 2002 und die entsprechenden, teilweise anderslautenden Bestimmungen der Landesbauordnungen (vgl. Tabelle 4-4). Diese Klauseln ermöglichen Maßnahmen des Hochwasserschutzes und auch des Schutzes vor Sturzfluten, die der Abwehr von Gefahren, insbesondere für Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen dienen. Vorsorgemaßnahmen sind damit allerdings nicht möglich. So können bspw. in hochwassergefährdeten Gebieten Auflagen gegen das Aufschwimmen von Öltanks in Kellerräumen oder hochwassersichere Ausgänge zumindest in Mietshäusern festgesetzt werden, ein Verbot von Aufenthaltsräumen unterhalb der Hochwassergrenze sind nicht möglich (Lüers, 1996).

Weitergehende Anforderungen lassen sich aus § 13 Abs. 1 MBO 2002 und die entsprechenden Regelungen der Landesbauordnungen ableiten, wenngleich auch hier der Bezug zum Gefahrenbegriff zu beachten ist: "Bauliche Anlagen müssen so angeordnet, beschaffen und gebrauchstauglich sein, dass durch Wasser, Feuchtigkeit … Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen. Baugrundstücke müssen für bauliche Anlagen geeignet sein." (vgl. Tabelle 4-4). Denkbar sind bspw. Auflagen zur Errichtung von Spundwänden, Sperrschichten oder wasserdichte Wannen, sofern Gefahren für die Standsicherheit aufgrund der Nähe zu einem Wildbach oder unmittelbare Gefahren für die Gesundheit oder unzumutbare Belästigungen vorliegen (Lüers, 1996).

Tabelle 4-4: Übersicht über die allgemeinen Anforderungen der Landesbauordnungen an bauliche Anlagen; Quelle: eigene Zusammenstellung

Bundesland	**Allgemeine Anforderungen**	**Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen**	**Nachträgliche Anordnungen**
ARGE Bau Musterbauordnung 2002	§ 3 MBO 2002	§ 13 MBO	–
Baden-Württemberg	§ 1 (1) LBO BW	–	Sofern Leben oder Gesundheit bedroht sind (§ 76 (1) LBO BW)
Bayern	Art. 3 (1) BayBO Grundstück muss … für die beabsichtigte Bebauung geeignet sein (Art. 4 (1) Nr. 1 BayBO)	Art. 11 BayBO	–
Berlin	§ 3 BauO Bln	§ 13 BauO Bln	Vermeidung einer Gefährdung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung, insbesondere von Leben und Gesundheit (§ 85 (2) BauO Bln)
Brandenburg	§ 3 (1) BbgBO	§ 11 (3) BbgBO	Zur Abwehr von erheblichen Gefahren für Leben und Gesundheit (§ 78 (1) BbgBO)
Bremen	§ 3 (1) BremLBO Grundstück muss geeignet sein (§ 4 (1) Nr. 1 BremLBO)	§ 16 BremLBO	Aus Gründen der öffentlichen Sicherheit und Gesundheit (§ 89 (1) BremLBO)
Hamburg	§ 3 (1) HBauO	§ 16 HBauO	–
Hessen	§ 3 (1) HBO	§ 12 HBO	–
Mecklenburg-Vorpommern	§ 3 LBauO MV	§ 13 LBauO MV	–
Niedersachsen	§ 1 NBauO	§ 19 NbauO	Bauliche Anlagen, die vor dem 1.1.1974 rechtmäßig errichtet wurden, … brauchen nur zur Erfüllung der Anforderungen des § 1 (1) NBauO angepasst werden (§ 99 (1) NBauO)

Bundesland	**Allgemeine Anforderungen**	**Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen**	**Nachträgliche Anordnungen**
Nordrhein-Westfalen	§ 3 (1) BauO NRW	§ 16 BauO NRW	Im Einzelfall wegen der Sicherheit für Leben oder Gesundheit (§ 87 (1) BauO NRW)
Rheinland-Pfalz	§ 3 (1) LBauO RP	§ 14 LBauO RP	Zur Abwehr von erheblichen Gefahren für die öffentliche Sicherheit, insbesondere für Leben oder Gesundheit (§ 85 (1) LBauO RP)
Saarland	§ 3 (1) LBO SL	§ 14 LBO SL	–
Sachsen	§ 3 (1) SächsBO	§ 13 (1) SächsBO	–
Sachsen-Anhalt	§ 3 (1) BauO LSA	§ 13 BauO LSA	Aus Gründen der Sicherheit oder Gesundheit (§ 86 BauO LSA)
Schleswig-Holstein	§ 3 (2) LBO SH	§ 18 LBO SH	Zur Erhaltung der öffentlichen Sicherheit (§ 93 (1) LBO SH)
Thüringen	§ 3 (1) ThürBO	§ 16 (1) ThürBO	Zur Abwehr von erheblichen Gefahren für Leben und Gesundheit (§ 84 (1) ThürBO)

Eine Reihe von Landesbauordnungen bieten die grundsätzliche Möglichkeit, nachträgliche Anordnungen an bestehende genehmigte Anlagen zu stellen; Bedingung ist auch hier das Vorliegen von Gefahren, wie die Formulierungen belegen: "sofern Leben oder Gesundheit bedroht sind" (§ 76 Abs. 1 LBO BW), "im Einzelfall wegen der Sicherheit für Leben oder Gesundheit" (§ 87 Abs. 1 BauO NRW) oder auch "zur Abwehr von erheblichen Gefahren für die öffentliche Sicherheit, insbesondere für Leben oder Gesundheit" (§ 85Abs. 1 LBauO RP). Die Anforderungen müssen sich auf die Anlage und den Regelungsinhalt der Bauordnung beziehen.

Baurechtliche Regelungsmöglichkeiten

Neben Anforderungen an (bauliche) Anlagen erlaubt eine ganze Reihe von Landesbauordnungen auch Anforderungen an die Gestaltung der Grundstücksfreiflächen.

Zwei Regelungsbereiche lassen sich identifizieren, die dem Schutz und der Vorsorge vor Sturzfluten mittelbar dienen können:

- Ausdrücklich bestimmen nahezu alle Landesbauordnungen (mit Ausnahme von Baden-Württemberg und Sachsen-Anhalt), dass die Grundstücksfreiflächen wasseraufnahmefähig oder wasserdurchlässig zu gestalten sind, mind. aber die Versiegelung beschränkt werden soll (Schleswig-Holstein). Dies ist keine Bestimmung, die ausdrücklich der Regenwasserversickerung dient, sondern es geht allgemein darum, in einem Gebiet den natürlichen Wasserkreislauf zu schließen, da die Regelung auch in Gebieten anzuwenden ist, in denen der Untergrund eine Versickerung gar nicht zulässt. Im Hinblick auf Starkregenabfluss hat die Regelung dennoch eine Wirkung, da wasseraufnahmefähige Grundstücksflächen über ihre Rauigkeit und Aufnahmefähigkeit zumindest einen Teil des Niederschlages zurückhalten und ggf. verzögert abgeben können, wenn auch die Menge beschränkt ist.

- Daneben bestimmen ebenfalls nahezu alle Landesbauordnungen, dass die Grundstückfreiflächen zu begrünen, zu bepflanzen oder gärtnerisch anzulegen sind und bieten Möglichkeiten, auf die konkrete Ausgestaltung einzuwirken. Auch diese Regelung dient weniger der unmittelbaren Vorsorge vor Sturzfluten als vielmehr die Möglichkeit, die Versiegelung zu reduzieren und einen gewissen Wasserrückhalt in der Fläche zu ermöglichen. Im Hinblick auf die Sicherung von Notwasserwegen kann die Regelung genutzt werden, den schadlosen Abfluss in den hierfür benötigten Grundstücksflächen durch den Ausschluss ungünstiger Bepflanzungen zu gewährleisten.

Einige Landesbauordnungen bieten die Möglichkeit, die Höhenlage der Grundstücke zu beeinflussen, um sie an die anschließenden Verkehrsflächen oder Nachbargrundstücke anzupassen. In geeigneten Fällen kann diese Regelung durchaus zur Vorsorge vor Grundstücksüberflutungen durch Sturzfluten oder Kanalüberstau genutzt werden, indem mögliche Zuflusswege verschlossen werden. Im Vergleich zu den Regelungsmöglichkeiten der Bebauungsplanung scheint die bauordnungsrechtliche Regelung aufgrund des ausdrücklichen Bezuges auf die Nachbargrundstücke und die Verkehrsflächen allerdings weniger flexibel zu sein.

Einige wenige Landesbauordnungen erlauben ausdrücklich Regelungen zu Grundstückseinfriedungen. Potenziell können derartige Einfriedungen geeignet sein, auch Sturzfluten oder Kanalüberstau von den Grundstücken fernzuhalten.

4.4 Maßnahmentypen des vorbeugenden Hochwasserschutzes für Sturzfluten

Als Handlungs- bzw. Maßnahmenbereiche werden die in vorliegenden LAWA Papieren die Handlungsfelder Flächenvorsorge, Natürlicher Wasserrückhalt, Technischer Hochwasserschutz, Bauvorsorge, Risikovorsorge durch Versicherung, Informationsvorsorge (Vorhersage und Warnung), Verhaltensvorsorge (Aufklärung), und Vorbereitungen zur Abwehr von Hochwassergefahren genannt. Eine detaillierte Beschreibung der Handlungsfelder mit einer Ausrichtung auf den Sturzflutaspekt erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln.

Bei der Erarbeitung der Maßnahmen sollen folgende Aspekte beachtet werden:

- Das kommunale Risikomanagement sollte einen interdisziplinären Ansatz verfolgen und unter aktiver Beteiligung aller zuständigen Stellen erstellt werden. Entsprechend sollen für alle Handlungsbereiche Maßnahmen formuliert werden.
- Wichtigstes Ziel des kommunalen Risikomanagements ist die Reduzierung der Hochwasserschadenspotenziale bei neuer und bestehender Bebauung.
- Die Auswirkungen des Klimawandels sind zu berücksichtigen, soweit verlässliche Aussagen vorliegen.

4.5 Maßnahmen der Flächenvorsorge

Unter „Maßnahmen der Flächenvorsorge“ werden das Freihalten und die Sicherung überflutungsgefährdeter Flächen vor Neubebauung, das Freihalten und die Sicherung bedeutender Abflusswege und Retentionsflächen (außerhalb der Gewässer) sowie die Sicherung von Flächen für bauliche Hochwasserschutzmaßnahmen und Gewässerausbauten verstanden. Hierzu können auch Maßnahmen zur Geländemodellierung gehören, die mit dem Ziel erfolgen, den schadlosen Abfluss von Überstau zu gewährleisten. Im Wesentlichen können hierzu Instrumente der Bauleitplanung bei Neu- und Sanierungsplanungen eingesetzt werden, z. T. bestehen auch für andere Fachplanungen (Straßenplanung, Freiraum- und Landschaftsplanung) in diesem Bereich Handlungsmöglichkeiten.

4.5.1 Handlungsrahmen

Die bestehenden Rechtsgrundlagen beinhalten sowohl kommunale Handlungserfordernisse als auch Handlungsmöglichkeiten zum Umgang mit Starkregen und Sturzfluten. Der Abwägungsvorbehalt der Bauleitplanung führt allerdings nicht zwingend dazu, dass Gebiete, die aufgrund ihrer Eigenschaften (bspw. Topografie) besondere Risiken für Schäden durch Sturzfluten bieten, von einer baulichen oder sonstigen demgegenüber empfindlichen Nutzung frei bleiben. Hier kann die Gemeinde einem anderen Belang (bspw. der Wohnungsversorgung) durchaus den Vorzug geben, wenn sie ihn aus städtebaulichen Gründen für wichtiger einschätzt. In diesen Fällen hat sie aber bei der Ausgestaltung des Bauleitplanes auf die Risiken einzugehen und durch geeignete Festsetzungen auf das zulässige Maß zu reduzieren. Auch aufgrund von Kosten-Nutzen-Betrachtungen zwischen Schutzzielen und Schutzmaßnahmen verbleibt ein Restrisiko für die urbanen Gebiete.

Die Bauleitplanung entfaltet vorrangig bei Neuplanungen bzw. Neubebauungen (ggf. auch bei größeren Umbauvorhaben) Wirkung, der große Anteil an Siedlungsflächen- und Gebäudebestand, in dem die Sturzfluten ihre Schadwirkung entfalten, werden hiervon aufgrund des Eigentums- und Bestandschutzes kaum berührt, wenngleich neue Risiken durch Sturzfluten, die sich aufgrund des Klimawandels erhöhen, ein Planungserfordernis auslösen können.

Auch ist festzustellen, dass bei politischen Entscheidungsträgern, in Kommunalverwaltungen und bei Fachbehörden häufig nur ein geringes Problem- oder Risikobewusstsein vorhanden ist und Handlungsmöglichkeiten und -strategien nicht bekannt sind; auch einfache, aber effektive Schutzmaßnahmen werden oft nicht ergriffen, wie bspw. die Freihaltung oder Freilegung potenziell gefährdeter Gebiete, Einbau von Absperrvorrichtungen vor Kellerfenster und -türen, Tiefgaragenzufahrten, Rückstausicherungen gegenüber den öffentlichen Kanalisationsleitungen. Sofern aufgrund akuter Betroffenheit Handlungszwang auftritt, wird die Aufgabe der Bewältigung von Schäden und Risiken überdies zumeist dem Entwässerungsbetrieb übertragen.

4.5.2 Flächenvorsorge durch stadtplanerische Instrumente

Die Stadtplanung kann durch ein angepasstes Landnutzungsmanagement gegenüber diesen Überflutungsereignissen durch Sturzfluten Vorsorge betreiben:

- Im Idealfall werden Gebiete, die von Sturzfluten (und anderen Formen der Überflutung oder Naturkatastrophen) betroffen sein können, insgesamt von Bebauung oder anderen Formen empfindlicher Nutzungen frei gehalten.
- Wenn keine Überschwemmungsgebiete festgesetzt oder überflutungsgefährdete Bereiche abgegrenzt sind, kann das Vorliegen von Aueböden, Gleyen, Rendzinen oder anderen grundwasserbeeinflussten Böden Hinweise auf Überflutungsgefahren durch Sturzfluten geben (vgl. Karte Wassersensibler Bereich des Bayrischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Kap. 2.5.3.1).
- Auch das Vorliegen verrohrter Bäche, von Geländehohlformen oder bestimmte Flurbezeichnungen können Hinweise für mögliche Gefahren durch Sturzfluten geben.
- Hier ist die Kommune aufgefordert, entsprechend den Vorsorgegrundsätzen der Planung nähere Untersuchungen zu möglichen Fließwegen überstauenden Wassers einzuleiten und entsprechend der Vorsorgegrundsätze der Bauleitplanung bei der Festsetzung von Baugebieten zu berücksichtigen.
- In bebauten bzw. zu bebauenden Gebieten empfiehlt es sich, neben den Straßen weitere Notabflusswege frei von empfindlichen bzw. schadensanfälligen Nutzungen und Bebauung zu halten und das abfließende Wasser in Bereiche zu leiten, in denen es keinen oder nur geringen Schaden anrichten kann.

Aufgrund des Eigentums- und Bestandsschutzes, aber auch des hohen Aufwandes ist das Anpassungspotenzial an Sturzflutrisiken im Gebäude- und Siedlungsbestand eingeschränkt und erfordert ein mittel- und langfristiges Vorgehen. Angepasste Nutzungen in gefährdeten Gebieten und ein besonderes Augenmerk auf „verletzliche“ Nutzungen (Krankenhäuser, Einrichtungen der Hilfsorganisationen),

Freihalten von Abflusswegen bei Versagen der Abflusssysteme, Schaffung oder gezielte Entwicklung von Rückhalteflächen zur schadlosen Zwischenspeicherung sind Beispiele für Maßnahmen, die sich auch im Bestand umsetzen lassen.

Größere Umsetzungschancen ergeben sich, sofern sturzflutbezogene Vorsorge- und Schutzmaßnahmen mit ohnehin laufenden Sanierungsmaßnahmen gekoppelt werden können. Hierzu zählen beispielsweise Straßensanierungsmaßnahmen mit einer Erhöhung von Bordsteinen oder Absenkung des Fahrbahnniveaus, Pflasterarbeiten im öffentlichen Raum, bei denen Kellerfenster durch außen liegende Einfassungen gegen das Eindringen von Wasser geschützt werden, sowie Anpassungen und Optimierungen der Entwässerungssysteme, die z. B. im Zusammenhang mit notwendigen Kanalsanierungen realisiert werden können.

Bei Neuplanungen und Neubebauungen bieten sich deutlich größere Chancen und Möglichkeiten, Sturzflutrisiken vorsorgend zu mindern. Im Rahmen ihrer Planungshoheit können Gemeinden aus städtebaulichen Gründen vielfältige Maßnahmen festsetzen, auch im Baugenehmigungsverfahren bestehen verschiedene Handlungsmöglichkeiten, vor allem die Information und Beratung.

4.5.3 Beispiele aus den Fallstudien: Beispiel Hochschulstadtteil Lübeck

Beispielhaft für die Anwendung dieser Vorsorgestrategien handelt die Hansestadt Lübeck, eine der 15 Fallstudienstädte von URBAS: In fast allen neueren städtebaulichen Planungen werden geeignete Bereiche wie bspw. Niederungen oder Rinnen mit Anschluss an den Vorfluter von Bebauung freigehalten und überflutungsverträgliche Nutzungen wie Grünanlagen festgesetzt oder Regenrückhaltebecken angelegt und somit zur Regenentlastung nutzbar gemacht.

In Bebauungsplänen werden diese Bereiche als Notabflusswege für die schadlose Ableitung von ungefasstem und überstauendem Niederschlagswasser festgesetzt. Die Baugebiete werden so zugeschnitten, dass Notabflusswege frei gehalten und angemessen genutzt werden können. Diese Notabflusswege werden dabei bspw. in Grünflächen zur Gestaltung, Auflockerung oder Gliederung der Baugebiete integriert. Mit der Festsetzung "Grünflächen mit Zweckbestimmung Rückhaltung" im B-Plan wird vermieden, dass die Flächen – wie es bei technischen Rückhaltungen erforderlich wäre – technisch gesichert und eingezäunt werden müssen.

Erschließungsträger, die nach Einschätzung der des Entwässerungsbetriebes Lübeck in schwierig zu entwässernden Gebieten Projekte entwickeln, müssen den Belastungsfall Überflutung bei der Planung berücksichtigen und entsprechende Flächen als Notabflussweg oder zur Niederschlagswasserrückhaltung von Bebauung freihalten.

Grundlage für diese Handhabung sind die §§ 30, 33 und 34 BauGB (Zulässigkeit von Vorhaben, insbesondere Sicherung der Erschließung) in Verbindung mit DIN EN 752 (Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden). Die Stadt argumentiert hierbei, dass der in der DIN EN 752 geforderte Nachweis des schadlosen Ableitens von ungefasstem Niederschlagswasser Bedingung für den Nachweis der Erschließung eines Baugebietes ist.

Hochwasserbereiche und Überflutungsflächen an der Trave und der Nebengewässer sind nicht immer von der Bebauung freigehalten worden. Hier werden die Bürger aufgefordert, sich auf Überflutungen einzustellen bzw. bei Neubau auf Keller zu verzichten und Fluchträume oberhalb der Hochwasserlinie vorzusehen. (Bericht Starkregen, S. 2).

Die Hansestadt Lübeck entwickelt derzeit eine große Entwicklungsfläche im Süden der Stadt im unmittelbaren Umfeld der Fachhochschule Lübeck. Das Planungsgebiet umfasst insgesamt rund 230 ha; der Planungsbereich selbst umfasst 85 ha. Darin sollen 2.000 Wohneinheiten für ca. 5.000-6.000 Einwohner geschaffen werden. Zentraler Bestandteil ist ein hochschulbezogenes Gewerbe- und Dienstleistungszentrum mit ca. 400 - 500 Arbeitsplätzen. Der neue Stadtteil wird umfassend mit den notwendigen Infrastrukturen wie Kindertagesstätten, Schulen, Stadtteiltreff, Sportanlagen etc. ausgestattet.

Im Flächennutzungsplan der Hansestadt Lübeck sind für den neue Hochschulstadtteil Wohnbauflächen, gemischte Bauflächen, Sonderbauflächen, Gewerbeflächen sowie Grünflächen dargestellt. Südlich des Stadtteils sind im Bereich des Landgrabens Umgrenzungen von Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft dargestellt (vgl. Abbildung 4-1).

Im Bebauungsplan Nr. 09.04.00 Hochschulstadtteil vom 16.03.2003 sind konkrete Maßnahmen zur Freihaltung von Notabflusswegen („Notwasserwege“) und erforderliche Lichtraumprofile festgesetzt. (Abbildung 4-2). Im Falle extremer, die Bemessungsgrenzen der Kanalisation weit überschreitender Niederschlagsereignisse kann sich das überstauende und frei abfließende Niederschlagswasser aus den angrenzenden Baugebieten in den Notwasserwegen sammeln und über die Parkanlage in den Vorfluter Landgraben im Süden des Gebietes abgeleitet werden (vgl. Abbildung 4-4). Die Grünflächen werten als Carlebachpark den Hochschulstandort auf und tragen entscheidend zur Attraktivität des neuen Viertels bei (vgl. Abbildung 4-5); überdies ist durch diese Lösung die geordnete Erschließung auch bei extremen Niederschlagsereignissen und damit der geforderten Entsorgungskomfort sichert.

Abbildung 4-1: Städtebaulicher Rahmenplan inkl. Nutzungsstruktur und Darstellung des Hochschulstadtteils Lübeck im Flächennutzungsplan; Quelle: Hansestadt Lübeck

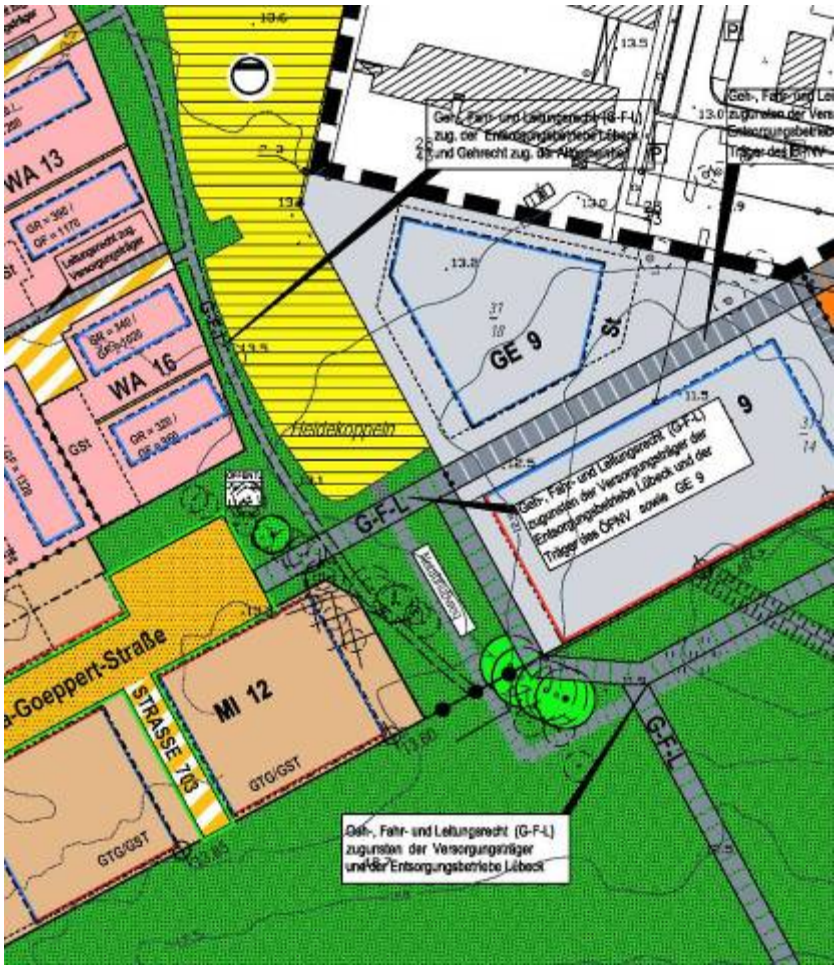


Abbildung 4-2: Ausschnitt aus dem B-Plan Nr. 09.04.00 Hochschulstadtteil, Teilbereich II vom 16.3.2003, Festsetzung von Notabflusswegen; Quelle: Bebauungsplan Hochschulstadtteil Lübeck, Stand 07.06.2002

Zeichnerische Festsetzungen im Bebauungsplan

- Freihaltung von Notabflusswegen für die schadlose Ableitung von ungefasstem und überstauendem Niederschlagswasser.

Textliche Festsetzungen im Bebauungsplan:

- Die vollständige Versickerung des Regenwassers ist im Hochschulstadtteil für die Gemeinbedarfsfläche (Stadtteilzentrum) und den Bereich des Innovations- Campus vorgeschrieben und festgesetzt.
- In den anderen Gebieten müssen „mindestens 50 % des auf den befestigten Flächen anfallenden Regenwassers auf den Grundstücken versickert bzw. zurückgehalten werden“.

Empfehlung zur Vermeidung von Überflutungsschäden

- Im Garten z. B. kleine Verwallungen an der Grundstücksgrenze so anlegen, dass ein Überstau der Mulde nicht zu Überflutungsschäden auf benachbarten Grundstücken führt.

Abbildung 4-3: Übersicht über die zeichnerischen und textlichen Festsetzungen im Bebauungsplan Hochschulstadtteil Lübeck; Quelle: Bebauungsplan Hochschulstadtteil Lübeck, Stand 07.06.2002

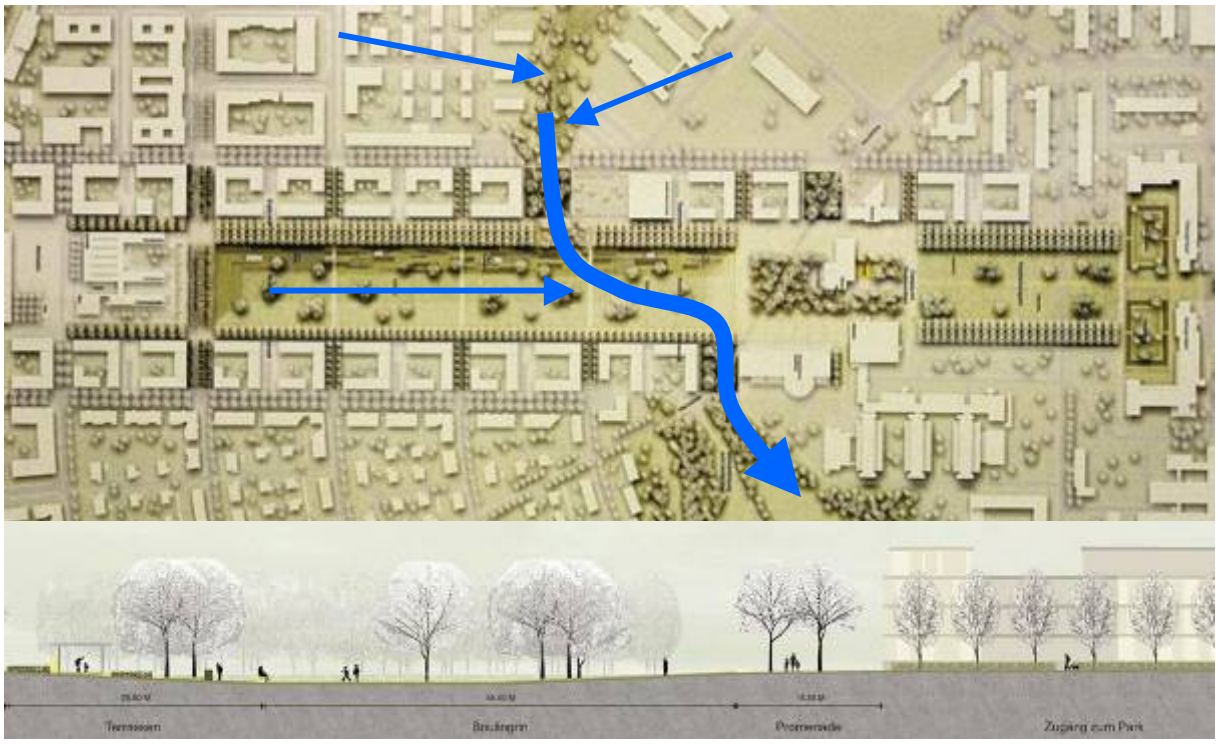


Abbildung 4-4: Integration des Notabflussweges in den Carlebachpark im Hochschulstadtteil der Hansestadt Lübeck; Quelle: Stadt Lübeck

Abbildung 4-5: Carlebachpark im Hochschulstadtteil Lübeck (linke Abbildung: mit probeweise eingestautem Niederschlagswasser); Quelle: Stadt Lübeck

Weitere Festsetzungen ergänzen diese Maßnahme zur Vermeidung von sturzflutbedingten Überflutungen: Die vollständige Versickerung des Regenwassers ist im Hochschulstadtteil für die Gemeinbedarfsfläche (Stadtteilzentrum) und den Bereich des Innovations-Campus vorgeschrieben und festgesetzt. In den anderen Gebieten müssen „mindestens 50 % des auf den befestigten Flächen anfallenden Regenwassers auf den Grundstücken versickert bzw. zurückgehalten werden“ (Bebauungsplan, Nr. 09.04.00 Hochschulstadtteil vom 16.03.2003). Empfehlungen zur Vermeidung von Überflutungsschäden formulieren überdies, dass im Garten z. B. kleine Verwallungen an der Grundstücksgrenze so anzulegen sind, dass ein Überstau der Mulde nicht zu Überflutungsschäden auf benachbarten Grundstücken führt.

Beispiel Bebauungsplan Kronsforder Landstraße / Vorrader Straße – Rothebek

Ein weiteres Beispiel findet sich im Bebauungsplan Kronsforder Landstraße / Vorrader Straße – Rothebek. Hier werden folgende Festsetzungen im Bebauungsplan getroffen:

Außenanlagen:

- Wasserdurchlässige Oberflächen der Wege, Freisitze, Stellplätze und Grundstückszufahrten

Ableitung des Dach- und Oberflächenwassers:

- Direkteinleitung des Niederschlagswassers der Grundstücke 1 – 13, 34 und 101 – 103 wird pro Grundstück in die Rothebek
- Abgabe des Niederschlagswassers der Grundstücke 14 – 33 und 104 – 107 und der Straßen über Freigefälleleitungen an die Rothebek

Rückhaltung des Dach- und Oberflächenwassers:

- Versickerung des auf den Grundstücken 35-100 und 108-110 anfallenden Dach- und Oberflächenwassers in Mulden-Rigole auf den Grundstücken. Es wird pro Strang ein Notüberlauf in die Rothebek bzw. an die vorhandene Leitung in der Kronsforder Landstraße hergestellt.

Regenrückhaltung:

- Auf der Maßnahmefläche M1 ist eine naturnah ausgebildete Regenrückhaltung anzulegen. Notwendige Einrichtungen zur Bewirtschaftung sind zulässig. Weitere Nutzungen der Fläche sind unzulässig.

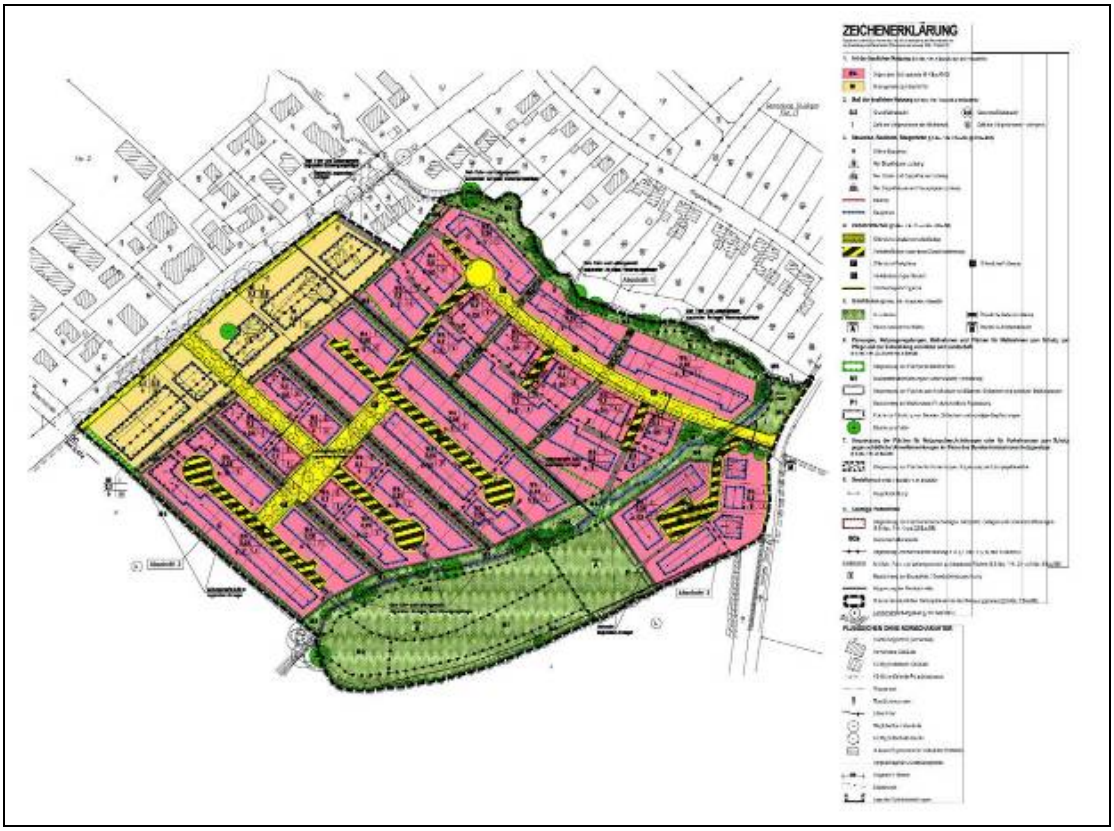


Abbildung 4-6: Bebauungsplan 09.16.00 – Kronsforder Landstraße / Vorrader Straße – Rothebek, Quelle: Stadt Lübeck, Entwurf, Stand März 2005

Beispiel Gewerbegebiet Genin Süd Teilbereich II vom 02.03.2000

Das Prinzip der gebietsinternen Niederschlagsrückhaltung und Niederschlagsversickerung wird auch in reinen Gewerbe- und Industriegebieten durchgesetzt, wie das Beispiel des Bebauungsplanes Genin Süd Teilbereich II zeigt. Hier wird die Rückhaltung und Versickerung über den Nachweis von grundstücksbezogenen Abflussbeiwerten und max. zulässigen Abflussmengen erreicht und die Überprüfung auf das Baugenehmigungsverfahren verschoben.

Festsetzungen

Flächen zur Regelung des Wasserabflusses

1. Bei einer Überschreitung der Grundflächenzahl von 0,5 (inkl. der nach § 19 (4) BauNVO mitzurechnenden Grundflächen) sind in den Gewerbe- und Industriegebieten nordwestlich des Sauren Bruchs Maßnahmen zur Rückhaltung des Regenwassers erforder1ich. Maßnahmen zur Regenwasserrückhaltung sind u. a. Regenwasserrückhaltebecken, Muldensysteme entlang der Knicks und Dachbegrünungen. Der Nachweis des Abflussbeiwertes y = 0,5 erfolgt im Baugenehmigungsverfahren.

2. In den Gewerbegebieten nordwestlich der Kronsforder Landstraße ist mit Ausnahme des Gewerbegebietes GE3 auf den Grundstücken eine Versickerung sicherzustellen, dass die Abflussmenge 10 l/s x ha nicht überschritten wird.

3. Den Nutzern der Gewerbebetriebe in den Gewerbegebieten GE 1, GE 2, GE 12 und GE 13 sowie GI 1 - GI 4 ist es erlaubt, die vorbehandelte und nicht zu versickernde Überschussmenge an Regenwasser über die Ausgleichsflächen A 4 - A 9 den Stau und Versickerungsflächen bzw. der Gehölzpflanzfläche (A7) zuzuleiten.

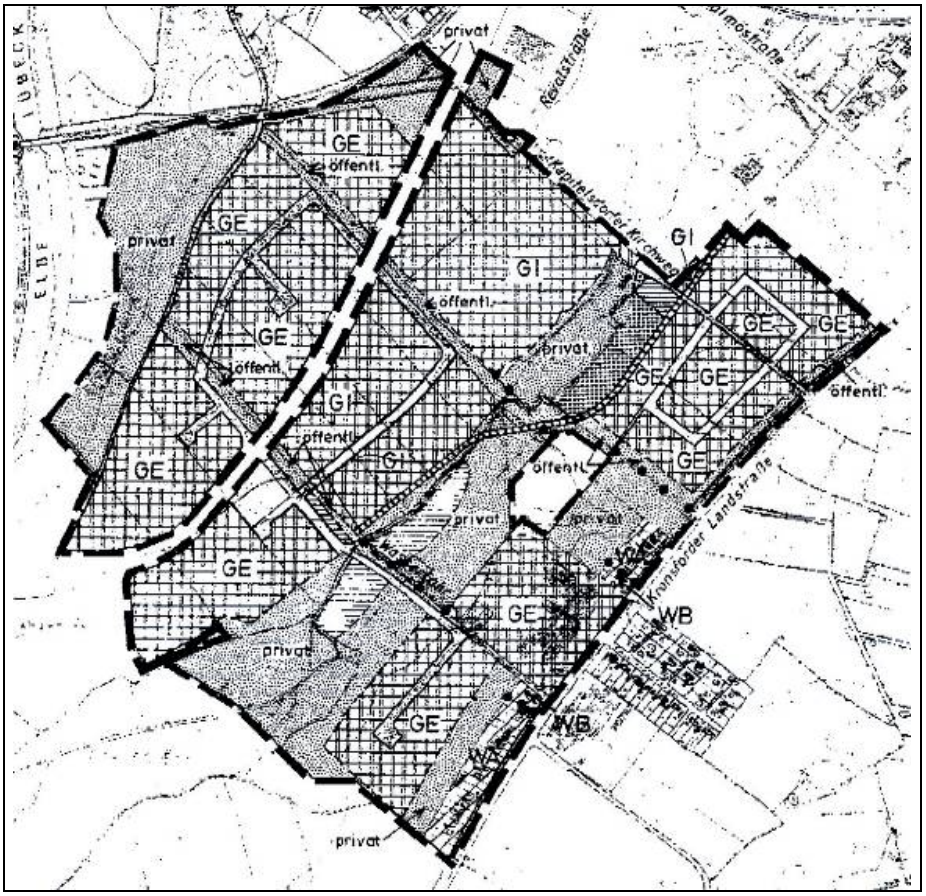


Abbildung 4-7: Bebauungsplan 17.56.00 Genin Süd (Teilbereich II) vom 02.03.2000; Quelle: Hansestadt Lübeck

Natürliche Rückhalteflächen

In Lübeck werden als Planungsleitlinie überdies bei fast allen städtischen Planungen die Niederungsbereiche von Bebauung freigehalten und dort Grünanlagen und Regenrückhaltebecken angelegt.

Versickerung

Im Jahr 2000 hat die Hansestadt Lübeck in § 13 der Entwässerungssatzung festgeschrieben, dass bei Neubauten und wesentlichen Umbauten eine Versickerung von Niederschlagswasser von den befestigten Flächen vorzunehmen ist. Eine Verpflichtung zur Versickerung kann im Bestandsgebiet wegen fehlender rechtlicher Grundlage allerdings nicht erfolgen. Bei Überlastung von zu sanierenden Netzteilen, die aber noch eine gute Bestandsqualität aufweisen, wird ebenfalls versucht, die Anwohner für eine Regenwasserversickerung auf ihrem Grundstück zu gewinnen. Das war bis zur Einführung des gesplitteten Gebührenmaßstabes wenig erfolgreich, weil für die Bewohner bis dahin keine finanziellen Anreize für eine Regenwasserversickerung bestanden. Es wird erwartet, dass mit Einführung der geteilten Abwassergebühr auch im Bestand die Anträge auf Versickerung zunehmen werden.

In neuen Bebauungsplänen wird ein Versickerungsgebot nach § 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB bei geeigneten Bodenverhältnissen festgesetzt. Generell werden bei Versickerungsanlagen Notüberläufe in die öffentliche Kanalisation zugelassen.

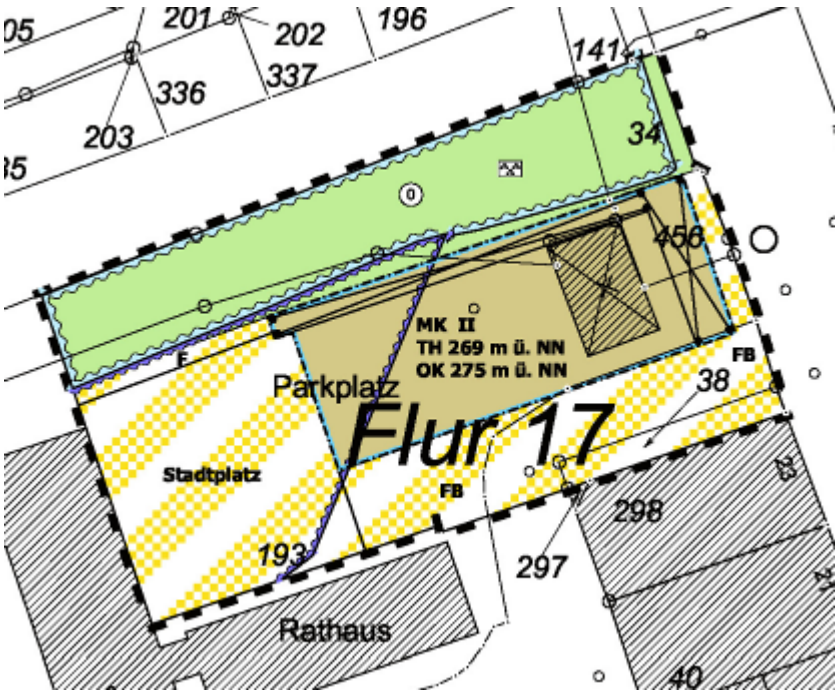
4.5.4 Beispiele aus den Fallstudien: Beispiel Meschede

Die Überschwemmungsgebiete entlang der Ruhr sind wasserrechtlich festgesetzt und planungsrechtlich in die neueren Bebauungspläne in diesen Bereichen nachrichtlich übernommen worden. Die Überschwemmungsgebiete im Bereich der Henne befinden sich zzt. (2007) in der Festsetzung. Im Geltungsbereich neuerer Bebauungspläne für den bebauten Innenbereich der Stadt Meschede werden die Bereiche, die bei einem 100-jährlichen Hochwasser HQ_{100} überflutet werden, die aufgrund einer vorhandenen Bebauung oder bestehender Baurechte aber kein ÜSG im Sinne des WHG sind, abgegrenzt und als Hinweis vermerkt. Bauliche Beschränkungen ergeben sich durch diese Vermerke nicht.

Die Überschwemmungsgebiete längs der Ruhr werden in diesen Bebauungsplänen als öffentliche oder private Grünflächen mit der Zweckbestimmung "Uferrandbegrünung der Ruhraue" festgesetzt.

Nach eigenen Angaben arbeitet das Tiefbauamt bei der Aufstellung von Bebauungsplänen eng mit der Stadtplanung zusammen. So werden die Topografie und potenziell abfließendes Wildwasser, das in die Bebauungsgebiete fließen kann, berücksichtigt. In einem neuen Baugebiet zwischen einem Maisfeld und dem Wohngebiet wurde ein breiter Graben zum Schutz vor Bodeneintrag angelegt. In weiteren Fällen wurden Abgrabungen und Profilvergrößerungen durchgeführt.

Insgesamt zeigt das Beispiel Meschede, wie mit der nachrichtlichen Übernahme und Vermerk von Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Bereichen eine Warnfunktion in die Bauleitplanung integriert werden kann, ohne dass eine der innerstädtischen Lage geschuldete städtebaulich wünschenswerte Nutzung und Gestaltung der Bereiche ausgeschlossen wird. Erst die nachrichtliche Übernahme und die Vermerke bieten in diesen Bereichen überhaupt die Chance, hochwasserangepasst zu bauen und zu nutzen.



Festsetzung: Öffentliche Grünfläche – Zweckbestimmung Uferrandbegrünung der Ruhraue

Nachrichtliche Übernahme: Festgesetztes Überschwemmungsgebiet nach § 112 LWG gem. Erlass der Bezirksregierung Arnsberg vom 09.10.2003

Vermerk: Abgrenzung des Bereiches, der bei einem 100 jährlichen Hochwasser HQ 100 überflutet wird, der aufgrund einer vorhandener Bebauung oder bestehender Baurechte aber kein ÜSG im Sinne des WHG ist

Abbildung 4-8: Hochwasserbezogenen Festsetzungen, Nachrichtliche Übernahmen und Vermerke im Bebauungsplan 62.2: 2. Änderung des Bebauungsplanes 63 "Sanierungsgebiet Rebell" vom 07.09.2007

"Die Nordseite des künftigen Gebäudes darf nicht in die bestehende Ruhraue, die gleichzeitig als Überschwemmungsgebiet festgesetzt ist, hineinragen. Die Baugrenze ist auf die Stützmauer zwischen dem jetzigen Vorplatz des Pavillons und der Ruhraue bezogen."

"Die Uferflächen der Ruhr, die je nach dem Wasserstand der Ruhr teilweise überschwemmt werden, sind als öffentliche Grünfläche mit der Zweckbestimmung „Uferrandbegrünung der Ruhraue“ bis an den Rand des rechtskräftigen wasserrechtlichen Überschwemmungsgebiets bzw. den künftigen Baukörper festgesetzt."

Die Bezirksregierung Arnsberg hat mit der ordnungsbehördlichen Verordnung vom 09.10.2003 das Überschwemmungsgebiet der oberen Ruhr im Bereich des Hochsauerlandkreises neu festgesetzt. Die Verordnung ist am 15.11.2003 in Kraft getreten. Im Überschwemmungsgebiet gelten die Verbote, Gebote und Genehmigungspflichten gem. § 113 Landeswassergesetz in der jeweils gültigen Fassung in Verbindung mit dem Wasserhaushaltsgesetz des Bundes. Das förmlich festgesetzte Überschwemmungsgebiet umfasst dabei im Plangebiet die gesamte Ruhraue und ist im Bebauungsplan nach § 9 Abs. 6a BauGB nachrichtlich in die Planzeichnung übernommen (hellblaue Wellenlinie).

Weiterhin enthält die genannte Verordnung der Bezirksregierung Arnsberg diejenigen Flächen, die bei einem 100-jährigen Hochwasser überflutet werden, die aufgrund der vorhandenen Bebauung oder bestehender Baurechte aber keine ÜSG im Sinne des damaligen WHG waren. Hiervon betroffen ist der westliche Teilbereich des Plangebiets. Diese Flächen werden in der Planzeichnung des Bebauungsplans als Vermerk gem. § 9 Abs. 6a BauGB (dunkelblaue Wellenlinie) wiedergegeben. Bauliche Beschränkungen ergeben sich durch diesen Vermerk nicht.

Das Verfahren zur Ausweisung eines Überschwemmungsgebietes für die Henne ist noch nicht abgeschlossen. Ein vorläufig abgegrenztes Überschwemmungsgebiet, das den Vorgaben des § 112 Abs. 3 LWG entspricht, liegt ebenfalls nicht vor.

4.6 Maßnahmen zur Abflussminderung

Nicht technische Maßnahmen zur Abflussminderung außerhalb der geschlossenen Bebauung können beispielsweise die Aufforstung von Flächen, die Schaffung natürlicher Rückhalteflächen oder die Förderung von standortgerechter Land- und Forstwirtschaft umfassen.

Als mögliche Maßnahmen außerhalb der Siedlungsbereiche kommen in Frage:

- Maßnahmen zur hochwassermindernden Flächenbewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen (Beseitigung von Drainagen, veränderte Anbautechniken, Ökolandbau etc.)
- Maßnahmen zur hochwassermindernden Flächenbewirtschaftung von Forstflächen (Umwandlung von Monokulturen in Mischwald, Wegeführung zum dezentralen Rückhalt etc.)
- Maßnahmen zur Sicherung von FFH, Natur- und Landschaftsschutzgebieten, Biotopschutz, Ausweisung von Ausgleichsflächen in ÜSG, Aktivierung ehemaliger Feuchtgebiete
- Gewässerrenaturierung, Ausweisung von Gewässerrandstreifen

Innerhalb der Siedlungsbereiche sind dies beispielsweise Maßnahmen zur Entsiegelung, zur Dachbegrünung, zur Regenwassernutzung und -versickerung und zum Regenwasserrückhalt. Die Einführung einer gesplitteten Abwassergebühr für Regenwasser und Schmutzwasser ist inzwischen fast überall realisiert. Ob diese Maßnahme maßgebliche Effekte auf die Entsiegelung und Abkopplung von Flächen haben wird, kann noch nicht abgeschätzt werden.

Zu den Möglichkeiten der Regenwassernutzung, der Versickerung und dem dezentralen Rückhalt liegen eine Vielfalt von technischen Anleitungen, Broschüren und Bürgerinformationen beispielsweise von Stadtwerken vor, die hier im Einzelnen nicht aufgeführt werden.

Auswertung der Fallstudien

Gesplittete Abwassergebühren, Regenwasserversickerung und Niederschlagswassermanagement sind in fast allen untersuchten Kommunen inzwischen eingeführt. Allerdings machen diese Systeme bisher nur einen geringen Anteil des Entwässerungssystems in den Kommunen aus, weil der Bestand weitgehend unverändert bleibt. In einigen Fällen wurden auch Vereinbarungen mit der Landwirtschaft zu geänderter Bewirtschaftung, Flächenkauf und Aufforstung zur Verbesserung des Rückhalts genannt. Vergleichbar mit dem Handlungsbereich der Flächenvorsorge werden die Möglichkeiten bisher vergleichsweise selten genutzt, da aufgrund des Eigentums- und Bestandsschutzes und des hohen Aufwandes im Bestand nur ein langfristiges Vorgehen erfolgreich sein kann.

4.7 Technische Maßnahmen

Technische Maßnahmen zur Abflussminderung an Gewässern und in der Kanalisation umfassen die Schaffung von Rückhalteräumen und den Bau von Rückhaltebecken an Gewässern und im Kanalnetz. Die Verbesserung der Abflussleistung im Gewässer und im Kanalnetz kann durch Ausbau und

Unterhaltung, insbesondere die Beseitigung von Abflussengpässen und kritischen Bauwerken erzielt werden oder in größeren Kanalnetzen die aktive Kanalsteuerung umfassen. Zu diesen Maßnahmen zählen ebenfalls die Errichtung und Unterhaltung von Anlagen zum Schutz gefährdeter bebauter Bereiche (Deiche, Mauern, mobile Schutzelemente). Im Einzelnen können folgende Maßnahmen genannt werden:

Stauanlagen zur Hochwasserrückhaltung

- Überprüfung und ggf. Sanierung von Hochwasserrückhaltebecken (HRB) und Stauanlagen
- Vergrößerung bzw. Neubau von HRB, Nutzung von Abgrabungen
- Optimierte Steuerung von vorhanden HRB und Talsperren
- Rückhaltungen im Kanalsystem (RRB, HRB; Retentionsbodenfilter)

Deiche, Dämme, Hochwasserschutzmauern, mobiler Hochwasserschutz

- Ertüchtigung, Ausbau bzw. Bau von Deichen und Hochwasserschutzmauern
- Neubau von mobilen (stationären) Schutzeinrichtungen, Vorhaltung mobiler Elemente
- Festlegung von Überlastungsstellen in Deichen und Notpoldern, ggf. an Straßen- und Eisenbahndämmen
- Rückstauschutz an einmündenden Gewässern und Einleitstellen der Kanalisation und Gewährleistung der Binnenentwässerung

Sicherung des Abflussvermögens in den Siedlungsbereichen

- Maßnahmen zur Freihaltung der Hochwasserabflussquerschnitte
- Beseitigung von Engstellen und Abflusshindernissen im Gewässer (Brücken, Durchlässe, Wehre, sonst. Abflusshindernisse) und im Abflussbereich
- Maßnahmen der Gewässerunterhaltung, Landschaftspflege

Objektschutz

- Ausführung von Objektschutz an öffentlichen Gebäuden und öffentlichen Infrastruktureinrichtungen
- Aufklärung, Information und Beratungsprogramme zu Möglichkeiten des Objektschutzes an privaten Anwesen und Anlagen, insbesondere bzgl. Sicherung von Öltanks und wassergefährdenden Stoffen bei Gewerbe und Industrie

Auswertung der Fallstudien

Die Umsetzung technischer Maßnahmen wird in den Fallstudien häufiger genannt. Bei den Gewässern werden vor allem verbesserte Unterhaltung, Beseitigung von Engstellen, Offenlegung kanalisierter Abschnitte, technischer Ausbau der Gewässer, Bau von Entlastungsgräben sowie die Anlage von Rückhaltebecken genannt. Grundlage der Ausbauten bilden i. Allg. fachtechnische Planungen mit hydrologisch-hydraulischen Nachweisen, die häufig nach den Ereignissen beauftragt worden sind.

Bei der Kanalisation sind die Kenntnisse über Zustand und Leistungsfähigkeit der Kanäle und Kanalbauwerke sowie die wenig leistungsfähigen Abschnitte i. Allg. bekannt. Häufig liegen Sanierungskonzepte mit Prioritätensetzung vor, wobei die Engpassbeseitigung nur ein Kriterium unter vielen andern ist (Bautechnik, Gewässergüte, Beseitigung vorhandener Schäden etc.).

4.8 Maßnahmen der Bauvorsorge

Maßnahmen der Bauvorsorge umfassen vorbeugende Maßnahmen an gefährdeten Objekten wie hochwasserangepasstes Bauen oder die Vorhaltung fester und mobiler Schutzeinrichtungen, insbesondere für bodennahe Gebäudeöffnungen wie ebenerdige Eingangstüren, Terrassentüren, Kellerlicht-

schächte, Kellerzugänge und Leitungsdurchführungen. Die wesentlichste Sicherungsmaßnahme für Bauwerke stellen aber funktionsfähige Rückstausicherungen dar. Die zur Bauvorsorge zählenden Maßnahmen umfassen:

- Aufklärung über die potenzielle Gefahr
- Hochwasserangepasstes Planen und Bauen an öffentlichen Gebäuden und öffentlichen Infrastruktureinrichtungen
- Aufklärung, Information und Beratungsprogramme zu Möglichkeiten des hochwasserangepassten Planens und Bauens und Objektschutzmaßnahmen an privaten Anwesen und Anlagen
- Aufklärung, Information und Beratungsprogramme zu Möglichkeiten der hochwasserangepassten Nutzung (keine hochwertigen Ausbauten oder Einrichtungsgegenstände, die geschädigt werden können oder Schaden verursachen können (Öltanks))
- Vorschreiben von Objektschutzmaßnahmen (Rückstausicherungen, Hochwassertore und –Schütze, Kellerfensterschächte, Schwellen)
- Vorschreiben von Fluchtwegen aus Häusern (Notausstiege) bzw. hochwassersichere Gebäudeteile
- In Risikozonen keine Keller oder wasserresistente, leicht zu reinigende Materialien

Auswertung der Fallstudien

Die Maßnahmen der Rückstausicherung der Gebäude gegen Rückstau aus dem Kanalnetz sind generell in allen Ortsatzungen vorgeschrieben, aber häufig nicht realisiert. Viele Städte und Stadtwerke versuchen durch Bürgerinformation, die Hausbesitzer zum Einbau dieser Sicherungen zu animieren. Rückstausicherungen sind heute vielerorts auch schon bei Normalbetrieb (d. h. nicht nur bei extremen Starkregenereignissen) der Kanalisation erforderlich.

Vereinzelt werden auch andere Maßnahmen der Bauvorsorge genannt. Hierzu zählen baurechtlich abgesicherte Maßnahmen zur Kellernutzung, Vorhaltung von Material zum Gebäudeschutz, Broschüren zur Bauvorsorge, insbesondere auch zum Umgang mit Öltanks.

4.9 Maßnahmen der Risikovorsorge

Unter „Maßnahmen der Risikovorsorge“ wird eine finanzielle Vorsorge für den Fall, dass trotz Vorsorge ein Hochwasserschaden eintritt, verstanden. Dieses kann die Bildung von Rücklagen oder Versicherungslösungen beinhalten.

Die Versicherungsdichte bzgl. Hochwasser ist zurzeit in Deutschland noch gering, obwohl sich der Schadenstyp Sturzflut (Schaden kann beinahe überall auftreten, überschaubare Schadenssummen beim jeweiligen Ereignis) für Versicherungslösungen anbietet. Der Grad der Versicherungsabdeckung war in den Kommunen i. Allg. nicht bekannt.

4.10 Maßnahmen zur Informationsvorsorge

Maßnahmen der „Informationsvorsorge“ umfassen die Information und Beratung der Betroffenen, beispielsweise die Veröffentlichung von Risikokarten und die Verbreitung von Informationsmaterial zu persönlichen und privaten Vorsorgemaßnahmen.

An den kleinen Gewässern sind die Überflutungsgebiete in der überwiegenden Zahl der Fälle nicht ermittelt und somit auch nicht veröffentlich bekannt.

Die Fallstudien zeigen, dass bei den zuständigen kommunalen Ämtern und Behörden häufig gute Kenntnisse über potenzielle Gefahrenbereiche an den Gewässern vorhanden sind, aber nur in Ausnahmenfällen in Form von Gefahren- und Risikokarten veröffentlicht wurden. Ebenso sind die

Schwachstellen im Kanalsystem den jeweiligen Fachbehörden bekannt und dienen u. a. als Planungsgrundlage für die Sanierungsplanung. Aber auch hier gilt, dass diese Kenntnisse i. Allg. nicht öffentlich gemacht werden.

Somit fehlen häufig die erforderlichen Unterlagen für eine gezielte Beratung und Information für die möglichen Betroffenen, aber auch für die Ämter und Fachbehörden der Verwaltung, die nicht unmittelbar mit dem Thema Überflutung und Hochwasser zu tun haben. Dagegen gibt es eine Reihe von guten und informativen Broschüren für die Bürger, bei denen mögliche Maßnahmen vorgestellt werden.

Kommunale Hochwasserbroschüren

Hochwasserbroschüren für Bürger dienen der Vorsorge und können den Kommunikationsprozess erleichtern. Im Rahmen einer Literatur- und Internetrecherche wurde das Angebot an und die Inhalte von Hochwasserbroschüren in Deutschland und ihre Praxistauglichkeit in Bezug auf den Vorsorgeaspekt von Starkregenereignissen und Sturzfluten untersucht. Gegenstand der Untersuchung waren 35 Hochwasserbroschüren, die öffentlich, d. h. meist in der Regel über das Internet und kostenlos erhältlich sind (Anlage 7: Auswertung von Hochwasserbroschüren bzw. Hochwassermerkblättern).

Die Untersuchung ergab, dass das vorhandene Angebot an Broschüren nur bedingt zur Vorsorge vor Sturzfluten geeignet ist. Die meisten Broschüren setzten in der Regel den Schwerpunkt auf Flussüberschwemmungen. Aus diesem Grund entstand die Idee, eine webbasierte Broschüre zur Bürgerinformation über Hochwasservorsorge zu konzipieren.

Das Konzept der webbasierten Broschüre entstand in Zusammenarbeit mit dem RIMAX-Projekt MEDIS (Beteiligte u. a. GeoForschungsZentrum Potsdam und Deutsche Rückversicherung aus Düsseldorf). Die webbasierte Anwendung soll vor allem Kommunen darin unterstützen, qualifiziert und kostengünstig Informationsmaterial für Ihre Bürgerinnen und Bürger zu erstellen. Vorbereitete Module mit Informationen über die Möglichkeiten und Potenziale privater Hochwasservorsorge können gemeindespezifisch zu einer Broschüre zusammengestellt und entsprechend den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Kommunen haben die Möglichkeit, die Broschüre oder einzelne Merkblätter auszudrucken und an ihre potenziell von Hochwasser betroffenen Bürgerinnen und Bürger zu verteilen, oder auf der Gemeindehomepage zu veröffentlichen.

4.11 Maßnahmen zur Verhaltensvorsorge

Maßnahmen zur Verhaltensvorsorge umfassen alle konkreten Vorbereitungen für den Katastrophenfall, die getroffen werden, um eine effektive Bewältigung zu gewährleisten. Dazu gehören Maßnahmen zur frühzeitigen und wirksamen Warnung sowie zur Evakuierung und Notfallplanung.

„Verhaltensvorsorge“ umfasst die Komponenten „Verbesserung der Vorbereitung auf den Hochwasserfall“, die „Vorhersage und Warnung vor Hochwasser“ sowie die „Verbesserung der Gefahrenabwehr“. Dazu zählen auch Übungen, bei denen diese Handlungsabläufe außerhalb von Hochwasserzeiten eingeübt werden sowie

- Veröffentlichung von Informationsmaterialien zum Verhalten bei Hochwasserereignissen
- Beratung durch kommunale Stellen
- Übungen zur Vorbereitung auf Hochwasserereignisse

Die Verbesserung der Gefahrenabwehr erfolgt durch:

- Optimierung vorhandener Ressourcenplanungen und Krisenmanagementsystemen
- Organisationsstrukturen festlegen, Hochwasserschutzzentrale
- Wasserwehren organisieren
- Einrichtung von Warnsystemen für die Bevölkerung

- Bereitstellung von Infrastruktur und Material für den Ereignisfall

Gewitter und Starkregenwarnungen werden heute regelmäßig von den Wetterdiensten veröffentlicht.

Die Vorhersage- und Warnsysteme des DWD sind in Teil I, Abschnitt D dieser Untersuchung beschrieben. Die Güte der Vorhersagen bezüglich des Auftretens der Ereignisse ist heute bereits sehr zuverlässig, in Bezug auf die exakte räumliche Zuordnung und die Ausprägung (Wetter, Niederschlagsformen, Niederschlagsmenge) sind noch erhebliche Unschärfen vorhanden.

Die Fallstudien zeigen demnach, dass häufig zutreffende Warnungen vor Starkregen und Gewittern vor den Ereignissen veröffentlicht wurden. Das Problem liegt also weniger an dem Fehlen einer Warnung, sondern daran, dass diese Warnungen relativ häufig ausgegeben werden und die Vorhersagen räumlich zu unspezifisch sind, als das daraus ein konkretes Handeln abgeleitet werden könnte.

Nicht jeder Starkregen führt zu Sturzfluten, die Abflussbereitschaft des Gebiets ist ebenfalls entscheidend. Vorhersagen und Warnungen müssen zumindest so gut sein, dass sich die Aktivierung von Bereitschaftsdiensten lohnt, die Überwachung von „hot spots“ (Verrohrungen, Rechen) vorbereitet und ein Schutz besonders verletzlicher Einrichtungen aufgebaut werden kann. Einige Bundesländer (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz) haben hier flächenbezogene Vorhersage- und Warnsysteme aufgebaut, die auch die Abflussbereitschaft der Gebiete berücksichtigen.

Für Hamburg wurde im Rahmen von URBAS ein Konzept für eine kommunale Hochwasservorhersage und -warnung für kleine Gewässer entwickelt.

5 Anlagen

5.1 Anlage 1: Berechnung der Überschwemmungsgebiete mit dem GIS basierten Verfahren ArcGIS

Das Niederschlag-Abfluss-Modell basiert auf einer Abfolge von rasterbasierten Berechnungen in einem GIS (ArcGIS) unter Verwendung der SCS Curve Number Methode. Als Eingangsdaten dienen Flächennutzungsdaten nach CORINE, der Gebietsniederschlag in Form eines Raster (z. B. ein Radarbild) und hydrologisch relevante Parameter abgeleitet aus einem Digitalen Geländemodell (DGM Deutschland) mit einer Rasterweite von 25 mal 25 m.

- Ermittlung des Effektivniederschlags
- Berechnung der Abflusskonzentration
- Berechnung der Gesamtabflussmenge pro Rasterzelle
- Berechnung der maximalen Abflussrate pro Rasterzelle

Der Effektivniederschlag (Q) wird in Abhängigkeit vom Gebietsniederschlag (P), Anfangsverlusten (I) und der maximalen potenziellen Rückhaltemenge (S) mithilfe der folgenden Formel berechnet.

$$Q = \frac{(P - I)^2}{P - I + S} \qquad \text{Formel (1)}$$

Die Anfangsverluste entstehen durch Interzeption und Füllung von Mulden. Sie lassen sich annäherungsweise durch die folgende, an mitteleuropäische Bedingungen angepasste Formel abschätzen.

$$I = 0{,}05 \times S \qquad \text{Formel (2)}$$

Eingesetzt in die erste Formel entsteht der folgende Ausdruck zur Ermittlung des Effektivniederschlags

$$Q = \frac{(P - 0{,}05 \times S)^2}{P - (0{,}05 \times S) + S} = \frac{(P - 0{,}05 \times S)^2}{P + 0{,}95 \times S} \qquad \text{Formel (3)}$$

Die maximal potenzielle Rückhaltemenge S kann in Abhängigkeit von der vorherrschenden Bodenart und Landnutzungsmenge bestimmt werden. Beide Parameter werden durch den CN-Wert repräsentiert. Dieses Verfahren gilt als eine sichere, plausible Methode zur Abschätzung der Abflussverhältnisse nach Extremniederschlägen in kleinen Einzugsgebieten. Die Methodik findet aufgrund der vereinfachten Annahmen und der relativ geringen Anforderungen an das Datenmaterial eine weite Anwendung. Die Curve Number (CN) stellt einen Abflusskoeffizienten in Abhängigkeit von der vorherrschenden Bodenart und Landnutzung in einem Einzugsgebiet. Die Werte reichen von 0 bis 100 und nehmen bspw. mit der Verringerung der Versickerungsmöglichkeiten, dem Versiegelungsgrad und der abnehmenden Wasserdurchlässigkeit der Böden zu.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad \text{Formel (4)}$$

Unter Berücksichtigung der CN-Werte kann der effektive Niederschlag, der theoretisch pro Rasterzelle oberflächlich abfließt, mit der folgenden Formel berechnet werden.

$$Q = \frac{\left(P - 0{,}05 \times \left(\frac{25400}{CN} 254\right)\right)^2}{P + 0{,}95 \times \left(\frac{25400}{CN} - 254\right)} = \frac{\left(P - \frac{1270}{CN} + 12{,}7\right)^2}{P + \frac{24130}{CN} - 241{,}3} \qquad \text{Formel (5)}$$

Die Berechnung der Abflusskonzentration erfolgt mit dem Werkzeug Flow Accumulation aus der ArcGIS Toolbox. Das Ergebnis ist ein rasterbasiertes Grid. Mit der Funktion Flow Accumulation wird ein Raster erstellt, das für jede Rasterzelle die Anzahl der Rasterzellen ermittelt, deren Abfluss in die gegebene Rasterzelle einfließt. Somit hat jede Rasterzelle einen Wert für die Anzahl der Raster die Oberlieger sind. Durch die Multiplikation der Fläche einer jeden Rasterzelle mit der Anzahl der Oberliegerraster kann das Einzugsgebiet einer jeden Rasterzelle ermittelt werden.

Die Gesamtabflussmenge (m^3) kann errechnet werden, in dem die Abflusshöhe (= Effektivniederschlag) von Millimeter auf Meter umgerechnet wird und mit der Fläche einer jeden Rasterzelle (m^2) multipliziert wird.

Mithilfe der CN-Methode des SCS wurde anhand einer Vielzahl empirischer Tests ein Verfahren entwickelt, mit dem auf der Basis des Einheitsganglinienverfahrens die Konzentrationszeit und die maximale Abflussrate berechnet werden kann. Das Einheitsganglinienverfahren wird bei dieser Methodik für jede einzelne Zelle angewandt, um die maximale Abflussrate pro Rasterzelle zu ermitteln. In der Regel wird das Einheitsganglinienverfahren verwendet um die maximale Abflussrate für das gesamte Einzugsgebiet zu verwenden. Mit Hilfe des Moduls Flow Accumulation ist es möglich das Einzugsgebiet einer jeden Rasterzelle zu ermitteln und somit auch die maximale Abflussrate (qpeak) zu bestimmen. Folgende Größen müssen zur Berechnung der qpeak bekannt sein: Abflusshöhe in cm (Q), die Einzugsgebietsgröße (A) in km^2 und die Zeit bis zur Abflussspitze in Stunden (tpeak).

$$q_{peak} = 2{,}8 \times \frac{Q \times A}{t_{peak}} \qquad \text{Formel (6)}$$

Der Parameter „Zeit bis zur Abflussspitze“ tpeak kann mithilfe der Konzentrationszeit tc ermittelt werden. Die Konzentrationszeit ist eine bedeutende hydrologische Größe für die Angabe der Zeit, die der Abfluss von dem entferntesten Punkt des Einzugsgebietes bis zum einen betrachteten Punkt benötigt. In die Berechnung der Konzentrationszeit fließt die mittlere Curve Number (CN) des Einzugsgebiets ein und berücksichtigt seine maximale potenzielle Retention. Weitere zu ermittelnde Größen sind die hydraulische Einzugsgebietslänge (L) und die durchschnittliche Hangneigung (H) eines Einzugsgebietes.

$$t_c = \frac{2{,}587 \times L^{0{,}8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0{,}7}}{1140 \times H^{0{,}5}} \qquad \text{Formel (7)}$$

Die Einzugsgebietslänge kann mit dem folgenden Ausdruck ermittelt werden. Die benötigte Eingangsgröße ist das Einzugsgebiet (A) in ha, das mit dem Modul Flow Accumulation ermittelt wurde.

$$L = 110 \times A^{0{,}6} \qquad \text{Formel (8)}$$

Das Modell wurde im ESRI ModelBuilder 9.1 in ArcGIS erstellt. Durch eine Aneinanderreihung von diversen Rechenoperationen kann hiermit komplexes Dataprocessing erfolgen. Die folgende Abbildung liefert eine Übersicht über das erstellte Niederschlag-Abflussmodell

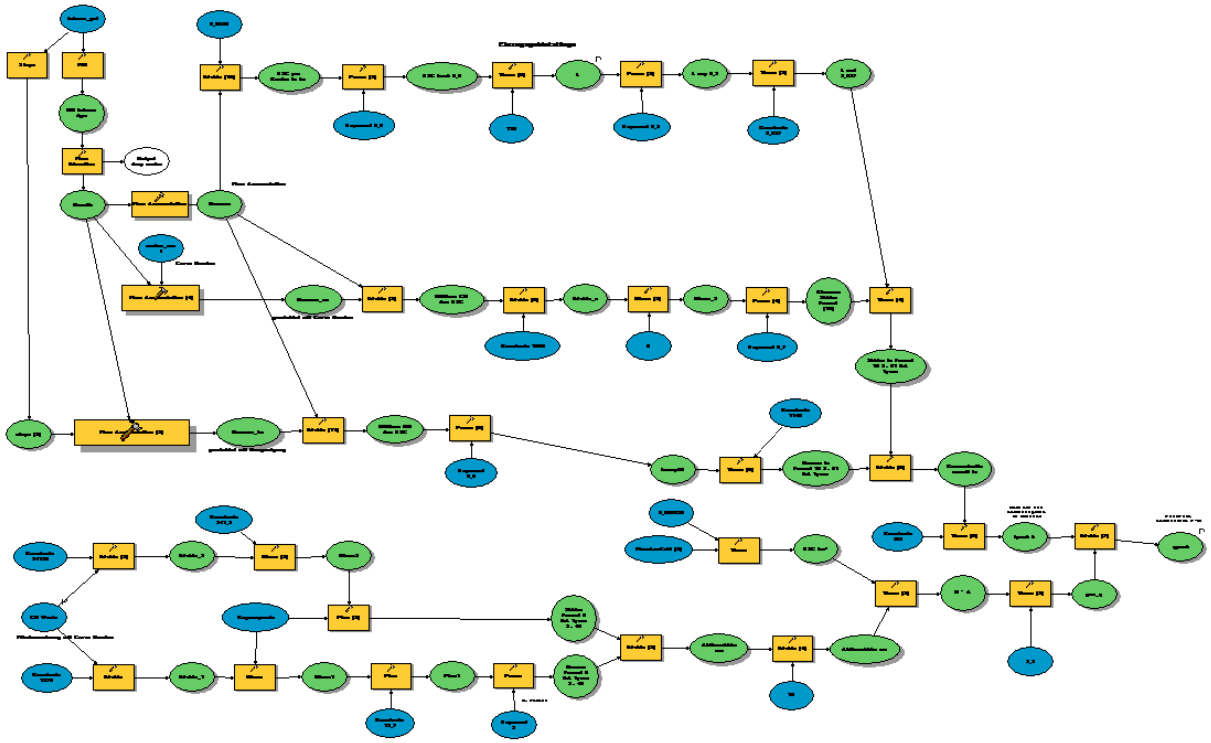


Abbildung 5-1: Das Modell im ModelBuilder

5.2 Anlage 2: Übersicht über die Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetze

Bundesland	Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetze
Baden-Württemberg	**LKatSG - Landeskatastrophenschutzgesetz** Gesetz über den Katastrophenschutz Fassung vom 22. November 1999 (GBl. 1999 S. 625; 11.3.2004 S. 112;:: 07.03.2006 S. 60 [06]) **FwG - Feuerwehrgesetz** Vom 10. Februar 1987 (GBl. 1987 S. 105; 1989 S. 142; 1991 S. 277, S. 681; 1996 S. 171, S. 776;:: 01.07.2004 S. 469 Art.29) **VwV Stabsarbeit** - Verwaltungsvorschrift zur Bildung von Stäben bei außergewöhnlichen Ereignissen und Katastrophen Vom 3. August 2004 (GMBl. vom 30.09.2004 S. 685)
Bayern	**LStVG - Landesstraf- und Verordnungsgesetz** Gesetz über das Landesstrafrecht und das Verordnungsrecht auf dem Gebiet der öffentlichen Sicherheit und Ordnung Fassung vom 13. Dezember 1982 (GVBl. 1982 S. 241; 27.12.1991 S. 496; 10.6.1992 S. 152; 25.6.1996 S. 222; 26.7.1997 S. 311; 26.7.1997 S. 323; 12.4.1999 S. 130; 16.12.1999 S. 521; 24.4.2001 S. 140; 27.12.2004 S. 540; 10.12.2007 S. 864; 20.12.2007 S. 958 07; 08.07.2008 S. 364 08;:: 22.07.2008 08a) **BayKSG - Bayerisches Katastrophenschutzgesetz** Vom 24. Juli 1996 (GVBl. 1996 S. 282; 1999 S. 130; 24.4.2001 S. 140; 24.05.2007 S. 342 [07];:: 06.05.2008 S. 160 [08]) **BayFwG - Bayerisches Feuerwehrgesetz** Vom 23. Dezember 1981 (GVBl. 1981 S. 526; 1993 S. 522; 1996 S. 152, S. 282; 1998 S. 401; 24.4.2001 S. 140; 25.7.2002 S. 318; 24.12.2002 S. 962;:: 25.02.2008 S. 40 [08]) **KoordR - Koordinierungsrichtlinie** Richtlinien für die Bewältigung großräumiges Gefährdungslagen und anderer koordinierungsbedürftiger Ereignisse unterhalb der Katastrophenschwelle Vom 10. September 2007 (AllMBl. Nr. 10 vom 28.09.2007 S. 414) **ABek - Alarmierungsbekanntmachung** Alarmierung im Rettungsdienst, Brand- und Katastrophenschutz in Bayern Vom 12. Dezember 2005 (AllMBl. Nr. 13 vom 28.12.2005 S. 540)

Bundesland	Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetze
Berlin	**ASOG Bln - Allgemeines Sicherheits- und Ordnungsgesetz** Allgemeines Gesetz zum Schutz der öffentlichen Sicherheit und Ordnung in Berlin * Vom 11. Oktober 2006 (GVBl. Nr. 34 vom 14.10.2006 S. 930; 14.11.2006 S. 1045 [06]; 30.11.2007 S. 598 [07];:: 15.12.2007 S. 604) **KatSG - Katastrophenschutzgesetz** Gesetz über die Gefahrenabwehr bei Katastrophen Vom 11. Februar 1999 (GVBl. 1999 S. 78;16.7.2001 S. 260; 8.8.23.9.2003 S. 457;:: 26.1.2004 S. 25 [04]) **KatSD-VO - Verordnung über den Katastrophenschutzdienst** Vom 20. Dezember 2001 (GVBl. Nr. 1 vom 17.1.2002 S. 1;:: 19.12.2005 S. 793 [05]) **ExtNotfallplanVO KatSG -** Verordnung über die externen Notfallpläne nach dem Katastrophenschutzgesetz Vom 26. Juli 2000 (GVBl. Nr. 25 vom 5.8.2000 S. 393) **FwG - Feuerwehrgesetz** Gesetz über die Feuerwehren im Land Berlin Vom 23. September 2003 (GVBl. Nr. 34 vom 30.9.2003 S. 457)
Brandenburg	**OBG - Ordnungsbehördengesetz** **Gesetz über Aufbau und Befugnisse der Ordnungsbehörden** Fassung vom 21. August 1996 (GVBl. I 1996 S. 266;...; 29.6.2004 S. 289;:: 18.12.2006, S. 188) **BbgBKG - Brandenburgisches Brand- und Katastrophenschutzgesetz** Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz des Landes Brandenburg Vom 24. Mai 2004 (GVBl. Nr. 9 vom 24.05.2004 S. 197) Verwaltungsvorschrift des Ministeriums des Innern zum Brandenburgischen Brand- und Katastrophenschutzgesetz Vom 30. November 2005 (ABl. Nr. 50 vom 21.12.2005 S. 1090)
Bremen	**OrtsGöO - Ortsgesetz über die öffentliche Ordnung** Vom 27. September 1994 (Brem.GBl. S. 277;::: 26.1.2006 S. 51) **BremKatSG - Bremisches Katastrophenschutzgesetz** Vom 2. Juli 1999 (Brem.GBl. 1999 S. 167;:: 4.12.2001 S. 393) **BremHilfeG - Bremisches Hilfeleistungsgesetz** Vom 18.06.2002 (GBl. Nr. 25 vom 21.06.2002 S. 189;:: 17.12.2002 S. 605)

Bundesland	Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetze
Hamburg	**SOG - Gesetz zum Schutz der öffentlichen Sicherheit und Ordnung** Vom 14. März 1966 (HmbGVBl. S. 77; ...; 1.7.1993 S. 149, 150; 20.6.1996 S. 150; 16.11.1999 S. 256, 258; 14.7.2000 S. 146; 18.7.2001 S. 251, 252; 9.9.2003 S. 467; 16.06.2005 S. 233 [05]; 06.10.2005 S. 424 [05a];:: 16.1.2006 S. 37 [06]) **HmbKatG - Hamburgisches Katastrophenschutzgesetz** Vom 16. Januar 1978 (HambGVBl. 1978 S. 31; 1986 S. 137, 1992 S. 117; 1999 S. 221) **Feuerwehrgesetz** Vom 23. Juni 1986 (HmbGVBl. 1986, S. 137; 9.6.1992 S. 117; 1. 7. 1993 S. 149, 151; 16.1.1989 S. 5; 4.3.1997 S. 34; 16.11.1999 S. 256; 18.7.2001 S. 251)
Hessen	**HSOG - Hessischen Gesetzes über die öffentliche Sicherheit und Ordnung *** Vom 14. Januar 2005 (GVBl. I Nr. 2 vom 25.01.2005 S. 14; 21.03.2005 S. 229; 17.10.2005 S. 674 [05];:: 28.09.2007 S. 637 [07]) **HBKG - Hessisches Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz** Vom 17. Dezember 1998 (GVBl. 1998 S. 530; 20.12.2004 S. 506 [04]; 21.03.2005 S. 229 [05];:: 15.11.2007 S. 757 [07]) FwOVO - Verordnung über die Organisation, Stärke und Ausrüstung der öffentlichen Feuerwehren Vom 29. August 2001 (GVBl. Nr. 21 vom 24.8. 2001 S. 391)
Mecklenburg-Vorpommern	**SOG M-V - Sicherheits- und Ordnungsgesetz** Gesetz über die öffentliche Sicherheit und Ordnung in Mecklenburg-Vorpommern In der Fassung vom 25. März 1998 (GVOBl. 1998 S. 335; 24.10.2001 S. 386; 28.3.2002 S. 154; 18.5.2004 S. 178; 23.5.2006 S. 194 [06];:: 10.7.2006 S. 551 [06]). **LKatSG M-V - Landeskatastrophenschutzgesetz** Gesetz über den Katastrophenschutz in Mecklenburg-Vorpommern Vom 24. Oktober 2001 (GVOBl. M-V Nr. 13 vom 29.10. 2001 S. 394;:: 19.12.2005 S. 640 [05]) **BrSchG - Brandschutz- und Hilfeleistungsgesetz** Gesetz über den Brandschutz und die Technischen Hilfeleistungen durch die Feuerwehren für Mecklenburg-Vorpommern Vom 3. Mai 2002 (GVOBl. M-V Nr. 8 vom 29.5.2002 S. 254; 14.03.2005 S. 91, 96 [05]; 19.12.2005 S. 640 [05a];:: 23.5.2006 S. 194 [06])

Bundesland	**Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetze**
Niedersachsen	**Nds. SOG - Niedersächsisches Gesetz über die öffentliche Sicherheit und Ordnung** Vom 19. Januar 2005 (GVBl. Nr. 2 vom 3.2.2005 S. 9; 25.11.2007 S. 654 [07];:: 14.12.2007 S. 720 [07a]) **NKatSG - Niedersächsisches Katastrophenschutzgesetz** Fassung vom 14. Februar 2002 (GVBl. Nr. 8 vom 22.2.2002 S. 74;:: 16.09.2004 S. 365) **NbrandSchG - Niedersächsisches Brandschutzgesetz** Niedersächsisches Gesetz über den Brandschutz und die Hilfeleistungen der Feuerwehren Vom 8. März 1978 (GVBl. 1978 S. 233; 1989 S. 25; 1990 S. 101; 1998 S. 127; 2001 S. 701; 2002 S. 112;:: 16.09.2004 S. 362 [04])
Nordrhein-Westfalen	**FSHG - Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung** Vom 10. Februar 1998 (GV NW S. 122, 3.2.2004, S. 96; S. 644 [04a]; 5.4.2005 S. 332;:: 11.12.2007 S. 662 [07]) **OBG - Ordnungsbehördengesetz** Gesetz über Aufbau und Befugnisse der Ordnungsbehörden Fassung vom 13. Mai 1980 (GV. NW. 1980 S. 528; 1982 S. 248; 1984 S. 370; 1985 S. 259; 1987 S. 342; 1990 S. 46, ber. 1991 S. 149; 1990 S. 201; 1992 S. 446; 1993 S. 987; 1994 S. 1115; 2001 S. 870; 8.7.2003 S. 410; 17. 6. 2003 S. 313; 16.3.2004 135;:: 16.11.2004 S. 644) **Krisenmanagement durch Krisenstäbe** bei den kreisfreien Städten, Kreisen und Bezirksregierungen bei Großschadensereignissen (§ 1 Abs.3 FSHG) im Lande Nordrhein-Westfalen Vom 14. Dezember 2004 (MBl. NRW Nr. 4 vom 26.1.2005 S. 64)
Rheinland-Pfalz	**LBKG - Brand- und Katastrophenschutzgesetz** Landesgesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz Vom 2. November 1981 (GVBl. 1981 S. 247; 2000 S. 578; 2001 S. 29; 05.04.2005 S. 104 [05]; 19.12.2006 S. 436 [06];:: 17.06.2008 S. 99 [08]) **RettDG - Rettungsdienstgesetz** Landesgesetz über den Rettungsdienst sowie den Notfall- und Krankentransport Vom 22. April 1991 (GVBl. S. 217; 29.7.1997 S. 259; 6.7.1998 S. 171; 12.10.1999 S. 325; 6.2.2001 S. 29; 05.04.2005 S. 98, 111 [05];:: 12.06.2007 S. 91 [07])
Saarland	**SBKG - Gesetz über den Brandschutz, die Technische Hilfe und den Katastrophenschutz im Saarland** Vom 29. November 2006 (Amtsbl. Nr. 55 vom 21 12. 2006 S. 2207; 25.04.2007 S. 1226 [07];:: 21.11.2007 S. 2393 [07a]) Verordnung über die Organisation des Brandschutzes und der Technischen Hilfe im Saarland Vom 11. Januar 2008 (ABl. Nr. 5 vom 7.2.2008 S. 204) ILSG - Gesetz über die Errichtung und den Betrieb der Integrierten Leitstelle des Saarlandes Vom 29. November 2006 (Amtsbl. Nr. 55 vom 21 12. 2006 S. 2207)

Bundesland	Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetze
Sachsen	SächsKatSVO - Sächsische Katastrophenschutzverordnung **Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums des Innern über den Katastrophenschutz im Freistaat Sachsen** **Vom 19. Dezember 2005** **(GVBl. Nr. 11 vom 30.12.2005 S. 324)** **SächsBRKG - Sächsisches Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz** Vom 24. Juni 2004 (GVBl. Nr. 9/2004 S. 245, ber. 14/2004 S. 647; 9.9.2005 S. 266;:: 29.01.2008 S. 102 [08]) **SächsFwVO - Sächsische Feuerwehrverordnung** Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums des Innern über die Feuerwehren und die Brandverhütungsschau im Freistaat Sachsen Vom 21. Oktober 2005 (GVBl. Nr. 8 vom 25.11.2005 S. 291) **Empfehlung des Sächsischen Staatsministeriums des Innern zum Brandschutzbedarfsplan** Vom 7. November 2005 (ABl. Nr. 48 vom 01.12.2005 S. 1168)
Sachsen-Anhalt	**SOG - Sicherheit und Ordnung LSA** Vom 23. September 2003 (GVBl. Nr. 32 vom 7.10.2003 S. 214;:: 14.02.2008 S. 58 [08]) **KatSG-LSA - Katastrophenschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt** Vom 5. August 2002 (GVBl. LSA vom 12.08.02 Nr. 42 S. 339;:: 28.06.2005 S. 320 [05]) **BrSchG - Brandschutzgesetz** Brandschutz- und Hilfeleistungsgesetz des Landes Sachsen-Anhalt Fassung vom 7. Juni 2001 (GVBl. LSA Nr. 22 vom 13. 6. 2001 S. 190; 2001 S. 540, 545;:: 19.3.2002 S. 130, 147) AlGefPl - VO -Verordnung zur Aufstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne * Vom 4. Oktober 2001 (GVBl. LSA Nr. 44 vom 10.10. 2001 S. 400;:: 19.07.2004 S. 410) **Zusammenarbeit von Gemeinden bei der Gewährleistung des Brandschutzes** Vom 16. Juni 2006 (MBl. Nr. 38 vom 18.09.2006 S. 589)
Schleswig-Holstein	**LKatSG - Landeskatastrophenschutzgesetz** Gesetz über den Katastrophenschutz in Schleswig-Holstein Fassung vom 10. Dezember 2000 (GVOBl. 2000 S. 664;:: 7.1.2008 S. 12 [08]) **BrSchG - Brandschutzgesetz** Gesetz über den Brandschutz und die Hilfeleistungen der Feuerwehren Vom 10. Februar 1996 (GVOBl. Schl.-H. 1996 S. 200; 1996 S. 652; 1999 S. 110;2000 S. 582; 2001 S. 184; 18.12.2002/2003 S. 2; 1.2.2005 S. 57;:: 7.1.2008 S. 12 [08])

Bundesland	**Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzgesetze**
Thüringen	**ThürBKG - Thüringer Brand- und Katastrophenschutzgesetz** Thüringer Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz Vom 5. Februar 2008 (GVBl. Nr. 22 vom 28.2.2008 S. 22) **OBG - Ordnungsbehördengesetz** Thüringer Gesetz über die Aufgaben und Befugnisse der Ordnungsbehörden Vom 18. Juni 1993 (GVBl. 1993 S. 323; 24.10.2001 S. 265;:: 20.6.2002, S. 247)
Feuerwehr-Dienstvorschriften	**FwDV 100 - Feuerwehr-Dienstvorschrift 100** Führung und Leitung im Einsatz Führungssystem Ausgabe: März 1999 Beschlossene Fassung des AFW - 10.03.99; eingeführt in allen Bundesländern: Baden-Württemberg: 19.04.2000; Bayern: 10.08.2004; Berlin: 1999; Brandenburg: 27.10.1999; Bremen: 01.06.2000; Hamburg: 06.03.2000; Hessen: 01.05.2001; Mecklenburg-Vorpommern: 17.09.1999; Niedersachsen: 19.10.2000; Nordrhein-Westfalen: 10.10.2003; Rheinland-Pfalz: 15.11.2000; Saarland: (Mit Verabschiedung durch Unterausschuss "Feuerwehrangelegenheiten" alle eingeführt); Sachsen: 16.01.2006; Sachsen-Anhalt: 03.05.1999; Schleswig-Holstein: 01.11.2003; Thüringen: 01.10.1999

5.3 Anlage 3: Definition von Schadensereignis, Großschadensereignis und Katastrophe in den Landesgesetzen

Bundesland	Hilfeleistung, Schadensereignis	Großschadensereignis	Katastrophe
Baden-Württemberg	Schadenfeuer (Brände) Öffentlichen Notständen, die durch Naturereignisse, Einstürze, Unglücksfälle und dergleichen verursacht sind Lebensbedrohliche Lagen von Menschen und Tieren Andere Notlagen für Menschen und Tiere und für Schiffe (§ 2 FWG)	keine eigenständige Definition	Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein Geschehen, das Leben oder Gesundheit zahlreicher Menschen oder Tiere, die Umwelt, erhebliche Sachwerte oder die lebensnotwendige Versorgung der Bevölkerung in so ungewöhnlichem Maße gefährdet oder schädigt, dass es geboten erscheint, ein zu seiner Abwehr und Bekämpfung erforderliches Zusammenwirken von Behörden, Stellen und Organisationen unter die einheitliche Leitung der Katastrophenschutzbehörde zu stellen. (§ 1 Abs.2 L-KatSG)
Bayern	Brand- und Explosionsgefahren und Brände (Abwehrender Brandschutz) sonstige Unglücksfälle oder Notstände (Technischer Hilfsdienst) (Art.1 BayFwG)	keine eigenständige Definition	Eine Katastrophe im Sinn dieses Gesetzes ist ein Geschehen, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen oder die natürlichen Lebensgrundlagen oder bedeutende Sachwerte in ungewöhnlichem Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden und die Gefahr nur abgewehrt oder die Störung nur unterbunden und beseitigt werden kann, wenn unter Leitung der Katastrophenschutzbehörde die im Katastrophenschutz mitwirkenden Behörden, Dienststellen, Organisationen und die eingesetzten Kräfte zusammenwirken. (Art.1 Abs.2 BayKSG)
Berlin	Gefahren für die öffentliche Sicherheit, die durch Brände, Explosionen, Überschwemmungen, Unfälle und ähnliche Ereignisse entstehen (§ 3 Abs.1 FwG)	keine eigenständige Definition	Katastrophen im Sinne dieses Gesetzes sind Großschadensereignisse, die zu einer gegenwärtigen Gefahr für das Leben oder die Gesundheit einer Vielzahl von Menschen, für die Umwelt oder für sonstige bedeutsame Rechtsgüter führen und die von den für die Gefahrenabwehr zuständigen Behörden mit eigenen Kräften und Mitteln nicht angemessen bewältigt werden können. (§2 Abs.1 KatSG)

Bundesland	**Hilfeleistung, Schadensereignis**	**Großschadensereignis**	**Katastrophe**
Brandenburg	Brandgefahren (Brandschutz) Not- und Unglücksfälle (Hilfeleistung) (§ 1 Abs.1 BbgBKG)	Großschadensereignisse (sind) Geschehen, die eine große Anzahl von Menschen oder erhebliche Sachwerte gefährden und zu deren wirksamen Bekämpfung die Kräfte und Mittel der Träger des örtlichen Brandschutzes und des Rettungsdienstes nicht ausreichen, sondern überörtliche oder zentrale Führung und Einsatzmittel erforderlich sind (§ 1 Abs.2 Nr. 1 BbgBKG)	Katastrophen (sind) insbesondere Naturereignisse oder durch Mensch oder Technik verursachte Ereignisse, die eine Beeinträchtigung oder unmittelbare Gefährdung von Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen, erheblicher Sachwerte, lebensnotwendiger Unterkünfte oder der Versorgung der Bevölkerung bedeuten und dabei zugleich erhebliche Störungen oder unmittelbare Gefährdungen der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung verursachen, durch Kräfte der Feuerwehr und des Rettungsdienstes und trotz Nachbarschaftshilfe nicht in angemessener Zeit beseitigt werden können und den Einsatz der Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes unter einheitlicher Führung erfordern. (§ 1 Abs.2 Nr. 2 BbgBKG)

Bundesland	**Hilfeleistung, Schadensereignis**	**Großschadensereignis**	**Katastrophe**
Bremen	Brände Medizinische Rettung von Menschen lebensbedrohliche Lagen von Menschen und Tieren Bedrohung von Sachwerten Umweltschäden, Unglücksfälle und öffentliche Notständen, die durch Naturereignisse, Wasser- und Gasausströmungen, Gebäudeeinstürze oder ähnliche Vorkommnisse (§ 1 Abs.1 Nr.1 BremHilfeG)	Indirekt: Großbrände oder öffentliche Notstände, deren Bekämpfung überörtliche Hilfe erfordert, auch wenn die Sicherheit der eigenen Stadtgemeinde dadurch vorübergehend gefährdet wird (§ 49 Abs.3 BremHilfeG)	Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein über die Schadensfälle des täglichen Lebens hinausgehendes Ereignis, das Leben, Gesundheit, die Umwelt, erhebliche Sachwerte oder die lebenswichtige Versorgung der Bevölkerung in einem solchen Maße gefährdet oder beeinträchtigt, dass zur Bekämpfung die zuständigen Behörden mit den Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes sowie den sonstigen zur Hilfeleistung Herangezogenen unter zentraler Leitung zusammenwirken müssen. (§ 1 Abs.1 BremKatSG) Eine Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein über die Schadensfälle des täglichen Lebens und eine Großschadenslage hinausgehendes Ereignis, das Leben, Gesundheit, die Umwelt, erhebliche Sachwerte oder die lebenswichtige Versorgung der Bevölkerung in einem solchen Maße gefährdet oder beeinträchtigt, dass zur Bekämpfung die für die Gefahrenabwehr zuständigen Behörden mit den Feuerwehren und Rettungsdiensten sowie den Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes und sonstigen zur Hilfeleistung Herangezogenen unter zentraler Leitung zusammenwirken müssen. (§ 37 Abs.2 BremHilfeG)

Bundesland	**Hilfeleistung, Schadensereignis**	**Großschadensereignis**	**Katastrophe**
Hamburg	Brand- oder Explosionsgefahren für die Allgemeinheit, den einzelnen oder erhebliche Sachwerte, Schadenfeuer Not-, Unglücks- und Katastrophenfälle (§ 3 HmbFwG)	keine eigenständige Definition	Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist eine Störung oder Gefährdung der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung, zu deren Bekämpfung die Verstärkung der für den täglichen Einsatz bestimmten Kräfte und Mittel sowie die einheitliche Lenkung der Abwehrmaßnahmen mehrerer Behörden erforderlich sind, es sei denn, dass die Störung oder Gefährdung durch selbstständige Abwehrmaßnahmen der zuständigen Behörden nach den Bestimmungen des Gesetzes zum Schutz der öffentlichen Sicherheit und Ordnung vom 14. März 1966 (Hamburgisches Gesetz- und Verordnungsblatt Seite 77) in der jeweils geltenden Fassung wirksam beseitigt werden kann. (§ 1 Abs 1 HmbKatG)
Hessen	Brände und Brandgefahren (Brandschutz) andere Gefahren (Allgemeine Hilfe) (§1 Abs.1 HBKG) Brände, Explosionen, Unfälle oder andere Notlagen, insbesondere durch schadenbringende Naturereignisse, drohenden Gefahren für Leben, Gesundheit, Umwelt oder Sachen abzuwenden (Abwehrender Brandschutz, Allgemeine Hilfe (§ 6 Abs.1 HBKG)	Indirekt: Schadensereignisse, deren Bekämpfung nachbarliche Hilfe erfordert, die von der Aufsichtsbehörde angeordnet wird, auch wenn die Sicherheit in den hilfeleistenden Gemeinden vorübergehend nicht gewährleistet ist (§ 22 HBKG)	Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein Ereignis, das Leben, Gesundheit oder die lebensnotwendige Versorgung der Bevölkerung, Tiere oder erhebliche Sachwerte in so ungewöhnlichem Maße gefährdet oder beeinträchtigt, dass zur Beseitigung die einheitliche Lenkung aller Katastrophenschutzmaßnahmen sowie der Einsatz von Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes erforderlich sind. (§ 24 HBKG)
Mecklenburg-Vorpommern	Brände und Explosionen (Abwehrender Brandschutz) Gefahren für Leben, Gesundheit und Sachen, die aus Anlass verschiedener Ereignisse entstehen (Technische Hilfeleistung) (§ 1 Abs.2 und 3 BrSchG)	keine eigenständige Definition	Eine Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein Ereignis, das Leben, die Gesundheit oder die lebensnotwendige Versorgung zahlreicher Menschen oder Tiere, die Umwelt oder bedeutende Sachgüter in so außergewöhnlichem Maße gefährdet oder schädigt, dass Hilfe und Schutz wirksam nur gewährt werden können, wenn die zuständigen Behörden, Stellen, Organisationen und die eingesetzten Kräfte unter einheitlicher Leitung der Katastrophenschutzbehörde zusammenwirken. (§ 1 Abs.2 LKatSG M-V)

Bundesland	**Hilfeleistung, Schadensereignis**	**Großschadensereignis**	**Katastrophe**
Niedersachsen	Brände (abwehrender und vorbeugender Brandschutz) Unglücksfälle sowie Notständen (Hilfeleistung) (§ 1 Abs.1 NBrandSchG)	Gefahrenlagen, die über das Gebiet eines Landkreises, einer kreisfreien Stadt oder einer Polizeidirektion hinausgehen oder die wegen ihrer Art besonderer Maßnahmen bedürfen. (§ 5 Abs.2 NBrandSchG)	Ein Katastrophenfall im Sinne dieses Gesetzes ist ein Notstand, bei dem Leben, Gesundheit, die lebenswichtige Versorgung der Bevölkerung, die Umwelt oder erhebliche Sachwerte in einem solchen Maße gefährdet oder beeinträchtigt sind, dass seine Bekämpfung durch die zuständigen Behörden und die notwendigen Einsatz- und Hilfskräfte eine zentrale Leitung erfordert. (§ 1 Abs.2 NKatSG)
Nordrhein-Westfalen	Schadenfeuer, Unglücksfälle, öffentliche Notstände, die durch Naturereignisse, Explosionen oder ähnliche Vorkommnisse verursacht werden (§ 1 Abs.1 FSHG)	Ereignisse im Sinne des Absatzes 1, in denen Leben oder Gesundheit zahlreicher Menschen oder erhebliche Sachwerte gefährdet sind und in denen aufgrund eines erheblichen Koordinierungsbedarfs eine rückwärtige Unterstützung der Einsatzleitung erforderlich ist (Großschadensereignisse) (§1 Abs.3 FSHG)	keine Definition (in Großschadensereignissen enthalten)
Rheinland-Pfalz	Brandgefahren (Brandschutz), andere Gefahren (allgemeine Hilfe) (§ 1 Abs.1 Nr.1 und 2 LBKG)	keine eigenständige Definition	Gefahren größeren Umfanges (Katastrophenschutz) (§ 1 Abs.1 Nr.3 LBKG)
Saarland	Brände und Brandgefahren (Brandschutz) und andere Gefahren (Technische Hilfe) (§ 1 Abs.1 SBKG)	Eine Großschadenslage im Sinne dieses Gesetzes ist ein Ereignis, das Leben oder Gesundheit einer großen Anzahl von Menschen, die lebensnotwendige Unterkunft sowie Versorgung der Bevölkerung, erhebliche Sachwerte oder die Umwelt gefährdet oder beeinträchtigt und zu dessen wirksamer Bekämpfung die Kräfte und Mittel der Träger des örtlichen Brandschutzes und des Rettungsdienstes nicht ausreichen und deshalb überörtliche oder zentrale Führung und Einsatzmittel erforderlich sind. (§ 16 Abs.1 SBKG)	Eine Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein über die Schadensfälle des täglichen Lebens und eine Großschadenslage hinausgehendes Ereignis, das Leben und Gesundheit einer Vielzahl von Menschen, die lebensnotwendige Unterkunft sowie Versorgung der Bevölkerung, erhebliche Sachwerte oder die Umwelt in außergewöhnlichem Umfang gefährdet oder beeinträchtigt und zu dessen wirksamer Bekämpfung die zuständigen Behörden und Dienststellen mit der Feuerwehr und dem Rettungsdienst sowie den Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes unter einheitlicher Leitung einer Katastrophenschutzbehörde zusammenwirken müssen.(§ 16 Abs.2 SBKG)

Bundesland	Hilfeleistung, Schadensereignis	Großschadensereignis	Katastrophe
Sachsen	Brände (vorbeugender und abwehrenden Brandschutz) Schäden und öffentlichen Notständen durch Naturereignisse und Unglücksfälle(Technische Hilfe – Hilfeleistung für Menschen, Tiere, Sachwerte und die Umwelt unter Einsatz von Kräften und Mitteln der Feuerwehr) Unglücksfälle (ein plötzlich eintretendes Ereignis, das erhebliche Gefahren für Menschen, Sachen oder die Umwelt verursacht und den Einsatz von Kräften und Mitteln der Feuerwehr erforderlich macht) (§2 Abs.1 SächsBRKG)	keine eigenständige Definition	Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein Geschehen, welches das Leben, die Gesundheit, die Versorgung zahlreicher Menschen mit lebensnotwendigen Gütern und Leistungen, die Umwelt oder erhebliche Sachwerte in so außergewöhnlichem Maße gefährdet oder schädigt, dass Hilfe und Schutz wirksam nur gewährt werden können, wenn die zuständigen Behörden und Dienststellen, Organisationen und eingesetzten Kräfte unter der einheitlichen Leitung einer Katastrophenschutzbehörde zusammenwirken. (§ 2 Abs.3 SächsBRKG)
Sachsen-Anhalt	Brandgefahren (vorbeugender Brandschutz) Brände und von Bränden ausgehende Gefahren für Personen, Tiere, Sachen und die Umwelt (abwehrender Brandschutz) Gefahren für Personen, Tiere, Sachen und die Umwelt bei Unglücksfällen oder Notständen (Hilfeleistung) (§1 Abs.1 Nr. 2 bis 4 BrSchG)	keine eigenständige Definition	Ein Katastrophenfall im Sinne dieses Gesetzes ist ein Notstand, bei dem Leben, Gesundheit oder die lebenswichtige Versorgung einer Vielzahl von Personen oder erhebliche Sachwerte gefährdet oder wesentlich beeinträchtigt werden und zu dessen Abwehr oder Eindämmung der koordinierte Einsatz der verfügbaren Kräfte und Mittel unter einer gemeinsamen Gesamtleitung erforderlich ist. (§ 1 Abs.2 KatSG-LSA)
Schleswig-Holstein	Brände und Brandschäden von Menschen und Sachen (abwehrender Brandschutz) Not- und Unglücksfälle (Technische Hilfe), Verhütung von Bränden und Brandgefahren (vorbeugender Brandschutz), (§ 1 Nr. 1 bis 3 BrSchG)	keine eigenständige Definition	Eine Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein Ereignis, welches das Leben, die Gesundheit oder die lebensnotwendige Versorgung zahlreicher Menschen, bedeutende Sachgüter oder in erheblicher Weise die Umwelt in so außergewöhnlichem Maße gefährdet oder schädigt, dass Hilfe und Schutz wirksam nur gewährt werden können, wenn verschiedene Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzdienstes sowie die zuständigen Behörden, Organisationen und die sonstigen eingesetzten Kräfte unter einheitlicher Leitung der Katastrophenschutzbehörde zusammenwirken. (§ 1 Abs. 1 LKatSG)

Bundesland	**Hilfeleistung, Schadensereignis**	**Großschadensereignis**	**Katastrophe**
Thüringen	Brandgefahren (Brandschutz), andere Gefahren (Allgemeine Hilfe) (§ 1 Nr.1 und 2 ThürBKG)	keine eigenständige Definition	Eine Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes ist ein Ereignis, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen, die natürlichen Lebensgrundlagen, erhebliche Sachwerte oder die lebensnotwendige Versorgung der Bevölkerung in ungewöhnlichem Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden und die Gefahr nur abgewehrt werden kann, wenn die Behörden, Dienststellen, Organisationen, Einheiten, Einrichtungen und eingesetzten Kräfte unter einheitlicher Leitung zusammenwirken. (§ 25 ThürBKG)

5.4 Anlage 4: Übersicht über die Verwaltungsgliederung beim Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern

Bundesland	Feuerwehraufsicht / Katastrophenschutzbehörden		
	Untere Ebene	**Höhere / Obere Ebene**	**Oberste Ebene**
Baden-Württemberg	Landratsämter und die Bürgermeisterämter der Stadtkreise (§ 4 Abs.1 LKatSG)	Regierungspräsidien (§ 4 Abs.2 LKatSG)	Innenministerium (§ 4 Abs.3 LKatSG)
Bayern	Kreisverwaltungsbehörden (Art.2 Abs.1 BayKSG)	Regierungen (Art.2 Abs.1 BayKSG)	Staatsministerium des Innern (Art.2 Abs.1 BayKSG)
Berlin	Katastrophenschutzbehörden sind die Ordnungsbehörden, die nachgeordneten Ordnungsbehörden und die Sonderbehörden, die für Ordnungsaufgaben zuständig sind, sowie die Polizei (§ 3 KatSG)		
Brandenburg	Kreisfreie Städte und Landkreise (§ 2 Abs.2 BbgBKG)	–	Das für Katastrophenschutz zuständige Ministerium (§ 2 Abs.2 BbgBKG)
Bremen	In der Stadtgemeinde Bremen mit Ausnahme des stadtbremischen Überseehafengebietes in Bremerhaven der Senator für Inneres, in der Stadtgemeinde Bremerhaven einschließlich des stadtbremischen Überseehafengebietes in Bremerhaven der Oberbürgermeister (Ortskatastrophenschutzbehörden) (§ 3 Abs.3 BremKatSG)		Senator für Inneres (Landeskatastrophenschutzbehörde) (§ 3 Abs.1 BremKatSG)
Hamburg	Gem. Rechtsverordnung aufgrund § 1 Abs.1 SOG Gesetz zum Schutz der öffentlichen Sicherheit und Ordnung Hamburg		
Hessen	Der Landrat in den Landkreisen und der Oberbürgermeister in den kreisfreien Städten (§ 25 Abs.1 Nr.1 HBKG)	Das Regierungspräsidium (§ 25 Abs.1 Nr.2 HBKG)	Das für Katastrophenschutz zuständige Ministerium (§ 25 Abs.1 Nr.3 HBKG)

Bundesland	Feuerwehraufsicht / Katastrophenschutzbehörden		
	Untere Ebene	**Höhere / Obere Ebene**	**Oberste Ebene**
Mecklenburg-Vorpommern	Die Landräte der Landkreise und die Oberbürgermeister der kreisfreien Städte als Kreisordnungsbehörden (untere Katastrophenschutzbehörden) (§ 3 Abs.1 Nr.3 LKatSG M-V)	Das Landesamt für zentrale Aufgaben und Technik der Polizei, Brand- und Katastrophenschutz Mecklenburg-Vorpommern (obere Katastrophenschutzbehörde) (§ 3 Abs.1 Nr.2 LKatSG M-V)	Das Innenministerium als Landesordnungsbehörde (oberste Katastrophenschutzbehörde) (§ 3 Abs.1 Nr.1 LKatSG M-V)
Niedersachsen	Landkreise und kreisfreie Städte (Katastrophenschutzbehörden) (§ 2 Abs.1 NKatSG)	Polizeidirektionen (Fachaufsicht) (§ 3 Abs.1 NKatSG)	Innenministerium (oberste Fachaufsicht) (§ 3 Abs.2 NKatSG)
Nordrhein-Westfalen	Kreisfreien Städte und Kreise (§ 32 Abs.1 FSHG)	Bezirksregierung (§ 32 Abs.2 FSHG)	Oberste Aufsichtsbehörde ist das Innenministerium (§ 32 Abs.3 FSHG)
Rheinland-Pfalz	§ 41 Staatsaufsicht (1) Die Aufsicht über die kommunalen Aufgabenträger richtet sich nach den Bestimmungen der Gemeindeordnung und der Landkreisordnung. (2) Abweichend von § 118 Abs.1 Satz 1 und Abs.2 der Gemeindeordnung ist bei großen kreisangehörigen Städten Aufsichtsbehörde die Kreisverwaltung, obere Aufsichtsbehörde die Bezirksregierung.		
Saarland	Untere Katastrophenschutzbehörden sind die Landkreise und im Regionalverband Saarbrücken die Landeshauptstadt Saarbrücken. (§ 17 Abs.2 SBKG)	–	Oberste Katastrophenschutzbehörde ist das Ministerium für Inneres, Familie, Frauen und Sport. (§ 17 Abs.1 SBKG)
Sachsen	Landkreise und Kreisfreien Städte sind untere Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörden. (§ 4 Abs.1 Nr.3 SächsBRKG)	Landesdirektionen ist obere Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörden, (§ 4 Abs.1 Nr.2 SächsBRKG)	Das Staatsministerium des Innern ist oberste Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörde, (§ 4 Abs.1 Nr.1 SächsBRKG)
Sachsen-Anhalt	Untere Katastrophenschutzbehörden sind die Landkreise und kreisfreien Städte. (§ 2 Abs.1 KatSG-LSA)	Obere Katastrophenschutzbehörde ist das Landesverwaltungsamt. (§ 2 Abs.2 KatSG-LSA)	Oberste Katastrophenschutzbehörde ist das Ministerium des Innern. (§ 2 Abs.3 KatSG-LSA)

Bundesland	Feuerwehraufsicht / Katastrophenschutzbehörden		
	Untere Ebene	**Höhere / Obere Ebene**	**Oberste Ebene**
Schleswig-Holstein	Untere Katastrophenschutzbehörden sind die Landrätinnen und Landräte sowie die Bürgermeisterinnen und Bürgermeister der kreisfreien Städte. (§ 3 Abs.2 LKatSG)	–	Das Innenministerium ist oberste Katastrophenschutzbehörde. (§ 3 Abs.1 LKatSG)
Thüringen	Untere Katastrophenschutzbehörden sind die Landkreise und kreisfreien Städte. (§ 26 Abs.1 ThürBKG)	Obere Katastrophenschutzbehörde ist das Landesverwaltungsamt. (§ 26 Abs.2 ThürBKG)	Oberste Katastrophenschutzbehörde ist das für den Katastrophenschutz zuständige Ministerium. (§ 26 Abs.3 ThürBKG)

5.5 Anlage 5: Übersicht über Aufgaben und Zuständigkeiten bei Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern

Bundesland	Aufgaben	Zuständigkeit	
		sachlich	örtlich
Baden-Württemberg	Die Feuerwehr hat bei Schadenfeuer (Bränden) und öffentlichen Notständen, die durch Naturereignisse, Einstürze, Unglücksfälle und dergleichen verursacht sind, Hilfe zu leisten und den einzelnen und das Gemeinwesen vor hierbei drohenden Gefahren zu schützen. Im Übrigen hat die Feuerwehr zur Rettung von Menschen und Tieren aus lebensbedrohlichen Lagen technische Hilfe zu leisten. (§ 2 Abs.1 FWG) Aufgabe der Katastrophenschutzbehörden ist die Vorbereitung der Bekämpfung von Katastrophen, Bekämpfung von Katastrophen und Mitwirkung bei der vorläufigen Beseitigung von Katastrophenschäden (§ 1 (1) LKatSG)	Jede Gemeinde hat auf ihre Kosten eine den örtlichen Verhältnissen entsprechende leistungsfähige Feuerwehr mit einem geordneten Lösch- und Rettungsdienst aufzustellen, auszurüsten und zu unterhalten. (§ 3 Abs.1 FWG) Untere Katastrophenschutzbehörden (§ 6 (1) LKatSG) Höhere Katastrophenschutzbehörden … für Katastrophenschutzaufgaben, die sich über den Bezirk einer unteren Katastrophenschutzbehörde hinaus erstrecken (§ 6 (2) LKatSG).	Katastrophenschutzbehörde, in deren Bezirk eine Maßnahme durchzuführen ist (§ 7 LKatSG)

Bundesland	Aufgaben	Zuständigkeit	
		sachlich	örtlich
Bayern	Die Gemeinden haben als Pflichtaufgabe im eigenen Wirkungskreis dafür zu sorgen, dass drohende Brand- und Explosionsgefahren beseitigt und Brände wirksam bekämpft werden (Abwehrender Brandschutz) sowie ausreichende technische Hilfe bei sonstigen Unglücksfällen oder Notständen im öffentlichen Interesse geleistet wird (Technischer Hilfsdienst). (Art.1 Abs.1 BayFWG) Die Katastrophenschutzbehörden haben die Aufgabe, Katastrophen abzuwehren und die dafür notwendigen Vorbereitungsmaßnahmen zu treffen (Katastrophenschutz). (Art.1 (1) BayKSG)		
Berlin	Die Berliner Feuerwehr hat Gefahren für die öffentliche Sicherheit abzuwehren, die durch Brände, Explosionen, Überschwemmungen, Unfälle und ähnliche Ereignisse entstehen. (§ 3 Abs.1 FWG) Katastrophenschutz ist der Schutz der Allgemeinheit vor Gefahren und Schäden, die von Katastrophen ausgehen. Er ist Teil der allgemeinen Gefahrenabwehr und umfasst Maßnahmen zur Vorbereitung auf die Bekämpfung von Katastrophen (Katastrophenvorsorge) und Maßnahmen zur Bekämpfung von Katastrophen (Katastrophenabwehr). (§ 2 Abs.2 KatSG)	Die Katastrophenschutzbehörden treffen nach pflichtgemäßem Ermessen die für die Bekämpfung der Katastrophe notwendigen Maßnahmen. (§ 7 (2) KatSG)	

Bundesland	Aufgaben	Zuständigkeit	
		sachlich	örtlich
Brandenburg	Die Landkreise haben zur Erfüllung ihrer Aufgaben im überörtlichen Brandschutz, in der überörtlichen Hilfeleistung und im Katastrophenschutz … Maßnahmen zur Vorbereitung der Bekämpfung von Großschadensereignissen und Katastrophen (vorbeugender Katastrophenschutz) und zur Abwehr sowie Beseitigung der Folgen von Großschadensereignissen und Katastrophen (abwehrender Katastrophenschutz) zu treffen. (§ 4 Abs.1 Nr.3 BbgBKG) Die Landkreise müssen eine überörtliche Gefahren- und Risikoanalyse erstellen und Schutzziele für ihr Gebiet festlegen, Alarm- und Einsatzpläne aufstellen, abstimmen und fortschreiben und sonstige, zur wirksamen Verhütung und Bekämpfung von Großschadensereignissen und Katastrophen notwendige Maßnahmen treffen. (§ 4 Abs.2 Nr.1 bis 3 BbgBKG)	Die amtsfreien Gemeinden, die Ämter und die kreisfreien Städte für den örtlichen Brandschutz und die örtliche Hilfeleistung, (§ 2 Abs.1 Nr.1 BbgBKG) Die Landkreise für den überörtlichen Brandschutz und die überörtliche Hilfeleistung, (§ 2 Abs.1 Nr.2 BbgBKG) Die Landkreise und die kreisfreien Städte für den Katastrophenschutz (§ 2 Abs.1 Nr.3 BbgBKG) Das Land für die zentralen Aufgaben des Brandschutzes, der Hilfeleistung und des Katastrophenschutzes.(§ 2 Abs.1 Nr.4 BbgBKG)	
Bremen	Der Katastrophenschutz dient dem Schutz der Allgemeinheit vor Gefahren und Schäden, die durch Katastrophen hervorgerufen werden. Er umfasst die Vorbereitung der Katastrophenabwehr und die Bekämpfung von Katastrophen. (§ 1 Abs.1 BremKatSG)	Der Katastrophenschutz ist Aufgabe des Landes (§ 2 Abs.1 BremKatSG) Zuständig für den Katastrophenschutz im Lande Bremen ist der Senator für Inneres (Landeskatastrophenschutzbehörde). § 3 Abs.1 BremKatSG)	Die Durchführung des Katastrophenschutzes obliegt den Gemeinden (§ 2 Abs.3 BremKatSG) Zuständig für die Durchführung des Katastrophenschutzes in den Gemeinden (Ortskatastrophenschutzbehörden) sind in der Stadtgemeinde Bremen mit Ausnahme des stadtbremischen Überseehafengebietes in Bremerhaven der Senator für Inneres, in der Stadtgemeinde Bremerhaven einschließlich des stadtbremischen Überseehafengebietes in Bremerhaven der Oberbürgermeister. (§ 3 Abs.3 BremKatSG)

Bundesland	Aufgaben	Zuständigkeit	
		sachlich	örtlich
Hamburg	Zu den Aufgaben der Berufsfeuerwehr gehören insbesondere … die technische Hilfeleistung in Not-, Unglücks- und Katastrophenfällen. Die Freiwilligen Feuerwehren und die Werkfeuerwehren dienen der Verstärkung des Brandschutzes. Den Freiwilligen Feuerwehren obliegt darüber hinaus die Unterstützung der Berufsfeuerwehr bei deren sonstigen Aufgaben. Sie wirken im Katastrophenschutz mit. (§ 3 Abs.1 Nr.4 und Abs.3 FWG) Katastrophenschutz im Sinne dieses Gesetzes ist der Schutz der Allgemeinheit und der Umwelt vor Gefährdungen und Schädigungen durch Katastrophen. Er umfaßt Maßnahmen zur Vorbereitung der Bekämpfung von Katastrophen (vorbeugender Katastrophenschutz) und Maßnahmen zur Bekämpfung von Katastrophen (abwehrender Katastrophenschutz). (§ 1 Abs.2 HmbKatG)	Der Katastrophenschutz ist Aufgabe der Freien und Hansestadt Hamburg. (§ 2 HmbKatG)	

Bundesland	Aufgaben	Zuständigkeit	
		sachlich	örtlich
Hessen	Die Katastrophenschutzbehörden haben die für die Abwehr der Katastrophe notwendigen Maßnahmen zu treffen. (§ 33 HBKG)	Der Katastrophenschutzstab unterstützt die Katastrophenschutzbehörde bei der Vorbereitung der Abwehr und der Abwehr von Katastrophen. Ihm gehören insbesondere Vertreterinnen oder Vertreter der Feuerwehr und der Organisationen an, deren Einheiten und Einrichtungen im Katastrophenschutz mitwirken. (§§ 30, 43 Abs.4 HBKG) Die obere oder die oberste Katastrophenschutzbehörde kann im Einzelfall die Zuständigkeit an sich ziehen, insbesondere wenn sich die Katastrophe auf das Gebiet mehrerer unterer Katastrophenschutzbehörden erstreckt. § 35 Abs.2 HBKG)	Die obere Katastrophenschutzbehörde kann im Einzelfall die Zuständigkeit einer anderen unteren Katastrophenschutzbehörde übertragen, insbesondere wenn die Abwehrmaßnahmen wirksamer von deren Gebiet aus zu leisten sind. (§ 35 Abs.1 HBKG)
Mecklenburg-Vorpommern	Die Gemeinden haben als Aufgaben des eigenen Wirkungskreises den abwehrenden Brandschutz und die Technische Hilfeleistung in ihrem Gebiet sicherzustellen. § 2 Abs.1 BrSchG) Die Katastrophenschutzbehörden haben die Aufgabe, Katastrophen vorzubeugen und abzuwehren. Sie leiten und koordinieren die Zusammenarbeit In Katastrophenschutz mit anderen fachlich zuständigen Behörden und übertragen ihnen spezielle damit verbundene Aufgaben (§ 3 Abs.2 LKatSG M-V)	Die Landkreise und kreisfreien Städte nehmen den Katastrophenschutz als Aufgabe zur Erfüllung nach Weisung wahr. (§ 2 Abs.2 LKatSG M-V)	Die Landesregierung kann bestimmen, dass kreisfreie Städte und Landkreise einen gemeinsamen Katastrophenschutz bilden und eine der beteiligten Katastrophenschutzbehörden zu dessen Leitung berufen. (§ 2 Abs.3 LKatSG M-V) Wirkt die Katastrophe über den Zuständigkeitsbereich der unteren Katastrophenschutzbehörde hinaus, so kann die oberste Katastrophenschutzbehörde die einheitliche Lenkung der Abwehrmaßnahmen, einschließlich des Einsatzes der im Katastrophenschutz mitwirkenden Einheiten und Einrichtungen, ganz oder teilweise an sich ziehen oder eine der örtlich zuständigen unteren Katastrophenschutzbehörden zur zuständigen Katastrophenschutzbehörde erklären (§ 16 Abs.2 LKatSG M-V)

Bundesland	Aufgaben	Zuständigkeit	
		sachlich	örtlich
Niedersachsen	Die Abwehr von Gefahren durch Brände (abwehrender und vorbeugender Brandschutz) und die Hilfeleistung bei Unglücksfällen sowie bei Notständen (Hilfeleistung) sind Aufgaben der Gemeinden und der Landkreise sowie des Landes. (§ 1 Abs.1 NBrandSchG) Den Gemeinden obliegen der abwehrende Brandschutz und die Hilfeleistung in ihrem Gebiet. (§ 2 Abs.1 NBrandSchG)	Bei der Katastrophenschutzbehörde wird ein Katastrophenschutzstab gebildet. Die Hauptverwaltungsbeamtin oder der Hauptverwaltungsbeamte beruft die Mitglieder und leitet den Stab. Im Katastrophenschutzstab sollen die in Katastrophenfällen mitwirkenden Behörden, Dienststellen und Einsatzkräfte vertreten sein. (§ 6 Abs.1 NKatSG)	Das Innenministerium wird ermächtigt, durch Verordnung zu bestimmen, dass mehrere Landkreise und kreisfreie Städte die Aufgabe des Katastrophenschutzes gemeinsam wahrnehmen. (§ 2 Abs.1 NKatSG)
Nordrhein-Westfalen	Die Gemeinden unterhalten den örtlichen Verhältnissen entsprechende leistungsfähige Feuerwehren, um Schadenfeuer zu bekämpfen sowie bei Unglücksfällen und bei solchen öffentlichen Notständen Hilfe zu leisten, die durch Naturereignisse, Explosionen oder ähnliche Vorkommnisse verursacht werden (§ 1 Abs.1 FSHG)	Die Kreise leiten und koordinieren den Einsatz bei Großschadensereignissen (§ 1 Abs.3 FSHG)	Bei der Erfüllung der Aufgaben nach § 1 Abs.1 leitet der von der Gemeinde bestellte Einsatzleiter die Abwehrmaßnahmen. (§ 26 FSHG)
Rheinland-Pfalz	–	Die Gemeinden für den Brandschutz und die Allgemeine Hilfe, (§ 2 Abs.1 Nr.1 LBKG) Die Landkreise für den überörtlichen Brandschutz und die überörtliche Allgemeine Hilfe, (§ 2 Abs.1 Nr.2 LBKG) Die Landkreise und kreisfreien Städte für den Katastrophenschutz (§ 2 Abs.1 Nr.3 LBKG)	

Bundesland	Aufgaben	Zuständigkeit	
		sachlich	örtlich
Saarland		Den Brandschutz und die Technische Hilfe gewährleisten nach Maßgabe dieses Gesetzes die Gemeinden, die Landkreise und der Regionalverband Saarbrücken im Auftrag des Landes und die Werkfeuerwehren. (§ 2 Abs.1 SBKG) Der Katastrophenschutz ist eine Aufgabe des Landes, der Landkreise und des Regionalverbandes Saarbrücken. (§ 2 Abs.2 SBKG)	
Sachsen		§§ 6 bis 8 SächsBRKG	Örtliche Brandschutzbehörden sind die Gemeinden. (§ 4 Abs.2 SächsBRKG)
Sachsen-Anhalt	… die Hilfeleistung bei Unglücksfällen sowie bei Notständen sind Aufgaben der Gemeinden und Landkreise sowie des Landes. Hilfeleistung umfasst alle Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für Personen, Tiere, Sachen und die Umwelt bei Unglücksfällen oder Notständen. (§ 1 Abs.1 und 4 BrSchG) –	Der Katastrophenschutz obliegt den unteren Katastrophenschutzbehörden als Aufgabe des übertragenen Wirkungskreises. Sie sind zuständig, soweit nichts anderes bestimmt ist. (§ 2a Abs.1 KatSG-LSA) Den Gemeinden obliegen mit Ausnahme der Brandsicherheitsschau der Brandschutz und die Hilfeleistung als Aufgaben des eigenen Wirkungskreises. (§ 2 Abs.1 BrSchG)	
Schleswig-Holstein		Die untere Katastrophenschutzbehörde ist für den Katastrophenschutz sachlich zuständig, soweit nichts anderes bestimmt ist. (§ 4 Abs.1 LKatSG)	Örtlich zuständig ist die Katastrophenschutzbehörde, in deren Bezirk eine Maßnahme durchzuführen ist. (§ 5 LKatSG)

Bundesland	Aufgaben	Zuständigkeit	
		sachlich	örtlich
Thüringen		Die kommunalen Aufgabenträger setzen zur Erfüllung ihrer Aufgaben im Brandschutz und in der Allgemeinen Hilfe die Feuerwehren ein. (§ 9 Abs.1 ThürBKG) Die kommunalen Aufgabenträger setzen zur Erfüllung ihrer Aufgaben in der Allgemeinen Hilfe neben der Feuerwehr, soweit sie es für erforderlich halten, andere öffentliche und private Hilfsorganisationen ein, wenn sich diese Organisationen allgemein zur Mitwirkung bereit erklärt haben. (§ 18 Abs.1 ThürBKG) Die unteren Katastrophenschutzbehörden sind für den Katastrophenschutz zuständig, soweit nichts anderes bestimmt ist. (§ 27 Abs.1 ThürBKG) Die obere Katastrophenschutzbehörde ist für den Katastrophenschutz bei Gefahr bringenden Ereignissen zuständig, von denen Gefahren für das Gebiet mehrerer unterer Katastrophenschutzbehörden ausgehen und die zentrale Maßnahmen erfordern. (§ 27 Abs.2 ThürBKG) Die übergeordneten Katastrophenschutzbehörden können im Einzelfall die Leitung des Katastrophenschutzeinsatzes übernehmen oder einer anderen nachgeordneten Katastrophenschutzbehörde übertragen, an Stelle der unteren Katastrophenschutzbehörde den Eintritt oder das Ende einer Katastrophe feststellen. (§ 27 Abs.5 Nr.1 und 2 ThürBKG)	

5.6 Anlage 6: Übersicht über Nachbarschaftshilfe und Mitwirkung bei Brandschutz, Notständen und Katastrophen in den Ländern

Bundesland	Nachbarschaftshilfe	Mitwirkung
Baden-Württemberg	Die Gemeindefeuerwehren haben sich gegenseitig auf Anforderung Hilfe zu leisten, sofern die Sicherheit in der eigenen Gemeinde dadurch nicht wesentlich gefährdet wird. (§ 27 Abs.1 FWG) Auf Anforderung einer benachbarten Katastrophenschutzbehörde, die in ihrem Zuständigkeitsbereich das Vorliegen einer Katastrophe im Sinne dieses Gesetzes festgestellt und Katastrophenalarm ausgelöst hat, hat die Katastrophenschutzbehörde den Einsatz von Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzdienstes sowie sonstiger verfügbarer Kräfte im Sinne von § 9 Abs.2 im Bezirk der benachbarten Katastrophenschutzbehörde anzuordnen, soweit der Einsatz der Kräfte nicht im eigenen Bezirk erforderlich erscheint. Die eingesetzten Kräfte unterstehen danach der Leitung der anfordernden Behörde. (§ 21 Abs.1 LKatSG)	Alle der Katastrophenschutzbehörde gleich- oder nachgeordneten Behörden, Einrichtungen und Stellen des Landes sowie der juristischen Personen des öffentlichen Rechts, die der Aufsicht des Landes unterstehen und im Bezirk der Katastrophenschutzbehörde eigene Zuständigkeiten besitzen, die öffentlich geförderten Akutkrankenhäuser und ihre Träger, die Träger und Einrichtungen des Rettungsdienstes sowie die Kammern nach dem Kammergesetz des Landes (§ 5 (1) LKatSG)
Bayern	Die gemeindlichen Feuerwehren haben bei Bedarf auch außerhalb des Gemeindegebietes Hilfe zu leisten, soweit der Abwehrende Brandschutz und der Technische Hilfsdienst in der eigenen Gemeinde dadurch nicht wesentlich gefährdet werden. (Art.17 Abs.1 BayFWG) Die Katastrophenschutzbehörde hat die Aufsichtsbehörde und, soweit notwendig, auch die benachbarten Katastrophenschutzbehörden unverzüglich zu unterrichten. (Art.4 (2) BayKSG)	Zur Katastrophenhilfe sind die Behörden und Dienststellen des Freistaates Bayern, die Gemeinden, die Landkreise und die Bezirke, die sonstigen der Aufsicht des Freistaates Bayern unterstehenden Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts, die Feuerwehren, die freiwilligen Hilfsorganisationen, die Verbände der Freien Wohlfahrtspflege verpflichtet, auch wenn sie ihren Sitz oder Standort nicht im Zuständigkeitsgebiet der Katastrophenschutzbehörde haben. (Art.7 (3) BayKSG)
Berlin	Die Katastrophenschutzbehörden sind verpflichtet, sich bei den Maßnahmen gemäß Absatz 1 gegenseitig zu unterstützen und bei Bedarf zusammenzuarbeiten. Sie haben den Gestaltungs-, Koordinierungs- und Lenkungsmaßnahmen der Senatsverwaltung für Inneres nachzukommen und dieser die erforderlichen Auskünfte zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben zu erteilen. (§ 4 Abs.2 KatSG)	Beim Katastrophenschutz wirken außer den Katastrophenschutzbehörden nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen insbesondere private Hilfsorganisationen (§§ 12 und 13), Helfer im Katastrophenschutzdienst (§ 14), die der Aufsicht des Landes Berlin unterliegenden juristischen Personen des öffentlichen Rechts (§ 15), Kräfte und Einrichtungen des Bundes, der Länder sowie der Kreise und Gemeinden anderer Länder (§ 16) und natürliche und juristische Personen, die von Katastrophenschutzbehörden zu Hilfeleistungen beim Katastrophenschutz in Anspruch genommen worden sind (§ 8) mit: (§ 11 KatSG)

Bundesland	Nachbarschaftshilfe	Mitwirkung
Brandenburg	Die amtsfreien Gemeinden, die Ämter und die kreisfreien Städte haben mit ihren Feuerwehren auf Ersuchen der Gesamtführung oder der Einsatzleitung eines anderen Trägers des örtlichen Brandschutzes und der örtlichen Hilfeleistung, des Rettungsdienstes, einer Bergbehörde, einer Umweltbehörde oder einer Forstbehörde Hilfe zu leisten, sofern ihr Einsatz nicht im eigenen Zuständigkeitsbereich dringend erforderlich ist. Die Sonderaufsichtsbehörde kann bei besonderen Gefahrenlagen die Hilfeleistung anordnen, auch wenn die Aufgabenerfüllung des Trägers des örtlichen Brandschutzes und der örtlichen Hilfeleistung vorübergehend gefährdet ist. (§ 3 Abs.3 BbgBKG)	Die amtsfreien Gemeinden, die Ämter, die kreisfreien Städte, die Landkreise, die Behörden und Einrichtungen des Landes sowie die Landesbetriebe und die der Aufsicht des Landes unterstehenden Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts sind verpflichtet, auf Anforderung der Aufgabenträger nach Absatz 1 bei der Abwehr von Gefahren nach § 1 Abs.1 Nr. 3 mitzuwirken. (§ 2 Abs.3 BbgBKG)
Bremen	Auf die überörtliche Katastrophenschutzhilfe finden die Vorschriften über die Amtshilfe nach dem Bremischen Verwaltungsverfahrensgesetz Anwendung. (§ 10 Abs.1 BremKatSG) Die Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven leisten einander unentgeltlich Katastrophenschutzhilfe.§ 10 Abs.2 BremKatSG)	Im Katastrophenschutz wirken außer den Katastrophenschutzbehörden für Gefahrenabwehr und Gefahrenbekämpfung fachlich zuständige und weitere in die Organisation des Katastrophenschutzes einbezogene Institutionen, öffentliche und private Träger mit ihren Einheiten und Einrichtungen, natürliche und juristische Personen sowie Personenvereinigungen, die von der Katastrophenschutzbehörde aufgrund einer Vereinbarung oder nach Maßgabe der §§ 12 und 13 zur Hilfeleistung im Katastrophenschutz herangezogen werden, mit. (§ 4 Abs.1 Nr.1 bis 3 BremKatSG)
Hamburg	Kräfte und Einrichtungen des Bundes, der Länder, Kreise, Gemeinden und anderer Staaten wirken beim Katastrophenschutz mit, wenn der Senat oder die Katastrophenschutzbehörde ihre Hilfeleistung angefordert oder mit ihren Trägern vereinbart haben. (§ 12 HmbKatG)	Beim Katastrophenschutz wirken außer den dazu bestimmten Behörden (Katastrophenschutzbehörden) insbesondere Einheiten und Einrichtungen privater Hilfsorganisationen (§§ 4 bis 9), Personen, die sich zu Hilfeleistungen beim Katastrophenschutz freiwillig verpflichtet haben (§ 10), die der Aufsicht der Freien und Hansestadt Hamburg unterliegenden juristischen Personen des öffentlichen Rechts (§ 11), Kräfte und Einrichtungen des Bundes, der Länder, Kreise, Gemeinden und anderer Staaten (§ 12) und natürliche und juristische Personen sowie Personenvereinigungen, die von Katastrophenschutzbehörden zu Hilfeleistungen beim Katastrophenschutz herangezogen worden sind (§ 16), mit. (§ 3 Abs.1 HmbKatG)

Bundesland	**Nachbarschaftshilfe**	**Mitwirkung**
Hessen	Die Gemeinden sind verpflichtet, bei Feuerwehreinsätzen einander Hilfe zu leisten, sofern der eigene Schutz dadurch nicht erheblich gefährdet wird. Bei Großschadenslagen ordnen die Aufsichtsbehörden die Hilfeleistung nach pflichtgemäßem Ermessen an, auch wenn die Sicherheit in den hilfeleistenden Gemeinden vorübergehend nicht gewährleistet ist. Die Aufforderung zur Hilfeleistung erfolgt nach pflichtgemäßem Ermessen durch die Gesamteinsatzleitung, die technische Einsatzleitung oder die Aufsichtsbehörde. Die nachbarliche Hilfeleistung soll nur angefordert werden, wenn die örtliche Feuerwehr nicht in der Lage ist, die Gefahr zu beseitigen. (§ 22 Abs.1 und 2 HBKG)	Die öffentlichen Einheiten und Einrichtungen wirken im Katastrophenschutz mit (§ 27 Abs.1 HBKG) Die Gemeinden und Landkreise, die Dienststellen des Landes sowie die sonstigen der Aufsicht des Landes unterstehenden Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts sind verpflichtet, auf Ersuchen die Katastrophenschutzbehörden bei der Vorbereitung der Abwehr und der Abwehr von Katastrophen zu unterstützen, soweit nicht die Wahrnehmung dringender eigener Aufgaben vorrangig ist. (§ 28 HBKG)
Mecklenburg-Vorpommern	Eine Gemeinde hat einer anderen Gemeinde auf deren Ersuchen oder auf Anforderung der Rechtsaufsichtsbehörde Nachbarschaftshilfe zu leisten, soweit der abwehrende Brandschutz und die Technische Hilfeleistung in ihrem Gebiet dadurch nicht erheblich gefährdet werden. (§ 2 Abs.3 BrSchG) Benachbarte Katastrophenschutzbehörden sind einander zur Hilfeleistung verpflichtet, soweit dadurch fleht dringende eigene Aufgaben wesentlich beeinträchtigt werden. (§ 16 Abs.2 LKatSG M-V)	Im Katastrophenschutz wirken öffentliche und private Organisationen mit ihren Einheiten und Einrichtungen mit. (§ 4 LKatSG M-V)

Bundesland	Nachbarschaftshilfe	Mitwirkung
Niedersachsen	Eine Gemeinde hat einer anderen Gemeinde auf deren Ersuchen oder auf Anforderung der Aufsichtsbehörde unentgeltlich Nachbarschaftshilfe zu leisten, soweit der abwehrende Brandschutz und die Hilfeleistung in ihrem Gebiet dadurch nicht gefährdet werden.(§ 2 Abs.2 NBrandSchG) Die Landkreise haben auf Anforderung eines an ihr Gebiet angrenzenden anderen Landkreises mit ihrer Kreisfeuerwehr unentgeltlich Hilfe zu leisten, wenn die innerhalb des anderen Landkreises zur Verfügung stehenden Feuerwehren zur Beseitigung einer Gefahr nicht ausreichen und soweit Brandschutz und Hilfeleistung in dem Gebiet des helfenden Landkreises nicht gefährdet werden. Entsprechendes gilt im Verhältnis zwischen kreisfreien Städten und den angrenzenden Landkreisen. (§ 3 Abs.3 NBrandSchG) Die Freiwilligen Feuerwehren. die Pflichtfeuerwehren, die Berufsfeuerwehren und im Falle des § 18 die Werkfeuerwehren in einem Landkreis sowie die vom Landkreis unterhaltenen Feuerwehrtechnischen Zentralen bilden die Kreisfeuerwehr. Die Kreisfeuerwehr führt überörtliche Einsätze durch. (§ 19 Abs.1 und 2 NBrandSchG) Benachbarte Katastrophenschutzbehörden sind einander zur Hilfeleistung verpflichtet, soweit dadurch nicht dringende eigene Aufgaben wesentlich beeinträchtigt werden. Nachbarschaftshilfe wird von der Katastrophenschutzbehörde unmittelbar angefordert. Die beteiligten Katastrophenschutzbehörden unterrichten die für sie zuständige Polizeidirektion. Reicht die Nachbarschaftshilfe nicht aus, so fordert die Katastrophenschutzbehörde überörtliche Hilfe bei der für sie zuständigen Polizeidirektion an. (§ 23 Abs.1 und 2 NKatSG)	Andere Behörden, Dienststellen und sonstige Träger öffentlicher Aufgaben wirken im Rahmen ihrer Zuständigkeiten oder im Wege der Amtshilfe im Katastrophenschutz mit. Ihre Zuständigkeiten bleiben unberührt. Im Katastrophenfall sollen sie nur im Einvernehmen mit der Katastrophenschutzbehörde handeln. (§ 4 NKatSG)
Nordrhein-Westfalen	Überörtliche Hilfe leisten, wenn nicht die Wahrnehmung dringender eigener Aufgaben vorrangig ist, die Gemeinden und Gemeindeverbände, die Landesbehörden und Einrichtungen des Landes, die sonstigen der Aufsicht des Landes unterstehenden Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts sowie die privaten Hilfsorganisationen. (§ 25 Abs.1 Nr.1 bis 4 FSHG) Überörtliche Hilfe ist nur auf Anforderung zu leisten. Die Anforderung erfolgt über die Leitstelle. (§ 25 Abs.5 FSHG)	–

Bundesland	Nachbarschaftshilfe	Mitwirkung
Rheinland-Pfalz	Die Gemeinden haben sich auf Ersuchen des Einsatzleiters (§ 24) unentgeltlich gegenseitig Hilfe zu leisten, sofern die Sicherheit der ersuchten Gemeinde durch die Hilfeleistung nicht erheblich gefährdet wird. Die Aufsichtsbehörde kann bei besonderen Gefahrenlagen im Benehmen mit dem Bürgermeister die Hilfeleistung anordnen, selbst wenn die Sicherheit der ersuchten Gemeinde vorübergehend nicht gewährleistet ist. (§ 3 Abs.2 LBKG)	Die Behörden und Dienststellen des Landes sowie die der Aufsicht des Landes unterstehenden Träger öffentlicher Aufgaben sollen über ihre Zuständigkeiten und die Amtshilfe hinaus die Aufgabenträger bei der Vorbereitung und Durchführung von Maßnahmen für die Abwehr von Gefahren im Rahmen ihrer Möglichkeiten unterstützen, soweit nicht die Erfüllung dringender eigener Aufgaben vorrangig ist. (§ 2 Abs.4 LBKG)
Saarland	Die kommunalen Feuerwehren haben sich auf Anordnung der zuständigen Aufsichtsbehörde, auf Ersuchen des Bürgermeisters oder der Bürgermeisterin des Einsatzortes oder des Einsatzleiters oder der Einsatzleiterin der im Einsatz befindlichen Feuerwehr gegenseitig Hilfe zu leisten, soweit der Brandschutz und die Technische Hilfe in der hilfeleistenden Gemeinde nicht gefährdet werden. (§ 15 Abs.1 SBKG) Die Gemeinden können zur Unterstützung der Feuerwehr in der Technischen Hilfe die Bundesanstalt Technisches Hilfswerk und die in § 19 benannten Hilfsorganisationen, wenn sich diese Organisationen allgemein zur Mitwirkung bereit erklärt haben, einsetzen. Für Einsatzkräfte, die als ehrenamtliche Helfer und Helferinnen bei Einsätzen mitwirken, gelten die §§ 25 und 26 entsprechend. (§ 15 Abs.5 SBKG) Auf Anforderung haben sich die Katastrophenschutzbehörden gegenseitig Hilfe zu leisten und den Einsatz der in ihrem Bereich im Katastrophenschutz mitwirkenden Einheiten und Einrichtungen anzuordnen. Die eingesetzten Einheiten und Einrichtungen unterstehen danach der anfordernden Katastrophenschutzbehörde. (§ 22 Abs.1 SBKG) Die oberste Katastrophenschutzbehörde kann den Einsatz von Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes außerhalb des Bereichs einer unteren Katastrophenschutzbehörde anordnen. Sie bestimmt dabei zugleich, wem die Einheiten und Einrichtungen unterstellt werden. Die gleiche Regelung gilt, wenn ein Hilfeersuchen aus einem anderen Bundesland oder dem Ausland an die Landesregierung gerichtet wird. (§ 22 Abs.2 SBKG)	Die öffentlichen Einheiten und Einrichtungen wirken im Katastrophenschutz mit. Zu den öffentlichen Einheiten gehören die kommunalen Feuerwehren, die Regieeinheiten sowie die Bundesanstalt Technisches Hilfswerk. (§ 19 Abs.1 SBKG) Private Einheiten und Einrichtungen wirken mit, wenn ihre Organisation im Allgemeinen (allgemeine Anerkennung) und sie selbst im Besonderen (besondere Anerkennung) hierzu geeignet sind und wenn sie ihre Bereitschaft zur Mitwirkung erklären. (§ 19 Abs.2 SBKG) Alle Behörden und Dienststellen, die im Bereich der Katastrophenschutzbehörde eigene Zuständigkeiten besitzen, sind während der Dauer eines von der Katastrophenschutzbehörde geleiteten Einsatzes verpflichtet, die von der Katastrophenschutzbehörde erbetene Hilfe sofort zu leisten. Sie haben auf Anforderung der Katastrophenschutzbehörde insbesondere geeignete Bedienstete sowie Fahrzeuge, Geräte und Ausstattungen zur Verfügung zu stellen. (§ 22 Abs.3 SBKG)

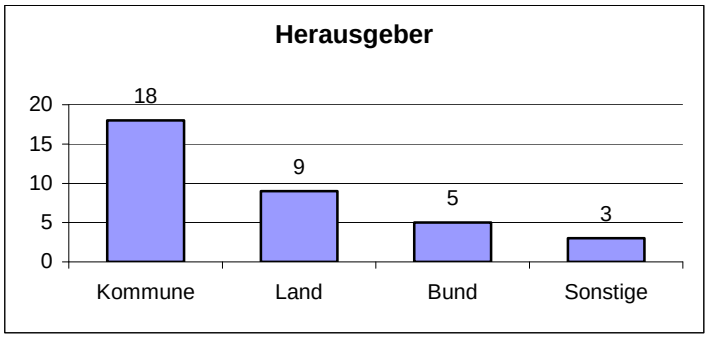
Bundesland	Nachbarschaftshilfe	Mitwirkung
Sachsen	Gemeinden haben mit ihrer Feuerwehr auf Anforderung Hilfe zu leisten, soweit ihr Einsatz nicht im eigenen Zuständigkeitsbereich dringend erforderlich ist. (§ 14 Abs.1 SächsBRKG) Die unteren Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörden haben auf Anforderung einer benachbarten unteren Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörde, die Katastrophenalarm ausgelöst hat, den Einsatz von erforderlichen Kräften und Mitteln der nach § 39 und § 40 im Katastrophenschutz Mitwirkenden im Zuständigkeitsbereich der benachbarten Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörde anzuordnen, soweit ihr Einsatz nicht im eigenen Zuständigkeitsbereich dringend erforderlich ist. (§ 14 Abs.2 SächsBRKG) Die zuständige obere Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörde kann den Einsatz von Kräften und Mitteln der nach § 39 und § 40 im Katastrophenschutz Mitwirkenden außerhalb der Landkreise und Kreisfreien Städte anordnen, in denen sie ihren Standort haben. (§ 14 Abs.3 SächsBRKG)	Zur Mitwirkung im Katastrophenschutz sind alle Behörden des Freistaates Sachsen, die Landkreise, die Gemeinden, die kommunalen Zweckverbände und die sonstigen Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts, die der Aufsicht des Freistaates Sachsen unterstehen und im Gebiet der Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörde eigene Zuständigkeiten besitzen, verpflichtet. Die Verpflichtung besteht nur, soweit die Erfüllung dringender eigener Aufgaben dadurch nicht ernstlich gefährdet wird. (§ 39 Abs.1 SächsBRKG)
Sachsen-Anhalt	Benachbarte Katastrophenschutzbehörden sind einander zur Hilfeleistung verpflichtet, soweit dadurch nicht dringende eigene Aufgaben wesentlich beeinträchtigt werden. Dies gilt auch für das Gebiet nach § 2a Abs.2 Satz 2. Nachbarschaftshilfe wird von der Katastrophenschutzbehörde unmittelbar angefordert. Die beteiligten Katastrophenschutzbehörden informieren unverzüglich die obere Katastrophenschutzbehörde. (§ 17 Abs.1 KatSG-LSA) Reicht die Nachbarschaftshilfe nicht aus, so fordert die Katastrophenschutzbehörde bei der oberen Katastrophenschutzbehörde überörtliche Hilfe an. (§ 17 Abs.2 KatSG-LSA)	

Bundesland	**Nachbarschaftshilfe**	**Mitwirkung**
Schleswig-Holstein	Die öffentlichen Feuerwehren haben auf Anforderung der Einsatzleitung gemeindeübergreifende Hilfe zu leisten, soweit der abwehrende Brandschutz und die Technische Hilfe in ihrem Einsatzgebiet nicht gefährdet sind. Bei Großeinsätzen, die mit den Feuerwehren nicht mehr allein bewältigt werden können, können die Gemeinden, die Ordnungsbehörden oder die Aufsichtsbehörden auch dann Feuerwehren anfordern, wenn der abwehrende Brandschutz und die Technische Hilfe in der entsendenden Gemeinde vorübergehend gefährdet sind. (§ 21 BrSchG) Auf Anforderung einer unteren Katastrophenschutzbehörde, die in ihrem Zuständigkeitsbereich Katastrophenalarm ausgelöst hat, hat die benachbarte Katastrophenschutzbehörde den Einsatz von Einheiten des Katastrophenschutzdienstes anzuordnen, soweit ihr Einsatz nicht im eigenen Bezirk erforderlich ist. Die eingesetzten Kräfte unterstehen danach der Leitung der anfordernden Behörde. Das Innenministerium kann den Einsatz von Einheiten des Katastrophenschutzdienstes außerhalb des Bezirkes einer unteren Katastrophenschutzbehörde, in dem sie ihren Standort haben, anordnen und bestimmt dabei zugleich, wem die Kräfte unterstellt werden. (§ 19 Abs.1 und 2 LKatSG)	Alle Behörden des Landes und alle der Aufsicht des Landes unterstehenden juristischen Personen des öffentlichen Rechts, die im Bezirk der jeweiligen Katastrophenschutzbehörde öffentlich-rechtliche Verwaltungstätigkeit wahrnehmen, haben im Rahmen ihres Aufgabenbereiches beim Katastrophenschutz zu helfen. (§ 8 Abs.1 LKatSG)
Thüringen	Die Gemeinden haben sich auf Ersuchen des Einsatzleiters (§§ 23, 24) gegenseitige Hilfe zu leisten, sofern die Sicherheit der ersuchten Gemeinden durch die Hilfeleistung nicht erheblich gefährdet wird. Die Aufsichtsbehörde kann bei besonderen Gefahrenlagen im Benehmen mit dem Bürgermeister die Hilfeleistung anordnen. (§ 4 Abs.1 ThürBKG)	

5.7 Anlage 7: Auswertung von Hochwasserbroschüren bzw. Hochwassermerkblättern

Untersucht wurde das bestehende Angebot an Hochwasserbroschüren bzw. Hochwassermerkblättern und deren Inhalt. Hierzu wurden 35 Broschüren ausgewertet, davon 33 aus dem Bundesgebiet, eine aus Österreich und eine aus der Schweiz. Alle Broschüren sind im Zeitraum zwischen 1999 und 2006 erschienen und, bis auf eine Ausnahme, bei entsprechenden Stellen in gedruckter Form erhältlich bzw. bestellbar. Zusätzlich können alle ausgewerteten Broschüren als pdf-Datei im Internet heruntergeladen werden.

Herausgegeben wurden die Broschüren hauptsächlich von Kommunen, Landesbehörden und Bundesministerien. Die genaue Verteilung der Herausgeber ist aus dem folgenden Diagramm ersichtlich.



Die überwiegend im DINA4-Format veröffentlichten Broschüren haben sehr unterschiedlichen Umfang und reichen von 1-seitigen Checklisten bis zu einem gut 60 Seiten langen Hochwasserschutz-Heft. Im Durchschnitt beläuft sich der Umfang auf rund 14 Seiten, welcher sich aus der unten aufgeführten Zusammenstellung ergibt.

Umfang der ausgewerteten Broschüren

18	bis 5 Seiten
7	5 bis 20 Seiten
10	20 bis 60 Seiten

Behandelte Themen

Neben der Aufführung zahlreicher Maßnahmen zur Schadensbegrenzung vor, während und nach einem Hochwasser, auf die unten gesondert eingegangen wird, werden folgende Themen in den verschiedenen Broschüren behandelt:

- Hintergrundinformationen zur Hochwasserentstehung (Niederschlags- und Abflussbildung, Abflusskonzentration, Wellenablauf, Einfluss von Flusslaufveränderungen, Landnutzung und Versiegelung auf Wasserrückhalt)
- Naturnahe Gewässerentwicklung
- Hochwasserrisiko, Hochwasserprognose
- Klimawandel und Hochwasser
- Historischer Rückblick auf vergangene Hochwasser (z. T. mit Schadensbericht)
- Grundsätze und Ziele im HW-Schutz
- Hochwasserstrategien (Technischer HW- Schutz, Vorsorge, Flächenmanagement)
- Ausweisung von Überschwemmungsgebieten mit Konsequenzen

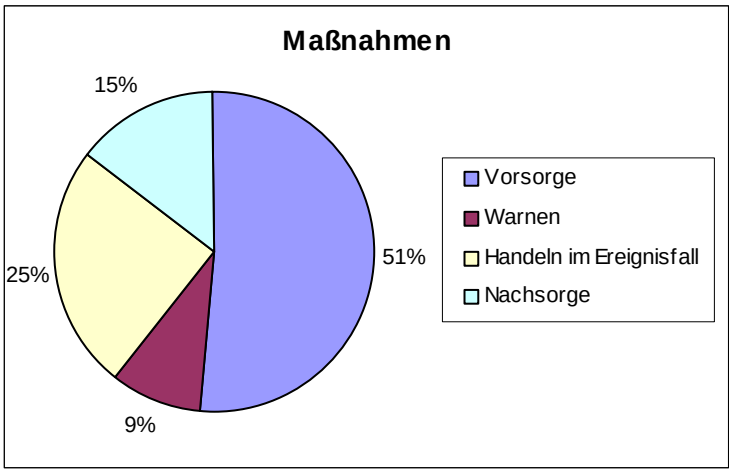
- Wasserwirtschaftliche Grundlagen
- Gesetzliche Grundlagen (Hochwasserschutzgesetz)
- Bautechnische Grundlagen
- Folgen von Hochwasser und Grundwasseranstieg an Gebäuden (Eindringungswege, Auftrieb, etc.)
- Anforderungen an Gebäudeabdichtung, Beschreibung (un-) geeigneter Baumaterialien (z. T. sehr detailliert)
- Restrisiko auch in vermeindlich sicheren Gebieten (Übersteigung des Bemessungshochwassers, Versagen der Schutzvorkehrungen, Verklausung vor Brücken, Grundwasseranstieg, etc.)
- Tipps zu Versicherung (Zusatz-, Elementar-, Gewässerschadenshaftpflicht, Kasko)
- Informationsmöglichkeiten (Telefonnummern wichtiger Institutionen, Internetadressen, Teletext, Radiofrequenzen)
- Kontaktnummern zentraler Entstörungsdienste (Strom, Wasser, Gas), Angabe über zentrale Sandsackfüllstelle, Angabe der vorgesehenen Sammelplätze im Falle einer Evakuierung

Lediglich vier der untersuchten Broschüren haben einen konkreten Ortsbezug und zeigen die gefährdeten Bereiche mithilfe einer Gefahrenkarte z. T. unter Angabe gefährdeter Straßenabschnitte auf. Weitere sechs Broschüren verweisen den Leser auf bestehende Risiko- und Gefahrenkarten.

Maßnahmen

Die aufgeführten Maßnahmen sind zum größten Teil (rund 80 %) konkrete Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen für den einzelnen Bürger, um im Hochwasserfall mögliche Schäden begrenzen oder vermeiden zu können. Knapp 10 % der gefundenen Maßnahmen beschäftigen sich mit der Schadensminimierung an Gebäuden durch angepasste Bauweise (z. B. Haus auf Stelzen, Rückstauklappen, Baumaterialien). Die restlichen 10 % sind hauptsächlich kommunale Maßnahmen zur Verbesserung der Frühwarnung und des Risikomanagements und zur Verringerung des Schadensrisikos (technischer Hochwasserschutz, Flächenmanagement, Öffentlichkeitssensibilisierung).

Die empfohlenen Maßnahmen lassen sich grob in vier Bereiche aufteilen: Maßnahme die zur Schadensbegrenzung vor bzw. nach einem Ereignisfall durchgeführt werden müssen und Verhaltensregeln, die im Falle einer Hochwasserwarnung bzw. während einem Ereignisfall beachtet werden müssen. Wie aus dem folgenden Diagramm ersichtlich, liegt der Schwerpunkt der untersuchten Broschüren auf Maßnahmen zur Hochwasservorsorge (bauliche sowie persönliche Vorsorge) und auf Verhaltensregeln während eines Hochwassers.



Förderprogramm des BMBF:
Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)

Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS)

Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Abschnitt D: Radargestützte deutschlandweite Erfassung, Modellierung, Bewertung und Kurzfristvorhersage lokaler Extremniederschläge für urbane Gebiete

(URBAS_Radar) Forschungsvorhaben B im Verbundprojekt

im Auftrag des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Aachen, Dezember 2008

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Fachhochschule Aachen

Deutscher Wetterdienst

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **IV**

Tabellenverzeichnis **VI**

1 Untersuchungsziele und Vorgehensweise **1**

2 Starkregen: Definition, Entstehung und Einflussfaktoren **1**

2.1 Starkregen und Konvektion 1

2.2 Wetterlagen 4

2.3 Gewitterentstehung und -typen 5

2.4 Kategorisierung nach Mengen und Intensitäten 6

3 Erfassung, Auswertung und Bewertung von Starkregen in Deutschland **7**

3.1 Methoden der Niederschlagserfassung 7

3.2 Niederschlagsmessung mit Bodenmessstationen (HY, DWD) 7

3.3 Niederschlagsmessung mit Radar 8

3.3.1 Methodik 8

3.3.2 KONRAD 9

3.4 Vorhandene Auswertungen zu extremen Niederschlägen 11

3.4.1 KOSTRA, PEN, MGN 11

3.4.2 KOSTRA 1990 und KOSTRA-DWD 2000 13

3.4.3 Klassifizierung der Starkniederschlagshöhen 14

3.4.4 Bemessungswerte für kommunale Gewässer und Entwässerungssysteme 15

4 Auswertung der Warnmeldungen und der Niederschlagsdaten für die Fallstudien **15**

4.1 Warnungen bei den erfassten Ereignissen 15

4.2 Niederschlagsuntersuchungen für die Fallstudien 16

4.2.1 Niederschlagsverlauf 16

4.2.2 Niederschlagsmengen 16

4.3 Untersuchungsschwerpunkt Lübeck 17

4.4 Ergebnisse der Fallstudienuntersuchungen 17

4.5 Extremwerte des Niederschlags aus der Ereignisanalyse 17

5 Vorkommen und Häufigkeit von Starkregen aus Radardatenauswertungen in Deutschland 18

5.1 Fragestellungen und Vorgehensweise 18

5.2 KONRAD-Daten als Datengrundlage der Radardatenauswertung 18

5.3 Messeffekte bei der Erfassung von Extremwerten 19

5.3.1 Problematik und Vorgehen 19
5.3.2 Übersicht 20
5.3.3 Stichprobengröße 21
5.3.4 Einfluss der Verteilung 21
5.3.5 Vergleich der Niederschlagsformen 22
5.3.6 Umrechnen auf Gitter 23
5.3.7 Gittervariation 23
5.3.8 Größe des Niederschlagsgebietes 24
5.3.9 Zusammenfassung 24

5.4 Grundlagen statistischer Korrekturen 25

5.4.1 Problembeschreibung 25
5.4.2 Vorgehensweise bei der Datenanalyse 26
5.4.3 Zeitliche und räumliche Analyse der Radarbilder 26
5.4.4 Qualitative Regionalisierung der Radarbilder 27
5.4.5 Histogramme 29
5.4.6 „Radarbilder“ 29
5.4.7 Erklärungen für unterschiedlich starke Auswirkungen von Störungen 31

5.5 Erstellung und Durchführung der Korrekturen 33

5.5.1 Korrektur von Abschattungen und Pixelclustern 33
5.5.2 Höhenkorrektur 34
5.5.3 Diskussion der Korrekturfaktoren 36
5.5.4 Einfluss der Reflektivitätsklasse 36

5.6 Auswertungen der Radarstatistiken 37

5.6.1 Einzelradar-Auswertungen 37
5.6.2 Erstellung der Komposits 38
5.6.3 Deutschlandweite Auswertung 41

5.7 Niederschlagsstatistik von Radar- und Bodenmessungen 43

5.7.1 Erstellung von Niederschlagskarten aus Radardaten unterschiedlicher Dauerstufen und Wiederkehrzeiten und Vergleich mit KOSTRA 44
5.7.2 Gemeinsame raum-zeitliche Statistik von Radar- und Punktmessgeräten des Niederschlags 55
5.7.3 Schlussbemerkung 68

6 Vorhersage von konvektiven Starkregen 68

6.1 Untersuchungsziele 68

6.2 Methoden der Vorhersage von Starkregen 68

6.3 Satellitendaten 69

6.3.1 Ergebnisse des Vorhabens „EXTRA“ 69

6.3.2 Ableitung von Niederschlag aus MSG-Satellitendaten 70

6.3.3 Angestrebte Verbesserungen in EXTRA 73

6.3.4 Fazit 74

6.4 Vorhersage mit KONRAD 74

6.4.1 Verbesserung der Vorhersage von konvektivem Starkregen 76

6.4.2 Einführung einer zweiten Starkregenwarnstufe in KONRAD 77

6.4.3 Durchgeführte und laufende Verbesserungen von KONRAD 78

7 Ergebnisse und Folgerungen 78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Ausschnitt aus dem PX-Klassenprodukt (links) im Vergleich zum KONRAD-Produkt (VX). Die konvektiven Zellen, die man auch im PX sieht, werden nummeriert, verfolgt und mit Warnungen versehen. Dabei gibt das Produkt einen detaillierten Überblick über Gefahrenpotenzial und vermutlich weitere Zugbahn. 10

Abbildung 3-2: Unterschiede der KOSTRA-Werte 2000 und 1990 für Hamburg 13

Abbildung 3-3: Unterschiede der KOSTRA-Werte 2000 und 1990 für Paderborn 14

Abbildung 3-4: Beispiel für eine Generalisierung der KOSTRA Karten (links) durch Zusammenfassung der Mengenklassen (rechts) 15

Abbildung 5-1: Räumliche Niederschlagsverteilung unterschiedlicher Formen des Niederschlagsgebiets und gleicher Gradienten.....20

Abbildung 5-2: Horizontalschnitt durch die räumliche Niederschlagsverteilung einer Kugel bei unterschiedlichen Gradienten (ausgedrückt durch Sigma = 1 bis 5) 20

Abbildung 5-3: Horizontalschnitt durch die räumliche Niederschlagsverteilung einer Kugel bei gleichem Gradienten in 12,5 km, 25 km, 50 km, 75 km und 100 km Entfernung vom Radar 21

Abbildung 5-4: Prozentuale Differenz der Anzahl der Range-Bins pro Reflektivitätsklasse zwischen den Entfernungen 75 km bzw. 100 km und 12,5 km vom Radar der Niederschlagsform „Kugel“ einer Normalverteilung (links) und einer linearen Verteilung (rechts).....22

Abbildung 5-5: Prozentuale Abweichung der Range-Bin-Verteilung als Differenz von 100 km und 12,5 km bei Sigma = 1 (links) und Sigma = 5 (rechts).....22

Abbildung 5-6: Prozentuale Abweichung der Range-Bin-Verteilung als Differenz von 100 km und 12,5 km bei Sigma = 1 (links) und Sigma = 5 (rechts) mit Umrechnung auf Gitter.....23

Abbildung 5-7: Übersicht der Auftretenshäufigkeiten der jeweiligen Level getrennt nach 10 Entfernungsklassen (je 10 km) 26

Abbildung 5-8: Auftretenshäufigkeit von Level 3 mit Ausweisung gestörter Bereiche.....27

Abbildung 5-9: Clutter von Innenbereich (rot), Bergen (blau) Speichen (gelb) und ungestörten Bereichen im Radar München 28

Abbildung 5-10: Unkorrigierte (links) und korrigierte Auftretenshäufigkeiten von Level 3 für das Radar Hamburg 34

Abbildung 5-11: Verhalten des Medians der Häufigkeiten von Level 3 (links) und Level 4 (rechts) in Abhängigkeit von der Höhe für das Radar Hamburg.....34

Abbildung 5-12: Verhalten des Medians der Häufigkeiten von Level 3 im Januar (links) und im Juli (rechts) in Abhängigkeit von der Höhe für das Radar Hamburg 35

Abbildung 5-13: Verhalten des Medians der Häufigkeiten von Level 4 im Januar Radar Hamburg (links) und im Januar Level 3 in München (rechts) in Abhängigkeit v. d. Höhe 35

Abbildung 5-14: Häufigkeitsverteilung des Levels 3 unkorrigiert (a), korrigiert (b) und die zugehörige Höhenverteilung der einzelnen Pixel (c) des Radars Neuheilenbach ...37

Abbildung 5-15: Häufigkeitsverteilung von Starkregen (a) und Zellzugbahnen (b) des Radars Neuheilenbach 38

Abbildung 5-16: Höhenverteilung der Radargeräte inklusive ihrer Schnittbereiche 39

Abbildung 5-17: Häufigkeitsverteilung von Sekundärzellen für den Schnittbereich der Radars Hannover (a, c) und Ummendorf (b, d) für die Normierungsbasis Anzahl der KONRAD-Messungen (a, b) sowie Median der Häufigkeiten von Level-3 im Gesamtbereich (c, d) 40

Abbildung 5-18: Häufigkeitsverteilung von Sekundärzellen für den für alle Radargeräte vor (a) und nach der Normierung (b) 40

Abbildung 5-19: Prozentuale Erhöhungen der Radarpixel durch die Korrekturen mit Interpolationsbereichen (rot) 41

Abbildung 5-20: Häufigkeitsverteilung von Starkregen für Deutschland nach Korrekturen und Kompositierung 42

Abbildung 5-21: Häufigkeitsverteilung von Zellzugbahnen für Deutschland nach Korrekturen und Kompositierung 43

Abbildung 5-22: Korrekturen des Radars Hannover 47

Abbildung 5-23: Ausgesuchte Häufigkeitsverteilungen inklusive statistischer Maße dieser Verteilungen 47

Abbildung 5-24: Häufigkeitsverteilungen von Radardaten (Hannover) auf Basis der Schwellenwerte aus KOSTRA für fünf verschiedene Dauerstufe-Wiederkehrzeit-Paare bei Umrechnung der Radardaten unter Annahme von Klassenuntergrenze, Klassenmittelwert und Klassenobergrenze. Zusätzlich wird die Signifikanz angegeben, mit der die Kachelwerte nicht mit dem Mittelwert übereinstimmen. ...50

Abbildung 5-25: Maximalniederschläge der Dauerstufe 5 (oben), 15 (Mitte) und 60 Minuten (unten) für Radardaten in Originalauflösung (1.v.l.), Radardaten in KOSTRA-Kachel-Auflösung (2.v.l), KOSTRA bei Wiederkehrzeiten von 100, 2 und 20 Jahren (3. + 4. v.l.) für das Radar Hannover 51

Abbildung 5-26: wie Abbildung 5-23 jedoch für die Originalauflösung der Radardaten....53

Abbildung 5-27: Normierte Histogramme aller Dauerstufen-Wiederkehrzeiten-Paare für die mittlere Streuung innerhalb der KOSTRA-Kacheln und zugehörige statistische Maße 53

Abbildung 5-28: Darstellung der räumlichen Verteilung verfügbarer Messstationen um das Radar Hannover 58

Abbildung 6-1: Verschiedene Falschfarbenkomposits vom 20.05.03 13:30 UTC. 70

Abbildung 6-2: oben von rechts nach links: R: 0.6 G: 0.8 B: 12.1, IR-Temperaturen (°C) 12.1, R: WV6.2-WV7.3 G: IR3.9-IR10.8 B: NIR1.6-VIS0.6; unten von rechts nach links: RY-RADOLAN-Niederschlagsintensitäten, Niederschlagsintensitäten nach Vicente und nach BiCST (16.06.2006 13:45 UTC) 72

Abbildung 6-3: Oben: Instabilitätsindizes vom 16.06.06 10:00 UTC; links: K-Index, Mitte: KO-Index, rechts: LI-Index); Unten: links: Energieindex MAXBUOY, Mitte: „Precipitable Water“, rechts: Qualität der Daten....73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Meteorologische Vorgänge bzw. Faktoren, die eine Hebung und eine Abkühlung der Luftmassen bewirken (eigene Zusammenstellung n. Hauck, 1983) 2

Tabelle 2-2: Typische Großwetterlagen (GWL) und Großwettertypen (GWT) mit Starkregenereignissen in Südhessen (nach Gudd, 2003 u. Gerstengarbe et al., 1999) 4

Tabelle 2-3: Definition von Starkregen DWD für die Wetterwarnung 6

Tabelle 2-4: Definition von Starkniederschlag nach Weischet (1995) 6

Tabelle 2-5: Definition Starkregen, Quelle: Debeka BWE (2008) 6

Tabelle 3-1: Regionalisierte maximierte Gebietsniederschlagshöhe (MGN) in Abhängigkeit von der Jahreszeit (Sommer: Juni-August), Dauerstufe 1 h, Gebietsgrößenstufe 25 km². Abschätzung der MGN-Werte für die Fallstudien im URBAS-Projekt (aus: Schmidt, 1997) 12

Tabelle 3-2: Sommerliche maximierte Gebietsniederschlagshöhen (Gebiete <= 25 km²) für ausgewählte Regionen in Deutschland (nach: Schmidt, 1997) 13

Tabelle 4-1: Kodierung der Warnungen des DWD 16

Tabelle 4-2: Stärkste dokumentierte Starkregenereignisse 1990 – 2005 (Auswertung der Ereignisse der Ereignisdatenbank) 17

Tabelle 5-1: Pixelbreite und -volumen in fünf Entfernungen vom Radar 19

Tabelle 5-2: Anzahl der Range-Bins pro Reflektivitätsklasse (Level) für verschiedene Entfernungen und Sigma-Werte 24

Tabelle 5-3: Übersicht der in Niederschlag umgerechneten Klassengrenzen KG des PX-Produkts 45

Tabelle 5-4: Relevante Dauerstufen für die Auswertung der Radardaten und den Vergleich mit KOSTRA-Daten 46

Tabelle 5-5: Korrelationen zwischen den Maximalwerten aus Radardaten bei KOSTRA-Auflösung und KOSTRA-Werten des Radars Hannover 52

Tabelle 5-6: Niederschlagsmengen [mm], die durch die Klasseneinteilung der Radardaten zu erwarten sind 54

Tabelle 5-7: Die geografische Lage der betrachteten Niederschlagsstationen und des Radars Hannover. 58

Tabelle 5-8: Verfügbare Punktzeitreihen im Bereich des Radars Hannover mit ihrer Entfernung zum Radar und den unterschiedlichen Genauigkeiten im Beobachtungszeitraum 59

Tabelle 5-9: Reflektivitäten und zugeordnete Regenraten in Abhängigkeit der Anpassungsmethode 60

Tabelle 5-10: Die resultierenden, empirischen Häufigkeitsverteilungen 61

Tabelle 5-11: Einige Kenngrößen im Vergleich 61

Tabelle 5-12: Mittelwerte der Regenraten R≥1.2mm/h [mm/h] auf Basis der Punktmessungen und ihrer 7x7-, 11x11 und 15x15 DX-Pixelumgebungen für den Januar in den Jahren 2005-2006 62

Tabelle 5-13: Analog zu Tabelle 5-12 jedoch Juli, 2005-2006 62

Tabelle 5-14: Mittelwerte der Regenraten R≥1.2 mm/h [mm/h] auf Basis der Punktmessungen und ihrer 7x7, 11x11 und 15x15 DX-Pixelumgebungen für den Januar in den Jahren 2005-2006 63

Tabelle 5-15: Analog zu Tabelle 5-14 jedoch Juli, 2005-2006 63

Tabelle 5-16: Mittelwerte der Regenraten R≥1.2mm/h [mm/h] auf Basis der Punktmessungen und ihrer 7x7-, 11x11 und 15x15 DX-Pixelumgebungen für den Januar in den Jahren 2005-2006 63

Tabelle 5-17: Analog zu Tabelle 5-16 jedoch Juli, 2005-2006 64

Tabelle 5-18: Vergleich der empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten im Januar für die Jahre 2005-2006 für die Schwellen 2.4 mm/h, 4.8 mm/h, 7.2 mm/h und 9.6 mm/h bei Betrachtung aller Regenraten ≥1.2 mm/h 64

Tabelle 5-19: Analog zu Tabelle 5-18 jedoch Juli, 2005-2006 65

Tabelle 5-20: Vergleich der empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten im Januar für die Jahre 2005-2006 für die Schwellen 2.4 mm/h, 4.8 mm/h, 7.2 mm/h und 9.6 mm/h bei Betrachtung aller Regenraten ≥1.2 mm/h 65

Tabelle 5-21: Analog zu Tabelle 5-20 jedoch Juli, 2005-2006 66

Tabelle 5-22: Vergleich der empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten im Januar für die Jahre 2005-2006 für die Schwellen 2.4mm/h, 4.8mm/h, 7.2mm/h und 9.6mm/h bei Betrachtung aller Regenraten ≥1.2mm/h 66

Tabelle 5-23: Analog zu Tabelle 5-22 jedoch Juli, 2005-2006 67

1 Untersuchungsziele und Vorgehensweise

Bei den meteorologischen Untersuchungen wurden sowohl auf Deutschland bezogene Forschungsfragestellungen bearbeitet als auch lokale und ereignisbezogene Analysen zu den erfassten Ereignissen durchgeführt.

Bei den **deutschlandweiten Untersuchungen** wurden insbesondere über statistische Auswertungen der Radardaten regionale Unterschiede für das Auftreten von Starkniederschlägen erfasst und bewertet. Die Weiterentwicklung des Vorhersageinstruments KONRAD ist ein weiterer Bearbeitungsschwerpunkt, s. Kapitel 6.4.

Konkrete Untersuchungspunkte waren:

- Definition von konvektiven Starkniederschlägen und Beschreibung ihrer Genese und ihrer Einflussfaktoren, Erfassung und Messung von Starkniederschlägen, Sichtung vorhandener Auswertungen zu Starkniederschlägen und Bemessungswerten von Sturzfluten
- Vorarbeiten zu einem Entwurf einer Intensitäts- und Gefahrenkarte für Starkregenereignisse
- Konzepterarbeitung und Umsetzung für die Verbesserung der Vorhersageinstrumente

Bei den **ereignisbezogenen Analysen** wurde untersucht, ob es eine Vorwarnung zu dem jeweiligen Ereignis gab, aus welcher Wetterlage das Ereignis entstanden ist, wie sich Niederschlagsmenge und -verlauf beim Ereignis entwickelt haben und wie aufgetretene Größen im Vergleich zu Extremwertstatistiken des Niederschlags sowie zu lokalen Bemessungsgrößen (Kanalisation, kommunale Gewässer) einzuordnen sind.

2 Starkregen: Definition, Entstehung und Einflussfaktoren

2.1 Starkregen und Konvektion

(Niederschlagsbedingte) Sturzfluten werden von Starkregen ausgelöst (Doswell, 2000; Mück, 2000). Als Starkregen werden relativ kurze Niederschlagsereignisse mit hohen Intensitäten bezeichnet. Diese Starkniederschläge gehen i. d. R. auf konvektive Wetterlagen zurück.

Unter Konvektion (Wärmeströmung) versteht man einen Mechanismus der Wärmeübertragung von thermischer Energie von einem Ort zum anderen. Der Energietransport ist hier - im Gegensatz zur Wärmeleitung oder Wärmestrahlung - mit einem Materietransport verbunden. Der Wärmetransport erfolgt über Luftpakete.

Konvektive Niederschläge kommen normalerweise in der warmen Jahreszeit vor, wenn hohe Feuchtigkeitsgehalte der Luft auftreten und die Konvektion starke Aufwärtsbewegungen der Luftmassen ermöglicht (Häckel, 1999). Dadurch kommt es i. Allg. zu einer Durchmischung der Atmosphäre, d. h. die ursprüngliche Schichtung der Atmosphäre wird labilisiert (Liljequist & Cehak, 1984).

(Stark-)Niederschläge entstehen, wenn feuchte Luftmassen beim Aufsteigen unter den jeweiligen Taupunkt abgekühlt werden, d. h. das Kondensationsniveau erreichen. Die Abkühlung erfolgt, indem diese Luftmassen durch Hebung in eine Schicht geringeren Luftdrucks transportiert werden und sich dabei ohne äußere Energiezufuhr ausdehnen und abkühlen. Man unterscheidet unterschiedliche Konvektionstypen, wobei Starkniederschläge häufig durch das Zusammenwirken von mehreren Mechanismen entstehen (Häckel, 1999; Mück, 2000; Reudenbach, 2003). Die meteorologischen Vorgänge bzw. Faktoren, die eine Hebung und infolgedessen eine Abkühlung der Luftmassen bewirken, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst (Hauck, 1983, S. 95ff).

Tabelle 2-1: Meteorologische Vorgänge bzw. Faktoren, die eine Hebung und eine Abkühlung der Luftmassen bewirken (eigene Zusammenstellung n. Hauck, 1983)

Vorgang	**Beschreibung**	**Jahreszeit / Ausdehnung / Niederschlag**
Konvergenz	Bei Konvergenz erfolgt der Zustrom feuchter (warmer) Luftmassen seitlich oder konzentrisch in den unteren Atmosphärenschichten (Täler, Tiefdruckrinnen, präfrontale Konvergenzen, Zyklone). Nach Hebung strömen die Luftmassen in höheren Atmosphärenschichten wieder seitlich aus.	Meist in der warmen Jahreszeit, vereinzelt auch im Winter. Oft mit Gewittern verbunden. Häufig linienförmiger Verlauf der Niederschlagszellen.
Fronten	Frontal induzierte Konvektion: Diese resultiert aus dem Zusammentreffen von unterschiedlich temperierten Luftmassen. Feuchte geladene Warmluft schiebt sich auf eine eingedrungene Kaltluftfront. Es folgt eine feuchte Konvektion, die sog. Hebungs- und Frontengewitter verursachen kann. Eine auf diese Weise entstandene Kaltfront erreicht eine Ausdehnung von bis zu mehreren 100 km und kann Konvektionszellen der oben genannten Typen enthalten. In der frontalen Zone können sich mehrere Gewitterzellen in *squall lines* (Gewitterstreifen) organisieren.	Großräumige Niederschläge, i. Allg. advektiv. Ganzjährig, im Sommer auch mit Gewittern und Starkregen
Topografie	Orografisch induzierte Konvektion: Feucht-warme Luftmassen gleiten auf ein orografisches Hindernis (Gebirge) auf und werden zum Aufstieg gezwungen.	Ausdehnung je nach Höhe und Verlauf der Erhebung. Im Sommer Starkniederschläge, z. T. auch Gewitterbildung
Turbulenz, Instabilität	Luftmassen induzierte Konvektion: Die durch Sonneneinstrahlung und Erwärmung des Bodens und der bodennahen Schichten entstehenden Temperaturunterschiede führen zu einem Aufsteigen der feuchten erwärmten Luftmassen. Die Prozesse werden stark vom vorhandenen Temperaturgradienten (stabile oder instabile Schichtung) gesteuert. Aus dieser Art von Konvektion gehen Wärmegewitter mit Starkniederschlag hervor (Gudd 2003).	Meist kleinräumliche konvektive Niederschläge, oft in Verbindung mit Gewittern

Die Verweildauer des Starkregenereignisses über einem geografischen Ort ist mit ausschlaggebend für das Auslösen einer Sturzflut.

Höller (1994) hat durch Radarmessungen nachgewiesen, dass in Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen (potenzielle Instabilität über weite Bereiche der Troposphäre, das vertikale Windprofil, die mesoskalige Wetterlage) die konvektiven Zellen sich oft zu bestimmten Formen entwickeln. Höller hat folgende Typen klassifizieren können (Mück, 2000):

- Kurzlebige Einzelzellen treten in einer Umgebung auf, die durch schwache Winde und geringe Windscherung gekennzeichnet ist. Diese Zellen sind instabil und verhältnismäßig klein (5-10 km²) und überdauern nicht länger als eine Stunde (ca. 20 min nach Doswell, 1995, 1996; 10-50 min nach Gudd, 2003). Aus ihnen entstehen Schauer, heftige, aber kurz andauernde Niederschlagsereignisse (max. 45 min) mit meist hoher, manchmal schnell wechselnder Intensität. Ihr Niederschlagsfeld ist eng begrenzt, oft kleiner als etwa 10 km², da die Wolken einer einzelnen Konvektionszelle eine geringe horizontale Erstreckung haben (Hydroskript, 2005).

- Multizellen sind Cluster von Einzelzellen. Dadurch, dass sich an der kalten Böenfront einer bestehenden Zelle die Konvektion verstärkt, entstehen Bedingungen für die Genese einer neuen Zelle auf der Rückseite einer Zelle. Durch Konvergenz an dieser Front können sich ständig neue Einzelzellen bilden, wodurch die Multizelle lange Zeit an einem Ort überdauern kann und quasi stationär wird. Multizellulare Gewitter werden häufig von Hagel und ergiebigen Starkniederschlägen begleitet. Ein solches konvektives System kann eine relativ lange Dauer von einigen Stunden aufweisen und größere Gebiete betreffen (etwa 10 –100 km²). Doswell (1995, 1996) behauptet, dass viele konvektive Ereignisse, die zu Sturzfluten führen, eine solche linienförmige Struktur aus hintereinander geschalteten Gewitterzellen aufweisen. Er spricht vom sogenannten „train effect".
- Superzellen sind der langlebigste und ergiebigste Gewittertyp bedingt durch enorme Aufwinde und ausreichende Feuchtigkeitszufuhr, die mit extremen Starkniederschlägen und Hagelschauern einhergehen. Eine Superzelle stellt vereinfacht gesehen eine quasi stationäre Zelle mit rotierendem Aufwind dar, die häufig aus Multizellen besteht. Eine voll entwickelte Superzelle kann mehrere Regenzentren beinhalten, von denen jedes wie eine Multizelle organisiert ist. Für die Entstehung einer superzellularen Gewitterform sind eine sehr starke Windscherung in der Umgebungsströmung und ausreichend feuchte Luftmassen in Bodennähe notwendig. Nach Doswell (1995, 1996) bewegen sich solche Gewitter langsam – eine wichtige Voraussetzung für die Entstehung von Sturzfluten.
- Nach Maddox (1980) gibt es noch einen weiteren Gewittertyp, der Sturzfluten auslösen kann. Es sind Mesoskalige Konvektive Komplexe (MCC), die jedoch in Europa äußerst selten sind. Die meisten Sturzfluten werden durch kleinere mesoskalige konvektive Systeme (MCS) ausgelöst (Mück, 2000). MCS erzeugen ein lineares Erscheinungsbild auf dem Radar und werden von stratiformem Niederschlag gefolgt.

Die ergiebigsten Starkniederschläge treten in Mitteleuropa in der warmen Jahreszeit (April-Oktober) am Nachmittag auf, wenn die Erwärmung der Erdoberfläche am stärksten und die Luft am wärmsten ist und sehr viel Feuchtigkeit aufnehmen kann. Sie sind dann oft mit Gewitter und Hagel verbunden (Gudd, 2003; Häckel, 1999; Liljequist & Cehak, 1984; Rudolf & Simmer, 2005).

Durch Konvektion verursachte Wolken werden unterschieden in:

- Cumulus humilis (Wasserwolken, Schönwetterwolken, bis 1 km hoch)
- Cumulus mediocris (Wasserwolken, Schönwetterwolken, ca. 1 km)
- Cumulus congestus (Wasserwolken, Schönwetterwolken, die einen Übergang zu Cumulonimbus bilden können); C. mediocris und congestus sind typische Wolken einer labil geschichteten Atmosphäre (Häckel, 1999).

Cumulonimbus (Wasserwolken, die in oberen Bereichen in Eiswolken übergehen, allgemein als Schauer- und Gewitterwolken bekannt) sind die Haufenform von Cumulus congestus. Cumulonimbuswolken deuten auf heftige Vertikalbewegungen hin. Sie sind an ihren Oberseiten vereist und haben ein diffuses und faseriges Aussehen. Innerhalb kurzer Zeit kann ein kurzer aber sehr intensiver Niederschlag eintreten in Form eines Regenschauers, oft begleitet von Hagel und Gewitter (Liljequist & Cehak, 1984 S. 150). Die typischen Regenwolken in mittleren Breiten sind Nimbostratus und Cumulonimbus. Beide erreichen Höhen mit Temperaturen bis zu -10 °C bis -15 °C, sodass sich Eiskristalle bilden können. An den Eiskristallen kommt es zu einer heftigen Kondensation der Wasserdampfpartikel und zur Bildung von Wassertropfen.

In einem Cumulonimbus können sich während der starken Konvektion und der hohen Kondensation große Regentropfen bilden und somit große Wassermassen schwebend gegen die Schwerkraft gehalten werden. Ändern sich die vertikalen Windverhältnisse jedoch, können die Wassermassen plötzlich aus der Wolke ausfallen.

Hagel entsteht, wenn sich in einer stark unterkühlten Cumulusnimbuswolke sehr viel Wasser auf wenige Eiskristalle (Kondensationskeime) verteilt und die Eiskristalle explosionsartig wachsen. Starke Aufwinde mit bis zu 20 bis 30 m/s (Multiplikator 3,6 ergibt 72-108 km/h) können die wachsenden

Hagelkörner lange schwebend gegen die Schwerkraft halten, sodass die Körner Zeit zum Wachsen haben (Häckel, 1999).

2.2 Wetterlagen

Während zonaler Wetterlagen kommen Starkregenereignisse viel seltener als in meridionalen Wetterlagen vor. Gudd (2003) führt dies auf geringere Lufttemperaturunterschiede und höhere Verlagerungsgeschwindigkeiten der Gewitterzellen zurück, sodass Starkregenzellen weniger intensiv sind und sich innerhalb kurzer Zeit auf größere Gebiete verteilen. Die Sturzflutgefahr ist bei einer solchen Wetterlage relativ gering. Eine erhöhte Gewitteraktivität zeigen dagegen Großwetterlagen, die einen meridionalen Charakter bei Nordost- und Ostlagen haben. Gudd (2003) untersuchte für den Zeitraum 1881-1980 Gewitter und Gewitterschäden in Südhessen und fand heraus, dass primär die Großwetterlagen in Tabelle 2-2 unterstützend für Starkregenereignisse waren.

Tabelle 2-2: Typische Großwetterlagen (GWL) und Großwettertypen (GWT) mit Starkregenereignissen in Südhessen (nach Gudd, 2003 u. Gerstengarbe et al., 1999)

GWL	Bezeichnung	Zirkulations-form	GWT	Beschreibung, Häufigkeiten
HNA	Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal	meridional	Nord	Ein abgeschlossenes blockierendes Hochdruckgebiet erstreckt sich von Island und Schottland bis nach Mitteleuropa. Maximum: Juni, Mai
HNZ	Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal	meridional	Nord	Ähnlich wie HNA Maximum: Mai, April
NEZ	Nordostlage, zyklonal	meridional	Nordost, Ost	Ein Hochdruck erstreckt sich von Azoren nach Skandinavien, über Mitteleuropa ein Kaltlufttropfen (Trog von NE nach SW). Warmluft aus Russland gleitet häufig westwärts auf die Kaltluft. Maximum: April, Mai
HFA	Hoch Fennoskandien, antizyklonal	meridional	Nordost, Ost	Mitteleuropa antizyklonal beeinflusst. Maximum: Januar, März
HFZ	Hoch Fennoskandien, zyklonal	meridional	Nordost, Ost	Über Skandinavien ein blockierendes Hoch, östliche Luftströmung von Mittelrussland nach Mitteleuropa. Maximum: März, Mai
HNFA	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal	meridional	Nordost, Ost	Ein Hoch reicht von Island bis nach Mitteleuropa, schwache Ostströmung von Westrussland über Mitteleuropa bis zu den Britischen Inseln. Maximum: Mai, Februar
HNFZ	Hoch Nordmeer-Fennoskandien, zyklonal	meridional	Nordost, Ost	Über Mitteleuropa ein Höhentief (Kaltlufttropfen), bei östlichen Bodenströmungen treten Aufgleitvorgänge auf. Maximum: März, April
TRW	Trog Westeuropa	meridional	Südost, Süd	Ein Tiefdrucktrog über Westeuropa, über Mitteleuropa verläuft eine Frontalzone, hoher Druck in Westrussland. Maximum: Mai, April

2.3 Gewitterentstehung und -typen

Starkniederschlagsereignisse werden häufig von **Gewitter und Hagel** begleitet. Gewitter sind mesoskalige Phänomene mit einer horizontalen Ausdehnung von 10 bis 100 km. Voraussetzung für ihre Entstehung ist kräftige Konvektion in labiler feuchter Luft. Man unterscheidet drei Gewitterarten, wobei Gewitter häufig durch das Zusammenwirken mehrerer Mechanismen entstehen (Häckel, 1999; Mück, 2000):

- Luftmassengewitter (Sommergewitter, Wärmegewitter) werden ausgelöst durch Konvektion und sind verbunden mit hoher Luftfeuchtigkeit (Schwüle). Das Gewitter wird meist in den Nachmittag- und Abendstunden ausgelöst (Maximum gegen 18.00 Uhr).
- Frontgewitter entstehen durch großräumige Divergenzen in oberen Atmosphärenschichten bzw. durch großräumige Konvergenzen des Windes in unteren Luftschichten bzw. durch Eindringen einer kalten Luftmasse ein Gebiet mit warmer feuchter Luft. Dabei wird die auf die Kaltluft aufgleitende Warmluft labilisiert, es folgt eine feuchte Konvektion, die Hebungs- und Frontengewitter verursachen kann. Da sich eine Kaltfront horizontal über mehrere 100 km ausdehnt, können sich in der frontalen Zone mehrere Gewitterzellen entwickeln, die sich in *squall lines* organisieren. Viele Sturzfluten entstehen durch solche Gewitterbänder. Gewitterstreifen, die mit Fronten assoziiert sind, sind typische Erscheinungen, die zu Sturzfluten führen.
- Orografische Gewitter entstehen, wenn Luft auf ein orografisches Hindernis aufgleitet. Die große Gewitterhäufigkeit im bayerischen Voralpenland ist damit zu erklären.

Das Anordnungsspektrum der Gewitter kann vielfältig sein und reicht von unorganisierten Einzelzellen bis zu mesoskaligen komplexen Systemen (MCS). Häufig treten Mischformen von einzelnen Zellen, Multizellen und Superzellen auf. Linienförmige Anordnungen sind die bevorzugten Strukturen, bei MCS spricht man dann von Böenfronten. Untersuchungen u. a. aus der Schweiz haben gezeigt, dass große linienhaft organisierte Systeme (z.B. squall lines) durch ihre quasistationäre Lage die stärksten Schäden verursachen (Gudd, 2003; Mück, 2000).

Sturzfluten auslösende Gewitter weisen häufig spezifische Merkmale auf wie:

- Sie kommen in Gebieten mit hohen Taupunkttemperaturen und relativ hohem Feuchtigkeitsgehalt der Luft vor.
- Beobachtet wird oft eine schwache bis mäßige vertikale Scherung der horizontalen Winde bedingt durch Wolkentiefe.
- Die Gewitter und / oder Zellen ziehen wiederholt über das gleiche Gebiet.
- Das Auslösen der Gewitter wird begünstigt durch einen schwachen mesoskaligen Trog in der mittleren Troposphäre.
- Das Gewitter befindet sich in unmittelbarer Nähe zum großskaligen troposphärischen Rücken.
- Die Gewitter ereignen sich häufig in den Abendstunden.

Der Großraum Stadt nimmt selbst Einfluss auf die Entstehung und Verteilung von Gewittern und Starkregen.

- Durch Abgase aus Verkehr, Industrie und Haushalten liegt die Zahl der Kondensationspartikel für Wolkenbildungen in der Stadt meist deutlich höher als im Umland.
- Die erhöhte Abwärme in Stadtgebieten führt zu einer gesteigerten Labilisierung der Luft, ebenso wie die erhöhte Rauigkeit der atmosphärischen Grenzschicht durch Gebäudestrukturen und punktförmige Wärmequelle (z. B. Kraftwerke).
- Große Städte führen durch ihren Wärmeeffekt dazu, dass stärkere Niederschläge vermehrt in Lee der Stadt auftreten, d. h., dass Starkniederschlagszellen verstärkt abregnen, nachdem sie die Stadt oder einen großen Teil derselben überquert haben.

- Die Häufigkeit von Niederschlägen ist in der Stadt anders als im Umland zu bewerten. Trotz Kanalsystemen und Ableitungsvorrichtungen wird aufgrund des hohen Versiegelungsgrades ein deutlich höherer Niederschlagsanteil abflusswirksam.

Städtische Effekte in der Niederschlagsverteilung und der Niederschlagsentstehung sind noch schwer zu verstehen. Das liegt zum Teil daran, dass sie kleinräumig auftreten und noch nicht über längere Zeiträume mit dichten Messnetzen beobachtet werden. Die operationellen meteorologischen Modelle sind noch nicht in der Lage, diese Effekte in die Vorhersage einzubeziehen.

2.4 Kategorisierung nach Mengen und Intensitäten

Eine Quantifizierung der Niederschlagsmengen und -intensitäten von Starkregen wird je nach Anwendungszweck vorgenommen. Der Deutsche Wetterdienst benutzt für die Unwetterwarnung die Festlegungen der Tabelle 2-3. Es gibt eine Vielzahl weiterer Definitionen von Starkregen, beispielsweise die von Weischet, vgl. Tabelle 2-4. Auch die Definition von Starkregen der Versicherungen in Tabelle 2-5 weist ähnliche Schwellenwerte auf.

Tabelle 2-3: Definition von Starkregen DWD für die Wetterwarnung

Wetterwarnung	
Starkregen	10-25 mm/h
	20-35 mm/6h
Unwetterwarnung	
Heftiger Starkregen	> 25 mm/h
	> 35 mm/6h

Tabelle 2-4: Definition von Starkniederschlag nach Weischet (1995)

Niederschlagshöhe (mm)	**Zeitintervall (min)**
5	5
7	10
10	20
12	30
16	60
24	120

Tabelle 2-5: Definition Starkregen, Quelle: Debeka BWE (2008)

Niederschlagshöhe [mm]	**Zeitintervall [h]**
25	1
35	6

Das Nowcasting-System KONRAD, das auf Radardaten beruht und in Kapitel 3.3.2 vorgestellt wird, bedient sich ebenfalls dieser Schwellenwerte und leitet daraus Starkregenwarnungen ab. Die Starkniederschlagsstufe 1 besitzt einen Schwellenwert von 10-12 mm/30 min. Der Schwellenwert für eine zweite Stufe liegt bei 20-24 mm/h über einen Zeitraum von 3 Stunden.

3 Erfassung, Auswertung und Bewertung von Starkregen in Deutschland

3.1 Methoden der Niederschlagserfassung

Bei der Niederschlagserfassung und -messung wird unterschieden in:

- Niederschlagsmessung mit Bodenmessstationen (Niederschlagsschreiber, Niederschlagsmesser)
- Niederschlagsmessung mit Radar
- Satelliten
- spezielle Verfahren

Die Niederschlagsmessung mit Bodenmessstationen liefert trotz gewisser Ungenauigkeiten die genaueste Niederschlagshöhe am Messort. Bei Verwendung von Niederschlagsschreiberdaten weist dieses Verfahren zudem die beste zeitliche Auflösung auf. Ihr Nachteil ist die geringe räumliche, bei integrierenden Regenmessern (Hellmann) auch die zeitliche Repräsentativität. Dies trifft auch für spezielle Messverfahren wie Distrometer oder Lysimeter zu.

Das Wetterradar ermöglicht eine gute Wiedergabe der räumlichen Niederschlagsverteilung bis zu einem Umkreis von 230 km. Quantitative Niederschlagsdaten können zurzeit innerhalb von 100 (maximal 128) km bestimmt werden. Die zeitliche Auflösung beträgt praktisch derzeit 5 bis 15 min. Die quantitative Genauigkeit der direkten Punktmessungen wird jedoch nicht erreicht. Eine Verbesserung kann durch Verschneidung mit Bodendaten („Aneichung“) erreicht werden (Bartels et al., 2004).

Satelliten haben bisher noch die gröbste räumliche und zeitliche Auflösung. Etwa alle 15 Minuten liefern sie großräumige Übersichten mit Pixelgrößen von mehreren Quadratkilometern (Meteosat MSG). Dennoch können sie Gebiete erhöhter Konvektion gut ausweisen. Eine Ableitung von Niederschlagsmengen ist zurzeit jedoch noch schwierig und ungenau.

Ein weiteres Messverfahren (Messer et al., 2006) erfasst in quasi-tomografischen Verfahren den integralen Flüssigwassergehalt über bestimmte Strecken, z. B. von GPS-Satellitenverbindungen oder terrestrischen Richtfunkstrecken wie denen operationeller Mobilfunkbetreiber. Es ergänzt damit die o. g. Punkt-, Flächen- und Volumenmessungen.

3.2 Niederschlagsmessung mit Bodenmessstationen (HY, DWD)

Eine Beschreibung der unterschiedlichen Messverfahren stellte Sevruk (2004) zusammen (siehe auch VDI, 2009) und eine Übersicht über das Niederschlagsregelwerk findet sich bei Stalmann et al. (2004).

Es gibt ein dichtes Netz von Niederschlagsmessstationen in Deutschland. Der DWD betreibt etwa 2.300 Stationen, wobei ein Großteil davon lediglich Tagesniederschläge misst (DWD, 2008). Hinzu kommt eine Vielzahl von Stationen anderer öffentlicher und privater Institutionen, die jedoch nicht immer die erforderlichen qualitativen Anforderungen des Niederschlag-Regelwerks erfüllen.

Für KOSTRA (s. Kap. 3.4 und 4.4.4) wurden ca. 4.000 Tagesstationen und 200 Niederschlagsschreiber ausgewertet. Eine Tagesmessstation steht dabei im Mittel für eine Fläche von 62,5 km², also etwa 8 x 8 km². Bei den Niederschlagsschreibern repräsentiert ein Messgerät eine Fläche von 1.250 km², was etwa 35 x 35 km² entspricht.

Entsprechend dieser Messnetzdichte können konvektive, kleinräumige Niederschläge somit nicht systematisch und flächendeckend erfasst werden.

Es wurden eine Reihe von Regionalisierungsmethoden entwickelt, mit denen aus den Punktdaten des Niederschlags die räumliche Verteilung berechnet werden kann, z. B. Zuordnungsverfahren (Thiessen-Verfahren), Interpolationsverfahren (Isohyeten, Inverse Distance Weighted (IDW)), Geostatische Verfahren (Ordinary Kriging, Co-Kriging, External Drift Kriging (EDK)), Splines und Genetische Algorithmen. In KOSTRA-DWD 2000 wurde das Regionalisierungsverfahren REGINE angewendet, mit dem diese Messdaten auf ein 1x1 km Raster umgerechnet wurden (DWD, 2005, S. 7).

Diese Verfahren liefern bei räumlich homogenen Niederschlägen meistens gute Ergebnisse, bei konvektiven Niederschlägen wird der Flächenniederschlag in der Regel nicht richtig wiedergegeben.

3.3 Niederschlagsmessung mit Radar

3.3.1 Methodik

Eine Einführung in die Radarmeteorologie findet sich in Rinehart (2004).

Bei einem Wetterradar wird elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge im Bereich von 1 bis 10 cm als kurzer, energiereicher Impuls von einer gerichteten Parabolantenne in die Atmosphäre ausgesandt. Der Impuls trifft dabei auf die in einer Wolke vorhandenen Niederschlagsteilchen, die Hydrometeore (Regentropfen, Eiskristalle, Hagelkörner). Diese Teilchen streuen die Radarstrahlung und ein Teil davon gelangt durch die Rückstreuung wieder in die Antenne und zwar in der Zeit zwischen den ausgesandten Energieimpulsen. Die aufgefangene Rückstrahlung, das Radarecho, ist sehr schwach und muss deshalb verstärkt werden.

Das **Zeitintervall** zwischen den ausgesandten Impulsen und den dazugehörigen Echos entspricht jener Zeit, die der Impuls braucht, um die doppelte Entfernung (hin und zurück) zu den streuenden Hydrometeoren zurückzulegen. Da sich die Radarstrahlung mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, kann die Distanz vom Radar zu den Partikeln berechnet werden.

Die **Echostärke oder die Radarreflektivität** wird hauptsächlich von der Größe der Hydrometeore bestimmt, mit abnehmender Größe verliert das Echo rasch an Stärke. Bei den üblichen Wellenlängen der Wetterradargeräte geben die Wolkentröpfchen noch kein messbares Radarecho, sie sind zu klein. Dagegen streuen die Regentropfen (> 0,1 mm Ø), d. h. Niederschlag, der aus der Wolke ausfällt, die Radarstrahlen stark. Wasser streut stärker als Eis. Wassertropfen geben somit ein stärkeres Radarecho als "trockene" Graupel gleicher Größe. Das Echo wird umso stärker, je größer die Tropfen sind, und je mehr Tropfen sich im Radarstrahl befinden.

Die **Reflektivität** ist ein Maß für den Rückstreuquerschnitt von Zielen, die mit Radar detektiert werden können. Sie ist proportional zur Energie, die von sämtlichen Streuteilchen im Radarstrahl zur Antenne zurückgestreut wird. Da die von der Antenne empfangene Energie aber von vielen Faktoren abhängt - unter anderen von der Entfernung, der Strahlungswellenlänge, der Antennenform und der ausgesendeten Energie - wurde sie für meteorologische Ziele eigens definiert. Sie hängt nur noch von den Eigenschaften der Ziele ab. Bei Regen ist sie umso größer, je mehr und je größere Regentropfen in der Luft enthalten sind. Die Reflektivität wird meist in der logarithmischen Einheit *dBZ* angegeben, wobei dB das übliche Kürzel für Dezibel ist und Z für Reflektivität steht. Eine Erhöhung um 10 dB entspricht also eine Verzehnfachung der Reflektivität, eine Erhöhung um 30 dB einer Vertausendfachung.

Reflektivitäten (Z) bzw. deren logarithmische Werte (dBZ) können mit der folgenden Beziehung in Niederschlagsraten (R, in mm/h) umgerechnet werden:

$Z = aR^b \iff R = (Z/a)^{1/b} = (10^{dBZ/10}/a)^{1/b}$

$dBZ = 10\log Z$

- a ist im Sommer 300 und im Winter für Regen 200 und für Schnee 1800
- b ist im Sommer 1,5 und im Winter für Regen 1,6 und für Schnee 2,2

Neben diesen Beziehungen gibt es noch weitere empirische sog. Z/R Beziehungen, die für die Umrechnung der Reflektivitäten in Niederschlagsintensitäten verwendet werden. Dennoch bestehen bei der Umrechnung des Echos in Niederschlag teilweise erhebliche Ungenauigkeiten, die in der Regel zu einer Unterschätzung der Niederschlagsmengen führen.

Tabelle 3-1: dBZ-Werte und Niederschlagsintervalle der operationellen DWD-Radarprodukte auf der Basis der DWD-Z/R-Beziehung ($Z=256R^{1,42}$) (Reudenbach, 2003)

Klasse	Intervall dBZ	Niederschlag [mm/h]	Regenintensität
1	7-18,9	0,06-0,4	geringer Regen
2	19-27,9	0,4-1,9	
3	28-36,9	1,9-8,1	mäßiger Regen
4	37-45,9	8,1-35,0	mäßiger bis starker Regen
5	46-54,9	35,0-150,0	sehr starker Regen
6	>55	>150	

Aus diesem Grund wurden verschiedene Ansätze entwickelt, mit denen die Genauigkeit der Radardaten verbessert werden soll. So wird vom DWD das Verfahren RADOLAN (RADar-OnLine-ANeichung) eingesetzt, bei dem mithilfe des gemessenen Niederschlags der Bodenstationen die Radardaten „angeeicht“ werden.

3.3.2 KONRAD

KONRAD (KONvektionsentwicklung in RADarprodukten) ist ein Verfahren zur Erkennung, Verfolgung („Tracking“) und Extrapolation konvektiver Zellen aus Standard-Radarprodukten des DWD. Es wurde am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg entwickelt, steht seit dem Jahr 2000 operationell zur Verfügung und bildet seither eine wesentliche Grundlage des Warnmanagements des DWD.

Das operationelle KONRAD basiert auf dem sogenannten PX-Produkt, das wiederum auf den 5-minütigen Precipscan – einem oberflächennahen Scan bis 128 km Reichweite – zurückgeht. Das PX-Produkt ist ein Klassenprodukt: es besteht aus 6 Reflektivitätsklassen, die ursprüngliche Range-Bin-Einteilung von 1° Azimuth und 1 km Range (Polarkoordinaten) wurde in 1*1 km Pixel umgewandelt. Für KONRAD werden die Daten lediglich bis 100 km, seit 2004 bis 125 km Entfernung vom Radar ausgewertet.

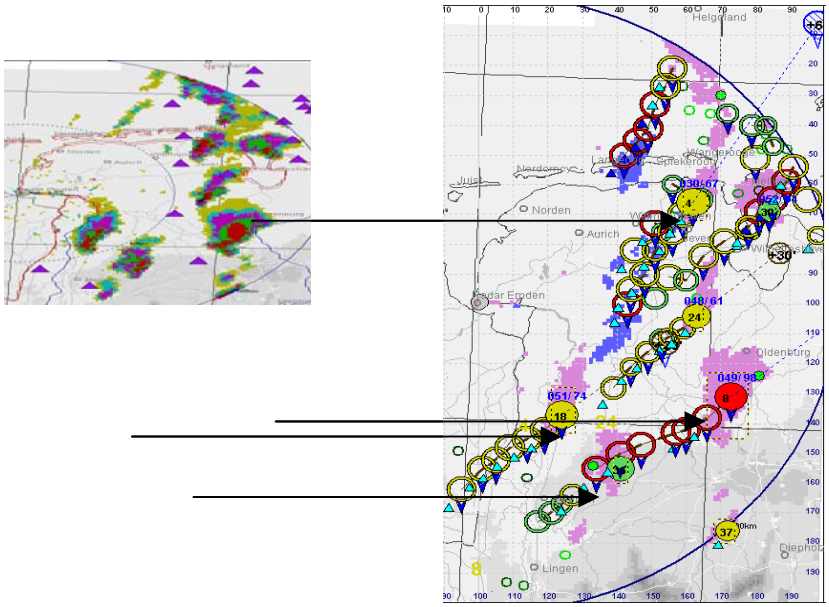


Abbildung 3-1: Ausschnitt aus dem PX-Klassenprodukt (links) im Vergleich zum KONRAD-Produkt (VX). Die konvektiven Zellen, die man auch im PX sieht, werden nummeriert, verfolgt und mit Warnungen versehen. Dabei gibt das Produkt einen detaillierten Überblick über Gefahrenpotenzial und vermutlich weitere Zugbahn.

KONRAD unterscheidet zwischen Primär- und Sekundärzellen. Sekundärzellen sind nur schwach konvektive Gebilde, können auch Schauerzellen darstellen und besitzen nur geringes Schadenspotenzial. Sie dienen als Indikator für beginnende Konvektion, werden aber weder verfolgt noch mit Warnsymbolen versehen, sondern nur markiert. Primärzellen dagegen sind stark konvektive Zellkerne, deren Entwicklungsstadium und Gefährdungspotenzial (Hagel, Starkregen, Windböen) abgeleitet und deren Zugbahn verfolgt und wahlweise auf die halbe oder ganze nächste Stunde extrapoliert wird. Eine der Schwierigkeiten besteht dabei in der korrekten Zuordnung einer Zelle zu ihrem Vorgänger (Wiedererkennung), insbesondere bei dicht benachbarten und schnell ziehenden Zellen. Nähere Informationen finden sich in Lang (2001).

Ein weiteres, jedoch nicht operationell eingesetztes Produkt (VZ) der KONRAD-Familie basiert auf den Volumendaten des Radarverbundes. Es besitzt eine Reichweite von 230 km und bietet damit vollständige Flächenabdeckung von Deutschland. Durch die Einbeziehung der Vertikalinformation erlaubt es schärfere Kriterien zur Zellidentifikation und somit genauere Warnungen, liegt aber nur alle 15 Minuten vor.

Wichtige Warnungen

Hagelwarnung: Für Reflektivitäten der höchsten Klasse werden Hagelwarnungen gesetzt, da statistisch Niederschläge mit dieser Echostärke 6 bis 8-mal seltener auftreten als Hagel.

Zellzugbahn: Die Zugbahn wird durch Ortung und Verfolgung erzielt und erhält jeweils eine separate Nummer.

Starkregenwarnung: Die Starkregenwarnung basiert auf einer Umrechnung der gemessenen Reflektivitäten in Niederschlagsraten und Addition über eine Zeitspanne von 30 Minuten. Dabei muss eine Menge von 12 mm überschritten werden. Diese Warnung ist nicht an Zellen gebunden und findet pixelweise (d. h. je 1 km²) statt.

In URBAS wird KONRAD (VX und ggf. VZ) zur Analyse der Fallstudienereignisse (siehe Abschnitt B und Abschnitt D des Berichts) verwendet. Außerdem bilden die Daten von KONRAD-VX die Grundlage der statistischen Auswertung in Kapitel 5.

3.4 Vorhandene Auswertungen zu extremen Niederschlägen

3.4.1 KOSTRA, PEN, MGN

- **KOSTRA und KOSTRA-DWD 2000**

Vom Deutschen Wetterdienst werden seit Langem extremwertstatistische Untersuchungen (z. B. Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen KOSTRA) für unterschiedliche Basiszeiträume vorgenommen. Diese Arbeiten und daraus resultierende Ergebnisse sind im KOSTRA-Atlas für den Basiszeitraum 1951–1980 (Bartels et. al., 1997) und den Basiszeitraum 1951 bis 2000 unter dem Namen KOSTRA-DWD 2000 (Bartels et. al., 2005) veröffentlicht.

Die unter KOSTRA-DWD 2000 veröffentlichten Ergebnisse basieren auf einer einheitlichen Auswertung von punktuell ermittelten Starkniederschlagshöhen verschiedener Dauerstufen und Jährlichkeiten (Wiederkehrzeiten) und mithilfe von Regionalisierungsmethoden deren Übertragung auf Standorte, für die keine langfristigen Niederschlagsregistrierungen vorliegen.

Auf der Basis von 5-min-Werten der Niederschlagshöhe aus digitalisierten Analogregistrierungen (und seit ca. 1993 auch aus automatischen Niederschlagsmessungen mittels Ombrometern) an einzelnen Stationen wurden unter Beachtung einschlägiger DWA-Regeln (DVWK-Regel 123/ATV-Arbeitsblatt A136 (1985)) punktuell gültige Auswertungen von Starkniederschlagshöhen für den Zeitraum 1951 bis 2000 durchgeführt. Vergleichsrechnungen an 43 gleichmäßig über Deutschland verteilten Stationen zwischen dem Zeitraum 1951 bis 1980 und 1951 bis 2000 für das Sommerhalbjahr haben ergeben, dass die bisherigen Starkniederschlagshöhen der Dauerstufen D = 15 min und D = 60 min bundesweit weiterhin gültig sind.

Datengrundlage der Auswertung täglicher Niederschlagshöhen sind Niederschlagshöhen, die mittels des Verfahrens REGNIE (REGionalisierung von NIEderschlagshöhen) auf einem 1-km²-Raster für den Zeitraum 1951 bis 2000 berechnet wurden. Die Methodik zur Berechnung der punktuellen extremwertstatistischen Angaben von Niederschlagshöhen h (D;T) bzw. Niederschlagsspenden R (D;T) für alle untersuchten Dauerstufen D und Überschreitungshäufigkeiten entspricht im Wesentlichen dem Vorgehen bei KOSTRA-DWD, wobei die grundlegenden DWA-Publikationen (DVWK-Regel 124/ATV-Arbeitsblatt A121 (1985)) berücksichtigt wurden.

Aus den Kartendarstellungen können die Starkniederschlagshöhen für die Rasterflächen von 71,5 km² in Abhängigkeit von Niederschlagsdauer und Jährlichkeit für beliebige Orte und Gebiete abgelesen werden. Auf eine Korrektur in Form einer sogenannten Flächenabminderung der Niederschlagswerte wird verzichtet. Die Auswertungen enthalten daher Punktaussagen, die auf die Fläche übertragen werden.

- **Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN)**

Unter PEN-LAWA 2005 sind die Ergebnisse des Projektes PEN (Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags), welches vom Institut für Wasserwirtschaft der Leibniz Universität Hannover im Auftrag der LAWA durchgeführt wurde, veröffentlicht. Mit PEN bzw. PEN-LAWA können klassifizierte Extremwerte des Niederschlags für Deutschland ermittelt werden. Die Ergebnisse umfassen die Wiederkehrzeiten von T = 1.000 a und T = 10.000 a und verschiedene Dauerstufen von 6 h bis 72 h. Von dem Institut wird ein Programm zur Verfügung gestellt, das in Aufbau und Handhabung weitgehend identisch mit KOSTRA-DWD 2000 ist. Die klassifizierten Extremwerte des Niederschlags in PEN wurden auf der Basis der Daten von KOSTRA-DWD 2000 ermittelt. Grundlagen und Vorgehensweise sind in dem Schlussbericht des Vorhabens dokumentiert. Das Programm ermöglicht die Ermittlung der

Extremwerte für Ortspunkte, einzelne Rasterfelder oder für Gruppen (Mittelwertbildung über mehrere Rasterfelder).

- **Maximierter Gebietsniederschlag (MGN)**

Der Maximierte Gebietsniederschlag (MGN) ermöglicht eine Vorstellung von den größten Niederschlagswerten, die theoretisch unter den gegebenen klimatischen Bedingungen erreicht werden können. MGN-Werte stellen durch die Maximierung meteorologischer Größen eine Annäherung an die potenziellen maximalen physikalischen/klimatologischen Werte dar, deren Eintrittswahrscheinlichkeit nicht bestimmt werden kann.

Zur Ermittlung des MGN erfolgte zunächst eine Schätzung des maximierten Punktniederschlags (MPN) in Anlehnung an gemessene Niederschlagshöhen von gegebenen Stationen, die mit einem Maximierungsfaktor multipliziert wurden. Der Maximierungsfaktor wird aus maximiertem Wassergehalt und Windeinfluss von gemessenen Ereignissen ermittelt. Anschließend wird der maximierte Gebietsniederschlag unter Anwendung der Niederschlagshöhen-Dauer-Flächenbeziehungen in Abhängigkeit von der Dauer des Ereignisses und der Gebietsgröße aus dem MPN abgeschätzt. Die maximierten Gebietsniederschlagshöhen für Gebiete =< 25 km² entsprechen der regional ausgeglichenen Punktniederschlagshöhe.

Ein Vergleich der Werte mit tatsächlich gemessenen Niederschlagsereignissen zeigt, dass z. B. beim Hochwasser im Einzugsgebiet der Elbe 2002 die Niederschlagssummen örtlich in der Größenordnung der MGN-Werte lagen. Für das deutsche Tiefland können Extremniederschlagsereignisse mit Regensummen bestätigt werden, die bis zu 90 % des MGN erreichen (Schmidt, 1997).

Tabelle 3-1: Regionalisierte maximierte Gebietsniederschlagshöhe (MGN) in Abhängigkeit von der Jahreszeit (Sommer: Juni-August), Dauerstufe 1 h, Gebietsgrößenstufe 25 km². Abschätzung der MGN-Werte für die Fallstudien im URBAS-Projekt (aus: Schmidt, 1997)

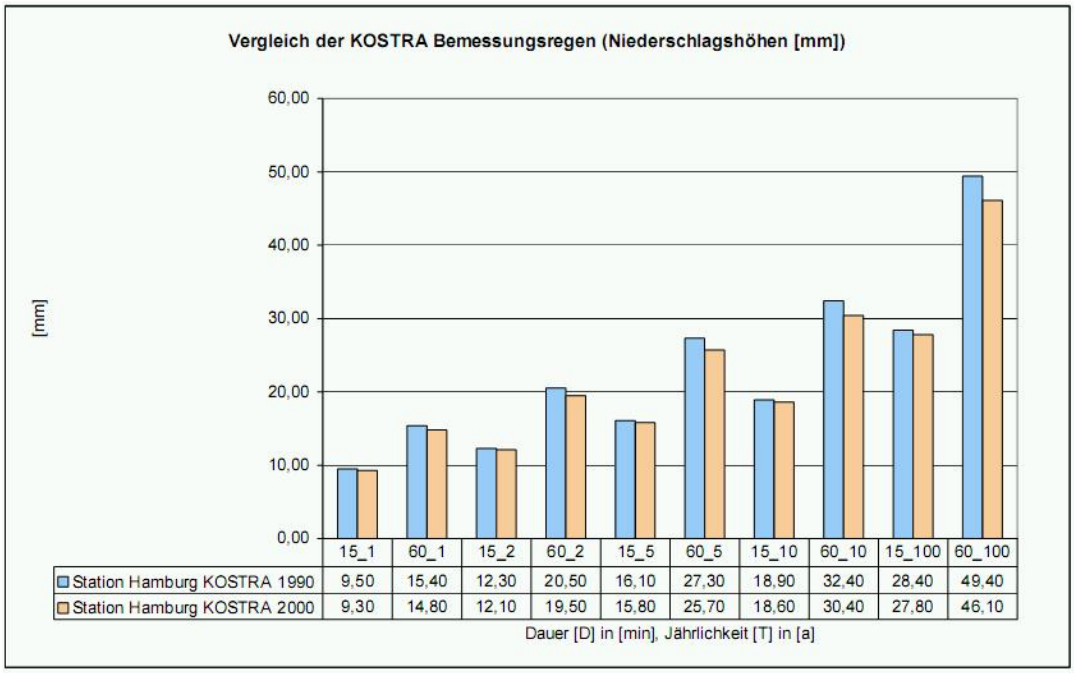
Fallstudie	**Niederschlagsmenge in mm/h/25km², Juni-August**
Aachen	225-250
Berlin	225-250
Braunschweig	225-250
Chemnitz	225-250
Deidesheim	250-275
Hamburg	125-150
Hersbruck	250-275
Landau	250-275
Lohmar	250-275
Lübeck	175-200
Paderborn	250-275
Prüm	250-275
Starnberg	225-250
Zwickau	225-250

Tabelle 3-2: Sommerliche maximierte Gebietsniederschlagshöhen (Gebiete <= 25 km²) für ausgewählte Regionen in Deutschland (nach: Schmidt, 1997)

Ort / Dauerstufe	**0,5h**	**1h**	**2h**	**6h**
Fallstudie Hamburg (Werte gelten für Elbe- und Weser-mündung)	110	135	150	170
Fallstudie Berlin (Werte gelten für Ost-Brandenburg)	175	265	305	315
Fallstudie Starnberg (Werte gelten für Alpenvorland/östliche Bayerische Alpen)	210	250	280	400

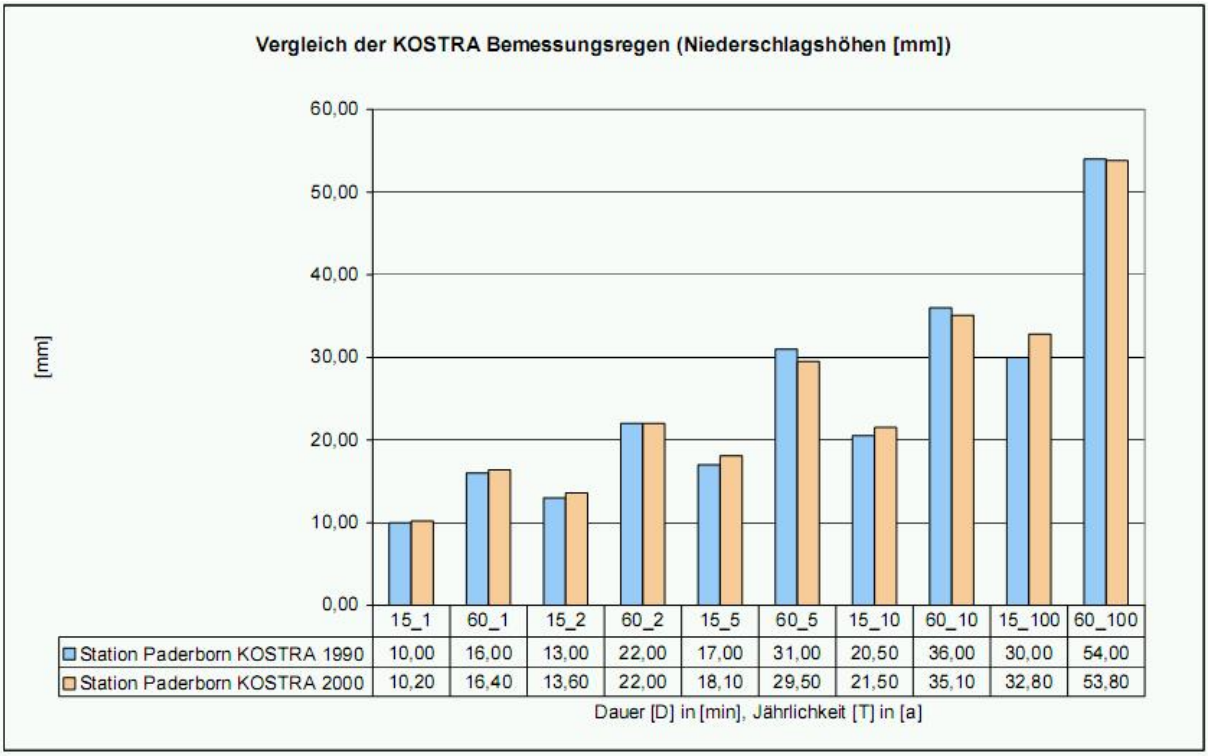
3.4.2 KOSTRA 1990 und KOSTRA-DWD 2000

Im Jahre 1990 wurde der erste KOSTRA-Atlas veröffentlicht, 1997 wurde eine leicht modifizierte Neuauflage herausgegeben. In den darauf folgenden Jahren wurde KOSTRA überarbeitet und um die neuen Bundesländer ergänzt (KOSTRA-DWD 2000). Im Rahmen von URBAS wurden die KOSTRA-Werte der beiden Veröffentlichungen für die Fallstudienkommunen gegenübergestellt und die Unterschiede dokumentiert. Beispiel für diese Auswertungen zeigen die folgenden Abbildungen. Es wird deutlich, dass die neueren Werte teilweise über, z. T. auch deutlich unter den älteren Werten liegen.



Erläuterung
15_1 Niederschlag mit einer Dauer von 15 Minuten und Jährlichkeit 1
Anmerkung Werte KOSTRA 1990 Dargestellte Werte gelten für die jeweilige Station (KOSTRA 1990, Tabellenteil)
Anmekrung Werte KOSTRA 2000 Dargestellte Werte sind Mittelwerte für mehrere KOSTRA-Kacheln

Abbildung 3-2: Unterschiede der KOSTRA-Werte 2000 und 1990 für Hamburg



Erläuterung
15_1 Niederschlag mit einer Dauer von 15 Minuten und Jährlichkeit 1
Anmerkung Werte KOSTRA 1990 Dargestellte Werte gelten für die jeweilige Station (KOSTRA 1990, Tabellenteil)
Anmekrung Werte KOSTRA 2000 Dargestellte Werte sind Mittelwerte für mehrere KOSTRA-Kacheln

Abbildung 3-3: Unterschiede der KOSTRA-Werte 2000 und 1990 für Paderborn

3.4.3 Klassifizierung der Starkniederschlagshöhen

Die Starkniederschlagshöhen sind im KOSTRA-Atlas sehr detailliert in 10 und mehr Klassen dargestellt. Für einen besseren Überblick über die Starkregenintensitäten in Deutschland wurde in URBAS eine Zusammenfassung und Generalisierung der KOSTRA-Werte vorgenommen. Auf diese Weise können Bereiche mit hohen, mäßigen und geringen Intensitäten leichter erkannt und ausgewertet werden.

Tabelle 3-2: Klassengrenzen der Intensitätskarten für die Dauerstufe 15 Minuten in Abhängigkeit von der Jährlichkeit (nach KOSTRA 1997)

Intensität / T	2	5	10	100
Sehr geringe Intensität	<10,5	<14	<16	<22
Geringe Intensität	>10,5-11,5	14-16	16-19	22-28
Mäßige Intensität	>11,5-14	16-18	19-22	28-32
Hohe Intensität	>14-17	18-22	22-26	32-39
Sehr hohe Intensität	>17	>22	>26	>39

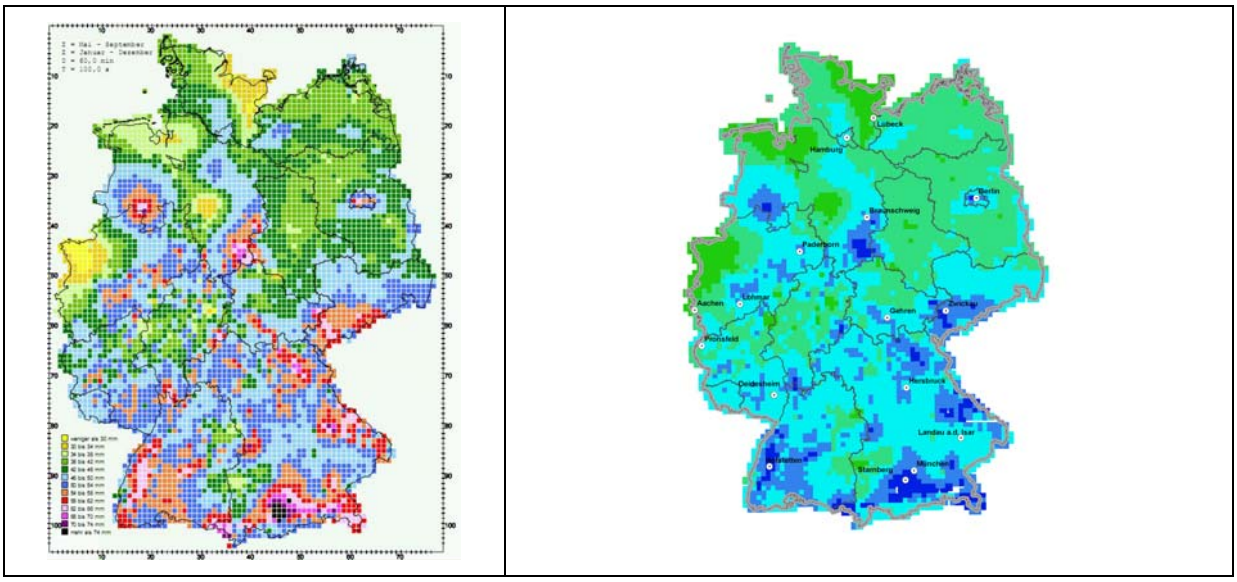


Abbildung 3-4: Beispiel für eine Generalisierung der KOSTRA Karten (links) durch Zusammenfassung der Mengenklassen (rechts)

3.4.4 Bemessungswerte für kommunale Gewässer und Entwässerungssysteme

Eine Zusammenstellung der Bemessungsansätze für Gebäude-, Grundstücks- und Stadtentwässerung ist in Abschnitt C dieser Untersuchung enthalten.

4 Auswertung der Warnmeldungen und der Niederschlagsdaten für die Fallstudien

Die meteorologische Auswertung der Fallstudien beinhaltet zwei zentrale Themen. Zum einen die Arten der erfolgten Warnungen des Deutschen Wetterdienstes und zum anderen die Analyse des aufgetretenen Niederschlags der einzelnen Fallstudien. Die Fallstudien selbst werden im Gesamtbericht Abschnitt B und Abschnitt D detailliert vorgestellt.

4.1 Warnungen bei den erfassten Ereignissen

Im Arbeitsschritt „Warnung“ wurde untersucht, ob und wie vor dem Ereignis gewarnt worden ist. Hierzu werden Datenbestände der DWD-Systeme KONRAD ausgewertet und die Erkenntnisse aus den Interviews, die im Zuge der Datensammlung zu den Fallstudien geführt wurden (siehe Fallstudien im Abschnitt E) herangezogen. In den Datenarchiven von KONRAD können Warnungen bis zum Jahr 2000 zurückverfolgt werden.

Die offiziellen Wetter- und Unwetterwarnungen des DWD lagen ab April 2003 vor. Die Warnungen beziehen sich auf Landkreise und waren in einer kodierten Form verfügbar. Dabei war der Landkreis angegeben und es wurde unterschieden, ob es sich um eine Vorwarnung, Wetterwarnung oder Unwetterwarnung handelt. Für jede Stunde war die kodierte Nummer der Warnung (siehe Tabelle 4-1) angegeben.

Die für das Vorhaben interessierenden Warnungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 4-1: Kodierung der Warnungen des DWD

Starkregen	61	
heftiger Starkregen	62	
Gewitter	91	als elektrische Entladung, auch in Verbindung mit Windböen
Gewitter	92	in Verbindung mit Sturmböen/schweren Sturmböen, Starkregen und/oder Hagel
Schweres Gewitter	93	als Kombiwarnung für Unwetterwarnung

Diese Warnungskodierung wurde in den Fallstudien in eine textliche Beschreibung umgewandelt. Die Grundlagen dazu bilden unter anderem die Schwellenwerte von Starkregen aus Tabelle 2-3.

Des Weiteren wurden für die Fallstudien KONRAD-Daten ausgewertet und ebenfalls überprüft, ob eine Warnung erfolgte.

4.2 Niederschlagsuntersuchungen für die Fallstudien

In diesem Arbeitsschritt wurde das Niederschlagsgeschehen während des Ereignisses untersucht. Die Niederschlagsuntersuchungen für die Fallstudien folgen einem festgelegten Schema. Das Ereignis wurde anhand der Wetterlage, der Ausdehnung und des Verlaufs und hinsichtlich der beobachteten Besonderheiten beschrieben und ausgewertet. Aufzeichnungen der Niederschlagsstationen und Radardaten wurden ausgewertet und zu Tageswerten zusammengefasst.

Dabei kamen neben den „Berliner Wetterkarten“ für die Beschreibung der Witterung, Radardaten für den Niederschlagsverlauf, Bodenmessstationen für die absoluten Niederschlagshöhen, auch offizielle Gutachten zur Anwendung, die teilweise interessante Zusatzinformationen lieferten.

4.2.1 Niederschlagsverlauf

Der Niederschlagsverlauf wurde aus Radarbildern und Radarfilmen abgeleitet, in der Regel unter Verwendung des 5-minütigen PX-Klassenproduktes, das für diesen Zweck eine ausreichend hohe Genauigkeit bis 100 km Entfernung hat und alle fünf Minuten vorliegt. Liegt die Kommune ungünstig zum Radar (außerhalb des 100 km-Kreises), wie beispielsweise Zwickau, so musste das 15-minütige PL-Klassenprodukt verwendet werden, das eine Reichweite bis ca. 230 km aufweist, aber ungenauer ist. Entsprechend ungenauer ist die Beschreibung des Niederschlagverlaufs. Zusätzlich wurden noch quantitative Niederschlagssummenprodukte verwendet, die einen Anhaltspunkt über gefallene Niederschlagsmengen geben.

Falls vorhanden wurden außerdem Gutachten verwendet, die zu manchen Ereignissen vorlagen und in denen teilweise noch weitere Informationsquellen benutzt wurden.

4.2.2 Niederschlagsmengen

Die Niederschlagsmengen aus Radardaten sind nur als Richtwert zu betrachten. Sowohl Stundendaten, als auch Tageswerte im Umkreis der betroffenen Kommune wurden diesbezüglich unter Zuhilfenahme von Bodenmessungen ausgewertet.

4.3 Untersuchungsschwerpunkt Lübeck

Für die Fallstudie Lübeck war die Niederschlagsuntersuchung ein Untersuchungsschwerpunkt. Hierfür wurde in Absprache mit der Kommune ein größerer Untersuchungsumfang festgelegt, als für die Standarduntersuchung. Die Ergebnisse sind in Teil E Fallstudienberichte dieser Untersuchung dokumentiert.

4.4 Ergebnisse der Fallstudienuntersuchungen

Im Arbeitsschritt „Analyse und Bewertung“ wurden die gemessenen Niederschläge mit den vorhergesagten Werten aus den Warnungen verglichen. Weitere Vergleiche zwischen Aufzeichnungen der Niederschlagsschreiber und Radarwerten, Tagesniederschlägen und den KOSTRA-Werten, zwischen maximalen Stundenwerten und KOSTRA-Werten und in Einzelfällen mit RADOLAN-Messungen ermöglichen eine Einordnung und Bewertung der Ereignisse. Weiterhin wurde der Ereignisniederschlag mit Bemessungswerten der Kanalisation verglichen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abschnitt B dieser Untersuchung „Fallstudienanalyse“ in dem Kapitel 4.2 Meteorologische Untersuchungen und Ereignisse zusammengefasst.

4.5 Extremwerte des Niederschlags aus der Ereignisanalyse

Die folgende Tabelle 4-2 vermittelt einen Überblick über Extremwerte in Deutschland gemessener Starkniederschläge in Abhängigkeit von der Ereignisdauer. Die Datengrundlage besteht aus gesammelten Ereignissen der Deutschen Rückversicherung, der Münchener Rückversicherung und Daten des DWD. Die Ereignisse reichen vereinzelt bis 1980 zurück, eine dichtere Grundgesamtheit existiert jedoch ab 1990. Die gemessenen Intensitäten erreichen einen Spitzenwert von 80 mm Niederschlag in 30 Minuten (!), gemessen im Mai 1993 Frankfurt (genaues Datum unbekannt). Das stärkste genau datierbare Starkregenereignis ereignete sich am 11.05.2000 in Trier. Damals wurde eine Niederschlagsintensität von 71 mm in 30 Minuten gemessen. Weitere Spitzenwerte von 50 mm und 45 mm pro jeweils 30 Minuten wurden Anfang August 2002 in Dresden (01.08.) und in Berlin (07.08.) festgestellt.

Tabelle 4-2: Stärkste dokumentierte Starkregenereignisse 1990 – 2005 (Auswertung der Ereignisse der Ereignisdatenbank)

Niederschlagsintensität	Datum, Ort
80 mm / 30 min	Mai 1993, Frankfurt
71 mm / 30 min	11.05.2000, Trier
50 mm / 30 min	01.08.2002, Dresden
48 mm / 30 min	09.05.1990, Eltville
45 mm / 30 min	07.08.2002, Berlin
80 mm / 1 h	30.05.2003, Ort unbekannt
155 mm / 2 h	18.07.1994, Ort unbekannt
58 mm / 45 min	12.07.1999, Pronsfeld
70 mm / h	09.09.2002, Schwaben und Unterfranken
34 mm / 30 Min	06.07.1999, Frankfurt
67 mm / h	08.07.2004, Zinnwald-Georgenfeld
65 mm / < 1 h	01.08.2002, Hamburg Blankenese
75 mm / 84 min	05.07.2003, Bad Waldsee
53,8 mm / h	23.07.2004, Offenbach
49 mm / 1-2 h	07.08.2004, Hasslach
121 mm / 3 h	18.05.1997, Landau
20 mm / 30 min	07.06.1997, München
37,4 mm / h	23.07.2004, Frankfurt
34 mm / h	09.07.2002, München

Niederschlagsintensität	Datum, Ort
33,8 mm / h	10.07.2002, Templin
54 mm / 2 h	05.07.2003, Nürnberg
21 mm / h	23.06.2002, Mittelfranken
20,6 mm / h	23.07.2004, Ingolstadt
55 mm / 3 h	08.05.2003, Lechfeld
12,6 mm / h	23.07.2004, Leipzig

5 Vorkommen und Häufigkeit von Starkregen aus Radardatenauswertungen in Deutschland

5.1 Fragestellungen und Vorgehensweise

Ausgangsfragestellung dieses Untersuchungsabschnitts war die These, dass bestimmte Regionen in Deutschland bevorzugt von Starkregen betroffen sind, d. h., dass Regionen mit einer größeren Starkregengefährdung identifizierbar sind.

Als Grundlage dieser Auswertungen wurden die Radardaten aus KONRAD benutzt, die für den Zeitraum 2000 bis 2007 vorlagen. Mit dieser Untersuchung sollte primär die Eignung der Radardaten für diese Fragestellung untersucht werden und erste, wegen des kurzen Beobachtungszeitraums möglicherweise statistisch noch nicht belastbare Ergebnisse gewonnen werden.

Weiterhin bestand die Fragestellung, ob die Auswertung der Radardaten zu anderen Ergebnissen bezüglich räumlicher Verteilung von Starkregen führt als die vorliegenden Ergebnisse aus KOSTRA-DWD 2000 und, ob daraus Konsequenzen für die Betrachtung von Starkregengefährdungen zu ziehen sind.

Die Auswertung der Radardaten ermöglicht zudem die Identifizierung von Zellzugbahnen. Die beiden letztgenannten Untersuchungen werden in URBAS erstmalig durchgeführt.

Die in URBAS durchgeführten Untersuchungen sollen die Grundlage für die Ableitung von Intensitätskarten für Starkniederschläge als Grundlage für Gefahrenkarten „Starkregen“ bilden.

Es waren folgende Schritte zu bearbeiten:

- Untersuchung der grundsätzlichen Eignung der Radardaten für die Häufigkeitsanalyse
- Analyse und Korrektur von Fehlern in den Radardaten, die das Auswerteergebnis beeinflussen können
- Berechnung der Häufigkeitsverteilung und der Zugbahnen
- Vergleich der Ergebnisse mit den vorliegenden KOSTRA-Auswertungen

5.2 KONRAD-Daten als Datengrundlage der Radardatenauswertung

Die statistische Auswertung von Radardaten war Schwerpunkt dieses Teilprojekts, wobei insbesondere konvektive Ereignisse von Interesse waren. Entsprechend wurde das Zellverfolgungsprogramm KONRAD als „Datenlieferant“ der statistischen Auswertung gewählt. Das Programm unterliegt durch Anwender wie Feuerwehren und Katastrophenschutz einer strengen Kontrolle und wurde bzgl. der benutzten Schwellenwerten seitdem nicht oder nur geringfügig verändert, sodass eine zeitliche Datenhomogenität vorhanden ist.

Es standen KONRAD-VX-Daten von allen 16 DWD-Radarstandorten in Deutschland seit 2000 zur Verfügung, die die Grundlage der Auswertung bildeten. Auf diese Weise soll ein „Gesamtbild“ von konvektiven Niederschlägen in Deutschland entstehen, wobei das Ergebnis wegen Übertragbarkeit / Vergleichbarkeit der KONRAD-Daten von einem Radar zum anderen eher qualitativ als quantitativ ist. Der Fokus lag damit auf Unterschieden der Daten innerhalb eines Radarbildes (d. h. eines Radarstandortes).

Die fünf minütlichen klassifizierten Reflektivitätsprodukte (PX) wurden ebenfalls statistisch ausgewertet – weniger für die Frage des konvektiven Niederschlaggeschehens, sondern als Qualitätsindikator der Radardaten und Grundlage statistischer Korrekturen. Bei den ersten statistischen Auswertungen von KONRAD hat sich gezeigt, dass gewisse Korrekturen wichtig sind, bzw. dass die Datenqualität bekannt sein muss, um die Ergebnisse richtig interpretieren zu können.

5.3 Messeffekte bei der Erfassung von Extremwerten

5.3.1 Problematik und Vorgehen

Bei der Betrachtung von Extremwerten ist es von Bedeutung, ob der Extremwert exakt erfasst wird. In der praktischen Messung tritt durch zeitliche oder räumliche Mittelung eine „Verschmierung“ auf. Z. B. kann die maximale Niederschlagsintensität eines halbstündigen Gewitters durch einen Tagessammler vom Typ „Hellman“ nicht reproduziert werden. Auf räumlicher Ebene soll dieser Effekt im Folgenden anhand konvektiver Modellzellen bei verschiedenen Entfernungen vom Radar untersucht werden.

Dabei werden fünf Entfernungen vom Radar betrachtet: **12,5 km, 25 km, 50 km, 75 km und 100 km**. In **12,5 km** Entfernung vom Radar hat ein Pixel dabei eine Breite von ca. **220 m**.

Tabelle 5-1: Pixelbreite und -volumen in fünf Entfernungen vom Radar

Entfernung [km]	12,5	25	50	75	100
Pixelbreite [km]	0,22	0,44	0,87	1,31	1,75
Volumen [km³]	0,048	0,194	0,774	1,714	3,046

Vier verschiedene geometrische Körper sollen das jeweilige Niederschlaggebiet beschreiben.

Als einfachster geometrischer Körper soll die **Kugel** dienen („Kugel“), sie hat zwar am wenigsten Ähnlichkeit mit einer realen Niederschlagverteilung, dennoch können die Entfernungseffekte damit gut betrachtet werden.

Der **Kegel** gleicht am ehesten einer konvektiven Zelle, mit geringem vertikalem und starkem horizontalem Gradienten. Vier Formen mit unterschiedlicher Maximalausdehnung wurden gewählt: „Kegel-2“ (2 km), „Kegel-3“ (3 km), „Kegel-4“ (4 km), „Kegel-5“ (5 km). Dabei bezieht sich die Längenangabe auf die Linie mit maximaler Reflektivität vom Boden aus. Von dieser Linie aus wird eine gleichmäßige Abnahme nach außen simuliert, wodurch die Form des Kegels entsteht.

Das Ellipsoid als nächsten Körper beschreibt dann ein eher stratiformes Niederschlagsgebiet, mit umgekehrt hohen vertikalen und geringeren horizontalen Gradienten. Auch hier wurden vier Formen mit unterschiedlicher Maximalausdehnung gewählt: „Strati-2“ (2 km), „Strati -3“ (3 km), „Strati -4“ (4 km), „Strati -5“ (5 km). Auch hier bezieht sich die Längenangabe auf eine nun waagrechte Linie maximaler Reflektivität.

Vertikale Schichten („Schicht“) sind die weitere Vereinfachung stratiformer Niederschlagsgebiete zu völliger horizontaler Homogenität.

Die räumliche Niederschlagsverteilung, bzw. die natürliche Abnahme des Niederschlags von einer konvektiven Zelle nach außen wird mithilfe einer Normalverteilung der Reflektivitäten (dBZ) simu-

liert. Dabei wird das Maximum auf 60 dBZ festgelegt. Der Gradient der Reflektivitätsabnahme wird durch Variation von Sigma erreicht, wobei sig = [0,5; 1; 2; 3; 4; 5] ist.

Um eine Aussage treffen zu können, welche Variationen der Messergebnisse sich durch unterschiedliche Range-Bin-Größen bei unterschiedlichen Bedingungen ergeben können, muss ein Modell erstellt werden, in dem die Bedingungen so variiert werden können, dass sie zu nachvollziehbaren Aussagen führen.

Es wurde ein Kubus gewählt mit den Kantenlängen x = 10 km, y = 10 km und z = 12 km. In diesem Kubus liegen etwa mittig die Range-Bins mit den Gesamtkantenlängen x = 9 km, y = 9,5 km und z = 9,5 km. Es ergeben sich demnach für den Range 12,5 km 20736 Range-Bins. Bei 25 km sind es 5184, bei 50 km 1296, bei 75 km 576 und bei 100 km Entfernung noch 324 Range-Bins innerhalb des Kubus.

5.3.2 Übersicht

Die Bilder in Abbildung 5-1 geben eine Übersicht der Niederschlagsverteilungen der jeweiligen Formen des Niederschlagsgebiets bei Sigma=3 und Maximum=60 dBZ. Als Isolinien sind zusätzlich die Grenzen der sechs Reflektivitätsklassen des PX eingezeichnet.

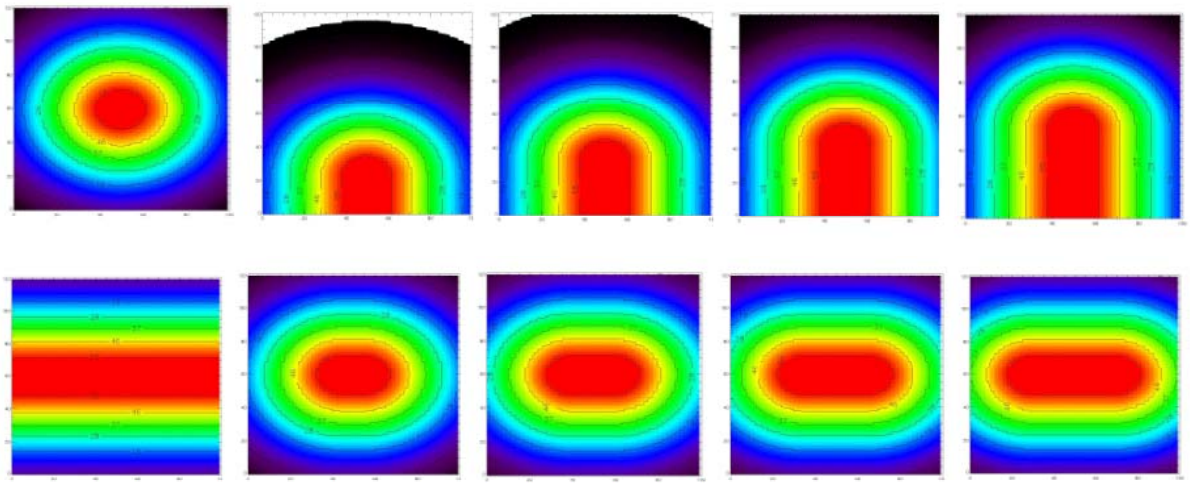


Abbildung 5-1: Räumliche Niederschlagsverteilung unterschiedlicher Formen des Niederschlagsgebiets und gleicher Gradienten

Die folgenden Abbildungen stellen jeweils einen Horizontalschnitt durch das Maximum dar und zeigen für eine Kugel den Niederschlagsverlauf für unterschiedliche Gradienten (Sigma = 1 bis 5).

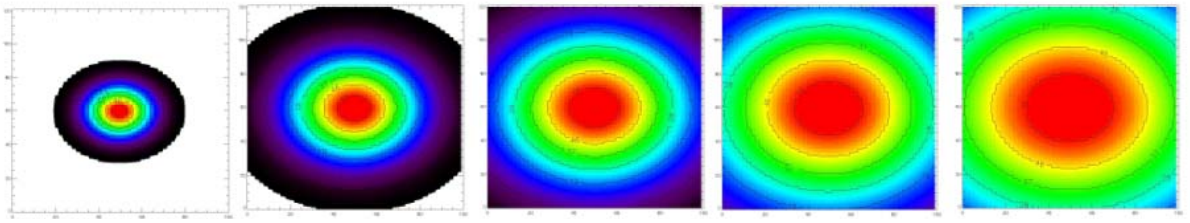


Abbildung 5-2: Horizontalschnitt durch die räumliche Niederschlagsverteilung einer Kugel bei unterschiedlichen Gradienten (ausgedrückt durch Sigma = 1 bis 5)

Abbildung 5-3 zeigt die Belegung der Range-Bins bei gleichem Gradienten (Sigma = 3) und den fünf verschiedenen Entfernungen vom Radar. Die unterschiedlichen Range-Bin-Größen führen optisch zu Differenzen.

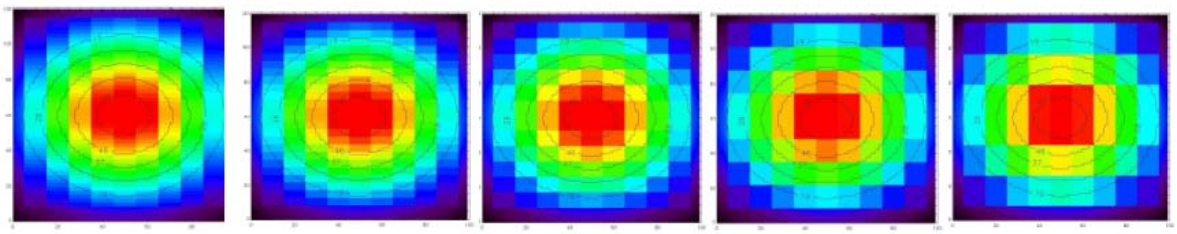


Abbildung 5-3: Horizontalschnitt durch die räumliche Niederschlagsverteilung einer Kugel bei gleichem Gradienten in 12,5 km, 25 km, 50 km, 75 km und 100 km Entfernung vom Radar

Dabei haben die Range-Bins folgende Auflösungen:

- x-Richtung: 1 km (Range)
- y-Richtung: mittlere Strahlbreite bei entsprechendem Range
- z-Richtung: mittlere Strahlbreite bei entsprechendem Range

Diese Abbildungen sollen die zugrunde liegenden Reflektivitätsverteilungen verdeutlichen.

Um statistisch begründetet Aussagen treffen zu können, müsste dieser Range-Bin-Kubus zufällig möglichst oft über die gegebene Reflektivitätsverteilung verschoben werden, um eine mittlere Verteilung der Häufigkeiten jeder Reflektivitätsklasse bei jedem gewählten Range zu erhalten. Da dies aber programmtechnisch aufgrund zu hoher Rechenzeit nicht möglich ist, wurde eine systematische, gleichmäßige Verschiebung der Range-Bins durchgeführt. Dabei erfolgte fünfmal eine sukzessive Verschiebung der Range-Bins um 200 m in x-, y- und z-Richtung, was einem Stichprobenumfang von 125 entspricht.

5.3.3 Stichprobengröße

Die Stichprobengröße ist ein wichtiger Parameter. Sie muss die Grundgesamtheit hinreichend charakterisieren, damit keine Zusatzeffekte durch Wahl einer zu kleinen Größe entstehen.

Eine Kontrolle, ob die Stichprobengröße ausreichend ist, wurde vorgenommen, indem für die Niederschlagsformen „Kugel“ und „Strati-5“ drei unterschiedliche Verschiebungen durchgeführt wurden. Dabei ergab sich grundsätzlich eine Gesamtverschiebung von x, y und z um jeweils 1 km. Der Betrag der Verschiebung-1 war 333 m und erfolgte je dreimal, der Betrag der Verschiebung-2 war 200 m und erfolgte je fünfmal und der Verschiebung-3 mit 100 m zehnmal. Es ergeben sich damit Stichprobenumfänge von 27, 125 und 1000.

Im Vergleich der Ergebnisse zeigen sich zwar Unterschiede in den Klassen, die mit zunehmender Stichprobengröße abnehmen, dennoch ist bei allen Mittelungen ein fast identisches Verhalten mit eben verschieden starker Ausprägung zu beobachten.

5.3.4 Einfluss der Verteilung

Die Wahl der Normalverteilung erscheint zwar sinnvoll, dennoch ist nicht auszuschließen, dass die Verteilung selbst Einfluss auf die Häufigkeitsverteilung der Reflektivitätsklassen nimmt. Um dies auszuschließen, wurde ein Vergleichslauf mit der Niederschlagsform „Kugel“ und einer linearen Abnahme der Reflektivitäten vom Maximum aus durchgeführt. Es wird dabei die Differenz zwischen der Anzahl der Range-Bins pro Reflektivitätsklasse bei 12,5 km und den anderen vier Entfernungen (25 km, 50 km, 75 km und 100 km) in Prozent berechnet.

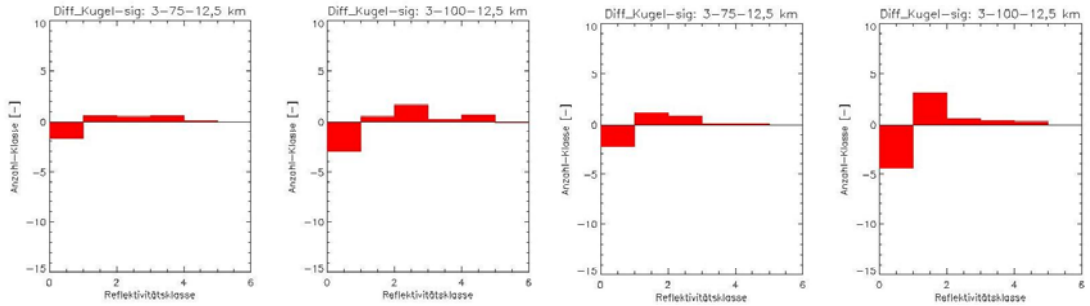


Abbildung 5-4: Prozentuale Differenz der Anzahl der Range-Bins pro Reflektivitätsklasse zwischen den Entfernungen 75 km bzw. 100 km und 12,5 km vom Radar der Niederschlagsform „Kugel“ einer Normalverteilung (links) und einer linearen Verteilung (rechts)

Es gibt zwar kleinere Unterschiede, die auch zu erwarten sind, dennoch bleiben die Tendenzen gleich. Damit ist eine Überlagerung der systematischen Abweichungen der Reflektivitätsverteilungen bei unterschiedlichen Entfernungen vom Radar durch den Einfluss der Normalverteilung zu vernachlässigen.

5.3.5 Vergleich der Niederschlagsformen

Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten und Unterschiede deutlich zu machen, werden die Anzahl der Range-Bins pro Reflektivitätsklasse prozentual berechnet. Außerdem werden die Häufigkeitsverteilungen der Entfernungen 25, 50, 75 und 100 km als Differenz zur Häufigkeitsverteilung der Entfernung 12,5 km als Histogramm dargestellt (vgl. Abbildung 5-5).

Abbildung 5-5 zur Folge treten systematische „Verschiebungen“ der Levelhäufigkeiten auf. Bei der Form „Kugel“ verzeichnet Level 1 mit zunehmender Range-Bin-Größe eine deutliche Abnahme der Häufigkeiten. Die mittleren Reflektivitätsklassen (v.a. 3 und 4) zeigen dagegen eine gleichzeitige Zunahme, während die Häufigkeiten der großen Reflektivitätsklassen fast unverändert bleiben. Dieses Verhalten ist bei allen Niederschlagsverteilungen (Sigma) ähnlich und auch für alle anderen „Niederschlagsformen“ gilt das.

Es zeigt sich eine gewisse Abhängigkeit von Sigma, also vom Gradienten der Reflektivitätsverteilung, die sich bei allen „Formen“ offenbart. Je kleiner der Gradient, desto stärker verschieben sich die Unterschiede der Verteilungen zum größeren Level hin.

Bsp.: Die Form „Strati-5“ verzeichnet bei Sigma = 5 bei den Reflektivitätsklassen 1, 2 und 6 kaum Änderungen. Erst bei Klasse 3 tritt die deutliche Abnahme der Häufigkeiten mit zunehmender Entfernung vom Radar auf. Die Klassen 4 und 5 verbuchen entsprechend eine Zunahme. Bei Sigma = 1 dagegen ist die Abnahme bei Klasse 1 maximal.

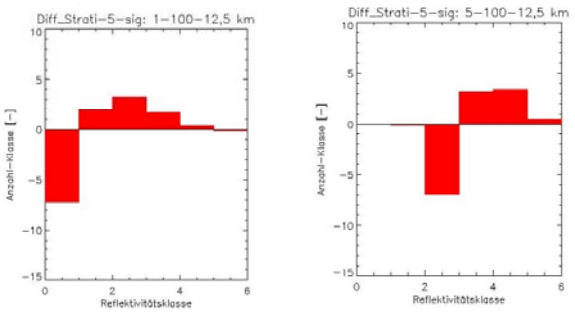


Abbildung 5-5: Prozentuale Abweichung der Range-Bin-Verteilung als Differenz von 100 km und 12,5 km bei Sigma = 1 (links) und Sigma = 5 (rechts)

Die Ähnlichkeit der Abweichungen bei verschiedenem Sigma und die Verschiebung mit zunehmendem Sigma lassen vermuten, dass diese Abweichungen durch die zufällige Lage der Range-Bins in der Verteilung der Reflektivitäten zustande kommen.

5.3.6 Umrechnen auf Gitter

Die Umrechnung auf ein Gitter (nearest-neighbor) hat den Vorteil der besseren Vergleichbarkeit der verschiedenen Abstände vom Radar, da die gleiche Anzahl von Pixel (Gitterelemente) miteinander verglichen wird. Die nearest-neighbor-Methode wurde gewählt, da diese i. d. R. auch bei Radardaten Anwendung findet.

Die Ergebnisse mit Gitter sind vergleichbar mit denen ohne Gitter, nur sind die Schwankungen noch etwas größer, da die Variation des Gitters als zusätzlicher „Freiheitsgrad“ die Verteilung beeinflusst. Da das Gitter „zufällig“ über die Niederschlagsverteilung gelegt wird, ist bei genügend großem Stichprobenumfang auch kein Unterschied zu erwarten.

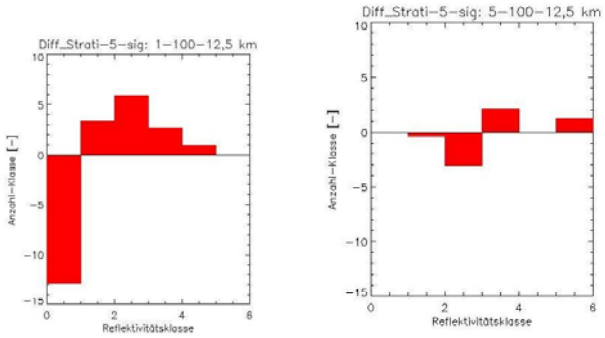


Abbildung 5-6: Prozentuale Abweichung der Range-Bin-Verteilung als Differenz von 100 km und 12,5 km bei Sigma = 1 (links) und Sigma = 5 (rechts) mit Umrechnung auf Gitter

5.3.7 Gittervariation

Bei fester Niederschlagsverteilung und fester Range-Bin-Anordnung wird nun lediglich das Gitter variiert, um dessen Einfluss zu überprüfen. Ein Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der äußeren Range-Bins mit dem bei 12,5 km macht an dieser Stelle keinen Sinn, da bei starrer Range-Bin-Einteilung die Häufigkeitsverteilungen an jedem Range-Bin unterschiedlich sein werden. Ein Vergleich ist demnach nur zwischen der erhaltenen Häufigkeitsverteilung am Gitter und der zugrunde liegenden Häufigkeitsverteilung am jeweiligen Range-Bin sinnvoll. Entsprechend werden wieder Differenz-Histogramme erzeugt.

Für jedes Sigma (Gradient!) ergeben sich kaum Unterschiede mit dem Range. Generelle Abweichungen und die Änderungen mit zunehmendem Sigma sind darauf zurückzuführen, dass der Kubus des Gitters nur 8 x 8 x 8 km beträgt, während die Range-Bins aus einem Kubus von 9 x 9,5 x 9,5 km stammen. Entsprechend werden dadurch insbesondere die kleineren Level betroffen. Deutlich wird das an den nur sehr geringen Unterschieden bei Sigma = 1, dort sind im Außenbereich kaum noch messbare Pixel, während bei Sigma = 5 selbst die dritte Klasse noch stark betroffen, bzw. reduziert ist.

Ein weiteres Indiz, dass die Unterschiede der Verteilungen nicht auf Einfluss des Gitters zurückzuführen sind, ist, dass zwei unterschiedliche Stichprobenumfänge (1000 und 15625) zu gleichen Häufigkeitsverteilungen führen.

5.3.8 Größe des Niederschlagsgebietes

Ein Aspekt, der bislang nicht direkt untersucht wurde, ist die Größe des Niederschlagsgebietes, bzw. die räumliche Erstreckung des Maximums. Ist das Maximum räumlich sehr klein, so ist zu erwarten, dass bei den großen Range-Bins im Außenbereich eine Verschmierung des Maximums erfolgt, demnach also weiter draußen die Spitzenwerte weitgehend fehlen. Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde für die „Kugel“ lediglich die Niederschlagsverteilung Sigma = 2 und Sigma = 1 betrachtet sowie als noch extremeres Beispiel Sigma = 0,5. Beide müssten eine Abnahme der Häufigkeiten der großen Level mit zunehmender Entfernung zeigen – stärker bei Sigma = 0,5 als bei Sigma = 1.

Tabelle 5-2: Anzahl der Range-Bins pro Reflektivitätsklasse (Level) für verschiedene Entfernungen und Sigma-Werte

		Level 1	**Level 2**	**Level 3**	**Level 4**	**Level 5**	**Level 6**
SIG = 2	**12,5 km**	2409184	100420	51328	24108	6640	320
	25 km	601708	25332	13032	6204	1672	52
	50 km	149784	6620	3456	1680	452	8
	75 km	66180	3092	1680	836	212	**0**
	100 km	36968	1900	836	688	108	**0**
SIG = 1	**12,5 km**	2005956	6792	2456	736	184	4
	25 km	504904	1700	696	212	48	**0**
	50 km	129460	560	192	56	16	**0**
	75 km	59848	344	124	40	4	**0**
	100 km	34852	268	100	28	**0**	**0**
SIG = 0,5	**12,5 km**	221100	156	76	20	4	**0**
	25 km	57324	64	12	16	**0**	**0**
	50 km	16412	24	12	4	**0**	**0**
	75 km	8508	12	16	**0**	**0**	**0**
	100 km	5760	12	4	**0**	**0**	**0**

In der prozentualen Verteilung der Häufigkeiten auf verschiedene Entfernungen vom Radar waren keine Unterschiede bzgl. der Anzahl der großen Level auszumachen, da die Anzahl dort im Vergleich zu den anderen Leveln sehr klein ist. Absolut sind jedoch Unterschiede erkennbar. Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist bereits bei Sigma = 2 bei 75 und 100 km die Klasse Level 6 nicht mehr besetzt. Deutlicher wird das noch bei Sigma = 1 und Sigma = 0,5. Dort wird die Klasse 6 gar nicht mehr erreicht, in 100 km Entfernung nicht einmal mehr die Klasse vier. Hier wird der Effekt der „Verschmierung von Maxima“ deutlich. Auswirkungen hat dieser Effekt nicht nur bei rein konvektivem Wettergeschehen, sondern überall, wo es sehr kleinräumig zu starken Gradienten kommt, also insbesondere bei Schauerlagen mit kleinen Schauerzellen. Dieser Effekt führt zu einer deutlichen Reduzierung von Häufigkeiten höherer Level im Außenbereich.

5.3.9 Zusammenfassung

Die Untersuchung zeigt, dass eine Abhängigkeit der Häufigkeitsverteilungen der sechs Reflektivitätslevels von der Niederschlagsform bzw. der Gradienten und von der Entfernung vom Radar (Range-Bin-Größe) vorhanden. Generell kommt es zu einer Abnahme der kleinen Level mit Entfernung vom Radar; entsprechend nehmen die Häufigkeiten der mittleren Level zu, während die großen fast unverändert bleiben. Interessant war der quantitative Einfluss auf die Erfassung der Extrema. Diese Verteilung ist natürlich abhängig vom Maximum.

Je kleiner der Gradient der Reflektivitätsabnahme vom Maximum aus, desto stärker verschiebt sich die Verteilung der Häufigkeiten zu größeren Leveln hin.

Ein Einfluss eines Gitter (Umrechnung auf kartesisches System) konnte nicht festgestellt werden.

Die „Verschmierung“ von räumlich eng begrenzten Maxima mit großen Reflektivitätsgradienten kann zu einer deutlichen Reduzierung der Häufigkeiten hoher Level im Außenbereich führen.

5.4 Grundlagen statistischer Korrekturen

5.4.1 Problembeschreibung

Eines der Hauptprobleme der statistischen Auswertung von Radardaten ist die Frage nach der Vergleichbarkeit bzw. Qualität der zugrunde liegenden Rohdaten. Viele Einflussfaktoren sind bekannt, inwieweit bzw. wie stark sie jedoch Auswirkungen auf die statistischen Ergebnisse haben, soll so weit wie möglich quantifiziert werden.

Eine Korrektur bzw. Interpolation der Einzelbilder ist nur sehr begrenzt möglich. Es sollen gerade räumliche Unterschiede untersucht werden, außerdem handelt es sich in diesem Fall um sehr kleine inhomogene Gebilde – nämlich konvektive Zellen.

Ist eine genügend große Grundgesamtheit an Radarbildern vorhanden, sollte zumindest bei den niedrigen Leveln eine relative Gleichverteilung vorliegen. In diesen Fällen liegt leichter und mäßiger Niederschlag vor, der zwar in Staulagen regionale Unterschiede hervorrufen kann, aber im Mittel doch eher homogen verteilt sein wird.

Wird in erster Näherung **Clutter außer Acht gelassen**, so ändert sich die Flächenbelegung nur in Abhängigkeit der Strahlhöhe.

Unklar ist, inwieweit die Ergebnisse für einen Level auf den anderen übertragbar sind. Stratiforme Gebiete sind vertikal oft sehr variabel. Gerade das Bright Band beeinflusst massiv die „Flächeninformation“. Die Höhenerstreckung ist ebenfalls begrenzt. Im Gegensatz dazu sind konvektive Zellen vertikal recht homogen, es findet zwar eine Abnahme mit der Höhe statt, die aber nicht vergleichbar mit stratiformen Gebilden ist. Nachteil ist jedoch, dass ihre Häufigkeit zu gering ist, um auf deren Grundlage eine flächenhafte Korrektur z. B. abgeschatteter Bereiche durchzuführen.

Wie aus den bisherigen Auswertungen auch ersichtlich ist, ist die Abnahme der Häufigkeit zu den Rändern des Radarbilds aufgrund von Schneeeinfluss im Winter merklich größer – auch dieser Aspekt muss in einer Auswertung berücksichtigt werden.

Konzentriert man sich nun **nur auf Clutter**, so tritt dieser bei den statistischen Auswertungen besonders hervor. Es ergeben sich jedoch selten Bereiche, wo gar nichts zu sehen ist, sondern eher Gebiete, die abgeschwächt oder verstärkt im Vergleich zu ihrer Umgebung sind.

Gerade hier ist es interessant, wie sich der betroffene Bereich bei unterschiedlichen Leveln verhält. Wird durch Abschattung lediglich die Reflektivitätsstärke erniedrigt und fallen die Werte nun in andere Klassen, oder sind sie für jeden Level gleich reduziert?

Eine Korrektur sollte in diesem Fall nur flächenhaft durchgeführt werden und nicht auf Einzelpixel beruhen, um zumindest hier eine gewisse räumliche Variabilität zu erlauben.

5.4.2 Vorgehensweise bei der Datenanalyse

Eine Analyse der auftretenden Störungen in Radardaten wird anhand des Klassenprodukts PX vorgenommen. Grund für diese Auswahl ist die Tatsache, dass dieses Produkt die Grundlage für KONRAD darstellt und für den gesamten Zeitraum von 7 Jahren für alle Geräte vorhanden ist.

Die Annahme, auf der die Analyse und die späteren Korrekturen basieren, ist eine Gleichverteilung der Häufigkeiten der Reflektivitätsklassen über das gesamte Radarbild - zumindest bei leichtem und mäßigem Niederschlag. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass abrupte Häufigkeitsänderungen in der Fläche auf Störungen hindeuten.

Als erste Übersicht dient eine Darstellung der Auftretenshäufigkeiten jedes einzelnen Reflektivitätslevels (s. Abbildung 5-7). Da das Radar München bekannterweise durch seine Lage unterschiedlichen Arten von Störungen ausgesetzt ist, wird die weitere Analyse anhand aller PX-Daten des Radars München 2000-2006 durchgeführt.

5.4.3 Zeitliche und räumliche Analyse der Radarbilder

Die Bilder der Abbildung 5-7 zeigen grundsätzlich ähnliche Strukturen: eine weitgehende Gleichverteilung, die bei größeren Entfernungen allmählich mit höheren Reflektivitäten auch geringere Auftretenszahlen aufweist. Reflektivitätslevel 5 und 6 treten dabei jedoch erwartungsgemäß so selten auf, dass eine flächenhafte Analyse nicht möglich ist.

Für einen ersten Überblick wird das mittlere Verhalten der Auftretenshäufigkeiten aller Reflektivitätslevel in Abhängigkeit vom Abstand vom Radar vergleichend dargestellt. Der Median der Auftretenshäufigkeiten jedes Reflektivitätslevels wird als Vergleichsgrundlage gewählt. Dabei werden alle Pixel, also auch eventuell verfälschte Bereiche, benutzt. Durch die Wahl des Medians soll dabei das generelle Verhalten widergespiegelt werden.

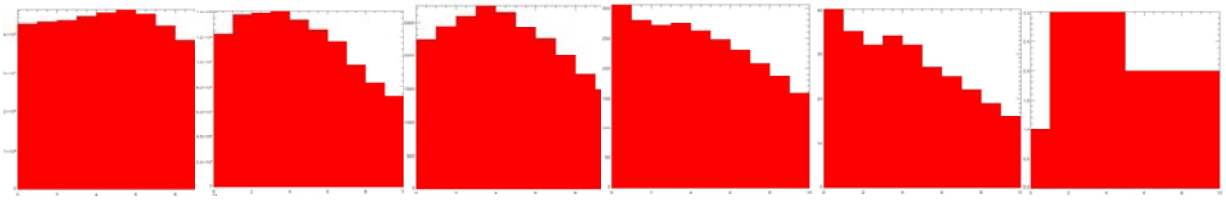


Abbildung 5-7: Übersicht der Auftretenshäufigkeiten der jeweiligen Level getrennt nach 10 Entfernungsklassen (je 10 km)

Erwartungsgemäß nehmen die Auftretenshäufigkeiten mit zunehmendem Reflektivitätslevel ab. Der Innenbereich mit offensichtlichen Störungen bis ca. 40 km muss mit Vorsicht betrachtet werden. Generell zeigt sich jedoch eine deutliche Abnahme der Häufigkeiten mit Abstand vom Radar für alle Reflektivitätslevel. Inwieweit eine Abhängigkeit der Höhe der Abnahme vom Reflektivitätslevel existiert, kann hier nicht geklärt werden, wird jedoch an einer anderen Stelle analysiert.

Um generelle Abhängigkeiten im zeitlichen Verlauf zu untersuchen, wird das vollständige Radarbild pro Reflektivitätslevel betrachtet. Dazu werden zwei Arten von Histogrammen erstellt, die den prozentualen Anteil der Auftretenshäufigkeiten von Pixel in Abhängigkeit von a) 10 Entfernungsklassen vom Radar und von b) 360 Azimuthwinkeln zeigen. Dabei werden eine jahreszeitliche Trennung der Daten in Monaten und eine tageszeitliche Trennung in 3-Stunden-Intervalle durchgeführt. Dabei wird Level 1 von den violetten Balken, Level 2 von den hellblauen, Level 3 von den grünen, Level 4 von den orangen und Level 5 von den roten repräsentiert.

Jahreszeitlich zeigen sich deutliche Änderungen der Verhältnisse, insbesondere in Abhängigkeit von der Entfernung vom Radar. Im Winter tritt im Innenbereich ein deutlich höherer Anteil von größeren Reflektivitätsleveln als im Außenbereich auf. Diese Unterschiede nehmen im Frühjahr ab, sind im

Sommer kaum vorhanden, ehe sie im Herbst langsam wieder zunehmen. Azimuthal betrachtet ergibt sich ein ähnliches Bild, wobei vor allem sektorenweise gestörte Daten auffallen. Eine genaue Analyse der Störungen schließt sich im nächsten Kapitel an.

Tageszeitlich getrennt können keine klaren Variationen mit der Zeit ausgemacht werden. Kleinere Verhältnisunterschiede in Range-Darstellung sind kein Indiz für Unterschiede. Der Verlauf der Abnahme der Anteile von großen Reflektivitätslevels mit dem Abstand vom Radar ist tageszeitlich gleich. Azimuthal zeigt sich für alle Zeitintervalle ein fast identisches Bild.

Aus den ersten Analysen kann gefolgert werden, dass die Auftretenshäufigkeit von Reflektivitätslevels nicht von der Tages-, jedoch sehr stark von der Jahreszeit abhängt. Dass eine Abhängigkeit vom Reflektivitätslevel vorliegt, wird zwar vermutet, konnte hier jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

5.4.4 Qualitative Regionalisierung der Radarbilder

Die bisher betrachteten Histogramme beziehen sich auf das gesamte Radarbild. Rein optisch sind jedoch verschiedene Bereiche (gestört und ungestört) auszumachen (Abbildung 5-8). Für die weitere Analyse wird das Radarbild des Radar Münchens in verschiedene Bereiche ähnlicher Struktur und Eigenschaften unterteilt.

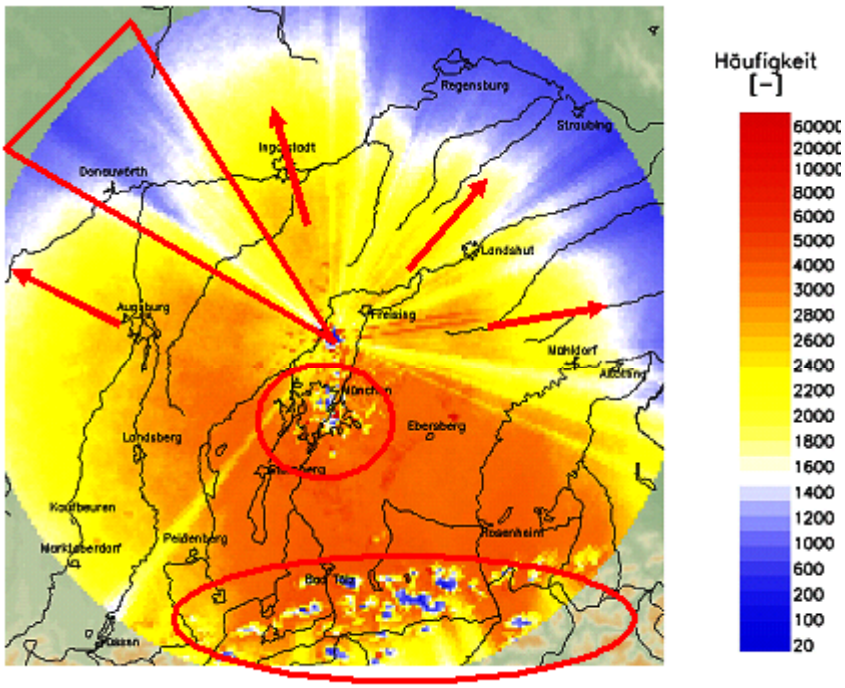


Abbildung 5-8: Auftretenshäufigkeit von Level 3 mit Ausweisung gestörter Bereiche

Es zeigen sich vier Bereiche von Störungen, die jeweils untersucht werden müssen.

- Bereich 1 ist der Innenbereich München. Er ist nur bei leichtem Niederschlag sichtbar.
- Bereich 2 sind die Berge im südlichen Bereich. Diese machen sich unterschiedlich stark bemerkbar, sind aber in allen Level vorhanden.
- Bereich 3 sind Speichen. Sie entstehen durch Hindernisse im Nahbereich; dahinter kommt es zu Abschattungen.
- Bereich 4 ist der gesamte Außenbereich. Infolge von größeren Strahlvolumina und -höhen treten im Außenbereich geringere Häufigkeiten auf.

5.4.4.1 Abgrenzung der einzelnen Bereiche

Sowohl der gestörte Innenbereich Münchens als auch die Berge im Süden werden durch Häufigkeitsvergleich aller Einzelpixel mit dem Median der Häufigkeiten aller ungestörter Pixel abgegrenzt. Dabei gelten die Pixel als gestört, die mindestens 30 % vom Median abweichen. Für alle Reflektivitätslevel werden dann die gleichen Pixel für die weiteren Analysen gewählt.

Die Speichen werden visuell abgegrenzt und die entsprechenden Pixel bestimmt. Es ergeben sich 10 Speichen.

Für den vierten Bereich werden alle ungestörten Pixel verwendet. Da für den Precipscan, aus dem das PX-Produkt abgeleitet wird, am Standort München ein sogenannter Flatterscan benutzt wird, dessen Abstrahlwinkel zwischen 0,8 und 2,1° variiert, werden innerhalb der ungestörten Pixel 7 Bereiche definiert, die einen jeweils vergleichbaren Abstrahlwinkel besitzen.

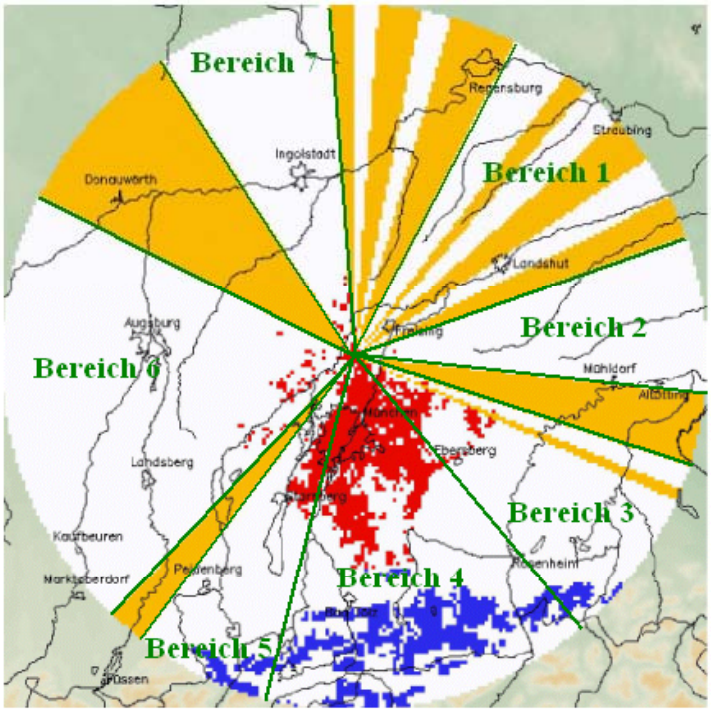


Abbildung 5-9: Clutter von Innenbereich (rot), Bergen (blau) Speichen (gelb) und ungestörten Bereichen im Radar München

Zur Detailanalyse der ungestörten und gestörten Bereiche werden zwei verschiedene Arten von Abbildungen benutzt. Zum einen Histogramme, um mittlere systematische Unterschiede aufzuzeigen, und zum anderen horizontale Projektionen von Radardaten (Radarbilder) zur örtlichen Manifestierung dieser Unterschiede.

Histogramme werden für jeden Bereich und jede Speiche separat erstellt, sowohl als Darstellung in Abhängigkeit von der Entfernung vom Radar als auch in Abhängigkeit der Höhe der jeweiligen Pixel. Dabei werden die Abhängigkeiten von **Reflektivitätslevel, Jahres-** und **Tageszeit** untersucht.

5.4.4.2 Ungestörte Bereiche

Die Analyse der ungestörten Bereiche soll zum einen systematische Abhängigkeiten der Auftretenshäufigkeiten mit der Entfernung vom Radar zu identifizieren und zum anderen als Datengrundlage der statistischen Korrektur dienen. Dazu werden ungestörte Bereiche mit vergleichbarem Abstrahlwinkel definiert und analysiert. Zwei Darstellungsformen zeigen die Analysen grafisch. Die Histogramme zeigen Werteverteilungen der Häufigkeiten, die Radarbilder die räumliche Verteilung.

5.4.5 Histogramme

5.4.5.1 Reflektivitätsklassen

Das Verhalten der einzelnen Bereiche bei unterschiedlichem Reflektivitätslevel ist sehr ähnlich. Bereich 1 und 7 weichen dabei etwas vom Verlauf der anderen Bereiche ab, welche eine klare Abnahme von Auftretenshäufigkeiten mit der Entfernung vom Radar zeigen.

Reflektivitätslevel 1 unterscheidet sich von den anderen Leveln durch eine nur geringe Abnahme der Häufigkeiten mit der Entfernung. Level 2-4 sind dagegen fast identisch, was eine Verallgemeinerung für alle Level zulassen könnte. Im weiteren Verlauf der Analysen, also auch bei der zeitlichen Diskretisierung, zeigte sich deutlich, dass das Verhalten der Level 2 bis 4 sehr ähnlich war, während bei Level 1 Unterschiede auftraten.

5.4.5.2 Monat

Für die Monate Januar und Februar zeigt sich eine extreme Abnahme der Häufigkeiten mit der Entfernung vom Radar, bis nahezu auf 0 zurück. Im März und April wird der Verlauf ungenauer, es ist zwar noch eine generelle Abnahme mit dem Range zu erkennen, bis 30 km ist aber eher eine Zunahme zu verzeichnen, was typisch für eine Bright Band Struktur wäre. Auch im Mai kommt es zu einer nunmehr geringen Abnahme mit dem Range. Von Juni bis August gibt es keinerlei Abnahme der Häufigkeiten mit dem Range. Erst im Herbst dreht sich das Verhalten wieder um und eine sich verstärkende Abnahme der Häufigkeiten mit dem Range wird sichtbar. Dabei verhalten sich September und Oktober ähnlich wie April und Mai, während November und Dezember eher Februar und Januar gleichen. Außerdem kann festgestellt werden, dass die Abnahme nach außen mit zunehmendem Reflektivitätslevel größer wird. Level 1 zeigt einen sehr ähnlichen jahreszeitlichen Verlauf, nur unterscheiden sich die absoluten Abweichungen mit dem Range oder der Höhe von denen der anderen Level.

5.4.5.3 3-h-Intervalle

Hinsichtlich der Tageszeit können für keinen Reflektivitätslevel merkliche Unterschiede im Verlauf der Auftretenshäufigkeiten mit dem Range festgestellt werden. Nur die allgemeine Abnahme der Häufigkeiten mit dem Range konnte bestätigt werden.

5.4.5.4 Fazit-Histogramme

Level 1 unterscheidet sich von den anderen Leveln. Level 2-4 sind fast gleich. Level 2 hat dabei die stärksten Abweichungen zu 1. Bei Level 4 verliert der homogene Verlauf teilweise an Deutlichkeit.

Bei den Bereichen fallen die Bereiche 1 und v. a. 7 etwas heraus, die anderen stimmen nach Höhenlage recht gut überein.

Die Analyse nach Uhrzeit zeigte keine Unterschiede. Dagegen ergaben sich enorme Unterschiede mit der Jahreszeit. Im Winter ist die Abweichung mit wachsender Entfernung vom Radar sehr stark. Im Sommer geht diese Abweichung auf null zurück, dreht sich um oder hat das Maximum in der Mitte. Je höher der Level desto stärker ist die Abweichung.

Der Verlauf der Histogramme ist teilweise in der Flächendarstellung nachzuvollziehen. So wird nicht eliminierter Innenbereichsclutter bei Level 1 sowohl bei Bereich 7 als auch 1 deutlich und verschwindet zu höheren Leveln hin.

5.4.6 „Radarbilder“

Neben den Histogrammen wurden auch die wirklichen Flächenhäufigkeiten grafisch dargestellt. Dabei wurde die klassische Range-Darstellung sowie eine auf die niedrigsten Abstrahlwinkel reduzierte Darstellung gewählt. Letztere soll den Einfluss des Abstrahlwinkels zeigen. Dazu wurden mithilfe der klassischen Polardarstellung den Range-Bins die Originalpixel zugewiesen, gleichzeitig die Range-

Bins mit den Pixeln der reduzierten Höhe verschnitten und dadurch festgestellt, welches Pixel der Originaldarstellung entspricht und welches der höhenreduzierten Darstellung (nearest-neighbor). Es wurde eine Unterscheidung nach Monaten vorgenommen. Für die Untersuchung der Jahreszeit wurden für die Level 2-4 jeweils nur die Monate JAN-APR-JUL-OKT betrachtet.

Die Clutter der Berge und im Innenbereich nehmen ab mit der Levelerhöhung. Generell ist Level 4 nur mäßig belegt. Im Juli ist die Belegung der höheren Level am größten, der niedrigen jedoch am geringsten; Frühjahr und Herbst sind ähnlich.

Der Januar zeigt eine deutliche Intensivierung der Abnahme der Häufigkeit mit zunehmendem Level. Der April hat ähnliche Tendenzen, ist aber bei weitem nicht so ausgeprägt. Der Oktober zeigt zwar ebenfalls diese Tendenz allerdings noch weniger ausgeprägt, wohingegen der Juli nichts dergleichen zeigt.

5.4.6.1 Monatliche Häufigkeiten – gleiche Höhe des Radarstrahls

Die Abnahme nach außen wird geringer, was aufgrund der geringeren Vertikalerstreckung auch zu erwarten war. Die Unterschiede zwischen den Sektoren nehmen ebenfalls ab – ein kleiner Unterschied zwischen Nord und Süd bleibt jedoch bestehen. Wiederum ist im Sommer die höchste Homogenität zu sehen. Auch in den anderen Monaten ist die Abnahme nach außen so gering, dass sie fast vernachlässigt werden könnte. Hier wird deutlich, dass die Höhenerstreckung über 2 km sehr viel seltener mit Niederschlag belegt ist.

Auch für die höheren Level gibt es ein ähnliches Verhalten: die Sektorenunterschiede nehmen ab, genauso wie die Abweichung mit der Entfernung. April zeigt wohl ein deutliches Bright Band, das jetzt noch deutlicher sichtbar wird. Die Verstärkung der Abnahme der Häufigkeit mit der Entfernung wird ebenfalls geringer, bleibt aber vorhanden. Auch der Nord-Süd-Unterschied bleibt.

Insgesamt wird deutlich, dass die Höhe des Strahls einen deutlichen Einfluss hat, im Winter erheblich stärker als im Sommer. Eine bislang schwierig zu interpretierende Eigenschaft ist die Verstärkung der Abnahme der Häufigkeiten nach außen mit zunehmendem Level. Ein Grund, der das Verhalten erklärt, ist die Vertikalerstreckung von Niederschlägen (Volumenfüllung), wobei gerade die stärkeren Reflektivitäten höhere Erstreckungen haben sollten und entsprechend der Unterschied nach außen weniger stark sein sollte. Generell gibt es natürlich auch eine Abnahme der Reflektivität mit der Höhe, was ebenfalls niedrigere Häufigkeiten bedingt. Geringere Reflektivitäten im Schnee (weiter oben) kommen noch hinzu.

5.4.6.2 Gestörte Bereiche

Zur Charakterisierung der gestörten Bereiche werden Histogramme benutzt, die die Abweichung der einzelnen Pixel des gestörten Bereichs vom Median darstellen (Differenzhistogramme). Sie geben Auskunft darüber, ob dort ein ähnliches Verhalten wie im ungestörten Bereich zu verzeichnen ist.

- *Speichen*

Vergleiche haben gezeigt, dass die Verteilung für verschiedene Reflektivitätslevel eine konstante Breite behält. Level 1 zeigt dabei die geringste Abweichung vom Median, während die Verteilungen der Level 2 bis 4 fast identisch sind. Die Speichen verhalten sich sehr ähnlich wie die ungestörten Bereiche, bei leicht reduzierten Häufigkeiten. Es handelt sich bei diesen Leveln also um gleichmäßig reduzierte Werte mit sonst ähnlichen Eigenschaften wie die ungestörten Bereiche.

Jahreszeitlich erhält man von Mai bis September ein ähnliches Bild. Zum Winter hin verschiebt sich die Verteilung jedoch zu größeren negativen Abweichungen hin, wobei gerade dann auch die Belegung der Pixel nach außen hin abnimmt. Hinzu kommt, dass die meisten Speichen sich in dem Radarbereich befinden, der den höchsten Abstrahlwinkel aufweist, was zusätzlich noch zu einer weiteren Reduzierung der Werte führt.

Fazit: Level 2 bis 4 sind fast identisch und verhalten sich ähnlich wie die ungestörten Bereiche. Im Winter kommt es dagegen unabhängig vom Level zu größeren Abweichungen.

- *Berge*

Die Bergclutter prägen sich besonders bei Level 1 aus. Es kommt durch die automatische Clutterfilterung in der Vorverarbeitung des DWD aber auch zu vielen unplausibel reduzierten Werten. Daneben gibt es Pixel mit Restclutter, die sich durch erhöhte Werte auszeichnen. Die bimodale Verteilung von Level 1 wird zu einer unimodalen Verteilung mit Maximum beim Median. Mit zunehmendem Reflektivitätslevel nimmt der Einfluss der Berge immer mehr ab. Ein Rest bleibt jedoch vorhanden, was die doch recht breite Verteilung anzeigt. Auch hier tritt im Winter eine Verschiebung der Verteilung hin zu größeren Unterschätzungen auf.

Fazit: Mit zunehmendem Level wird der Einfluss der Berge geringer. Es ist jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen Sommer und Winter sichtbar. Im Sommer ist der Einfluss der Berge sehr klein, im Winter, v. a. im Januar dagegen ist unabhängig vom Level die Abweichung am größten. Zusätzlich ist anzumerken, dass sich die Berge meist in größerer Entfernung vom Radar und damit auch in größeren Höhen befinden, wo eine deutlich stärkere Auswirkung im Winter durch Schneeeinfluss zu erkennen ist.

- *Innenbereichsclutter*

Die Auswirkungen des Innenbereichsclutters sind sehr deutlich bei Level 1 sichtbar. Fast überall sind die Häufigkeiten aufgrund von Clutterkorrektur deutlich reduziert. Mit zunehmendem Level reduziert sich der Einfluss der Bodenechos (Clutter), was sich in der abnehmenden linken Flanke der Verteilung verdeutlicht. Die Verschiebung der Verteilung zu positiven Abweichungen hin kann dadurch erklärt werden, dass der Median aus dem Radargesamtbereich abgeleitet wird, wohingegen der Innenbereichsclutter nur im Innenbereich auftritt, wo grundsätzlich größere Häufigkeiten vorhanden sind als im Außenbereich.

Die jahreszeitliche Analyse stützt diese Vermutung: im Winter gibt es eine sehr starke Verschiebung der Verteilungen zu positiven Werten hin bei gleichzeitiger starker Abnahme der Häufigkeiten nach außen. Im Sommer ist dagegen keinerlei Verschiebung vorhanden, da es auch keine merkliche Änderung der Häufigkeiten nach außen gibt. Ansonsten ist ein jahreszeitlicher Einfluss beim Innenbereichsclutter eher gering.

Fazit: Auswirkungen des Innenbereichsclutters sind nur stark bei Reflektivitätsklasse 1 sichtbar, bei Reflektivitätsklasse 2 geringfügig. Bei Reflektivitäten, die für KONRAD interessant sind, ist der Einfluss vernachlässigbar.

5.4.7 Erklärungen für unterschiedlich starke Auswirkungen von Störungen

Zu Problemen bei der Messung kann es kommen, wenn nicht nur meteorologische Echos, sondern auch beispielsweise Festziele im Radarstrahl liegen. In der Signalverarbeitung gibt es dafür eine Clutterkorrektur. Bei kleinen Werten entsteht „Clutter“, weil der Anteil des Festziels am Gesamtwert sehr hoch ist. Bei höherem Niederschlagsanteil dagegen wird der Clutteranteil vernachlässigbar gering. Voraussetzung ist jedoch, dass das Volumen nur zum Teil mit Clutter gefüllt ist. Die Theorie stimmt natürlich nicht mehr, wenn ein Objekt große Teile des Strahlvolumens abschattet, der Anteil des Clutters bei 60-70 dBZ liegt und der Niederschlagsanteil keine Auswirkungen mehr haben kann, wie z. B. bei der Zugspitze.

Entsprechend werden auch die Pixel im Strahl hinter einem Festziel in Mitleidenschaft gezogen, dies kann soweit gehen, dass das Radar hinter einem Hindernis „blind“ ist. Resultat einer sogenannten Abschattung sind dann mehr oder weniger ausgeprägte Speichen.

- *Innenbereich*

Für den Innenbereich München bedeutet das, dass bei der Auswertung von schwachem Niederschlag dieser Clutter unbedingt berücksichtigt werden muss, für stärkere Niederschläge, wie sie für KONRAD interessant sind, dagegen vernachlässigbar ist.

- *Berge*

Die Berge entsprechen klassischem Clutter an Festzielen. Die Clutterstärke ist unterschiedlich groß, sodass teilweise selbst Starkniederschläge keinerlei Einflüsse haben und der Wert als Clutter eingestuft wird. Da sich die Berge in mindestens 60 km Entfernung vom Radar befinden, ist neben der Reflektivität des Niederschlags auch die Strahlausbreitung des Radars von Bedeutung, da sie den Clutteranteil des Festziels bestimmt.

- *Speichen*

Speichen sind sowohl von der räumlichen Ausdehnung des Hindernisses, wodurch sie entstehen abhängig, als auch von der Höhenerstreckung des Niederschlags und damit von der Volumenausfüllung.

- *Höhenabhängigkeit*

Es zeigt sich bei allen Auswertungen eine Abnahme der Auftretenshäufigkeiten mit der Messhöhe. Durch Abstrahlwinkel und Erdkrümmung erfolgt die Messung in größerer Entfernung des Radars in deutlich höheren Schichten, woraus zwangsläufig geringere Reflektivitätswerte im Außenbereich folgen. Zusätzlich ergibt sich jedoch eine Verstärkung dieses Effektes mit zunehmenden Reflektivitätslevels. Dieser Sachverhalt wird im Kapitel 5.3 Messeffekt untersucht.

- *Folgerungen für Korrekturen*

Zuerst muss entschieden werden, welche Störungen korrigiert werden müssen und wie eine Korrektur sinnvoll angewendet werden kann.

Ziel der statistischen Auswertungen ist ein Vergleich von Häufigkeiten bestimmter Parameter innerhalb eines Radarbilds, beispielsweise von Starkniederschlag. Dazu muss die Datenbasis fehlerfrei und unabhängig vom Abstand zum Radar sein. Gleichzeitig will man auch kleinräumige Veränderungen feststellen können, sodass eine Interpolation über größere Flächen weitgehend vermieden werden sollte. Ursprüngliche Muster und Strukturen sollten weitgehend erhalten bleiben.

Gestörte Bereiche, wie der **Innenbereichsclutter** von München wirken sich nur bei kleinem Level aus und müssen deshalb hier nicht berücksichtigt werden.

Berge sind nur schwer zu vereinheitlichen, da wegen ihrer Randlage eine Korrektur sehr schwierig ist. Mögliche Probleme sind Clutterreste genauso wie Clutterkorrekturen (no data). Eine radiale Interpolation über die direkte Umgebung scheint die sinnvollste Möglichkeit zu sein.

Interpolationen zerstören die ursprüngliche Struktur der Niederschlagsfelder und sollten weitgehend vermieden werden. Die **Speichen** überdecken oft größere Radarbereiche. Falls die Abschattung nur gering ist, bleibt die ursprüngliche Struktur des Niederschlags erhalten. In diesem Fall wird eine einfache Erhöhung der Werte auf die Umgebungswerte der Interpolation vorgezogen. Ist die Abschattung jedoch so stark, dass keinerlei Struktur mehr vorhanden ist oder sie stark verfälscht ist, muss dennoch eine Interpolation durchgeführt werden. Die Speichen sollten also möglichst genau und engräumig identifiziert werden.

Die **Höhenkorrektur** ist flächenmäßig die größte Korrektur. Es gibt keine Möglichkeit für eine Interpolation – nur Extrapolation, außerdem treten jahreszeitlich Unterschiede auf. Die Korrektur sollte der Strahlhöhe und nicht dem Range entsprechend durchgeführt werden, da beispielsweise beim Münchner Radar größere Elevationsunterschiede auftreten. Die Fehler, die dadurch entstehen, sind im geringen Umfang auf die meteorologische Änderung des Niederschlags mit der Höhe zurückzuführen. Ausgeklammert bei der Korrektur ist dabei eine zu geringe Vertikalerstreckung für eine korrekte Ra-

darmessung (Problem der Volumenfüllung). Das Resultat sind verringerte Werte: Je größer der Höhenunterschied (Winkel), desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für eine unzureichende Volumenfüllung. Das Problem sollte jedoch bei starkem Niederschlag wegen höherer Vertikalerstreckung geringer sein.

Ein fester Korrekturfaktor, der sich je nach Jahreszeit und Höhe über Grund ändert, beschreibt als Näherung diese systematische Abweichung am Besten.

Fazit: Es ergeben sich zwei Arten von Korrekturen:

- Abschattungsbereiche und Einzelpixel – dieses können sowohl Clutter selbst als auch clutterkorrigierte Pixel sein, also echte Fehlwerte. Beide verfälschen die Statistik. Falls die zu korrigierenden Bereiche noch Struktur aufweisen, werden sie proportional korrigiert, ansonsten wird über die Bereiche interpoliert.
- Höhenkorrektur – sie hat zum Ziel, die natürliche Abnahme der Häufigkeiten der Reflektivitätsklassen mit steigender Messhöhe zu korrigieren, damit eine Vergleichbarkeit von Innen- und Außenbereich des Radars gegeben ist.

Die Detailanalyse von München hat gezeigt, dass zumindest die Höhenkorrektur abhängig von Jahreszeit und eventuell vom Reflektivitätslevel sein sollte.

5.5 Erstellung und Durchführung der Korrekturen

5.5.1 Korrektur von Abschattungen und Pixelclustern

Der erste Schritt ist die Identifizierung von gestörten Bereichen mithilfe von Häufigkeitsdarstellungen der einzelnen Reflektivitätsklassen. Anhand von Schwellenwertüber- und -unterschreitungen (Verhalten im Vergleich zum Median) werden gestörte Bereiche identifiziert. Das können sowohl Berge, Windmühlen, Schiffslinien oder auch Abschattungen sein. Dabei wird der Schwellenwert so lange verändert, bis optisch die beste Fehlpixeleliminierung v. a. für die Reflektivitätslevel 3 und 4, erreicht wird. Grund für die Wahl dieser Level ist die Tatsache, dass für die statistischen KONRAD-Auswertungen nur hohe Reflektivitäten interessant sind, gleichzeitig aber eine homogene Überdeckung des gesamten Radarbilds vorhanden sein sollte. Jede einzelne Speiche muss dann analysiert werden, ob eine Korrektur der Werte oder eine Interpolation Anwendung finden soll. Falls keine sichtbare Struktur mehr vorliegt, werden Interpolationsalgorithmen eingesetzt, d. h., diese gestörten Bereiche werden möglichst gut an die ungestörten Nachbarbereiche angepasst. Dafür wurden verschiedene Interpolationsmöglichkeiten getestet. Zum einen sollte die Interpolation möglichst stabile Ergebnisse liefern, zum anderen aber die kleinräumigen Muster möglichst beibehalten. Es wurde eine Interpolation gewählt, bei der die benachbarten 10 km abstandsgewichtet berücksichtigt werden. Tests ergaben hierfür die besten Ergebnisse. Die Speichen mit Struktur werden dagegen nur dem ungestörten Umfeld angepasst. Dies geschieht über eine Medianananpassung, indem der Median des ungestörten Bereichs, in dem sich die Speiche befindet, mit dem Median der entsprechenden Speiche bestimmt und verglichen werden und die Pixel im gestörten Bereich entsprechend der Abweichung „hochkorrigiert“ werden. Die Ergebnisse für Hamburg sind Abbildung 5-10 zu entnehmen.

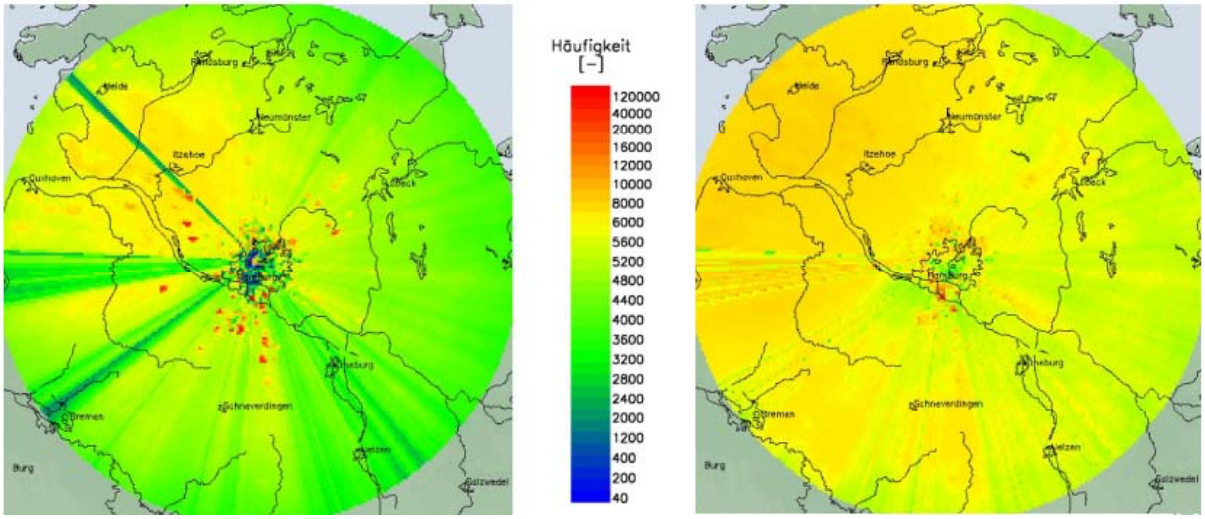


Abbildung 5-10: Unkorrigierte (links) und korrigierte Auftretenshäufigkeiten von Level 3 für das Radar Hamburg

5.5.2 Höhenkorrektur

Deutlich schwieriger stellt sich die Höhenkorrektur dar. Für diese Korrektur sind keine Interpolationsalgorithmen möglich. Physikalisch basierte Methoden berücksichtigen gleichzeitig eine äußerst komplexe Vielzahl von Einflussfaktoren, wie Refraktion, Dämpfung oder Aggregatszustand der Hydrometeore, um eine „Höhenkorrektur“ zu bewerkstelligen. Statistische Korrekturen haben zwar den deutlichen Nachteil, jeder Physik zu entbehren, dennoch sind sie für „mittlere Korrekturen“ oft sinnvoll, wenn die Ursache von Abweichungen unklar ist oder sie auf eine Vielzahl von Faktoren zurückzuführen sind, die in ihrer Gewichtung oder Auswirkung nicht trennbar sind. Die möglichen physikalisch-basierten Korrekturen sollten zuvor durchgeführt werden.

Die Höhenkorrektur wird wie folgt durchgeführt:

- Die Basis stellen alle vorhandenen PX-Daten dar (Ausgangsprodukt = Input für KONRAD-Auswertungen).
- Zuerst werden die „verfälschten“ Bereiche (siehe Abbildung 5-8) bestimmt und ausgeschlossen. Das Resultat ist ein Radarbild mit lückenhaften Bereichen.
- Anschließend werden Höhenklassen gebildet, um eine ausreichend große Grundgesamtheit zu erhalten.

Für jeden Reflektivitätslevel wird nun das mittlere Verhalten der Anzahl der Häufigkeiten mit der Höhe untersucht.

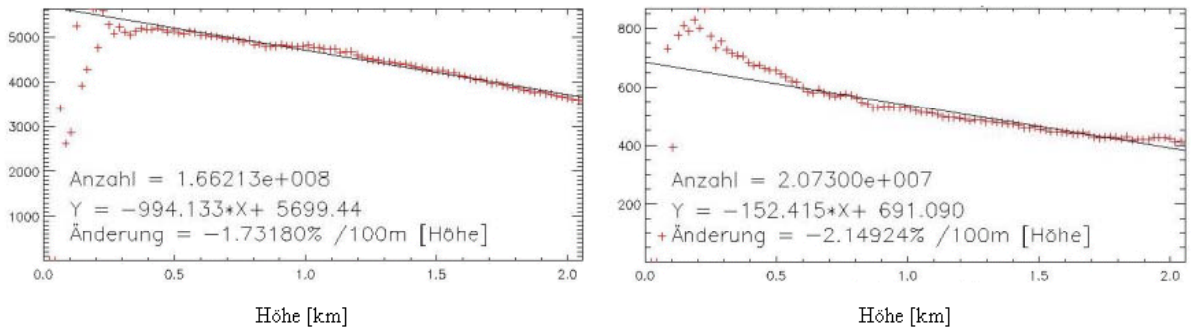


Abbildung 5-11: Verhalten des Medians der Häufigkeiten von Level 3 (links) und Level 4 (rechts) in Abhängigkeit von der Höhe für das Radar Hamburg

Die Analysen haben ergeben, dass es Abhängigkeiten in der Verteilung der Häufigkeiten mit der Höhe gibt, wie an obiger Abbildung ersichtlich ist. Eine deutliche Abhängigkeit zeigt sich auch jahreszeitlich, wie an den Radarbildern von München der Monate Januar und Juli ersichtlich ist. Demnach ist im Winter eine deutliche Korrektur notwendig, im Sommer jedoch gar keine. Dies bestätigt auch die Regression des Radars Hamburg im Januar und Juli hier am Beispiel von Level 3 (Abbildung 5-12).

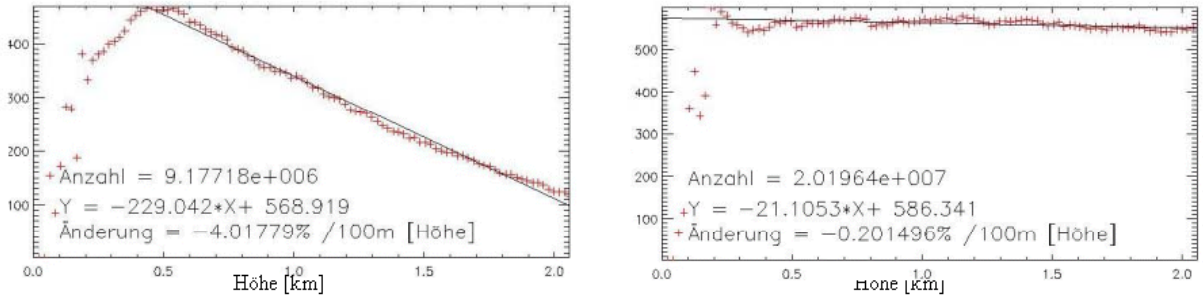


Abbildung 5-12: Verhalten des Medians der Häufigkeiten von Level 3 im Januar (links) und im Juli (rechts) in Abhängigkeit von der Höhe für das Radar Hamburg

Die Abweichung ist durch den höheren Schneeanteil im Winter (und in größeren Höhen) sowie durch die verringerte Vertikalerstreckung von Niederschlagsechos im Winter zu erklären. Im Sommer ist demnach keine Abhängigkeit der Häufigkeiten von der Entfernung oder der Höhe feststellbar. Dies gilt für alle Radargeräte mit Ausnahme von jenen mit hohem Abstrahlwinkel. Hier wirkt sich die natürliche Abnahme des Niederschlags mit der Höhe auch auf die Häufigkeiten aus. Es ist also im Außenbereich eine geringere Häufigkeit feststellbar, die Auswirkungen sind aber nicht so groß, dass eine Korrektur erfolgen muss.

Dagegen gibt es keine eindeutige Abhängigkeit von der Uhrzeit. Eine geringfügige Abhängigkeit gibt es allerdings von der Reflektivitätsklasse.

Mithilfe der Regression wurde nun für jeden Monat und jede Höhenstufe das Verhalten der Häufigkeiten von Niederschlagsechos mit der Höhe untersucht. Um eine größere Stabilität zu erhalten, wurde außerdem für jede Höhenklasse der Median gebildet und dessen Verhalten mit der Höhe analysiert.

Der Median wurde grafisch dargestellt, und mithilfe einseitiger Regression wurde die Ausgleichsgerade bestimmt. So ergibt sich für jeden Level eine bestimmte Abnahme pro Höhe bzw. Entfernung (Faktor pro Meter bzw. km). Dieses wurde für alle 16 Radargeräte durchgeführt und anschließend der jahreszeitliche Verlauf der „Abnahmen“ betrachtet. Dabei trat jedoch ein gravierendes Problem auf: Bei den meisten Radargeräten, vor allem jenen mit eher niedrigem Abstrahlwinkel, ergaben sich „schöne“ geradlinige Abnahmen, wie in obiger Abbildung vom Januar für Hamburg deutlich wird. Für München beispielsweise ergibt sich kein linearer Verlauf (Abbildung 5-13). Die Ausgleichgerade spiegelt keineswegs den Verlauf wider. Sie schneidet sogar die X-Achse, was bei einer Korrektur zu negativen Werten führen kann. Auch bei Level 4 in Hamburg zeigt sich dieses Verhalten.

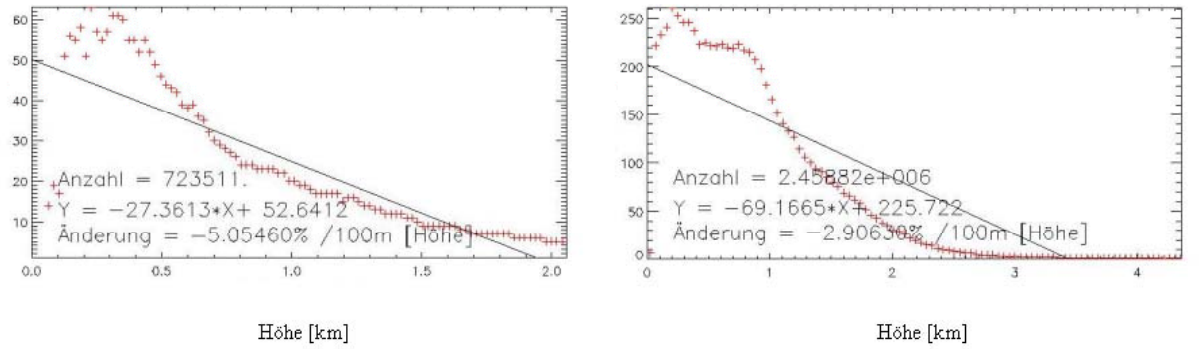


Abbildung 5-13: Verhalten des Medians der Häufigkeiten von Level 4 im Januar Radar Hamburg (links) und im Januar Level 3 in München (rechts) in Abhängigkeit von der Höhe

Die Interpretation dieses Verhaltens ist schwierig, aber sicherlich haben die Zunahme des Schneeanteils mit der Höhe und die geringe Vertikalerstreckung von Bewölkung im Winter einen Einfluss. Die asymptotische Annäherung an die X-Achse hat vermutlich mit der Anzahl der Messungen zu tun. Andererseits kann man nicht davon ausgehen, dass sich durch eine größere Anzahl von Messungen im Winter ein geradliniger Verlauf ergibt, da bei der Betrachtung des Verhaltens der Häufigkeiten bei dem sehr hohen Level 5 mit seinen geringen Häufigkeiten immer noch ein geradliniger Verlauf zu beobachten ist. Der Verlauf ist meist so variabel, dass eine Anpassung einer Funktion zu Korrekturzwecken mit zu großen Unsicherheiten verbunden wäre, sodass an dieser Stelle auf eine jahreszeitliche Korrektur verzichtet wird. Für die Auswertungen von Starkniederschlag und konvektiven Systemen sind fast ausschließlich Sommermonate betroffen, in denen die Höhenabhängigkeit nur geringfügig ins Gewicht fällt.

Die Häufigkeitsdarstellungen für ein oder mehrere Jahre sollen jedoch der Pixelhöhe entsprechend korrigiert werden. So wurde für jedes Radargerät aus der Regression für Level 3 und 4 ein Korrekturfaktor bestimmt. Zur Kontrolle, ob die Korrekturfaktoren gut gewählt sind, wurde die Höhenkorrektur durchgeführt und anschließend wiederum der Median für jede Range-Klasse (nicht Höhenklasse!) bestimmt und entsprechend aufgetragen. Es zeigte sich, dass die gewählten Faktoren zwar rechnerisch im Mittel die beste Anpassung darstellten, jedoch gerade der Außenbereich des Radars dadurch zu hoch korrigiert wurde. Dies macht sich sogar bei manchen Radargeräten im Median bemerkbar (Abknicken nach oben!). Durch die Korrektur sollte aber auf jeden Fall eine Überkorrektur vermieden werden. Entsprechend wurden erneut die Faktoren so bestimmt, dass es nun einen einheitlichen Korrekturfaktor für alle Geräte gibt, der bei keinem der Geräte zu einer Überschätzung mehr führt. Dieser Faktor liegt bei 0,15 und wird mit der Höhe des Pixels über dem Radar multipliziert. Dadurch werden den unterschiedlichen Abstrahlwinkeln von Radargeräten auch an verschiedenen Standorten Rechnung getragen.

5.5.3 Diskussion der Korrekturfaktoren

Theoretisch sind die Korrekturfaktoren von 2 Parametern abhängig – zum einen von der Strahlhöhe und zum anderen vom Abstand des Range-Bins vom Radar und damit von der Range-Bin-Größe. Dieser Effekt ist deutlich bei der Häufigkeitsdarstellung von Level 3 im April am Radar München sichtbar. In der Darstellung der Radardaten auf gleiche Höhe normiert, entsteht die bereits beschriebene Bright Band-Struktur als Kreis. Interessant ist jedoch der weitere Verlauf nach außen. Im Außenbereich stammen die Häufigkeiten im Großteil des Radarbilds aus 80 - 100 km, während im Nordosten durch den hohen Abstrahlwinkel die Pixel aus einem Bereich von 50 - 60 km stammen. Die Häufigkeiten sind dort deutlich höher als im restlichen Radarbereich bei gleicher Pixelhöhe. Dies zeigt den Einfluss der Entfernung bzw. Pixelgröße.

Bei den Berechnungen in URBAS wird lediglich die Strahlhöhe für die Bestimmung des Korrekturfaktors berücksichtigt, die den erheblich größeren Einfluss hat. Die einheitlichen Korrekturfaktoren zeigen gerade für Geräte mit einer geringen Strahlhöhe wie dem am Standort Feldberg Tendenzen zu einer Unterschätzung der Korrektur. Zugunsten einer stabilen Korrektur wurde jedoch auf weitere Verfeinerungen verzichtet.

5.5.4 Einfluss der Reflektivitätsklasse

Wie erwähnt, gibt es eine geringe Änderung des Korrekturfaktors in Abhängigkeit von der Reflektivitätsklasse. Erstaunlicherweise tritt eine stärkere Abnahme nach außen bei höherem Level auf. Je stärker das Niederschlagsecho ist, desto größer sollte die Vertikalerstreckung des zugehörigen Niederschlagfelds sein. Ist der Niederschlag sogar konvektiv, so ist außerdem generell nur eine sehr kleine Abnahme von Z mit der Höhe zu erwarten. Unzureichende Volumenfüllung oder gar Messung oberhalb des Niederschlages ist eher bei kleinerem Level zu beobachten. Allerdings können Dämpfung sowie die großen Range-Bins im Fernbereich das beobachtete Verhalten erklären. Dabei ist wirksame Dämpfung nur hinter sehr starken Niederschlagsechos zu erwarten, die naturgemäß selten auftreten. Statistisch dürfte dieser Faktor also kaum von Bedeutung sein.

Um auszuschließen, dass vielleicht die Anzahl der Messungen einen Einfluss haben könnte, wurde für das Radar Hamburg deshalb auch für jedes Einzeljahr die mittlere Regressionsgerade bestimmt. Es ergeben sich wiederum Geraden mit vergleichbaren Steigungen, auch für höhere Level.

Die Größe der Range-Bins im Fernbereich scheint demnach so groß, bzw. Niederschlagsstrukturen mit hohen Reflektivitätsstufen so kleinräumig, dass es zu einer „Verschmierung“ von höheren Reflektivitäten kommt. Das Niederschlagsgebiet mit Level 4 ist also kleiner als das dortige Range-Bin und wird mit schwächerem Niederschlag zu Level 3 reduziert, während im Innenbereich die Range-Bin-Größe wohl klein genug ist. Dies legt den Schluss nahe, dass die räumliche Auflösung des Radars im Fernbereich nicht ausreicht, die Niederschlagsstruktur adäquat wiederzugeben.

Um dieses Verhalten zu erklären, wurden unter dem Stichwort „Messeffekt“ in Kapitel 5.3 eine theoretische Betrachtung und eine kleine Modellierung durchgeführt.

5.6 Auswertungen der Radarstatistiken

5.6.1 Einzelradar-Auswertungen

Die Analyse von Strukturen und Besonderheiten anhand von Radarbildern erfolgt am besten auf Einzelradarbasis. Dasselbe Gerät und derselbe Scan führen zu einer maximalen Vergleichbarkeit innerhalb eines Einzelradarbilds.

Für jedes Radar werden die unter Kapitel 5.4 vorgestellten statistischen Korrekturen durchgeführt. Exemplarisch wird an dieser Stelle das Radar Neuheilenbach ausgewählt und beschrieben. Bild a der Abbildung 5-14 ist die unkorrigierte Häufigkeitsanalyse des Levels 3 und dient als Qualitätsindikator für die Interpretation der Ergebnisse. Bild b der Abbildung zeigt denselben Sachverhalt nach der Korrektur und gibt damit Aufschluss über die Qualität der Korrekturen. Bild c beschreibt die Höhenverteilung der einzelnen Pixel und gibt damit meist direkten Aufschluss über Abweichungen in der Häufigkeitsverteilung. Dadurch lässt sich auch sehr gut zwischen Abstrahlwinkel und großflächiger Abschattung unterscheiden. Die Abbildung 5-15 zeigt die Häufigkeitsanalysen von Starkniederschlag sowie die Zellzugbahnen von Primärzellen aus KONRAD und stellt damit eine lokale „Gefahrenkarte“ dar. Die Einzelradarauswertungen beschreiben Details innerhalb von Radarbildern, während die Komposits (siehe Abschnitte 5.6.2 und 5.6.3) einen großräumigen Überblick geben.

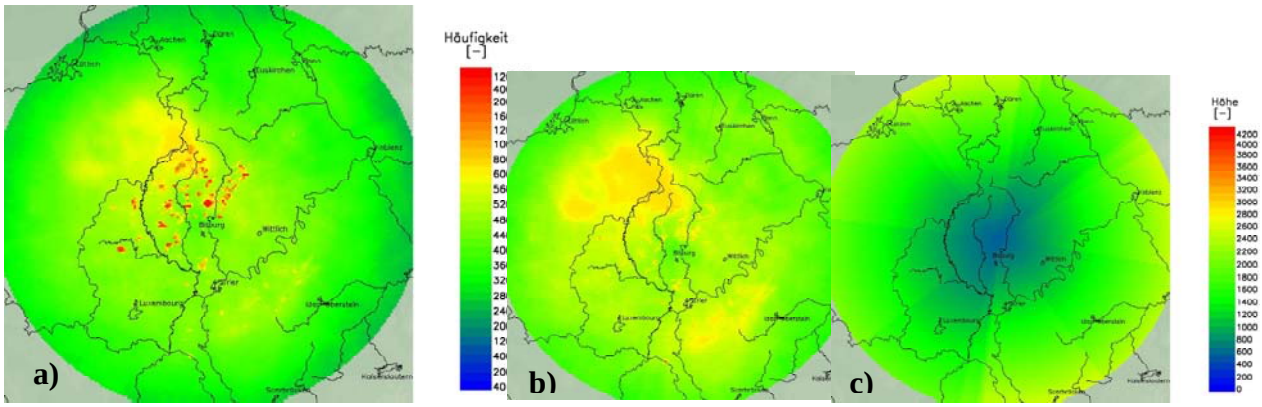


Abbildung 5-14: Häufigkeitsverteilung des Levels 3 unkorrigiert (a), korrigiert (b) und die zugehörige Höhenverteilung der einzelnen Pixel (c) des Radars Neuheilenbach

Die Einzelpixelclutter im nordwestlichen Innenbereich werden zwar korrigiert, dennoch bleiben Reste im Nordwesten und Südosten bestehen. Die Antennenhöhe des Radars liegt auf 585 m ü. NN und der Abstrahlwinkel variiert geringfügig.

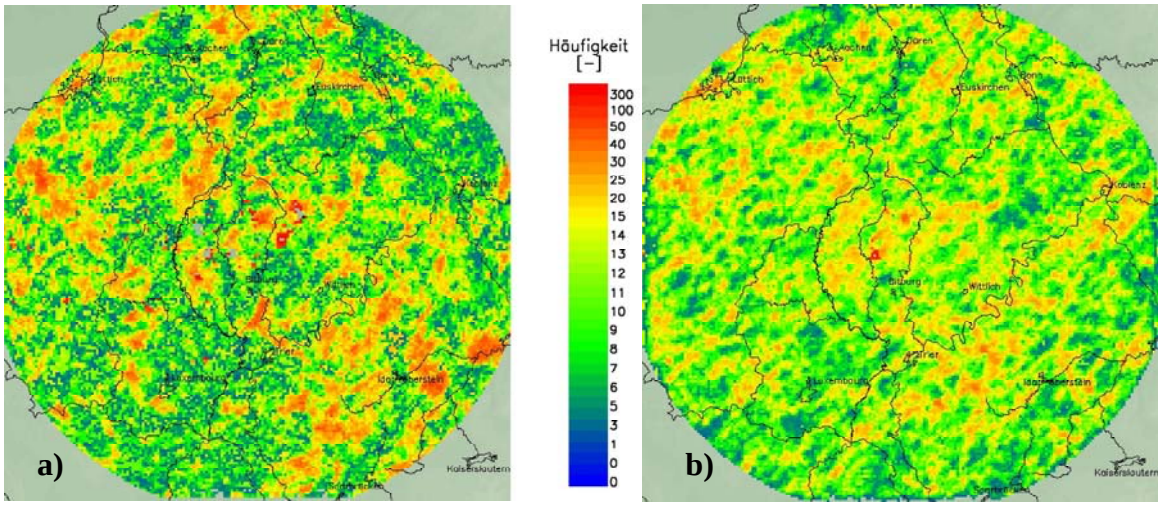


Abbildung 5-15: Häufigkeitsverteilung von Starkregen (a) und Zellzugbahnen (b) des Radars Neuheilenbach

Nördlich vom Radarstandort im Bereich der Eifel gibt es kleine Clutterreste, die auch in Abbildung 5-15a deutlich werden.

Bei der Verteilung der Häufigkeiten von Starkniederschlag „pausen“ sich die Mittelgebirgsstöcke durch. Die Höhen des Hunsrücks treten besonders stark hervor. Im Westen und Nordwesten zeigt sich der Einfluss der Ardennen und deren westlicher Ausläufer. Äußerst stark fällt auch die Eifel auf. Weitere Schwerpunkte bilden die Mosel zwischen Trier und Koblenz sowie der Bereich nördlich von Aachen und Düren, der nicht durch ein besonderes Relief gekennzeichnet ist. Ein verstärkender Einfluss durch die Mosel selbst ist nicht zu erwarten, sonst wäre am Rhein ähnliches vorzufinden, dort gibt es aber tendenziell eher wenig Starkniederschlag. So ist zu folgern, dass es die naturräumlichen Gegebenheiten, z. B. die steilen Hänge an der Mosel einen gewissen Einfluss auf die Starkregenhäufigkeit haben. Zwischen Luxemburg und Metz dagegen treten hiernach auffallend wenige Starkniederschläge auf.

Bei den Zellzugbahnen ist ein breiter Streifen zwischen Hunsrück und Mosel zu sehen, der sich durch das gesamte Radarbild mit recht hohen Häufigkeiten von Südwesten nach Nordosten zieht. Besonders stark ist die Dichte auch im Bereich der Eifel. Generell ist das gesamte Radarbild sehr hoch von Zellzugbahnen mit vielen Clustern frequentiert. Lediglich Luxemburg weist etwas geringere Häufigkeiten auf.

Für die anderen Radargeräte finden sich ähnliche Merkmale. Gebirgsstöcke nehmen primär Einfluss auf die Starkregenverteilung, doch auch die Zellzugbahnen werden deutlich beeinflusst. Wichtig bei der Interpretation der Ergebnisplots ist der Vergleich mit Abbildung 5-14. Hierdurch bekommt man einen Anhaltspunkt darüber, ob etwaige Muster evtl. auf Störungen zurückzuführen sind oder nicht.

5.6.2 Erstellung der Komposits

Für einen Gesamtüberblick von Starkniederschlagshäufigkeiten oder Zellzugbahnen für ganz Deutschland ist es notwendig, die Ergebnisse der Einzelstandorte zu kompositieren. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Messungen verschiedener Geräte nicht exakt übereinstimmen. Es können durch Messausfälle oder Wartungsarbeiten Unterschiede in der Anzahl der Messungen vorliegen. Da jedoch eine Verfügbarkeit von Radardaten von etwa 95 % existiert, ist diese Abweichung als eher gering zu bewerten.

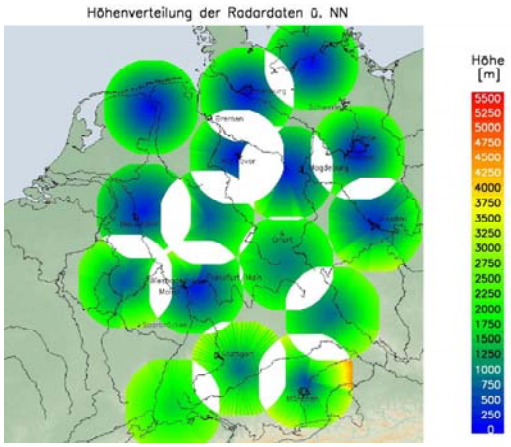


Abbildung 5-16: Höhenverteilung der Radargeräte inklusive ihrer Schnittbereiche

Es können auch Unterschiede in der Geräteeinstellung zu Abweichungen führen. Radargeräte werden zwar regelmäßig kalibriert, dennoch können sich leichte Unterschiede gerade bei statistischen Analysen addieren. Zudem stehen benachbarte Radargeräte oft auf unterschiedlichen Höhenniveaus und haben verschiedene Abstrahlwinkel. Beispielsweise steht das Radar am Standort Feldberg auf über 1.500 m, während das benachbarte am Standort Türkheim nur auf 760 m liegt. Entsprechend müssen die Daten der einzelnen Geräte aufeinander abgestimmt werden. Damit ist zwar keine absolut-quantitative Aussage mehr möglich, aber eine relativ-quantitative, die Unterschiede von einer Region Deutschlands zur anderen beschreibt.

Die gegenseitige Angleichung der Radargeräte wird als Normierung bezeichnet.

- Normierung

Für die Normierung wird eine Normierungsbasis, eine möglichst unabhängige Validierungsbasis zur Kontrolle der erfolgreichen Normierung sowie ein gemeinsamer Messbereich von Radardaten benötigt.

Als gemeinsamer Datenbereich kommt der Schnittbereich zwischen Radargeräten in Frage. Die Radarstandorte Hamburg, Hannover, Ummendorf und Flechtdorf wurden ausgewählt, da sie die größten Schnittbereiche haben und ihre Radarhöhe recht ähnlich ist.

Als Vergleichsdatenbasis stehen KONRAD- und PX-Daten zur Verfügung. Dabei kann entweder die Anzahl der Messungen als Vergleichsbasis fungieren oder aber ein Messwert bzw. Häufigkeitswert, der möglichst gleichmäßig im Radarbild verteilt ist. Es wurden folgende Vergleichsbasen verwendet: Anzahl von KONRAD-Messungen, Anzahl von PX-Messungen, Häufigkeiten von Level-3 im PX-Gesamtbereich, von Level-3 im PX-Innenbereich bis 50 km, von Level-4 im PX-Gesamtbereich, von Level-4 im PX-Innenbereich, sowie Häufigkeiten von mäßigem Niederschlag in KONRAD, was einer Häufigkeit von Level 3 entspricht. Als Validierungsbasis wurde die Anzahl der Sekundärzellen verwendet, was Level 4 mit einer Clustergröße von mindestens 4 Pixeln im KONRAD entspricht.

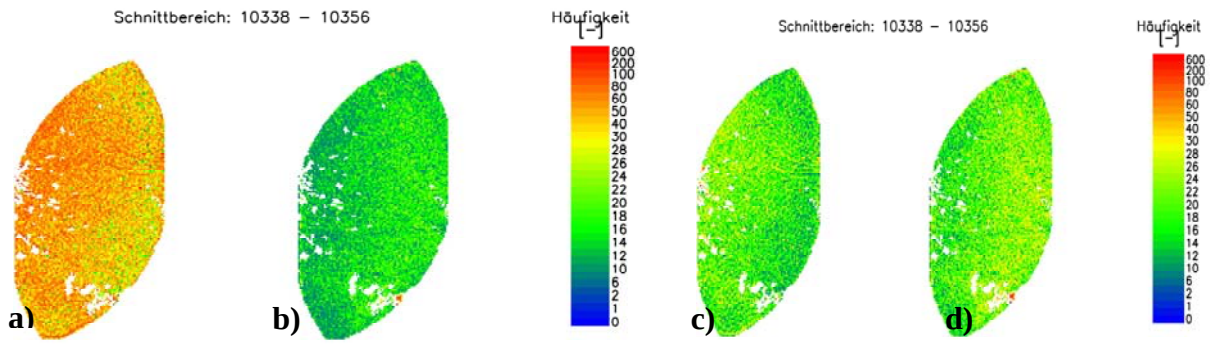


Abbildung 5-17: Häufigkeitsverteilung von Sekundärzellen für den Schnittbereich der Radars Hannover (a, c) und Ummendorf (b, d) für die Normierungsbasis Anzahl der KONRAD-Messungen (a, b) sowie Median der Häufigkeiten von Level-3 im Gesamtbereich (c, d)

Als Maß für die Güte der Vergleichsbasis werden der Median und die Standardabweichung verwendet. Abbildung 5-17 Bilder a-d zeigen zwei verschiedene Vergleichsbasen vom Schnittbereich der Radarstandorte Hannover und Ummendorf. Dabei ist die Häufigkeit von Sekundärzellen dargestellt. Abbildung 5-17 Bilder a und b zeigen die Vergleichsbasis „Anzahl von KONRAD-Messungen“ für die beiden Radargeräte. Es resultiert ein starker Unterschied für die Verteilung der Sekundärzellen. Grund dafür ist, dass KONRAD nur Messungen abspeichert, wenn es auch eine Detektion von Zellen gibt. Existiert nun in einem Radarbereich noch Restclutter, auf den KONRAD anspricht, so kann es fälschlicherweise zu großen Unterschieden in den Anzahlen von Messungen von verschiedenen Geräten kommen.

Die besten Ergebnisse, sowohl optisch als auch nach Vergleich von Median und Standardabweichung für alle Schnittbereiche der vier Radargeräte ergibt sich für die Häufigkeiten von Level-3 im PX-Gesamtbereich. Die Abbildung 5-18 Bilder a und b zeigen die Häufigkeiten von Sekundärzellen (unkorrigiert) vor (a) und nach der Normierung (b). Deutlich ist die bessere Homogenität erkennbar.

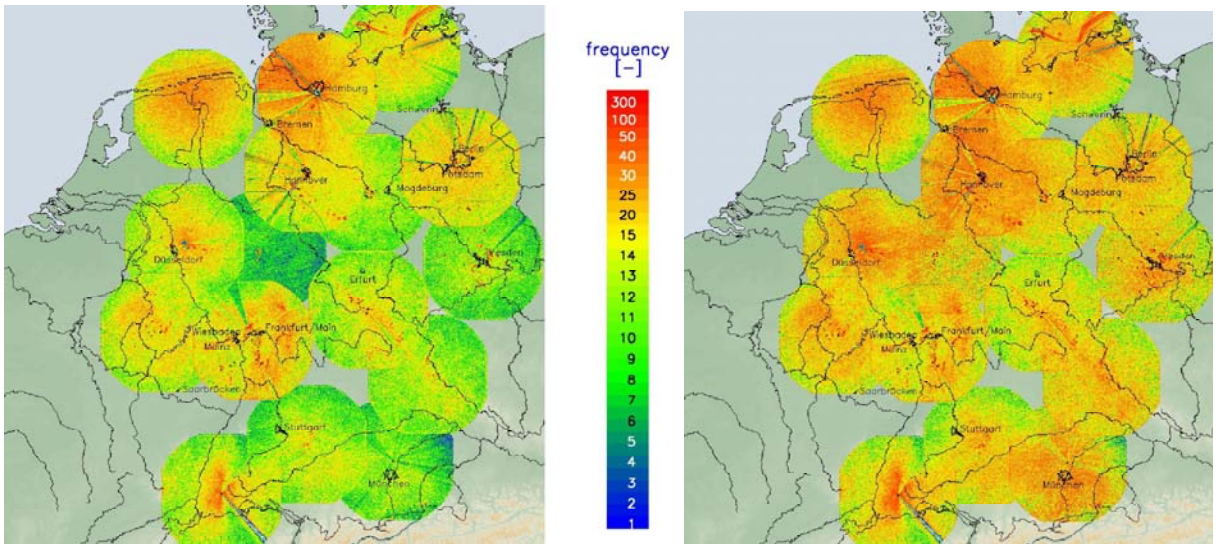


Abbildung 5-18: Häufigkeitsverteilung von Sekundärzellen für den für alle Radargeräte vor (a) und nach der Normierung (b)

Im Überlappungsbereich wird eine abstandsgewichtete Mittelung durchgeführt.

Es bleiben über Deutschland Bereiche, die nicht vom Radar überdeckt werden. Dies ist in erster Linie auf die Reichweite der vorliegenden Daten von 100 km zurückzuführen. Mitte 2004 wurde die Reich-

weite zwar auf 125 km erweitert, um aber einen möglichst langen Zeitraum analysieren zu können, musste hier mit den reduzierten Datenmengen gearbeitet werden.

Ein Aspekt, der wie bei der Einzelradarauswertung nicht vernachlässigt werden darf, ist der Vergleich der Ergebnisplots mit den eventuellen Störeinflüssen. An dieser Stelle wurde innerhalb der Abbildung 5-19 die Stärke der Korrekturen in Prozent für alle Pixel des Komposits angegeben. Dabei erscheinen die Bereiche rot, bei denen eine Interpolation erfolgte. Die Korrekturen setzen sich zusammen aus Interpolationsbereichen bzw. Speichen durch Abschattung und Clutter, Höhenkorrektur und Radarnormierung. Typische Strukturen ergeben sich, die auch schon in Kapitel 5.5 beschrieben wurden. Sehr schön zeigen sich die Schifffahrtsstraßen als Linien den Daten von den Radars Emden, Hamburg und Rostock als rote Linien bzw. Kurven.

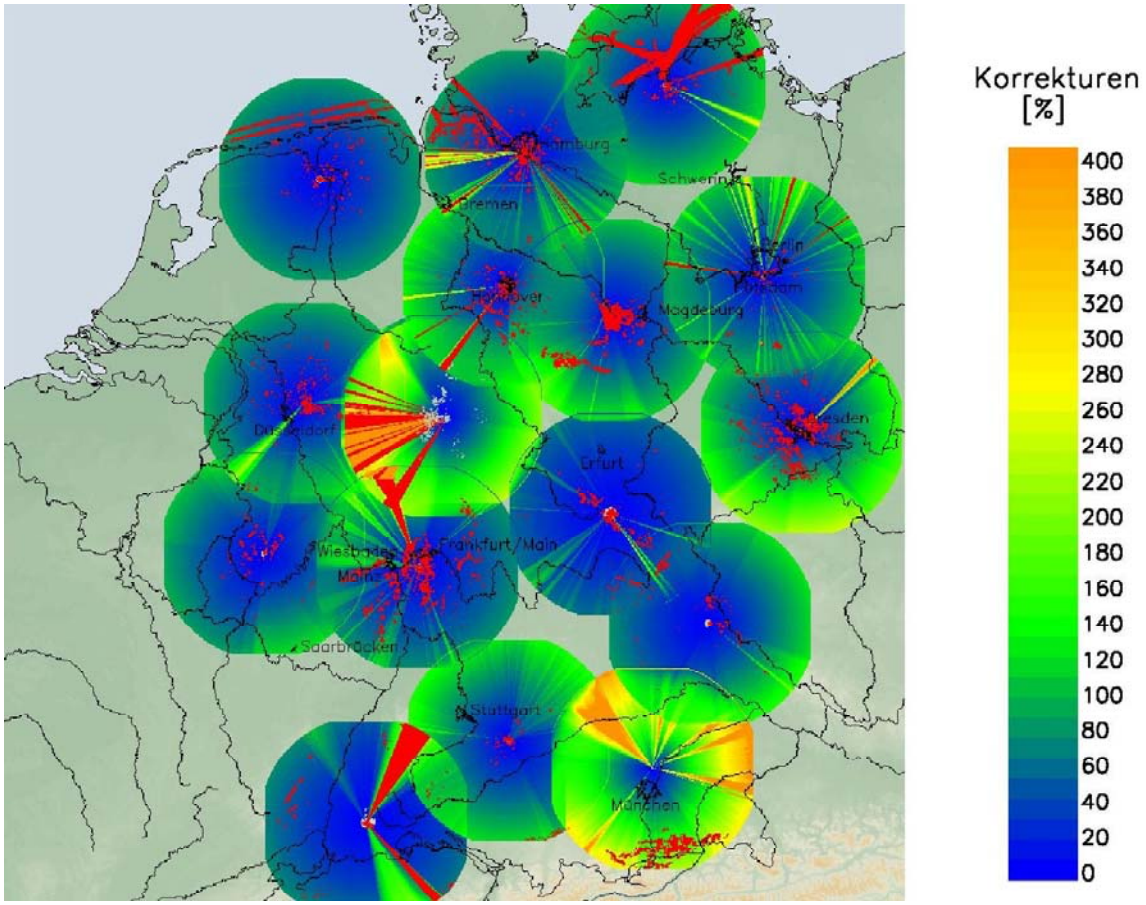


Abbildung 5-19: Prozentuale Erhöhungen der Radarpixel durch die Korrekturen mit Interpolationsbereichen (rot)

5.6.3 Deutschlandweite Auswertung

Wegen der Normierungen und Angleichungen bieten die Deutschland-Komposits eine eher qualitative Aussage. Trotz Korrekturen kann man in der Abbildung 5-20 immer noch Strukturen wahrnehmen, die eindeutig von Artefakten herrühren, wie beispielsweise die Schifffahrtsstraßen nördlich von Emden. Dennoch zeichnen sich über Deutschland deutlich Gebiete ab, die sehr stark von konvektiven Zellen betroffen werden, während andere Bereiche kaum frequentiert werden.

Hier soll ein Überblick über die Gesamtsituation von Starkregen in Deutschland erbracht werden (Abbildung 5-20). Die Strukturen des Starkregens orientieren sich in weiten Bereichen an der Topografie. Insbesondere die Mittelgebirgserhebungen „pausen“ sich auch auf dem Starkregenkomposit durch erhöhte Häufigkeiten durch. Der äußerste Süden Deutschlands wird am stärksten von Starkregen beeinflusst. Besonders kräftig treten in den Auswertungen der südliche Schwarzwald, der südwestliche

Teil der Schwäbischen Alb, der Raum Füssen bzw. das Alpenvorland im Südwesten von München sowie einige Mittelgebirge wie der Harz, der Odenwald und Bayerische Wald, Erzgebirge und Rothaargebirge hervor. Diese hoch frequentierten Bereiche sind meist auf orografische Effekte bzw. Staueffekte zurückzuführen. Daneben gibt es aber noch kräftige Starkregencluster im Großraum Berlin, wobei das dortige Radar tendenziell etwas überschätzt, sowie im Großraum Mannheim. Der Grund hierfür kann an dieser Stelle nicht eindeutig geklärt werden.

Sehr geringe Starkniederschlagshäufigkeiten finden sich in den Küstenregionen, wo es wenig Staumöglichkeiten gibt und das Meer eine eher ausgleichende Wirkung auf Temperaturentwicklungen nimmt. Auch in weiten Bereichen von Thüringen und Sachsen fallen eher selten Starkniederschläge, wobei diese Regionen auch generell niedrige Jahresniederschlagshöhen aufweisen.

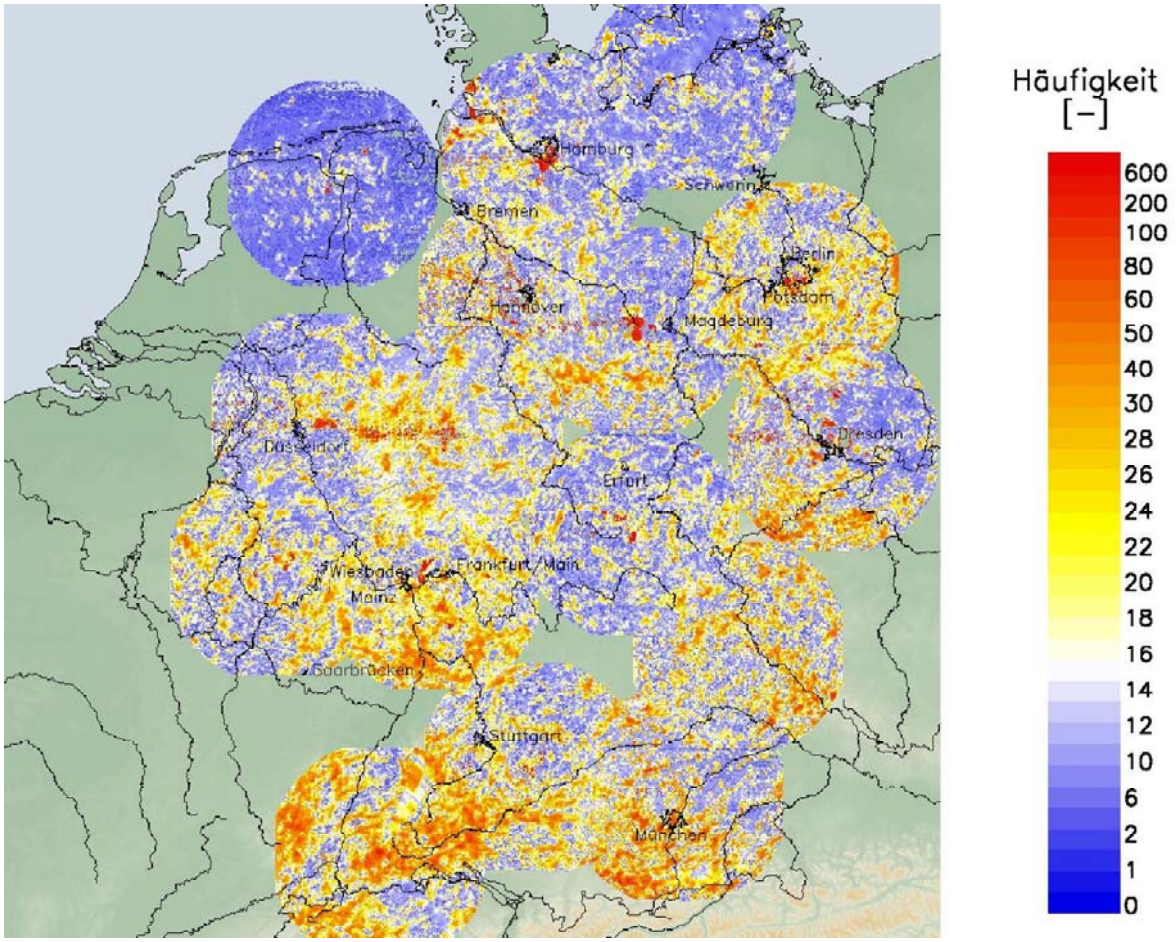


Abbildung 5-20: Häufigkeitsverteilung von Starkregen für Deutschland nach Korrekturen und Kompositierung

Die Strukturen der Zellzugbahnenverteilung sind denen von Starkniederschlag sehr ähnlich, jedoch weniger ausgeprägt (vgl. Abbildung 5-21). Starkniederschläge entwickeln sich oft durch Staueffekte, weshalb die Topografie einen solch großen Einfluss nimmt. Bei der Konvektionsentwicklung spielen noch andere Faktoren eine Rolle. Für Hitzekonvektion sind Heizflächen notwendig, das schließt große Wasserflächen aus und begünstigt Hanglagen. Kleinere konvektive Systeme orientieren sich auch an der Topografie, sodass es an Gebirgen durchaus zu Stau kommen kann, außerdem ist durch Orografie eine Auslösung von Konvektion erst möglich, bzw. sie wirkt verstärkend. So ist es nicht verwunderlich, dass die Verteilung der Zellzugbahnen denen von Starkregen ähnlich ist. Die größere Gleichverteilung bei den Zugbahnen wird durch Frontensysteme verursacht. Diese meist großen Systeme führen häufig Konvektion mit sich, bleiben weitgehend unbeeinflusst von der Topografie und ziehen großflächig mit der Höhenströmung. Für die Wärme-Konvektionsauslösung ist eine gewisse Temperatur am Boden notwendig, hier können verstärkende Faktoren, wie die Wärmeinsel Stadt, durchaus eine Erhöhung der konvektiven Tätigkeit bewirken. Vor allem das Ruhrgebiet und die Großräume Berlin und

Hamburg scheinen zumindest teilweise durch diesen Effekt eine so hohe konvektive Zelltätigkeit zu besitzen.

Geringe Zellzugbahndichten finden sich wiederum im Küstenbereich sowie im nördlichen Franken und wiederum in Thüringen.

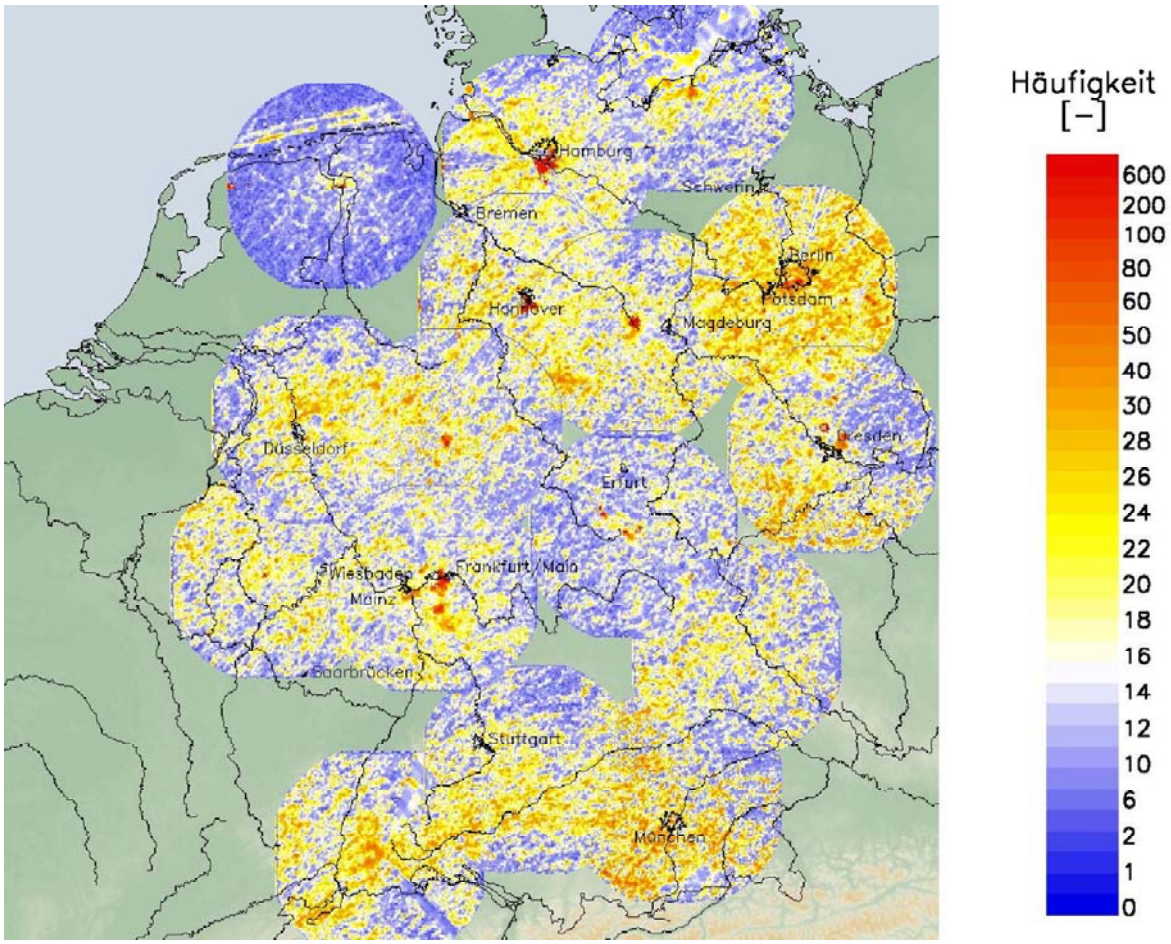


Abbildung 5-21: Häufigkeitsverteilung von Zellzugbahnen für Deutschland nach Korrekturen und Kompositierung

Weitere Auswertungen dieser Art, wie die Verteilung von Hagel sind denkbar, konnten jedoch innerhalb des Projekts URBAS nicht durchgeführt werden.

5.7 Niederschlagsstatistik von Radar- und Bodenmessungen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Frage, auf welchen zeitlichen sowie räumlichen Skalen Bodenmessungen und Radarbeobachtungen vergleichbare Schätzungen des Niederschlags liefern. Derzeit zeigen Radargeräte das größte Potenzial, raum-zeitliche Verteilungen des Niederschlags am Boden wiederzugeben.

Sie liefern auch zeitlich hoch aufgelöste Flächenmessungen des Niederschlags, allerdings liegen im Radarverbund des Deutschen Wetterdienstes (DWD) nur 6-7 Jahre Daten von allen 16 Standorten vor. Für statistische Auswertungen ist das eine sehr kurze Zeitspanne.

Dem gegenüber stehen Zeitreihen von Niederschlagsmessern am Boden. Die Messfläche ist hier sehr viel kleiner als bei Radargeräten. Somit wäre eine Vielzahl von Regensammlern nötig, um die räumliche Verteilung des Niederschlags hinreichend genau wiedergeben zu können. Die erforderlich Anzahl hängt von der Niederschlagsart (konvektiv oder stratiform) und der gewünschten Genauigkeit ab. Somit sind solche „Punktmessungen“ weder für kleinräumige noch für kurzfristige Ereignisse, wie

insbesondere sturzflutträchtige Extremniederschläge, gut geeignet. Ihr großer Vorteil liegt jedoch in dem vergleichsweise langen Beobachtungszeitraum. Je nach zeitlicher Auslösung beträgt der Beobachtungszeitraum 50 Jahre und länger.

Die Fragestellung der Untersuchung war, wie die Vorzüge beider Messverfahren verknüpft werden können.

Zwei mögliche Herangehensweisen sind in diesem Zusammenhang denkbar. Zum einen ist dies der direkte Vergleich der vorhandenen Extremwertstatistiken möglichst langer Zeitreihen an allen Radargeräten, also der Vergleich der momentanen Messungen, der in dem Werkvertrag **„Erstellung von Niederschlagskarten aus Radardaten unterschiedlicher Dauerstufen und Wiederkehrzeiten und Vergleich mit KOSTRA“**(Werkvertrag I) durchgeführt wurde.

Die zweite Möglichkeit besteht in der Prüfung der Vergleichbarkeit bzw. Übertragbarkeit der Statistiken, die in dem Werkvertrag „**Gemeinsame raum-zeitliche Statistik von Radar- und Punktmessgeräten des Niederschlags“** (Werkvertrag II) untersucht wurde. Ziel war, die Zusammenhänge zwischen den Statistiken zu untersuchen, um trotz der relativ kurzen, jedoch räumlich hoch aufgelösten Radarzeitreihen den Zugang zu Ansätzen einer Radarklimatologie eröffnen zu können.

5.7.1 Erstellung von Niederschlagskarten aus Radardaten unterschiedlicher Dauerstufen und Wiederkehrzeiten und Vergleich mit KOSTRA

5.7.1.1 Ziel des Werkvertrags

Gegenstand dieses Werkvertrags war der Vergleich der KOSTRA-Ergebnisse (DWD, 2005), einer extremwertstatistischen Auswertung der Starkniederschlagshöhen für Deutschland, mit der statistischen Auswertung von acht Jahren Niederschlags-Radardaten aller 16 Radargeräte des Deutschen Wetterdienstes. Bislang war KOSTRA die einzige amtliche Statistik dieser Art in Deutschland. Da Radardaten die räumliche Verteilung von Niederschlägen besser wiedergeben, wird nun geprüft, inwieweit die Ergebnisse der beiden statistischen Auswertungen übereinstimmen.

KOSTRA basiert auf der Auswertung von langen Zeitreihen von 1951 bis 2000, d.h. 50 Jahren Messdaten der Bodenmessstationen des DWD. Allerdings liefert KOSTRA messtechnisch bedingt nur Angaben zu Punktniederschlägen. Insbesondere bei konvektiven Extremniederschlägen ist die räumliche Heterogenität enorm. Radardaten decken das gesamte Bundesgebiet ab; sie sind also zur Bestimmung von Flächenniederschlägen optimal geeignet. Abstriche in Bezug auf die Verlässlichkeit der statistischen Auswertungen gibt es hier bei der Länge der vorhandenen Zeitreihen, da nur acht Jahre Messungen zur Verfügung stehen (2000-2007). Außerdem ist die Bestimmung der absoluten Niederschlagshöhe an einem Punkt beim Radar meist ungenauer als bei den Punktmessungen.

5.7.1.2 Grundlagen der Messtechnik

- *Niederschlagsmessstationen*

Punktmessgeräte des Niederschlags messen i. d. R. direkt die Niederschlagshöhe. Durch Windeinfluss und Messungenauigkeit ist dabei zwar ein Fehler von mehreren Prozent zu erwarten, dennoch kann der Punktniederschlagswert als relativ genau bezeichnet werden. Der detaillierte zeitliche Verlauf des Niederschlags wird nur bei den Niederschlagsschreibern erfasst, Niederschlagsmesser erfassen den 24 Std. Niederschlag summarisch. Erst bei der Umrechnung der Punktmessungen auf Flächenniederschlagsdaten bestehen größere Unsicherheiten, die u. a. von der Stationsdichte, den topografischen Verhältnissen etc. abhängen. Die Stationsdichte der verwendeten Niederschlagsschreiber für KOSTRA beträgt 200 Stationen für Deutschland (durchschnittlich eine Station pro 35 x 35 km, der Tagesstationen 4500 Stationen (durchschnittlich eine Station pro 7,9 x 7,9 km). Für KOSTRA folgt deshalb eine recht grobe räumliche Auflösung für Deutschland von ca. 8,5 x 8,5 km.

- *Radar*

Mit dem Wetterradar wird eine Momentaufnahme des Rückstreuvermögens von Niederschlag eines Luftvolumens von jeweils ca. 1 km³ in einer bestimmten Höhe über Grund erzeugt. Dabei wird ein Umkreis von 128 km alle 5 Minuten abgetastet. Das so erhaltene Bild zeigt eine „Reflektivitätsverteilung“, die über Z-R-Beziehungen in Niederschlag umgerechnet werden muss. Es wird also direkt die räumliche Verteilung des Niederschlags bestimmt, wobei durch die genannten Umrechnungen und messtechnisch bedingte Ungenauigkeiten der Absolutwert des Niederschlags einen gewissen Fehler beinhalten kann. Bezüglich der quantitativen Niederschlagsmessung existieren verschiedene Produkte, die jedoch alle auf dem 5-minütigen Niederschlagsscan mit 128 km Reichweite basieren. Für die statistischen Auswertungen wurde das sogenannte PX-Produkt verwendet. Es besitzt zwar eine Einteilung in nur sechs Reflektivitätsklassen, womit eine gewisse Ungenauigkeit in der absoluten Niederschlagsmenge einhergeht, dafür liegen jedoch für die PX-Produkte die längsten Zeitreihen von allen Radarstandorten vor.

5.7.1.3 Datengrundlage

- *Auswahl der Radardaten*

Die meteorologischen Intensitätskarten in URBAS basieren auf den „KONRAD-Daten“. Dieses Produkt basiert auf dem Klassenprodukt „PX“. Innerhalb von URBAS wurden auf der Grundlage dieser Daten bereits statistische Korrekturen erstellt, indem die Auftretenshäufigkeiten gewisser Reflektivitätsstufen analysiert und so Abschattungseffekte und andere Störungen identifiziert und schließlich quantifiziert wurden. Diese Korrekturen werden hier angewendet. Auch für den vorliegenden Vergleich mit den KOSTRA-Daten wird die gleiche Datengrundlage, also alle PX-Daten von 2000-2007 aller Radargeräte des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. In URBAS wurde lediglich mit Auftretenshäufigkeiten gearbeitet. Für diesen Vergleich müssen die Radarreflektivitäten in Niederschlagsintensitäten umgerechnet werden.

Für die Umrechnung der Reflektivitätswerte in Niederschlagsintensitäten werden folgende 3 Gleichungen der 3-teiligen Z-R-Beziehung des DWD verwendet:

für Reflektivitäten [dBZ]: Z < 37 $Z = 125 \cdot R^{1,4}$

für Reflektivitäten [dBZ]: 37 < Z < 44 $Z = 200 \cdot R^{1,6}$

für Reflektivitäten [dBZ]: Z > 44 $Z = 77 \cdot R^{1,9}$

Eine Übersicht der in Niederschlag umgerechneten Klassengrenzen gibt folgende Tabelle:

Tabelle 5-3: Übersicht der in Niederschlag umgerechneten Klassengrenzen KG des PX-Produkts

	Klasse 1		Klasse 2		Klasse 3		Klasse 4		Klasse 5		Klasse 6		
	KG	KMW	KG	KMW	KG	KMW	KG	KMW	KG	KMW	KG	KMW	KG
Reflektivität dBZ	7,0	16,3	19,0	25,5	28,0	34,5	37,0	43,5	46,0	52,5	55,0	58,2	60,0
Niederschlag R	0,00	0,46	0,72	2,11	3,18	9,26	7,49	19,09	26,80	58,95	79,76	117,31	146,22

Tabelle 5-3 zeigt besonders bei hohen Reflektivitäten (z. B. Klasse 4) eine Schwankungsbreite von 7,5 mm/h bis 26,8 mm/h, also fast Faktor 4. Um diese Unsicherheit zu berücksichtigen, wurden für jeden Klassenwert drei Niederschlagswerte verwendet: die Klassenuntergrenze, der Mittelwert KMW (auf R-Basis mit Standard-Z-R-Beziehung berechnet) sowie die Klassenobergrenze.

- *KOSTRA Starkregenstatistik*

Für die Starkniederschlagsstatistik der Punktmessungen in KOSTRA wurde das klassische Vorgehen für die Erstellung einer Extremwertstatistik benutzt: Die jeweilige Zeitreihe wird analysiert, die Werte nach Größe geordnet und eine Verteilung angepasst (z. B. Gumbel). Aus dieser Verteilung werden dann die Extremwerte extrahiert. Das Verfahren ist detailliert in dem Fortschreibungsbericht zu KOSTRA-DWD 2000 (DWD, 2005) beschrieben.

Würde ein entsprechendes Vorgehen bei den Radardaten angewendet, würde das bedeuten, dass die Zeitreihen eines jeden Radarpixels (900 x 900 Pixel für Deutschland) analysiert werden müssten. Dieses sehr aufwendige Verfahren war im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich. Um dennoch einen Vergleich der Extremwerte beider Verfahren realisieren zu können, werden die Extremwerte bestimmter Dauerstufen und Wiederkehrzeiten aus KOSTRA als Schwellenwert gesetzt und überprüft, wie häufig die Radardaten diese Werte erreichen oder überschreiten. Es wird also keine extremwertstatistische Untersuchung durchgeführt, sondern die Häufigkeit des Überschreitens bestimmter gesetzter Werte ermittelt.

Für die Auswahl der Dauerstufen und Wiederkehrzeiten waren drei Kriterien ausschlaggebend:

- Die untersuchten Wiederkehrzeiten sollten nicht zu hoch sein, da für die Radardaten nur eine Zeitreihe von acht Jahren vorliegt.
- Es sollten durch die Auswahl relevante wasserwirtschaftliche Fragestellungen und Bemessungsgrenzen abgedeckt werden.
- Es müssen zu diesen Dauerstufen und Wiederkehrzeiten KOSTRA-Statistiken vorliegen.

Hiernach wurden fünf Dauerstufen-Wiederkehrzeiten-Paare ausgewählt:

Tabelle 5-4: Relevante Dauerstufen für die Auswertung der Radardaten und den Vergleich mit KOSTRA-Daten

Dauerstufe (min)	**Jährlichkeit (Jahre)**	**System**
Bemessungsregen		
5	2	Dächer, kleine Grundstücke
5	100	Statische Sicherheit (Dach), Entwässerungs- und Notüberlaufsysteme
15	2	Grundleitungen
Überflutungshäufigkeiten		
15	20	Wohngebiete
60	20	Wohngebiete

Die fünf Paare werden unterteilt in drei Typen für „Bemessungsregen“ und zwei für „Überflutungshäufigkeiten“. Die jeweiligen Systeme, für die diese gelten, sind der letzten Spalte der Tabelle 5-4 zu entnehmen.

5.7.1.4 Auswertungen

Die Niederschlagswerte aus KOSTRA dienen als Vergleichsgröße bei der Analyse der Radardatenzeitreihe. Dabei wird gezählt, wie oft jedes Radarpixel aller 16 Radargeräte des DWD in Deutschland, in der vorliegenden Zeitreihe von acht Jahren diese vorgegebenen Schwellenwerte aus KOSTRA erreicht oder überschreitet.

Es wurden Daten aller Radargeräte untersucht. Der Fokus liegt jedoch auf dem Radar Hannover, da sich der Werkvertrag II ausschließlich mit diesem Radar beschäftigt.

Da die Radardaten eine höhere räumliche Auflösung als die KOSTRA-Kacheln haben, muss die Mittelung der Radardaten definiert werden. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn die Umrechnung in Niederschlag und der Vergleich mit den KOSTRA-Kacheln auf der räumlichen Originalauflösung der Radardaten erfolgt und die Ergebnisse, in diesem Fall Häufigkeiten, zuerst korrigiert und dann gemittelt werden. Eine detaillierte Ausführung zu den untersuchten Mittelungen findet sich im ausführlichen Werkvertragsbericht.

Ausführliche Informationen über die Vorgehensweise bei den statistischen Korrekturen der Radardaten finden sich in den Kapiteln 5.4 und 5.5.

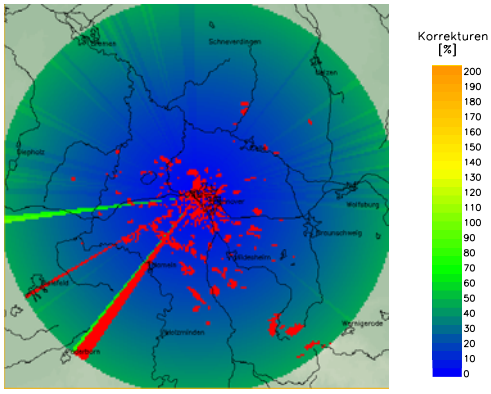


Abbildung 5-22: Korrekturen des Radars Hannover

Abbildung 5-22 zeigt die Korrekturen innerhalb des Radars Hannover in Prozent. Die roten Pixel weisen auf Interpolationsbereiche hin, da die Basiswerte dort zu stark verfälscht sind. Im Radar Hannover gibt es also v. a. im Südwesten Probleme. Es treten jedoch auch weitere Speichen im gesamten Radarbereich auf, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

- *Vergleich der Radarzeitreihen mit KOSTRA-Werten auf Basis der räumlichen Auflösung der KOSTRA-Kacheln*
  - *Vergleich statistischer Maße*

Die Auftretenshäufigkeiten, die sich durch den Vergleich mit den KOSTRA-Werten ergeben, dienen als Grundlage der weiteren Auswertung und werden im Folgenden analysiert.

Untenstehende Histogramme zeigen ausgesuchte Häufigkeitsverteilungen für verschiedene Dauerstufen-Wiederkehrzeiten-Wertepaare.

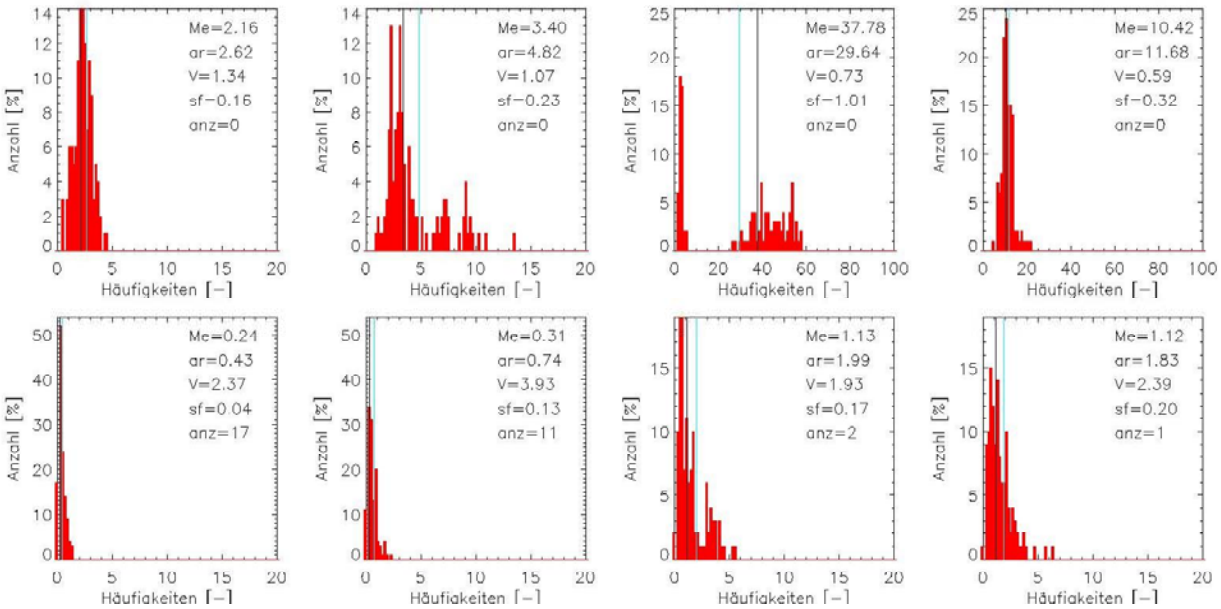


Abbildung 5-23: Ausgesuchte Häufigkeitsverteilungen inklusive statistischer Maße dieser Verteilungen

Wiederkehrzeit 2 Jahre

Die Wiederkehrzeit von 2 Jahren lässt bei acht Jahren Radardaten eine Häufigkeit von vier erwarten. Die Mittelwerte für den Klassenmittelwert als Berechnungsbasis bei der Dauerstufe 15 Minuten liegen zwischen 3,4 und 4,4. Bei der Nutzung der Obergrenze für den Vergleich wird die Häufigkeit um einen Faktor 2,5 überschätzt, während die Untergrenze kaum verwertbare Häufigkeiten erbringt. Bezüglich des Mittelwertes scheint also eine sehr gute Übereinstimmung von Radardaten und KOSTRA-Daten vorzuliegen. Der hohe Variationskoeffizient deutet auf eine gewisse Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert hin, was die Histogramme ebenfalls zeigen. Die Streuung macht 47 bis 81 % des arithmetischen Mittels aus. Bei der Dauerstufe 5 Minuten fallen die Mittelwerte deutlich geringer aus.

Wiederkehrzeit 20 Jahre

Bei der Wiederkehrzeit von 20 Jahren ist die Datenbasis bei der vorhandenen Zeitreihe von acht Jahren sehr dünn. Bei acht Jahren Daten wäre die erwartete Häufigkeit 0,4. Für die Mittelwerte der Reflektivitätsklassen der Dauerstufe 15 Minuten ergibt sich eine mittlere Häufigkeit von 0,43, für die Dauerstufe 60 Minuten 0,73 und für die Obergrenze 3,9 bzw. 3,35. Auch diese Mittelwerte liegen im Vergleich zur Wiederkehrzeit sehr gut, allerdings sind die Häufigkeiten teilweise so gering, dass die Aussagekraft dieser Mittelwerte fragwürdig erscheint. Generell ist eine höhere Streuung bei längerer Wiederkehrzeit zu beobachten.

Dauerstufe 5 Minuten / Wiederkehrzeit 100 Jahre

Für eine Wiederkehrzeit von 100 Jahren ist die Datenreihe der Radardaten zu kurz. Selbst bei Wahl der Klassenobergrenze ergibt sich für den Median die Häufigkeit 0 und für das arithmetische Mittel 0,09 für die Dauerstufe 5 Minuten.

- *Vergleich von Abschnitten einer Zeitreihe*

Die Frage, ob die Zeitreihe für derartige Untersuchungen lang genug ist, wurde nachgegangen, indem die Zeitreihe halbiert und vergleichend untersucht wurde. Sind selbst bei Wiederkehrzeiten von 2 Jahren die Häufigkeitsverteilungen der beiden Teilzeitreihen sehr unterschiedlich, so ist ein weiterer Vergleich mit der KOSTRA-Statistik zu hinterfragen.

Sowohl der visuelle Vergleich als auch sämtliche statistische Maße sprechen für eine hohe Übereinstimmung der räumlichen Niederschlagsverteilung. Das stärkste Indiz für die Ähnlichkeit der beiden Zeitreihen ist der Korrelationskoeffizient. Es zeigen sich durchweg Werte über 0,68, für die Wiederkehrzeit 20 Jahre sogar 0,9 und darüber. Es kann also auch für diese und die anderen Jährlichkeiten (außer 100 Jahre) davon ausgegangen werden, dass die Verteilung der Niederschläge nicht zufällig, sondern statistisch gefestigt ist. Diese Aussagen beziehen sich lediglich auf die räumliche Verteilung, nicht jedoch auf den Mittelwert an sich.

- *Testverfahren*

Ziel des Vergleichs ist es herauszufinden, wie gut die Extremwertverteilung der Radardaten mit der aus KOSTRA übereinstimmt. Als Maß für die Güte der Übereinstimmung bietet sich ein Test an, dem ein Vergleich einer Stichprobenwahrscheinlichkeit mit dem dazugehörigen Parameter der Binomialverteilung zugrunde liegt.

p ist dabei die erwartete relative Häufigkeit, während p1 die beobachtete relative Häufigkeit darstellt. Die erwartete relative Häufigkeit ergibt sich aus der Wiederkehrzeit des beobachteten Parameters, der Länge der Zeitreihe und der Anzahl der Messungen N – am Beispiel der Jährlichkeit von 2 Jahren und 8 Jahren Radardaten also zu 4/N. Der Z-Wert wird mit tabellarischen kritischen Z-Werten der Normalverteilung verglichen. So werden die Kacheln ermittelt, die sich bei einer vorgegebenen Signifikanz nicht mit der erwarteten relativen Häufigkeit übereinstimmen. Geht man davon aus, dass die Unterschiede in erster Linie auf die Umrechnungsunsicherheit zurückzuführen sind und nicht auf Unterschiede der räumlichen Verteilung von Starkniederschlägen aus KOSTRA und Radardaten, so kann

für p anstelle des Quotienten aus Länge der Zeitreihe und Wiederkehrzeit das arithmetische Mittel (hier: μ) verwendet werden. Damit bezieht man den Vergleich nicht mehr auf die durch die Wiederkehrzeit vorgegebene Häufigkeit aus KOSTRA, sondern auf das arithmetische Mittel.

$$z_\mu = \frac{|p_\mu - p1|}{\sqrt{p1 \cdot (1 - p1)}} \cdot \sqrt{N}$$

mit: $p_\mu = \mu / \mathrm{N}$

Als betrachtete Signifikanzen wurden 90 %, 95 % und 99 % gewählt. Die entsprechenden kritischen Z-Werte sind 1,65 , 1,96 und 2,58.

Die Ergebnisse des Vergleichs mit räumlicher Auflösung der KOSTRA-Kacheln sind Abbildung 5-24 zu entnehmen. Dabei werden alle Dauerstufen und Wiederkehrzeiten sowie alle drei Bemessungsgrenzen für die Umrechnung der Radardaten aufgezeigt. Überplottet sind die jeweiligen Kacheln mit den Ergebnissen des Testverfahrens. Die Schraffuren geben den Signifikanzbereich an, mit dem die jeweilige Kachel nicht mit dem Mittelwert übereinstimmt.

Die Wiederkehrzeit von 100 Jahren kann nicht interpretiert werden.

Bei der Dauerstufe 5 Minuten und Wiederkehrzeit 2 Jahre ergeben sich Häufigkeitsunterschiede zwischen den drei Bemessungsgrenzen. Sehr deutlich wird hier der Einfluss der Radarklassenwerte auf die Verteilung. Bei der Unter- und Obergrenze liegen die KOSTRA-Schwellenwerte so ungünstig im Vergleich zur Berechnung anhand des Mittelwerts, dass die Häufigkeitsunterschiede stark hervortreten. Entsprechend wirkt sich dies auf die Signifikanz aus. Geht man vom Mittelwert aus, so gibt es nur wenige Kacheln, die ein Signifikanzniveau von 90 % überschreiten. Trotzdem kann man nicht von einer Gleichverteilung sprechen, Unterschiede zwischen der räumlichen Verteilung von Extremwerten, gemessen mittels Radardaten und auf Basis von KOSTRA, werden deutlich.

Diese Beobachtungen lassen sich analog für die anderen Dauerstufen und Wiederkehrzeiten machen. Deutlich hervor treten auch die Bereiche im Westen und Nordwesten mit Restclutter, die die eigentliche Verteilung der Häufigkeitswerte aus Radardaten verfälschen. Lässt man diese unberücksichtigt, so wirkt das Bild deutlich homogener. Auch hier lässt sich beobachten, dass mit Zunahme der Dauerstufe die Verteilung der Häufigkeiten an Homogenität zunimmt.

Bei der Dauerstufe 5 Minuten ergeben sich die größten Unterschiede. Zwischen Hannover und Hamburg erstreckt sich ein breiter Bereich, in dem laut Radardaten deutlich geringere Häufigkeiten auftreten als im restlichen Radarbild. Die Schwellenwerte aus KOSTRA erscheinen in diesem Bereich als zu hoch. Auch im Südosten im Gebiet des Harzes treten geringere Häufigkeiten auf als KOSTRA erwarten lässt. Die Dauerstufe 15 Minuten zeigt ein anderes Bild. Nun erscheinen im Nordwesten und Westen des Radarbereichs Hannover größere Häufigkeiten, was jedoch weitgehend auf den dortigen Restcluttereinfluss zurückzuführen ist. Wiederum sind die Häufigkeiten im Gebiet des Harzes geringer. Für die Dauerstufe 60 Minuten gilt das Gleiche, jedoch weniger stark ausgeprägt.

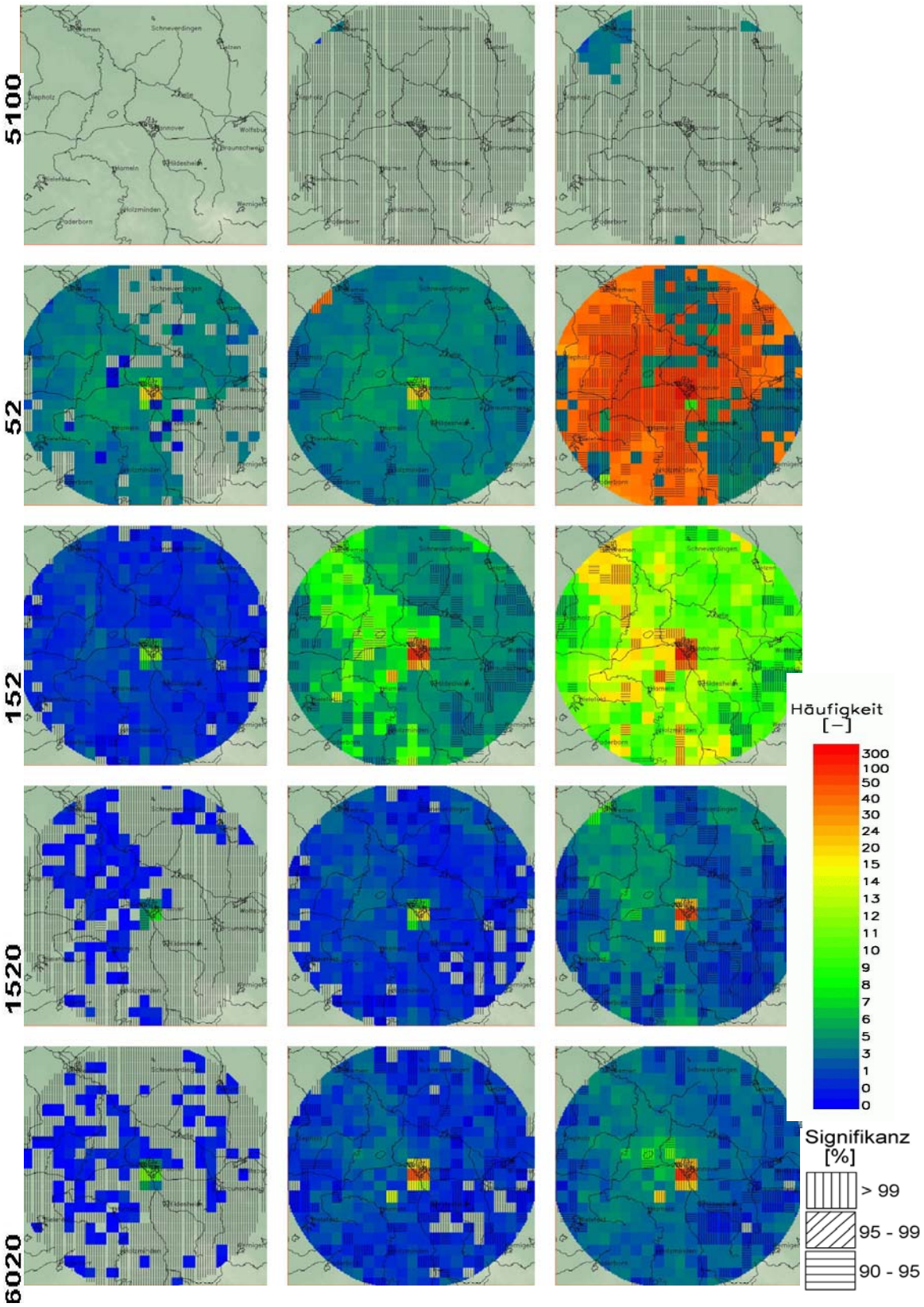


Abbildung 5-24: Häufigkeitsverteilungen von Radardaten (Hannover) auf Basis der Schwellenwerte aus KOSTRA für fünf verschiedene Dauerstufe-Wiederkehrzeit-Paare bei Umrechnung der Radardaten unter Annahme von Klassenuntergrenze, Klassenmittelwert und Klassenobergrenze. Zusätzlich wird die Signifikanz angegeben, mit der die Kachelwerte nicht mit dem Mittelwert übereinstimmen.

- *Vergleich von Niederschlagswerten*

Neben der Analyse der Auftretenshäufigkeiten ist jedoch auch ein direkter Vergleich von Niederschlagssummen möglich. Dieser bezieht sich bei den Radardaten auf den maximalen Niederschlagswert jedes Pixels in der Zeitreihe von acht Jahren. Das heißt, die Werte beziehen sich auf starke Einzelereignisse, sind keiner Verteilung angepasst und berücksichtigen nicht, ob ein Maximalwert vielleicht mehrmals gemessen wurde. Hinzu kommt, dass durch die Klasseneinteilung der Radardaten keine wirklich feine Differenzierung möglich ist. Für diese Analyse wurde die Klassenobergrenze als Berechnungsgrundlage gewählt.

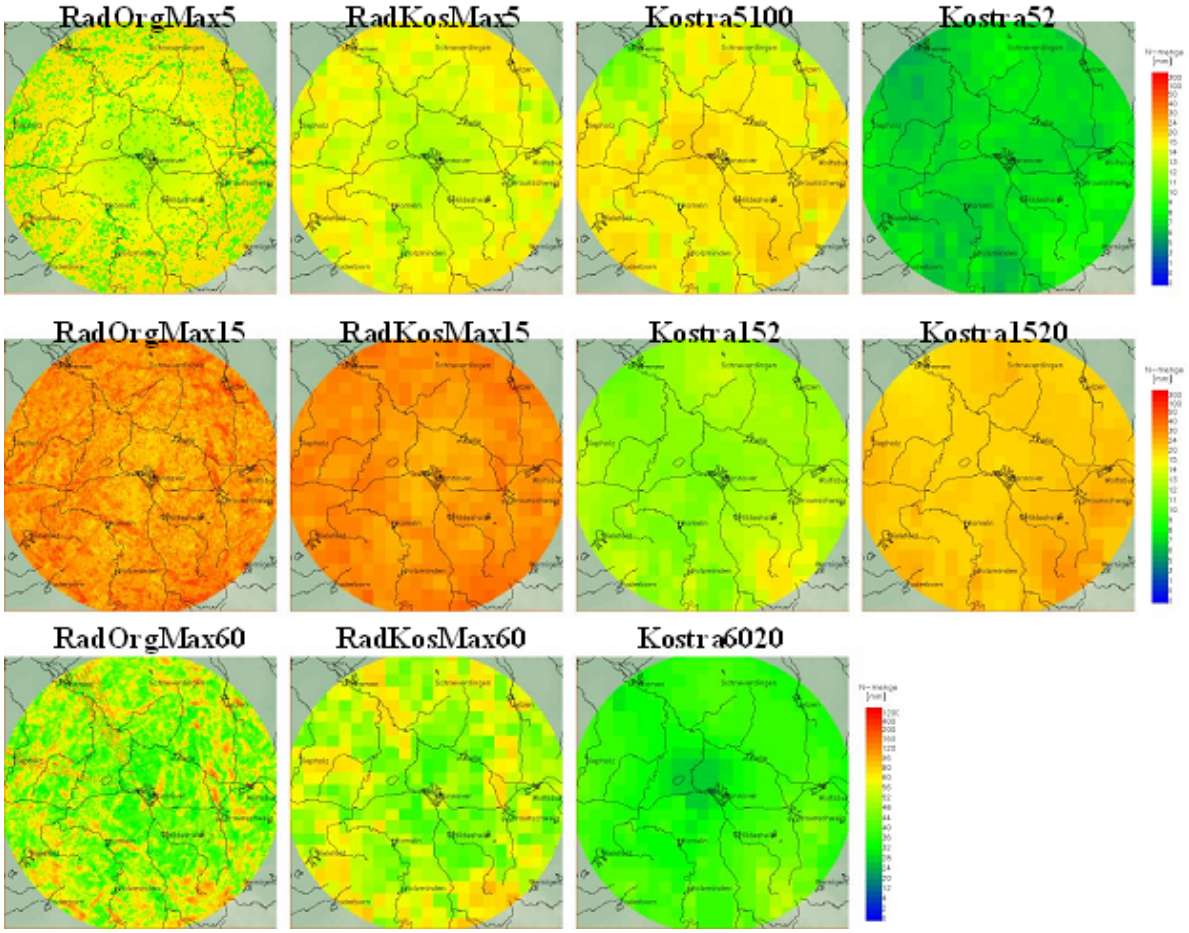


Abbildung 5-25: Maximalniederschläge der Dauerstufe 5 (oben), 15 (Mitte) und 60 Minuten (unten) für Radardaten in Originalauflösung (1.v.l.), Radardaten in KOSTRA-Kachel-Auflösung (2.v.l), KOSTRA bei Wiederkehrzeiten von 100, 2 und 20 Jahren (3. + 4. v.l.) für das Radar Hannover

Abbildung 5-25 zeigt die maximal beobachteten Niederschläge anhand von Radardaten unter Annahme der Klassenobergrenze als Umrechnungsgrundlage und die Extremwerte aus KOSTRA bei verschiedenen Dauerstufen und Wiederkehrzeiten. Auffällig ist bei den Maximalwerten der Radardaten für die Dauerstufe 60 Minuten, dass sich im Nordwesten und Westen Clutterreste befinden, die die Verteilung der Maximalwerte beeinflussen. So resultieren auch in der Auflösung der KOSTRA-Kacheln dort Gebiete mit höheren Werten, die ansonsten nicht so stark ausfallen würden. In Auflösung der KOSTRA-Kacheln ist es schwer, optische Vergleiche durchzuführen, da die Unterschiede zwischen den KOSTRA-Werten eher klein sind. Im Südwesten und Westen zeigen sich höhere Niederschlagswerte, die sowohl KOSTRA als auch die Radarmessungen bestätigen. Die Vergleichbarkeit der Messreihen wird mittels Korrelation überprüft. Hier werden Niederschlagshöhen bzw. -mengen miteinander korreliert.

Tabelle 5-5 ist zu entnehmen, dass die Korrelationskoeffizienten r hier deutlich besser sind als beim Vergleich mit den Häufigkeiten. Bei der Dauerstufe 5 Minuten ergibt sich kaum ein Zusammenhang zwischen den Verteilungen, da die Radardaten auf einmalig gemessene Maximalwerte zurückgehen und so eine hohe Streuung aufweisen, die durch Einzelereignisse dominiert werden. Mit zunehmender Dauerstufe steigen auch die Korrelationskoeffizienten. Je höher die Wiederkehrzeit, desto geringer ist der Koeffizient. Dies bezieht sich nur auf ein einziges Wertepaar, da die Jährlichkeit von 100 wegen zu geringer Datendichte außen vor bleibt.

Tabelle 5-5: Korrelationen zwischen den Maximalwerten aus Radardaten bei KOSTRA-Auflösung und KOSTRA-Werten des Radars Hannover

x - y	Max5 - 5100	Max5 - 52	Max15 - 152	Max15 - 1520	Max60 - 6020
r	-0,11	0,06	0,23	0,18	0,36

Man erwartet mit zunehmender Dauerstufe einen Übergang von kurzen Extremwerten zu länger andauernden Starkniederschlägen. Entsprechend wird die räumliche Niederschlagsverteilung mit zunehmender Dauerstufe homogener. Es scheint, als ob die räumliche Auflösung der Punktmessgeräte zu gering ist, um die wirkliche Niederschlagsextremwertverteilung darstellen zu können. Erst mit flächenhaft homogeneren Niederschlägen nähert sich die räumliche Verteilung durch die Radardaten an.

5.7.1.5 Einfluss der höheren räumlichen Auflösung von Radardaten auf die flächenhafte Verteilung von Extremniederschlägen

Prinzipiell handelt es sich bei den folgenden Ausführungen um die gleiche Radardatenreihe, also korrigierte Auftretenshäufigkeiten von Radardaten. Allerdings wird nun die Originalauflösung von ca. 1 x 1 km verwendet, also eine etwa 70-fach (Anzahl der Radarpixel in einer KOSTRA-Kachel) größere Datenmenge.

Die Histogramme bei Originalauflösung der Radardaten aus Abbildung 5-26 zeigen deutlich eine breitere Verteilung. Die statistischen Maße sind fast identisch. Allerdings ergeben sich gerade durch die breitere Verteilung höhere Extremwerte. Die Mittelung setzt diese bei der KOSTRA-Auflösung nach unten. Man erhält also durch die bessere räumliche Auflösung eine detailliertere Niederschlagsverteilung und größere Extremwerte bzw. Häufigkeiten. Auch die Variationskoeffizienten V nehmen ab, bei etwa gleich bleibenden Mittelwerten (ar = arithmetisches Mittel). Der Parameter „anz“ gibt die Anzahl der Pixel an, die die Häufigkeit 0 aufweisen. Für die Wiederkehrzeit von 20 Jahren ist somit bei Annahme des Mittelwerts als Umrechnungsgrundlage nur etwa ein Drittel der möglichen Pixel mit Häufigkeiten größer 0 belegt, bei Annahme der Obergrenze zwei Drittel.

Streuung innerhalb der KOSTRA-Kacheln

Ist die Verteilung der Häufigkeiten innerhalb einer KOSTRA-Kachel gleich, so gibt es keinen Informationsgewinn durch die höhere Auflösung der Radardaten. Beinhaltet jede Kachel jedoch eine gewisse Streuung von Häufigkeiten durch die einzelnen Radarpixel, so wird die räumliche Auflösung durch Radardaten verfeinert. Ziel ist also die Streuung innerhalb der einzelnen KOSTRA-Kacheln zu quantifizieren. Da sich die Mittelwerte der Kacheln voneinander unterscheiden, dient wiederum der Variationskoeffizient als unabhängiges Maß für die Streuung. Zusätzlich soll ein mittleres normiertes Histogramm die mittlere Streuung der Werte um den Mittelwert zeigen.

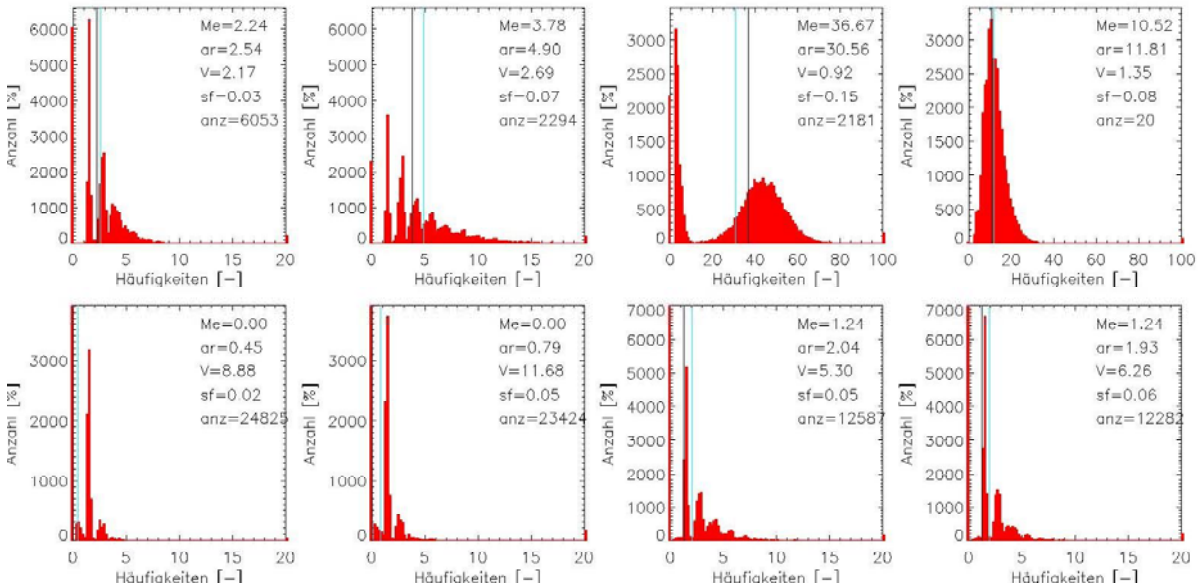


Abbildung 5-26: wie Abbildung 5-23 jedoch für die Originalauflösung der Radardaten

Zur Normierung der Auftretenshäufigkeiten der Pixel innerhalb einer Kachel wird wieder der d-Wert verwendet, der die einzelnen Häufigkeiten auf den Mittelwert normiert. Die Häufigkeiten werden für alle Kacheln aufsummiert und schließlich entsprechend dem Gesamtmittelwert skaliert.

Abbildung 5-27 stellt diese mittleren Streuungen der Häufigkeiten vom arithmetischen Mittel ar für alle Dauerstufen und Wiederkehrzeiten dar. Zusätzlich sind die statistischen Maße, Median Me, arithmetisches Mittel ar, mittlerer Variationskoeffizient V sowie das Intervall des minimal und maximal auftretenden Variationskoeffizienten VI angegeben.

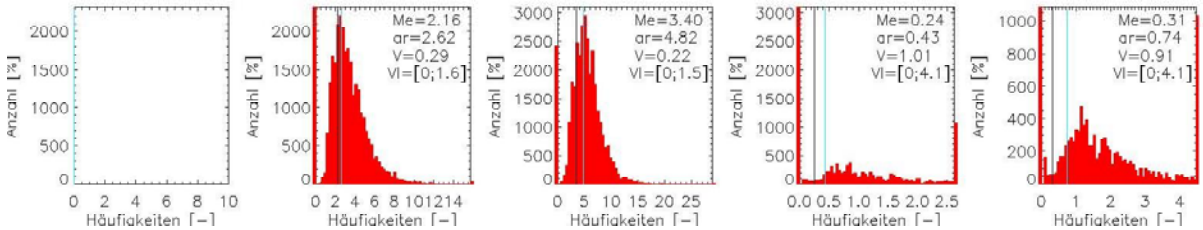


Abbildung 5-27: Normierte Histogramme aller Dauerstufen-Wiederkehrzeiten-Paare für die mittlere Streuung innerhalb der KOSTRA-Kacheln und zugehörige statistische Maße

Die Histogramme aus Abbildung 5-27 weisen eine deutliche Streuung innerhalb der KOSTRA-Kacheln aus. Die mittleren Variationskoeffizienten machen zwischen 22 und 100 % des Mittelwerts aus. Das Intervall VI gibt die minimal und maximal auftretenden Variationskoeffizienten an. Bei einer Jährlichkeit von 2 Jahren wird ein Koeffizient von 1,5-1,6 erreicht, bei 20 Jahren gar bis zu 4,1. Diesen Ergebnissen zu Folge ist ein deutlicher Informationsgewinn mit der besseren räumlichen Auflösung der Radardaten verbunden.

5.7.1.6 Diskussion und Fazit

- *Charakterisierung der Datengrundlagen*

Die Schwellenwerte der KOSTRA-Daten sind für die verschiedenen Niederschlagsdauern und Wiederkehrzeiten vorgegeben. Die Problematik der Klasseneinteilung wird durch Tabelle 5-6 deutlich.

Tabelle 5-6: Niederschlagsmengen [mm], die durch die Klasseneinteilung der Radardaten zu erwarten sind

Dauerstufe	Klasse 4		Klasse 5		Klasse 6		
	KG	KMW	KG	KMW	KG	KMW	KG
5 min	0,62	1,59	2,23	4,91	6,65	9,78	12,19
15 min	1,87	4,77	6,70	14,74	19,94	29,33	36,56
60 min	7,49	19,09	26,80	58,95	79,76	117,31	146,22

Liegt der Schwellenwert einer KOSTRA-Kachel für die Dauerstufe von 5 Minuten bei Wiederkehrzeit 2 Jahre beispielsweise bei 10 mm, so kann dieser Wert nur erreicht werden, wenn die Klasse 6 auftritt und die Obergrenze der Klasse als Umrechnungsgrundlage gilt. Bei einem Schwellenwert von 30 mm bei der Dauerstufe von 60 Minuten wird deutlich, dass mindestens eine der 12 Messungen Klasse 5 (KMW) erreichen muss, um den Schwellenwert zu überschreiten. Selbst 12 Messungen der Klasse 5 mit Klassenuntergrenze als Umrechnungsgrundlage erreichen diesen Schwellenwert nicht. Manche Schwellenwerte aus KOSTRA können damit allein durch die Klasseneinteilung bzw. die Wahl der Klassengrenze gar nicht erreicht werden, was die Statistik natürlich beeinflusst.

5.7.1.7 Ergebnisse des Vergleichs

Das Verfahren hat insofern eingeschränkte Aussagekraft, als hier keine wirklichen Extremwerte miteinander verglichen wurden. Dies ist angesichts der Radardatenbasis auch nicht möglich. Von Überschreitungshäufigkeiten auf Maximalwerte zu schließen scheint jedoch legitim, da bei jeder Extremwertstatistik über eine Verteilung auf Maximalwerte geschlossen wird. Je mehr Werte in der Spitze einer Verteilung (oberhalb eines bestimmten Schwellenwerts) auftreten, desto größer ist i. d. R. der Maximalwert.

KOSTRA ebenso wie Radar-Statistik zeigen ähnliche räumliche Verteilungen, dennoch sind sie keineswegs austauschbar.

Das PX-Radarprodukt ist für einen quantitativen Vergleich nur bedingt geeignet, da die zu erwartenden Unterschiede der Extremwerte von Niederschlag zwischen den Radarpixeln deutlich kleiner sind als die Unsicherheit bei der Umrechnung der Klassenradarreflektivität in Niederschlag für das jeweilige Pixel.

Es zeigt sich zwar, dass unter Annahme des Klassenmittelwerts und Umrechnung mit der 3-teiligen Z-R-Beziehung des DWD die Auftretenshäufigkeiten im Mittel gut mit der erwarteten Häufigkeit aus KOSTRA übereinstimmen, doch ist durch die erforderliche Verwendung der jeweiligen Klassen die Unsicherheit für eine gesicherte Aussage sehr groß. Bessere Aussagen sind möglich, wenn die räumlichen Verteilungen der Extremwerte der jeweiligen Datenbasis verwendet werden.

Hier weisen die Radardaten deutliche Vorteile gegenüber den Punktmessungen auf. Die Datenreihen der Radardaten sind lang genug, um statistische Aussagen zumindest für kleine Wiederkehrzeiten treffen zu können. Für größere Wiederkehrzeiten wie 20 Jahre und mehr ist dieses nur eingeschränkt möglich. Hier müssten dann extremwertstatistische Verfahren angewendet werden, mit denen Aussagen zu etwa der dreifachen Länge der gemessenen Zeitreihe möglich wären.

Es besteht die Möglichkeit, die Verteilung der Auftretenshäufigkeiten von Starkniederschlägen aus Radardaten dort zur Analyse verwenden, wo KOSTRA laut der Radardatenverteilung zu hohe oder niedrige Schwellenwerte ansetzt. Im Flachland Norddeutschlands steigen die KOSTRA-Werte bei kleinen Geländeerhebungen, während die Radardaten kaum Veränderungen anzeigen. Den Einfluss von Mittelgebirgen und Luv-Lee-Effekte kann die KOSTRA-Verteilung ebenfalls nur bedingt wiedergeben. Hier erscheinen die KOSTRA-Werte häufig zu niedrig, bzw. die Radardaten weisen dort deutlich höhere Häufigkeiten auf. Dies gilt beispielsweise für den Harz im Radar Hannover und Radar Neuhaus, jedoch auch allgemein als Tendenz für alle Mittelgebirge an allen entsprechenden Radargeräten.

Es zeigt sich also, dass Radardaten ein sehr großes Potenzial für die Erstellung von Extremwertverteilungen des Niederschlags besitzen, insbesondere für die „Verteilungsmuster“. Allerdings ist es erforderlich, dass für quantitative Aussagen die Korrekturen verfeinert werden und statt der PX-Produkte die höher aufgelösten und damit exakteren DX-Daten verwendet werden.

5.7.2 Gemeinsame raum-zeitliche Statistik von Radar- und Punktmessgeräten des Niederschlags

5.7.2.1 Ziele

Ziel der hier vorgestellten Analysen ist somit die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Wie müssen entsprechende Statistiken aussehen, damit sie vergleichbar werden?
- Kann man die räumliche Statistik aus Radardaten in die zeitliche der Punktmessungen übersetzen?
- Stützen lange Punktmessungen die Gültigkeit radarbasierter raum-zeitlicher Statistiken für Zeiträume jenseits der beobachteten 6-7 Jahre?

Auf dem Weg zu einer vergleichenden Statistik stellen sich damit folgende Teilaufgaben und Fragen zur Bearbeitung:

- Die statistische Auswertung von punktuellen Niederschlagsmessungen in zeitlicher Hinsicht.
- Die statistische Auswertung von Radardaten in raum-zeitlicher Hinsicht.
- Können die vorliegenden Zeitreihen der Punktmessungen und die entsprechenden Radarsequenzen für identische Beobachtungszeiträume als Stichproben der gleichen Grundgesamtheit interpretiert werden?
- Wenn ja, wie lassen sich die beiden Statistiken vereinen?

5.7.2.2 Theoretische Grundlagen

Die Problematik der Z-R-Beziehung

Es erscheint sinnvoll, zunächst Stichproben und ihre Statistiken der raum-zeitlichen Radarzeitreihen und der zeitlichen Punktmessungen für identische Zeiträume gegenüberzustellen, um eine prinzipielle Vergleichbarkeit zu überprüfen.

Für die Antwort, d. h. den Ausgang des jeweiligen statistischen Tests, spielt jedoch die Transformation der Radardaten in Regenintensitäten eine wesentliche Rolle, da signifikante Verteilungsänderungen durch die zumeist nichtlineare Transformation entstehen können.

Eine Möglichkeit der Transformation der Radardaten stellt die Anwendung der Probability-Matching Method (PMM) bzw. der darauf aufbauenden Window Probability-Matching Method dar. Hier wird die Z-R-Beziehung gerade so formuliert, dass die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) der radarbasierten Regenraten R mit der entsprechenden PDF der gemessenen Regenraten am Boden identisch ist. Die resultierende Z-R-Beziehung ist dann nicht zwingend auf die Form von Potenzgesetzen beschränkt. Somit sollten per Definition gleiche PDFs vorliegen und somit ein statistischer Test zum Vergleich der Verteilungen (Test auf gleiche Grundgesamtheit) entfallen. Zwar erfolgt zunächst beispielsweise in einem Log-Log-Plot eine Zuordnung gleicher Quantile der gemessenen Regenraten einerseits und der Reflektivitäten andererseits, jedoch wird anschließend in der praktischen Umsetzung eine Z-R-Beziehung auf Basis einer linearen Regression aufgestellt. Selbstverständlich treten Variationen um diese Regressionslinie auf und somit kann wiederum nach Anwendung der gefundenen Z-R-Beziehung ein signifikanter Unterschied zwischen den Verteilungen gefunden werden, der dann ebenfalls ein Maß für die Güte des Fits repräsentiert (vergleich Kapitel 4).

Eine andere Herangehensweise, wahrscheinlich die noch weitaus gängigere Methode, ist die Transformation auf Basis empirischer, bereits publizierter Z-R-Beziehungen der Form $Z=a \cdot R^b$, deren Bestimmung noch immer Gegenstand aktueller Forschung ist.

Innerhalb des Werkvertrags werden die Z-R-Beziehung nach Joss et al. (1970) für Nieselregen

$$Z = 140R^{1.5}$$

die Standard-Z-R-Beziehung des DWD

$$Z = 256R^{1.42}$$

sowie die 3-teilige Z-R-Beziehung des DWD

$$Z = aR^b \text{ mit } \begin{cases} a = 125, & b = 1,4 & : & Z < 37dBZ \\ a = 200, & b = 1,6 & : & 37dBZ \leq Z \leq 44dBZ \\ a = 77, & b = 1,9 & : & Z > 44dBZ \end{cases}$$

verwendet. Insbesondere die beiden letztgenannten Beziehungen finden verbreitet Anwendung. Somit erscheint es wissenswert, ob sie im statistischen Mittel und somit für die zu bearbeitende Fragestellung hinreichende Übereinstimmung erzielen. Die Anwendung der WPMM soll zusätzlich näher betrachtet werden, um die Sensitivität des Ergebnisses des statistischen Vergleichs der Verteilungen von der Z-R-Beziehung noch weiter zu demonstrieren.

5.7.2.3 Überführung von Raum in Zeit

- *Taylor-Hypothese*

Wesentlicher Gegenstand des Werkvertrags sind die Möglichkeiten einer Transformation zeitlicher Information in räumliche Information. In diesem Zusammenhang steht die Taylor-Hypothese (Taylor, 1938), bekannt aus der Turbulenzdynamik. Zawadski (1973) konnte zeigen, das diese Hypothese für den Niederschlag in einem bestimmten zeitlichen Rahmen erfüllt ist: Die zeitlich gemittelte Autokorrelationsfunktion (ACF) des Raumes ist in Zugrichtung für kleine zeitliche Lags (bis 40 min.) gleich der Eulerschen ACF der Zeit.

Die Taylor-Hypothese ist also für den Niederschlagsprozess anwendbar. D.h., das Niederschlagssystem ist in der Hinsicht statistisch stationär, dass die Eigenschaften der räumlichen Variationen aus zeitlichen Variationen an einem Punkt erhalten werden können, indem mithilfe der Geschwindigkeit des Ereignisses Zeit in Raum transformiert wird. Detaillierte Informationen sowie die Beweisführung finden sich bei Zawadski (1973).

- *ATI-Methode von Atlas et al.*

Doneaud et al. (1984) fanden gemäß Messungen in North Dakota, dass die Volumenniederschlagsrate V (Integral der Regenraten über Fläche und Zeit) eines einzelnen Gewitters mit überraschender Genauigkeit angegeben werden kann, indem lediglich das Raum-Zeitintegral (ATI) über das Gebiet mit Reflektivitäten über eine bestimmte Schwelle τ über die Lebenszeit des Gewitters bestimmt wird. Insbesondere für τ=25 dBZ fanden Doneaud et al. die Beziehung V=3.7·ATI mit einem Korrelationskoeffizient von 0.98.

Atlas et al. greifen das in einem Paper von 1990 wieder auf und liefern dazu eine Theorie, die nicht ausschließlich für die Schätzung des totalen Niederschlags eines einzelnen Sturms über seine Lebenszeit greift, sondern auch für die Schätzung des flächenweiten momentanen Niederschlags von einer Vielzahl von Gewittern gültig ist. Beide Schätzer stützen sich lediglich auf die Messung der Fläche der Gewitter mit Reflektivitäten oder äquivalenten Niederschlagsintensitäten oberhalb einer bestimmten Schwelle τ.

Die interessante Verknüpfung zur hier behandelten Thematik ist, dass die Theorie auf der Existenz einer gutmütigen, konstanten Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion der Regenintensitäten entweder von einem Gewitter über seine Lebenszeit oder einer Vielzahl solcher Ereignisse zu einem Zeitpunkt beruht.

In der von Atlas et al. bestätigten Gleichung

$$V = (ATI)S(\tau)$$

ist der von Doneaud et al. in North Dakota empirisch bestimmte Faktor S(τ) vollkommen durch die klimatologische PDF der Regenraten R bestimmt:

$$S(\tau) = \frac{\int_o^\infty RP(R)dR}{\int_\tau^\infty P(R)dR}$$

Hier bezeichnet P(R) die Wahrscheinlichkeitsdichte von R. S(τ) ist somit gegeben durch den Erwartungswert der Regenrate dividiert durch die Überschreitungswahrscheinlichkeit der Schwelle. Der Faktor wird nun in der Theorie als konstant für eine gegebene Schwelle τ postuliert, da er vollständig durch die klimatologische Regenrate R bestimmt sei. Ein Gewitter durchwandert typische Änderungen während seiner Lebenszeit, wie die Wachstumsphase, das konvektive und das abklingende Stadium. Die Existenz einer gutmütigen, nahezu konstanten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bedeutet somit, dass alle Ereignisse ähnliche Stadien während ihrer Lebenszeit durchlaufen und ähnliche Regenraten produzieren. Damit das Raum-Zeit-Integral ATI ein nützliches Maß für den totalen Volumenniederschlag V ist, muss das Unwetter also alle diese verschiedenen Stadien durchlaufen, damit es verschiedene Regenraten über die Fläche, über die es hinwegstreicht, verteilt, um nahezu dieselbe Verteilung zu reproduzieren wie jedes andere konvektive Ereignis. Die Variabilität in den resultierenden Verteilungen von Ereignis zu Ereignis ist für die Streuung um die Regressionslinie von V und ATI verantwortlich. Diese Streuung scheint laut Literatur jedoch beachtenswert klein, sodass die klimatologische Verteilung als lokale für die V-ATI-Beziehung verwendet werden kann.

Ist diese Annahme richtig, so weisen konvektive Ereignisse ähnliche mittlere Regenraten auf. Das bedeutet wiederum, dass die räumliche Variabilität im Flächenniederschlag zum Großteil aus den Unterschieden in der Häufigkeit von konvektiven Ereignissen und weniger aus den Unterschieden in den Regenraten resultiert.

Eine Vergleichbarkeit der raum-zeitlichen Radar- und zeitlichen Punktstatistiken könnte aus der Annahme stabiler PDFs also resultieren, wenn immer wieder Systeme, die ähnliche Regenraten reproduzieren, im Laufe der Jahre den Regenmesser passieren und ebenso innerhalb räumlicher Radarbilder gleichzeitig eine Vielzahl von Regensystemen in verschiedenen Entwicklungsstadien mit charakteristischen Regenraten enthalten sind.

- *Datengrundlage*

Der Werkvertrag basiert einerseits auf DX-Daten des Hannoverschen Radars für den Zeitraum 26.10.2004 bis 19.12.2007 mit einer räumlichen Auflösung von 1° x 1km und einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten und andererseits auf Regenmessungen am Boden von sechs im Umkreis des Radars gelegenen Stationen. Die geografische Lage der Stationen und des Radars sind in Tabelle 5-7 aufgeführt. Zwar liegen sowohl die DX-Daten als auch die beobachteten Niederschlagsmessungen am Boden in 5-minütiger Auflösung vor, jedoch variiert die Genauigkeit der Niederschlagsregistrierung am Boden sowohl zeitlich an einer Station als auch von Station zu Station. Da ein Zusammenhang der Ergebnisse zur Methode der Niederschlagsregistrierung der Messstationen und der Entfernung zum Radar Hannover wahrscheinlich ist, sind in Tabelle 5-7 diese Stationsinformationen ebenfalls zusammenfassend dargelegt. Vermutlich erfolgte teilweise die Registrierung durch Regenwippen, wenn die kleinste registrierte Niederschlagshöhe 0.1 mm beträgt. Größere Niederschlagshöhen sind dann ebenfalls ganzzahlige Vielfache von 0.1 mm. Bei einer zeitlichen Auflösung von 5 min. entspricht dies einer kleinsten Niederschlagsrate von 1.2 mm/h.

Tabelle 5-7: Die geografische Lage der betrachteten Niederschlagsstationen und des Radars Hannover.

Stationsnr	Station	Grad, Min., Sek. Nord	Grad, Min., Sek. Ost
44643	Braunlage	51 43 30	10 36 14
54428	Göttingen	51 30 06	09 57 10
56329	Diepholz	52 35 25	08 20 47
54251	Braunschweig	52 17 35	10 26 55
55116	Soltau	52 57 42	09 47 48
56044	Bremen	53 02 47	08 47 58
WMO - Kennziffer	Radar	Grad, Min., Sek. Nord	Grad, Min., Sek. Ost
10338	Hannover	52 27 47	09 41 54

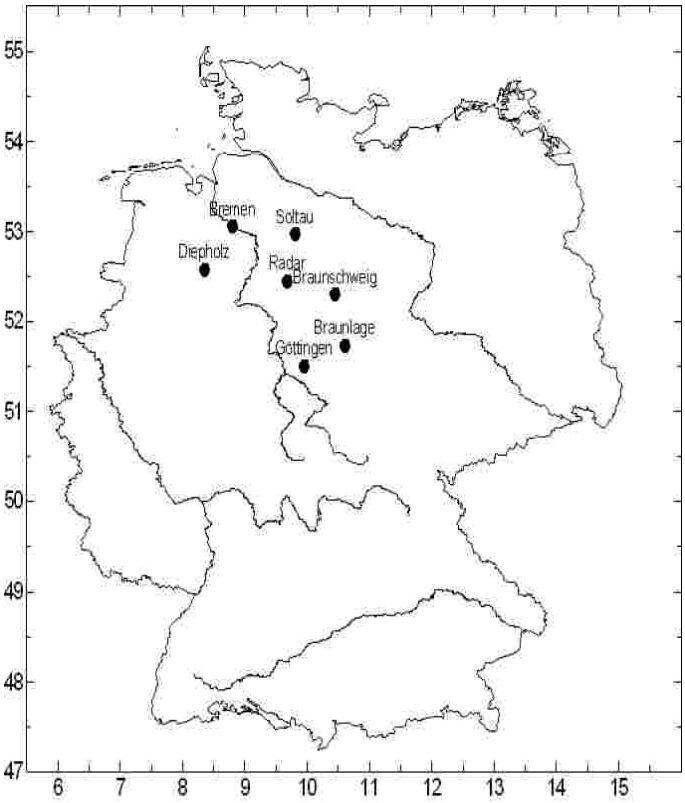


Abbildung 5-28: Darstellung der räumlichen Verteilung verfügbarer Messstationen um das Radar Hannover

Tabelle 5-8: Verfügbare Punktzeitreihen im Bereich des Radars Hannover mit ihrer Entfernung zum Radar und den unterschiedlichen Genauigkeiten im Beobachtungszeitraum

Station	Entfernung [km]	Zeitraum und Auflösung (gering=g, mittel=m, hoch=h)
Braunlage	103.5 km	g:1993-2006
Göttingen	108.6 km	h:1951-10.1993 g:11.1993-20.10.2003 m:21.10.2003-2006
Diepholz	91.62 km	g:7.1996-2003 m:2004-2006
Braunschweig	55.36 km	h:1952-1980 g:1998-2003 m:2004-2006
Soltau	56.06 km	h:1959-1984 g:1993-2003 h:2004-2006
Bremen	88.09 km	h:1955-1992 m:1993-7.1994 g:8.1994-2006

Gering bedeutet ganzzahlige Vielfache von 0.1mm (=1.2mm/h), mittel bedeutet ganzzahlige Vielfache von 0.01mm (=0.12mm/h) und hoch bedeutet eine kleinste registrierte Regenmenge von 0.003mm (=0.036mm/h).

Fortlaufend können dann die Niederschlagsraten 2.4 mm/h, 3.6 mm/h, 4.8 mm/h usw. registriert werden. Analog stellen bei der mittleren Genauigkeit die registrierten Regenraten ganzzahlige Vielfache von 0.12 mm/h dar. Im Rahmen der höchsten Auflösung beträgt die geringste registrierte Niederschlagsrate größer Null 0.036 mm/h, jedoch sind hier die Werte nicht auf ganzzahlige Vielfache des Minimumwerts beschränkt.

5.7.2.4 Sensitivitätsstudie zur WPMM

Nach der Darstellung der Möglichkeiten, wie Reflektivitäten in Regenraten zu transformieren sind, wird die bereits dargelegte Frage untersucht, ob vorliegende Zeitreihen der Punktmessungen und entsprechenden Radarsequenzen für identische Beobachtungszeiträume als Stichproben der gleichen Grundgesamtheit interpretiert werden können. Zunächst erscheint es so, als sei bei Anwendung der PMM bzw. WPMM die gesamte Fragestellung hinfällig. Per Definition resultiert dann aus der Transformation die Identität der beiden Verteilungen und die beiden Datensätze können damit als Stichproben aus derselben Grundgesamtheit angesehen werden. In der praktischen Anwendung jedoch verbleiben auch mit dieser Methode Unterschiede, wie die nachfolgende Sensitivitätsstudie belegt:

Es wurden Radardaten zweier aufeinander folgender Tage (hier 07./08.07.2005) verwendet. Weiterhin stehen 6 Stationen zur Verfügung, die zwischen 55 km (Braunschweig) und 104 km (Braunlage) vom Radar in Hannover entfernt sind. Ein kleines Fortranprogramm fordert zur Entscheidung zwischen der Verwendung aller Stationen (wird nicht empfohlen, da die Stationen recht unterschiedliche Entfernungen zum Radar aufweisen), der ausschließlichen Verwendung der 3 nächstgelegenen (Braunschweig, Soltau, Bremen) oder alternativ ausschließlich der 3 weitentferntesten Stationen (Braunlage, Göttingen, Diepholz) für die WPMM auf. Für den Vergleich eines Radarfensters (3x3) mit einem Niederschlagszeitfenster (die 3 zentrierten 5-Minuten-Werte unter einem jeden Radarfenster) erfolgt der Einfachheit halber der Vergleich des überlappenden Zeitraums eines Radartages (0 UTC- 23:55 UTC) mit einem Niederschlagstag (0 MEZ-23:55 MEZ) von 0-22:55 UTC. Nun wird für die Niederschlagswerte der 3 bzw. 6 Stationen die Zeitmitte eines jeden Tripels von 5-Minuten-Werten festgehalten und das zeitlich nächstgelegene Radar-DX-Produkt (ebenfalls in 5-minütiger Auflösung vorliegend) gewählt. In diesem DX-Produkt wird dann entsprechend der geografischen Lage jeder betrachteten Niederschlagsstation das 3x3 Radarpixel umfassende Fenster ausgeschnitten. Somit ergibt sich, dass der Datenumfang der gewählten DX-Daten dem Dreifachen der gewählten Niederschlagsdaten entspricht.

Bei der Anwendung der PMM bzw. WPMM wird nun ausschließlich die Verteilung der Z- und R-Werte verwendet und nicht die Information über zugeordnete Paare. Bei Vorliegen gleich großer Da-

tensätze können einfach beide Datensätze der Größe nach sortiert und so einander zugeordnet werden. Hier liegen jedoch unterschiedliche Stichprobenumfänge vor, d. h. identische empirische Perzentile werden zugeordnet. Dabei wird eine Übereinstimmung auf 0.1 % gefordert. Auf Basis dieser, einander zugeordneter Werte sollen nun die Parameter der Z-R-Beziehung bestimmt werden. Hierbei kann der Benutzer des Programms zwischen 2 Möglichkeiten auswählen:

Eine gewöhnliche lineare Regression kann zur Bestimmung der Parameter des Potenzgesetzes nach Anwendung des Logarithmus führen:

$$Log(Z) = Log(a) + b \cdot Log(R).$$

Diese Vorgehensweise wird im Folgenden als linearer Fit bezeichnet. Tabelle 5-9 zeigt die Reflektivitäten und zugeordnete Regenraten in Abhängigkeit der Anpassungsmethode. Es sind Z- und R-Perz die Reflektivität [dBZ] und die registrierte Regenrate am Boden des identischen Perzentils. Die Regenraten R-lin. und R-nichtlin. sind die berechneten Regenraten aus der Z-R-Beziehung nach der linearen und nach der nichtlinearen Anpassung.

Tabelle 5-9: Reflektivitäten und zugeordnete Regenraten in Abhängigkeit der Anpassungsmethode

Z [dBZ]	**R-Perz. [mm/h]**	**R-lin. [mm/h]**	**R-nichtlin. Fit [mm/h]**
38	22.8	23.4	22.7
37	18	19.4	18.9
35	14.4	13.3	13.2
33	9.8	9.1	9.2
32.5	8	8.3	8.4
31.5	6.4	6.9	7.0
31	6.1	6.3	6.4
29.5	5.3	4.7	4.9
28.5	3.6	3.9	4.1
27	3.5	3.0	3.1
26.5	2.4	2.7	2.8
25	2.2	2.0	2.2
24.5	1.8	1.8	2.0
23.5	1.2	1.5	1.7
21	1.1	1.0	1.1
20.5	1.0	0.9	1.0

Eine weitere Möglichkeit ist es, Z und R in seinen ursprünglichen Einheiten zu belassen und einen nichtlinearen Kleinste-Quadrate-Fit des gegebenen Potenzgesetzes durchzuführen. Zumeist wird sich der nichtlineare Fit vom linearen Fit sogar relativ deutlich unterscheiden. Die endgültige Wahl sollte auf den erzielten Übereinstimmungen zwischen den R-Werten auf Basis der gefitteten Z-R-Beziehung einerseits und den R-Werten gemäß identischer Perzentile andererseits beruhen. Für das Beispiel für den 7. und 8. Juli 2005 wurden nun lediglich die 3 am weitesten entfernten Stationen vom Radar für die WPMM verwendet. Tabelle 5-9 kann entnommen werden, dass der lineare Fit bei geringen Niederschlagsraten die bessere Anpassung liefert. Bei einem Fit über einen relativ großen Niederschlagsbereich zeigt sich jedoch deutlich die bessere Anpassung des nichtlinearen Fits für hohe Niederschlagsraten. Geht es also darum die Niederschlagssumme über ein Ereignis oder ein größeres Gebiet besser zu schätzen, so erscheint der nichtlineare Fit eine gute Wahl, da zumeist ein beträchtlicher Anteil des Niederschlags in Abschnitten mit hohen Niederschlagsraten fallen wird. Der nichtlineare Fit tendiert also zu einer weniger steilen Ausgleichslinie mit einem etwas höheren Parameter b und niedrigerem Parameter a in der resultierenden Z-R-Beziehung.

Für das genannte Beispiel sind die resultierenden Z-R-Beziehungen

$$Z=132.8 \cdot R^{1.23}$$

für den linearen Fit und

$$Z=117.82 \cdot R^{1.27}$$

für den nichtlinearen Fit.

Nach Auswahl der Anpassungsmethode erfolgt ein Vergleich der Verteilung (wieder Kolmogorov-Smirnov-Test) und einiger Kenngrößen (Mittel, Varianz, Schiefe und Exzess) des Regenmesserdatensatzes und der aus den Reflektivitäten abgeleiteten Niederschlagsraten, d. h. ein Vergleich der beiden zur WPMM verwendeten Datensätze. Da die WPMM per Definition bei optimal gelungenen Fit eine Identität der Verteilungen beinhaltet, reflektieren die Abweichungen die Güte des Fits (gute bzw. schlechte Wahl der Anpassungsmethode, starke oder geringe Streuung um die Ausgleichslinie) im Rahmen der Anpassung eines Potenzgesetzes.

Tabelle 5-10: Die resultierenden, empirischen Häufigkeitsverteilungen

NN [Anz.]:	1603.	21.	13.	7.	5.	1.	0.	2.	1.	0.	2.	0.	1.
Z− >R [Anz.]:	4774.	110.	31.	14.	14.	8.	4.	2.	6.	1.	1.	1.	2.
Stützstelle [mm/h]:	0.9	2.6	4.4	6.1	7.9	9.6	11.4	13.2	14.9	16.7	18.4	20.2	21.9

Hinweis: Entsprechend der WPMM unterscheiden sich die Datensätze der Niederschlagsmessungen am Boden (NN) und Reflektivitäten (Z) im Strichprobenumfang um den Faktor 3

Tabelle 5-11: Einige Kenngrößen im Vergleich

	Mittel	Varianz	Schiefe	Exzess
Sation (NN) :	0.2482608	1.6315079	10.1467333	1.3043384E+02
Aus Refl. (Z):	0.2756389	1.5246539	9.3467646	1.1494132E+02

Aufgrund Tabelle 5-9 fiel nun in dieser Sensitivitätsstudie die Wahl auf den nichtlinearen Fit. Tabelle 5-10 stellt nun die resultierende Verteilung der transformierten Regenraten der Verteilung der Niederschlagsmessungen am Boden gegenüber. Der Kolmogorov-Smirnov-Test lehnt in dem Beispiel die beiden Stichproben entstammten derselben Verteilung mit 100 % ab.

Tabelle 5-11 ist zu entnehmen, dass die Mittelwerte noch vergleichbar sind, die Kenngrößen zur Form der Verteilung jedoch schon deutlich voneinander abweichen. Die Sensitivitätsstudie zeigt somit, dass selbst bei Verwendung der WPMM statistisch signifikante Unterschiede in den Verteilungen resultieren können.

- Prinzipielle Vergleichbarkeit der Statistiken

Um zu testen, ob prinzipiell die Statistiken von Punktzeitreihen und die der raum-zeitlichen Werte aus den DX-Daten vergleichbar sind, werden zunächst vorliegende identische Zeiträume verwendet. Dies sind die Jahre 2005 und 2006. Da zum einen der nicht unerhebliche Jahresgang des Niederschlags Berücksichtigung finden sollte und ohnehin bessere Vergleichbarkeit im Sommer als im Winter erwartet wird, werden die Vergleiche zunächst für einzelne Monate durchgeführt. Somit sind im Folgenden einerseits Regenraten des Monats Januar, repräsentativ für den Winter mit weniger konvektiven Ereignissen, und Regenraten des Monats Juli des gemeinsamen Beobachtungsintervalls 2005 bis 2006 untersucht worden. Bisher werden ausschließlich Niederschlagsraten größer gleich 1.2 mm/h verwendet.

Der statistische Vergleich stützt sich auf den Mittelwert sowie die Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Schwellenwerte τ=2.4, 4.8, 7.2 und 9.6 mm/h (ganzzahlige Vielfache von 1.2 mm/h).

Um den Punkt 3 der Existenz einer hinreichenden Z-R-Beziehung zu berücksichtigen, wurden zunächst 3 verschiedene Z-R-Beziehungen betrachtet. Zur Transformation der Reflektivitäten der 7x7-, 11x11- und 15x15-Pixelumgebungen der jeweiligen Regenmesserstation in Regenraten werden die Z-R-Beziehung von Joss et al. (1970) für Nieselregen, die Standard-Z-R-Beziehung des Wetterdienstes und die 3-teilige Z-R-Beziehung des Wetterdienstes (siehe Gleichungen I bis III) angewendet.

Eine zusätzliche Problematik innerhalb der Vergleichbarkeit entsteht durch die heterogene Genauigkeit in den Stationszeitreihen (siehe Tabelle 5-8). Die unterschiedlichen Genauigkeiten ändern die Verteilung der Regenraten und haben somit wesentlichen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Statistiken. Alternativ könnte ein Vergleich von akkumulierten Niederschlagssummen über etwas längere Zeitintervalle durchgeführt werden (evtl. 30 min.).

In Tabelle 5-12 bis Tabelle 5-16 sind die Ergebnisse für den statistischen Vergleich der Mittelwerte übersichtlich zusammengestellt. Der Mittelwert ist jedoch noch eine relativ robuste statistische Größe. Sehr viel deutlicher zeichnen sich die Vergleichbarkeiten und Unterschiede zwischen den Statistiken der Punktmessungen und der Radardaten jedoch bei dem Vergleich von empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten bestimmter Schwellen ab. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 5-17 bis Tabelle 5-22 zusammengestellt.

Tabelle 5-12: Mittelwerte der Regenraten R≥1.2mm/h [mm/h] auf Basis der Punktmessungen und ihrer 7x7-, 11x11 und 15x15 DX-Pixelumgebungen für den Januar in den Jahren 2005-2006

	Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36 km) mittel	Soltau (56.06 km) hoch	Bremen (88.09 km) gering
Regenmesser	3.56	5.98	5.75	5.83	5.77	3.46
7x7 pixel	**7.87**	**7.35**	6.45	5.17	6.03	**4.61**
11x11 pixel	**7.87**	**7.22**	6.43	5.28	6.38	**5.12**
15x15 pixel	**7.64**	**7.24**	6.24	5.28	6.51	**5.27**

Die Transformation der Radardaten erfolgte durch Anwendung der 3-teiligen Z-R-Beziehung des DWD. Fett gedruckte Mittelwerte der Pixelumgebung weisen auf eine signifikante Abweichung von dem jeweiligen Mittelwert der Station hin.

Tabelle 5-13: Analog zu Tabelle 5-12 jedoch Juli, 2005-2006

	Braunlage (103.5 km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36 km) mittel	Soltau (56.06 km) hoch	Bremen (88.09 km) gering
Regenmesser	2.19	2.12	2.60	2.40	2.88	1.87
7x7 pixel	**1.87**	**1.87**	2.32	**2.78**	2.75	**2.60**
11x11 pixel	2.13	**1.92**	2.29	**2.75**	2.88	**2.59**
15x15 pixel	2.16	**1.93**	2.29	**2.73**	2.76	**2.56**

Tabelle 5-14: Mittelwerte der Regenraten R≥1.2 mm/h [mm/h] auf Basis der Punktmessungen und ihrer 7x7, 11x11 und 15x15 DX-Pixelumgebungen für den Januar in den Jahren 2005-2006

	Braunlage (103.5 km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36 km) mittel	Soltau (56.06 km) hoch	Bremen (88.09 km) gering
Regenmesser	2.19	2.12	2.60	2.40	2.88	1.87
7x7 pixel	**1.63**	**1.61**	**2.20**	2.31	**2.25**	**2.21**
11x11 pixel	**1.90**	**1.69**	**2.14**	2.28	**2.27**	**2.21**
15x15 pixel	**1.90**	**1.70**	**2.13**	2.26	**2.29**	**2.20**

Die Transformation der Radardaten erfolgte durch Anwendung der Standard Z-R-Beziehung des DWD. Fett gedruckte Mittelwerte der Pixelumgebung weisen auf eine signifikante Abweichung von dem jeweiligen Mittelwert der Station hin.

Tabelle 5-15: Analog zu Tabelle 5-14 jedoch Juli, 2005-2006

	Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) Mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
Regenmesser	3.56	5.98	5.75	5.83	5.77	3.46
7x7 pixel	**6.10**	5.56	5.13	4.14	**4.58**	3.68
11x11 pixel	**6.03**	5.46	5.12	5.83	**4.79**	**4.13**
15x15 pixel	**5.84**	5.49	4.97	4.29	**4.87**	**4.24**

Tabelle 5-16: Mittelwerte der Regenraten R≥1.2mm/h [mm/h] auf Basis der Punktmessungen und ihrer 7x7-, 11x11 und 15x15 DX-Pixelumgebungen für den Januar in den Jahren 2005-2006

	Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
Regenmesser	2.19	2.12	2.60	2.40	2.88	1.87
7x7 pixel	**1.76**	**1.89**	**2.12**	**2.03**	**2.53**	**2.2**
11x11 pixel	**2.84**	**1.66**	2.81	2.37	2.68	**2.50**
15x15 pixel	**2.93**	**1.68**	2.42	2.29	**1.98**	**2.39**

Die Transformation der Radardaten erfolgte durch Anwendung der Joss Z-R-Beziehung für Nieselregen. Fett gedruckte Mittelwerte der Pixelumgebung weisen auf eine signifikante Abweichung von dem jeweiligen Mittelwert der Station hin.

Tabelle 5-17: Analog zu Tabelle 5-16 jedoch Juli, 2005-2006

	Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
Regenmesser	3.56	5.98	5.75	5.83	5.77	3.46
7x7 pixel	**7.69**	**4.78**	5.14	3.99	5.77	3.77
11x11 pixel	**5.10**	5.93	**4.47**	4.35	**3.90**	**4.95**
15x15 pixel	**4.41**	5.83	6.07	4.06	5.62	**4.46**

Tabelle 5-18: Vergleich der empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten im Januar für die Jahre 2005-2006 für die Schwellen 2.4 mm/h, 4.8 mm/h, 7.2 mm/h und 9.6 mm/h bei Betrachtung aller Regenraten ≥1.2 mm/h

		Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
2.4	S/7x7	**43.44/15.85**	**37.37/15.33**	**31.60/24.99**	**30.69/39.60**	36.73/40.62	**22.93/34.81**
	S/11x11	**43.44/22.88**	**37.37/16.17**	**31.60/24.83**	**30.69/39.37**	36.73/39.94	**22.93/34.44**
	S/15x15	**43.44/24.37**	**37.37/16.37**	**31.60/24.85**	**30.69/39.14**	36.73/39.89	**22.93/33.83**
4.8	S/7x7	**9.70/0.60**	**5.11/0.60**	**10.38/4.75**	8.91/7.64	**12.24/8.86**	6.61/7.38
	S/11x11	**9.70/1.99**	**5.11/1.02**	**10.38/4.57**	8.91/7.74	**12.24/8.81**	6.61/7.18
	S/15x15	**9.70/2.52**	**5.11/1.13**	**10.38/4.44**	8.91/7.70	**12.24/8.86**	6.61/6.69
7.2	S/7x7	**1.81/0.06**	0.54/0.37	2.83/2.24	2.97/3.75	**6.80/3.89**	2.89/3.50
	S/11x11	**1.81/0.47**	0.54/0.54	2.83/2.20	2.97/3.61	**6.80/3.87**	2.89/3.32
	S/15x15	**1.81/0.81**	0.54/0.56	2.83/2.22	2.97/3.58	**6.80/3.87**	2.89/2.97
9.6	S/7x7	**0.71/0.00**	0.27/0.07	1.42/1.13	0.99/1.67	**3.74/1.46**	2.07/1.55
	S/11x11	**0.71/0.14**	0.27/0.27	1.42/1.14	0.99/1.57	**3.74/1.58**	2.07/1.52
	S/15x15	**0.71/0.35**	0.27/0.25	1.42/1.14	0.99/1.67	**3.74/1.72**	2.07/1.33

In jedem Feld ist die geschätzte Überschreitungswahrscheinlichkeit der Stationszeitreihe (S=erster Wert) dem erhaltenen Wert aus der jeweiligen Pixelumgebung gegenübergestellt (7x7, 11x11 bzw. 15x15 = zweiter Wert). Im Falle signifikanter Abweichungen sind die Werte fett gedruckt. Die Transformation der DX-Daten erfolgte mit der 3teiligen Z-R-Beziehung des DWD.

Tabelle 5-19: Analog zu Tabelle 5-18 jedoch Juli, 2005-2006

		Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
2.4	S/7x7	**53.31/61.23**	**54.33/63.64**	48.74/56.75	**51.43/53.84**	62.57/63.92	45.98/56.14
	S/11x11	**53.31/62.38**	**54.33/63.55**	48.74/56.87	51.43/54.21	**62.57/64.58**	**45.98/58.39**
	S/15x15	53.31/62.45	54.33/63.26	48.74/56.79	51.43/54.59	62.57/64.75	**45.98/55.86**
4.8	S/7x7	**18.07/30.18**	27.56/32.74	**28.64/23.58**	**20.41/18.52**	31.58/28.55	18.16/21.64
	S/11x11	**18.07/31.68**	**27.56/32.54**	**28.64/24.36**	**20.41/18.81**	**31.58/28.50**	**18.16/26.58**
	S/15x15	**18.07/31.81**	27.56/32.14	**28.64/24.35**	20.41/19.57	**31.58/28.04**	**18.16/22.79**
7.2	S/7x7	**9.19/19.27**	**19.69/23.01**	**22.11/15.21**	11.43/10.97	20.76/18.29	9.89/12.84
	S/11x11	9.19/20.79	19.69/22.38	**22.11/15.82**	11.43/11.53	**20.76/18.24**	**9.89/16.23**
	S/15x15	**9.19/21.09**	19.69/21.90	**22.11/15.88**	11.43/12.10	**20.76/17.87**	9.89/12.51
9.6	S/7x7	**6.02/12.02**	**14.57/14.96**	**16.08/9.76**	6.94/7.13	11.99/11.63	6.21/7.38
	S/11x11	6.02/13.24	14.57/14.79	**16.08/10.10**	6.94/7.35	11.99/11.58	**6.21/10.66**
	S/15x15	6.02/13.35	14.57/14.49	**16.08/10.12**	6.94/7.80	11.99/11.33	6.21/7.05

Tabelle 5-20: Vergleich der empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten im Januar für die Jahre 2005-2006 für die Schwellen 2.4 mm/h, 4.8 mm/h, 7.2 mm/h und 9.6 mm/h bei Betrachtung aller Regenraten ≥1.2 mm/h

		Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
2.4	S/7x7	**43.44/8.14**	**37.37/6.00**	**31.60/22.83**	30.69/28.14	**36.73/29.20**	22.93/26.20
	S/11x11	**43.44/14.96**	**37.37/7.75**	**31.60/21.97**	30.69/27.65	**36.73/29.38**	22.93/25.60
	S/15x15	**43.44/15.52**	**37.37/8.28**	**31.60/21.96**	30.69/27.23	**36.73/29.49**	22.93/25.99
4.8	S/7x7	**9.70/0.00**	**5.11/0.96**	**10.38/4.98**	**8.91/5.15**	**12.24/4.40**	6.61/5.13
	S/11x11	**9.70/0.71**	**5.11/1.46**	**10.38/4.53**	**8.91/4.80**	**12.24/4.73**	6.61/4.87
	S/15x15	**9.70/1.44**	**5.11/1.38**	**10.38/4.59**	**8.91/4.90**	**12.24/5.03**	**6.61/4.36**
7.2	S/7x7	**1.81/0.00**	0.54/0.12	2.83/2.34	2.97/1.75	**6.80/1.44**	2.89/1.86
	S/11x11	**1.81/0.32**	0.54/0.75	2.83/2.12	2.97/1.67	**6.80/1.55**	2.89/1.80
	S/15x15	**1.81/0.63**	0.54/0.67	2.83/2.08	2.97/1.82	**6.80/1.81**	**2.89/1.58**
9.6	S/7x7	**0.71/0.00**	0.27/0.00	1.42/1.35	0.99/1.06	**3.74/0.57**	**2.07/0.79**
	S/11x11	**0.71/ 0.21**	0.27/0.42	1.42/0.94	0.99/0.96	**3.74/0.65**	**2.07/0.84**
	S/15x15	0.71/0.38	0.27/0.39	1.42/0.86	0.99/0.85	**3.74/0.74**	**2.07/0.79**

In jedem Feld ist die geschätzte Überschreitungswahrscheinlichkeit der Stationszeitreihe (S=erster Wert) dem erhaltenen Wert aus der jeweiligen Pixelumgebung gegenübergestellt (7x7, 11x11 bzw. 15x15 = zweiter Wert). Im Falle signifikanter Abweichungen sind die Werte fett gedruckt. Die Transformation der DX-Daten erfolgte mit der Standard Z-R-Beziehung des DWD.

Tabelle 5-21: Analog zu Tabelle 5-20 jedoch Juli, 2005-2006

		Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
2.4	S/7x7	53.31/56.52	54.33/57.79	48.74/48.20	**51.43/42.15**	**62.57/52.85**	45.98/47.51
	S/11x11	**53.31/57.35**	54.33/57.86	48.74/49.54	**51.43/42.52**	**62.57/52.45**	45.98/48.26
	S/15x15	**53.31/57.43**	54.33/57.37	48.74/49.84	**51.43/43.42**	**62.57/52.08**	45.98/45.98
4.8	S/7x7	**18.07/21.31**	27.56/25.97	**28.64/18.24**	**20.41/13.50**	**31.58/20.36**	18.16/15.25
	S/11x11	**18.07/23.0**9	27.56/25.52	**28.64/18.97**	**20.41/14.03**	**31.58/19.87**	18.16/16.71
	S/15x15	**18.07/23.55**	27.56/24.97	**28.64/18.92**	**20.41/14.74**	**31.58/19.45**	18.16/17.51
7.2	S/7x7	**9.19/13.26**	**19.69/15.39**	**22.11/10.77**	**11.43/7.72**	**20.76/11.72**	9.89/8.08
	S/11x11	**9.19/14.19**	**19.69/14.94**	**22.11/11.27**	11.43/8.28	**20.76/11.75**	9.89/9.50
	S/15x15	**9.19/14.01**	**19.69/14.65**	**22.11/11.24**	11.43/8.63	**20.76/11.63**	9.89/10.14
9.6	S/7x7	**6.02/9.82**	**14.57/10.71**	**16.08/7.22**	6.94/5.66	**11.99/8.05**	6.21/5.13
	S/11x11	**6.02/10.23**	**14.57/10.27**	**16.08/7.64**	6.94/5.96	**11.99/8.36**	6.21/6.22
	S/15x15	**6.02/10.03**	**14.57/9.92**	**16.08/7.54**	6.94/6.23	**11.99/8.35**	6.21/6.63

Tabelle 5-22: Vergleich der empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten im Januar für die Jahre 2005-2006 für die Schwellen 2.4mm/h, 4.8mm/h, 7.2mm/h und 9.6mm/h bei Betrachtung aller Regenraten ≥1.2mm/h

		Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
2.4	S/7x7	**43.33/10.44**	**37.37/16.44**	31.60/26.40	**30.69/21.83**	36.73/42.39	**22.93/31.04**
	S/11x11	**43.33/48.61**	**37.37/4.58**	31.60/29.97	30.69/33.06	**36.73/40.68**	22.93/19.41
	S/15x15	**43.33/55.64**	**37.37/5.54**	31.60/28.10	30.69/25.83	**36.73/17.98**	**22.93/29.78**
4.8	S/7x7	**9.70/0.22**	**5.11/2.05**	**10.38/1.60**	**8.91/2.06**	**12.24/5.14**	**6.61/2.04**
	S/11x11	9.70/10.58	**5.11/0.00**	10.38/11.15	8.91/5.90	**12.24/8.39**	6.61/5.19
	S/15x15	9.70/11.76	**5.11/0.00**	**10.38/5.06**	**8.91/5.29**	**12.24/1.74**	6.61/5.59
7.2	S/7x7	**1.81/0.00**	0.54/0.68	**2.83/0.00**	**2.97/0.29**	**6.80/1.03**	**2.89/0.25**
	S/11x11	**1.81/3.34**	0.54/0.00	2.83/5.23	2.97/1.37	6.80/2.80	2.89/3.86
	S/15x15	**1.81/0.95**	0.54/0.00	2.83/2.66	2.97/1.67	6.80/0.28	2.89/2.60
9.6	S/7x7	**0.71/0.00**	0.27/0.00	**1.42/0.00**	0.99/0.00	**3.74/0.21**	**2.07/0.00**
	S/11x11	0.71/0.74	0.27/0.00	1.42/3.14	0.99/0.00	**3.74/0.93**	2.07/2.93
	S/15x15	**0.71/0.00**	0.27/0.00	1.42/1.39	0.99/0.62	**3.74/0.00**	2.07/1.08

In jedem Feld ist die geschätzte Überschreitungswahrscheinlichkeit der Stationszeitreihe (S=erster Wert) dem erhaltenen Wert aus der jeweiligen Pixelumgebung gegenübergestellt (7x7, 11x11 bzw. 15x15 = zweiter Wert). Im Falle signifikanter Abweichungen sind die Werte fett gedruckt. Die Transformation der DX-Daten erfolgte mit der Joss Z-R-Beziehung für Nieselregen.

Tabelle 5-23: Analog zu Tabelle 5-22 jedoch Juli, 2005-2006

		Braunlage (103.5km) gering	Göttingen (108.6 km) mittel	Diepholz (91.62 km) mittel	Braunschweig (55.36km) mittel	Soltau (56.06km) hoch	Bremen (88.09km) gering
2.4	S/7x7	**53.31/72.32**	**54.33/69.96**	48.74/50.60	**51.43/40.45**	62.57/62.50	45.98/48.67
	S/11x11	**53.31/64.92**	**54.33/67.23**	48.74/48.11	51.43/47.40	**62.57/55.17**	**45.98/58.39**
	S/15x15	53.31/53.53	54.33/58.42	48.74/51.23	51.43/46.46	62.57/59.33	**45.98/55.86**
4.8	S/7x7	**18.07/34.55**	27.56/27.27	**28.64/19.99**	**20.41/13.77**	31.58/35.02	18.16/17.42
	S/11x11	**18.07/27.28**	**27.56/37.16**	**28.64/18.31**	**20.41/15.60**	**31.58/16.38**	**18.16/26.58**
	S/15x15	**18.07/25.82**	27.56/28.14	**28.64/19.01**	20.41/18.20	**31.58/23.29**	**18.16/22.79**
7.2	S/7x7	**9.19/14.38**	**19.69/13.04**	**22.11/11.63**	11.43/8.43	20.76/22.74	9.89/9.44
	S/11x11	9.19/10.89	19.69/22.78	**22.11/10.46**	11.43/8.74	**20.76/8.97**	**9.89/16.23**
	S/15x15	**9.19/12.41**	19.69/17.04	**22.11/11.74**	11.43/10.66	**20.76/13.86**	9.89/12.51
9.6	S/7x7	**6.02/8.80**	**14.57/8.30**	**16.08/7.64**	6.94/6.02	11.99/14.02	6.21/5.85
	S/11x11	6.02/7.39	14.57/13.59	**16.08/6.60**	6.94/8.74	**11.99/4.48**	**6.21/10.66**
	S/15x15	6.02/7.19	14.57/11.07	**16.08/7.69**	6.94/5.01	11.99/9.70	6.21/7.05

Die Ergebnisse zeigen:

- Eine hohe Genauigkeit der Punktmessung ist wichtig für den statistischen Vergleich von Regenraten, siehe beispielsweise Tabelle 5-12 und Tabelle 5-13. Die besten Übereinstimmungen werden für Soltau, Braunschweig und Diepholz erzielt. An diesen Stationen sind die Messungen in den Jahren 2005 und 2006 von hoher oder mittelmäßiger Genauigkeit (vgl. Tabelle 5-8 und Vermerk in den folgenden Tabellen).
- Überlagert ist der Effekt, dass die Vergleichbarkeit der Statistiken deutlich mit dem Abstand vom Radar abnimmt. Wiederum Vergleich der Tabelle 5-12 und Tabelle 5-13. Noch deutlicher treten die Unterschiede für den Vergleich der Wahrscheinlichkeiten hervor.
- Generell schlechtere Vergleichbarkeit im Winter als im Sommer (vgl. beispielsweise Tabelle 5-17 und Tabelle 5-18).
- Die Anwendung der 3teiligen Z-R-Beziehung des DWD bringt die besten Übereinstimmungen.
- Sehr schlechte/ keine Übereinstimmung der Radarstatistik mit der Punktmessung bei großem Abstand vom Radar und geringer Genauigkeit (Braunlage, alle Tabellen).
- Sehr gute Übereinstimmung im Sommer an der nächstgelegenen Station zum Radar mit hoher Genauigkeit: Soltau.

5.7.2.5 Zusammenfassung

1. Ein Vergleich der Statistiken bzw. ein Übertragen der zeitlichen Statistiken an einem Punkt auf räumliche Radarstatistiken sollte entsprechend der hier gefundenen Ergebnisse auf den Sommer bzw. auf überwiegend konvektive Ereignisse beschränkt bleiben. Die Reproduktion relativ konstanter Wahrscheinlichkeitsdichten von Regenraten konvektiver Ereignisse scheint die Erklärung für eine erfolgreiche Vergleichbarkeit der Statistiken.
2. In sehr viel heterogeneren Gebieten, beispielsweise stark orografisch beeinflussten Niederschlagsregimen, können schlechtere Ergebnisse bzgl. der Vergleichbarkeit erwartet werden.
3. Es können ausschließlich Punktmessungen für einen Vergleich bzw. Übertrag der Statistiken verwendet werden, die sich möglichst nahe zum Radar befinden.
4. Ist in einem Radarbereich die Vergleichbarkeit der Statistiken für gemeinsame Zeitperioden bestätigt worden (beispielsweise Soltau mit Radar Hannover im Sommer unter Anwendung der 3teiligen Z-R-Beziehung), so kann die zeitliche Statistik der Punktmessung in den Raum übertragen werden.

5. Vor dem Übertragen raum-zeitlicher Statistiken auf Zeitabschnitte, in denen ausschließlich Punktmessungen vorliegen, sollten Stationaritätstests dieser lokalen Zeitreihen durchgeführt werden. Im instationären Fall sind ebenso langfristige Änderungen der raum-zeitlichen Statistiken zu vermuten.

5.7.3 Schlussbemerkung

Beide Werkverträge zeigen, dass die beiden Niederschlagsstatistiken miteinander vergleichbar sind. Es werden jedoch durchaus Unterschiede deutlich, was angesichts der unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Auflösung sowie verschiedenartigen Messtechnik nicht anders zu erwarten war.

Werkvertrag I zeigt, dass ein quantitativer Vergleich nur schwer möglich ist. Allerdings könnten die Verteilungsmuster der KOSTRA-Statistik durch die Radarstatistik verfeinert werden, da gerade in Gebieten mit Geländerelief, z. B. im Mittelgebirgsbereich, die Verteilung der Extremwerte aus KOSTRA zu hinterfragen sind. Das zeigt auch Werkvertrag II. Werkvertrag I beschäftigt sich zudem mit statistischen Maßen beider Niederschlagsstatistiken aller vorhandenen Daten an allen Radarstandorten, um deren Vergleichbarkeit zu prüfen. In diesem Werkvertrag wird nicht untersucht, wie beide Statistiken miteinander verknüpft werden können.

Hier setzt Werkvertrag II an. Es werden die Grundvoraussetzungen für eine Vergleichbarkeit der Statistiken untersucht, was auch die Frage nach Verteilungsunterschieden mit sich bringt. Dieser Werkvertrag setzt also nicht bei den fertigen Niederschlagsstatistiken an, sondern vergleicht Rohwerte einer Zeitreihe, in diesem Fall Stationsmesswerte und Daten des Radars Hannover miteinander. Nicht die Verteilungsmuster sind damit hier entscheidend, sondern die Systematik, die dahintersteckt, bzw. die Voraussetzungen sowie die Art und Weise, wie die Niederschlagsstatistiken miteinander verknüpft werden können.

6 Vorhersage von konvektiven Starkregen

6.1 Untersuchungsziele

Recherche zum heutigen Stand der Vorhersage von kleinräumigen Extremniederschlägen (NWP, Nowcasting-Verfahren) (WARNUNG).

- Fokus der Weiterentwicklung derartiger Verfahren bildet hier das vorhandene System KONRAD, das für Warnungen vor sturzflutartigen Regenfällen erweitert werden soll. Die Anwendbarkeit der Systeme und Daten zu KOSTRA und RADVOR_OP ist für diesen Aufgabenbereich zu spezifizieren.
- Die Ergebnisse werden DWD-intern unterschiedlich genutzt; z. B. können die Daten von Zellzugbahnen außer für die hier geplante Gefährdungs- und Risikokarte auch für das Vorhersagemodell genutzt werden. Der operationelle Einsatz der geplanten 2. Warnstufe für Starkregen in KONRAD könnte die Möglichkeit eröffnen, nach Projektablauf ein Warnsystem wie FeWIS für die Feuerwehren auch für Kommunen einzuführen.

6.2 Methoden der Vorhersage von Starkregen

Die Vorhersage von Sturzfluten ist zurzeit noch mit großen Unsicherheiten verbunden. Warnungen vor Sturzfluten stützen i. Allg. auf eine Vorhersage der Wetterentwicklung und auf eine Niederschlagsvorhersage (Patt, 2001; Gruntfest & Handmer, 2001).

Für die Vorhersage von Niederschlag bieten sich prinzipiell drei Methoden an: Satellitendaten, Radardaten und Numerische Wettervorhersage.

Dabei handelt es sich lediglich bei der Wettervorhersage um eine wirkliche (Messdaten- und modellgestützte) Neuberechnung eines wahrscheinlich zukünftigen Zustands. Sowohl Satelliten- als auch Radardaten zeigen zunächst den Ist-Zustand an, aus dem dann ebenfalls modellgestützt eine Vorhersage bzw. Extrapolation berechnet werden kann. Da sich das Wettergeschehen i. d. R. nicht sprunghaft ändert, kann jedoch aus dem gegenwärtigen Zustand sowie der zeitlichen Entwicklung desselben auf den potenziellen zukünftigen Zustand geschlossen werden. Dabei hängt die Zuverlässigkeit und Qualität dieser Extrapolation stark vom jeweiligen Parameter ab. Während die Temperatur mit der Ausnahme von Frontendurchzug ein recht stabiler Parameter ist, kann der Niederschlag äußerst räumlich-zeitlich variabel sein. Konvektive Niederschläge weisen die stärkste Variabilität auf. Entsprechend macht eine Extrapolation nur in die sehr nahe Zukunft Sinn, man spricht dann von Nowcasting. Die mittlere Lebensdauer von konvektiven Zellen in Deutschland liegt bei etwa 30 Minuten (mündl. Mitteilung P. Lang). Ein Nowcasting von konvektiven Zellen wird deshalb nur etwa eine Stunde lang als sinnvoll erachtet, bei stratiformem Niederschlag immerhin 2 Stunden.

6.3 Satellitendaten

Satellitendaten geben einen Überblick über die Wettersituation. Es gibt verschiedene Niederschlagsprodukte, die aus Satellitendaten abgeleitet werden, wie beispielsweise dem PC (Precipitation Clouds), dem CPR (Convective Precipitation Rate) oder dem MPEG (Multi-Sensor-Precipitation-Estimate) – meist basierend auf den Meteosat-8-Daten. Außerdem gibt es noch das „Satellitenwetter“. Dies ist eine kombinierte Assimilation von konventionellen bodengebundenen Wettermeldungen mit Bildern der Wettersatelliten unter Einbeziehung numerischer Feldverteilungen und Blitzortungsdaten. Das Ergebnis sind Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Wetterphänomene wie Gewitter oder Regenschauer.

Als Hintergrundinformation oder zur Bestimmung der Verlagerungsrichtung des Niederschlags sind diese gut geeignet, für eine unabhängige Vorhersage von konvektivem Starkregen jedoch allein schon wegen der räumlichen Auflösung von mindestens 3 km Pixelkantenlänge nur bedingt einsetzbar.

6.3.1 Ergebnisse des Vorhabens „EXTRA“

Die Auswertungen zu den Satellitendaten entstanden in Zusammenarbeit mit dem RIMAX-Projekt EXTRA (Bestimmung von Extremniederschlägen für kleine und mittlere Einzugsgebiete in Mittelgebirgen in Echtzeit mit erhöhter Redundanz). Dabei wurden die folgenden Abbildungen vom DWD-Teilprojekt EXTRA dem Projekt URBAS zur Verfügung gestellt. Besonderer Dank gilt an dieser Stelle Frau M. Schulz und Herrn Dr. F.H. Berger.

Interessant für URBAS sind die Möglichkeiten der Bestimmung des Flächenniederschlags mithilfe von Satellitendaten. Vor diesem Hintergrund sind die Arbeiten des RIMAX-Projektes EXTRA Arbeitspaket A von Interesse, dessen Ziel es ist, die Niederschlagsanalyse aus Satellitendaten zu verbessern. Datengrundlage bilden die Daten des von der EUMETSAT betriebenen europäischen Wettersatelliten Meteosat Second Generation (MSG). Dieser misst in zwölf verschiedenen Spektralkanälen die von den Wolken reflektierte Solarstrahlung (Kanal 1-4, Kanal 12) sowie die terrestrische Ausstrahlung der Erd- und Wolkenoberflächen (Kanal 4-11). Die räumliche Auflösung liegt bei 3 x 3 km² (Nadir), was in etwa 3 x 6 km² in den mittleren Breiten entspricht. Für die Beobachtung konvektiver Zellen ist vor allem die hohe zeitliche Auflösung von 15 Minuten wichtig. Für die Niederschlagsanalyse sind folgende Parameter besonders relevant: die IR-Temperatur der Wolkenoberfläche bei 10.8 µm, mittels derer nach erfolgreicher Kalibrierung die Niederschlagsintensität abgeleitet werden kann. Die im sichtbaren Spektralbereich bei 0.6 µm gemessenen Reflektivitäten stehen in unmittelbarem Zusammenhang zur optischen Dicke der Wolken, während die Messungen im Nahen Infrarot (1.6 oder 3.9 µm) sensitiv zum Partikelradius und zur Phase der Wolken sind. Da eine niederschlagswirksame Wolke sowohl über einen bestimmten Flüssigwassergehalt verfügen muss (bei ausreichender optischer Dicke der Wolke gegeben), als auch über ausreichend große Tropfen, kann mithilfe dieser beiden Größen die Niederschlagsfläche eingegrenzt werden. Zur Abgrenzung von regnenden und nicht regnenden Wolken bzw. Wolkenarealen sind zudem die Messungen in den Wasserdampfabsorptionskanälen sowie in verschiedenen IR-Fensterkanälen (Split-Window Methode) unverzichtbar: da die Partikelab-

sorption im infraroten Bereich von den größeren zu den kleineren Wellenlängen hin abnimmt, können über Schwellwerte auf Kanaldifferenzen optisch dünne Wolken wie Cirren (das Signal setzt sich zu einem geringen Anteil aus der Temperatur der Erdoberfläche und zu einem großen Anteil aus der Temperatur der Wolkenoberfläche zusammen) von der Niederschlagszuweisung eliminiert werden. Außerdem liefern operationelle EUMETSAT-Produkte, wie beispielsweise die im Global Instability Index zusammengefassten Labilitätsindizes, wertvolle Zusatzinformationen für die Bestimmung hochreichender Konvektionsentwicklung.

Farb-Komposits

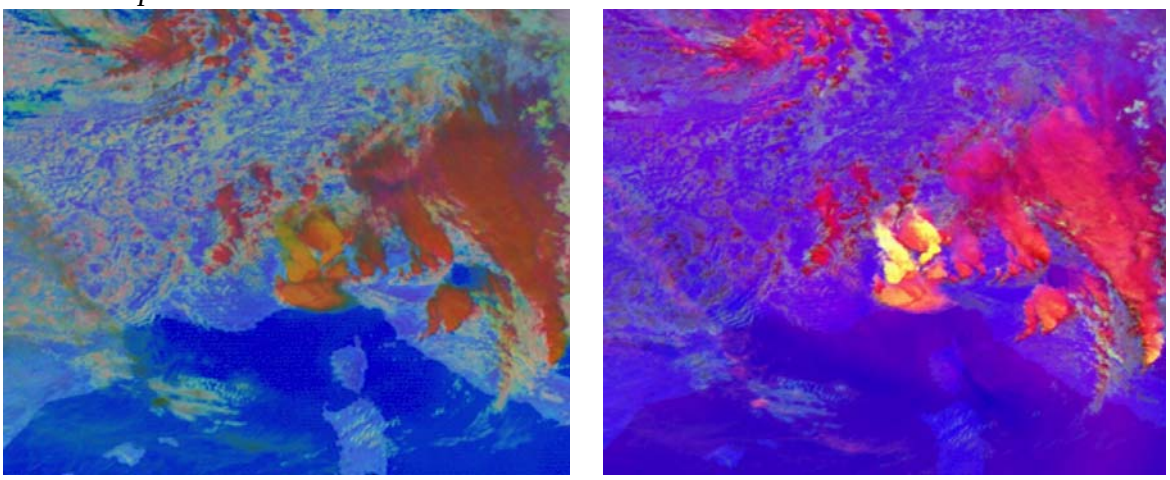


Abbildung 6-1: Verschiedene Falschfarbenkomposits vom 20.05.03 13:30 UTC.

Durch eine geeignete Wahl von MSG-Kanälen, der richtigen Farbgebung und Kompositierung können bestimmte mikrophysikalische Eigenschaften innerhalb von Satellitenbildern hervorgehoben und so spezielle Fragestellungen untersucht werden. Interessant für URBAS ist die Erkennung konvektiver Zellen sowie deren Mikrophysik, was durch die Erstellung eines RGB-Komposits nach Kerkmann, Rosenfeld & Bridge möglich ist. Dabei wird der Helligkeitstemperaturdifferenz (brightness temperature difference) BTD WV 6,2 - WV 7,3 die Farbe rot, der BTD IR 3,9 - IR 10,8 die Farbe grün und der BTD NIR 1,6 und VIS 0,6 in die Farbe blau zugewiesen.

Die rechte Abbildung 6-1 zeigt das beschriebene RGB-Komposit. Dort erscheinen kalte Cumulonimben mit großen Eispartikeln als rote Flächen und kalte Cumulonimben mit kleinen Eispartikeln als gelbe Flächen. Dieser Unterschied wird nur im rechten Bild deutlich.

6.3.2 Ableitung von Niederschlag aus MSG-Satellitendaten

Die meisten satellitengestützten Niederschlagsverfahren beruhen auf einem statistischen Vergleich von abgeleiteten Helligkeitstemperaturen aus der Satellitenmessung (Kanal 9) mit radargestützten Niederschlagsintensitäten oder interpolierten Regenraten aus Stationsmessungen. Verfahren diesbezüglich finden sich bei Kurino (1997), Grose et al. (2002) und Vicente et al. (1998). Reudenbach dagegen benutzt ein 1-D-Wolkenmodell um Regenraten für entsprechende Helligkeitstemperaturen physikalisch begründet abzuleiten (ECST).

Eine deutliche Unterschätzung des Niederschlags gibt es bei orografischem Einfluss, da der Satellit die erzwungene Anhebung der Luftmasse mit anschließender Wasserdampfkondensation in den bodennahen Schichten nicht detektieren kann.

- *Instabilitätsindizes*

Die Instabilitätsindizes dienen als Maßzahl der atmosphärischen Instabilität zwecks Abschätzung des Potenzials für eine Gewitterentstehung. Seit den 50er Jahren wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Instabilitätsindizes zur Vorhersage (potenzieller) Labilität entwickelt. Die von der EUMETSAT aus

MSG-Daten global, also für die gesamte Meteosat-Scheibe abgeleiteten Instabilitätsindizes werden als Global Instability Index zusammengefasst. Dieser enthält die folgenden Indizes: LI-Index (1956), K-Index (1960), KO-Index (1989), Maximum Buoyancy (ein speziell für den MSG-Satelliten entwickelter „Energieindex“) sowie das Precipitable Water.

Man erhält Instabilitätsindizes durch die Messung von Temperatur, Taupunkt u. ggfs. der äquivalent-potenziellen Temperatur auf verschiedenen Hauptdruckflächen durch Radiosondenaufstiege oder über die verschiedenen Gewichtsfunktionen der einzelnen Spektralkanäle aus Satellitendaten. Je nach Index wird auch die Umgebungsluft mit der Temperatur eines adiabatisch aufsteigenden Luftpaketes abgeglichen.

Neben ausreichend Feuchtigkeit in den unteren und mittleren Schichten der Atmosphäre und dem Erreichen der Auslösetemperatur ist die Labilität die Grundvoraussetzung für eine Gewitterentstehung. So können diese Indizes als Zusatzinformation für eine Gewitterneigung benutzt werden.

- *Fallstudie*

Beispielhaft wurde der 16.06.2006 gewählt, um die einzelnen Komposits und Indizes vorzustellen. Sowohl in Berlin als auch in Gehren wurde an diesem Tag eine Sturzflut verzeichnet und als Fallstudie analysiert.

Wetterlage: Zwischen einem Tiefdruckwirbel mit Zentrum über dem Gebiet der Deutschen Bucht und einem Hoch südlich von Deutschland werden warme Luftmassen nach Deutschland transportiert, die auf von Norden herangeführte kalte Luft treffen. Im Übergangsbereich beider Luftmassen bilden sich im Osten Deutschlands in der Nähe Freibergs am frühen Nachmittag konvektive Zellen. Um 13:45 UTC können die höchsten Niederschlagsraten auf dem Radarbild beobachtet werden (vgl. Abb. 6-2, unten links).

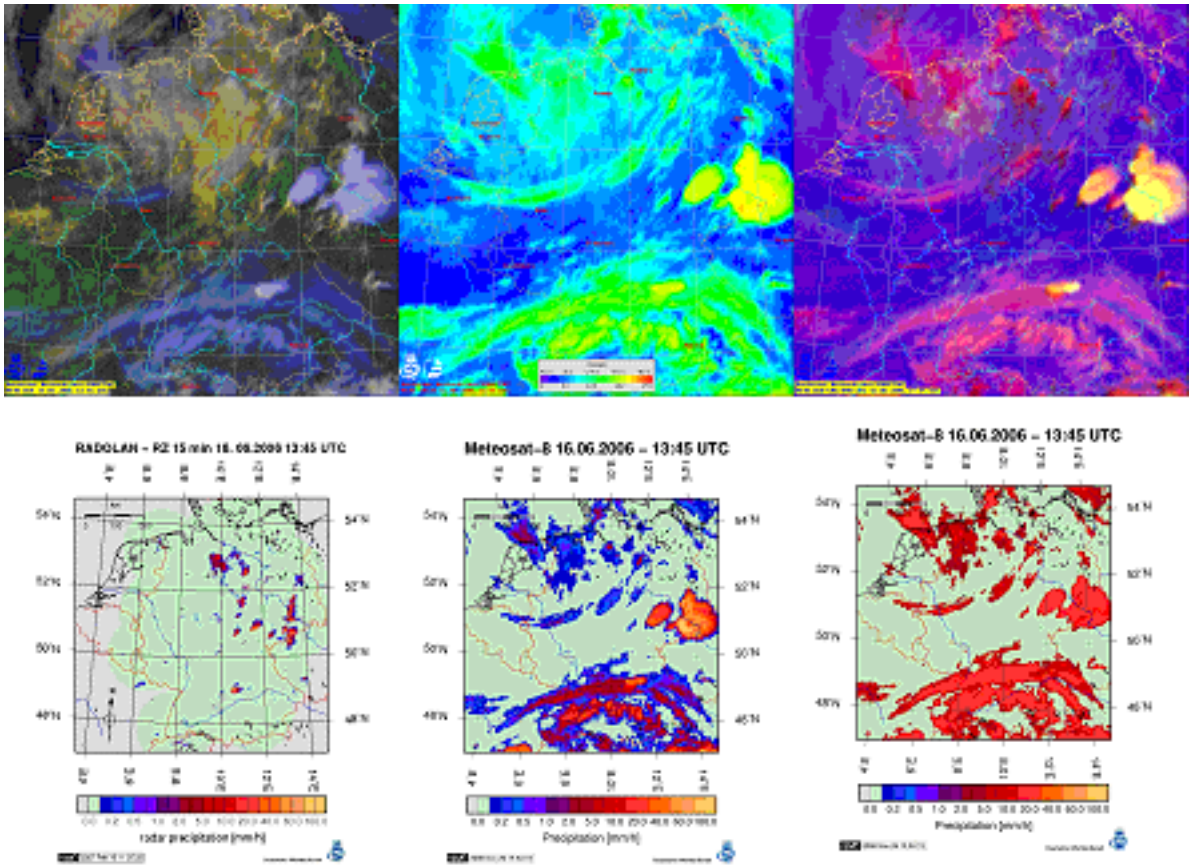


Abbildung 6-2: oben von rechts nach links: R: 0.6 G: 0.8 B: 12.1, IR-Temperaturen (°C) 12.1, R: WV6.2-WV7.3 G: IR3.9-IR10.8 B: NIR1.6-VIS0.6; unten von rechts nach links: RY-RADOLAN-Niederschlagsintensitäten, Niederschlagsintensitäten nach Vicente und nach BiCST (16.06.2006 13:45 UTC)

Auf dem Falschfarbenkomposit oben links in Abbildung 6-2 lassen sich drei unterschiedliche Wolkenklassen erkennen: tiefe Wolken, hochreichende konvektive Zellen und Cirren. Des Weiteren kann Cirrus über niedrigerer Bewölkung, in Cirren eingebettete Konvektionsbewölkung sowie hochreichende Konvektion, die sich aus niedrigeren Wolken entwickelt, beobachtet werden.

Im Temperaturbild Abbildung 6-2 (*oben Mitte)* erscheinen Gewitterzellen im Kern allgemein noch etwas kälter als der optisch dünne Cirrus. Dieser weist allerdings im Süden Deutschlands ähnlich tiefe Temperaturen wie die konvektiven Wolkenbereiche auf. Die große Konvektionszelle über Sachsen zeigt die kältesten Temperaturen an ihrem westlichen Rand. Diese steigen leicht mit abnehmender optischer Dicke nach Osten hin.

Für diesen Termin sind die Niederschlagsraten nach Vicente und dem Verfahren BiCST (einer Modifikation des Verfahrens ECST nach Reudenbach, welches in Anlehnung an Modellrechnungen von Reudenbach anstelle eines exponentiellen Zusammenhangs zwischen Wolkentemperatur und Niederschlagsfläche eine bimodale Kurve verwendet) abgebildet (vgl. Abbildung 6-2, unten Mitte und unten rechts). Im Bereich konvektiver Wolkenareale kommt es zu starken Fehlzuweisungen. In diesem Zusammenhang überrascht das auf dem Radarbild (Abbildung 6-2, unten links) nur sehr schmale Niederschlagsband westlich von Dresden, wo durch den Satelliten aufgrund der kalten Temperaturen großflächig Niederschlag zugewiesen wird. Eine Berechnung des Niederschlags speziell für Cirren war zum damaligen Zeitpunkt noch nicht implementiert. Mittlerweile konnte eine Cirrenmaske in das Verfahren integriert werden und die Niederschlagsintensitäten können nach erfolgreicher Radarkalibrierung besser aufgelöst zugewiesen werden.

Für eine genauere Untersuchung wurde ein weiteres Falschfarbenkomposit nach einer Kanalkombination von Kerkmann, Rosenfeld & Bridge (2005) erzeugt (vgl. Abbildung 6-2, oben rechts). Bei dieser erscheinen Cirren rosa, hochreichende Konvektionszellen mit kleinen effektiven Radien gelb und ebenfalls hochreichende Konvektion mit großen effektiven Radien rot. Gleichzeitig entsprechen tiefrote und hellgelbe Bewölkungsbereiche einer hohen optischen Dicke. Für eine detaillierte Beschreibung und Erklärung der Abbildungen wird auf das Projekt EXTRA verwiesen.

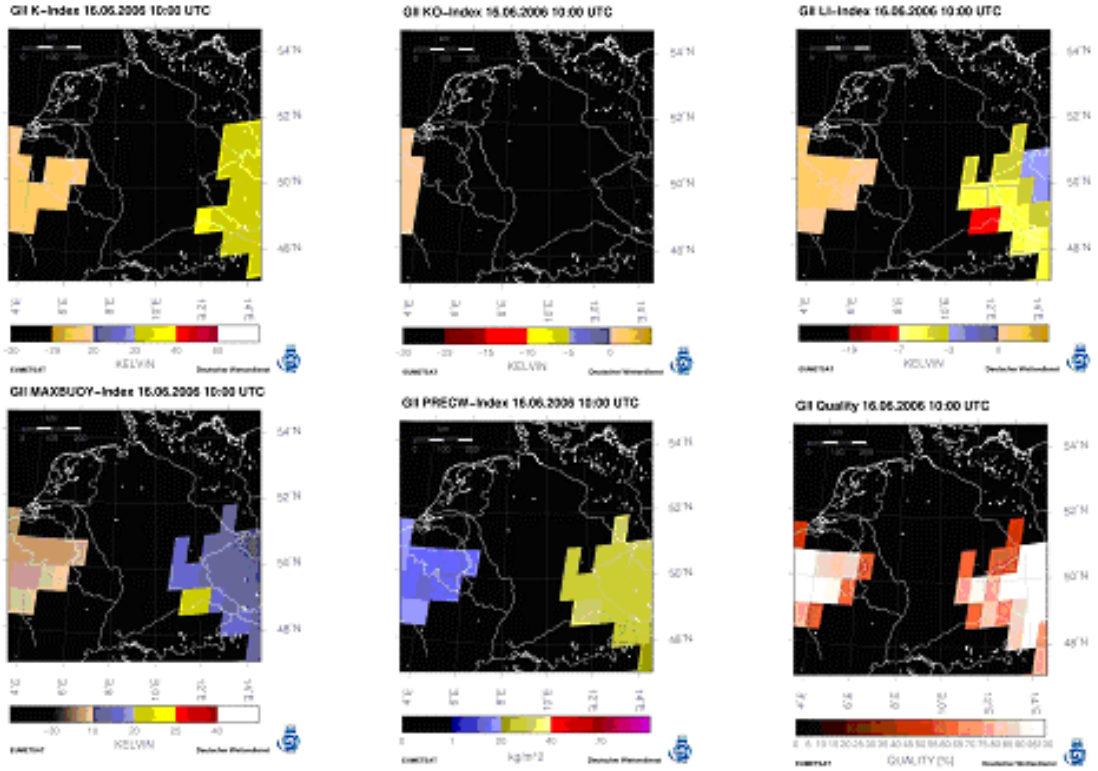


Abbildung 6-3: Oben: Instabilitätsindizes vom 16.06.06 10:00 UTC; links: K-Index, Mitte: KO-Index, rechts: LI-Index); Unten: links: Energieindex MAXBUOY, Mitte: „Precipitable Water“, rechts: Qualität der Daten

Alle drei Gewitterindizes zeigen im Westen und v. a. im Osten Deutschlands eine recht starke Labilität. Besonders der LI-Index, der die Temperaturen vergleicht, die ein vom Erdboden auf das 500 hPa - Niveau gehobenes Luftpaket im Vergleich zu seiner Umgebung hat, ist sehr gut als Gewitterindex geeignet, ebenso wie der MAXBUOY-Index. Die Abbildung des „Precipitable Water“ gibt die Wassermenge an, die für Niederschlag verfügbar ist. Sie deckt sich von der Verteilung sehr gut mit den letzten beiden Gewitterindizes. Die letzte Abbildung gibt die Qualität der zugrunde liegenden Daten an. Die Auflösung aller Indizes beträgt hier 15 x 15 Pixel, also etwa 45 x 45 km². Das Qualitätsprodukt gibt die prozentuale Anzahl der bewölkten Pixel pro Segment an.

6.3.3 Angestrebte Verbesserungen in EXTRA

In einem weiteren Schritt sollen die Niederschlagsintensitäten an die aktuelle Tropopausentemperatur angepasst werden. Es haben sich Verschiebungen in Abhängigkeit von einer erhöhten Tropopausentemperatur der NS-IR-Kurve hin zu höheren Temperaturen ergeben. Dadurch werden Verbesserungen auf der quantitativen Niederschlagsseite erwartet.

Außerdem soll in einem weiteren Schritt die Wolkenlebenszyklusverfolgung noch eingebunden werden, was evtl. eine bessere Bestimmung des Niederschlagswassers möglich macht.

6.3.4 Fazit

Satellitendaten bieten diverse Möglichkeiten für die Bestimmung von Niederschlag oder Gewitterindizes.

Die Gewitterindizes bieten interessante Zusatzinformationen bezüglich Gewitterneigung, leider beruhen diese auf einer meist noch schlechteren räumlichen Auflösung. Im Projekt COPS war ursprünglich eine Ableitung der Gewitterindizes auf Pixelbasis (also 3 x 3 km²) vorgesehen. Aus Qualitätsgründen wurde jedoch die Auflösung hierfür auf 3 x 3 Pixel gesetzt, was die Anwendbarkeit dieser Indizes gerade hinsichtlich kleiner konvektiver Systeme einschränkt. Eine weitere starke Einschränkung erfahren diese Gewitterkennzahlen durch die Tatsache, dass diese nur abgeleitet werden können, wenn das Pixel weniger als 50 % bewölkt ist, was also eher im Vorfeld der Wolkenentwicklung der Fall ist.

Die quantitative Niederschlagsbestimmung mit Satelliten bleibt schwierig. Es gibt einige interessante und vielversprechende Ansätze. Der Multisensor Precipitation Estimate (MPE), der die Niederschlagsraten zweimal täglich an die Messungen eines Mikrowellenradiometers an Bord eines polarumlaufenden Satelliten aneicht, sowie das Verfahren, das in EXTRA unter Verwendung der MSG-Daten entwickelt, wird seien hier erwähnt. Eines der Hauptprobleme beider Verfahren liegt in der Abgrenzung der Niederschlagsfläche, insbesondere im Falle frontengebundener Konvektion erfolgt die Niederschlagszuweisung viel zu großflächig, besser sieht es bei der Niederschlagszuweisung von Luftmassengewittern aus. Nach erfolgreicher Aneichung der MSG-Temperaturen an Radardaten des DWD-Radarverbundes weist das Verfahren aus EXTRA zumindest den konvektiven Bereichen realistische radarnähere Niederschlagsraten zu als der MPE, dessen Niederschlagsintensitäten im Vergleich mit den Radarintensitäten zu niedrig ausfallen. Dafür weist dieses Verfahren den stratiformen Bereichen eine zu hohe Regenrate zu. Auf der quantitativen Niederschlagsseite werden die Satellitendaten zwar immer besser, kommen jedoch bei weitem nicht an die Qualität von Radardaten oder Bodenstationsdaten heran. Auch die räumliche Auflösung von 3 x 3 km² ist für konvektive Systeme unzureichend.

6.4 Vorhersage mit KONRAD

Radardaten

Die bessere zeitliche und räumliche Auflösung von Radardaten sowie die höhere Datenqualität für quantitative Fragestellungen machen Radardaten deutlich interessanter für das Nowcasting. Im bereits vorgestellten Radarprodukt KONRAD ist ein Nowcasting von konvektivem Niederschlag bereits verwirklicht. Starke konvektive Zellen werden detektiert und verfolgt. Aus der bisherigen Zugbahn und Zuggeschwindigkeit wird dann die wahrscheinliche Zugbahn sowie die Lage dieser Zelle in 30 und 60 Minuten extrapoliert und ausgewiesen.

Im Projekt RADVOR-OP (Radargestützte, zeitnahe Niederschlagsvorhersage für den operationellen Einsatz) wurde ein möglichst umfassendes Niederschlags-Nowcasting realisiert. Dabei wurden sowohl numerische Vorhersagen als auch Radardaten verwendet.

- *RADVOR-OP*

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bearbeitet. Ziel war dabei die Vorhersage der Niederschlagsfelder hinsichtlich Lage, Höhe, Intensität und Verteilung von Niederschlag als Grundlage für eine verbesserte Hochwasservorhersage. Die Projektlaufzeit zur Erstellung der Grundstruktur dieser Vorhersage war 2002 - 2005, wobei kontinuierlich an weiteren Verbesserungen gearbeitet wird. Zwei große Bereiche können innerhalb von RADVOR-OP unterschieden werden: das ist zum einen die Kürzestfristvorhersage in einem Zeitfenster 0 - 12 Stunden vor dem Ereignis durch numerische Wettervorhersage und zum anderen das Radar-Nowcasting bis zu zwei Stunden vor dem Ereignis.

- *LM-Kürzestfrist*

Das bis 2002 existierende Lokalmodell LMK hatte aufgrund von räumlicher zeitlicher Auflösung Schwierigkeiten konvektive Niederschläge angemessen wiederzugeben. Deshalb wurde das LMK (Lokalmodell Kürzestfrist) entwickelt. Neben der höheren räumlichen Auflösung von 2,8 km sowie einen Berechnungszeitschritt von drei Stunden. Eine der bedeutendsten Neuerungen war jedoch die neue Art der Datenassimilation einem „Anstupsen“, dem „Nudging“. Dadurch war es möglich auch Radardaten zu assimilieren und innerhalb von zusätzlicher Konvektivtherme mitzuführen. Diese Beobachtungswerte können zu jedem Zeitschritt ins Modellsystem integriert werden und führen so zu einem Update der Modellergebnisse an die Messungen. Für die Assimilation speziell von Radardaten wird das „Latent Heat Nudging“ verwendet, dadurch gibt es deutliche Verbesserungen bei der Validierung der Modellergebnisse, gegenüber der herkömmlichen Konvektionsparametrisierung. Das LMK ist deutlich besser für konvektive Systeme geeignet und stellt Daten innerhalb einer Stunde bereits zur Verfügung.

- *Radar-Nowcasting*

Für das Radar-Nowcasting werden Daten des Deutschland-Komposits verwendet, um eine Verlagerung von Niederschlagsgebieten schnell und einfach berechnen und darstellen zu können. Es werden zwei Module getrennt behandelt. Das eine Modul sind die konvektiven Niederschlagszellen, die nur eine Stunde in die Zukunft vorhergesagt werden. Das zweite Modul sind die stratiformen Gebiete, die zwei Stunden prognostiziert werden. Dabei wird für den konvektiven Teil der Extrapolationsalgorithmus aus KONRAD verwendet, für den stratiformen Teil das Verfahren nach Rosenow (Zitat), wo ein Vektor aus der Verschiebung von Teilbildern einer Zeitfolge von Radardaten ermittelt wird. Eine Aussage über die Quantität der zu erwartenden Niederschläge wird durch ein Verschneiden mit RADOLAN-Daten erreicht. RADOLAN bedeutet „Radargestützte Online-Aneichung“ und liefert an Bodenstationen angeeichte Radarprodukte. Zusammen bilden diese beiden Module das Radar-Nowcasting für die Zeitspanne 2 bis 0 Stunden vor dem Ereignis.

Die Vorhersage von konvektivem Starkniederschlag läuft natürlich auf recht kleiner Zeitbasis ab, sodass eine wirkliche Vorhersage wohl nur durch das Radar-Nowcasting möglich ist. Das Modell kann jedoch wichtige Informationen über Möglichkeiten von Starkniederschlag bereits Stunden zuvor liefern. Wobei sich die Güte der Modellergebnisse mit Annäherung ans Ereignis stark verbessern. Es hat sich gezeigt, dass nur bis etwa 2-3 Stunden vor dem Ereignis eine Assimilation von Radardaten positive Effekte zeigt.

Mit RADVOR-OP besitzt der DWD ein Tool, um Niederschlag bestmöglich vorherzusagen. Auch innerhalb der Projektlaufzeit von URBAS wurden Validierungen und Anpassungen durchgeführt. Für URBAS selbst ist insbesondere das Radar-Nowcasting und dort speziell das Warntool KONRAD in Verbindung mit den offiziellen Warnungen des DWD wichtig.

- *Beschreibung des Warnmanagements des DWD*

Das Warnmanagement des DWD besteht aus zwei Hauptteilen.

Zum einen ist dies das Frühwarnsystem, das etwa 48 – 120 Stunden vor dem Ereignis bedeutend ist. Dieses Frühwarnsystem wird von der zentralen Vorhersage aus betrieben und benutzt als Eingangsdaten numerische Vorhersagen, Mittelfristentwicklungen und die Großwetterlage.

Der zweite Teil ist der regionale Warndienst, der von den sechs Regionalzentralen aus gesteuert wird. Aus manueller Diagnose, Kurzfristmodellen, Beobachtungsdaten und Nowcasting werden für die Zeitspanne 48 - 0 Stunden vor dem Ereignis Frühwarnungen, Vorwarnungen oder Wetter- bzw. Unwetterwarnungen abgeleitet. Diese gezielten Warnungen werden dann an Katastrophenschutz, Feuerwehren, aber auch Medien und die Öffentlichkeit weitergegeben. Oft schließt sich auch eine direkte Beratung an die Warnungen an. Um zu verstehen, wie das Warnsystem funktioniert, werden im Folgenden die drei Arten von Warnungen vorgestellt:

- *Frühwarnung*

Frühwarnungen geben eine Wahrscheinlichkeitsaussage für das Eintreffen von Wettergefahren in einem Zeitraum jenseits von 2 Tagen vor dem Ereignis an. Sie werden regional für Bereiche von 250 - 700 km ausgesprochen und sind i. d. R. der Wochenvorhersage zu entnehmen.

- *Vorwarnung*

In die Vorwarnung fließen Erkenntnisse über alle wahrscheinlich eintreffenden signifikanten Wetter- und Unwetterereignisse mit ein. Sie filtern also über eine Wahrscheinlichkeit die potenziellen Ereignisse und bringen sie auf eine regionale Ebene von 50 - 250 km. Diese Vorwarnung fließt ein in die Standardgebietsvorhersage und deckt einen Zeitraum 48 - 6 Stunden vor dem Ereignis ab. Der detailliertere Warnlagenbericht existiert dagegen erst 24 Stunden vor einem Ereignis.

- *Landkreisbezogene Warnung*

Diese Warnungen sind konkret ausgesprochene Wetter- und Unwetterwarnungen für Landkreise und eventuell unterschiedlichen Höhenstufen. Die Vorlaufszeit beträgt zwischen 12 und 0 Stunden, wobei die Vorlaufzeit und Dauer möglichst genau definiert sowie räumlich und zeitlich differenziert wird.

Das Warnmanagement bildet die Basis für die Warnstrategie des DWD. Das System FeWIS (Feuerwehr-Wetter-Informations-System) bildet die Informationsplattform für über 550 Nutzer in ganz Deutschland. Diese Nutzer sind beispielsweise Katastrophenschutz und Feuerwehren, die eine möglichst allumfassende Datengrundlage als Entscheidungsgrundlage für Einsätze oder Vorsorgemaßnahmen benötigen. FeWIS wird diesen Kunden kostenlos zur Verfügung gestellt, das System filtert je nach Konfiguration die wichtigsten Informationen und bietet so eine möglichst gute Entscheidungshilfe. Das System läuft online und wird alle drei Minuten aktualisiert.

Ein bedeutendes Standbein der Warnstrategie bildet das Nowcasting-Produkt KONRAD, das die kurzfristigen Niederschlagsentwicklungen auf Radardatenbasis zeigt. Auch dieses System wird deutschlandweit von Katastrophenschutz und Feuerwehren eingesetzt.

6.4.1 Verbesserung der Vorhersage von konvektivem Starkregen

Die Systeme zur Vorhersage von Starkniederschlag werden laufend weiter verbessert. Hinsichtlich Satellitendaten sind einige Verbesserungen denkbar und werden entwickelt. Ausführungen dazu finden sich in Kapitel 6.3.

Innerhalb von URBAS wurde speziell die Verbesserung der Vorhersage von konvektivem Niederschlag anhand von Radardaten untersucht.

- *Radardaten*

Durch die Umstellung des Hohenpeißenberger Forschungsradars auf Polarisation eröffnen sich viele neue Möglichkeiten. Durch die gewonnenen Zusatzinformationen (weitere Momente) ist eine verbesserte Unterscheidung von meteorologischen und anders artigen Echos möglich. Störechos beeinflussen die prognostizierten Niederschlagsmengen und haben einen enormen negativen Einfluss bei der Assimilation der Radardaten in Modellen. Eine möglichst fehlerfreie Datengrundlage ist die Basis einer guten Warnung. Gerade bei starken Gewittern ist eine Unterscheidung von Hagel und großen Tropfen bisher nur schwer möglich, das Schadenspotenzial ist jedoch völlig anders. Auch hier bietet die Polarisation, Möglichkeiten diese zu unterscheiden. Gegenwärtig werden Algorithmen diesbezüglich entwickelt und sollen dann in der kommenden Generation von Radargeräten operationell eingesetzt werden.

In Kapitel 5.3 wurde unter dem Thema „Messeffekt“ die Größe der räumlichen Auflösung von Messgeräten in Bezug auf konvektive Systeme untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die Auflösung weitgehend ausreicht. Bei sehr großen Gradienten der Niederschlagsechos in der Fläche kann es dazu führen,

dass Strukturen verschmieren und Niederschlagsmaxima nicht mehr genau erkannt werden. Deshalb wurde die räumliche Auflösung von 1° Strahlbreite und 1 km Entfernungsauflösung auf eine Entfernungsauflösung von 125 m reduziert. Dadurch können kleine Strukturen besser erkannt werden. Dies ist bereits als Radarprodukt am Hohenpeißenberg realisiert.

Die statistischen Korrekturen aus Kapitel 5.4 sind entwickelt worden, um kleine Unterschiede innerhalb von Radardaten flächenhaft zu korrigieren. Dadurch wird eine homogenere Qualität der Datenbasis und damit der Vergleichbarkeit erreicht. Strukturen, die zu Fehlwarnungen innerhalb von Radarprodukten führen können, sind weitgehend eliminiert. Diese Korrekturen sind innerhalb von URBAS fertig entwickelt worden und bereits auf Auswertungen angewendet worden. Eine Übernahme in den operationellen Dienst ist bislang nicht erfolgt.

Das Warnsystem KONRAD befindet sich ebenfalls in einer ständigen Weiterentwicklung. Gegenwärtig wird an einer Tornadowarnung innerhalb von KONRAD gearbeitet. Für URBAS war insbesondere die Starkniederschlagswarnung interessant. Bislang gab es nur eine Schwelle für Starkniederschlag, diese liegt bei 10-12 mm / 30 min. Dies deckt hohe Intensitäten für eine kurze Zeit ab. Es zeigte sich aber bei den Auswertungen der Sturzfluten, dass auch Ereignisse mit geringeren Intensitäten zu Sturzfluten führen können wie beispielsweise in Lübeck. Dies ist bislang nicht in KONRAD implementiert. Eine zweite Starkregenwarnstufe könnte den intensiven Dauerregen abdecken. Die 2. offizielle Schwelle für Starkregen liegt bei 35 l/m² innerhalb von sechs Stunden. Da die Warnung in KONRAD jedoch nicht erst nach sechs Stunden erfolgen sollte, wurde eine neue Schwelle für drei Stunden festgelegt. Die zweite Starkniederschlagswarnung sollte ausgesprochen werden, wenn über drei Stunden im Mittel die halbe Niederschlagsintensität der ersten Stufe erreicht wird. Dies wurde programmtechnisch umgesetzt und anhand verschiedener Niederschlagsereignisse getestet. Die Schwelle wurde aber so selten erreicht, dass man sich zugunsten stärker konvektivem Niederschlag auf eine Schwelle von X l/m² Niederschlag innerhalb von einer Stunde einigte. Damit ist zwar Dauerregen wenig repräsentiert, aber eine Warnung kann bereits nach einer Stunde ausgesprochen werden, was die Vorwarnzeit deutlich verlängert.

Das Warnsystem des Deutschen Wetterdienstes wird gegenwärtig innerhalb des Projekts AutoWarn verbessert. Dies schließt auch weitere Verbesserungen in KONRAD mit ein.

6.4.2 Einführung einer zweiten Starkregenwarnstufe in KONRAD

In Staulagen kommt es immer wieder zu länger andauernden, jedoch sehr kräftigen Niederschlägen, die nicht selten zu Hochwasser oder auch Sturzfluten führen. Da diese Niederschläge nicht rein konvektiv sind, werden sie vom KONRAD-Warnsystem oft nur unzureichend widergespiegelt. Genau dieser Niederschlagstyp soll mit der 2. Starkregenwarnstufe besser erfasst werden. Dies bedeutet, dass der Schwellwert zwar reduziert, die Niederschlagsdauer jedoch gleichzeitig erhöht werden muss.

Eine einfache Variation des Schwellenwerts für die zweite Warnstufe erscheint nicht sinnvoll, weil dadurch zwar eine Differenzierung über die Niederschlagsintensität, nicht jedoch über die Zeitkomponente erfolgen würde.

Der Schwellenwert für die Niederschlagsintensität wurde von 20-25 mm/h auf 10-12 mm/h reduziert, die Niederschlagsdauer jedoch von 30 Minuten auf zunächst drei Stunden erhöht. Programmiertechnisch ist diese Neuerung umgesetzt. Es fanden bereits Tests anhand von ausgesuchten Zeitabschnitten statt.

Die ursprüngliche Ausweitung der Warnung auf ein 3-Stundenintervall wurde nach Tests verworfen, da dadurch zu selten gewarnt wurde und die Warnungen erst sehr spät (nach etwa 3 Stunden) einsetzten. So wurde eine zweite Starkniederschlagsstufe definiert, die bereits nach einer Stunde bewarnt wird, dementsprechend jedoch nur bedingt Dauerniederschlag repräsentiert. Diese Warnstufe ist operationell einsetzbar.

6.4.3 Durchgeführte und laufende Verbesserungen von KONRAD

Verbesserungen der Warnungen, durch Arbeiten an neuen Techniken wie Polarisation am Radar Hohenpeißenberg wurden fortgesetzt.

KONRAD wird beim DWD kontinuierlich weiterentwickelt. So wurde KONRAD um eine Böenwarnung Bft 11 ergänzt. Eine Integration ins neue Darstellungssystem NinJo des DWD ist in Arbeit. Außerdem ist geplant am Forschungsradar Hohenpeißenberg die räumliche Auflösung der Radardaten zu erhöhen, um konvektive Ereignisse in ihrer Struktur genauer erfassen zu können.

Das Problem der eingeschränkten Überdeckung Deutschlands mit KONRAD-Daten wurde in der aktuellen Version durch eine Erhöhung der Reichweite der KONRAD-Daten von 100 auf 125 km behoben. Ferner laufen Planungen für eine Verdichtung der Radarstandorte in Süddeutschland. KONRAD ist neben der Einzelstandortsversion mit 125 km Reichweite auch als fertiges Komposit für ganz Deutschland erhältlich.

7 Ergebnisse und Folgerungen

Konvektive Niederschläge werden durch komplexe und variable Systeme erzeugt, die mit herkömmlichen Niederschlagssammlern unzureichend erfasst werden. Wetterradarmessung haben das Wissen um diese Systeme deutlich verbessert. Mit KONRAD ist sogar ein Nowcasting möglich. Allerdings ist durch die Variabilität und Kleinräumigkeit eine langfristige Vorhersage nicht möglich.

Sowohl KOSTRA als auch die Niederschlagsstatistiken auf Basis der Radardaten zeigen deutlich Gebiete in Deutschland mit erhöhter Starkregenhäufigkeit. Staueffekte (Alpenvorland) oder erhöhte konvektive Tätigkeit (Großraum Berlin) sind die Hauptursachen.

Die räumliche Verteilung von Starkniederschlägen in Deutschland kann KOSTRA im Groben wiedergeben. Kleinräumig treten jedoch erhebliche Unterschiede zu der Statistik der Radardaten auf. Gerade im Mittelgebirgsbereich führen lokale Effekte zu veränderten Starkregenhäufigkeiten, die von den Einzelstationen und damit in der regionalisierten KOSTRA-Karte nicht adäquat wiedergegeben werden kann.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Niederschlagsschreiber die auftretenden Extremwerte erfasst, ist sehr gering. In KOSTRA wird den gemessenen Niederschlägen eine Verteilung angepasst, die entsprechend auch die Spitzen nur selten gut wiedergibt. Bei Radardaten werden die Maximalwerte deutlich besser registriert. Durch die schwierige Zuordnung der Maximalreflektivitäten zu den Niederschlagswerten werden auch bei den Radardaten die wahren Maxima quantitativ meist nicht richtig registriert. Seltene Spitzenwerte werden demnach bei beiden Systemen sehr wahrscheinlich unterschätzt.

Die **Stadtentwässerung** scheint an Niederschlagsdaten der Wiederkehrzeit größer 30 Jahre (EU) bisher wenig interessiert. Extremwerte werden i. Allg. nicht untersucht. Die Kanalnetzberechnung wird noch häufig mit (partiellen) Regenreihen, zunehmend aber mit Langzeitreihen durchgeführt. Auch KOSTRA scheint verbreitet angewendet zu werden. Generell erscheinen die Bemessungsniederschläge für Kanalnetzberechnungen zu hoch, weil die räumliche Verteilung nicht berücksichtigt wird. Deswegen ergeben sich hohe Sicherheiten, die heute feststellbar sind.

Die **Vorhersage** von sturzflutträchtigen Niederschlägen bedarf sowohl zeitlich wie räumlich starker Verbesserung. Die Validierung durch Ereignissammlungen und die nachträgliche Auswertung erscheint weiterhin sinnvoll.

Förderprogramm des BMBF:
Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX)

Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS)

Ausgewertete Datenbanken und Online-Ressourcen sowie verwendete Literatur

im Auftrag des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Aachen, Dezember 2008

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Fachhochschule Aachen

Deutscher Wetterdienst

Ausgewertete Datenbanken und zugangsbeschränkte Online-Ressourcen

WEKA Verlag – WEKA Business Portal für Fachhochschule Aachen: **Datenbank Bauschäden und Baumängel: Ursachen - Haftung - Beseitigung**. Hrsg. von Gerd Motzke, Hans-Armin Veith, Albrecht Seidel, Klaus J. Koberling und Harald Sipple - Elektronische Ressource. Weka Media.

Beuth Verlag: **Datenbank DIN-Normen**. Inhalt: Die Datenbank enthält DIN-Normen im Volltext als gescannte Bilddateien. Ausgenommen sind DIN-Normen mit VDE-Klassifikation. Zusätzlich enthalten sind Nachweise der wichtigsten nationalen und internationalen Normen (ISO, IEC, ITU). Die Recherche erfolgt über die Perinorm-Oberfläche. Gesucht werden kann auch über die ICS-Klassifikation (International Classification for Standards) der Internationalen Normungsorganisation (ISO). Enthalten sind 500.000 Einzelnachweise. Perinorm gibt Auskunft zu den wichtigsten nationalen und internationalen Normen (ISO, IEC, ITU) und technischen Regelwerken in Europa. Perinorm International enthält darüber hinaus Informationen zu wichtigen US-amerikanischen Normenwerken sowie zu australischen und japanischen Normen.

DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.: Mitgliederbereich. Mit Fachaufsatzdatenbank zum Thema Gas und Wasser (z.B. GWF seit 1989, allerdings nur mit Abstracts, keine Volltexte), laufende Projekte zu Gas- und Wasserthemen, Berichte abgeschlossener Projekte (download).

DVGW-Regelwerk, Teile Gas/Wasser und Wasser, AfK-Empfehlungen. Veröffentlichungen aus dem Bereich Informationen, Rundschreiben, Kreuzungsrichtlinie und Zertifizierungen im Volltext.

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: **DWA-direkt. Mitgliederbereich.** DWA-Regelwerk und die DWA-Literaturdatenbank. Arbeitsberichte, Fachwörterbuch, Literaturdatenbank mit bibliografischen Hinweisen auf Fachliteratur zu den Themen Abwassertechnik, Wasserwirtschaft, Hydrologie, Wasserbau, Gewässerschutz, Abfall und Boden. Bildwörterbuch, Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft usw. Zeitschrift KA - Abwasser, Abfall seit 2002 als pdf.

LexisNexis Deutschland GmbH: **Rechtsbibliothek Bundesrecht.** Online-Zugriff auf die Gesetzessammlung für Bundesrecht und EU-Recht mit Rechtsprechung.

WEKA Verlag – WEKA Business Portal für Fachhochschule Aachen: **Rechtsdatenbank**. monatliche Aktualisierung: Abfallwirtschaft Anlagensicherheit Arbeitsschutz/ Arbeitsrecht Arbeitsstätten Architektenrecht Bauordnungsrecht Bauplanungsrecht Bodenschutz Brandschutz Energie Gefahrgut Gefahrstoffe Gen- und Biotechnologie Gewässerschutz Immissionsschutz Naturschutz Produkthaftung und -sicherheit Security Strahlenschutz Umweltrecht allgemein Vergaberecht/VOB Zivilverfahren Sonstige Rechtsgebiete.

Schäfer/Finnern/Hochstein/Korbion: **Rechtsprechung zum privaten Baurecht**. Enthält seit 1954 veröffentlichten Entscheidungen des Bundesgerichtshofes und der Instanzgerichte auf dem Gebiet des privaten Baurechts, * bauvertragsrechtliche Entscheidungsleitsätze des Bundesgerichtshofes, der Oberlandesgerichte und Landgerichte von 1954 bis 2003 * ab 1983 zusätzlich den vollständigen Text der

veröffentlichten Entscheidungen (Tatbestand und Entscheidungsgründe) * Gesetzestexte: BGB, ZPO, HOAI, AGBG, VOB/A und VOB/B den jeweils neuesten Stand der baurechtlichen Rechtsprechung in Leitsätzen und im Volltextsukzessive den Volltext der Entscheidungen vergangener Jahre. Über Inhaltsverzeichnis, verschiedene Register und Suchmöglichkeiten sind insgesamt mehr als 2.900 Entscheidungen auf etwa 13.500 Seiten abrufbar. Werner Verlag / Wolters Kluver GmbH.

Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau Stuttgart: **RSWB Baudatenbank**. RSWB liefert bibliographische Hinweise auf deutsche Veröffentlichungen aus den Bereichen Raumordnung, Städtebau, Wohnungswesen und Bauwesen. ICONDA wird in internationaler Zusammenarbeit erstellt und enthält Beiträge aus verschiedenen Ländern zu den Bereichen Hochbau, Tiefbau, Architektur und Stadtplanung; ca. 1 Millionen Literaturnachweise - Aktualisierung monatlich.

FGSV Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen Köln - e.V.: **Straßenbau von A-Z: Sammlung Technischer Regelwerke und Amtlicher Bestimmungen für das Straßen- und Verkehrswesen.** Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. Köln, bearbeitet von Dipl.-Ing. Herbert Kühn 2002, CD-ROM ISBN 3 503 05977 6; Die CD-ROM Straßenbau von A-Z umfasst einen Datenbestand von über 14.000 Druckseiten. Sie enthält Gesetze, Verordnungen der Behörden, Normen und Technischen Regelwerke der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen sowie rund 5.000 Abbildungen, Aufriss- und Detailzeichnungen und Tabellen. Sie können sowohl Volltextsuchen über den gesamten Datenbestand, als auch gezielte Suchen nach Haupt- und Nebenstichwörtern oder nach Dokumentenkategorien durchführen. Alle Dokumente lassen sich bequem durchsuchen und weiterverarbeiten - eine Suchhistorie merkt sich die zuletzt gewünschten Treffer und dient als Gedankenstütze und Lesezeichen. Straßenbau A-Z digital wird viermal pro Jahr aktualisiert.

VDE-Verlag: **VDE-Vorschriften.** Fachgebiet: DIN-VDE-Normen Inhalt: alle gültigen VDE-Bestimmungen und zusätzlich die VDE-Bestimmungen, die nach dem 01.01.1993 zurückgezogen oder ersetzt wurden.

Beuth Verlag: **VDI-Richtlinien.** Die Datenbank enthält die VDI-Richtlinien im Volltext als gescannte Bilddateien. Zusätzlich enthalten sind Nachweise der wichtigsten nationalen und internationalen Normen (DIN, ISO, IEC, ITU). Die Recherche erfolgt über die Perinorm-Oberfläche. Diese Datenbank entspricht den gedruckten VDI-Handbüchern des Beuth Verlages. WICHTIGER HINWEIS: Die Nutzung der VDI-Richtlinien unterliegt dem Urheberrechtsgesetz. Eine Weitergabe der Daten ganz oder teilweise -gleich ob auf einem elektronischen Datenträger, per Datenfernübertragung oder als Papierkopie - sowie das Einräumen von Zugängen für Dritte auf die abgespeicherten Daten ist nicht gestattet.

Blitzschutz, Estofex, Ewiger Kalender, PLZ - Postleitzahl, Wetterzentrale, Feuerwehrnachrichten, Presseportal, Storm-Chaser, Sturmwetter, THW, Unwetterzentrale, Wetter-Online, ZDF/ ARD, Google-News und Paperball.

Verwendete Fachliteratur

Literaturrecherchen erfolgten über das Bibliothekssystem der FH Aachen (OPAC), die o.g. Datenbanken und zugangsbeschränkte Onlineangebote. Darüber hinaus wurden frei zugängliche Online-Ressourcen und Angebote mit projektrelevanten Bezügen ausgewertet. Hieraus gewonnene Erkenntnisse und Unterlagen sind in die Berichtserstellung eingeflossen und in das Literaturverzeichnis aufgenommen worden.

Achleitner, S.; Engelhard, C.; Stegner, U.; Rauch, W. (2007): Untersuchung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Muldenversickerungen. In: KA – Abwasser, Abfall (54) Nr. 9, S. 887-895

Agenzia Regionale Prevenzione e ambiente dell'Emilia-Romagna (2005): Carpe Diem. URL: http://carpediem.ub.es/, Zitationsdatum: 14.11.2005.

Ahlbach, K.H.; Bartosch, M. (1997): Forum angewandte Geographie - Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung - Abkopplungsmaßnahmen von Niederschlagswasser im Bestand in einem Wohngebiet in Bochum Grumme. In: Bochum: Selbstverlag, DE, (1997), III,121 S., (in Serie: Materialien zur Raumordnung (Bochum); 49), ISBN 3-925143-19-X. Univ. Bochum, Geographisches Institut (Hrsg.)

Aigner, D., Carstensen, D., Horlacher, H., Lattermann, E. (2003): Das Augusthochwasser 2002 im Elbegebiet und notwendige Schlussfolgerungen. In: Wasserwirtschaft, Band/Heft 1-2 / 2003. o.O.

Aller, D. (2003): Elementarschäden: Verhütung und Ursachenforschung. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/d19d3176e0d69443c125699200555212/60336e03b197850dc1256d510035253c?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2005.

Aller, D., Egli, T., Kozlowski, E., Kubli, S. (2005): Hochwasser August 2005 - Schadensanalyse - ein Monat danach. Bern.

Aller, D., Kubli, S. (2005): Hochwasser August 2005. URL: http://www.irv.ch, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.09.2005, Zitationsdatum: 05.12.2005.

Amrein, H. (1997): Wasserrückhaltevermögen von Dachbegrünungen. In: wasser energie luft - eau energie air, Band 89, (1997), Heft 5/6, Seite 120-122, ISSN 0377-905X

Amt für Natur und Umwelt (2002): Empfehlungen zur Minderung und Vermeidung von Hochwasserbeeinträchtigungen bei Starkregenereignissen. URL: http://www.kreis-oh.de/media/custom/247_7_1.PDF?loadDocument&ObjSvrID=247&ObjID=7&ObjLa=1&Ext=PDF, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.06.2005, Zitationsdatum: 01.08.2007.

Anderl, B. (1978): Intensitätsverteilung in Starkregen und ihr Einfluss auf die Abflussberechnung. In: GWF Wasser Abwasser, Band 119, (1978), Heft 7, Seite 354-361, ISSN 0016-3651

anonym (1988): Haftung für Hochwasserschäden aufgrund zu umfangreicher Baugebietsausweisung? GG Art.14. BGH, Urteil vom 14.5.1987 - III ZR 159/86 - OLG Stuttgart. In: UPR Umwelt und Planungsrecht, Band 8, (1988), Heft 4, Seite 139-141. ISSN 0721-7390

anonym (1988): Statistische Methoden zu Niedrigwasserdauern und Starkregen. In: Hamburg: Parey, DE, (1988), 132 S., (in Serie: Schriftenreihe des Deutschen Verbandes fuer Wasserwirtschaft und Kulturbau; 82), ISBN 3-490-08297-4. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. -DVWK-, Bonn (Hrsg.)

anonym (1991): Starkniederschläge in der Bundesrepublik Deutschland. Erläuterungen und Ergänzungen zu KOSTRA. In: Hamburg: Parey, DE, (1991.01), XXIII, 190 S. (in Serie: Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau; 97), ISBN 3-490-09797-1, Zusatz: Bezug: Verlag Paul Parey, Spitalerstrasse 12, 2000 Hamburg 1. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. -DVWK-, Bonn (Hrsg.) (Perf.); Abwassertechnische Vereinigung e.V. -ATV-, St.Augustin (Perf.); Deutscher Wetterdienst, Offenbach/Main (Perf.); Länderarbeitsgemeinschaft Wasser -LAWA, München (Perf.)

anonym (1997): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. In: Installation DKZ, Band 117, (1997), Heft 3, Seite 145-153, ISSN 0020-210X

anonym (1998): Vielfältige nachgewiesene Funktionen und Nutzen durch begrünte Dächer. In: bauplan bauorga, Band 19, (1998), Heft 3, Seite 114, Abb. ISSN 0938-1694

anonym (1999): Talsperren dämpfen Hochwasser. Harzwasserwerke: Informationssystem erleichtert Steuerung. In: wasser energie luft - eau energie air, Band 91, (1999), Heft 1/2, Seite 25-26, Tabellen, Zusatz: Aus: Zeitung für kommunale Wirtschaft, München, 1998,Nr.12, Seite 30. ISSN 0377-905X

anonym (2001): Architekt haftet für fehlerhafte Höhenangaben! Bundesgerichtshof, Urteil vom 28.02.2001, VII ZR 152/00. In: Architektenrecht aktuell, (2001), Heft 5, Seite 1-2. ISSN 0948-017X

anonym (2002): Schadenersatzrecht - Amtspflichten bei der Erschliessung eines Baugebiets. BGB Par. 839. Bundesgerichtshof, Urteil vom 4. April 2002 - III/ZR/70/01 - (OLG Dresden). In: baurecht, Band 33, (2002), Heft 9, Seite 1374-1376, ISSN 0340-7489

anonym (2003): Bauschäden beim Bauen im Bestand. In: Informationsdienst holzbautechnik, (2003), Heft 12, Seite 4, Zusatz: Fortsetzung in: Informationsdienst Holzbautechnik (2004), Nr.1, (Beil.zu holzbau-report, Ausgabe A 2003 (12)).

anonym (2003): Regen- und Grauwassernutzung, Entwässerungstechnik. Regenwasserrückhaltung, -nutzung und -versickerung. Grauwasserrecycling, Rohrsysteme, Hebeanlagen, Rückstausicherungen, Abläufe. In: TGA Fachplaner, Band 2, (2003), Heft 10, Seite 46-50, Abb. ISSN 1610-5656

anonym (2003): Überflutete Keller trotz funktionierender Rückstauverschlüsse. In: Haustechnik IKZ, Band 58, (2003), Heft 18, Seite 14-18 (4 S.), Abb. ISSN 0177-3054

anonym (2003): Verbesserungen am Detail. Entwässerungstechnik und Regenwassernutzung. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 58, (2003), Heft 11, Seite 46-54, Abb. ISSN 1616-2285

anonym (2003): Vorbeugender Hochwasserschutz. Handlungsempfehlungen für die Regional- und Bauleitplanung. Positionspapier der gleichnamigen Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Landesarbeitsgemeinschaft Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, der Akademie für Raumforschung und Land. In: Nachrichten. ARL, (2003), Heft 4, Seite 12-15.

anonym (2004): Auf die richtige Wahl kommt es an - Rückstausicherungen. In: Moderne Gebäudetechnik, Band 58, (2004), Heft 5, Seite 20-21, Abb. ISSN 1436-686X

anonym (2004): Bauschäden beim Bauen im Bestand- Fortsetzung. In: Informationsdienst Holzbautechnik (2004), Nr.1, (Beil.zu holzbau-report, Ausgabe A 2003 (12)).

anonym (2004): Haftung der Gemeinde für Rückstau in der Abwasserkanalisation; Jahrhundertregen. BGH, Urteil vom 22.4.2004 - III ZR 108/03 - OLG Köln. In: DVBL Deutsches Verwaltungsblatt, Band 119, (2004), Heft 15, Seite 948-950. ISSN 0012-1363

anonym (2004): Keine Angst vor Dauerregen. Moderne Hausanschlussschächte lassen Rückstau vergessen. In: Sanitär und Heizungstechnik, Band 69, (2004), Heft 6, Seite 52-55, Abb. ISSN 0036-4401

anonym (2004): Regenwasserfilter mit Wechselsprung. Neues Filterprinzip für selbstreinigende Regenwasserfilter. In: Haustechnik IKZ, Band 59, (2004), Heft 1/2, Seite 22-23 , ISSN 0177-3054

anonym (2004): Rückstauschäden: Wer haftet wofür? Kessel-Fachseminar "Neue Wege in der Entwässerung". In: Haustechnik IKZ, Band 59, (2004), Heft 16/17, Seite 60-61, Abb. ISSN 0177-3054

anonym (2004): Sicherheit und leichtes Handling. Rückstauverschlüsse für jeden Einsatzfall. In: Haustechnik IKZ, Band 59, (2004), Heft 15, Seite 44-46, Abb. ISSN 0177-3054

anonym (2004): Untersuchung der Wirksamkeit von Stauraumkanälen mit unten liegender Entlastung zur Regenwasserbehandlung. In: KA – Abwasser, Abfall (51) Nr. 7, S.782-783

anonym (2005): HPflG Par.2. BGH, Urteil vom 22.4.2004 - III ZR 108/03 (OLG Köln). In: Natur und Recht, Band 27, (2005), Heft 1, Seite 67-68. ISSN 0172-1631

anonym (2005): Kellersanierung. Von Grund auf gut - Kellersanierung vom Fachbetrieb. In: Geislingen/Steige: C.Maurer, DE, (2005), 156 S. (in Serie: Praxis kompakt), ISBN 3-87517-026-1.

anonym (2005): Klimaveränderungen durch Umwelteinflüsse. Literaturdokumentation. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (2005), (in Serie: IRB-Literaturdokumentation; 3399), ISBN 3-8167-3324-7, Zusatz: 3399. Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau -IRB-, Stuttgart (Hrsg.)

anonym (2005): Pumpen in der Haustechnik. In: Moderne Gebäudetechnik, Band 59, (2005), Heft 11, Seite 18-19, ISSN 1436-686X

anonym (2005): Rückstaulösungen halten Keller und Co. trocken. Passiv oder aktiv. In: Moderne Gebäudetechnik, Band 59, (2005), Heft 4, Seite 34-37, ISSN 1436-686X

anonym (2005): Schutz gegen Rückstau. Das müssen Fachleute über Rückstau wissen. Spezialwissen: Gebäude-Entwässerung. Tl.2. In: baustofftechnik, Band 24, (2005), Heft 5, Seite 30-31, Zusatz: Fortsetzung aus: baustofftechnik 24 (2005) Nr.4. ISSN 0721-7854

anonym (2005): Schutz gegen Rückstau. Das müssen Fachleute über Rückstau wissen. Spezialwissen: Gebäude-Entwässerung. Tl.1. In: baustofftechnik, Band 24, (2005),

Heft 4, Seite 30-31, Zusatz: Fortsetzung in: baustofftechnik 24 (2005) Nr.5. ISSN 0721-7854

anonym (2006): Regelungen für Abwasser-Hausanschlüsse in den neuen Bundesländern. Arbeitsbericht des DWA-Fachausschusses RE-2 "Recht der neuen Bundesländer". In: KA – Abwasser, Abfall (53) Nr. 9, S.927-931

Anquetin, S., Creutin, J.-D., Delrieu, G., Ducrocq, V., Gaume, E., Ruin, I. (2004): Increasing the forecasting lead-time of weather-driven flash-floods. URL: http://natural-hazards.jrc.it/downloads/public/2004report_FeasibilityStudyOnFlashfloods.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2004, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Arbeitsgruppe für Angewandte Sfericsforschung an der Sektion Physik der Universität München (2005): Messgrundlagen. URL: http://www.sferics.physik.uni-münchen.de/, Zitationsdatum: 14.11.2005.

Arneburg, M. (1996): Vermieterhaftung: Auch für Verschulden von Handwerkern?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 7, (1996), Seite 35, Zusatz: OLG Hamm, Urteil vom 10.10.1995 - 7 U 12/95 BGB 278, 538. ISSN 0941-5750

Ashton, V., Habibul, A., Keith, S., Smith, T. (2003): Review of EU Flood R&D Projects. Bericht. Birmingham.

Assmann, Andre; Gündra, Hartmut; Schukraft, Gerd; Schulte, Achim (1998): Konzeption und Standortauswahl bei der dezentralen, integrierten Hochwasserschutzplanung für die Obere Elsenz (Kraichgau) = Decentralised and integrated flood protection planning for the Upper Elsenz. In: WASSER & BODEN, Band 50, (1998), Heft 8, Seite 15-19, ISSN 0043-0951

Atlas, D.; Rosenfeld, D.; Short, D. A. (1990): The Estimation of Convective Rainfall by Area Integrals. 1. The Theoretical and Empirical Basis, J. Geophys. Res., 95, 2153-2160.

ATV e. V. (1998): Arbeitsblatt - A 118 Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungs-systemen - Entwurf. Hennef.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (1998): Sturmdokumentation Deutschland 1997. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (1999): Sturmdokumentation Deutschland 1998. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (2000): Sturmdokumentation Deutschland 1999. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (2001): Sturmdokumentation Deutschland 2000. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (2002): Sturmdokumentation Deutschland 2001. URL: http://www.met.fu-

berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (2003): Sturmdokumentation Deutschland 2002. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (2004): Sturmdokumentation Deutschland 2003. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (2005): Sturmdokumentation Deutschland 2004. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (2006): Sturmdokumentation Deutschland 2005. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Axer, T., Bistry, T., Faust, E., Fietze, S., Müller, Meike, Prechtl, Manuel (2007): Sturmdokumentation Deutschland 2006. URL: http://www.met.fu-berlin.de/~stefan/sturm.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 18.04.2007, Zitationsdatum: 27.07.2007.

Bachmann-Erdt, G. et al. (1994): Hausgemachte Überschwemmungen: Maßnahmenvorschläge zur Vorsorge gegen zukünftige Hochwasserschäden. In: Texte, Band/Heft 21. Berlin.

Baden, Eberhard (1998): Rohrbruch unterhalb des Kellerbodens versichert?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 9, (1998), Seite 272, Zusatz: OLG Nürnberg, Urteil vom 23.01.1997 - 8 U 1349/96 BGB 249, 823, 909. ISSN 0941-5750

Bárdossy, A., Pakosch, S. (2005): Wahrscheinlichkeiten extremer Hochwasser unter sich ändernden Klimaverhältnissen. In: Wasserwirtschaft, Heft 7-8, S. 58-62.

Bartels, H. (2002): Starkniederschläge in Deutschland - Extremwertstatistische Analysen und Bewertung von Einzelereignissen. In: Naturkatastrophen in Mittelgebirgsregionen. Proceedings zum Symposium am 11. und 12. Oktober 1999 in Karlsruhe, Akademische Abhandlungen zu den Geowissenschaften, S. 55-77. Berlin.

Bartels, H. E.; Weigl, Th.; Reich, P.; Lang, A.; Wagner, O.; Kohler, N.; Gerlach (2004): Projekt RADOLAN. Routineverfahren zur Online-Aneichung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von automatischen Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer). Projektabschlussbericht DWD, 111pp.

Bartels, H., Dietzer, B., Malitz, G., Albrecht, Franz, M., Guttenberger, J. (2005): KOSTRA-DWD-2000 - Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 - 2000) - Fortschreibungsbericht. URL: http://www.dwd.de/de/wir/Geschäftsfelder/Hydrometeorologie/a_href_pages/KOSTRA-DWD-2000/Fortschreibung.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 21.12.2005, Zitationsdatum: 3.1.2006.

Bartels, H., Malitz, G. (2006): KOSTRA-DWD-2000: eine Fortschreibung flächendeckender Aussagen zu Starkniederschlagshöhen für Deutschland. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Jg. 50, Heft 2, S. 78-79.

Bartels, H.; Katzenberger, B.; Weber, H. (2004): Klimaveränderung und Wasserwirtschaft in Süddeutschland. In: Wasserwirtschaft, Band 94, (2004), Heft 4, Seite 15-19, ISSN 0043-0978

Bartels, H.; Malitz, G.; Asmus, A., Dietzer, G., Ertel (1997): KOSTRA - Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Offenbach.

Baumgartner, A. und Liebscher, H.-J. (1990): Allgemeine Hydrologie- Quantitative Hydrologie. In: Lehrbuch der Hydrologie, Band/Heft 1. Berlin - Stuttgart.

Baur, W.; Schmiedl, V.; Wagner, J.; Olejniczak, V. (2004): Ermittlung der abflussrelevanten Flächen in der Bundesstadt Bonn. In: KA – Abwasser, Abfall (51) Nr. 12, S. 1345-1347

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2006): Gewässerkundlicher Monatsbericht für Bayern. September 2006. – http://www.hnd.bayern.de/ereignisse/monatsberichte

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (BLW) (2005): Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050. URL: www.kliwa.de, Zitationsdatum: 16.11.2005.

Beheng, K. D. (1995): Mikrophysikalische und dynamische Prozesse in Wolken. In: Herbstschule Radarmeteorologie 1995, Band/Heft Annalen der Meteorologie, 32, S. 7-18. Offenbach am Main.

Belke, R.; Grünimg, H. (2004): Realisierung eines großvolumigen Sammlersystems zur Regenwasserbewirtschaftung im Mönchengladbacher Stadtgebiet. In: KA – Abwasser, Abfall (51) Nr. 12, S. 1340-1344

Berger, W. (1999): Kellerabgänge und Freitreppen. In: Bauhandwerk, Band 21, (1999), Heft 4, Seite 69-72, Abb. ISSN 0173-5365

Berliner Wasserbetriebe (2001): Abwasserbeseitigungsplan Berlin. URL: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/abwasser/ab-plan/abplan2001.shtml, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2001, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Bernard, J. (2006): NA Wasserwesen (NAW) Änderung der Berechnungsregenspende für die Dachentwässerung. DIN 1986-100:2002-03. In: DIN-Mitteilungen + elektronorm, Band 85, (2006), Heft 6, Seite 43 ISSN 0722-2912

Berz, G. (2002): Weltweite Zunahme der Naturkatastrophen: Auswirkungen der Klimaänderung? In: Naturkatastrophen in Mittelgebirgsregionen. Proceedings zum Symposium am 11. und 12. Oktober 1999 in Karlsruhe, Akademische Abhandlungen zu den Geowissenschaften, S. 1-13. Berlin.

Beyene, M.; Rubin, C. (2004): Hochwassermanagement - Gefährdungspotenziale und Risiko der Flächennutzung. Neuauflage. Beiträge zum Seminar am 17./18. Juni 2004 in Münster - Erarbeitung und Nutzung von Gefahrenkarten. In: Hennef: Selbstverlag, DE, (2004), 171 S. ISBN 3-937758-19-4. Hydrologische Wissenschaften Fachgemeinschaft in der ATV-DVWK, Hennef (Hrsg.); Hydrologische Wissenschaften Fachgemeinschaft in der ATV-DVWK, Hennef (Veranst.)

Beyer, Seimetz, Schernikau, R., Kunzmann, U., Fast, W., Westrup, J., Jahn, W., Rudolf, B., Friedeheim, K. (2007): 4. Hochwasserschutzforum in der Metropolregion Rhein-

Neckar - Hochwasserrisikomanagement in der Praxis - 16.11.1006 in Ludwigshafen. Mannheim (Schriftenreihe des Verbandes Region Rhein-Neckar, Band 1).

Binkert, G. (2005): Wo das Wasser war. In: applica, Band 112, (2005), Heft 21/22, Seite 20-21, Abb. ISSN 1422-4194

Blume, J. (1996): Neues Wohnen im Revier. IBA. In: Das Architekten-Magazin, Band 9, (1996), Heft 9, Seite 44-46 (2 S.), Abb. ISSN 0940-3124

Blumensaat, K.; Seidel, K.-H. (2005): Hochwasser und Versicherungsschutz. Möglichkeiten und Randbedingungen des Versicherungsschutzes bei Hochwasser-Ereignissen. In: KA – Abwasser, Abfall (52) Nr. 4, S. 437-441

Böhm, H., R., Heiland, P., Dapp, K. u.a. (1998): Anforderungen des vorsorgenden Hochwasserschutzes an Raumordnung, Landes-/Regionalplanung, Stadtplanung und die Umweltfachplanungen. Empfehlungen für die Weiterentwicklung. In: F+E-Vorhaben (UBA-FB 93-049). Berlin.

Böhm, T., Kurz, M. (1995): Heutiger und zukünftiger Bedarf an Radarinformationen für Nowcasting und Kürzestfristvorhersage. In: Herbstschule Radarmeteorologie 1995, Annalen der Meteorologie, Band/Heft 32, S. 146-157. Offenbach am Main.

Böhme, M. (2000): Umgang mit Niederschlagswasser. URL: http://www.geo.tu-berlin.de/_data/downloads/doku_regen.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2000, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Boll-Bickhardt, J.; Verworn, Hans-R. (1995): Bewertung der Häufigkeit extremer Regenereignisse in Bremen im Jahr 1993. In: Zeitschrift für Stadtentwässerung und Gewässerschutz. SuG, (1995), Heft 32, Seite 35-66 , ISSN 0933-6052

Borga, M., Creutin, J.D. (2000): Recent advances in radar-based flash flood monitoring and forecasting. In: European Conference on Advances in Flood Research, Band/Heft PIK Report No. 65, S. 240-251. o.O.

Bosch, K. (1997): Elementare Einführung in die angewandte Statistik. Vieweg Studium, Braunschweig.

Bosseler, Bert; Bennerscheidt, C.; Stachowiak, U. (2001): Wurzeleinwuchs in Hausanschluss-leitungen. Auswirkungen und Sanierung. In: GWF Wasser Abwasser, Band 142, (2001), Heft Sondernr.14, ISSN 0016-3651

Brahmer, G. (2006): Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussverhältnisse hessischer Gewässer. In: Wasser und Abfall, Heft 12.

Bremicker, M., Demuth, N. (2005): Vorhersage und Frühwarnsystem in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. URL: http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/wasser_10853.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.11.2005, Zitationsdatum: 14.11.2005.

Brög, H. (2007): Extremwetter: Entsetzen auf der Piste, Entzücken am Bau. In: Bild der Wissenschaft, Heft 4, S. 52-57.

Broll, Bickhardt, J. (2007): Kanalnetzbewirtschaftung in Bremen - Aktivierung bislang ungenutzter Stauraumvolumina. Suderburg.

Broll, Bickhardt, J., Verworn, H. (1995): Bewertung der Häufigkeit extremer Regenereignisse in Bremen im Jahr 1993., S. 35-66.

Brombach, H. (2006): Abwasserkanalisation und Regenbecken im Spiegel der Statistik. In: KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jg. 53, Heft 11, S. 1114-1122.

Bronstert, A. (2000): The possible impacts of environmental changes on flood formation: relevant processes and model requirements. In: European Conference on Advances in Flood Research, Proceedings, Band/Heft PIK Report No. 65, S. 183-199. Potsdam.

Bronstert, A., Fritsch, U., Katzenmaier, D. (2001): Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und -bedeckung auf den Hochwasserabfluss in Flussgebieten - eine Zusammenfassung. URL: http://www.umweltbundesamt.de/wasser/veröffentlich/kurzfassungen/29724508.htm, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.02.2001, Zitationsdatum: 31.10.2005.

Bronstert, A.; Niehoff, D. (2003): Prozessbezogene Regionalisierung der Hochwasserentstehung. In: 6. Workshop zur grossskaligen Modellierung in der Hydrologie. Flussgebietsmanagement , Kassel: Kassel UniversityPress, DE, (2003), Seite 57-68

Bronstert.A.; Fritsch, U.; Katzenmaier, D. (2001): Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und -bodenbedeckung auf den Hochwasserabfluss in Flussgebieten unter Berücksichtigung des zustandes der Vegetationsdecke und möglicher Klimaänderungen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Förderkennzeichen 297 24 508. BerlinBronstert, A., Kolokotronis, V., Schwandt, D., Straub, H. (2006): Vergleich und hydrologische Wertung regionaler Klimaszenarien für Süddeutschland. In: Hydrologie/Wasserwirtschaft, Jg. 50, Heft 6.

Bullermann, Martin (2002): Stand der Technik in der Regenwassernutzung. In: Wasser und Abfall, Band 4, (2002), Heft 7/8, Seite 8-12, ISSN 1436-9095

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2005): Bauliche Schutz- und Vorsorgemaßnahmen in hochwassergefährdeten Gebieten. URL: http://www.bmvbs.de/Anlage/original_953503/Hochwasserschutzfibel.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 30.07.2007, Zitationsdatum: 31.07.2007.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2001 ff): Hydrologischer Atlas von Deutschland. o.O.

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (1999): Hochwasserschutzfibel. Planen und Bauen von Gebäuden in hochwassergefährdeten Gebieten. o.O.

Büttner, U., Fügner, D., Winkler U (2001): Das Hochwasser am 5./6. Juli 1999 im Raum Marienberg im Erzgebirge. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Band/Heft 3, S. 102-112. o.O.

BWK (2001): Hochwasserschadenspotenziale. In: BWK Berichte, Band/Heft 1/2001. Düsseldorf

BWS GmbH (2005): Einsatzkonzept bei Binnenhochwasser (in Hamburg). Hamburg.

Calheiros, R. V.; Zawadski, I. I. (1987): Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. J. Climate and Appl. Meteo., 26, 118-132.

Caspary, H.J. (2004): Zunahme "kritischer" Wetterlagen als Ursache für die Entstehung extremer Hochwasser in Südwestdeutschland. In: KLIWA-Symposium 2004, S. 135-152. o.O.

Center of Disaster Management and Risk Reduction Technology CEDIM (2005): Glossar: Begriffe und Definitionen aus den Risikowissenschaften. URL: http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~gd202/www.cedim/download/glossar-gesamt-20050624.pdf.

Cervinka, T. (2005): Haftungsfragen rechtzeitig klären. Hochwasser. In: Österreichische Bauzeitung, (2005), Heft 37, Seite 14-15, Abb.

Commentz, C. (2004): Die Dimension des Klimawandels. Flachdächer. In: DDH Das Dachdeckerhandwerk, Band 125, (2004), Heft 18, Seite 34-37, ISSN 0172-1003

Conrad (1977): Schäden beim Bau von Kanalisationen und Kläranlagen. In: Der Maschinenschaden, Band 50, (1977), Heft 2, Seite 71-75, 12 , 5, ISSN 0025-4517

Cvaci, D. (2006): DWA-Wasserwirtschaftskurs M/1 "Entwässerungskonzepte". In: KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jg. 53, Heft 8, S. 764-766.

Damrath, U. (2005): Numerische Niederschlagsvorhersage - Methodik der Berechnung und ihre Qualität. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 29-54. München.

Dams, T. (2002): Planung und Katastrophenvorsorge: Erklärung der Problemstellung und Linienführung ihrer Behandlung. In: Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) (Hrsg.): Zweites Forum Katastrophenvorsorge 24. – 26. September 2001 in Leipzig. Extreme Naturereignisse: Folgen – Vorsorge – Werkzeuge – Bonn und Leipzig. S. 53 – 57: April 2002, ISBN: 3-933181-26-7

Dapp, K. und Heiland, P. (1999): Hochwasserschutz durch Instrumente der Raumplanung. In: Wasserwirtschaft 89 (1999)12, S. 614 [618]

Daucher, H., Straub, H., Karolus, B., Störk, K., Schultz, W., Wald, J., Göppert, G. (2007): Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes. URL: http://www.lubw.baden-württemberg.de/servlet/is/14024/festlegung_bemessungshochwasser.pdf?command=downloadContent&filename=festlegung_bemessungshochwasser.pdf, Zitationsdatum: 31.07.2007.

Davis, R., S. (2001): Flash Flood Forecast and Detection Methods. In: Meteorological Monographs. o.O., S. 481-525.

Debeka BWE (2008): Allgemeine Versicherung AG, Versichern Bausparen, Besondere Bedingungen für die Versicherung weiterer Elementarschäden, Stand: 1. Januar 2008.

Debo, T.-N. (1982): Urban flood damage estimating curves Kurvenscharen zur Abschätzung von Überschwemmungsschäden in städtischen Gebieten. In: Journal of the hydraulics division, Band 108, (1982), Heft 10., Seite 1059-1069, ISSN 0044-796X

Demuth, N., Meuser, A., Winzig, G., Baedjer, N., Tueselman, J., Burghardt, W. (1999): Wann eignen sich Flächen zur Versickerung? In: wwt. Wasserwirtschaft Wassertechnik, Heft 5, S. 27-29.

Deutsche Forschungsgemeinschaft (1993): Naturkatastrophen und Katastrophenvorbeugung. Bericht des wissenschaftlichen Beirats des DFG für das Deutsche Komitee für die "International Decade for Natural Disaster Reduction" (IDNDR). Weinheim.

Deutscher Feuerwehrverband (2002): Die Hochwasserkatastrophe an der Elbe im August 2002 Erfahrungen - Analysen - Konsequenzen. URL: http://www.wfv-

hessen.de/download/dfv-anl.PDF, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 29.09.2002, Zitationsdatum: 31.07.2007.

Deutscher Wetterdienst DWD (2005): Projekt RADVOR-OP - Radargestützte, zeitnahe Niederschlagsvorhersage für den operationellen Einsatz (Niederschlag-Nowcasting-System) - Zusammenfassender Abschlussbericht. Offenbach a. M.

Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e. V. DKKV (2004): Hochwasservorsorge in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. In: Lessons learned, Band/Heft 29. Bonn.

Diekel, K.-H. (2001): Regenwasserversickerung als Baustein im lokalen Wasserhaushalt. In: Umweltpraxis, Band 1, (2001), Heft 11, Seite 32-33, Abb. ISSN 1616-5829

Dierckes, C.; Raasch, U.; Spengler, B. (2006): Versickerungsleistung und Stoffrückhalt von wasserdurchlässigen Flächenbelägen bei hohen Anschlussverhältnissen. In: KA – Abwasser, Abfall (53) Nr. 12, S.1232-1237

Dieterle, K. (2003): Problematik des Aufschwimmens bei Hochwasser, Überschwemmung und Grundwasseranstieg. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/Seiten/4B7E36BCE30CBE1FC125698B004506E3?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2005.

DIN (2000): DIN EN 12056-1, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden — Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 12056-1:2000.

DIN (2000): DIN EN 12056-2, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden — Teil 2: Schmutzwasseranlagen, Planung und Berechnung; Deutsche Fassung EN 12056-2:2000.

DIN (2000): DIN EN 12056-3, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden — Teil 3: Dachentwässerung, Planung und Bemessung; Deutsche Fassung EN 12056-3:2000.

DIN (2000): DIN EN 12056-4, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden — Teil 4: Abwasserhebeanlagen, Planung und Bemessung; Deutsche Fassung EN 12056-4:2000.

DIN (2000): DIN EN 12056-5, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden — Teil 5: Installation und Prüfung, Anleitung für Betrieb, Wartung und Gebrauch; Deutsche Fassung EN 12056-5:2000.

DIN (2001): DIN EN 12050-2, Mai 2001. Abwasserhebeanlagen für die Gebäude- und Grundstücksentwässerung - Bau- und Prüfgrundsätze - Teil 2: Abwasserhebeanlagen für fäkalienfreies Abwasser; Deutsche Fassung EN 12050-2:2000. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2001): DIN EN 13564-3, Oktober 2001. Rückstauverschlüsse für Gebäude - Teil 3: Güteüberwachung; Deutsche Fassung prEN 13564-3:2001. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.)

DIN (2002): DIN 1986-100 Berichtigung 1, Dezember 2002. Berichtigungen zu DIN 1986-100:2002-03. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2002): DIN 1986-100, März 2002. Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Zusätzliche Bestimmungen zu DIN EN 752 und DIN EN 12056. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2002): DIN EN 13564-1, Oktober 2002. Rückstauverschlüsse für Gebäude - Teil 1: Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13564-1:2002. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2003): DIN EN 13564-2, Februar 2003. Rückstauverschlüsse für Gebäude - Teil 2: Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 13564-2:2002. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2004): DIN 1986-3, November 2004. Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 3: Regeln für Betrieb und Wartung. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2004): DIN 1989-4, Juni 2004. Regenwassernutzungsanlagen - Teil 4: Bauteile zur Steuerung und Nachspeisung. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2004): DIN EN 13564-3, Februar 2004. Rückstauverschlüsse für Gebäude - Teil 3: Güteüberwachung; Deutsche Fassung EN 13564-3:2003. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2005): DIN 1989-4, August 2005. Regenwassernutzungsanlagen - Teil 4: Bauteile zur Steuerung und Nachspeisung. Beuth Verlag GmbH (Hrsg.)

DIN (2008): DIN EN 752, Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Deutsche Fassung EN 752:2008.

diverse (2001): Coping with Flash Floods. In: Nato Science Series, 2. Environmental Security, Band/Heft 77. Dordrecht.

diverse (2003): Klima, Wasser, Flussgebietsmanagement. Im Lichte der Flut. Beiträge zum Tag der Hydrologie 2003 am 20./21. März 2003 in Freiburg i. Br. Band 1: Vorträge. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Band/Heft 4. München.

DLR (Hrsg.) (1993): Materialien-Sammlung zum Workshop Radar-Meteorologie DLR Oberpfaffenhofen 10./11. November 1993. Oberpfaffenhofen.

Dombrowsky, W.,R., Horenczuk, J., Streitz, W. (2003): Erstellung eines Schutzdatenatlasses. In: Zivilschutz-Forschung. Neue Folge, Heft 51.

Doneaud, A. A.; Smith, P. L.; Dennis, A. S.; Sengupta, S. (1981): A simple method for Estimating Convective Rain Volume Over an Area, Water Resour. Res., 17, 1676-1682.

Doswell, C, A. (2000): The Operational Meteorology of Convective Weather. Volume I: Operational Mesoanalysis. Kansas City.

Doswell, C. A. (1993): Flash-flood producing convective storms: current understanding and research. In: Proceedings, Spain-U.S. Joint Workshop on Natural Hazards, S. 1-10. Barcelona.

Doswell, C. A. (1997): Flash Flood Forecasting - Techniques and Limitations. In: Präsentation vorgestellt am III. Jornades de Meteorologia Eduard Fontsere. Barcelona.

Doswell, C. A. (2001): Severe Convective Storms - An Overview. In: Meteorological Monographs, Band/Heft Vol. 28, Nr. 50, S. 1-26. Boston.

Doswell, C. A., Brooks, H., Maddox, R. A. (1995): Flash flood forecasting: an ingredients-based methodology. In: Weather and Forecasting, S. 560-581. o.O.

Dotzek, N. (2002): Tornados in Deutschland. In: Naturkatastrophen in Mittelgebirgsregionen. Proceedings zum Symposium am 11. und 12. Oktober 1999 in Karlsruhe, Akademische Abhandlungen zu den Geowissenschaften, S. 31-53. Berlin.

Dotzek, N. (2007): Mesoskalige numerische Simulation von Wolken- und Niederschlagsprozessen über strukturiertem Gelände. o.O.

Draschoff, R. (2005): KOSTRA - eine Deutschland umfassende rasterbasierte Darstellung der Punktniederschlagshöhen in Abhängigkeit von Dauer und Häufigkeit. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 75-80. München.

Draschoff, R., Sieker, Brummer, Schilling, Treiber, Verworn, Lux, Beckel, Billmeier, Lyons, Pecher, Krauth, Brunner, Neumann, Geiger, Winter, Marr, Gebert, Macke, Bröker (1983): Das Niederschlag-Abflußverhalten städtischer Gebiete. In: Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen ; 44, Band/Heft 44. München.

Dreiseitl, H., Hauber, G. (2005): Hochwasserschutz aus städte- raumplanerischer Sicht. In: Wasserwirtschaft, Band/Heft 3/2005. o.O.

Drufuca, G.; Zawadski, I. I. (1975): Statistics of raingage records. J. Appl. Meteor., 14, 1419-1429.

DVWK (1985): Ökonomische Bewertung von Hochwasserschutzeinrichtungen. Arbeitsmaterialien zum methodischen Vorgehen. In: Mitteilungen des DVWK, Band/Heft 10. Bonn.

DVWK (1997): Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland. In: Mitteilungen des DVWK, Band/Heft 29. Bonn.

DWA e. V. (2006): Hochwasservorsorge für Abwasseranlagen - Merkblatt DWA-M 103. In: Merkblatt, Band/Heft 103. Hennef.

DWD - Abteilung Hydrometeorologie (2005): KOSTRA - DWD 2000 - Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 - 2000) - Grundlagenbericht. URL: http://www.dwd.de/de/wir/Geschäftsfelder/Hydrometeorologie/a_href_pages/KOSTRA-DWD-2000/Grundlagenbericht.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 17.11.2005, Zitationsdatum: 3.1.2006.

DWD (2005): RADOLAN (Radar-Online-Aneichung). URL: http://www.dwd.de/de/wir/Geschäftsfelder/Hydrometeorologie/a_href_pages/RADOLAN/index1.htm, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.11.2005, Zitationsdatum: 14.11.2005.

DWD (Hrsg.) (1995): Herbstschule Meteorologie 1995 vom 23. bis 31. Oktober 1995 in Oberpfaffenhofen. In: Annalen der Meteorologie, Band/Heft Nr. 32. Offenbach am Main.

DWD, Wichura, B., Stiller, B. (2005): Zuordnung der Schneelastzonen nach DIN 1055-5E: 2004 zu Verwaltungseinheiten (Gemeinden, Landkreise) - Amtliches Gutachten. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Bauforschung, Band T 3093).

Dyck, S., Peschke, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie. Berlin.

Egli, T. (1999): Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren. St. Gallen CH.

Egli, T. (2000): Gefahrenkarten für die Bauvorsorge und Notfallplanung. URL: http://www.naturgefahr.ch/php/mhscms/apps/mhsUploader/data/t_document/1/UP_UPL_file1/gefahrenkarten_egli.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 16.11.2006, Zitationsdatum: 31.07.2007.

Ehret, U., Bardossy, A. (2002): Hochwasser - Staatsfeind Nr. 1. URL: http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2003/1575/pdf/ehret.pdf, Zitationsdatum: 24.01.2006.

Ehret, U., Bárdossy, A. (2003): Hochwasser - Staatsfeind Nr. 1. URL: http://www.uni-stuttgart.de/wechselwirkungen/ww2002/ehret.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 11.02.2003, Zitationsdatum: 31.07.2007.

Einfalt, T. (2003): Kleinräumige Starkregenschäden 2001 und 2002 in NRW - wie es dazu kam -. o.O.

Einfalt, T. und Hydrotec (2003): Kleinräumige Starkregenereignisse 2001 und 2002 in NRW - wie es dazu kam - (unveröffentlicht!).Aachen.

Einfalt, T.; Jessen, M. (2002): Radargestützte Abschätzung der Wiederkehrzeiten von Niederschlag in städtischen Gebieten. In: Wasserwirtschaft, Band 92, (2002), Heft 10, Seite 11-16, ISSN 0043-0978

Elsener, J., Breitenmoser, B. (2003): Leitfaden zur Umsetzung der Gefahrenkarten Hochwasser. URL: http://www.hochwasser.zh.ch/internet/bd/awel/wb/hw/de/hochwasser/gefahrenkarte.SubContainerList.SubContainer1.ContentContainerList.0006.DownloadFile.pdf?CFC_cK=1146200241803., Zitationsdatum: 31.07.2007.

Englert, K. (1995): Wo liegen die Grenzen der Aufklärungspflicht des Fachunternehmers?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 6, (1995), Seite 295, Zusatz: OLG Oldenburg, Urteil vom 23.11.1994 - 2 U 179/94 VOB/B 4 Nr. 3; BGB 242. ISSN 0941-5750

Englert, K. (1996): Haus-Kanalanschlüsse müssen absperrbar sein!. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 7, (1996), Seite 360, Zusatz: OLG Hamm, Urteil vom 05.04.1995 - 32 U 162/90; BGH, Beschluss vom 05.03.1996 - VI ZR 167/95 (Revision nicht angenommen) BGB 31, 254, 823. ISSN 0941-5750

ETH Zürich (2005): FRAMEWORK - "Flash-flood Risk Assessment under the impacts of land use changes and river Engineering Works". URL: http://www.ihw.ethz.ch/hydrologie/research/research_projects/completed/framework, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 13.07.2005, Zitationsdatum: 15.11.2005.

Ettrich, N., Nieschulz, K.-P., Valdez, R.G., Hilden, M., Garth, C., Heppelmann, H. (2003): Verbundprojekt: Risikomanagement für urbane Entwässerungssysteme - Simulation und Optimierung (RisUrSim). URL: http://www.itwm.fraunhofer.de/sks/projects/sks_hochwasser_und_risikomanagement/media/Risursim_rep_itwm.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 30.06.2003, Zitationsdatum: 20.01.2006.

Eulenstein, F.; Olejnik, J.; Willms, M.; Schindler, U.; Chojnicki, B.; Meissner, R. (2006): Mögliche Auswirkungen der Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt von AgrarlandschafteninNord-Mitteleuropa. In: Wasserwirtschaft, Band 96, (2006), Heft 9, Seite 32-36, Lit ISSN 0043-0978

Europäische Kommission (1998): Hydrological Risks: Analysis of recent results from EC research and technological development actions. o.O.

Feurich, H. (1981): Abdichtungen bei Wasserbecken und in Nassräumen. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 36, (1981), Heft 18, Seite 1304,1306,1309-1310,1313-1314,1316, ISSN 0342-8184

Feurich, H. (1996): Wenn das Gefälle nicht reicht. Abwasser-Pumpenfördersysteme. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 51, (1996), Heft 22, Seite 68-73, ISSN 0342-8184

Feurich, H. (1997): Schmutzwasser-Kleinhebeanlagen für sanitärobjektbezogenen Einbau. In: Installation DKZ, Band 117, (1997), Heft 5, Seite 218-230 (8 S.), ISSN 0020-210X

Feurich, H. (2002): Schutz gegen Rückstau durch Abwasserhebeanlagen und Rückstauverschlüsse. Tl.1. Abwasserbeseitigung - Wiedersprüche nach de Stand der Normung und dem Stand der Technik. In: HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik, Band 53, (2002), Heft 11, Seite 52-63 (9 S.), Zusatz: Wird fortgesetzt. ISSN 1436-5103

Feurich, H. (2003): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Kommentar einer mangelhaften Normung. Tl.1. In: Installation DKZ, Band 122, (2003), Heft 1, Seite 8-12, Zusatz: Wird fortgesetzt. ISSN 0020-210X

Feurich, H. (2003): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Kommentar einer mangelhaften Normung. Tl.2. In: Installation DKZ, Band 122, (2003), Heft 2, Seite 59-68 , Zusatz: Fortsetzung aus: Installation DKZ 122 (2003)Nr.1. ISSN 0020-210X

Feurich, H. (2003): Schmutzwasser-Kleinsthebeanlagen für den Sanitärobjekt bezogenen Einbau. Tl.1: Anlagen für fäkalienhaltiges Abwasser. In: Haustechnik IKZ, Band 58, (2003), Heft 4, Seite 38-48 (7 S.) , Zusatz: Wird fortgesetzt. ISSN 0177-3054

Feurich, H. (2004): Schutz gegen Rückstau durch Rückstauverschlüsse und Abwasserhebeanlagen. In: Installation DKZ, Band 124, (2004), Heft 7/8, Seite 18-32, ISSN 0723-4775

Feurich, H. (2004): Stand der Normung. Abwasserhebeanlagen und Rückstauverschlüsse. Tl.2. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 59, (2004), Heft 9, Seite 26-32 , Zusatz: Fortsetzung aus: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima und Klempnertechnik 59 (2004) Nr.8. ISSN 1616-2285

Feurich, H. (2004): Stand der Normung. Abwasserhebeanlagen und Rückstauverschlüsse. Tl.1. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 59, (2004), Heft 8, Seite 122-131, Abb. ISSN 1616-2285

Feurich, H. (2006): Schutz gegen Rückstau durch Rückstauverschlüsse und Abwasserhebeanlagen. In: gi Gesundheits-Ingenieur, Band 127, (2006), Heft 3, Seite 139-151, Lit ISSN 0932-6200

Fiedler, F. (2002): Stürme und Orkane in Mittelgebirgsregionen. In: Naturkatastrophen in Mittelgebirgsregionen. Proceedings zum Symposium am 11. und 12. Oktober 1999 in Karlsruhe, Akademische Abhandlungen zu den Geowissenschaften, S. 15-29. Berlin.

Fiedler, F., Nestmann, F., Kohler, M. (2002): Naturkatastrophen in Mittelgebirgsregionen. Proceedings zum Symposium am 11. und 12. Oktober 1999 in Karlsruhe. In: Akademische Abhandlungen zu den Geowissenschaften. Berlin.

Flick Ingenieurgemeinschaft GmbH (2001): Nachmodellierung des Hochwasserereignisses Mai 2001 an der Werse im Stadtgebiet Ahlen. URL: http://www.bentley.de/about/neuigkeiten2004/Bericht_Bentley.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 07.11.2005, Zitationsdatum: 07.11.2005.

Fräfel, M., Jeisy, M., Hegg, C. (2005): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2004. In: Zeitschriftenaufsatz: wasser energie luft - eau energie air, Band 97, (2005), Heft 3/4, Seite 69-74, ISSN 0377-905X

Fricke, W., Kaminski, U. (2002): Ist die Zunahme von Starkniederschlägen auf veränderte Wetterlagen zurückzuführen? In: GAW-Brief des Deutschen Wetterdienstes, S. 1-2. o.O.

Fricke, W., Kronier, M. (2001): Betrachtungen zum Klimawandel am Hohenpeißenberg. In: DWD Klimastatusbericht 2001, S. 250-257. o.O.

Fritsch, J. M., Forbes, G. S. (2001): Mesoscale Convective Systems. In: Meteorological Monographs, Band/Heft Vol. 28, Nr. 50, S. 323-357. Boston.

Fröbel, J. (2003): Schäden an Gasversorgungsanlagen durch Hochwasser. In: energie wasser-praxis, Band 54, (2003), Heft 4, Seite 34-35, Abb. ISSN 1436-6134

Fröbel, J. (2004): Flutschäden in der Gasversorgung im August 2002 - Untersuchungen und Schlussfolgerungen. In: gwf Das Gas- und Wasserfach, Gas - Erdgas, Band 145, (2004), Heft 1, Seite 40-46, ISSN 0016-4909

Frössel, F. (2005): Sporadische Wasserschäden und ihre Sanierung. In: Kellersanierung. Von Grund auf gut - Kellersanierung vom Fachbetrieb, Geislingen/Steige: C. Maurer, DE, (2005), Seite 99-109 , (in Serie: Praxis kompakt), ISBN 3-87517-026-1

Fuchs, T., Rapp, J., Rudolf, B. (2005): Starkniederschläge im Oktober 1998 in Mittel- und Westeuropa. o.O.

Fuchs, T., Schindlmayr, R., Unterreitmeier, B. (2004): Realisierung eines integrierten Hochwasserschutzkonzeptes am Beispiel der Gemeinde Ainring. In: Lebensraum Fluss - Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie, DE, Wallgau, 20040616-20040619, Lebensraum Fluss. Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie. Bd.2. Beiträge zum Symposium vom 16.-19. Juni 2004 in Wallgau, Oberbayern, München: Selbstverlag, DE. TU München, Institut für Wasserwesen, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.); TU München, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Oskar von Miller-Institut, Obernach (Hrsg.)

Fuhrmann, P.; Hutter, C.-P. (Hrsg) (2004): Klimaschutz und Hochwasservorsorge. Zusammenhänge und Konsequenzen für die kommunale Planungspraxis. In: Fachtagung Klimaschutz und Hochwasservorsorge - Zukunftssicherung für Mensch und Natur, DE, Vaihingen/Enz, 20030218, Stuttgart: WVG Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, DE, (2004), 132 S. (in Serie: Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz (Hrsg.)

Funke, R. (2004): Berücksichtigung der Auswirkungen von Klimaveränderungen bei der Planung von Entwässerungssystemen. In: Seminar "Klimaveränderungen - neue Bemessungs-anforderungen an Wasserbau und Stadtentwässerung" am 09.11.2004 in Köln. Hennef.

Gantner, K. (2002): Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungsmethoden. Online Ressource. In: Berlin: Selbstverlag, DE, (2002), 277 S., Zusatz: pdf-Format, ca. 4,3 MB, tech. Diss.; Berlin2002. TUBerlin, Fakultät Prozesswissenschaften (Hrsg.)

Geoforschungszentrum Potsdam (2005): Erfassung von Hochwasserschäden - Vergleich von Methoden aus Verwaltung, Versicherung und Wissenschaft - Workshop am 1. und 2. Dezember 2005. Workshop des RIMAX-Projektes MEDIS "Methoden zur Erfassung Direkter und Indirekter Hochwasser-Schäden". o.O.

Gerstengarbe, F.-W. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung -PIK- (Hrsg.)

Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C. (1993): Katalog der Großwetterlagen Europas nach Paul Hess und H.h Brezowski 1881 - 1992. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst (Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band 113).

Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Veröffentlicht im Bundesgesetzblatt 2005, Teil I Nr. 26 vom 9. Mai 2005 (2005): Vom 3. Mai 2005. Berlin.

Gouldby, B., Samuels, B. (2005): Language of Risk - FLOODsite Project Definitions. In: Integrated Flood Risk Analysis and. o.O.

Grangler, A. (2000): Nachhaltige Wasserwirtschaft in urbanen Räumen. URL: http://www.geo.tu-berlin.de/_data/downloads/doku_regen.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2000, Zitationsdatum: 12.05.2006.

GRASS GIS Geographic Resources Analysis Support System – http://grass.itc.it/index.php

Greiving, S. (2002): Planung und Katastrophenvorsorge - Verknüpfung über Verfahren und organisatorische Regelungen. In: Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) (Hrsg.): Zweites Forum Katastrophenvorsorge 24. – 26. September 2001 in Leipzig. Extreme Naturereignisse: Folgen – Vorsorge – Werkzeuge – Bonn und Leipzig. S. 120 – 127: April 2002, ISBN: 3-933181-26-7

Grollmann, T., Simon, S. (2002): Flutkatastrophen - Boten des Klimawandels? In: Sonderdruck Zeitschrift für Versicherungswesen, Band/Heft 11/2002, S. 1-8. o.O.

Gruber, H, Holzinger, G (2004): Risikoanalyse als Grundlage für eienen umweltfreundlichen Hochwasserschutz am Beispiel Sattelbach. In: Lebensraum Fluss - Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie, DE, Wallgau, 20040616-20040619, Lebensraum Fluss. Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie. Bd.2. Beiträge zum Symposium vom 16.-19. Juni 2004 in Wallgau, Oberbayern, München: Selbstverlag, DE. TU München, Institut für Wasserwesen, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.); TU München, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Oskar von Miller-Institut, Obernach (Hrsg.)

Grünewald, U., Kaltofen, M., Schümberg, S., Merz, B., Kreibich, H., Petrow, T., Thieken, A., Streitz, W., Dombrowsky, W. (2004): Hochwasservorhersage in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Kurzfassung für die Versicherungswirtschaft. In: Lessons learned, Schriftenreihe des DKKV, Band/Heft 29. Bonn.

Gruntfest, E. und Ripps, A. (2001): Flash Floods - Warning and Mitigation Efforts and Prospects. Colorado Springs, USA - http://www.uccs.edu/~geogenvs/ecg/pdffiles/Parkerchapter.pdf

Grunwald, P. (1997): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Tl.5 - Schutz gegen Rückstau. In: Installation DKZ, Band 117, (1997), Heft 11, Seite 586-594, Zusatz: Fortsetzung aus: Installation DKZ 1997, Nr.10, Seite 532. ISSN 0020-210X

Grunwald, P. (1997): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 1: Grundlagen für Haus - und Grundstücksentwässerung nach DIN 1986-1. In: Installation DKZ, Band 117, (1997), Heft 3, Seite 145-153, ISSN 0020-210X

Grunwald, P. (1997): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Tl.3 - Lüftungssysteme. In: Installation DKZ, Band 117, (1997), Heft 4, Seite 186-193 (4 S.), Zusatz: Wird fortgesetzt. ISSN 0020-210X

Grunwald, P. (1997): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Tl.4 - Verlegen von Leitungen. In: Installation DKZ, Band 117, (1997), Heft 10, Seite 532-539 (6 S.), Zusatz: Fortsetzung in: Installation DKZ 1997, Nr.11, Seite 605 ISSN 0020-210X

Grunwald, P. (1998): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Tl.6: Abscheideanlagen. In: Installation DKZ, Band 118, (1998), Heft 10, Seite 463-472 (6 S.), ISSN 0723-4775

Grunwald, P. (2001): Neues Regelwerk für die Gebäude- und Grundstücksentwässerung. DIN EN 12056, DIN 1986-100 und DIN EN 752. Tl.1. In: Installation DKZ, Band 121, (2001), Heft 11, Seite 494-498, Abb. ISSN 0020-210X

Grunwald, P. (2002): Neues Regelwerk für die Gebäude- und Grundstücksentwässerung. DIN EN 12056, DIN 1986-100 und DIN EN 752. Tl.2. In: Installation DKZ, Band 122, (2002), Heft 1, Seite 16-19, Zusatz: Fortsetzung aus: Installation 121 (2001)Nr.11, Seite 498. ISSN 0020-210X

Grunwald, P. (2004): Neues Regelwerk für Gebäude- und Grundstücksentwässerung. DIN EN 12056 und DIN 1986-100 und DIN EN 752. In: Installation DKZ, Band 123, (2004), Heft 3, Seite 20-28 , ISSN 0723-4775

Grüter, T. (2000): Regenwassernutzung für das Umweltgewissen. Ökologie geht vor Ökonomie. In: Moderne Gebäudetechnik, (2000), Heft 3, Seite 26-28, Abb. ISSN 1436-686X

Grüter, T. (2002): Regenwassernutzung nach DIN 1989. Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung. Tl.2. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 57, (2002), Heft 7, Seite 52-61 , ISSN 1616-2285

Grüter, T. (2002): Regenwassernutzung nach DIN 1989. Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung. Tl.1. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 57, (2002), Heft 6, Seite 34-39 , ISSN 1616-2285

Grüter, T. (2004): Wohin geht's mit dem Regen sammeln?. In: Moderne Gebäudetechnik, Band 58, (2004), Heft 7/8, Seite 32-33, Abb. ISSN 1436-686X

Grüter, T.; Eckermeier, M. (2000): Gute Geschäfte mit dem Regen. Regenwassernutzung: Technischer Stand und Anbieterübersicht. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 55, (2000), Heft 9, Seite 94-107 (8 S.), Abb. ISSN 0342-8184

Gudd, M. (2004): Gewitter und Gewitterschäden im südlichen hessischen Berg- und Beckenland und im Rhein-Main-Tiefland 1881 bis 1980. Eine Auswertung mit Hilfe von Schadensdaten. Mainz.

Günther, T. (2005): Produkte des Deutschen Wetterdienstes für die Hochwasservorhersage. URL: http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/wasser_10853.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 15.03.2005, Zitationsdatum: 14.11.2005.

Günther, T., Blümel, K. (2005): Analyse und Vorhersage des Niederschlagsdargebots (Schneeschmelze und Regen). In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in

Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 55-64. München.

Günther, T., Matthäus, H. (2005): Extremwerte des Niederschlagsdargebotes aus Regen und Schneeschmelze. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 115-128. München.

Gutjahr, W. (2004): Barrierefreie Schwellen an Balkon- undTerrassentüren. Eine Herausforderung an Planer und Ausführende. BarrierefreiesBauen. In: ARCONIS, Band 9, (2004), Heft1, Seite 4-7, Abb ISSN 0949-7153

Gutknecht, D., Kirnbauer, R., Blöschl, G., Nester, T., Reszler, C., Haiden, T. (2005): Neue Entwicklungen der Hochwasservorhersage im Einzugsgebiet der Donau und des Kamp. URL: http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/wasser_10853.html - http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/documents/gutknecht.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 16.03.2005, Zitationsdatum: 16.11.2005. - http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/documents/gutknecht.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 14.03.2005, Zitationsdatum: 14.11.2005.

Gutknecht, D; Blöschl, G; Reszler, C.; Heindl, H. (2006): Ein "Mehr-Standbeine"-Ansatz zur Ermittlung von Bemessungshochwässern kleiner Auftretenswahrscheinlichkeit = A "multi-pillar"-approach to the estimationof lowprobabilitydesignfloods. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft , Band 58, (2006), Heft3/4, Seite 44-50 , Lit ISSN 0945-358X

Guttenberger, J. (1998): Starkniederschlagshöhen und die DIN-Norm 1986. Regenwasserleitungen mit versteckten Reserven?. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 53, (1998), Heft 23, Seite 32-37 (3 S.), ISSN 0342-8184

Guttenberger, J. (1998): Zur Frage der Akzeptanz der KOSTRA-Daten. In: Wasserwirtschaft, Jg. 88, Heft 1, S. 14-18.

Guttenberger, J. (1998): Zur Frage der Akzeptanz der KOSTRA-Daten. In: Wasserwirtschaft, Band 88, (1998), Heft 1, Seite 14-18, ISSN 0043-0978

Habel, M. (2005): Kleinräumige Schadensereignisse. Starkregen, Hagel, Tornados. Möglichkeiten der Rekonstruktion und Einordnung. URL: http://www.tordach.org/papers.htm, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.01.2004, Zitationsdatum: 16.11.2005.

Haberlandt, U., Schumann, A., Büttner, U. (2005): Räumliche Niederschlagsschätzung aus Punktmessungen und Radar am Beispiel des Elbehochwassers 2002. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (HW), Band/Heft 49, 2005, H. 2. o.O.

Häckel, H. (1999): Meteorologie. Stuttgart.

Hader, F. (1982): Grundzüge einer Tiefbauklimatologie. Tl.3. In: Tiefbau, Ingenieurbau, Strassenbau. TIS, Band 24, (1982), Heft 8, Seite 498, 500 - 504, ISSN 0340-5079

Hager, W.-H. (2001): Pfeiler- und Widerlagerstau an Brücken = Backwater due to bridge piers and abutments. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Band 53, (2001), Heft 1/2, Seite 17-27 (11 S.), ISSN 0945-358X

Hannan, T.-C.; Goulter-C (1988): Model for crop allocation in rural floodplains Modell für die Ernteverteilung in landwirtschaftlich genutzten Überschwemmungsgebieten. In: Journal of Water Resources Planning and Management, Band 114, (1988), Heft 1, Seite 1-19, ISSN 0733-9496

Haushofer, B.-A. (2003): Schadensursache Wetter - Flachdach. In: DDH Das Dachdeckerhandwerk, Band 124, (2003), Heft 21, Seite 6-11, ISSN 0172-1003

Hausmann, P., Perils, C. (1998): Überschwemmungen: ein versicherbares Risiko? Zürich.

Hegg, Kolf, Elze, Reich, Worreschk, Merz, Rodriguez, Beyenne, Falkenhagen, Kron (2005): Hochwasser-Gefahrenkarten. Teil 1: Erarbeitung und Nutzung von Hochwassergefahrenkarten. Beiträge zum Erfahrungsaustausch am 24. November 2004 in Erfurt. Teil 2: Zonierungssystem und Risikomodellierung in der Versicherungswirtschaft. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Band/Heft 8. Hennef.

Heidland, F. (2002): Aufgaben und Funktion der Regional- und Raumplanung im Zusammenhang mit Hochwasserrisiken. In: Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) (Hrsg.): Zweites Forum Katastrophenvorsorge 24. – 26. September 2001 in Leipzig. Extreme Naturereignisse: Folgen – Vorsorge – Werkzeuge – Bonn und Leipzig. S. 65 – 71: April 2002, ISBN: 3-933181-26-7

Heinrichss, F.-J., Rickmann, B., Sondergeld, K.-D., Störrlein, K.-H. (2005): Gebäude- und Grundstücksentwässerung. Kommentare zu DIN EN 12056, DIN 1986 und DIN EN 1610, DIN-Normen und Technische Regeln. Berlin.

Held, T. (Hrsg); Herget, J. (Hrsg) (1997): Forum angewandte Geographie - Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung. In: Bochum: Selbstverlag, DE, (1997), III (in Serie: Materialien zur Raumordnung (Bochum); 49), ISBN 3-925143-19-X. Univ. Bochum, Geographisches Institut (Hrsg.)

Hennegriff, W.; Kolokotronis, V.; Weber, H.; Bartels, H. (2006): Klimawandel und Hochwasser. Erkenntnisse und Anpassungsstartegien beim Hochwasserschutz. In: KA – Abwasser, Abfall (53) Nr. 8, S. 770-779

Hennig, B. (2000): Getrennte Entgelte für Schmutz- und Niederschlagswasser in Berlin. URL: http://www.geo.tu-berlin.de/_data/downloads/doku_regen.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2000, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Herz, D. (2003): Retentionsflächen. Schnittstelle von Ingenieurleistung und Planungskunst. In: Stadt und Grün/Das Gartenamt, Band 52, (2003), Heft 8, Seite 9-13, Abb. ISSN 0948-9770

Herzer, P. (2003): Einflüsse einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung auf den Städtebau. Räumliche, ökonomische und ökologische Aspekte. In: Stuttgart: Selbstverlag, DE, (2003), VI, Zusatz: tech. Diplomarbeit; Stuttgart 2003. Univ. Stuttgart, Fakultät Architektur und Stadtplanung, Städtebau- Institut (Hrsg.)

Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2006): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 1: Klimawandel, demographischer Wandel, neue ökologische Anforderungen. In: KA – Abwasser, Abfall (53) Nr. 12, S. 1265-1271

Hillenbrand, T.; Hiessl, H. (2007): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 2: Technologischer Fortschritt und sonstige Veränderungen. In: KA – Abwasser, Abfall (54) Nr. 1, S. 47-53

Hlatky, T., Stroblmair, J., Tusini, E. (2003): Human Dimensions Program Austria. StartClim-Workshop. Extreme Wetterereignisse – Auswirkungen und Auswege für betroffene österreichische Wirtschaftssektoren. Sektor Versicherung. Graz.

Hofmann, R., Grünwald, H. (2004): Hochwasserschutz bei Wildbächen aus geotechnischer Sicht. In: Lebensraum Fluss - Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie, DE, Wallgau, 20040616-20040619, Lebensraum Fluss. Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie. Bd.2. Beiträge zum Symposium vom 16.-19. Juni 2004 in Wallgau, Oberbayern, München: Selbstverlag, DE. TU München, Institut für Wasserwesen, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.); TU München, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Oskar von Miller-Institut, Obernach (Hrsg.)

Höller, H. (1995): Hochreichende Konvektion. In: Herbstschule Radarmeteorologie 1995, Band/Heft Annalen der Meteorologie, 32, S. 158-166. Offenbach am Main.

Höttges, J., Vöcklinghaus, S. (2007): Generalentwässerungsplanung. Alle 10 Jahre wieder - was ist zu beachten? In: Abwasser Report, Heft 1.07, S. 3.

HR Wallingford (2001): IMPACT: Investigation of Extreme Flood Processes and Uncertainty. URL: http://www.samui.co.uk/impact-project/impact_project_overview.htm, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.01.2001, Zitationsdatum: 16.11.2005.

Huhn, V., Stecker, A. (1997): Alternative stormwater management concept for urban and suburban areas. In: Water Science & Technology, Jg. 36, Heft 8-9, S. 295-300.

Hutter, G. (2005): Strategies of local government to increase the preparedness of households facing flash floods - what can we learn from high reliability organizations? o.O.

Iding, C. (1997): Hochwasser- und Überschwemmungsschutz. In: Informationsbroschüre. o.O.

Iding, C. (2001): Praxis- und Planungshilfen für Hochwasser- und Überschwemmungsschutz. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/Seiten/4B7E36BCE30CBE1FC125698B004506E3?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2005.

Iding, C. (2005): Hochwasser- und Überschwemmungsschäden. Angepasstes Planen und Bauen -Praxishilfen. In: s+s report, Band 12, (2005), Heft 3, Seite 44-49,

IN FLOOD RESEARCH, Proceedings, Band/Heft PIK Report No. 65, S. 260-273. Potsdam.

Institut für Atmosphärenphysik der ETH Zürich (2005): Raincast - Niederschlagsvorhersage mit Radar. URL: http://www.radar.ethz.ch/raincast_demo_eth/, http://www.radar.ethz.ch/, Zitationsdatum: 16.11.2005.

Institut für Physik der Atmosphäre der DLR Oberpfaffenhofen. (1997): The severe convective storms in Central Europe on July 21, 1992. A research dataset. In: DLR - Mitteilung 97/02 CD-ROM. o.O.

IPCC (2001a): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger: Klimawandel 2001: Wissenschaftliche Grundlagen. Ein Bericht der Arbeitsgruppe I des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). URL: http://www.ipcc.ch/pub/nonun.htm, Zitationsdatum: 16.11.2005.

IPCC (2001b): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger: Klimawandel 2001: Auswirkungen, Anpassung und Anfälligkeit. Ein Bericht der Arbeitsgruppe II des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). URL: http://www.ipcc.ch/pub/nonun.htm, Zitationsdatum: 16.11.2005.

IPCC (2001c): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger: Klimawandel 2001: Verminderung. Ein Bericht der Arbeitsgruppe III des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). URL: http://www.ipcc.ch/pub/nonun.htm, Zitationsdatum: 16.11.2005.

IPCC Working Group I Fourth Assessment Report (AR4) (2007): Summary for Policymakers. URL: http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 06.06.2007, Zitationsdatum: 06.08.2007.

Irmer-H.; Maul-Kötter, B. (1999): Niederschlagsmessung mit Radar für Abflussberechnungen. In: WasserAbwasserPraxis, Band 8, (1999), Heft 5, Seite 38-41, ISSN 0942-1327

ISDR (2002): Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives. Preliminary version, UN, Geneva. (Übersetzung: DKKV (2002): Journalistenhandbuch zum Katastrophenmanagement. 7. Auflage, Bonn, verändert durch A. Thieken); Münchener Rück (2000): Welt der Naturgefahren. CD-ROM. Zitiert nach: Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (Juni 2005): GLOSSAR. Begriffe und Definitionen aus den Risikowissenschaften. Karlsruhe

Jakubietz, A. (2004): Was das Gesetz dazu sagt. Die wichtigsten Fragen und Antworten zur Haftung und Entschädigung bei Hochwasser. URL: http://www.was-das-gesetz-dazu-sagt.de/pageID_215463.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 13.06.2004, Zitationsdatum: 01.08.2007.

Jonas, M., Stäger, T., Schönwiese, C. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen - Schwerpunkt Deutschland -. URL: http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2946.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.08.2005, Zitationsdatum: 06.10.2005.

Kaiser, M. (1996): Requirements and possibilities of best management practises for storm water runoff from the view of ecologicall townplanning, 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover, Germany

Kaiser, M. (1997): Forum angewandte Geographie - Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung - Ökologischer Stadtumbau - Ziele, Stand und Perspektiven einer naturnahen Gestaltung des städtischen Wasserkreislaufes am Beispiel Dortmund. In: Bochum: Selbstverlag, DE, (1997), III (in Serie: Materialien zur Raumordnung (Bochum); 49), ISBN 3-925143-19-X. Univ. Bochum, Geographisches Institut (Hrsg.)

Kaiser, M. (1997): Requirements and possibilities of best management practises for storm water run-off from the view of ecological townplanning. In: Water Science and Technology, Band/Heft 36, 8-9. o.O.

Kaiser, M. (1998): Die Dortmunder Arbeitskarte zum Regenwassermanagement. Ein Instrument zur systematischen Nutzbarmachung vorliegender Daten und zur Integration der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung in den städtischen Planungsprozess. 3 Abb.; div. ; In Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung (=Journal of Rural Engineering and Development) / H. Grubinger [Hrsg.] ; R. Hoisl [Hrsg.] ; H. Kuntze [Hrsg.] ; K. Lecher [Hrsg.] - 39 (1998), H. (6), 255-260

Kaiser, M. (2004): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung als Baustein einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung - demonstriert mithilfe der Entwicklung und Umsetzung von Modellprojekten. In: Dortmund: Selbstverlag, DE, (2004) Zusatz: tech. Diss.; Dortmund 2004. Univ. Dortmund, FakultätRaumplanung (Hrsg.)

Kamphausen, P.-A. (1998): Wie muss eine ordnungsgemässe Objektüberwachung erfolgen?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 9, (1998), Seite 446, Zusatz: OLG Nürnberg, Urteil vom 31.07.1997 - 13 U 2539/96; BGH, Beschluss vom 16.07.1998 - VII ZR 348/97 (Revision nicht angenommen) BGB 635. ISSN 0941-5750

Kamphausen, P.-A. (2001): Müssen Lichtgräben vor Souterrainwohnungen auch bei starkem Regen sicher entwässern? OLG Düsseldorf, Urteil vom 24.11.2000 - 22/U/8/00. BGB Par.635, 254, 278; VOB/B Par.4 Nr.3. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 12, (2001), Heft 2, Seite 72. ISSN 0941-5750

Kamphausen, P.-A. (2001): Wie muss die Sanierung einer Abdichtung von Dachterrassen geplant werden?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 12, (2001), Heft 7, Seite 379, Zusatz: OLG Koblenz, Urteil vom 14.09.1999 - 3 U 1918/98; BGH, Beschluss vom 10.05.2001 - VII ZR 379/99 (Revision nicht angenommen) BGB 635. ISSN 0941-5750

Kanton Nidwalden Regierungsrat (2005): Bericht über das Unwetter vom 22./23. August 2005. URL: http://www.kantone-web.ch/kantone/nw/dl.php/de/20051108132842/10-18bericht+unwetter+definitiv.pdf, Zitationsdatum: 16.12.2005.

Karczewski, T. (1999): Heizungs- und Sanitärarbeiten: Welche Obhuts- und Sicherungspflichten hat der AN bis zur Abnahme?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 10, (1999), Seite 579, Zusatz: LG Rostock, Urteil vom 16.07.1999 - 4 O 485/98 BGB 645, 276; VOB/B 4 Nr. 5. ISSN 0941-5750

Karl, H. (2002): Rationales raumorientiertes Risikomanagement und Vorsorge gegenüber extremen Naturereignissen. In: Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) (Hrsg.): Zweites Forum Katastrophenvorsorge 24. – 26. September 2001 in Leipzig. Extreme Naturereignisse: Folgen – Vorsorge – Werkzeuge – Bonn und Leipzig. S. 58 – 64: April 2002, ISBN: 3-933181-26-7

Kern, M. (2005): Hochwasserschutz im Bauplanungsrecht unter besonderer Berücksichtigung des egierungsentwurfs eines Gestes zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes vom 3. März 2004- Dissertation zur erlangung des Doktorgrades der Juristischen Fakultät der Universität Regensburg. Regensburg

Kessler, G. (2005): Integration von Versickerungsrigolen in ein bestehendes Entwässerungsystem. reduzierung der abzuleitenden Regenwassermenge am Beispiel des BMW-Werks Dingolfing. In: KA – Abwasser, Abfall (52) Nr. 5, S.548-551

Kiefer, G. (2000): Niederschlagswasserbewirtschaftung und Landschaftsarchitektur: vom Regen in die ...? URL: http://www.geo.tu-berlin.de/_data/downloads/doku_regen.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2000, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Kiese, M. und Leineweber, B. (2001): Risiko einer Küstenregion bei Klimaänderung. Ökonomische Bewertung und räumliche Modellierung des Schadenspotentials in der Unterweserregion. Hannover.

Kleeberg, H. (2007): Ermittlung extremer Abflüsse zur Risikoabschätzung. In: Berichte, Heft 9, S. 301-314.

Klein, R. (2000): Wasserdicht und kondensatfrei. In: DDH Das Dachdeckerhandwerk, Band 121, (2000), Heft 1, Seite 6-9, Abb. ISSN 0172-1003

Kleinschroth, A. (1999): Wasserstandsberechnung in der Drallkammer des eingestauten Wirbelfallschachtes. In: Wasserwirtschaft, Band 89, (1999), Heft 12, Seite 608-612, ISSN 0043-0978

Klotz, Hermann (2004): Erfahrungen mit dem gesplitteten Gebührenmaßstab in München. In: KA – Abwasser, Abfall (51) Nr. 10, S. 1128-1135

Knaut, J. Berg, A. (2005): Handbuch der Bauwerkstrocknung. Ursachen, Diagnose und Sanierung von Wasserschäden in Gebäuden. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (2005), 250 S. ISBN 3-8167-6810-5.

Knychalla, R. (1997): Ausschluss der Wandelung im Bauträgervertrag?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 8, (1997), Seite 370, Zusatz: OLG Stuttgart, Urteil vom 07.11.1995 - 12 U 92/95 BGB 346, 465, 467, 634; AGB-Gesetz 11 Nr. 10b. ISSN 0941-5750

Koch, M. (2004): Zeitgemässe Hausentwässerung von Kellerräumen. In: Haustechnik IKZ, Band 59, (2004), Heft 20, Seite 32-34, Abb. ISSN 0177-3054

Köhler, G. (2004): Hochwassermanagement- Gefährdungspotenziale und Risikoder Flächennutzung. Neuauflage. BeiträgezumSeminaram 17./18. Juni2004 in Münster - Möglichkeiten und Grenzen des dezentralen Hochwasserschutzes. In: Hennef: Selbstverlag, DE, (2004) ISBN 3-937758-19-4. Hydrologische Wissenschaften Fachgemeinschaft in der ATV-DVWK, Hennef (Hrsg.); HydrologischeWissenschaftenFachgemeinschaftinder ATV-DVWK, Hennef (Veranst.)

Kolb, W. (2000): Begrünte Dächer wirken wie Regenrückhaltebecken. In: Neue Landschaft, Band 45, (2000), Heft 1, Seite 31-33 , ISSN 0548-2836

Kolbe, P. (1978): Vom Wasser haben wir – nichts - gelernt. Überflutungsschäden sind Hauptdelikt aller Tiefbau-Schadensfälle. In: Tiefbau, Ingenieurbau, Strassenbau. TIS, Band 20, (1978), Heft 10, Seite 750-752,757-758, Abb. ISSN 0340-5079

Kölbl, I., Wagner, S. (2003): Hochwasser 2002: Einsatzgeschehen und Einsatzerfahrungen. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/Seiten/4B7E36BCE30CBE1FC125698B004506E3?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2005.

Kölling, C. (1998): Praxiserfahrungen über SIMK - Durchflussmessungen in Flüssen und Kanälen. In: Wasserbau-Symposium, DE, Garmisch-Partenkirchen, 19981015-19981017, Planung und Realisierung im Wasserbau. Vergleich von Zielvorstellungen mit den Ergebnissen. Wasserbau-Symposium vom 15. bis 17. Oktober 1998 im Kongresszentrum von Garmisch-Partenkirchen. TU München, Institut für Wasserwesen, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.); TU München, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Oskar von Miller-Institut, Obernach (Hrsg.)

Koll-Sarfeld, C. (2006): Abwasserbetrieb und Haftung. In: Abwasser Report, Heft 1, S. 23-25.

König, K.-W (2003): Regenwassernutzung neuester Stand. Kombiniert speichern und versickern. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 58, (2003), Heft 18, Seite 32-37 (3 S.), Abb. ISSN 1616-2285

König, K.-W (2003): Sachgerechte Regenwasserbewirtschaftung und deren Bedeutung. In: EB EnergieEffizientes Bauen, Band 4, (2003), Heft 4, Seite 43-48,

König, K.-W. (2005): Regenwasserbewirtschaftung wird zur Verkehrsberuhigung. In: KA – Abwasser, Abfall (52) Nr. 7, S. 805-807

Koordinierungsbüro RIMAX, GeoForschungsZentrum Potsdam (2007): BMBF-Förderaktivität "Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse" - Tagungsband Statusseminar 14. - 16. März 2007 am GFZ Potsdam. Potsdam.

Kottmeier, C., Kunz, M. (2001): Starkniederschläge mit langer Andauer über Mittelgebirgen. URL: http://www.imk.uni-karlsruhe.de/770.php, Zitationsdatum: 30.07.2007.

Krainer, R. (2004): Möglichkeiten und Grenzen des Hochwasserschutzes - Risikoabschätzung und -bewertung am Beispiel von Hochwasserrückhaltebecken. In: Lebensraum Fluss - Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie, DE, Wallgau, 20040616-20040619, Lebensraum Fluss. Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie. Bd.2. Beiträge zum Symposium vom 16.-19. Juni 2004 in Wallgau, Oberbayern, München: Selbstverlag, DE. TU München, Institut für Wasserwesen, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.); TU München, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Oskar von Miller-Institut, Obernach (Hrsg.)

Kranz, K. (2006): Flache Dächer fachgerecht entwässern. In: DBZ Deutsche Bau Zeitschrift , Band 54, (2006), Heft 3, Seite 70-71, Abb ISSN 0011-4782

Kreibich, H., Müller, M. (2005): Private Vorsorgemaßnahmen können Hochwasserschäden reduzieren. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/d19d3176e0d69443c125699200555212/22088be2d7ce2f26c1256fea00361c65?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2005.

Kriebisch, H. (2005): Elementarschadensversicherungsdeckung auf der Grundlage des Zonierungssystems für Überschwemmung, Rückstau und Starkregen. In: Vorbeugender Hochwasserschutz auf kommunaler Ebene. Workshop am 13. und 14. Dezember 2000 in Dresden. O.O., S. 127-132.

Krolkiewicz, H.-J. (2006): Dächer sind unter normalen Bedingungen sicher. In: Restoration of Buildings and Monuments=Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege , Band 12, (2006), Heft 1, Seite 87-92 , Lit ISSN 0947-4498

Kron, W. (2003): Überschwemmungsschäden und Versicherung. In: Wasserwirtschaft, Band 93, (2003), Heft 10, Seite 8-12, ISSN 0043-0978

Kron, W. (2004): Gefährdungszonierung und Schadenpotenziale bei Überschwemmungen. 5. Forum Katastrophenvorsorge 14. Oktober 2004 in Mainz. In: Schriftenreihe des DKKV, Band/Heft 31, S. 41-46. o.O.

Kron, W. (2004): Hochwassermanagement- Gefährdungspotenziale und Risiko der Flächennutzung. Neuauflage. Beiträge zum Seminaram 17./18. Juni2004 in Münster - Hochwasserschäden, Gefährdungszonen, Versicherung. In: Hennef: Selbstverlag, DE, (2004), 171 S., ISBN 3-937758-19-4. Hydrologische Wissenschaften Fachgemeinschaft in der ATV-DVWK, Hennef (Hrsg.); Hydrologische Wissenschaften Fachgemeinschaft in der ATV-DVWK, Hennef (Veranst.)

Krüger, A. (2002): Statistische Regionalisierung des Niederschlags für Nordrhein-Westfalen auf Grundlage von Beobachtungsdaten und Klimaszenarien. In: Mitteilungen aus

dem Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln, Band/Heft 149. Köln.

Krumm, C. (1999): Entwässerung von Sanitäreinrichtungen. In: Haustechnik IKZ, Band 54, (1999), Heft 17, Seite 74-76, ISSN 0177-3054

Küchler, W. (2004): Projektion des Klimawandels in Sachsen für die Dekade 2041 - 2050. In: Wasser und Abfall, Jg. 6, Heft 11, S. 10-14.

Kuhn, S., Moschitz, S., Schneider, J. (2001): Aktionshandbuch Nachhaltige Wasserwirtschaft und Lokale Agenda 21. URL: http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2499.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.10.2001, Zitationsdatum: 06.10.2005.

Kuttler, W. (2004): Stadtklima: Teil 2: Phänomene und Wirkungen. Landsberg: Ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co. KG (Beitragsserie: Klimaänderung und Klimaschutz.

Lamb, D. (2005): Rain Production in Convective Storms. In: Meteorological Monographs, Band/Heft Vol. 28, Nr. 50, S. 299-321. Boston.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Hochwasser Ursachen und Konsequenzen. Stuttgart.

Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik LDS NRW (2000): Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung und Arbeitnehmerentgelt in Nordrhein-Westfalen 1991 – 1999. Revidierte Ergebnisse. Düsseldorf

Landesanstalt für Umweltschutz (LFU) (2005): Klimawandel in Baden-Württemberg. URL: www.kliwa.de, Zitationsdatum: 16.11.2005.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2000): Niederschlagsreihen für die Langzeitsimulation. In: Siedlungswasserwirtschaft, Band 14. Karlsruhe, S. 17.

Lang, P. (1997): Niederschlagsquantifizierung auf der Basis von Radardaten. In: Promet, Band/Heft 26. Jahrgang, Heft 1/2, 1997, S. 22-31. Offenbach am Main.

Lang, P. (1997): Zellentwicklungen und konvektive Niederschlagsprozesse aus der Sicht eines Radars. In: Promet, Band/Heft 26. Jahrgang, Heft 1/2, 1997, S. 43-52. Offenbach am Main.

Lang, P., Plörer, O., Munier, H., Riedl, J. (2003): KONRAD. ein operationelles Verfahren zur Analyse von Gewitterzellen, basierend auf Wetterradarprodukten. In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band/Heft 222. Offenbach am Main.

Lange, J., Wagner, A., Tetzlaff, D. (2005): Hochwassersimulation in kleinen Einzugsgebieten: Eignung von Niederschlagsradar und Auswirkung versiegelter Flächen. In: Klima – Wasser – Flussgebietsmanagement – im Lichte der Flut – Beiträge zum Tag der Hydrologie am 20./21. März 2003 in Freiburg i. Br., Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 4.2004. München.

Lanier, R., Suk, J., Berkowitz, D. (2006): Flash Flood warning operations during tropical rainfall in low relief terrain. URL: http://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/session_19002.htm, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Lanzinger, E. (2005): Niederschlagsmessung und Datenbereitstellung. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 9-20. München.

Larsen, O.; Butts, M.; Klingting, A. (2004): Design und Entwicklung von internetbasierenden Hochwasservorhersagesystemen mittels in Echtzeit gewonnenen Niederschlag-, Radar- und Abflussdaten. In: Lebensraum Fluss - Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie, DE, Wallgau, 20040616-20040619, Lebensraum Fluss. Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie. Bd.2. Beiträge zum Symposium vom 16.-19. Juni 2004 in Wallgau, Oberbayern, München: Selbstverlag, DE. TU München, Institut für Wasserwesen, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.); TU München, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Oskar von Miller-Institut, Obernach (Hrsg.)

Lauer, J. (2002): BGH - Muss die Gemeinde vor Überschwemmungsgefahren durch ein Bebauungsgebiet schützen?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 2002, Seite 381 ISSN 0941-5750

Laux, F. (2006): OLG Naumburg- Planung mangelhaft trotz Genehmigung und Realisierbarkeit?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 2006, Seite 627 ISSN 0941-5750

Lehmann, B. (2003): Dresdner Fernwärmeversorgung: 6 Monate nach der Flut. Instandsetzung. In: Euroheat and Power, Fernwärme international, Band 32, (2003), Heft 1/2, Seite 58-60 , ISSN 0949-166X

Lehmann, M. (2003): Nasse Füsse unerwünscht. Schäden an Laubgehölzen durch sommerliche Überflutung. In: grünFORUM.LA, Band 33, (2003), Heft 2, Seite 42-44, Abb. ISSN 1610-4730

Lennartz, F. (2005): Eine neue Strategie zur Hochwasservorhersage in schnell reagierenden Einzugsgebieten. URL: http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/wasser_10853.html

Lesch, E. (1996): Sicherer Ablauf. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 51, (1996), Heft 18, Seite 66-69 (3 S.), Abb. ISSN 0342-8184

Lesch, E. (1997): Kommunizierende Röhren. Regenwasserspeicher vor Kanalrückstau sichern. In: Haustechnik IKZ, Band 52, (1997), Heft 23, Seite 24-28, ISSN 0177-3054

Lesch, E. (1998): Niederschlagswasser sicher entwässern. Schwachstelle Haus. In: Stadt- und Gebäudetechnik, (1998), Heft 12, Seite 16-18, Abb. ISSN 0038-898X

Liebl, H. (1976): Kellerüberschwemmungen durch Rückstau aus Gemeindekanalisationen. In: GWF Wasser Abwasser, Band 117, (1976), Heft 9, Seite 421-423. ISSN 0016-3651

Lietzau, O. (2001): Risikovorsorge gegen Überschwemmungsschäden. Das Zonierungssystem der deutschen Versicherungswirtschaft. In: Neues Archiv für Niedersachsen, (2001), Heft 2, Seite 73-85, ISSN 0342-1511

Liljequist, G., Cehak, K. (1984): Allgemeine Meteorologie. Braunschweig, Wiesbaden.

Lindenberg, M., Männing, F. (2006): Kanalisationsplanung in einem gesamtstädtischen Hochwasserschutzkonzept am Beispiel Dresden. In: KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jg. 53, Heft 8, S. 780-786.

Loders, T.; Zanker, G. (1994): Versickern von Regenwasser mit Betonpflaster - ein Widerspruch?. In: Gartenamt, Band 43, (1994), Heft 9, Seite 594-601 (7 S.), . ISSN 0016-4739

LUA NRW (2003): Kleinräumige Starkregenschäden 2001 und 2002 in NRW. Wie es dazu kam. Düsseldorf

Maass, D. (2001): Armaturen für die Abwasserwirtschaft - eine Produktübersicht. In: Umweltpraxis, Band 1, (2001), Heft 5, Seite 40-41, Abb. ISSN 1616-5829

Malitz, G., Beck, C., Grieser, J. (o.J.): Veränderung der Starkniederschläge in Deutschland. In: Wasser und Klimawandel: Veränderungen des Wasserkreislaufs, S. 188-191. o.O.

Malitz, G.; Bartels, H. (1997): Anmerkung zum Beitrag von Markus Ott "KOSTRA 87 - Erfahrungen mit dem DWD-Regelwerk nach mehreren Jahren Anwendung" (Wasser und Boden 2/97). In: Wasser und Boden, Band 49, (1997), Heft 4, Seite 59, ISSN 0043-0951

Maniak, U. (o.J.): Hochwasser und Überschwemmungen - Übersicht und Probleme (einschließlich Rückstau, Sturmflut und Starkregen). o.O.

Maracek, K.; Bodi, G.; Haider, (2005): Niederschlag-Abfluss-Modell Obere Wulka unter Berücksichtigung lokaler Starkregenfelder. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft , Band 57, (2005), Heft11/12, Seite a11-a14, Abb ISSN 0945-358X

Mark, O.; Weesakul, S.; Apirumanekul, C., Boonya-Aroonnet, S., Djordjevic, S. (2004): Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. In: Journal of Hydrology, Jg. 299, S. 284-299.

Maser, A. (1993): BGH - Zur Haftung des Erschliessungsträgers. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 1993, Seite 293 ISSN 0941-5750

Maser, A. (1998): BGH - Haftet eine Gemeinde bei Rückstauschäden?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 9, (1998), Seite 546, Zusatz: BGH, Beschluss vom 30.07.1998 - III ZR 263/96 BGB 839; GG Art. 34. ISSN 0941-5750

Maser, A. (1999): BGH - Welche Amtspflicht hat die Gemeinde bei der Dimensionierung eines Abwasserkanals?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 1999 Seite 175 ISSN 0941-5750

Maser, A. (2000): OLG Celle - Gemeindliche Haftung für Überschwemmungsschäden bei Jahrhundertregen?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 2000 Seite 190 ISSN 0941-5750

Maser, A. (2001): Gefährdungshaftung auch bei Katastrophenregen?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 12, (2001), Heft 8, Seite 457, Zusatz: BGH, Urteil vom 26.04.2001 - III ZR 102/00 HPflG 1978 2. ISSN 0941-5750

Maser, A. (2006): OLG München - Haftet eine Gemeinde für Rechenfehler im Entwässerungsplan?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 2006 Seite 49 ISSN 0941-5750

Maurer, M. (1994): Pflichten beim Anlegen eines Gartenteiches. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 5, (1994), Seite 416, Zusatz: OLG Köln, Urteil vom 19.01.1994 - 13 U 171/93 BGB 635. ISSN 0941-5750

Maurer, M. (1999): Kanalbauarbeiten: Mit heftigen Niederschlägen muss gerechnet werden!. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 10, (1999), Seite 534, Zusatz: OLG Düsseldorf, Urteil vom 27.08.1999 - 22 U 50/99 BGB 823 Abs. 1, 249. ISSN 0941-5750

Meetschen, D., Simmer, C., Scheür, L. (2005): Warnung vor Starkniederschlägen mittels Niederschlagsradar. URL: www.meteo.uni-

bonn.de/mitarbeiter/CSimmer/publist/documents/meetschenetal2005.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 25.04.2007, Zitationsdatum: 30.07.2007.

Mehler, R. (1997): Vereinfachte Berücksichtigung von Rückstau in flachen Kanalnetzen. In: Berichte zur Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung, Darmstadt: Selbstverlag, DE, (1997), Seite 67-82, (in Serie: Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt; 99). TH Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.)

Meissen, U. (2007): Weather Information on Demand (WIND): Location-based Service für die bedarfsgerechte Zustellung von Wetterinformationen. URL: http://www.isst.fraunhofer.de/deutsch/inhalt/Projektarchiv/2005/wind/index.html, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 27.07.2007.

Meon, G.; Kleeberg, H.-B.; Röttcher, Spanknebel, Beyene, Rodriguez, Gocht, Rubin (2006): Empfehlungen der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zur Aufstellung von Hochwasser-Gefahrenkarten., Erstellungs-/Modifikationsdatum: 03.03.2006, Zitationsdatum: 16.3.2006.

Merz, B. (2006): Hochwasserrisiken - Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung. Stuttgart.

Merz, B., Didszun, J., Ziemke, B. (2007): RIMAX: Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse - Broschüre zur BMBF-Förderaktivität. o.O.

Merz, B., Zillgens, B., Thieken, A., Ziemke, B. (2005): Tagungsband. Kick-Off Meeting der BMBF-Förderaktivität "Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse RIMAX" 20.06.-21.06.2005 in Potsdam. o.O.

Messal, H.-E.-E. (2000): Rückkopplungen und Rückwirkungen in der hydrologischen Modellierung am Beispiel von kontinuierlichen Niederschlag-Abfluss-Simulationen und Hochwasservorhersagen. In: Berlin: Selbstverlag, DE, (2000), ca.300 S., (in Serie: Mitteilung - Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft; 135), Zusatz: tech.Diss.; TU Berlin 2000. TU Berlin, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft -IWAWI- (Hrsg.)

Messer, H.; Zinevich, A.; Alpert, P. (2006): Environmental Monitoring by Wireless Communication Networks. Science, 2006, 312: 713-714.

Metzger, A. (1998): OLG Koblenz - 30-jährige Haftung des Unternehmers bei wissentlicher Abweichung von Auflage in der Baugenehmigung. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 1998, Seite 19, Zusatz: OLG Koblenz, Urteil vom 05.12.1996 - 5 U 309/96, NJW-RR 97, 1179

Metzger, A. (2001): Drainageleitung: Von Gebäudeversicherung umfasst?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 12, (2001), Heft 10, Seite 590, Zusatz: OLG Köln, Urteil vom 06.02.2001 - 9 U 111/00 VGB 62 4 Nr. 3. ISSN 0941-5750

Meyer, H.; Könen, S. (2006): Niederschlag-Abfluss-Modell als Konzeptgrundlage. In: Beratende Ingenieure, Band 36, (2006), Heft11/12, Seite 31-33, Abb ISSN 0005-8866

Meyer, T. (1997): Rückstauschutz im Bereich der Grundstücks- und Gebäudeentwässerung = Prevention of back flow for surface and building drainage systems. In: 3R INTERNATIONAL, Band 36, (1997), Heft 9, Seite 496-506 (9 S.) , Schn. ISSN 0340-3386

Meyer, T. Schäfer, M. (2003): Nicht nur bei Flut und Platzregen. Rückstausicherung, "Aktiv" oder "Passiv"?. In: Sanität und Haustechnik, Band 68, (2003), Heft 9, Seite 30-35, ISSN 0036-4401

Miasova, H.; Mitas, L. (2000): Modeling spatial processes in multiscale framework: exploring duality between particles and fields, plenary talk at GISience2000 conference, Savannah, GA

Miegel, K., Peschke, G., Etzenberg, C., Neumann, M. (1990): Zur synoptischen Analyse hydrologisch relevanter Starkregenereignisse. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, Jg. 39, Heft 33, S. 191-196.

Miernik, H. (2004): Jahrhundertregen: Keine Haftung für Rückstau in Abwasserkanalisation!. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 15, (2004), Heft 7, Seite 398, Zusatz: BGH, Urteil vom 22.04.2004 - III ZR 108/03 HPflG 2. ISSN 0941-5750

Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NW (2000): Potentielle Hochwasserschäden am Rhein in NRW. Düsseldorf.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (2007): Klimawandel und Konsequenzen - Bedeutung von Wirtschaft, Wissenschaft und Regionen in Europa - Politische Fachtagung zur Sonder-Umweltministerkonferenz im Landtag NRW am 22.3.2007 in Düsseldorf. In: Die Landesregierung Nordrhein-Westfalen informiert. Düsseldorf.

Mitasova, H.; Thaxton, C.; Hofierka, J.; McLaughlin, R.; Moore, A.; Mitas, L. (2005): Path sampling method for modeling overland water flow, sediment transport, and short term terrain evolution in Open Source GIS. In: C. T. Miller, M. W. Farthing; V. G. Gray; G. F. Pinder (Hrsg.): Proceedings (CMWR XV), June 13-17 2004, Chapel Hill, NC, USA, Elsevier, pp. 1479 – 1490

Mohne, S. (2005): Nächste Flut: Keine Ruhe am Eberburgweg. In: Aachener Zeitung.

Moller, A. R. (2001): Severe Local Storms Forecasting. In: Meteorological Monographs, Band/Heft Vol. 28, Nr. 50, S. 433 - 480. Boston.

Mück, D. (2000): Räumliche und zeitliche Verteilung von Starkregen und deren Wahrscheinlichkeiten. In: Mitteilungen des Institutes für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Band/Heft 73. München.

Mück, R. (2000): Räumliche und zeitliche Verteilung von Starkregen und deren Wahrscheinlichkeiten. In: München: Oldenbourg, DE, (2000), VII,131 S. (in Serie: Mitteilungen - Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München; 73), ISBN 3-486-26500-8, Zusatz: tech.Diss.; Univ.d.Bundeswehr München 2000. Univ. der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen (Hrsg.)

Müller, F.; Timmermann (2005): Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung. Das überarbeitete Regelwerk der FLL liegt als Gelbdruck vor. In: Neue Landschaft, Band 50, (2005), Heft3, Seite 20-23. ISSN 0548-2836

Müller, K.; Grinwis, S. (2006): Entlastungs- und Betriebsverhalten eines gesteuerten Stauraumkanals mit mittiger Entlastung. In: KA – Abwasser, Abfall (53) Nr. 12, S.1238-1245

Müller, M. (2003): Überschwemmungen in Deutschland - Ereignistypen und Schaden . In: schadenprisma, Band 33, (2003), Heft 2, Seite 18-23, ISSN 0343-3560 - URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/d19d3176e0d69443c12569920055521

2/c8bfa59692144cf1c1256d5100449676?OpenDocument, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 29.11.2003, Zitationsdatum: 31.07.2007.

Müller, M., Thieken, A. (2005): Hochwasserschäden bei Unternehmen in Sachsen. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/d19d3176e0d69443c125699200555212/1fe6ba6de1d8759ec125703b003ff3ab?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2005.

Müller-Westermeier, G. (2001): Das Klima in Deutschland. In: Klimastatusbericht 2001, S. 9-11. o.O.

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (1997): Überschwemmung und Versicherung, eine Veröffentlichung der Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. München.

Münchener Rückversicherungsgesellschaft (1999): Naturkatastrophen in Deutschland. Schadenerfahrungen und Schadenpotentiale. München.

Nascimento, N., Baptista, M., Silva, A., Léa Machado, M., Costa de Lima, J., Gonçalves, M., Silva, A., Dias, R., Machado, E. (2005): Flood-damage curves: Methodological development for the Brazilian context. In: 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005. o.O.

Nauck, H. (2005): Richtig dicht. In: ausbau + fassade, (2005), Heft 7/8, Seite 22-23, ISSN 1616-6078

Nestmann, F., Kron, A. (2002): "Hochwasser: Naturereignis oder Technikfolge?". In: Naturkatastrophen in Mittelgebirgsregionen. Proceedings zum Symposium am 11. und 12. Oktober 1999 in Karlsruhe, Akademische Abhandlungen zu den Geowissenschaften, S. 149-166. Berlin.

Niedermeyer, R. (2005): Das Elbe-Hochwasser 2002 - Geowissenschaftliche Auswertungen. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) (Geologisches Jahrbuch, Reihe C Hydrogeologie , Ingenieurgeologie, Band H. 70).

Niehoff, D. (2001): Modellierung des Einflusses der Landnutzung auf die Hochwasserentstehung in der Mesoskala. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades der Naturwissenschaften in der Wissenschaftsdisziplin Geoökologie. Potsdam

Niemann, K.; Quirmbach, M. (1997): Forum angewandte Geographie - Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung - Gesamtkonzept zur gemeinsamen Steuerung von Kanalnetz und Kläranlage bei Starkregenereignissen. In: Bochum: Selbstverlag, DE, (1997), III,121 S., (in Serie: Materialien zur Raumordnung (Bochum); 49), ISBN 3-925143-19-X. Univ. Bochum, Geographisches Institut (Hrsg.)

Nuding, A. (2004): Fremdwasser im städtischen Kanalnetz. In: Ingenieurblatt für Baden-Württemberg vereinigt mit der Baumeisterzeitung Baden-Württemberg, Band 50, (2004), Heft 3, Seite 158-159, ISSN 0020-1189

Oblinger-Grauvogl, A. (2001): Haftung der Gemeinde für Überschwemmungsschäden. OLG Karlsruhe, Urteil vom 17.10.1999 - 19/U/93. BauR 2001, 120. BGH, Beschluss vom 19.10.2000 - III/ZR/322/99 (Revision nicht angenommen). BGB Par.823, 839. GG Art.34. HPflG Par.2. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 12, (2001), Heft 4, Seite 237, ISSN 0941-5750

O'Conell, P., E., Burton, A., Moaven-Hashemi, A. (2005): MUSIC - Multiple Sensor Precipitation Measurements, Integration, Calibration and Flood Forecasting. URL:

http://www.ceg.ncl.ac.uk/research/projectdetail.aspx?id=62, Zitationsdatum: 16.11.2005.

Oswald, R. (1996): Schwachstellen. Erscheinungs und Ursachen häufiger Bauschäden. In: db deutsche bauzeitung, Band 130, (1996), Heft 3, Seite 138-142 (4 S.), ISSN 0721-1902

Ott, M. (1997): KOSTRA 87 - Erfahrungen mit dem DWD-Regelwerk nach mehreren Jahren Anwendung. In: Wasser und Boden, Jg. 49, Heft 2, S. 50-53.

Öttinger, W.,P., Eisert, B., Betz, H.-D., Gerl, A. (2001): Automatische Erkennung extremer Wettersituationen im Nowcasting-Bereich. URL: https://www.sferics.physik.uni-münchen.de/arbeiten/dach_MT_Wien_2001.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.11.2001, Zitationsdatum: 14.11.2005.

Patt, H. (2001): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. Berlin.

Pfeiff, S. (1989): Überschwemmungswege und Notentlastungen bei der Kanalisation/ Ortsentwässerung. Flodd routes and emergency surplusing works in sewer systems/local drainage systems. In: Korrespondenz Abwasser, Band 36, (1989), Heft 11, Seite 1276-1282. ISSN 0344-4635

Pfeiff, S. (2007): Überschwemmungswege und Notentlastungen bei der Kanalisation/ Ortsentwässerung. In: Korrespondenz Abwasser, S. 1276-1282.

Pfister, A. (2005): Niederschlag als Input für Niederschlag-Abfluss-Modelle im Emscher- und Lippegebiet. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 95-113. München.

Pfister, A., Verworn, H. (2002): Trend-Untersuchungen von Starkregen im Emscher-Lippe-Raum. In: Hydrologie/Wasserwirtschaft, Jg. 49, Heft 8, S. 1101-1104.

Piens, R. (2004): Kellerüberflutung bei Fehlen einer Rückstausicherung. In: KA – Abwasser, Abfall (51) Nr. 7, S. 781-782

Pieper, R. (2004): Gewappnet für die Jahrhundertflut. Flachdachentwässerung. In: DDH DAS DACHDECKERHANDWERK, Band 125, (2004), Heft 3, Seite 10-13 , ISSN 0172-1003

Pieper, R. (2005): Flachdach: Jahrhundertregen eingeplant. Aktuelle DIN baut Schadensereignissen vor. In: Sanitär und Heizungstechnik, Jg. 70, Heft 4, S. 42-45.

Pieper, R. (2006): Dachentwässerung im grossen Masss Die neuen Kölner Nordhallen. In: Zeitschriftenaufsatz :TAB Technik am Bau, Band 37, (2006), Heft3, Seite 68-69, Abb ISSN 0341-2032

Piotrowski, J. (2001): Bedeutung und Inhalte des Schutzgutes Wasser in der Bauleitplanung. Dargestellt am Beispiel der Niederschlagsbeseitigung/-versickerung. In: UVP-report, Band 15, (2001), Heft 4, Seite 192- 194, ISSN 0933-0690

Planungsbüro Schumacher (2005): Regenwasser. Handlungsempfehlung zur naturnahen Bewirtschaftung. URL:
http://www.obk.de/cms200/aktuelles/pressemitteilungen/2005/06/artikel/2005-06-07_broschüre_regenwasserbewirtschaftung.shtml
Erstellungs-/Modifikationsdatum: 07.06.2005, Zitationsdatum: 31.07.2007.

Plate, E. (2000): Floodrisk and flood management. In: European Conference on Advances

Plate, E. (2004): Risk and Decision in Flood Management. In: Colloquium Papers TU Dresden, S. 1-13. o.O.

Pohl, R. (2005): Hochwertige Keller: Baustoffe und Bauelemente. In: Baumarkt + Bauwirtschaft, Band 104, (2005), Heft 4, Seite 60-63, Abb. ISSN 0341-2717

POLITO - Politecnico di Torino (2005): VOLTAIRE Project. URL: http://www.voltaireproject.org/index_flash.htm, Zitationsdatum: 14.11.2005.

Pons, F., Zhang, B., Sergent, P., Felts, D. (2005): Simulation of flash floods in Marseille and Bordeaux with a two-dimensional runoff model. In: 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005. o.O.

Prellberg, D. (2005): Flächenhafte Erfassung des Niederschlagsgeschehens mittels Radar. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 21-38. München.

Prengler, M. (2002): Abdichtung von Bauteilen. In: DBZ Deutsche BauZeitschrift, Band 50, (2002), Heft 5, Seite 80-82, Abb. ISSN 0011-4782

Queitsch, P. (2007): Hochwasserschutz im Spannungsfeld zwischen Baurecht, Haftungsrecht und Refinanzierung. In: Abwasserreport 1.07. Eine Information der Kommunal- und Abwasserberatung NRW GmbH (KuA). S. 22 – 30

Quirmbach, M.; Schultz, G.-A. (2003): Nutzung von Wetterradardaten für Niederschlags- und Abflussvorhersagen in urbanen Einzugsgebieten. In: Bochum: Selbstverlag, DE, (2003), XI, 200 S., Zusatz: tech. Diss.; Bochum 2002. Univ. Bochum, Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik (Hrsg.)

r.sim.water: Overland flow hydrologic simulation using path sampling method (SIMWE) – http://grass.itc.it/grass63/manuals/html63_user/r.sim.water.html

Raab, W. (2003): Gefährdungsanalyse für Hochwasser mit ZÜRS. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/Seiten/4B7E36BCE30CBE1FC125698B004506E3?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2003.

Ratgeber, T.; Grüter, T. (1997): Regenwassernutzung mit System. In: FBZ. Frankfurter Bauzeitung, Band 5, (1997), Heft 4, Seite 32. ISSN 0947-9317

Reed, S., Fulton, R., Zhang, Z., Guan, S. (2006): Use of 4 km, 1 h, precipitation forecasts to drive a distributic hydrologic model for flash flood prediction. URL: http://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/session_19002.htm, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Reichmann, B. (2000): Landesprogramm für stadtökologische Modellvorhaben - Projektbeispiele. URL: http://www.geo.tu-berlin.de/_data/downloads/doku_regen.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2000, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Relevant processes and model requirements. In: Bronstert; Bismuth, Ch.; Menzel, L., 2000 (Hrsg.): Advances in Flood Research. Proceedings of the European Conference, Potsdam, 1-3 November 2000. PIK–Report, 65, 179-195

Rembierz, S.; Greifing, W.; Siegel, Rühl, Riedl, Sieker, Egli, Gieseler, Vogt, Korndörfer, Kriebisch (2001): Vorbeugender Hochwasserschutz auf kommunaler Ebene. Workshop am 13. und 14. Dezember 2000 in Dresden. In: Texte, Band/Heft 14. Berlin.

Reudenbach, C. (2003): Konvektive Sommerniederschläge in Mitteleuropa. Eine Kombination aus Satellitenfernerkundung und numerischer Modellierung zur automatischen Erfassung mesoskaliger Niederschlagsfelder. In: Bonner Geographische Abhandlungen, Heft 109. Sankt Augustin.

Richardson, D., Catovsky, S. (2007): Making Space for Water: Urban Flood risk and Integrated Drainage. URL: http://www.defra.gov.uk/environ/fcd/policy/strategy/ha2.htm, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 09.12.2005, Zitationsdatum: 13.07.2007.

Rickmann, B. (1999): Berechnung und Auslegung von Dachentwässerungssystemen. URL: http://www.fh-münster.de/fb4/download/symposium/symposium1999-2.pdf, Zitationsdatum: 30.07.2007.

Rickmann, B. (2004): Mit Starkregen rechnen. Bemessung von Entwässerungsanlagen. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Jg. 59, Heft 20, S. 37-39.

Riedl, J., Plörer, O. (1997): Messungen der Niederschlagsintensität mit Ombrometer Hp. In: promet, Band 26. Jahrgang, Heft 1/2, 1997. Offenbach am Main. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, S. 17-21.

Riedl, J.; Kratz, P. (2004): Verbesserung des Hochwasserschutzes an Kanker und Partnach in Garmisch- Partenkirchen. In: Lebensraum Fluss- Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie, DE, Wallgau, 20040616-20040619, LebensraumFluss. Hochwasserschutz, Wasserkraft, Ökologie. Bd.2. Beiträge zum Symposium vom 16.-19. Juni 2004 in Wallgau, Oberbayern, München: Selbstverlag, DE, (2004). TU München, Institut für Wasserwesen, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hrsg.); TU München, Versuchsanstalt fürWasserbau und Wasserwirtschaft , Oskar vonMiller-Institut, Obernach (Hrsg.)

Rinehart, R.E. (2004): Radar For Meteorologists. Rinehart Publications, Columbia, 482pp.

Ringelstein, O. (1998): Speicherüberlauf und Kanalrückstau. Vernachlässigtes Problem in der Regenwassernutzung. In: Haustechnik IKZ, Band 53, (1998), Heft 9, Seite 35-41 (4 S.), ISSN 0177-3054

Rosenberger, T.; Göhre, K.-H. (1999): Stauschild zur Regulierung von Wasserspiegellagen und Wassermengen in Regenwasserbehandlungsanlagen = Gate flap for control of water level heights and water flows in rain-water treatment plants. In: 3R International, Band 38, (1999), Heft 8, Seite 542-544, Abb. ISSN 0340-3386

Rosenfeld, D., Wolf, D. B. ; Atlas, D. (1993): General probability - matched relations between radar reflectivity and rain rate, J. Appl. Meteor., 34, 50-72.

Rosenfeld, D.; Amitai, E.; Wolff, D. B. (1995): Improved Accuracy of Radar WPMM Estimation Rainfall upon Application of Objective Classification Criteria, J. Appl. Meteor., 34, 212-223.

Rosenfeld, D.; Wolf, D. B. ; Amitai, E. (1994): The window probability matching method for rainfall measurements with radar, J. Appl. Meteor., 33, 682-693.

Rosse, T. (2002): OLG Düsseldorf - Wer haftet für Wasserschäden bei defekter Kanalisation. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 2002, Seite 575 ISSN 0941-5750

Rössler, C. (2003): Elementarschadenprävention in der Schweiz - die Möglichkeiten und das System aus Sicht der Behörde. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/d19d3176e0d69443c12569920055521

2/20c481cc79e50b07c1256d4f004f7eb2?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2005.

Rother, K. (2006): Klimaentwicklung und Risiken für den Hochwasserschutz. In: Wasser und Abfall, Heft 12, S. 10-13.

Rudolf, B., Frank, H., Grieser, J., Müller-Westermeier, G., Rapp, J., Trampf, W. (2005): Hydrometeorologische Aspekte des Hochwassers in Südbayern im August 2005. Niederschlagsvorhersage, Warnung und klimatologische Bewertung des DWD. URL: www.dwd.de/en/FundE/Klima/KLIS/int/GPCC/News/Hochwasser-Bayern-2005.pdf, Zitationsdatum: 17.10.2005.

Rudolf, B., Frank, H., Griser, J., Müller-Westermeier, G., Rapp, J., Trampf, W. (2006): Das Hochwasser in Südbayern im August 2005: Niederschlagsvorhersage, Warnung und klimatologische Bewertung des DWD. In: Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Heft 11, S. 26-35.

Rudolf, B., Simmer, C. (2005): Niederschlag, Starkregen und Hochwasser. o.O.

Rulli, M., Rosso, R. (2006): An integrated simulation method for flash-flood risk assessment: 1. Frequency predicitions in the Bisagno River by combining stochastic and deterministic methods. In: Hydrology and Earth Systems Sciences, Jg. 6, Heft 2, S. 267-283.

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2004): Ereignisanalyse. Hochwasser August 2002 in den Osterzgebirgsflüssen. Dresden.

Sage, S. (1998): Nasse Keller, trockene Keller. Grundwasserschutz, Dränage und Nutzung von Kellern. In: DAB Deutsches Architektenblatt, Ausgabe Baden-Württemberg, Band 30, (1998), Heft 3, Seite 316-318 , Zusatz: Textgleich in allen Regionalausgaben des Dt. Architektenbl. ISSN 0012-1215

Samuels, P. (2004): Some research needs for river flood forecasting in FP6. o.O.

Sartor, J. (1997): Weiterentwicklung der Langzeit-Seriensimulation des Niederschlag-Abfluss-Prozesses für kanalisierte und natürliche Einzugsgebiete. In: Wasserwirtschaft, Band 87, (1997), Heft 5, Seite 248-253, ISSN 0043-0978

Sartor, J. (2006): Berücksichtigung von Rückstaueffekten der Kanalisation in hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modellen. In: Wasserwirtschaft, Band 96, (2006), Heft6, Seite 16-19, ISSN 0043-0978

Sator, J. (2008): Hochwassersicherheit von Abwasseranlagen, Vortrag auf den Wassertagen Münster, Münster, Vortragszusammenfassung

Schaad, P. (1996): Kanalnetzsteuerung und Regenwasserbehandlung beim Abwasserverband Obere Iller. In: WasserAbwasserPraxis, Band 5, (1996), Heft 1, Seite 27-31, Abb. ISSN 0942-1327

Schaardt, V. (1999): Belastungsannahmen bei der Kanalnetzberechnung größerer Einzugsgebiete. In: GWF Wasser Abwasser, Jg. 140, Heft 1, S. 27-31.

Schädel, W. (2006): Schritte zur Verbesserung der Hochwasserfrühwarnung mittels Online-Bodenfeuchtemessungen. URL: http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/eva/index.html, Zitationsdatum: 21.3.2007.

Schäfer, M. (2004): Den Rückstau meistern. Schutz vor Kellerüberflutungen. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 59, (2004), Heft 10, Seite 34-37, Abb. ISSN 1616-2285

Schepp, J.-U. (1991): BGH - Grundstücke in Hanglage: "besseres Recht" des Obliegers. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 1991, Seite 410 ISSN 0941-5750

Schepp, J.-U. (1991): BGH - Überschwemmungen: Haftet die Gemeinde?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 2, (1991), Seite 412, Zusatz: BGH, Urteil vom 11.10.1990 - III ZR 134/88 BGB 254, 839. ISSN 0941-5750

Schirmer, Menzel, Müller, Günther, Stock, Bardossy, Thiele, Schmitt, Funke, Jacob. Schaaf (2004): Klimaveränderungen. Neue Bemessungsanforderungen an Wasserbau und Stadtentwässerung. Seminar am 9. November 2004 in Köln. o.O.

Schlittgen, R., B.; Streitberg, H. J. (1999): Zeitreihenanalyse, Lehr- und Handbücher der Statistik -8., überarb. Aufl.- München, Wien, Oldenbourg.

Schmid, W., Mecklenburg, S., Joss, J. (2002): Short term risk forecasts of heavy rainfall. In: Water Science and Technology, Band/Heft Vol. 45 No. 2. , S. 121-125. London.

Schmidt, J (1998): Planung und Dimensionierung selbstreinigender Druckentwässerungssystme. In: Sanitär und Heizungstechnik, Band 63, (1998), Heft 4, Seite 108-115, ISSN 0036-4401

Schmidt, M. (2000): Dachbegrünung als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme zur Flächenversiegelung. URL: http://www.geo.tu-berlin.de/_data/downloads/doku_regen.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2000, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Schmidt, M. (2003): Die große Elbflut im Sommer 2002 aus historischer und künftiger Sicht. In: Wasserwirtschaft, Band/Heft 1-2 / 2003. o.O.

Schmitt, T.-G (2006): Berücksichtigung der ungleichen Überregnung im Überstaunachweis nach ATV-A 118 am Beispiel der Stadt Karlsruhe. In: KA – Abwasser, Abfall (53) Nr. 9, S. 891-897

Schmitt, T.-G. (2007): Siedlungswasserwirtschaft 2030. Mögliche Entwicklungen und Herausforderungen. In: KA – Abwasser, Abfall (54) Nr. 8, S. 798-804

Schmitt, T.-G; Illgen, M.; Kaufmann, I. (2006): Klimawandel – Konsequenzen für die Siedlungsentwässerung? DWA-Expertengespräch in Hennef. In: KA – Abwasser, Abfall (53) Nr. 8, S. 756-759

Schmitt, T.-G; Thomas, M. (2005): Spezielle Fragestellungen beim Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit grossstädtischer Entwässerungssysteme. In: KA Abwasserabfall, Band 52, (2005), Heft7, Seite 800-804, Lit ISSN 1616-430X

Schmitz, G.H., Cullmann, J., Görner, W., Lennartz, F., Dröge, W. (2005): PAI-OFF: eine neue Strategie zur Hochwasservorhersage in schnell reagierenden Einzugsgebieten. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Jg. 49, Heft H5, S. 226-234.

Schneider, C. (2006): Regenwasserversickerung, Regenwassernutzung, Regenwasserbehandlung. 5. DWA-Regenwassertage in Bad Wildungen. In: KA – Abwasser, Abfall, Jg. 53, Heft 8, S. 760-763.

Schneider, C. (2006): Wasserwirtschaft im Umbruch – Demografie und deren Folgen. Tagung des DWA-Landesverbandes Nord-Ost. In: KA – Abwasser, Abfall (53) Nr. 9, S.874-878

Schneider, C.; Hahn, G. (2007): Demografischer Wandel in der Wasserwirtschaft. Auswirkungen auf die Ver- und Entsorgungsinfrastruktur. In: KA – Abwasser, Abfall (54) Nr. 8, S. 771-774

Schneider, F. (2005): Alternativer Bemessungsgang für Mulden-Rigolen-Elemente. In: KA – Abwasser, Abfall (52) Nr. 1, S. 31-34

Schnitzerling, M. (1978): Entschädigungspflichten im Wohnungs-, Bau- und Bodenbereich in der Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs 1976-1977. In: Deutsche Wohnungswirtschaft, Band 30, (1978), Heft 5, Seite 108-111. ISSN 0012-0995

Scholl, W. (2002): Jahrtausend-Hochwasser in Sachsen traf vor allem Steuertechnik von Wasseranlagen. In: wlb Wasser, Luft und Boden, Band 46, (2002), Heft 11/12, Seite 20-22, Abb. ISSN 0938-8303

Scholtissek, F.-K. (1996): Wieweit geht die Leistungspflicht des Unternehmers beim "schlüsselfertigen Bauen"?. In: Bauhandwerk, Band 18, (1996), Heft 6, Seite 74-75, Abb. ISSN 0173-5365

Schönfeld, J. (1997): Klimabeeinflussende Bebauung. Klima, Klimaveränderungen und Planungsprozesse. In: DBZ Deutsche BauZeitschrift, Band 45, (1997), Heft 5, Seite 121-127 (5), ISSN 0011-4782

Schönwiese, C. D. (2000): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler, 3., verbesserte und erweiterte Auflage, Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart.

Schulz, H (1976): Über den Einfluss des Flächenabflusses der Starkregen auf die Berechnung von Kanalisationen. Hypothese einer Entwicklungsvariante des Raumzeitbeiwertverfahrens. In: Wasserwirtschaft, Wassertechnik (Berlin, DDR), Band 26, (1976), Heft 3, Seite 99-101, ISSN 0043-0986

Schulz, P.-M. (2008): Gemeindlicher Abwasserkanal, Jahrhundertregen, höhere Gewalt. BGH 22.04.2004 III ZR 108/03. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-ROM-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Haftung für Überschwemmung durch gemeindliche Abwasser- und Regenwasserkanalisation, Verschulden. BGH 11.12.1997 III ZR 52/97. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Haftung für Überschwemmung, Bemessung der gemeindlichen Regenwasserkanalisation. BGH 05.10.1989 III ZR 66/88. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Haftung für Überschwemmung, Grenzen der Bemessung der gemeindlichen Regenwasserkanalisation. BGH 11.07.1991 III ZR 177/90. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Hochwassergefährdung, Grundstücksverkauf, Schadensersatz. OLG Dresden 31.05.2006 6 U 2222/05. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-ROM-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Niederschlagswasserversickerung, Bebauungsplan. BVerwG 30.08.2001 4 CN 9/00. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Regenrückhaltebecken, Haftung, Gemeinde. BGH 11.03.2004 III ZR 274/03. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Regenrückhaltebecken, Jahrhundertregen, höhere Gewalt. BGH 19.01.2006. BGH III ZR 121/05. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Rückstauschäden, Hinweispflicht. OLG Köln 18.11.1999.7 U 81/99. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Rückstauschäden, Kanalisation, Haftung. BGH 30.07.1998 III ZR 263/96. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Stauanlage, Hochwasser, Sorgfaltspflichten. BGH 16.02.2006 III ZR 68/05. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulz, P.-M. (2008): Überschwemmungsschaden, Regenrückhaltebecken. OLG Karlsruhe 07.10.1999 19 U 93/98. In: Schröder-F.; Lühr-Hans-P.: Wasserrecht für die betriebliche Praxis. CD-Rom-Ausgabe WEKA Media GmbH&Co. KG

Schulze, H.-A. (1990): BGH - Gefährdungshaftung der Gemeinde für Regenwasserkanalisation. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 1, (1990), Seite 385, Zusatz: BGH, Urteil vom 05.10.1989 - III ZR 66/88 HpflG 2. ISSN 0941-5750

Schulze, H.-A. (1999): Trotz Mitverschuldens des GU: Haftet Subunternehmer allein?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 10, (1999), Seite 128, Zusatz: BGH, Urteil vom 17.12.1998 - VII ZR 243/97 VOB/B 10 Nr. 2 Abs. 2; AGB-Gesetz 9. ISSN 0941-5750

Schumacher, R. (Hrsg); Ruhnau-R. (Hrsg) (2004): Bauschadensfälle Bd.6. Der besondere Schadensfall. Festschrift zu Ehren von Professor Günter Zimmermann. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (2004), 422 S. ISBN 3-8167-6481-9.

Schumann, A. (2004): Nach dem Hochwasser ist vor dem Hochwasser. In: Ingenieurwissenschaften, S. 36-44.

Schwarz, J., Maiwald, H., Gerstberger, A. (2007): Quantifizierung der Schäden infolge Hochwassereinwirkung: Fallstudie Eilenburg. In: Bautechnik, Jg. 82, Heft 12, S. 845-855.

Seltmann, J. (1997): Radarforschung im DWD: Vom Scan zum Produkt. In: Promet, Band/Heft 26. Jahrgang, Heft 1/2, 1997, S. 32-42. Offenbach am Main.

Sevruk, B., (2004): Niederschlag als Wasserkreislaufelement, Zürich – Nitra.

Sieker, F. (1997): Bildung und Anwendung von Starkregenserien für den Überstaunachweis bei Misch- und Regenwasserkanälen. Auswahl eines "maßgebenden" Ereignisses für die Sanierungsberechnungen. In: GWF Wasser Abwasser, Jg. 138, Heft 5, S. 260-263.

Sieker, F. (2006): Vorbeugender Hochwasserschutz. o.O.

Sieker, F., Homeier, J. (2000): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungs- und Gewerbegebieten. URL: http://www.geo.tu-berlin.de/_data/downloads/doku_regen.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2000, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Sieker, F., Sieker, H., Zimmermann, U., Sommer, H. (2004): Vorbeugender Hochwasserschutz als Nebenwirkung dezentraler Regenwasser-

Bewirtschaftungsmaßnahmen in Siedlungsgebieten. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Jg. 48, Heft 5, S. 185-189.

Sieker, F., Zimmermann, U., Sommer, H. (2005): Entwicklung eines Planungsinstruments zur flächenbezogenen Regenwasserbewirtschaftung unter besonderer Berücksichtigung des vorbeugenden Hochwasserschutzes. In: Wasserwirtschaft, Band/Heft 3/2005. o.O.

Sieker, F; Grotehusmann-D; Khelil, A; Uhl, M (1990): Verringerung des Niederschlagsabflusses in Stadtgebieten durch getrennte Entsorgung und Versickerung - Ergebnisse einer Studie in Gelsenkirchen-Buer. In: Zeitschrift für Stadtentwässerung und Gewässerschutz. SuG, (1990), Heft 13, Seite 113-124, Abb. ISSN 0933-6052

SKYWARN (2005): Gefahrenkarten Schweiz. URL: http://www.skywarn.de/, http://62.202.7.134/skywarn/gefahrenkarten.aspx, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.01.2003, Zitationsdatum: 16.11.2005.

Sondergeld, K.-D. (2003): Grundsätzliche Anforderungen und Massnahmen zur Vermeidung negativer Auswirkungen durch Rückstau und Überflutung. In: KA Abwasser Abfall, Band 50, (2003), Heft 10, Seite 1314-1323, ISSN 1616-430X

Sönnichsen, D., Weinert, N. (2004): Hochwasserrisiko objektscharf betrachten. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/d19d3176e0d69443c125699200555212/ee859a677a0a1e5cc1256f85004bee17?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2004.

Späth, R. (2003): Schutz gegen Rückstau. Schäden durch Abwasser im Keller vermeiden. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 58, (2003), Heft 8, Seite 46-50, Abb. ISSN 1616-2285

Späth, R. (2004): Rückstau - ein brisantes Thema. In: bi BauMagazin, (2004), Heft 12/1, Seite 24-27

Späth, R. (2005): Das muss der Fachmann wissen. Schutz gegen Rückstau. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 60, (2005), Heft 19, Seite 20-24 (4 S.), ISSN 1616-2285

Späth, R. (2005): Schutz gegen Rückstau. Starkregenfälle müssen eingeplant werden. In: TAB Technik am Bau, Band 36, (2005), Heft 10, Seite 68-71 , ISSN 0341-2032

Späth, R. (2005): Vorschriftsmässig trocken. Schutz gegen Rückstau - das muss der Fachmann wissen. In: Haustechnik IKZ, Band 60, (2005), Heft 19, Seite 26-28 , ISSN 0177-3054

Sprokkereef, E. (2006): Vorbereitet auf Klimaänderungen im Einzugsgebiet des Rheins? In: Wasser und Abfall, Heft 12, S. 29-32.

Stadtentwässerungsbetrieb Paderborn (STEB) (2003): Wohin mit dem Abwasser? Ratgeber für Haus- und Grundstücksentwässerung. Wir klären das! o.O.

Stalmann, V. (2005): Beispiele einer realisierten Sicherheitsbetrachtung vor Extremhochwasser. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 145-154. München.

Stalmann, V. (2005): Einführung "Was regelt das Niederschlagswerk?". In: Hydrologische Wissenschaften, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 9.2005, S. 5-8. München.

Stalmann, V., Draschoff, R., Günther, T., Pfister, A., Prellberg, D., Verworn, H.-R., Malitz, G. (2004): Das Niederschlagsregelwerk für die Deutsche Wasserwirtschaft. In: Wasserwirtschaft, Jg. 94, Heft 10, S. 8-27.

Steinbrich, A., Uhlenbrook, S., Reich, T., Kolokotronis, V. (2005): Raum-zeitliche Zusammenhänge zwischen Großwetterlagen und Starkniederschlägen in Baden-Württemberg. In: Wasserwirtschaft, Heft 11, S. 14-19.

Steinhorst, G. (2005): Warnung vor Starkniederschlägen - Das Warnmanagement des Deutschen Wetterdienstes. URL: www.bmvbs.de/Anlage/original_961406/Dokumentation-der-Flussgebietskonferenz-2005-Teil-III.pdf, Zitationsdatum: 30.07.2007.

Storch, H. v.; Zwiers, F. W. (2001): Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge University Press, 484pp.

Störk, K. (2002): Technischer Hochwasserschutz und seine Grenzen, bewusster, verantwortlicher Umgang mit dem verbleibenden Hochwasserrisiko. In: Naturkatastrophen in Mittelgebirgsregionen. Proceedings zum Symposium am 11. und 12. Oktober 1999 in Karlsruhe, Akademische Abhandlungen zu den Geowissenschaften, S. 213-224. Berlin.

Ströbl, B., Wenzel, V., Pfützner, B. (2003): Simulation der Siedlungsflächenentwicklung als Teil des globalen Wandels und ihr Einfluss auf den Wasserhaushalt im Grossraum Berlin. URL: http://www.pik-potsdam.de/publications/pik_reports/reports/reports/pr.82/pr82.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.04.2003, Zitationsdatum: 12.05.2006.

Taphorn, M. (2000): Nutzungsausfallentschädigung auch für Hobby- und Abstellräume?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 11, (2000), Heft 4, Seite 174, Zusatz: OLG Düsseldorf, Urteil vom 06.05.1999 - 5 U 152/98 BGB 249, 252. ISSN 0941-5750

Taylor, G. L. (1938): The spectrum of turbulence. Proc. Roy. Soc., London, A164, 476-490.

Terfrüchte, F.; Kuttenkeuler, C. (1997): Regenwassermanagement im Siedlungsbestand - Modelle. In: LA Landschaftsarchitektur, Band 27, (1997), Heft 3, Seite 24-26, ISSN 0323-3162

Thieken, A., Müller, M., Kreibich, H., Merz, B. (2006): Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany., S. 1-16.

Thomczyk, K., Wiescer, S. (2007): Niederschlagsmessungen im Kölner Stadtgebiet. o.O.

Thywissen, K. (2006): Components of Risk. A Comparative Glossary. o.O. (SOURCE: Studies of the University: Research, Counsel, Education - Publication Series of UNU-EHS), Band 2).

Töberich, U. (2003): Wenn das WC im Keller steht. Rückstausicherung mit Hebeanlagen. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 58, (2003), Heft 14, Seite 24-25, Abb. ISSN 1616-2285

TorDACH (2004): Sturzfluten Klimatologie. URL: http://www.tordach.org/de/flashflood.htm, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.03.2004, Zitationsdatum: 14.11.2005.

Tyrna, B. (2007): Entwicklung und Erprobung eines GIS-gestützten Starkregen-Abflussmodells zur Gefahrenanalyse von urbanen Sturzfluten. In: Diplomarbeit. o.O.

UBA (2002): Sichern und Wiederherstellen von Hochwasserrückhalteflächen. BKR Aachen, Hydrotec GmbH, Ass. jur. Petra Lau , Forschungsbericht 201 16 116 UBA-FB

Uhl, M., Henrichs, M. (2004): Hochwassermanagement- Gefährdungspotenziale und Risiko der Flächennutzung. Neuauflage. Beiträge zum Seminar am 17./18. Juni 2004 in Münster - Hochwasserabflüsse - Einfluss der Unsicherheit der Niederschlag-Abfluss-Modelierung. In: Hennef: Selbstverlag, DE, (2004), 171 S., ISBN 3-937758-19-4. Hydrologische Wissenschaften Fachgemeinschaft in der ATV-DVWK, Hennef (Hrsg.); Hydrologische Wissenschaften Fachgemeinschaft in der ATV-DVWK, Hennef (Veranst.)

Uhlig, K., Belitz, K., Michels, Christian, Dikau, R. (2007): Vereinfachtes Verfahren zur Abgrenzung hochwassergefährdeter Bereiche kleiner Fließgewässer. In: Wasser und Boden, Jg. 55, Heft 3, S. 16-21.

Umweltbundesamt (2005): Hintergrundpapier: „Klimafolgen und Anpassung an den Klimawandel in Deutschland – Kenntnisstand und Handlungsnotwendigkeiten“. URL: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Klimafolgen_Anpassung.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.09.2005, Zitationsdatum: 06.10.2005.

Umweltbundesamt (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen. Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. URL: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Regionale-Klimaänderungen.pdf.

Umweltbundesamt, Max-Planck-Institut für Meteorologie (2006): Künftige Klimaänderungen in Deutschland - Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Hintergrundpapier. URL: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Klimaänderungsworkshop.pdf Erstellungs-/Modifikationsdatum: 27.09.2006, Zitationsdatum: 31.07.2007.

University of Salford (2005): MANTISSA - "Microwave Attenuation as a New Tool Improving Stormwater Supervision Administration". URL: http://prswww.essex.ac.uk/mantissa/index.html, http://www.phc.dk/downloads/PHC%20MANTISSA%20Brochure%20UK%20on%20A4.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 11.09.2001, Zitationsdatum: 14.11.2001.

Vansbotter, B., Nolde, E. (2000): Regenwassernutzung. URL: http://www.geo.tu-berlin.de/_data/downloads/doku_regen.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.05.2000, Zitationsdatum: 12.05.2006.

VDI (2006): FHH – Datenblätter Präventionsmaßnahmen. Blatt 1: Juni 2006

VDI Richtlinie 3786 Blatt 7 (2009): Meteorologische Messungen – Niederschlag, Veröffentlichung 2009.

Verworn, H. (1995): Radarmessung von Niederschlägen für hydrologische Anwendungen. In: Herbstschule Radarmeteorologie 1995, Band/Heft Annalen der Meteorologie, 32, S. 228-237. Offenbach am Main.

Verworn, H. (2005): Die Anwendung der Niederschlagsvorhersage in der Stadtentwässerung. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie

und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 65-74. München.

Verworn, H. (2005): Langzeitsimulation - Regendaten und Vorgehensweise. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 81-94. München.

Verworn, H. (2005): Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags. In: Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Vorträge, Hennef, ATV-DVWK, Heft 9.2005, S. 129-144. München.

Verworn, H., Assheuer, J. (2005): Das neue Berechnungsverfahren für die 5- und 10-Minuten-Werte in KOSTRA. In: KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jg. 52, Heft 12, S. 1335-1342.

Vestner, K., Schmid, A. (2007): Sicherstellung ordnungsgemäßer Grundstücksentwässerungsanlagen in München. In: KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jg. 54, Heft 1, S. 64-69.

Vetter, A. (2003): Erfahrungen zur Gebäudesicherheit bei Hochwasserkatastrophen. URL: http://www.schadenprisma.de/SP/SpEntw.nsf/d19d3176e0d69443c125699200555212/9b2bf999ed9a3f53c1256d550049eec6?OpenDocument, Zitationsdatum: 29.11.2005.

Vischer, D. (1977): Das Überflutungsrisiko einer Baugrube. In: Wasserwirtschaft, Band 67, (1977), Heft 10, Seite 314-323, 7 , 2, Tabellen, 7, ISSN 0043-0978

Visser, G.; Rehling, P.; Nisipeanu, P. (2005): Neues zur Sanierung von Hausanschluss- und Grundstücksentwässerungsanlagen. In: KA – Abwasser, Abfall (52) Nr. 8, S. 914-923

Vogel, A.-O. (2004): OLG Naumbrg / BGH - Mangelhafte Kellerabdichtung im Hochwassergebiet: Organisationsverschulden des GÜ mit langer Verjährung. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 2004, Seite 563. ISSN 0941-5750

Wäckerle, B. (2003): Entstehung von Rückstau. Wasser im Keller. In: HK Gebäudetechnik, Band 1, (2003), Heft 12, Seite 76-78, Abb. ISSN 1016-5878

Wagner K. (2004): Naturgefahrenbewusstsein und -kommunikation am Beispiel von Sturzfluten und Rutschungen in vier Gemeinden des Bayerischen Alpenraums. URL: http://tumb1.biblio.tu-münchen.de/publ/diss/ww/2004/wagner_k.pdf Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.11.2004, Zitationsdatum: 16.11.2006.

Wahner, R. (2000): Haftung am Bau (XVIII). Quotierungsbeispiel bei Wasserschaden in Reihenhaussiedlung. In: DAB, Heft 6, S. 812-813.

Wallisch, B. (1996): Bebauungsplan: Welche Rolle spielen Klimaveränderungen?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 7, (1996), Seite 346, Zusatz: VGH Baden-Württemberg, Urteil vom 12.07.1995 - 3 S 3167/94 BauGB 1 Abs. 5 Nr. 1, 7, Abs. 6; BNatSchG 2 Abs. 1 Nr. 8, 8a; VwGO 47 Abs. 2. ISSN 0941-5750

Warmbrunn, D. (2004): Besondere Bauschadensfälle. In: ARGE-Infotag, DE, Würzburg, 20040117, 11, 11. Arge-Infotag SV-aktuell 2004. Eine Sachverständigentagung, Würzburg 17.1.2004. Tagungsunterlage, Hamburg: Selbstverlag, DE, (2004), Seite 1-5. Arbeitsgemeinschaft Dr.-Ing. H. E. Aurnhammer zur Aus- und Weiterbildung von Sachverständigen GbR, Hamburg (Hrsg.)

Warthmann, P. (2005): Dank Rohrsystemen von hoher Qualität. Gebäudewasserschäden: Entwicklung in der Schweiz nicht beunruhigend. In: HK Gebäudetechnik, Band 3, (2005), Heft 8, Seite 38-41, Abb. ISSN 1016-5878

Weber, H. (2005): Bedeutung des Wasserhaushalts. Betrachtungen zum Bauten- und Fassadenschutz. In: Der Maler- und Lackierermeister, (2005), Heft 8, Seite 34-38, Abb. ISSN 0172-9497

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.3. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 3, Seite 46-52 (6 S.) , ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.1. Nach 72 Jahren: Abschied von der DIN-Norm 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 55, (2000), Heft 24, Seite 33-43 (7 S.), Abb. ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.10. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 14, Seite 42-51 (9 S.), Abb. ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.2. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 1/2, Seite 40-57 (12 S.) , ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.4. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 4, Seite 96-107 (8 S.), Tabellen, ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.9. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 13, Seite 26-49 (11 S.) , ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.6. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 7, Seite 40-48 (5 S.), ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.8. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 10, Seite 132-145 (10 S.) , ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.7. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 8, Seite 46-55 (7 S.), Abb. ISSN 1616-2285

Weinhold, J. (2001): Neue Technische Regeln für Entwässerungsanlagen. Tl.5. Abschied von der DIN 1986. In: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Band 56, (2001), Heft 6, Seite 58-71 (8 S.) , ISSN 1616-2285

Weischet, W. (1995): Einführung in die Allgemeine Klimatologie. In: Teubner Studienbücher der Geographie. Stuttgart.

Weyer, F. (1996): OLG Stuttgart / BGH - Verkehrssicherungspflicht eines Brückenbauers zur Vermeidung von Hochwasserschäden?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 1996, Seite 92, Zusatz: OLG Stuttgart, Urteil vom 13.04.1994 - 3 U 233/90. ISSN 0941-5750

Weyer, F. (1998): BGH - Streitverkündung im selbstständigen Beweisverfahren ändert Beweislast nicht!. In: IBR Immobilien- & Baurecht, 1998, Seite 129. ISSN 0941-5750

Weyer, F. (2001): Schlüsselfertige Errichtung eines Supermarkts: Funktionstaugliche Parkplatzentwässerung geschuldet?. In: IBR Immobilien- & Baurecht, Band 12, (2001), Heft 7, Seite 349, Zusatz: BGH, Urteil vom 10.05.2001 - VII ZR 248/00 BGB 631. ISSN 0941-5750

Wilcke, D. Siecker, F.; Jin, Z.; Siecker, H. (2007): Nachweis des Rückhaltevermögens dezentraler Regenwasser-Bewirtschaftungsanlagen in Siedlungsgebieten bei hochwasserverursachenden Niederschlägen. Dargestellt am Beispiel der Siedlungsflächen im Einzugsgebiet der sächsischen Mulde. In: KA – Abwasser, Abfall (54) Nr. 3, S. 249-259

Willi, Ch., (2004): Unwetter November 2002. Fallstudie Industriegebiet Bahnhof Felsberg. O.O., Schweiz - http://www.wald.gr.ch/download/unwetter_2002_fallstudie_bhf_felsberg.pdf

Wirth, H. Wirth, S. (2000): Abwasserhebeanlage eines Einfamilienhauses. Fehlende Betriebssicherheit, unzureichender Schallschutz und Geruchsbelästigungen. Bauschäden-Sammlung 7.2/2000. In: DAB Deutsches Architektenblatt, Ausgabe Baden-Württemberg, Band 32, (2000), Heft 7, Seite 920-921 , Zusatz: Textgleich in allen Regionalausgaben des Dt. Architektenbl. ISSN 0012-1215

Wolff, A.; Mehl, D.; Klitzsch, S. (2000): Ausgrenzung und Verschlüsselung oberirdischer Einzugsgebiete: Probleme und Lösungsansätze = Definition and coding of surface catchment areas: problems and solutions. In: WASSER & BODEN, Band 52, (2000), Heft 12, Seite 61-66, ISSN 0043-0951

Wricke, B., Tränckner, J., Böhler, E. (2003): Dokumentation von typischen Schäden und Beeinträchtigungen der Wasserversorgung durch Hochwasserereignisse, Ableitung von Handlungsempfehlungen, Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, Außenstelle Dresden, DVGW

Zawadski, I. I. (1973): Statistical Properties of Precipitation Patterns, J. Appl. Meteo., 12, 459-472.

Zawadski, I. I. (1975): On Radar-Raingage Comparison, J. Appl. Meteo., 14, 1430-1436.Abwasserbeseitigungsbetrieb Wachtberg, A. (2005): Hochwasser /Überflutungen im Gebiet der Gemeinde Wachtberg. URL: http://www.wachtberg.de/umwelt/hochwasserschutz.pdf, Erstellungs-/Modifikationsdatum: 21.03.2006, Zitationsdatum: 31.07.2007.

Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. URL: http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2947.pdf Erstellungs-/Modifikationsdatum: 01.08.2005, Zitationsdatum: 06.10.2005.

Zengler, F.-C. (1997): Systematische Planung von Flachdachabdichtungen unter begrünten Flächen. In: Dach + Grün, Band 6, (1997), Heft 1, Seite 14-21, ISSN 0943-5271

Ziegler, J.; Krämer, S.; Verworn, H.-R. (2006): Langzeitsimulation mit Radardaten. In: KA – Abwasser, Abfall, Band 53, (2006), Heft 11, Seite 1123-1129, Abb ISSN 1616-430X

Zimmermann, G. (1999): Schäden am geneigten Dach. Erkennen und Vermeiden von Fehlern. In: Modernisierungsmarkt, Band 22, (1999), Heft 3, Seite 6 - 8, ISSN 0940-1156

Zimmermann, G. (2003): Unterspannungen und Unterdächer. Fehler, Mängel, Schäden. In: BIS Der Bau- und Immobilien-Sachverständige, Band 4, (2003), Heft 2, Seite 66-69, ISSN 1615-1984

Zimmermann, G. (Hrsg) (1995): Bauschäden-Sammlung Bd. 10. Sachverhalt - Ursachen - Sanierung. In: Stuttgart: IRB Verlag, DE, (1995), 182 S., ISBN 3-8167-4178-9.

Zimmermann, G. (Hrsg) (1999): Bauschäden-Sammlung Bd. 12. Sachverhalt - Ursachen - Sanierung. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (1999), 183 S., ISBN 3-8167-4184-3.

Zimmermann, G. (Hrsg) (1999): Bauschäden-Sammlung Bd. 3. Sachverhalt - Ursachen - Sanierung. 3.,unveränd.Aufl. der Ausgabe von 1978. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (1999), 160 S., ISBN 3-8167-4172-X

Zimmermann, G. (Hrsg) (1999): Bauschäden-Sammlung Bd. 6. Sachverhalt - Ursachen - Sanierung. 4.,unveränd.Aufl. der Ausgabe von 1986. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (1999), 167 S.

Zimmermann, G. (Hrsg) (2001): Bauschäden-Sammlung Bd. 13. Sachverhalt - Ursachen - Sanierung. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (2001), 184 S., ISBN 3-8167-4185-1.

Zimmermann, G. (Hrsg) Schumacher-R. (Hrsg) (2002): Bauschadensfälle Bd.1. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (2002), 205 S., ISBN 3-8167-6110-0, Zusatz: Kostenlose Register CD-ROM gesondert beziehbar.

Zimmermann, G.; Ottomann, A.; Klopfer, H.; Sörgel, C.; Ruhnau, R. (Hrsg) (2006): Wasserschäden. Schadensfälle - Leckortung - Bautrocknung -Verantwortlichkeit. In: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, DE, (2006), 203 S. (in Serie: Schadenfreies Bauen; 38), ISBN 3-8167-6879-2.

Zimmermann, L., Weber, J., Straub, H., Kolokotronis, V. (2004): Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von süddeutschen Flussgebieten. In: Wasser und Abfall, Jg. 6, Heft 11, S. 15-19.