

Studie Niederschlagswasser

Anpassung der quantitativen Niederschlagswasserbeseitigung an den Klimawandel

-Urbane Sturzfluten-

Hintergründe – Risiken - Vorsorgemaßnahmen



Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Wolfgang Günthert

Simon Faltermaier, M.Sc.

Fotomotive der Titelseite

Oben: Starkregenereignis, das den Austritt von Wasser aus der Kanalisation an die Oberfläche zeigt und die Überflutung der Straße zur Folge hat.

Unten links: Gefahrenstelle Kellereingang in ein Haus.

Unten rechts: Gründach zur Verdunstung und Rückhaltung von Niederschlagswasser.

Auftraggeber

Bundesverband Deutscher Baustoff- Fachhandel e.V. (BDB)

Am Weidendamm 1A

10117 Berlin

Auftragnehmer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. F.W. Günthert

an der Universität der Bundeswehr München

Institut für Wasserwesen

Herthastraße 49

80639 München

München, Mai 2016

Diese Studie wurde aufgrund wissenschaftlicher und eigener Erfahrungen erarbeitet. Die Quellenangaben erfolgten nach wissenschaftlichen Regeln. Die Abbildungen sind entweder mit Quellenangaben versehen oder selbst angefertigt. Vor einer weiteren Veröffentlichung ist ggf. das Urheberrecht zu prüfen. Die Abbildungen 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 34, 36 und 37 wurden nach Originalvorlagen von der Agentur Heinrich grafisch bearbeitet.

Kurzfassung

Durch die zunehmenden Starkregenereignisse in den letzten Jahren sind Bürger und Kommunen mehr sensibilisiert. Lokale extreme Niederschläge, ohne nennenswerte Vorwarnzeit, führen im urbanen Raum zu hohen Schäden an Gebäuden, Infrastruktur und gestalteter Natur. Diese Schäden machen inzwischen 50 % der Überflutungsschäden aus.

Seltene Starkregenereignisse können von den zumeist unterirdischen Kanälen und Versickerungsanlagen nicht aufgenommen werden und überfluten dann Straßen, Keller und andere Einrichtungen. Privatpersonen und private Einrichtungen verfügen meist nicht über die Fachinformationen und vertrauen auf die öffentlichen Entwässerungseinrichtungen und werden dann von solchen Ereignissen überrascht.

Anhand einer Ereignisdatenbank zu Extremwetterereignissen von 2008 wurde gezeigt, dass Starkregenereignisse von kurzer Dauer und hoher Intensität überall in Deutschland, vorwiegend in den Sommermonaten, auftreten. Besonders gefährdete Objekte sind Wohn- und Industriegebäude, Infrastruktureinrichtungen und Verkehrsanlagen. Die Höhe der Schäden nimmt immer mehr zu. Insbesondere Gebäude sind vielfältigen Gefahren durch Kellerabgänge und Lichtschächte, sowie fehlender oder nicht funktionierender Rückstausicherung in der Gebäudeentwässerung ausgesetzt.

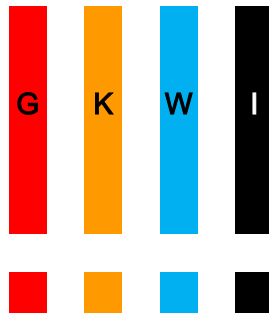
Zur Vorsorge vor den Gefahren dieser Starkregenereignisse werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Niederschlags- und Abflussmessungen mit aktuellen hydraulischen Nachweisen des Entwässerungssystems (Überflutungsnachweis)
- Gefährdungsanalyse und Gefahrenkarte der betroffenen Gebiete und Objekte
- Integraler und multifunktionaler Überflutungsschutz mit Regenwassermanagement (Versickerung, Rückhalt und Verdunstung)
- Objektschutz (Kellerabgänge, Lichtschächte, Grundstücksentwässerungsanlage u.a.)
- Anpassung des Entwässerungssystems und Einbindung von Verkehrs- und Freiflächen
- Information und Beratung der möglichen Betroffenen

Vorgaben hierzu sind sowohl im Baugesetzbuch als auch in den Wassergesetzen enthalten, die bei Planungen und Genehmigungen umzusetzen sind.

Kernaussagen und Forderungen der Studie auf einen Blick:

Betroffene Akteure

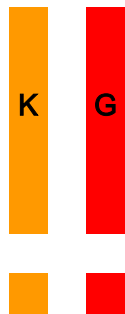


- **G Grundstückseigentümer**
- **K Kommune (Entwässerung, Bauamt, o.ä.)**
- **W Wasserwirtschaft (Staatliche Behörden)**
- **I allgemeine Informationen**



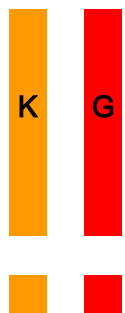
Für die Prognose und Nachbereitung von Starkregenereignissen sind in Siedlungsgebieten eine ausreichende Anzahl an Niederschlagsmessstationen in Kombination mit Radarmessungen zu errichten und zu betreiben.

S. 24



Zur Abflussreduzierung sollen alle Möglichkeiten des Regenwassermanagements mit Rückhalt, Versickerung und Verdunstung genutzt werden.

S. 27



Niederschlagswasser soll, soweit dies technisch und wasserwirtschaftlich möglich ist, versickert werden.

S. 29

G

Hausentwässerungsanlagen müssen so ausgelegt werden, dass Abwasser bis zur Rückstauenebene schadlos in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden kann bzw. nicht in die Hausentwässerungsanlage eindringen kann.

S. 33

K

Überflutungsnachweise für die zu schützenden Gebiete sind für die aktuelle Bebauung und Oberflächengestaltung erforderlich, um gegebenenfalls notwendige Sanierungs- und Schutzmaßnahmen auszuführen.

S. 35

K

Zur Anpassung der Kanalisation an veränderte Risiken durch den Klimawandel sind die Bemessungsabflüsse bei Bedarf, insbesondere bei vermehrten Überflutungsereignissen, angemessen zu erhöhen.

S. 36

G

Für alle Gebäude besteht unabhängig von der Lage die Gefahr von Wasserschäden. Alle möglichen Gefahrenstellen müssen daher überprüft werden und Vorsorgemaßnahmen für die gefährdeten Bereiche ergriffen werden. Kellerabgänge, Lichtschächte und Grundstücksentwässerungsanlagen sind dabei besonders zu beachten.

S. 39


**K**

Es ist eine Überprüfung erforderlich, welche Flächen überflutet werden (Überflutungsnachweis), welche Flächen unbedingt frei von Überflutungen gehalten werden müssen und welche Flächen überflutet werden können und in das Abflussgeschehen mit einbezogen werden können.

S. 40


**K**
**W**

Für unterirdische Verkehrsanlagen (Unterführungen, Tunnelbauwerke) sind die Bemessungsregen mit der geringsten Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. die strengsten Nachweise für die Überflutungshäufigkeit anzusetzen, da dies die empfindlichsten Verkehrsanlagen sind.

S. 42


**I**

Starkregen und Schadensereignisse können überall in Deutschland auftreten, wobei Bayern, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen stärker gefährdet sind als die anderen Bundesländer.

S. 47


**I**

Am häufigsten von Starkregenereignissen sind Gebäude, Infrastruktur und Verkehr betroffen. Die häufigsten Schäden waren überflutete Keller, beschädigte Häuser, überflutete Tiefgaragen sowie Störungen bei den Verkehrswegen.

S. 49



Wegen der Zunahme der Schadenssummen infolge von Starkregenereignissen wird eine umfassende Fortschreibung der Daten zu Schadenskategorien und Starkregenereignissen als Grundlage für weitere Maßnahmen dringend empfohlen.



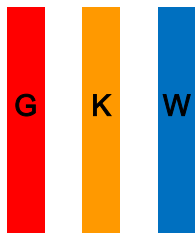
S. 51



Die Analyse von Überflutungsgefährdungen und der Schadenspotentiale mit einer Risikokommunikation ist wichtiger Bestandteil einer integralen Überflutungsvorsorge.



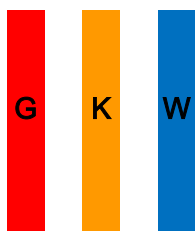
S. 54



Der ganzheitliche Überflutungsschutz besteht aus dem Entwässerungssystem mit Regenwassermanagement, den Verkehrs- und Freiflächen und dem Objektschutz. Hierfür müssen Grundstückseigentümer, kommunale und staatliche Behörden und Ämter zusammenarbeiten.



S. 58



Vorsorgemaßnahmen beginnen bei kurzfristigen, kleinräumigen Maßnahmen (Objektschutz) und müssen mit großräumigen, langfristigen Maßnahmen (Kanalnetzausbau, Flächenvorsorge) fortgeführt werden.



S. 60



I

Ausgewertete Starkregenereignisse in Deutschland zeigen die unerwarteten Niederschläge, die hohen Schäden sowie Konsequenzen daraus.

S. 62



K

W

Sowohl im Baugesetzbuch als auch in den Wassergesetzen sind zur Vorsorge und zum Schutz vor urbanen Sturzfluten Vorgaben enthalten, die bei Planungen und Genehmigungen umzusetzen sind. Dazu sind in der Bauleitplanung Maßnahmen zur Verminderung und Rückhaltung des Oberflächenabflusses vorzusehen. Im Rahmen der Generalentwässerungsplanung ist eine Überprüfung des Entwässerungssystems erforderlich, um gefährdete Gebiete zu ermitteln und das Haftungsrisiko für den Entwässerungsverpflichteten zu reduzieren.

S. 63

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
Kernaussagen und Forderungen der Studie auf einen Blick:	4
Inhaltsverzeichnis	9
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	13
1. Einleitung	14
2. Klima, Niederschlag, Sturzfluten und Abflussgeschehen im urbanen Raum	15
2.1. Klimaprojektionen	15
2.1.1. Globale Klimamodelle	16
2.1.2. Regionale Klimamodelle	17
2.1.3. Das Projekt „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen“	19
2.2. Niederschlag – Abflussbildung – Entwässerung	21
2.2.1. Niederschlags– und Abflussbildung	21
2.2.2. Charakterisierung von Starkregen	22
2.2.2.1. Konvektiver Starkregen	22
2.2.2.2. Prognose von Dauer und Intensität der Starkregenereignisse	22
2.2.3. Niederschlagsmessung	23
2.2.4. Abflussbildung	25
2.2.5. Abflusskonzentration	27
2.3. Siedlungsentwässerung	28
2.3.1. Abwasserarten	28
2.3.2. Entwässerungsverfahren im urbanen Raum	29
2.3.3. Belastungsbildung - Gesamtniederschlag	31
2.3.4. Abflussgeschehen im Kanalnetz	31
2.3.4.1. Einstau	31
2.3.4.2. Überlastung	32
2.3.4.3. Überstau	32
2.3.4.4. Überflutung	33
2.3.5. Dimensionierung und Nachweis von Entwässerungssystemen	34
2.3.5.1. Bemessung von Kanalnetzen	34
2.3.5.2. Überflutungsnachweis	34
2.3.5.3. Anpassung der Kanalisation an veränderte Risiken durch Klimawandel	35
3. Gefährdung von Gebäuden	36
4. Gefährdung von öffentlichen Flächen und Einrichtungen	40
4.1. Siedlungsflächen	40

4.2. Unterführungen und Tunnelbauwerke	40
5. Risiken durch urbane Sturzfluten.....	43
5.1. Risiko der einzelnen Bundesländer.....	43
5.2. Schadenskategorien und Schadensumfang	48
6. Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen	52
6.1. Integrale Überflutungsvorsorge.....	52
6.2. Überflutungsschutz durch multifunktionale Flächennutzung.....	54
6.3. Multidimensionale Anpassungsstrategie	59
7. Starkregenereignisse in deutschen Gemeinden	60
8. Rechtliche Rahmenbedingungen.....	62
8.1. Klimaangepasste Bauleitplanung	62
8.2. Vorgaben für die Entwässerung	63
8.2.1. Das Wasserhaushaltsgesetz	63
8.2.2. Landeswassergesetze am Beispiel des Bayerischen Wassergesetzes (BayWG) ..	64
8.2.2.1. Zielsetzung des integralen Überflutungsschutzes	64
8.2.2.2. Regelung zur Abwasserbeseitigungspflicht.....	64
8.2.3. Zuständigkeiten bei Abwasserleitungen	65
8.2.4. Rechtsentscheidungen bezüglich der erforderlichen Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes	66
9. Schlussfolgerungen und Ausblick.....	68
Anhang.....	76
Anhang 1 - Begriffsdefinitionen.....	76
Anhang 2 – Mittlere Abflussbeiwerte	80
Anhang 3 - Bemessungsregenhäufigkeiten	81
Anhang 4 - Überflutungshäufigkeiten.....	81
Anhang 5 – Festsetzungsmöglichkeiten nach BGB	82
Anhang 6 - Fotodokumentation	89
Fotodokumentation von Starkregenereignissen.....	89
Fotodokumentation von Gefahrenstellen	93
Fotodokumentation von Maßnahmen	94
Bildnachweis	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prognose der globalen durchschnittlichen Niederschlagsentwicklung (IPCC 2014a)	16
Abbildung 2: Prognose Lufttemperatur 2021-2050 (Deutscher Wetterdienst 2015)	17
Abbildung 3: Prognose Lufttemperatur 2071-2100 (Deutscher Wetterdienst 2015)	17
Abbildung 4: Prognose Niederschlag Winter 2021-2050 (Deutscher Wetterdienst 2015)	18
Abbildung 5: Prognose Niederschlag Sommer 2021-2050 (Deutscher Wetterdienst 2015) ..	18
Abbildung 6: Liste von Fallbeispielen und Referenzprojekten zur Anpassung an den Klimawandel im Städtebaulichen Kontext (BBSR 2013)	20
Abbildung 7: Bestandteile des Niederschlags-Abflussprozesses im urbanen Raum	21
Abbildung 8: Niederschlagsmessstation (Typ: Pluvio Fa. Ott, Kempten) nach dem Wäge- Prinzip: (a) AuSSenansicht, (b) Sammelbehälter, (c) Wägezelle (Fotos: Metzner 2015)	23
Abbildung 9: Stadtgebiet Ingolstadt mit Lage des Einzugsgebietes des Kanalnetzes (graue Flächen), Lage der Niederschlagsmessstationen (dunkelblau) und Lage der virtuellen Radarmessstation (rot). (Foto: Ingolstädter Kommunalbetriebe AöR)	25
Abbildung 10: Niederschlags Abflussprozess mit Regenwassermanagement (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2013)	27
Abbildung 11: Abwasserarten (Thimet und Günthert 2014)	28
Abbildung 12: Entwässerungsverfahren (Thimet und Günthert 2014)	30
Abbildung 13: Einstau (nach Schmitt 1996)	31
Abbildung 14: Überlastung (nach Schmitt 1996)	32
Abbildung 15: Überstau (nach Schmitt 1996)	32
Abbildung 16: Überflutung (nach Schmitt 1996)	33
Abbildung 17: Mögliche Gefahrenstellen für Gebäude	37
Abbildung 18: Gefahrenstellen an Gebäuden. Kellereingang (I) und Tiefgaragenzufahrt (R) (Fotos: Günthert 2015)	38
Abbildung 19: Kellerlichtschacht (Foto: MEA Water Management GmbH)	38
Abbildung 20: Hausentwässerung ohne (links) und mit (rechts) Rückstausicherung	39
Abbildung 21: Unterführungsbauwerk als Tiefpunkt der Entwässerung (Foto: Günthert 2015)	42
Abbildung 22: Überflutete Unterführung (Foto: Stadtentwässerung München)	43
Abbildung 23: Erfasste Sturzflutereignisse in URBAS Datenbank (Stand 31.09.2007) (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008)	45

Abbildung 24: Verteilung der erfassten Starkregenereignisse nach Bundesländern (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008)	46
Abbildung 25: Verteilung der erfassten Starkregenereignisse bezogen auf den Siedlungsflächenanteil der einzelnen Bundesländer (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008)	47
Abbildung 26: Häufigkeit der betroffenen Schadenskategorien (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008)	48
Abbildung 27: Schadenmeldungen und Schadensumfang der Kategorie „Gebäude“ (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008)	49
Abbildung 28: Schadenmeldungen und Schadensumfang der Kategorie "Infrastruktur" (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008)	50
Abbildung 29: Erhebung der Schadenssummen 1990 bis 2005 (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008)	51
Abbildung 30: Integrale Überflutungsvorsorge	53
Abbildung 31 Stufenkonzept zur Erstellung einer urbanen Gefahrenkarte (Dr. Pecher AG 2014)	54
Abbildung 32: Verschiedene Einlaufsysteme (Fotos: Funke Kunststoffe GmbH)	55
Abbildung 33: Gründach einer Garage im urbanen Bereich (Foto: Günthert 2015)	56
Abbildung 34: Fünf Elemente des Überflutungsschutzes im urbanen Raum (nach Krieger und Fröbe (2014))	57
Abbildung 35: Elemente des Überflutungsschutzes (DWA AG ES 2.5 2008)	58
Abbildung 36: Multidimensionale Anpassung an das Risiko urbaner Sturzfluten (RWB = Regenwasserbehandlung)	59
Abbildung 37: Zuständigkeitsgrenzen bei Grundstücksentwässerungsanlagen (Thimet und Günthert 2014)	65
Abbildung 38: Extremniederschlag in Dortmund vom 26.06.2008 (Foto: Erhardt 2008 in Grünewald (2009))	89
Abbildung 39: Überflutung Gewerbegebiet Baiersdorf bei Forchheim (Foto Freiwillige Feuerwehr Stadt Baiersdorf (Brunner 2008))	89
Abbildung 40 Auswirkungen einer Sturzflut im Innenstadtbereich (Foto: Wupperverband (Scheibel 2013))	90

Abbildung 41: Überlastete Ablaufrinne infolge eines Starkregenereignisses (Foto: Wupperverband (Scheibel 2013))	90
Abbildung 42: Überfluteter Verkehrsraum nach einem Starkregenereignis (Foto: Wupperverband (Scheibel 2013))	91
Abbildung 43: Überflutete Landstrasse während eines Starkregenereignisses (Foto: Deutscher Wetterdienst (Becker 2014))	91
Abbildung 44: Überflutung der Unterführung Verdistrasse in München 2011 © (Foto: Stadtentwässerung München)	92
Abbildung 45: Überflutung der Unterführung Verdistrasse in München 2011 (Foto: Stadtentwässerung München)	92
Abbildung 46: Gefahrenstelle Kellerabgang (Foto: Günthert 2015)	93
Abbildung 47: Gefahrenstelle Tiefgaragenzufahrt (Foto: Günthert 2015)	94
Abbildung 48: Terrassenzugang höhergesetzt für zusätzlichen Überflutungsschutz (Foto: Günthert 2015)	94
Abbildung 49: Höhergesetzter Hauseingang (Foto: Günthert 2015)	95
Abbildung 50: Gemauerter Schutz gegen Oberflächenwassser vor Kellerfenster (Foto: Günthert 2015)	96
Abbildung 51: Entsiegelte Garagenzufahrt zur Verminderung und Verzögerung des Oberflächenabflusses (Foto: Günthert 2015)	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Empfohlene Häufigkeiten als mögliche Vorsorge für Auswirkungen des Klimawandels (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2009)	35
Tabelle 2 Empfohlene mittlere Abflussbeiwerte ψ_m von Einzugsgebietsflächen für Berechnungen (nach DWA (2007))	80
Tabelle 3: Empfohlene Bemessungsregenhäufigkeiten bei einfachen Bemessungsverfahren (DIN EN 752)	81
Tabelle 4: Überflutungsnachweis für komplexe Verfahren (DIN EN 752)	81

1. Einleitung

Mit extremen Temperaturen und stärkeren Niederschlägen im Sommer nehmen die Menschen subjektiv die Klimaveränderung wahr. Auch objektiv finden immer häufiger die Wetterereignisse den Weg in die Versicherungsstatistiken und werden in den Medien erwähnt. Katastrophenereignisse mit Hochwasser an Elbe und Donau, mit großflächigen Überschwemmungen sowie plötzlichen Starkregen mit lokalen Überflutungen haben in den vergangenen Jahren zu hohen Sachschäden und zu Todesfällen geführt.

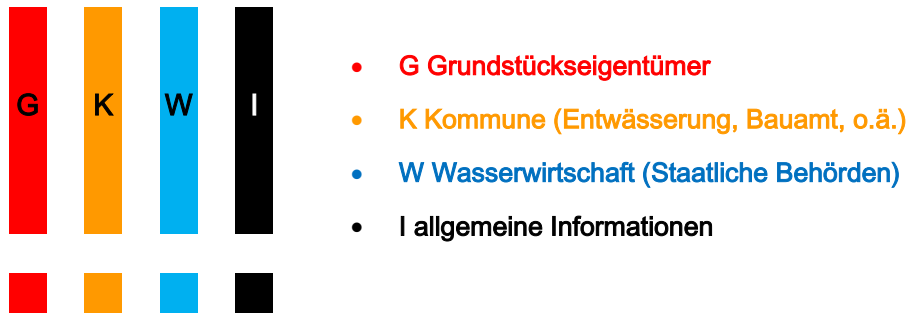
Hochwasser und Überflutungen durch Starkregen können verschiedene Ursachen und Folgen haben. Während Hochwasserereignisse in großen Flusseinzugsgebieten, wie Elbe oder Donau, Vorwarnzeiten von mehreren Tagen für die betroffenen Gebiete haben, kann bei Sturzfluten infolge lokaler Starkregenereignisse in kleinen Gebieten, wie in Dortmund oder Münster, meist kaum bzw. nur kurz vorgewarnt werden. Dies hat zur Folge, dass Sachwerte und Menschenleben bei sogenannten urbanen Sturzfluten extrem bedroht sind. Es entstehen hohe Schäden im urbanen Raum an Gebäuden, Infrastruktur und gestalteter Natur. Die volkswirtschaftlichen Schäden infolge dieser Starkregen belaufen sich nach Schätzungen der Versicherungswirtschaft auf 8 % der Schäden aus Naturgefahren und machen inzwischen ca. 50 % der Überflutungsschäden aus.

Die in Siedlungsgebieten vorhandenen öffentlichen Entwässerungseinrichtungen für Gebäude, Straßen und sonstige Flächen sind aus wirtschaftlichen Gründen für häufiger auftretende Niederschläge ausgelegt. Seltene Starkregenereignisse können von diesen zumeist unterirdischen Kanälen und Versickerungsanlagen nicht aufgenommen werden und überfluten dann Straßen, Keller und andere Einrichtungen. Die besonders stark betroffenen Privatpersonen und privaten Einrichtungen verfügen meist nicht über die Fachinformation und Fachkunde, vertrauen auf die öffentlichen Entwässerungsanlagen und werden dann von solchen Ereignissen unvorbereitet überrascht.

Ziel dieser Studie ist es, über Ursachen, Gefahren und Risiken von Sturzfluten zu informieren und deutlich zu machen, dass diese Ereignisse überall eintreten können, sowie Vorsorgemaßnahmen im urbanen Raum aufzuzeigen.

Diese Studie soll als Ratgeber für Politik und Bürger dienen. Überflutungsvorsorge ist eine Aufgabe unserer kommunalen Gemeinschaft. Sie wirkt nur, wenn alle Beteiligten - Privatpersonen, Behörden und Kommunen - zusammenarbeiten und jeder seinen Teil dazu beiträgt.

Um einen schnellen Blick auf die wesentlichen Ergebnisse und Forderungen dieser Studie zu erhalten, werden die Kernaussagen mit folgenden farbigen Balken am Seitenrand für die jeweiligen Betroffenen ergänzt:



2. Klima, Niederschlag, Sturzfluten und Abflussgeschehen im urbanen Raum

Klima, Temperatur, Niederschlag und Abfluss hängen sehr eng zusammen und werden häufig im Zusammenhang mit Hochwasser und Überschwemmungen in den Medien aufgeführt. Deshalb sollen diese Begriffe im Folgenden erläutert werden, um die Zusammenhänge besser zu verstehen.

Das Klima der Bundesrepublik wird u.a. von der geographischen Lage, der Topographie, sowie Wind beeinflusst. Insgesamt befinden wir uns in einem warmgemäßigten Regenklima der mittleren Breiten. Wesentlich ist der ozeanische Einfluss, welcher von Nordwest nach Südost abnimmt und für milde Winter und nicht zu heiße Sommer sorgt. Zudem spielt die Topographie eine entscheidende Rolle. Windströmungen in Richtung Süden bringen die feuchten, ozeanischen Luftmassen an die Mittel- und Hochgebirge, wo sich diese abregnen. Diese Gebiete sind besonders niederschlagsreich. Im Osten Deutschlands, weiter entfernt vom Atlantik und mit weniger Erhebungen gibt es im Vergleich dazu nur sehr geringen Niederschlag. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Wettereinflüsse und -bedingungen für die unterschiedlichen Regionen Deutschlands.

2.1. Klimaprojektionen

Das Klima wird aus aufgezeichneten Wetterdaten von Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Wind, etc. ermittelt. Klimadaten sind nur großräumig und für Mittelwerte verfügbar. Klimamodelle versuchen aus der Entwicklung der historischen Daten Abschätzungen für die Entwicklung in der Zukunft zu geben. Je nach Modell ergeben sich große Variationen. Diese Modelle eignen sich daher nur bedingt zur Prognose von lokalen Einzelereignissen und leisten somit nur geringe Unterstützung für die Dimensionierung wasserwirtschaftlicher Anlagen.

Dennoch besteht für die Zukunft die Notwendigkeit zur Anpassung der wasserwirtschaftlichen Infrastruktur an den Klimawandel auf Basis einer Risikoabschätzung. Für das Risiko muss die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmter Niederschlagsereignisse und das dadurch verursachte

Schadensausmaß ermittelt werden. Für die Anpassung an Starkregenereignisse muss folglich sowohl die jährliche Wiederkehrhäufigkeit, als auch deren Intensität (in mm/h oder $l/(s \cdot ha)$) abgeschätzt werden. Beide Faktoren versucht man u.a. mithilfe von regionalen Klimamodellen abzuschätzen und vorherzusagen.

2.1.1. Globale Klimamodelle

Globale Klimamodelle sind, je nach Zeitpunkt der Entwicklung und der verfolgten Zielstellung, unterschiedlich detailliert aufgebaut. Zum einen gibt es historisch gewachsene Modelle, die häufig nur Prozesse in der Atmosphäre betrachten und weitere Rahmenbedingungen (wie Vorgänge im Ozean und auf der Landoberfläche) nur als feste Parameter einfließen lassen. Die neueste Generation der Klimamodelle stellen die sogenannten „Earth System Models (ESM)“ dar, welche die wichtigsten physikalischen Vorgänge in der Erdatmosphäre, den Ozeanen und der Erdoberfläche abbilden können und zudem auf Annahmen über weltweite Entwicklungs- und Emissionspfade zurückgreifen. Die Modelle prognostizieren eine zukünftig großräumig veränderte Niederschlagsverteilung, die sich aus der höheren Wärmeenergie in der Atmosphäre und dem daraus resultierenden veränderten globalen Wasserkreislauf ergibt. Die Abbildung 1 zeigt die prozentuale Veränderung des Niederschlags für den Zeitraum bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Je dunkler das Blau umso höher werden die Niederschläge, je dunkler das Rot umso trockener werden diese Regionen. In den höheren Breiten werden in Zukunft mehr Niederschläge erwartet, in den meisten subtropischen Regionen wird von einer Abnahme der Niederschläge ausgegangen. Diese Prognosen stimmen mit Beobachtungen bei der globalen Niederschlagsentwicklung überein (s. IPCC 2014).

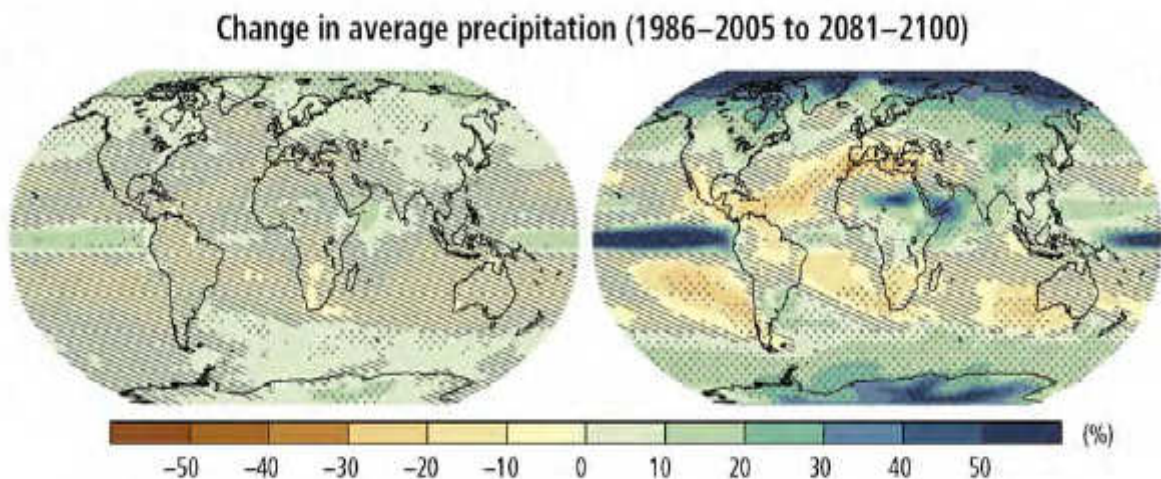


ABBILDUNG 1: PROGNOSE DER GLOBALEN DURCHSCHNITTlichen NIEDERSCHLAGS-ENTWICKLUNG (IPCC 2014A)

2.1.2. Regionale Klimamodelle

Die derzeit eingesetzten globalen Klimamodelle mit einer Gitterweite ≥ 120 km (Benden 2014) können keine differenzierten Aussagen für die einzelnen Regionen Deutschlands treffen. Hierzu sind kleinräumigere Klimaprojektionen auf lokaler oder regionaler Ebene nötig.

In Deutschland wird insbesondere im Winter für den Zeitraum 2021 - 2050 eine Erwärmung um 0,5 - 1,5 °C und im Zeitraum 2071 - 2100 um 1,5 - 3,5 °C im Vergleich zum Kontrollzeitraum 1961 - 1990 erwartet (Bundesregierung 2008; Walkenhorst und Stock 2009; IPCC 2014). Diese Prognosen werden durch den „deutschen Klimaatlas“ des Deutschen Wetterdienstes unterstützt (erreichbar unter www.dwd.de), wie Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen.

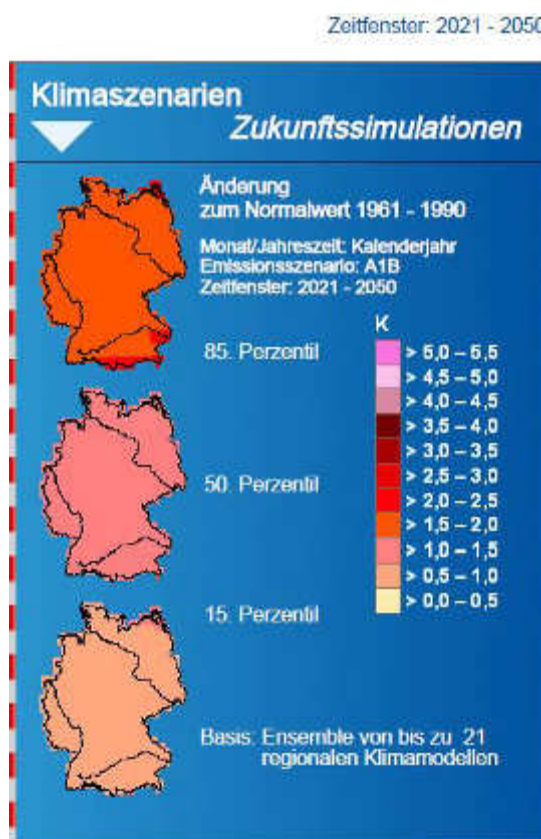


ABBILDUNG 2: PROGNOSE
LUFTTEMPERATUR 2021-2050
(DEUTSCHER WETTERDIENST 2015)

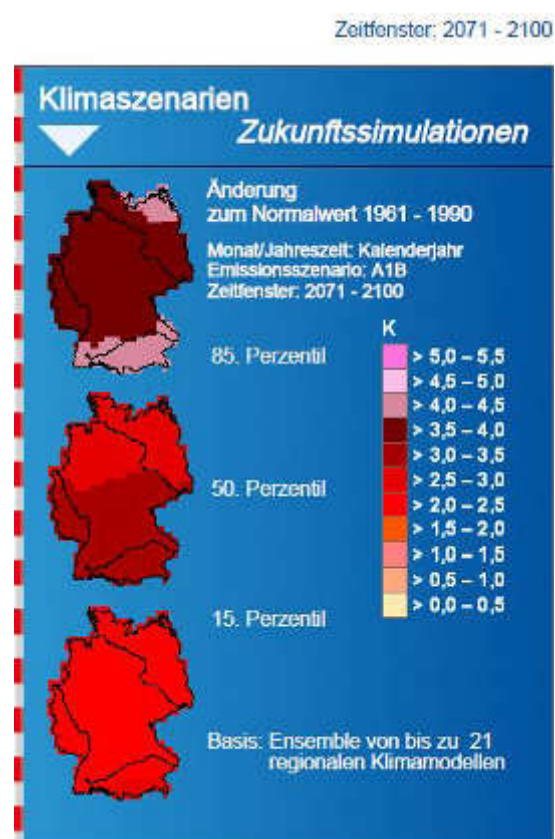


ABBILDUNG 3: PROGNOSE
LUFTTEMPERATUR 2071-2100
(DEUTSCHER WETTERDIENST 2015)

Neben der Temperatur wird sich auch die regionale Niederschlagscharakteristik hinsichtlich Häufigkeit, Intensität und Dauer verändern. Bedingt durch die globale Erwärmung und den höheren Wasserdampfanteil in der Luft werden die Niederschlagsmengen generell ansteigen und sich von den Sommermonaten in die Wintermonate verschieben. Deutschlandweit werden die Sommerniederschläge insbesondere im Süden und Nordosten des Landes um bis zu 40 % zurückgehen, während im Winter eine Zunahme um bis zu 40 % vorhergesagt wird (Bundesregierung

2008). Diese Tendenz ist bereits heute vielerorts feststellbar und wird im deutschen Klimaatlas (Abbildung 4 und Abbildung 5) als Ergebnis verschiedener gekoppelter regionaler Modelle abgebildet.

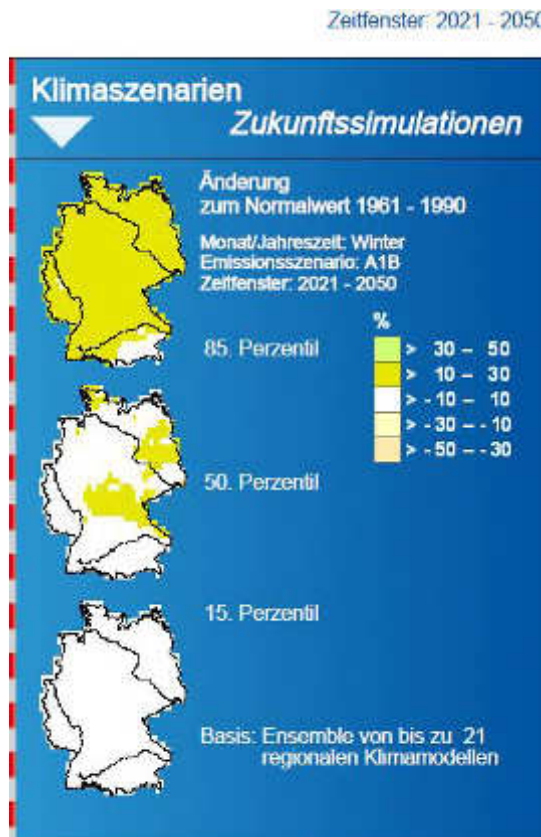


ABBILDUNG 4: PROGNOSE
NIEDERSCHLAG WINTER 2021-2050
(DEUTSCHER WETTERDIENST 2015)

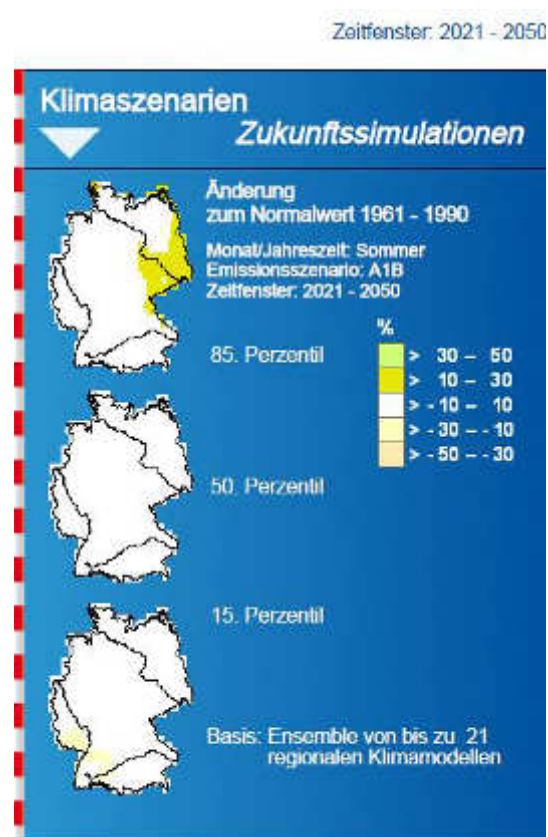


ABBILDUNG 5: PROGNOSE
NIEDERSCHLAG SOMMER 2021-2050
(DEUTSCHER WETTERDIENST 2015)

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss immer auf die Unsicherheiten bei der Prognosegüte hingewiesen werden. Diese steigen, je kleiner das Untersuchungsgebiet bzw. je kleiner der Bilanzierungsraum wird. Gerade sehr seltene Extremwetterereignisse können daher kaum prognostiziert werden.

2.1.3. Das Projekt „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen“

Der Klimawandel stellt durch zunehmende Extremwetterereignisse neue Herausforderungen an die Stadtentwicklung. Schäden an der Infrastruktur sind dabei insbesondere von Starkregenniederschlägen zu erwarten. Neben extremen Hitzewellen stellen diese auch eines der größten Risiken für die Einwohner dar, z.B. durch umfallende Bäume bzw. einzelne herabfallende Äste sowie durch rasch abfließendes Oberflächenwasser. Dies konnte beispielsweise im Juni 2013 im Ruhrgebiet beobachtet werden. Dort gingen innerhalb von kurzer Zeit 60 mm Niederschlag nieder und dies obwohl der Raum bereits wenige Jahre zuvor von unwetterartigen Starkregenereignissen betroffen war.

Zu großräumigen Niederschlagsereignissen mit längeren Dauerstufen (> 12 h) können inzwischen Aussagen über Veränderungen in Folge des Klimawandels getroffen werden. Für kurze Dauerstufen (< 1 h), mit typischerweise sehr hohen Intensitäten, sind noch keine Aussagen möglich. Diese finden räumlich begrenzt statt und können nur durch Messungen mit sehr hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung erfasst werden. Zwar ist es mittlerweile möglich, diese kurzen Starkregenereignisse zu erfassen und zeitnah vorherzusagen, wie z.B. über die Radar-Online-Niederschlagsvorhersage (RADVOR-OP) des DWD. Es fehlen jedoch für eine Prognose noch flächendeckende und langjährige Messreihen.

Auch wenn gleich noch keine wissenschaftlich fundierte Prognose möglich ist, so ist aufgrund der Korrelation mit anderen Parametern von einer Zunahme der Extremereignisse auszugehen (Deutschländer und Dalelane 2012). Maßgeblich beeinflusst werden Starkregenereignisse vom zunehmenden Energiegehalt der Atmosphäre, welcher durch den Trend der Temperaturzunahme bedingt ist. Grünwald (2009) empfiehlt daher insbesondere sogenannte vorbeugende „no regret“ Maßnahmen zur ergreifen, welche man auch dann nicht bereut, wenn die Vorhersagen so nicht eintreffen würden. Hierzu zählt z.B. die Aufwertung des Stadtbildes durch Entsiegelung und Schaffung natürlicher Retentionsräume oder auch die Renaturierung kleiner Bachläufe in der Stadt zur Verbesserung der natürlichen Entwässerung.

Eine Liste verschiedener Fallstudien und Konzepte, erstellt im Rahmen des Projekts „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen“ (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2013), befindet sich in Abbildung 6. Zur Überflutungsvorsorge sind acht Fallstudien und vier Referenzprojekte aufgeführt. Zur Vorsorge wild abfließenden Wassers sind je zwei Fallstudien und zwei Referenzobjekte angegeben. Zusätzliche programmatische Ansätze liefern Ideen für eine Anpassung an den Klimawandel im urbanen Raum.

In Kapitel 5 sind aus dem Forschungsprojekt zu Vorhersage und Management von urbanen

Sturzfluten (URBAS - Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008) zum Stand 2007 erfasste Sturzflutereignisse, Schadenskategorien und Schadensumfang zusammengestellt.

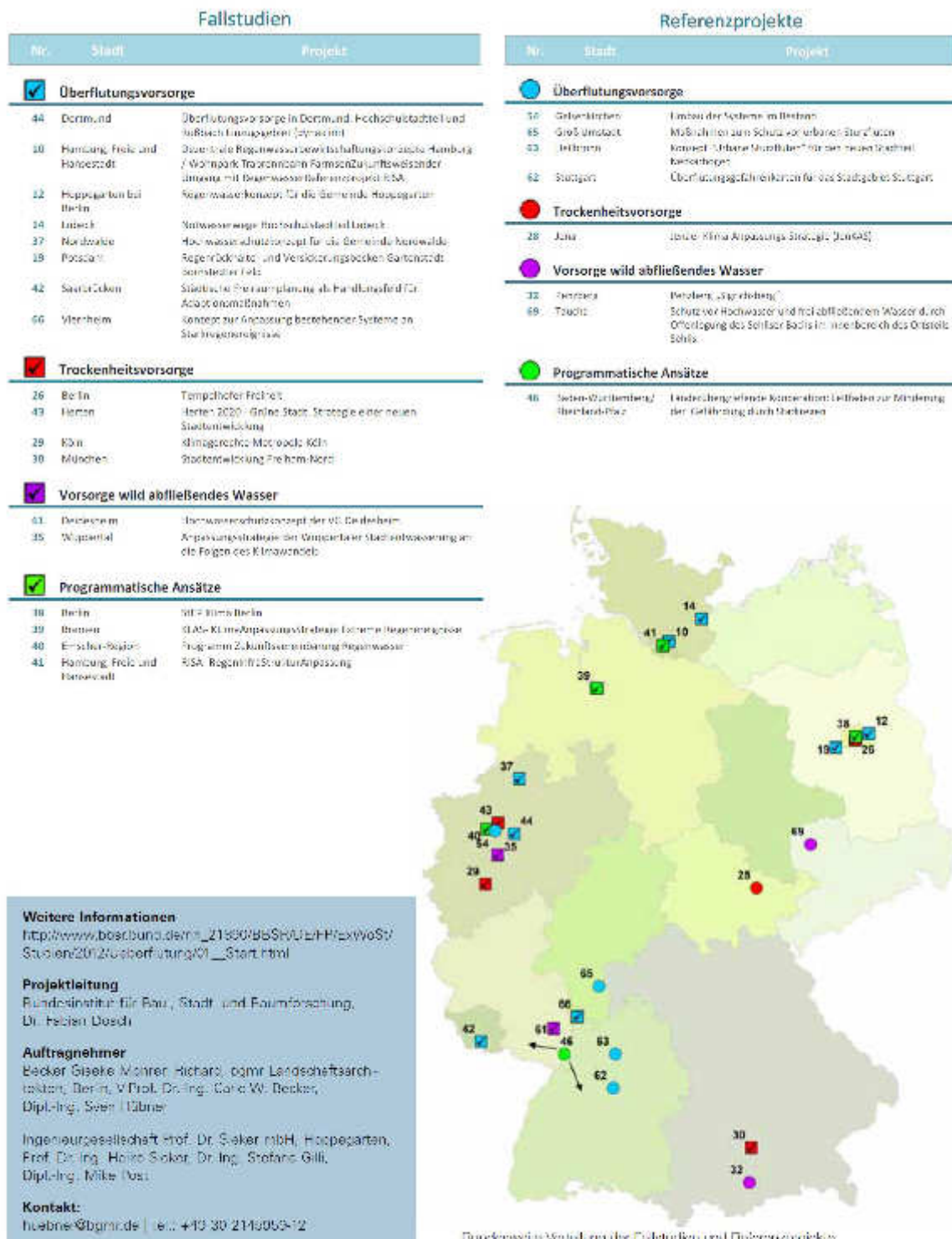


ABBILDUNG 6: LISTE VON FALLBEISPIELEN UND REFERENZPROJEKTEN ZUR ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL IM STÄDTEBAULICHEN KONTEXT (BBSR 2013)

2.2. Niederschlag – Abflussbildung – Entwässerung

Globale wie auch regionale Klimamodelle zeigen einen Trend bei der Änderung der Jahresdurchschnittswerte, sowie auch eine Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen (Walkenhorst und Stock 2009; IPCC). Extremwetterereignisse können entweder über die Auswirkungen oder über die Häufigkeit eines Ereignisses definiert werden. Neben Hitzewellen und Dürren wirken sich in Deutschland Stürme, Hagel, Gewitter und Starkniederschläge auf Gebäude und andere Einrichtungen aus.

Es soll im Folgenden näher auf die Niederschläge, die Abflussbildung und die Auswirkungen insbesondere von Starkregen eingegangen werden.

2.2.1. Niederschlags- und Abflussbildung

Abbildung 7 zeigt, wie der auf die Oberfläche gefallene Niederschlag vorwiegend oberflächlich abfließt, sobald die Niederschlagsintensität die Versickerungsrate des Bodens übersteigt.



ABBILDUNG 7: BESTANDTEILE DES NIEDERSCHLAGS-ABFLUSSPROZESSES IM URBANEN RAUM

Ein Teil des Niederschlagsabflusses kann in Mulden gesammelt werden, der größte Anteil gelangt jedoch in die Entwässerungssysteme (Kanalisation, Gräben), soweit diese aufnahmefähig sind. Wenn die Aufnahmefähigkeit dieser Systeme überschritten ist, bleibt das Niederschlagswasser an der Oberfläche bzw. fließt zu natürlichen Mulden oder künstlichen Tiefpunkten (Unterführungen) und überflutet diese.

2.2.2. Charakterisierung von Starkregen

Man unterscheidet bei Starkregenereignissen zwischen konvektiven und zyklonalen Starkniederschlägen. Im Sommerhalbjahr treten kleinräumige und kurze konvektive Niederschläge („Wärmegewitter“) mit hoher Intensität auf. Häufig gehen damit Sturm oder sogar Hagel und Tornados einher.

Zyklonale Niederschläge erstrecken sich typischerweise über mehrere Tage und über ein deutlich größeres Gebiet. Diese treten vor allem im Winter auf und können daher auch als sehr ergiebige Schneefälle in Erscheinung treten (Binder und Steinreiber 2005).

2.2.2.1. Konvektiver Starkregen

Als Auslöser für urbane Sturzfluten (niederschlagsbedingte Überflutungen im urbanen Raum) sind die konvektiven Niederschläge ausschlaggebend. Diese treten in Erscheinung, wenn die Luft einen hohen Feuchtigkeitsgrad erreicht und die Konvektion starken Luftauftrieb bewirkt. Kühlt sich die feuchte Luft in den höheren Lagen unter den Tau- bzw. Kondensationspunkt ab entstehen Platzregen. Da im Sommer in Europa Erdoberfläche und Luft am wärmsten sind und somit die meiste Feuchtigkeit transportiert werden kann, finden Starkregenereignisse besonders zu dieser Zeit statt (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008).

Ab welcher Regenmenge, -intensität oder -dauer von einem Starkregenereignis gesprochen wird, ist je nach Fachrichtung unterschiedlich definiert:

Nach Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. (2008) ist ein „Heftiger Starkregen“ ein Ereignis, bei dem mehr als 25 mm pro Stunde bzw. mehr als 35 mm in sechs Stunden Niederschlag fallen und eine Unwetterwarnung ausgegeben wird, entsprechend der Definition durch den DWD. Auch die Versicherungswirtschaft bezieht sich diesbezüglich auf 35 mm in sechs Stunden. Diese Definitionen sind für die Allgemeinheit gültig.

Aus Sicht der Fachleute in der Siedlungswasserwirtschaft sind bei der Definition von Starkregenereignissen auch die örtlichen Verhältnisse zu berücksichtigen. Gemäß DIN EN 752 und dem daraus abgeleiteten DWA Arbeitsblatt A-118 (DWA 2006) wird bei der Bemessung von Kanälen das örtliche Gefährdungspotential von Überflutungen berücksichtigt. Tritt niederschlagsbedingt an einem Standort Wasser aus einem nach dem Regelwerk bemessenen Kanal aus, so gilt dieses Niederschlagsereignis als „seltener Starkregen“. Sobald das Regenwasser über Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze) hinaustritt, spricht man von einem außergewöhnlichen Starkregen (Schmitt 2011).

2.2.2.2. Prognose von Dauer und Intensität der Starkregenereignisse

Die verschiedenen Klimamodelle gehen davon aus, dass Häufigkeit und Intensität der Starkregenereignisse zunehmen werden. Jedoch ist aufgrund des zu kurzen Beobachtungszeitraums und

möglicher anderer Einflüsse, wie z.B. Reliefgestaltung, eine wissenschaftlich fundierte und exakte Prognose nicht möglich. Ferner können durch die klassische punktuelle Niederschlagsmessung nicht alle kleinräumigen Starkregenereignisse während des Beobachtungszeitraums erfasst werden. Bei einer nachträglichen Digitalisierung von analogen Aufzeichnungen des DWD im Beobachtungszeitraum von 1951 - 2000 ergab sich somit auch keine Veränderung der KOSTRA-Daten im Bereich der 15 min und 60 min Regenspenden über Jährlichkeiten (Bartels et al. 2005). Neuere Datenauswertungen (Malitz 2015) der Reihen hoch aufgelöster Niederschläge haben ergeben, dass es Regionen in Deutschland gibt, für die in Planungsentscheidungen höhere Bemessungsniederschläge als bisher Beachtung finden sollten.

Für eine flächendeckende Erfassung des Niederschlags bedarf es radargestützter Bodenniederschlagsmessungen, welche sich jedoch noch in der Entwicklungs- bzw. Optimierungsphase befinden. Hier müssen noch Messstationen eingerichtet bzw. verdichtet werden.

2.2.3. Niederschlagsmessung

Die genaue Erfassung des Niederschlagsgeschehens ist für hydrologische Betrachtungen sowie zur Planung und Beurteilung von wasserwirtschaftlichen Anlagen von grundlegender Bedeutung. Daher ist es erforderlich, insbesondere in Siedlungsgebieten eine ausreichende Anzahl an Niederschlagsmessstationen zur Verfügung zu haben und diese zu überprüfen und auszuwerten. An die Auswahl und Aufstellung von Niederschlagsmessgeräten (s. Abbildung 8) werden technische Anforderungen gestellt (DWA 2011), deren Erfüllung für die Genauigkeit der Ergebnisse maßgebend ist. Gesicherte Niederschlagsdaten bilden die Grundlage für die Auslegung wasserwirtschaftlicher Anlagen.



ABBILDUNG 8: NIEDERSCHLAGSMESSSTATION (TYP: PLUVIO FA. OTT, KEMPTEN)
NACH DEM WÄGE-PRINZIP: (A) AUSSENANSICHT, (B) SAMMELBEHÄLTER, (C)
WÄGEZELLE (FOTOS: METZNER 2015)

Die Daten aus der punktuellen Messung mittels Niederschlagsmessstation gelten erfahrungsgemäß nur für sehr kleine Einzugsgebiete von wenigen Quadratkilometern. Nach Schmitt et al. (2004) können Messungen einer Messstation als repräsentativ für eine Flächengröße von 3 – 5 km² angenommen werden. Nach Quirnbach und Schultz (2002) wird ein Abstand zwischen den einzelnen Messgeräten von < 4 km bzw. mindestens ein Gerät pro 16 km² empfohlen. Im Wesentlichen ist die notwendige Messnetzdicke abhängig von der Art der Nutzung, der Größe und der Topographie des Erfassungsgebietes. Wegen der räumlich begrenzten Aussagekraft von Niederschlagsmessstationen bieten Radarmessungen den Vorteil, den Verlauf eines Niederschlagsgeschehens flächenhaft und online zu erfassen. Nach Pfister et al. (2015) liegt die räumliche Auflösung verschiedener Radarprodukte zwischen 1 und 4 km² und die zeitliche Auflösung bei 5 bis 60 min.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass sowohl für die Prognose als auch die Nachbereitung von Starkregenereignissen eine Kombination aus Radarmessung und Messstationen sinnvoll ist. Für die Eichung von Radarmessungen sind Niederschlagsmessstationen erforderlich. Becker (2014) zeigt am Beispiel der Stadt Hamburg, dass Radarmessungen beim Vergleich mit punktuellen Messstationen in der Prognose von Starkregenereignissen überlegen sein können. Die Aussage geht soweit, dass radarbasierte Niederschlagsanalysen unverzichtbar für starkregenorientierte Auswertungen sind. Im Beispiel wurden von einer Niederschlagsmessstation im Stadtgebiet 2 mm in 5 min aufgezeichnet, während mittels Radarmessung 11,5 mm in 5 min für denselben Standort ermittelt wurden. Die aufgetretenen lokalen Überschwemmungen legen nahe, dass in diesem Fall eine höhere Präzision mit der Radarmessung erreicht wurde (Becker 2014). Der Einsatz von Radardaten bei Emschergenossenschaft und Lippeverband zeigt die zunehmende Bedeutung für die Nachbereitung von Ereignissen auf der Grundlage von Radarniederschlagsinformationen auf (Pfister et al. 2015).

Als Beispiel für eine vorbildliche Gewinnung und Verarbeitung von Messdaten seien hier die Kommunalbetriebe Ingolstadt genannt. Die Stadt Ingolstadt mit rund 132.000 Einwohnern (Stand März 2015) erstreckt sich über ein Stadtgebiet von etwa 133 km². In den Jahren 2013 und 2014 wurden insgesamt sieben repräsentativ über das gesamte Stadtgebiet angeordnete Niederschlagsmessstationen eingerichtet (Abbildung 9).

**K**

Für die Prognose und Nachbereitung von Starkregenereignissen sind in Siedlungsgebieten eine ausreichende Anzahl an Niederschlagsmessstationen in Kombination mit Radarmessungen zu errichten und zu betreiben.

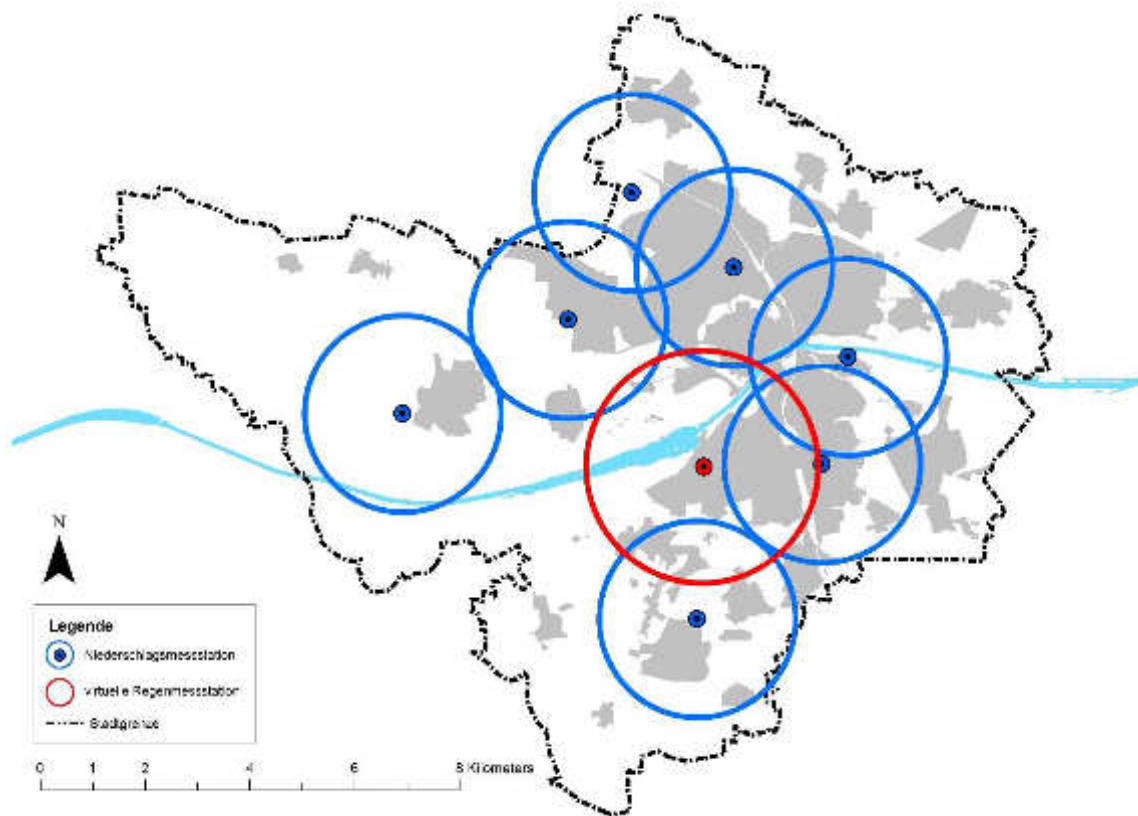


ABBILDUNG 9: STADTGEBIET INGOLSTADT MIT LAGE DES EINZUGSGEBIETES DES KANALNETZES (GRAUE FLÄCHEN), LAGE DER NIEDERSCHLAGSMESSSTATIONEN (DUNKELBLAU) UND LAGE DER VIRTUELLEN RADARMESSSTATION (ROT). (FOTO: INGOLSTÄDTER KOMMUNALBETRIEBE AÖR)

Die Daten werden seit Oktober 2014 in minutengenauer Auflösung geloggt und ausgewertet. Parallel hierzu werden fünf Durchflussmessstationen an repräsentativen Stellen im Kanalnetz betrieben. Durch Prüfalgorithmen werden die Daten kontinuierlich überprüft und validiert. Diese Kombination aus Niederschlags- und Durchflussmessung bietet die Möglichkeit zur ereignisbezogenen Plausibilitätsprüfung der Logdatei während und insbesondere nach einem Niederschlagsereignis. Neben der Verifizierung hydrodynamischer Berechnungen sollen Erfahrungswerte für Zukunftsprognosen zur besseren Anpassung an künftige Starkregenereignisse zur Verfügung gestellt werden.

2.2.4. Abflussbildung

„Unter dem Begriff der Abflussbildung werden die physikalischen Vorgänge zusammengefasst, die die Umwandlung des auf eine Einzugsgebietsfläche gefallenen Niederschlags in den zum Entwässerungssystem gelangenden Abfluss bewirken: Befeuchtung der Oberfläche, Füllung von Mulden, Verdunstung von der Oberfläche und Versickerung in den Boden“ (ATV-DVWK 2004). Hierfür werden die meteorologischen Daten der Niederschläge und der Verdunstung benötigt.

Wegen der Unterschiede im Abflussverhalten unterscheidet man grob zwischen undurchlässig befestigten Flächen (Straßen, Dächer), nicht befestigten Flächen (Grünflächen, Gärten) und durchlässig befestigten Flächen (Pflasterbeläge, Schotterwege). Je höher der Anteil des Niederschlags der versickert, verdunstet oder an der Oberfläche in Mulden oder durch Benetzung verbleibt ist, desto geringer ist der sogenannte abflusswirksame Niederschlag. Da die verschiedenen Flächen, die im kanalisierten Einzugsgebiet liegen deutlich unterschiedlich zum Abfluss beitragen können, ist eine sorgfältige Analyse vor Ort zu Abschätzung notwendig. Gemäß der folgenden Formel

$$h_W = \psi_m * h_N$$

h_W Abflusswirksamer Niederschlag [mm]

h_N Niederschlagshöhe [mm]

ψ_m Mittlerer Abflussbeiwert [-]

kann die Regenmenge pro Fläche bestimmt werden, die dann abgeleitet wird.

Typische Werte für der mittleren Abflussbeiwert ψ_m finden sich in DWA (2007) (s. Anhang 2 – Mittlere Abflussbeiwerte).

Es ergibt sich aus obiger Formel, dass gerade im urbanen Raum mit hohem Versiegelungsgrad und nur geringem Anteil an Garten- und Wiesenflächen der abflusswirksame Niederschlag h_W besonders hoch ist. Auch Möglichkeiten zur Rückhaltung und Verdunstung, beispielsweise durch Mulden oder größere Baum- und Strauchgebiete, sind im urbanen Raum kaum vorhanden. Dennoch sollten alle Möglichkeiten ausgenutzt werden, um eine Reduzierung des Abflusses zu erreichen, z.B. durch Gründächer und Versickerungsanlagen (s. Abbildung 10).

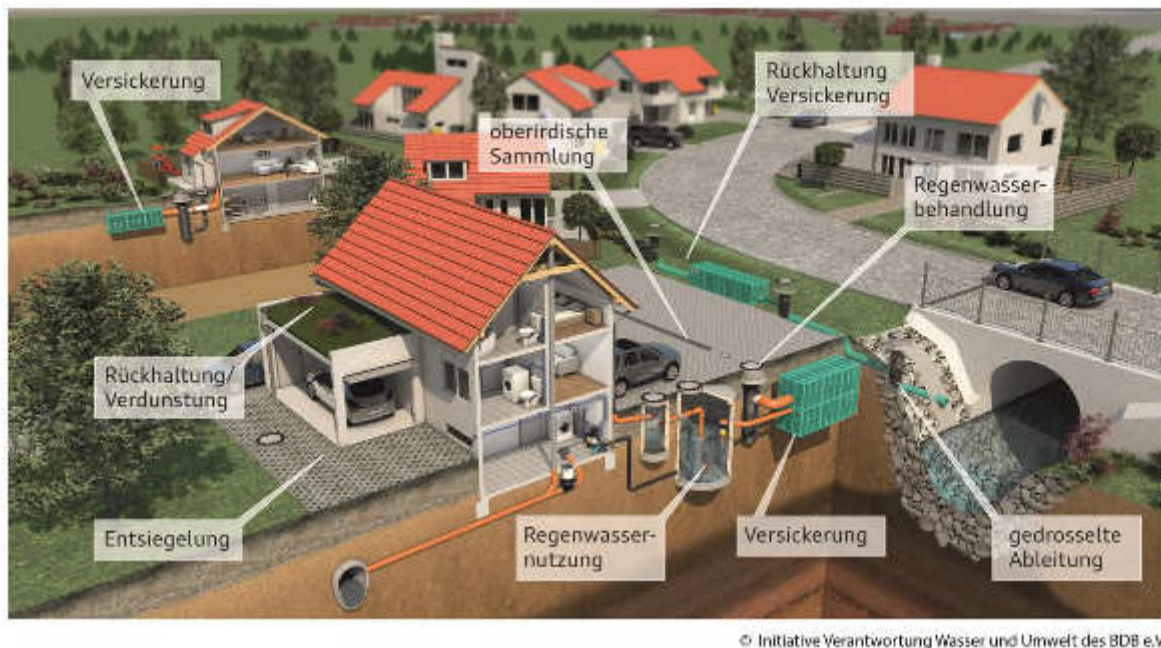
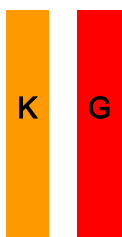


ABBILDUNG 10: NIEDERSCHLAGS-ABFLUSSPROZESS MIT REGENWASSERMANAGEMENT (NACH LFU 2013)



Zur Abflussreduzierung sollen alle Möglichkeiten des Regenwassermanagements mit Rückhalt, Versickerung und Verdunstung genutzt werden.



2.2.5. Abflusskonzentration

Neben dem anfallenden abflusswirksamen Niederschlag (also der Wassermenge die abzuleiten ist) spielt auch die Abflusscharakteristik bei der Einschätzung eines Einzugsgebiets eine wichtige Rolle. „Die Abflusskonzentration beschreibt die Umwandlung des flächenhaft verteilten abflusswirksamen Niederschlags in die am Tiefpunkt der betrachteten Teilfläche entstehende Abflussganglinie. Dabei spielen die Fließvorgänge auf der Oberfläche (Translation) und Verzögerungseffekte (Retention) eine Rolle.“ (ATV-DVWK 2004) Der Einfluss der Oberflächengestaltung ist für undurchlässige befestigte Flächen (z.B. größere Straßen oder Parkplätze) verhältnismäßig einfach und detailliert bewertbar. Auf diesen Flächen beeinflussen nur wenige Parameter den Abflussvorgang. Außerdem liegt dazu eine Vielzahl an Daten vor. Deutlich komplexer gestaltet sich die Berechnung beispielsweise in Wohngebieten mit kleinen Strukturen (Gartenzäune, Bordsteine). Die Fließwege sind dann nur schwer zu prognostizieren. Die Auswirkungen sind zwar bei kleinen und mittleren Niederschlägen stärker als bei starken und extremen Niederschlägen (Assmann 2012), sollten jedoch immer bei Planungen, die den Schutz von Siedlungen sicherstellen, berücksichtigt werden.

2.3. Siedlungsentwässerung

Die Entwässerung im urbanen Raum (Siedlungsentwässerung) hat die Funktion, mit ausreichend dimensionierten Abwasseranlagen das gesammelte Abwasser so zu entsorgen, dass hygienisch einwandfreie Zustände und ein entsprechender Entwässerungskomfort (Überflutungsvorsorge) bestehen (DWA 2006). Hierfür müssen die Anlagen so geplant, betrieben und unterhalten werden, dass sie den Regeln der Technik entsprechen und die wasserwirtschaftlichen Zielvorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) erfüllen (s. Kap. 8.2.1). Zu den Anlagen der Siedlungsentwässerung gehören

- Abwasserkanäle und -leitungen
- Rückhalte- und Versickerungsanlagen
- Behandlungsanlagen für Regen- und Schmutzwasser.

2.3.1. Abwasserarten

Gemäß DIN 4045 werden verschiedene Arten von Abwasser definiert, welche sich in Menge und Charakteristik unterscheiden.

- Schmutzwasser Q_s : häuslichen, gewerblichen oder industriellen Ursprungs
- Niederschlagswasser Q_r : durch Regen oder Schneeschmelze
- Fremdwasser Q_f : beispielsweise durch Fehllanschlüsse oder Grundwasserinfiltration infolge undichter Kanäle

Die Summe aus Schmutzwasser Q_s und Fremdwasser Q_f bildet den sogenannten Trockenwetterabfluss Q_t . Wird zusätzlich Niederschlagswasser Q_r abgeleitet, so spricht man vom Regen- oder Mischwasserabfluss Q_m (s. Abbildung 11).



ABBILDUNG 11: ABWASSERARTEN (THIMET UND GÜNTHERT 2014)

Die Legaldefinition für Abwasser findet sich in § 54 Abs. 1 WHG:

„Abwasser ist

- das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändertes Wasser und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie
- das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelte abfließende Wasser (Niederschlagswasser).“

Demnach ist Niederschlagswasser als Abwasser definiert, unterliegt damit den Anforderungen des Wasserrechts und wird je nach Entwässerungsverfahren beseitigt.

2.3.2. Entwässerungsverfahren im urbanen Raum

Man unterscheidet zwischen zwei Typen von Entwässerungsverfahren (s. Abbildung 12). Beim Mischverfahren werden Schmutz- und Niederschlagswasser gemeinsam gesammelt und abgeleitet, während beim Trennverfahren die beiden Abwasserströme separat abgeleitet werden. Für beide Verfahren gibt es zudem verschiedene Modifikationen. Bei beiden Verfahren soll das Schmutzwasser zur Abwasserreinigung abgeleitet werden. Das anfallende und nicht verunreinigte Niederschlagswasser von befestigten Flächen soll versickert werden, soweit dies technisch und wasserwirtschaftlich umsetzbar ist.

Die Wahl des Entwässerungsverfahrens ergibt sich aus den wasserwirtschaftlichen Vorgaben (WHG) und den örtlichen Verhältnissen, zusammenfassend in der DIN EN 752 dargestellt. Einflussfaktoren sind z.B. die Nähe zum Vorfluter, dessen Belastbarkeit, die zu erwartenden Schmutzfrachten des Niederschlagswassers, die Versickerungsfähigkeit des Untergrundes, der Grundwasserstand sowie die Tiefenlage des Kanals.



Niederschlagswasser soll, soweit dies technisch und wasserwirtschaftlich möglich ist, versickert werden.

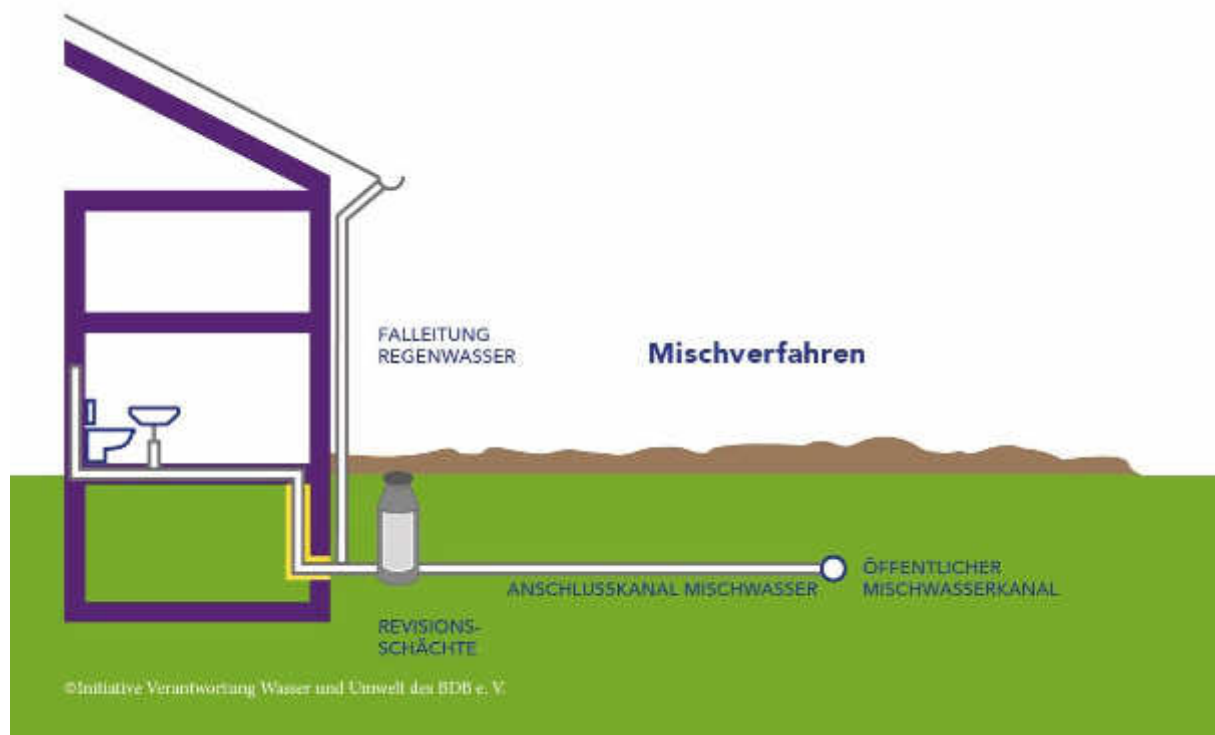
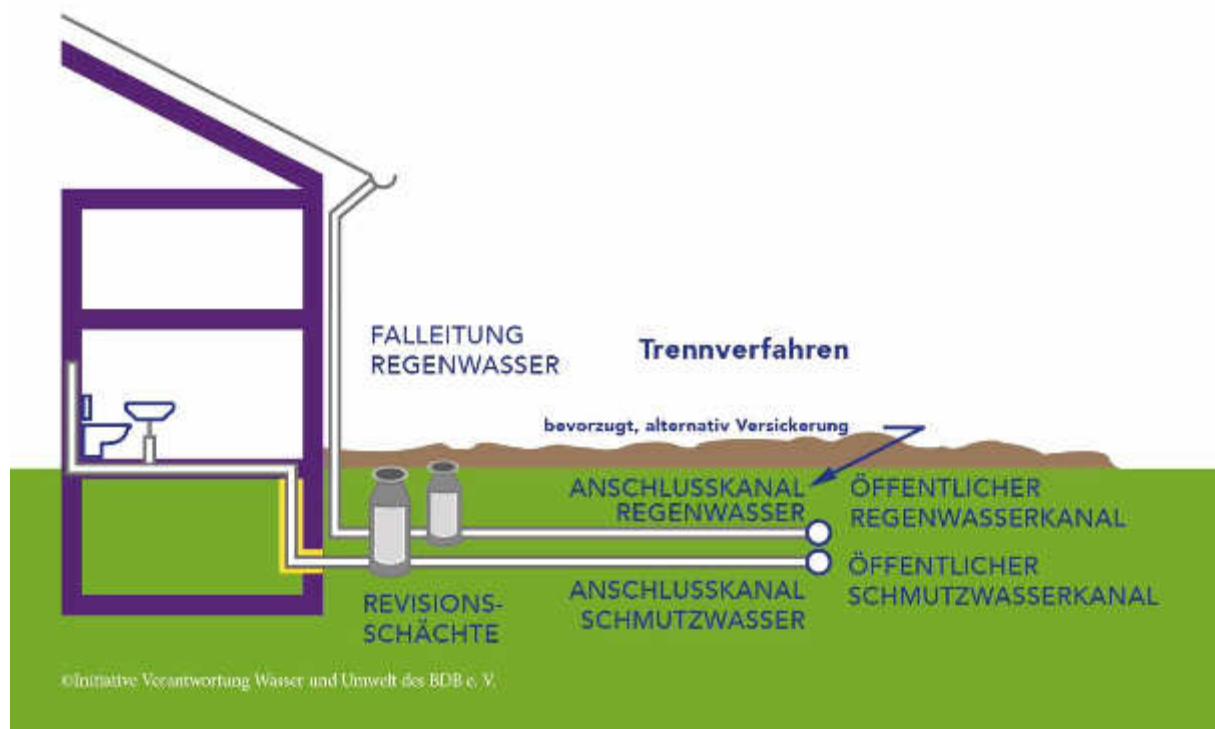


ABBILDUNG 12: ENTWÄSSERUNGSVERFAHREN (THIMET UND GÜNTHERT 2014)

2.3.3. Belastungsbildung - Gesamtniederschlag

Das DWA Arbeitsblatt A 531 gibt Handlungsempfehlungen, in welcher Art und Umfang die Regendaten für eine Auswertung beschaffen sein müssen (DWA 2012). Den Berechnungen zugrunde liegen Wiederkehrhäufigkeiten von Regenereignissen (s. Anhang 3 - Bemessungsregenhäufigkeiten).

Hier zeigen sich die Herausforderungen bei der Ableitung von klimabedingten Starkregenereignissen. Zum einen ist die Prognose der Regendaten mit den meist nicht ausreichend vorliegenden Daten bereits schwierig, insbesondere von Starkregen für einen Planungszeitraum von 50 - 100 Jahren. Zum anderen handelt es sich bei urbanen Sturzfluten um Regenereignisse, die mit sehr hohen Intensitäten in kurzer Zeit örtlich sehr begrenzt auftreten. Regenmessungen stellen lediglich punktuelle Messungen dar. Besonders starke Regenereignisse mit geringer Ausdehnung in der Fläche sind damit nur schwer zu erfassen und zu prognostizieren. Die Kommunen müssen daher frühzeitig, soweit noch nicht geschehen, ein ausreichendes Niederschlagsmessnetz errichten und betreiben (s. Kap. 2.2.3).

2.3.4. Abflussgeschehen im Kanalnetz

Unter den verschiedenen Belastungszuständen im Kanalnetz (Trockenwetterabfluss, Mischwasserabfluss, Starkregen) können verschiedene Zustände im Kanal auftreten, die im Folgenden definiert werden. In den nachfolgenden Abbildungen sind die jeweiligen Wasserspiegel den Fachbegriffen zugeordnet, die für die Bemessung und Nachweise von Bedeutung sind.

2.3.4.1. Einstau

Beim Einstau ist das Rohr voll gefüllt. Es tritt noch keine Überlastung auf (Abbildung 13). Dieser Zustand tritt bei normalen Betriebsbedingungen auf und wird der Bemessung zugrunde gelegt.

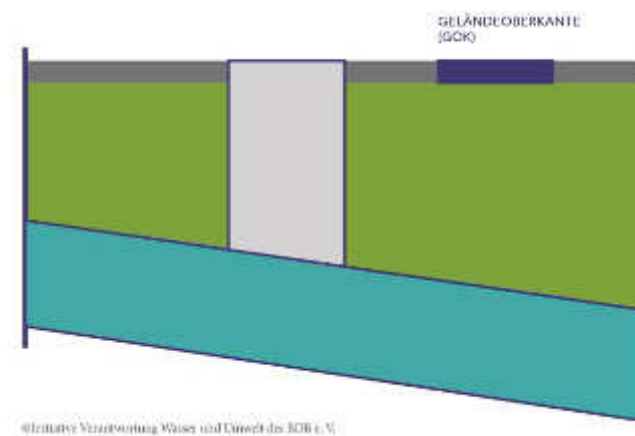


ABBILDUNG 13: EINSTAU (NACH SCHMITT 1996)

2.3.4.2. Überlastung

Bei einer Überlastung liegt der Wasserstand über dem Rohrscheitel (Abbildung 14). Dieser Zustand tritt bei Mischwasserabfluss während oder nach einem Regenereignis auf. Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser fließen dann in einem Freispiegelsystem oder in einer Kanalisation unter Druck ab, es gelangt aber kein Abwasser an die Oberfläche und verursacht somit keine Schäden (DIN EN 752). Zuleitungen können eingestaut werden.

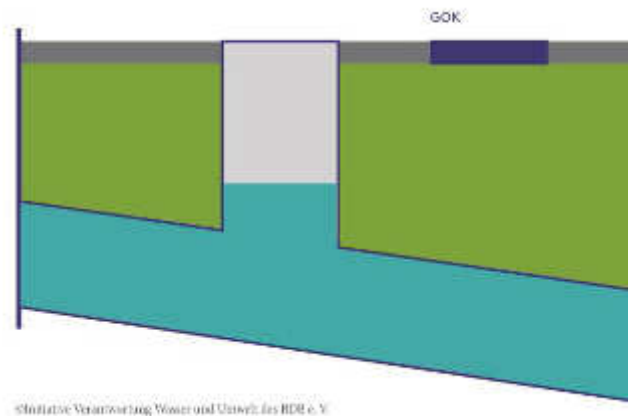


ABBILDUNG 14: ÜBERLASTUNG (NACH SCHMITT 1996)

2.3.4.3. Überstau

Als Überstau wird definiert: „Belastungszustand der Kanalisation bei dem der Wasserstand ein definiertes Bezugsniveau überschreitet“ (DWA 2006b) (Abbildung 15).

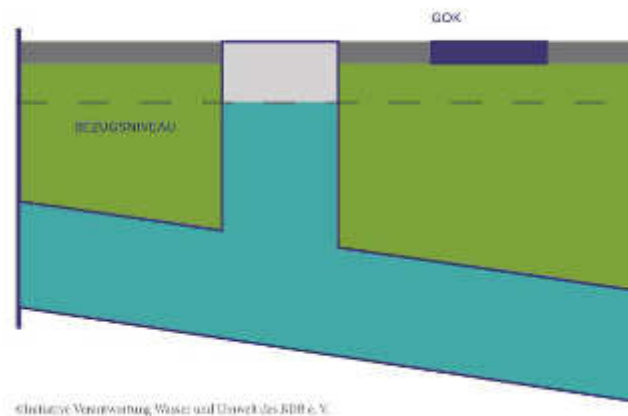


ABBILDUNG 15: ÜBERSTAU (NACH SCHMITT 1996)

Häufig wird die Geländeoberkante als Bezugsniveau definiert. Das Bezugsniveau wird als Rückstauenebene bezeichnet. Bis zu diesem Niveau müssen die Hausentwässerungsanlagen so ausgelegt werden, dass das Abwasser schadlos in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden

kann bzw. nicht in die Hausentwässerungsanlage eindringen kann. Dazu werden, wenn es im freien Gefälle nicht möglich ist, entweder Rückstauklappen oder Hebeanlagen in die Grundstücksentwässerungsanlage eingebaut. Dieser Zustand tritt für Mischwasser- oder Regenwasserabfluss bei selteneren, stärkeren Regenereignissen auf.

G

Hausentwässerungsanlagen müssen so ausgelegt werden, dass Abwasser bis zur Rückstauenebene schadlos in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden kann, bzw. nicht in die Hausentwässerungsanlage eindringen kann.

2.3.4.4. Überflutung

Als Überflutung wird definiert: „Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eintreten können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen“ (DIN EN 752) (Abbildung 16).

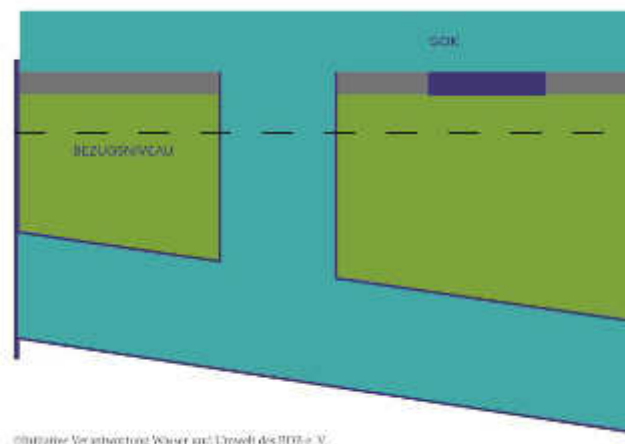


ABBILDUNG 16: ÜBERFLUTUNG (NACH SCHMITT 1996)

Nach DWA A-118 (DWA 2006) gilt in der deutschen Entwässerungspraxis außerdem, dass mit einer Überflutung auftretende Schädigungen bzw. Funktionsstörungen in Verbindung gebracht werden, die entweder durch Wasseraustritt oder nicht möglichen Wassereintritt in das Entwässerungssystem infolge eines Überstaus verursacht werden. Dieser Zustand tritt bei sehr seltenen, extremen Regenereignissen ein und ist für den Überflutungsnachweis zugrunde zu legen.

2.3.5. Dimensionierung und Nachweis von Entwässerungssystemen

2.3.5.1. Bemessung von Kanalnetzen

Da die Kanalisation typischerweise eine Lebensdauer von 50 - 80 Jahren hat, müssen die Planungsgrundlagen für diesen Zeitraum prognostiziert werden. Die Berechnungen finden in der Regel im Rahmen einer Generalentwässerungsplanung auf der Grundlage des DWA Arbeitsblattes A 118 statt (DWA 2006).

Der Berechnungsablauf erfolgt in vier Schritten, von der Ermittlung des Oberflächenabflusses bis zur Kanalabflussberechnung:

1. Modellierung des Niederschlags
2. Abflussbildung
3. Abflusskonzentration
4. Fließvorgang im Kanalnetz

Die angesetzten Bemessungsregenhäufigkeiten (s. Anhang 3) ergeben für die regionale Niederschlagsreihe und den örtlichen Abflussbeiwert einen Abfluss im Kanal ohne Überlastungen (Abbildung 13). Damit verbleibt für den Betrieb eine Abflussreserve für seltenere Regenereignisse bevor ein Überstau (ABBILDUNG 15) oder eine Überflutung (Abbildung 16) eintritt. Der Ansatz verschiedener Jährlichkeiten für die jeweiligen Orte (ländlich, Stadtzentrum usw.) richtet sich nach dem erforderlichen bzw. gewünschten Schutzniveau.

2.3.5.2. Überflutungsnachweis

Für den Nachweis von bestehenden Entwässerungssystemen müssen verschiedene Belastungszustände des Entwässerungsnetzes (s. Kap. 2.3.4) in Abhängigkeit verschiedener topographischer und hydrologischer Parameter des Einzugsgebiets überprüft werden. Hierfür sind gegenüber der Bemessung des Kanalnetzes deutlich seltenere Regenereignisse mit einer entsprechend höheren Niederschlagsspende anzusetzen. Das bedeutet, dass die nach den Regeln der Technik bemessenen Entwässerungssysteme bei entsprechendem Überflutungsnachweis je nach Ort auch sehr seltene Regenereignisse ohne Überflutung ableiten können. Im Anhang 4 sind die für Überflutungsnachweise anzusetzenden Jährlichkeiten enthalten. Im Vergleich zu Anhang 3 ist zu erkennen, dass für den Nachweis deutlich seltenere Regenereignisse unter Ausnutzung des gesamten Kanalvolumens abgeleitet werden können. Häufig ändert sich nach der Bemessung und der Errichtung des Kanalnetzes die örtliche Bebauung und damit das Abflussgeschehen. Daher ist ein aktueller Überflutungsnachweis erforderlich, der ggf. Sanierungs- und Schutzmaßnahmen zur Folge hat.

K

Überflutungsnachweise für die zu schützenden Gebiete sind für die aktuelle Bebauung und Oberflächengestaltung erforderlich, um gegebenenfalls notwendige Sanierungs- und Schutzmaßnahmen auszuführen.

Gegenüberstellungen verschiedener Berechnungs- und Anwendungsfälle zeigen erhebliche Unterschiede in den Ergebnissen auf (Schaardt 2013). Daher sind hierfür fachkundige, erfahrene Ingenieurbüros zu beauftragen.

2.3.5.3. Anpassung der Kanalisation an veränderte Risiken durch Klimawandel

Wenngleich eine genaue ortspezifische Prognose zukünftiger Starkregenereignisse noch nicht möglich ist, stellt sich dennoch die Frage, wie auf diese Unsicherheiten im Bereich der Kanalnetzdimensionierung reagiert werden kann.

Beispielsweise hat das Bayerische Landesamt für Umwelt hierfür im Merkblatt Nr. 4.4/3 (LfU 2009) folgende Hinweise zusammengefasst. „Es wird empfohlen, die Bemessungsabflüsse nicht pauschal zu erhöhen, sondern bei Bedarf die rechnerisch zulässigen Wiederkehrzeiten von Überflutungen angemessen zu erhöhen.“ Das bedeutet, dass die nach DWA A 118 (DWA 2006) gewählten Häufigkeiten mit der Folge größerer erforderlicher Leitungsquerschnitte herabgesetzt werden können. Im bayerischen Raum würden sich die Bemessungsregenspenden dann in Abhängigkeit von Häufigkeit, Regendauer und Region um 10 - 40 % erhöhen (s. Tabelle 1) und damit auch die für die Bemessung zugrunde liegenden Bemessungsabflüsse.

TABELLE 1: EMPFOHLENE HÄUFIGKEITEN ALS MÖGLICHE VORSORGE FÜR AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2009)

Häufigkeiten nach DWA A-118 (1-mal in „n“ Jahren)	Empfohlene herabgesetzte Häufigkeiten (1-mal in „n“ Jahren)	Erhöhung der Bemessungsregenspenden (nach KOSTRA-DWD 2000)
1 in 1	1 in 2	22 bis 40 %
1 in 2	1 in 3	10 bis 19%
1 in 3	1 in 5	12 bis 21 %
1 in 5	1 in 10	14 bis 23 %
1 in 10	1 in 20	12 bis 19 %

Das Bayerische Landesamt für Umwelt stellte außerdem fest, dass die Entscheidung für oder gegen die Anpassung der Bemessungsregenspenden im Einzelfall entschieden werden soll. „Eine pauschale Überrechnung bestehender Anlagen zur Abschätzung der Folgen von „Katastrophenszenarien“ wird derzeit als nicht notwendig erachtet“ (LfU 2009).

Gründe für eine Überprüfung könnten demnach sein (LfU 2009):

- Vermehrte Beobachtung von Überflutungen in der Vergangenheit
- Es wird festgestellt, dass bereits nach den aktuell geltenden Bemessungsregeln eine Unterdimensionierung vorliegt
- Einzelne Kanalabschnitte sind aus baulichen Gründen zu erneuern
- Neubaugebiete werden an ein bestehendes Kanalnetz angeschlossen
- Der Generalentwässerungsplan für eine Siedlung soll aktualisiert werden

Auf die neuen Bemessungsniederschläge im KOSTRA DWD 2010 im Kapitel 2.2.2.2 wird zudem verwiesen.


K

Zur Anpassung der Kanalisation an veränderte Risiken durch Klimawandel sind die Bemessungsabflüsse bei Bedarf, insbesondere bei vermehrten Überflutungsereignissen, angemessen zu erhöhen.



3. Gefährdungen von Gebäuden

Starkregenereignisse mit extremen Regenintensitäten haben in den vergangenen Jahren vermehrt zu Überflutungen in Siedlungsgebieten geführt. Betroffen waren dabei öffentliche Flächen, Verkehrswege, Unterführungen und besonders auch Gebäude. Neben hohen Sachschäden in und an Gebäuden forderten Überflutungen an Wohngebäuden auch Menschenleben. Daher ist es dringend erforderlich, der Gefährdung von Gebäuden durch Sturzfluten mehr Aufmerksamkeit zu schenken, die Gefährdungspotentiale zu analysieren und Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen. Da Sturzfluten überall auftreten können (s. Kap. 5.1) und diese Ereignisse ohne lange Vorwarnzeit eintreffen, sind Gebäude generell zu überprüfen und bei Bedarf dauerhaft zu sichern und zu schützen. So entstanden durch das Juni-Hochwasser 2013 in Deutschland knapp 85 % der Gebäudeschäden in den vermeintlich ungefährdeten Versicherungszonen 1 und 2 (GDV 2013, S. 27).

Während in hochwassergefährdeten Gebieten strenge Bauvorschriften gelten, sind Gebäude in Gegenden ohne Hochwassergefahr durch Fließgewässer bei plötzlichen Starkregenfällen den Wassermassen schutzlos ausgeliefert (Hansmann 2015, S. 27).

In Abbildung 17 sind die möglichen Gefahrenstellen für Gebäude aufgezeigt. Nachdem Starkregenereignisse häufig mit Sturm und Gewitter einhergehen, besteht unabhängig von der Höhenlage des Gebäudes die Gefahr von Wasserschäden im Dachbereich sowie an Fensteröffnungen. Überlaufende Dachrinnen infolge Überlastung oder mangelhafter Reinigung ergießen große Wassermassen über die Hauswand und dringen durch Fenster- und Türöffnungen ins Haus (s. Abbildung 17).

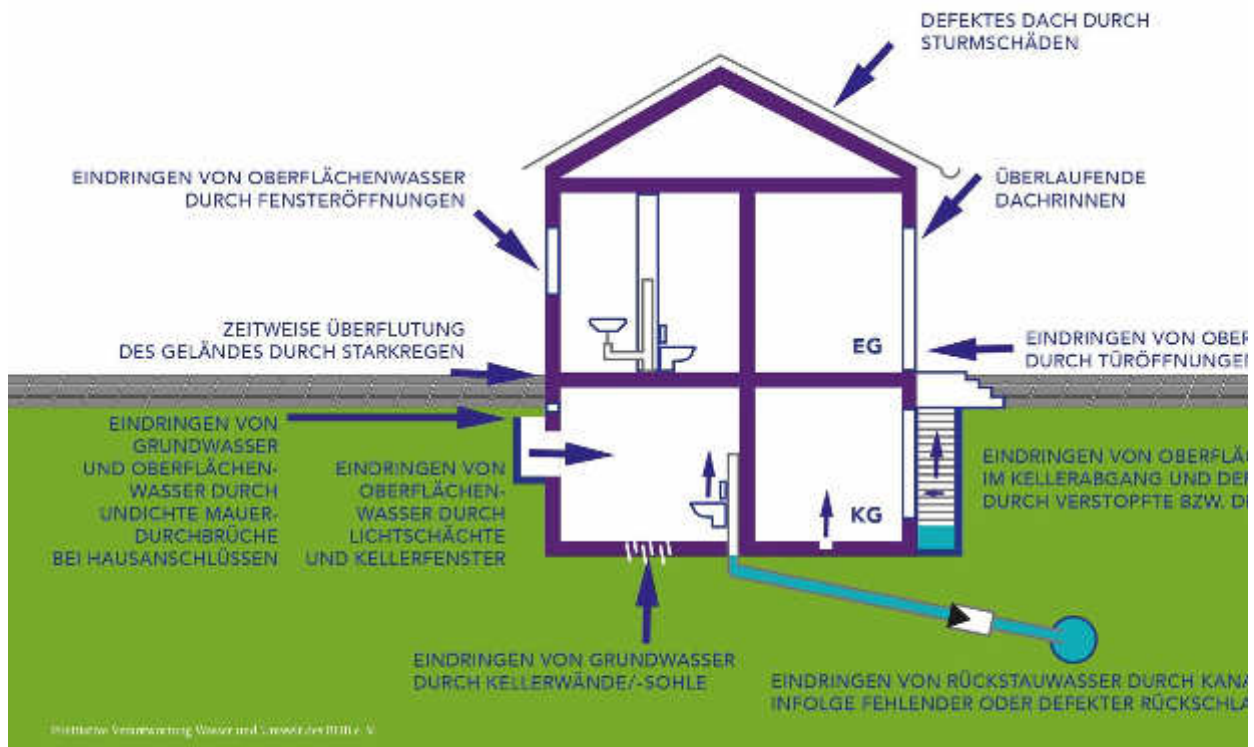


ABBILDUNG 17: MÖGLICHE GEFAHRENSTELLEN FÜR GEBÄUDE

Besonders gefährdet sind alle tiefliegenden Bauteile und Gebäudeöffnungen, außenliegende Kellerabgänge (s. Abbildung 18), Lichtschächte (s. Abbildung 19) von Kellerfenstern sowie Wanddurchbrüche für Leitungszuführungen. Hier können schnell große Mengen Niederschlagswasser aus dem Umfeld hereinfließen und zu erheblichen Schäden im Kellerbereich führen. Nachdem heute auch der Kellerbereich z.T. als wertvoller Wohn- und Nutzraum ausgebaut ist, sind die Auswirkungen einer Überflutung dieser Räume besonders schwerwiegend. Schlafräume sind in diesem stark gefährdeten Bereich zu vermeiden bzw. besonders zu schützen.



ABBILDUNG 18: GEFAHRENSTELLEN AN GEBÄUDEN. KELLEREINGANG (L) UND TIEFGARAGENZUFAHRT (R) (FOTOS: GÜNTHERT 2015)



ABBILDUNG 19: KELLERLICHTSCHACHT (FOTO: MEA WATER MANAGEMENT GMBH)

Längere Starkregen mit hohen Niederschlagsintensitäten von über 100 mm in wenigen Stunden (entsprechend mehr als 100 l/m²) führen schnell zu hohen oberflächigen Abflüssen, großen Einleitungsmengen in die Entwässerungsanlagen und damit zu Überschwemmungen in Tiefpunkten

und Überlastungen bzw. Überflutungen der Kanalisation (s. Kap. 2.3.4). Das anstehende Wasser dringt durch Öffnungen und Undichtigkeiten in das Gebäude ein. Die Überlastungen in der Kanalisation führen zu Rückstau in die Grundstücksentwässerungsanlage und dann bei fehlender oder nicht betriebsbereiter Rückstausicherung zur Überflutung des Kellers mit Abwasser (s. Abbildung 20). Daher muss besonderes Augenmerk auf die Gebäudeentwässerung gelegt werden, um die Rückstausicherheit durch entsprechende Einrichtungen zu gewährleisten. Hierfür können entweder Rückschlagklappen unterschiedlicher Bauart oder Hebeanlagen eingesetzt werden. Beide müssen nach Herstellerangaben regelmäßig gewartet werden.

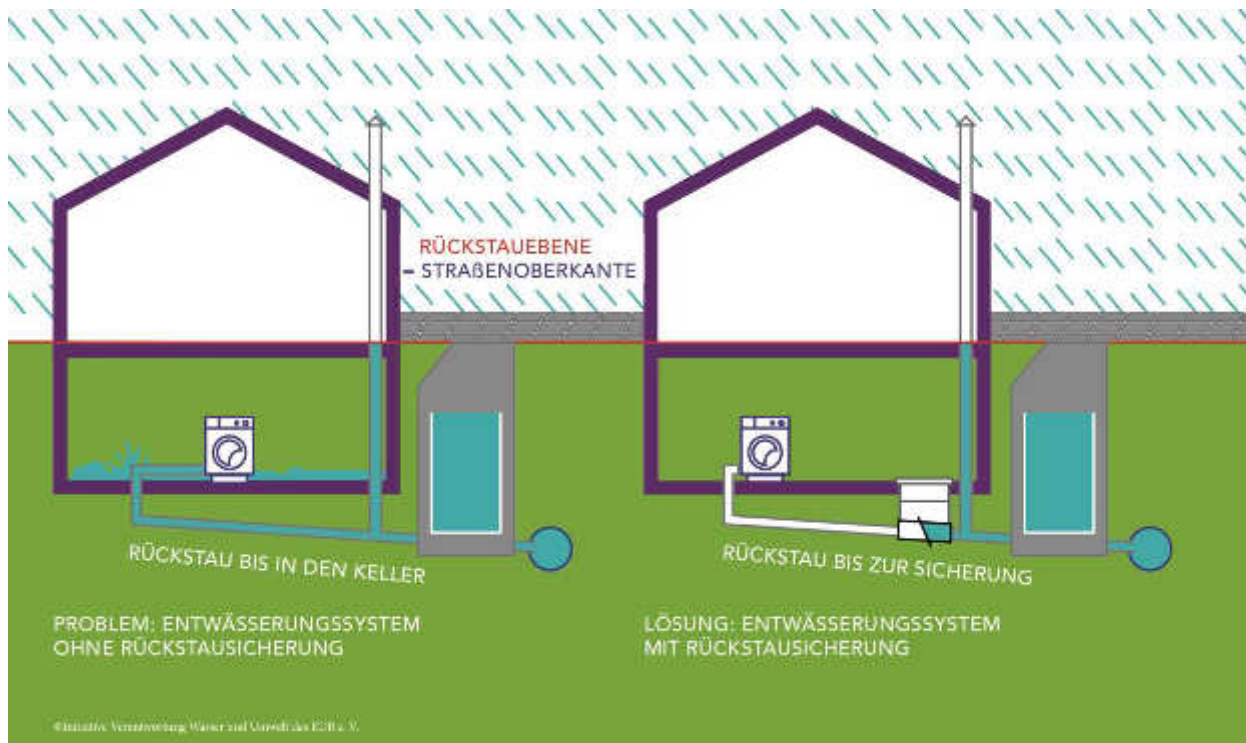


ABBILDUNG 20: HAUSENTWÄSSERUNG OHNE (LINKS) UND MIT (RECHTS) RÜCKSTAUSICHERUNG

Effizienter Hochwasserschutz für Gebäude wird zunehmend als Gemeinschaftsaufgabe der Kommunen, des Staates und der privaten Hausbesitzer angesehen. Gefordert wird die Sensibilisierung der Bürger für eine stärkere Eigenvorsorge zum Schutz vor Überflutung aus Grund- und Oberflächenwasser (Hansmann 2015, S. 27; Ruiz Rodriguez + Zeisler + Blank, GbR 2010)

G

Für alle Gebäude besteht unabhängig von der Lage die Gefahr von Wasserschäden. Alle möglichen Gefahrenstellen müssen daher überprüft werden und Vorsorgemaßnahmen für die gefährdeten Bereiche ergriffen werden. Kellerabgänge, Lichtschächte und Grundstücksentwässerungsanlagen sind dabei besonders zu beachten.

Im DWA Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge sind für die verschiedenen gefährdeten Bereiche Objektschutzmaßnahmen enthalten (DWA 2013), ebenso im Leitfaden von Hamburg Wasser (2012).

4. Gefährdung von öffentlichen Flächen und Einrichtungen

Die Gefährdung, also das Schadensrisiko öffentlicher und privater Flächen durch Starkregenereignisse, ist mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet. Wie bereits in Kap. 2.2.2.2 dargestellt, sind die Prognosen zur Eintrittswahrscheinlichkeit urbaner Sturzfluten mit großen Unsicherheiten behaftet. Außerdem sind die resultierenden Oberflächenabflüsse gerade durch die kleinräumigen urbanen Strukturen nur schwer zu modellieren, wodurch eine Festlegung betroffener Gebiete schwierig aber dennoch erforderlich ist.

4.1. Siedlungsflächen

Die Überflutung von Park- und Grünflächen verursacht deutlich weniger monetären Schaden als die Überflutung von Wohn- oder Gewerbegebieten. Das sich ergebende Risiko als Produkt aus Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit ist i.d.R. geringer. Aus o.g. Unsicherheiten muss sich nach Schmitt (2011) eine methodische Neuorientierung der Siedlungsentwässerung weg von sicherheitsbetonten Bemessungs- und Nachweiskonzepten für die Kanalisation hin zu einer stärker risikobetonen Bewertung des Abfluss- und Überflutungsverhaltens kommunaler Entwässerungssysteme in Zusammenhang mit der darüber liegenden Oberfläche und den daraus abzuleitenden Maßnahmen erfolgen. Es muss geprüft werden, welche Flächen bei einer Überflutung betroffen sind, welche unbedingt frei von Überflutungen gehalten werden müssen und welche überflutet werden können. Letztere können in das Abflussgeschehen einbezogen werden, ohne dass dabei große Schäden angerichtet werden.

K

Es ist eine Überprüfung erforderlich, welche Flächen überflutet werden (Überflutungsnachweis), welche Flächen unbedingt frei von Überflutungen gehalten werden müssen und welche Flächen überflutet werden können und in das Abflussgeschehen mit einbezogen werden können.

4.2. Unterführungen und Tunnelbauwerke

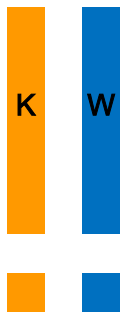
Unterführungen und Tunnelbauwerke sind sowohl topographische als auch entwässerungstechnische Tiefpunkte (Abbildung 21). Dort fließt bei Niederschlägen einerseits oberflächlich Regenwasser ab und andererseits besteht eine erhöhte Gefahr des Austretens von Abwasser aus den Entwässerungseinrichtungen. Dies sind die sensibelsten Punkte in den Siedlungsflächen, insbesondere dann, wenn dort noch andere Zu- und Abfahrten angelegt sind (Abbildung 21).

Gemäß Tabelle 3 bzw. Tabelle 4 (Kap. 2.3.5.1) sind für unterirdische Verkehrsanlagen die Bemessungsregen mit der geringsten Eintrittshäufigkeit anzusetzen bzw. die strengsten Nachweise für die Überflutungshäufigkeit zu führen. Die Bemessung der Entwässerung von Tunnelbauwerken ist nach ZTV-ING Teil 5 (Bundesanstalt für Straßenwesen und Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2012) sowie den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2010) auszuführen. Demnach sind die Entwässerungssysteme des Tunnels und der Rampen möglichst zu trennen. Das auf Tunnel sowie längere Unterführungen zuströmende Oberflächenwasser ist durch leistungsfähige Entwässerungseinrichtungen vor den Bauwerken aufzunehmen und abzuführen (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2005). Der Bemessung der Entwässerungseinrichtungen ist eine umfassende hydraulische Berechnung zugrunde zu legen. Die Bemessung der Gewässerschutzanlagen (Regenrückhaltebecken etc.) am Tiefpunkt des Tunnels muss gemäß der Richtlinie zur Anlage von Straßen in Wasserschutzgebieten (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2002) erfolgen. Zudem sind Hebeeinrichtungen für die Sammeleinrichtungen oder ein entsprechendes Entsorgungskonzept mit Saugwagen vorzusehen. Extreme Starkregenereignisse finden bei der Bemessung kaum Berücksichtigung, daher sind diese Bauwerke als erstes in der Funktion beeinträchtigt (Abbildung 22).

Werden unterirdische Bauwerke während eines Starkregenereignisses geflutet, so führt dies zu einem Funktionsverlust der Infrastruktur. Wenn dabei Hauptverkehrsachsen betroffen sind, können v.a. im innerstädtischen Bereich mit dichter Infrastruktur die indirekten Schäden (z.B. durch Verzögerung von Rettungsfahrzeugen und Abschneiden von Fluchtwegen) die direkten Schäden am Bauwerk selbst bzw. an darin verbliebenen Fahrzeugen übersteigen.



ABBILDUNG 21: UNTERFÜHRUNGSBAUWERK ALS TIEFPUNKT DER ENTWÄSSERUNG
(FOTO: GÜNTHERT 2015)



Für unterirdische Verkehrsanlagen (Unterführungen, Tunnelbauwerke) sind die Bemessungsregen mit der geringsten Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. die strengsten Nachweise für die Überflutungshäufigkeit anzusetzen, da dies die empfindlichsten Verkehrsanlagen sind.



ABBILDUNG 22: ÜBERFLUTETE UNTERFÜHRUNG (FOTO: STADTENTWÄSSERUNG MÜNCHEN)

Des Weiteren ist die Gefahr von Personenschäden bei schnell abfließendem Oberflächenwasser und hohen Wasserständen zu betrachten. Wird anfallendes Regenwasser im Straßenbereich gesammelt, kann es bei ungünstigen Voraussetzungen im Bereich von Rampen durch sehr hohe Fließgeschwindigkeiten zu einem erhöhten Sturzrisiko mit Personenschäden kommen. Bereits bei relativ geringen Wasserständen von unter einem halben Meter besteht bei entsprechend hohen Geschwindigkeiten bereits Sturzgefahr (RESCDAM 2000).

5. Risiken durch urbane Sturzfluten

5.1. Risiko der einzelnen Bundesländer

Starkregen sind zwar regionale kleinräumige Ereignisse, die aber überall auftreten können. Sie sind nicht nur auf die engen Einzugsgebiete und Flusstäler von Gewässern begrenzt, sondern können auch außerhalb – sogar in Hochlagen – zu Schäden führen. Hinzu kommt, dass die Auswirkungen umso größer sind, da Menschen und Objekte nicht darauf vorbereitet sind.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts zu Vorhersage und Management von urbanen Sturzfluten (URBAS - Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008) wurde eine umfangreiche Ereignisdatenbank zu Extremwetterereignissen aufgebaut. Diese

basieren auf Informationen aus Medienberichten und verschiedenen Katastrophenschutzportalen im Internet (s. <http://www.urbanesturzfluten.de/ereignisdb>). Abbildung 23 zeigt die räumliche Verteilung der erfassten Ereignisse sowie die Häufigkeit des Auftretens an einem Ort. Es zeigt sich, dass die dokumentierten Extremwetterereignisse ungleichmäßig über Deutschland verteilt festgestellt werden und die größeren Städte wie Hamburg, Berlin, München, Stuttgart und die dicht besiedelten Bereiche Nordrhein-Westfalens häufiger von Sturzfluten betroffen sind bzw. dort Schäden festgestellt werden. Dies liegt vermutlich auch daran, dass in diesen Bereichen eine detailliertere Auswertung dieser Ereignisse stattfindet und daher mehr Daten in diesen Bereichen zu finden sind. Zum anderen zeigt sich der Einfluss des Reliefs. Es wurde bereits erörtert, dass urbane Sturzfluten aus konvektiven Niederschlägen hervorgehen, welche durch aufsteigende, warm-feuchte Luftmassen entstehen (s. Kapitel 2.2.2.1). Besonders an Rändern von Gebirgen (z.B. im Alpenvorland) führt dies nachweislich zu mehr Starkregenereignissen.

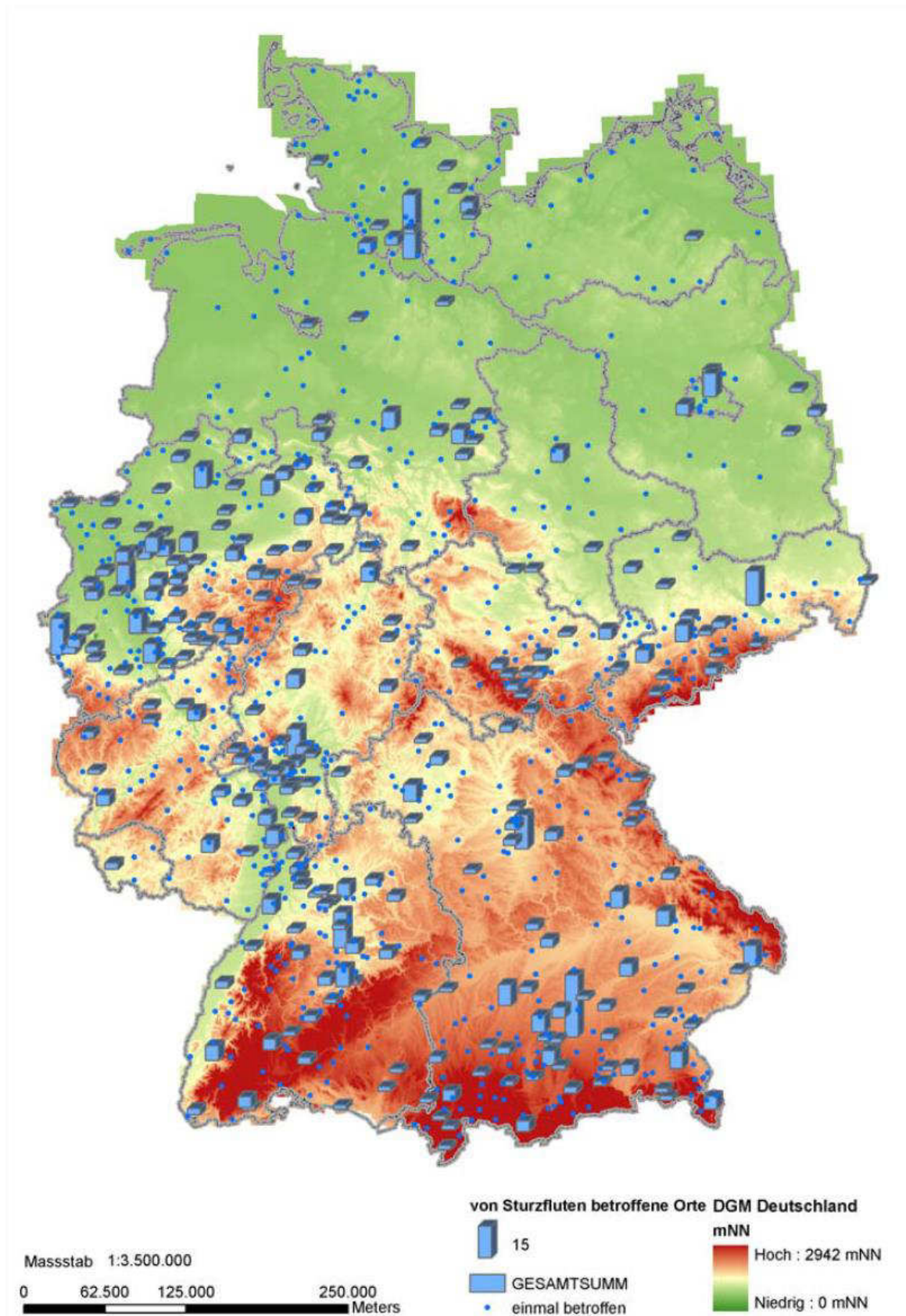


ABBILDUNG 23: ERFASSTE STURZFLUTEREIGNISSE IN URBAS DATENBANK (STAND 31.09.2007) (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH ET AL. 2008)

Abbildung 24 und Abbildung 25 stellen die erfassten Starkregenereignisse in den Bundesländern insgesamt dar. In beiden Fällen sind Unterschiede zwischen den Bundesländern feststellbar. Die verschiedenen Bundesländer sind unterschiedlichen Starkregenrisiken ausgesetzt, wobei die Unterschiede bezogen auf die Siedlungsfläche (Abbildung 25) geringer sind als insgesamt (Abbildung 24). Aus diesen Auswertungen ist festzuhalten, dass Starkregen mit Schadensereignissen zwar überall in Deutschland auftreten können, aber dass manche Gebiete wie Bayern, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen stärker gefährdet sind als die anderen (Abbildung 25).

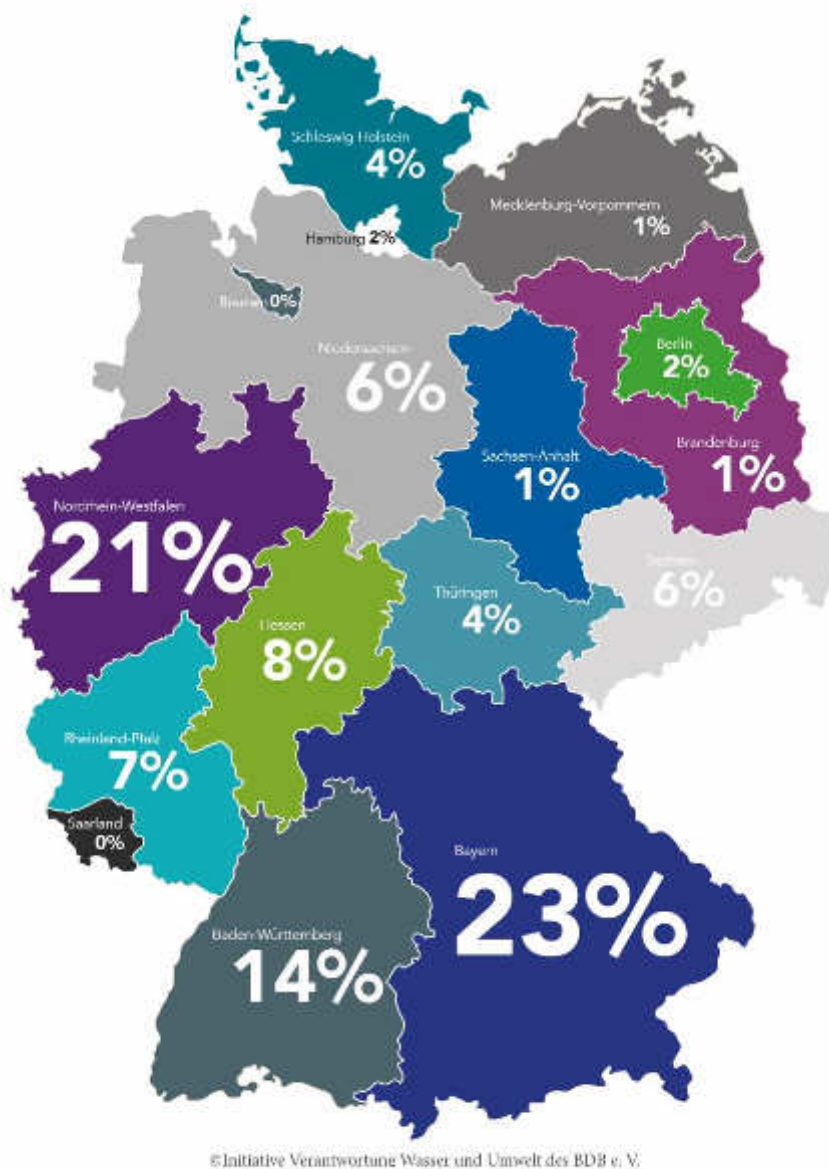
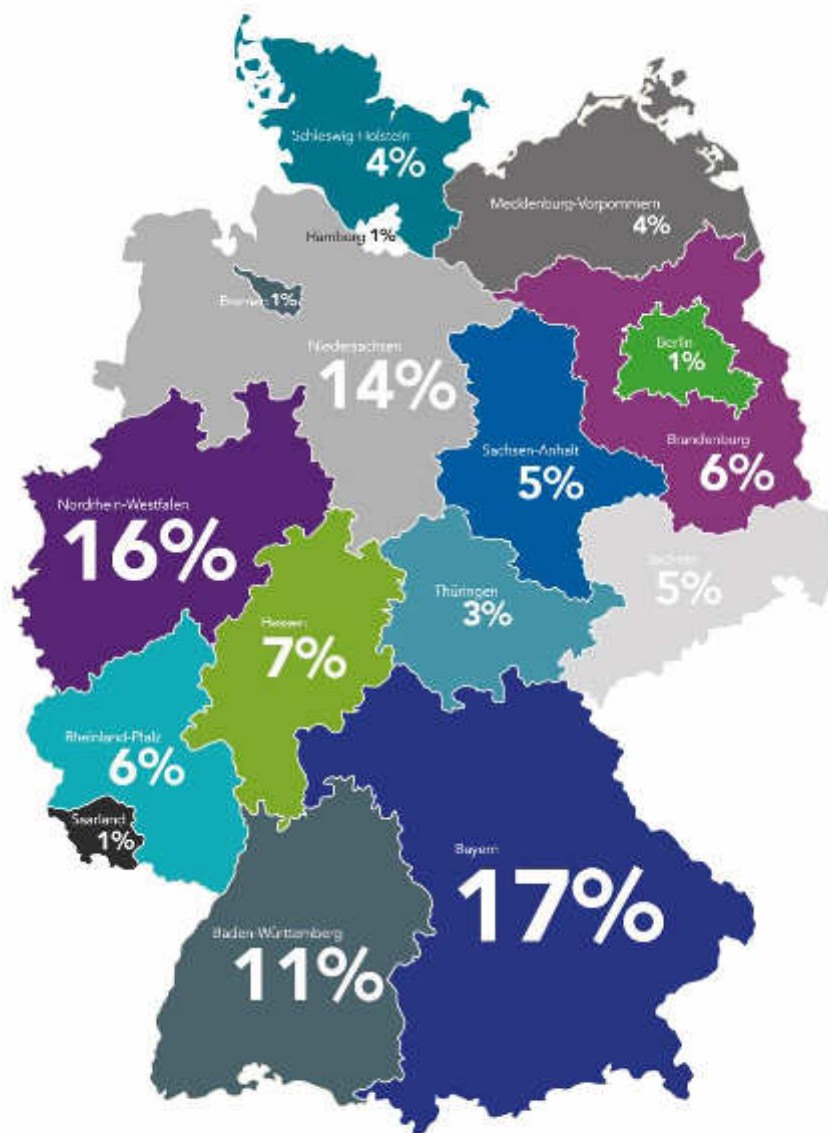


ABBILDUNG 24: VERTEILUNG DER ERFASSTEN STARKREGENEREIGNISSE NACH BUNDESLÄNDERN (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH ET AL. 2008)

Starkregen und Schadensereignisse können überall in Deutschland auftreten, wobei Bayern, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen stärker gefährdet sind als die anderen Bundesländer.



©Initiative Verantwortung Wasser und Umwelt des BDB e. V.

ABBILDUNG 25: VERTEILUNG DER ERFASSTEN STARKREGENEREIGNISSE BEZOGEN AUF DEN SIEDLUNGSFLÄCHENANTEIL DER EINZELNEN BUNDESLÄNDER (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH ET AL. 2008)

5.2. Schadenskategorien und Schadensumfang

Auch Auswirkungen auf einzelne Schadenskategorien können der URBAS Datenbank (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008) entnommen werden. Für die gut dokumentiert vorliegenden Daten konnte eine differenziertere Schadensmeldung nach Schadenstyp und -umfang erstellt werden. Zugrunde liegen dabei 206 gut dokumentierte Ereignisse der Kategorie „Sturzflut“, „Starkregen“ oder „Gewitter“ aus den Jahren 1977 bis 2007.

Am häufigsten von diesen Niederschlagsereignissen betroffen waren dabei nach Abbildung 26 die Kategorien „Gebäude“, „Infrastruktur“ und „Verkehr“. Es wurden bei diesen 206 Ereignissen jedoch auch insgesamt 138 Meldungen zu Personenschäden verzeichnet.

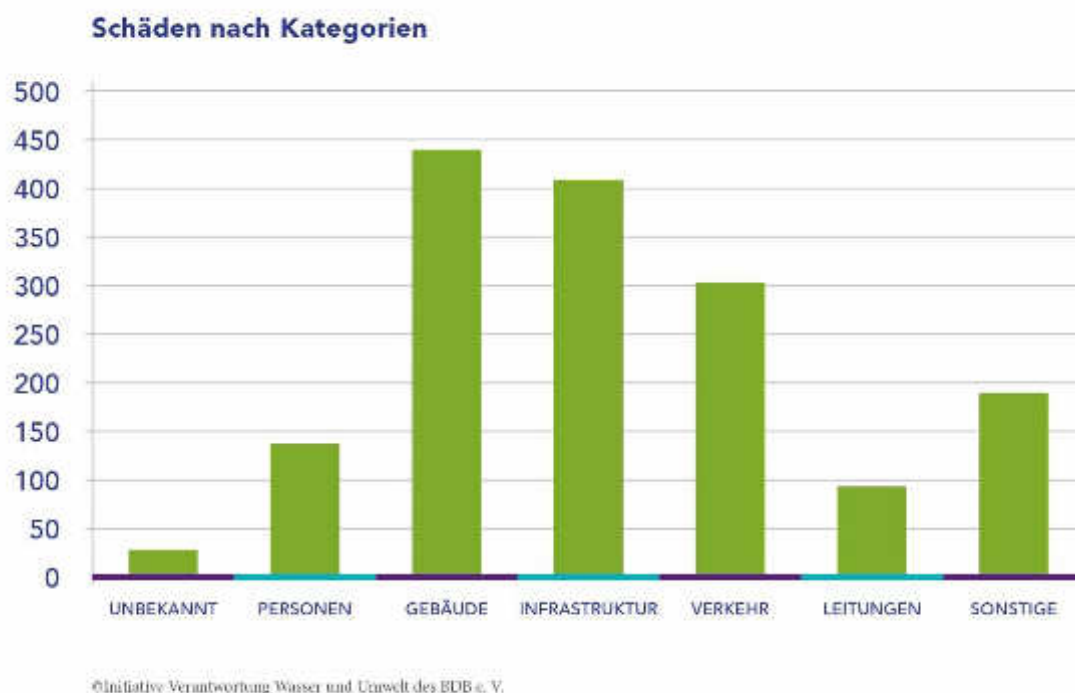


ABBILDUNG 26: HÄUFIGKEIT DER BETROFFENEN SCHADENSKATEGORIEN (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH ET AL. 2008)

In der Kategorie „Gebäude“ (s. Abbildung 27), stellen die überfluteten Keller mit insgesamt 134 Meldungen von 206 Ereignissen die häufigste Schadenkategorie dar, gefolgt von beschädigten Häusern und überfluteten Tiefgaragen (s. Kap. 3). Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Meldungen auf mehrere Orte beziehen können, d.h. in Wirklichkeit ist die Anzahl der einzelnen Schäden deutlich höher. Insgesamt kann im Bereich der Gebäude festgestellt werden, dass dort vorwiegend privater Besitz betroffen ist. Daher ist eine Gefährdungsanalyse (s. Kap. 3) mit anschließender Umsetzung von Maßnahmen (s. Kap. 6) dringend überall erforderlich.

Am häufigsten von Starkregenereignissen sind Gebäude, Infrastruktur und Verkehr betroffen. Die häufigsten Schäden waren überflutete Keller, beschädigte Häuser, überflutete Tiefgaragen sowie Störungen bei den Verkehrswegen.

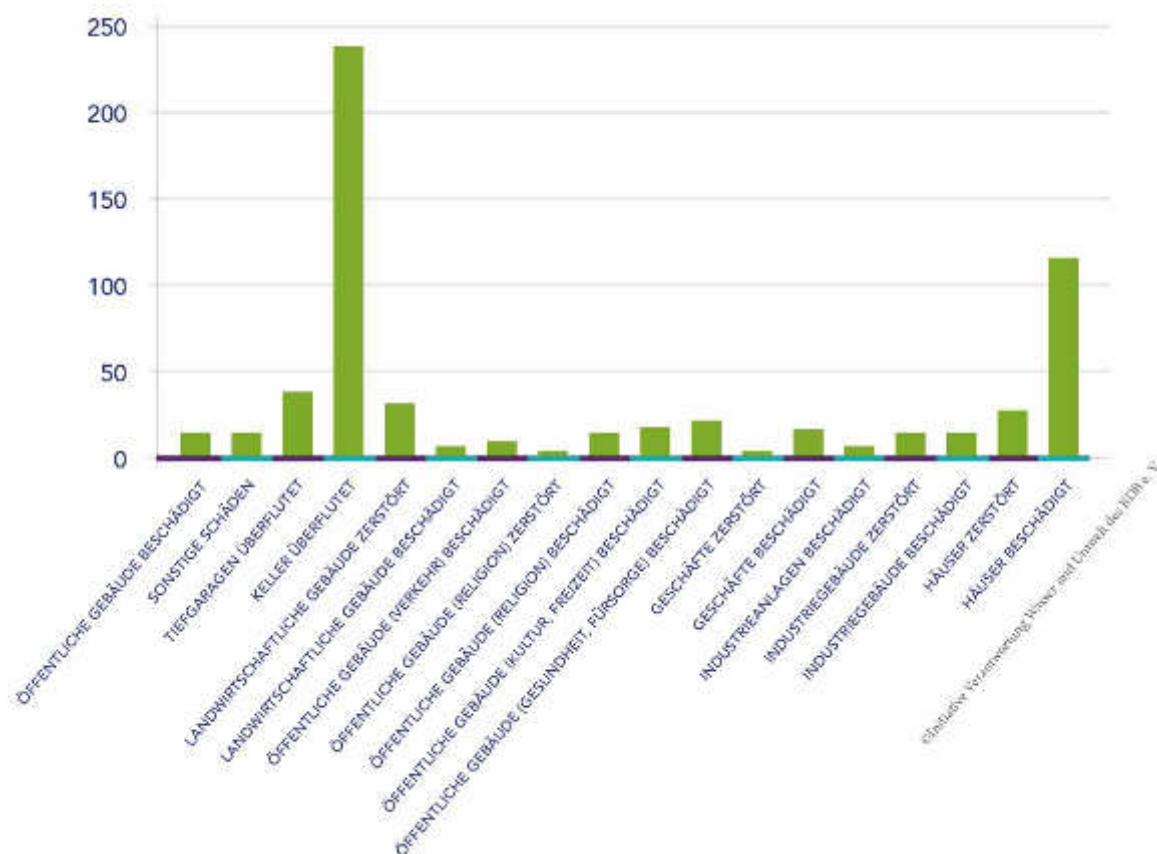


ABBILDUNG 27: SCHADENMELDUNGEN UND SCHADENSUMFANG DER KATEGORIE „GEBÄUDE“ (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH ET AL. 2008)

In der Kategorie „Infrastruktur“ sind im Wesentlichen öffentliche Objekte aufgeführt. Dabei wurden neben Schäden im Landwirtschafts- und Forstbereich vor allem kurzzeitige Störungen bei den Verkehrswegen dokumentiert. Hauptsächlich wurden Straßen, Unterführungen und Schienen überflutet. Nur in vier Fällen wurde eine Straße und nur in einem Fall wurden Schienen zerstört. Sturzfluten haben bei der öffentlichen Infrastruktur daher seltener dauerhafte Schäden zur Folge. Durch Überflutungen von Straßen, Unterführungen und Schienen kann es aber zu erheblichen Folgewirkungen kommen:

- Direkte Gefährdung der Verkehrsteilnehmer
- Verzögerung von Rettungseinsätzen
- Hoher Versiegelungsgrad führt zu großen Mengen an Oberflächenabfluss und Schäden in der Umgebung

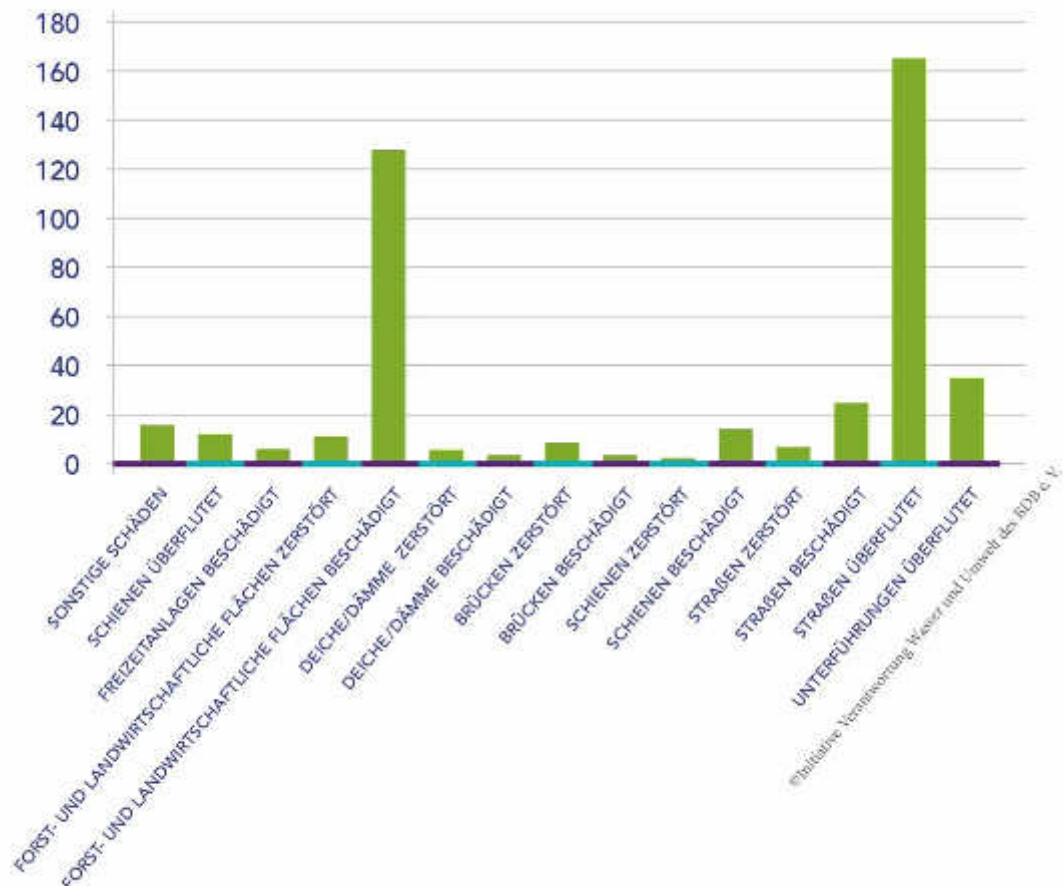


ABBILDUNG 28: SCHADENSMELDUNGEN UND SCHADENSUMFANG DER KATEGORIE "INFRASTRUKTUR" (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH ET AL. 2008)

Im Rahmen des URBAS Projekts wurde außerdem die Entwicklung der Schadenssummen pro Jahr ausgewertet. Hierbei wurde zwar eine Zunahme der Schadenssumme festgestellt, jedoch auch darauf hingewiesen, dass die Dokumentation vor allem kleinerer Schadenssummen unter 1 Mio. € in früheren Jahren noch nicht so ausführlich durchgeführt wurde (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al. 2008). Daher zeigt Abbildung 29 zwar eine Tendenz auf, die absoluten Werte sind jedoch sicher mit Fehlern behaftet.

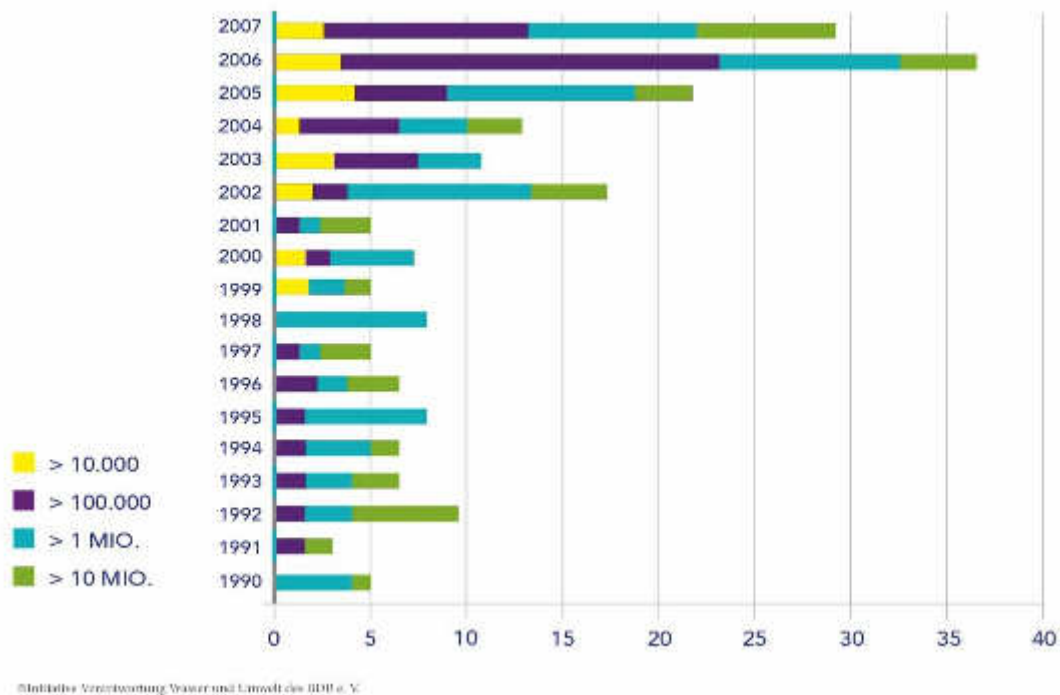


ABBILDUNG 29: ERHEBUNG DER SCHADENSSUMMEN 1990 BIS 2005 (HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH ET AL. 2008)

Leider gibt es bisher keine Fortschreibung dieser Daten. Dennoch ist davon auszugehen, dass sich der aufgezeigte Trend infolge der zunehmenden Starkregenereignisse und der steigenden Vermögenswerte fortsetzen wird. Dies zeigen z.B. auch Erhebungen der Versicherungskammer Bayern mit knapp 4.000 hochwasserbedingten Schadensmeldungen im Sommer 2014. Hierbei entfielen 90 % der Flutschäden auf Gegenden mit niedrigem Risiko. Auch die Münchner Rückversicherung hat eine Zunahme der Intensität von Starkregen in Bayern von bis zu 40 % ermittelt.

Obwohl in der aktuellen Fördermaßnahme INIS des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (<https://www.bmbf.de/>) in den Verbundvorhaben SAMUWA und KURAS diese Thematik aufgegriffen wird, ist eine umfassende Fortschreibung der o.g. Daten derzeit nicht geplant, wäre aber als Grundlage für weitere Maßnahmen dringend erforderlich.

W

Wegen der Zunahme der Schadenssummen infolge von Starkregenereignissen wird eine umfassende Fortschreibung der Daten zu Schadenskategorien und Starkregenereignissen als Grundlage für weitere Maßnahmen dringend empfohlen.

6. Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen

6.1. Integrale Überflutungsvorsorge

Um einerseits die Wetterbedingungen zu berücksichtigen und andererseits auch die veränderten Rahmenbedingungen im urbanen Raum mit zunehmender Befestigung der Oberfläche, steigenden Vermögenswerten der Gebäude und begrenzter hydraulischer Kapazität der Entwässerungseinrichtungen einzubeziehen, ist eine integrale Überflutungsvorsorge erforderlich (Abbildung 30). Im Vordergrund der Schutzziele stehen dabei der Mensch und seine Gebäude. Hierfür ist eine Risikobewertung erforderlich, die bereits in der Planungsphase (Stadt- und Bauleitplanung) erfolgen muss. Hydrologische Messdaten (Niederschlags- und Abflussmessdaten) über einen ausreichenden Zeitraum sind Voraussetzung für eine Bewertung und Planungsgrundlage. Hierbei sind Wasserwirtschafts- und Umweltbehörden ein wichtiger Partner und Berater. Für eine Umsetzung und Sicherstellung der erforderlichen Maßnahmen einer integralen Überflutungsvorsorge ist jedoch sowohl ein ausreichend dimensioniertes und aktuell überprüftes Entwässerungssystem (s. Kap. 2.3.5) erforderlich, als auch eine mögliche Einbeziehung von Verkehrs- und anderen Flächen zu prüfen. Zusätzlich sollte jedes Gebäude entsprechend seiner Gefährdungsanalyse bedarfsweise mit Schutzvorkehrungen versehen werden (DWA 2013; Brenner et al. 2013).

Für einen möglichen Schadensfall infolge unvorhersehbarer extremer Regenereignisse wird sowohl ein ausreichender Versicherungsschutz empfohlen, als auch ein gut organisierter Katastrophenschutz für Notfälle. Alle Maßnahmen und Aktivitäten müssen von einer guten Öffentlichkeitsarbeit begleitet werden. Alle Betroffenen sind einzubeziehen, zu informieren und zu beraten. Die Öffentlichkeitsarbeit sowie die Koordination aller Aktionen einer integralen Überflutungsvorsorge müssen in kommunaler Hand liegen und durch Fachbehörden und andere Fachleute unterstützend beraten werden. Hierzu ist es erforderlich, dass alle Kommunen ihre Entwässerungssysteme regelmäßigen Prüfungen unterziehen, um die Grundstückseigentümer informieren zu können.

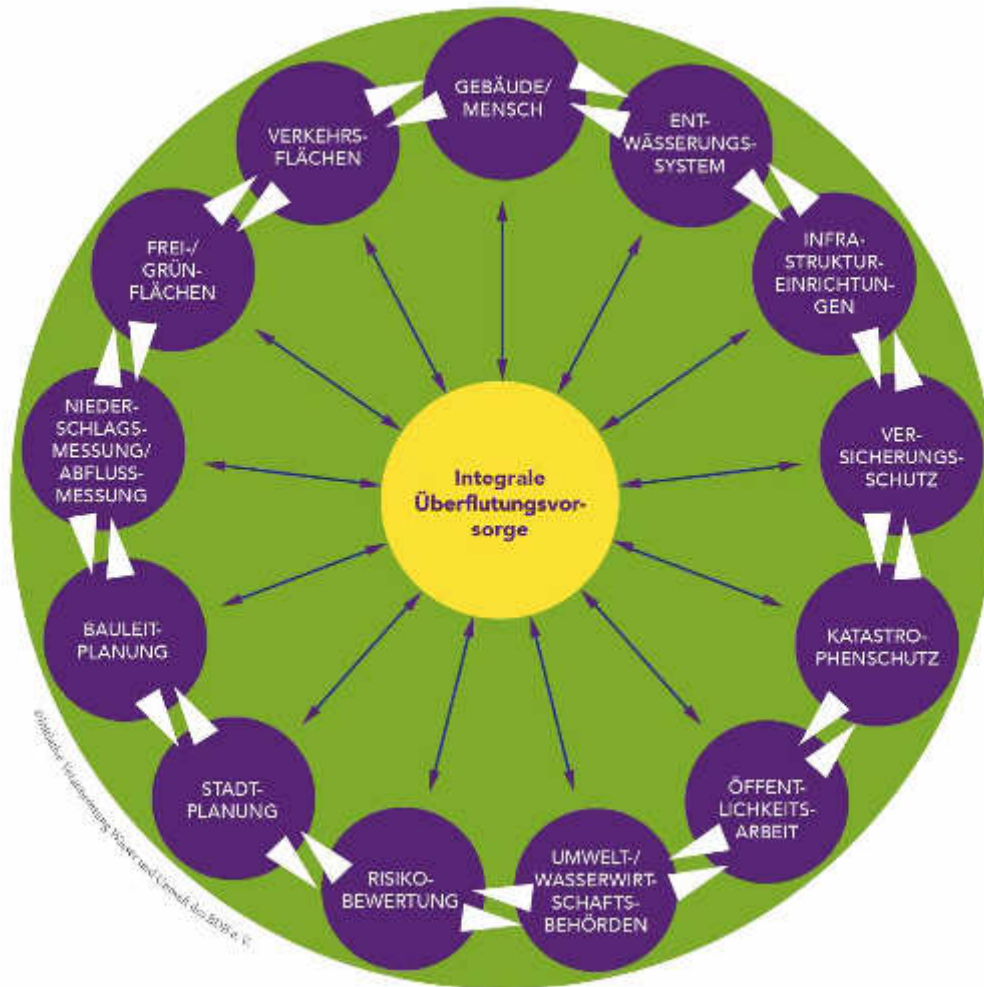


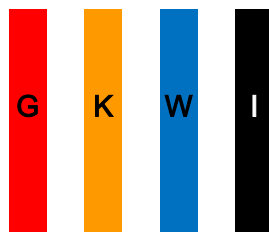
ABBILDUNG 30: INTEGRALE ÜBERFLUTUNGSVORSORGE

Zur Bewertung von Überflutungsrisiken hat die DWA das Merkblatt M-119 „Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge – Analyse von Überflutungsgefährdungen und des Schadenspotentials zur Bewertung von Überflutungsrisiken“ entworfen (Schmitt 2015). Hierbei werden die vier wesentlichen Schritte zur Analyse entsprechend Abbildung 31 erläutert und Anleitungen zur Risikokommunikation als gute Hilfestellung für die Kommunen gegeben (s. auch KA 2/2015 Nr. 4).



ABBILDUNG 31 STUFENKONZEPT ZUR ERSTELLUNG EINER URBANEN GEFAHRENKARTE (DR. PECHER AG 2014)

„Vor dem Hintergrund häufiger werdender Starkregenereignisse (s. Kap.2.2.2.2) sind Stadtentwässerung und Stadtplanung gemeinsam gefordert, das oberflächlich abfließende Wasser als strukturell-formgebende Kraft anzuerkennen und die räumliche Organisation der Stadt im Zusammenspiel zwischen Oberflächenrelief, ober- und unterirdischen Fließwegen und daran angepassten Raumnutzungen zu optimieren“ (Stokman et al. 2015, S. 122).



Die Analyse von Überflutungsgefährdungen und der Schadenspotentiale mit einer Risikokommunikation ist wichtiger Bestandteil einer integralen Überflutungsvorsorge.



6.2. Überflutungsschutz durch multifunktionale Flächennutzung

Außergewöhnliche lokale Starkregenereignisse, die sich sowohl räumlich als auch zeitlich schwierig vorhersagen lassen, zwingen Kommunen zum flexiblen Planen und Handeln unter großen Unsicherheiten (Benden 2015). Die Kanalisation dient dabei als Hauptwerkzeug der Siedlungsentwässerung. Die richtige Dimensionierung und Steuerung des Kanalnetzes, z.B. über die gezielte Befüllung von Regenrückhaltebecken, bildet hierfür die Grundlage. Aber auch die Art der Einlaufgestaltung (Abbildung 32) und deren regelmäßige Reinigung ist für die schnelle Ableitung von Oberflächenwasser notwendig.



ABBILDUNG 32: VERSCHIEDENE EINLAUFSYSTEME (FOTOS: FUNKE KUNSTSTOFFE GMBH)

Aufgrund ihrer Auslegung für die nächsten 50 - 100 Jahre stellt die Kanalisation an sich jedoch kein flexibles System dar und es bedarf für die Anpassungsmaßnahmen an zukünftige Starkregenereignisse zusätzlicher Maßnahmen. Hierbei spielt ein integrales Regenwassermanagement eine zunehmende Rolle. Gründächer, Rückhalte- und Versickerungsanlagen speichern und verzögern den Abfluss und unterstützen bzw. entlasten die Entwässerungssysteme. Ziel ist dabei eine möglichst naturnahe Regenwasserbewirtschaftung und eine Förderung von Verdunstung, Versickerung und Speicherung des Niederschlags (Stokman et al. 2015). Regenwasserbewirtschaftung muss dann wirksam werden, wenn das natürliche Rückhaltevermögen von Niederschlagswasser an der Oberfläche (s. Kap. 2.2.4 und Kap. 2.2.5) überschritten wird. So haben z.B. Gründächer (s. Abbildung 33) ein hohes Aufnahmevermögen für Niederschläge, insbesondere für unwetterartige Niederschläge nach langen Hitzeperioden. Bei optimalem Gründachaufbau werden nur 1% des 15 minütigen Bemessungsregens abflusswirksam, 99% verbleiben auf dem Gründach (Mann und Klinger 2015).

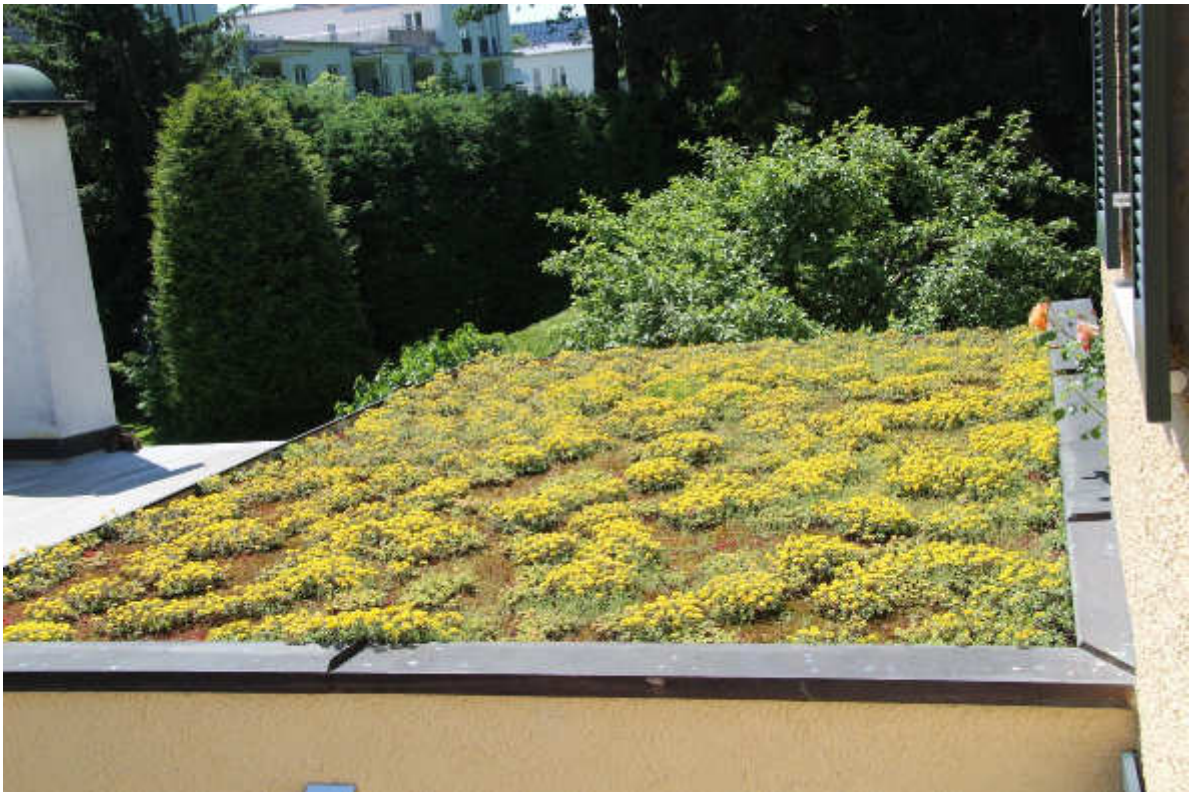


ABBILDUNG 33: GRÜNDACH EINER GARAGE IM URBANEN BEREICH (FOTO: GÜNTHERT 2015)

Aktuelle Entwicklungen präferieren den Lösungsansatz „Multifunktionale Flächennutzung“ als eine sogenannte „no-regret-Strategie“, welche auch bei nicht eintreffenden Prognosen zur Niederschlagsentwicklung keine negativen Folgen hat. „Dabei werden Freiflächen einer ursprünglich anderen Nutzung (zum Beispiel Straßen, Parkplätze, Sportanlagen, Grünflächen etc.) oder auch ungenutzte Räume in Gebäuden im Fall eines Starkregenereignisses temporär zur gezielten Retention oder zur kontrollierten Ableitung der bei Überflutungen auftretenden Oberflächenabflüsse in dafür vorbestimmte Bereiche mit geringerem Schadenspotential genutzt“ (Benden 2015).

Während im Ausland bereits derartige Projekte erfolgreich durchgeführt wurden (Rotterdam, Kopenhagen), gibt es in Deutschland noch verschiedene rechtliche Bedenken. Häufige Schlagwörter sind dabei z.B. der Kompromiss zwischen Barrierefreiheit im öffentlichen Raum und der Möglichkeit, Straßen bei Bedarf einstauen zu können. Hier helfen z.B. regelmäßig angeordnete Rampen. Auch Haftungsfragen bei der Mehrfachnutzung, der Unterhalt und allgemein die Finanzierung von Umbaumaßnahmen sind Fragen, die zwischen den verschiedenen Beteiligten (vgl. Abbildung 34) geklärt werden müssen. Letztendlich kann bei allen Beteiligten nur dann ein Konsens erreicht werden, wenn sich die Erkenntnis durchgesetzt hat, dass die multifunktionale Flächennutzung zur Verminderung des Risikos von Starkregenereignissen unumgänglich sein wird.

Der dritte Bestandteil eines ganzheitlichen Überflutungsschutzes ist, neben den Entwässerungssystemen mit Regenwassermanagement und den Verkehrs- und Freiflächen, der Objektschutz. Abbildung 34 zeigt, dass für einen wirkungsvollen Überflutungsschutz innerhalb von Siedlungen die Entwässerungsbetriebe, die Wasserwirtschaft, der Straßenbaulastträger und die für die öffentlichen Flächen zuständige Behörde sowie der Grundstückseigentümer zusammenarbeiten müssen.

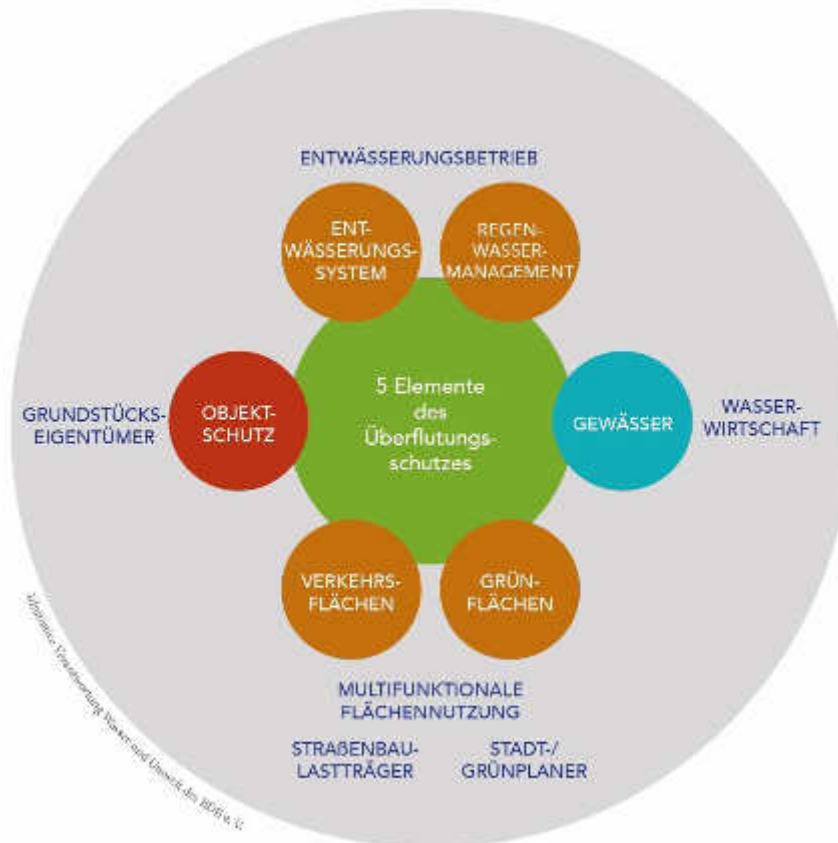


ABBILDUNG 34: FÜNF ELEMENTE DES ÜBERFLUTUNGSSCHUTZES IM URBANEN RAUM (NACH KRIEGER UND FRÖBE 2014)

Abbildung 35 verdeutlicht, dass das Kanalisationsnetz nur für die Überstaufreiheit aufnahmefähig ist, die Überflutungssicherheit ist nur unter Einbeziehung der Oberfläche (Verkehrs- und Freiflächen) gegeben. Für außergewöhnliche Starkregenereignisse ist ein zusätzlicher Objektschutz erforderlich.

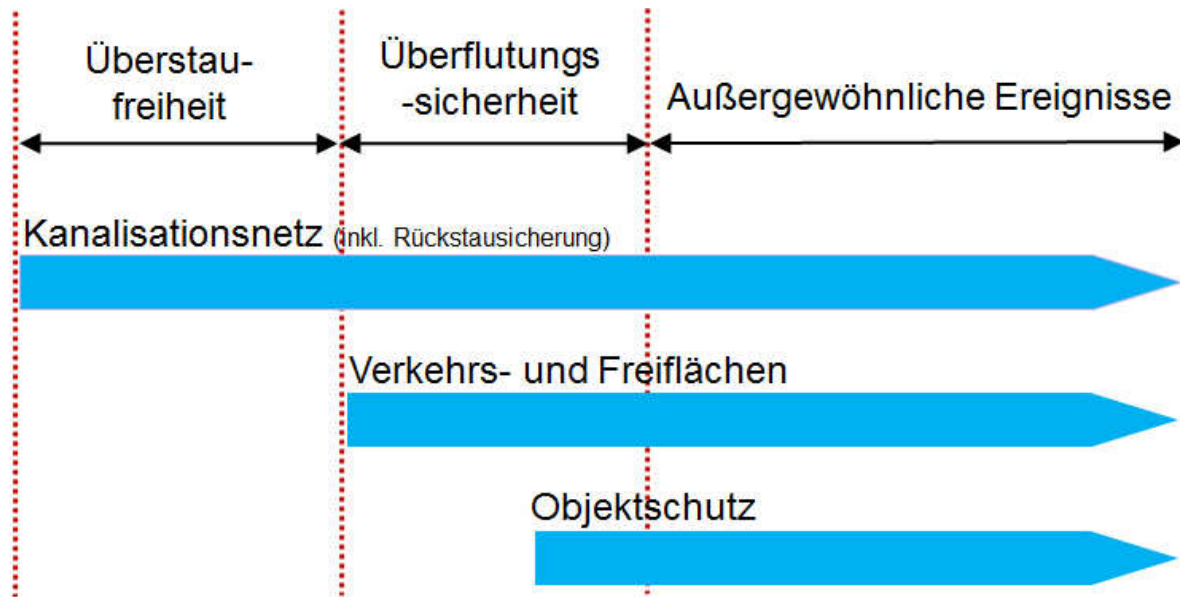
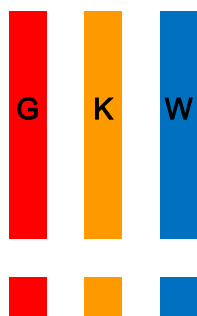


ABBILDUNG 35: ELEMENTE DES ÜBERFLUTUNGSSCHUTZES (DWA AG ES 2.5 2008)

Im Fall von außergewöhnlichen Ereignissen müssen Gebäude und andere Einrichtungen gezielt gesichert werden. Neben höher gesetzten Lichtschächten und anderen langfristigen Schutzmaßnahmen (s. Kap. 3) können allerdings nur bei ausreichender Vorwarnzeit, die meist nicht vorhanden ist, Sandsäcke oder mobile Hochwasserschutzwände installiert werden, um den Fließweg des Oberflächenabflusses von gefährdeter Infrastruktur fernzuhalten.

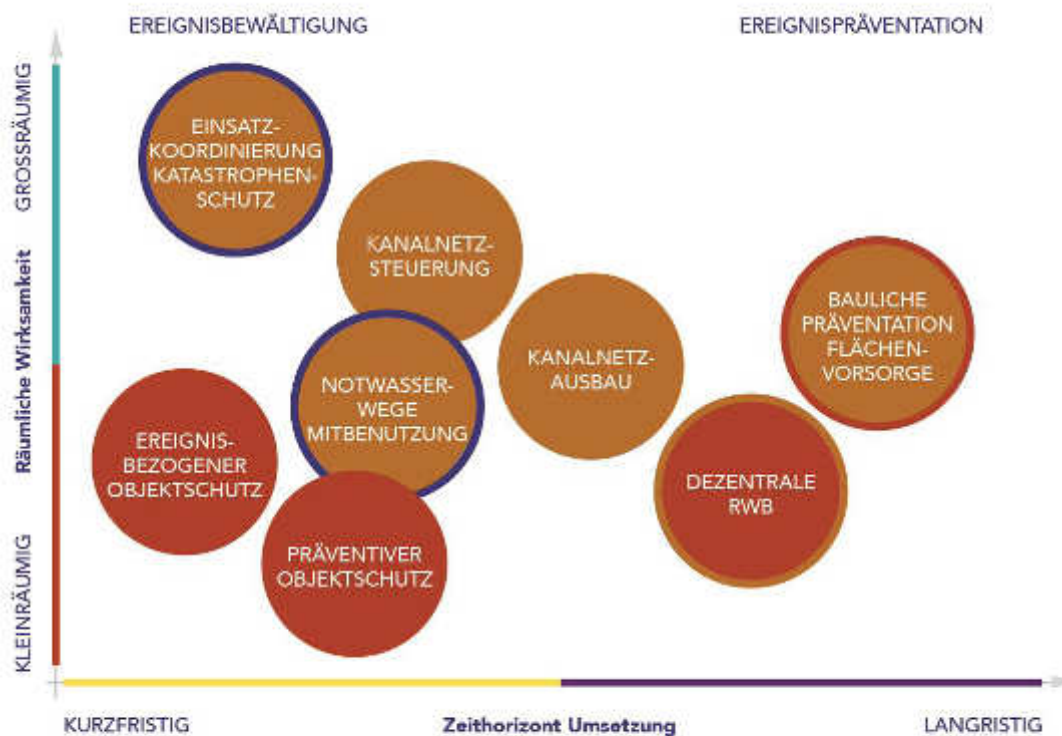
Beispielhaft hat das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz ein PDF-Tool für Gemeinden zum „Klimacheck“ herausgebracht. Hierin werden für bayerische Gemeinden Risikoabschätzungen und weiterführende Informationen angeboten. Neben Hitzebelastung, Trockenheit und Hochwasser wird auch das Thema Starkregenniederschläge und kleinräumige Überflutungen behandelt (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz 2014).



Der ganzheitliche Überflutungsschutz besteht aus dem Entwässerungssystem mit Regenwassermanagement, den Verkehrs- und Freiflächen und dem Objektschutz. Hierfür müssen Grundstückseigentümer, kommunale und staatliche Behörden und Ämter zusammenarbeiten.

6.3. Multidimensionale Anpassungsstrategie

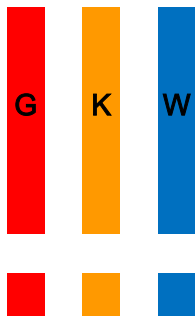
Die multifunktionale Flächennutzung stellt (wie im Kapitel 6.2 beschrieben) für den öffentlichen Raum die beste Möglichkeit zur Anpassung an urbane Sturzfluten dar. Dennoch müssen Vorsorgemaßnahmen in mehreren Dimensionen geschehen (s. Abbildung 36). Dies umfasst verschiedene Bestandteile von kurzfristig-kleinräumigen Maßnahmen, wie den ereignisbezogenen Objektschutz (z.B. Sandsäcke), bis zur kurzfristig-großräumigen Koordinierung von Rettungseinsätzen im Katastrophenfall.



©Initiative Verantwortung Wasser und Umwelt des BDR e. V.

ABBILDUNG 36: MULTIDIMENSIONALE ANPASSUNG AN DAS RISIKO URBANER STURZFLUTEN (RWB = REGENWASSERBEHANDLUNG)

Für eine langfristige Anpassung sind sowohl die Entwässerungssysteme gemeinsam mit einem Regenwassermanagement entsprechend zu gestalten, aber auch potentielle Fließwege von Oberflächenwasser zu simulieren und entsprechende Freiflächen als Rückhalteräume auszuweisen. Doch wenngleich ein Großteil zur Anpassung an urbane Sturzfluten von den entsprechenden Ämtern und Behörden geplant und ausgeführt werden muss, sind auch private Hauseigentümer, durch nachhaltige Planung und Anpassungsmaßnahmen ihr Risiko im Fall von Starkregen zu vermindern (s. Kapitel 3), gefordert.



Vorsorgemaßnahmen beginnen bei kurzfristigen, kleinräumigen Maßnahmen (Objektschutz) und müssen mit großräumigen, langfristigen Maßnahmen (Kanalnetzausbau, Flächenvorsorge) fortgeführt werden.

7. Starkregenereignisse in deutschen Gemeinden

Anhand der nachfolgenden Zusammenstellungen soll beispielhaft aufgezeigt werden, bei welchen Starkregenereignissen welche Schäden aufgetreten sind und wie auf die Ereignisse mit welchen Rückschlüssen und Maßnahmen reagiert wurde. Alle vier Ereignisse traten im Sommer (Juli, August) verschiedener Jahre auf. Es wurde sowohl mit technischen Maßnahmen als auch mit Risikomanagement und Öffentlichkeitsarbeit auf die jeweiligen Ereignisse reagiert.

MÜNSTER im Juli 2014 (Grüning und Grimm 2015)

Intensität: 220 mm in 105 min bei einer Gesamtniederschlagshöhe von 290 mm in 7 h

Schäden: Insgesamt mehrere 100 Mio. €;

Einzelgebäude > 100.000 €; Böschungsschäden an Straßen ca. 400.000 €

Maßnahmen/ Rückschlüsse:

- Systematische Gefährdungsanalyse für gesamtes Stadtgebiet mittels hydraulischer Berechnungen
- Erweiterung Kanaldatenbank um hochwasserspezifische Informationen
- Einrichtung öffentlicher Flächen als Regenrückhalteraum
- Einbau von Schutzrechen vor kritischen Durchlässen
- Verkürzung der Intervalle für Straßenablaureinigung von 1x auf 2x pro Jahr
- Vergrößerung der hydraulischen Gewässerdurchlässe (Kombination europäische Hochwasser-risikomanagementrichtlinie & europäische Wasserrahmenrichtlinie)
- Privater Objektschutz: Rückstausicherung, erhöhte Lichtschächte, Hochwasserschutzwände; Vorbeileitung von Oberflächenwasser, kostenlose Rückstauberatung durch Tiefbauamt

BREMEN im August 2011 (Gatke et al. 2015)

Intensität: 39 mm in 90 min

Schäden: großflächige Überflutungen;

im Überflutungsschwerpunkt Einstau von Unterführungen bis 2,1 m über Straßenoberkante

Maßnahmen/ Rückschlüsse:

- Einrichtung Notüberläufe von gefährdeten Straßen auf Sportplätze
- Bordsteinhöhe von kritischen Straßen 10 cm
- Neubau von Regenrückhaltebecken

DORTMUND im August 2008 (Grünwald 2009)

Intensität: 200 mm in 120 min; 129 mm in 150 min

Schäden: Gesamt ca. 17,5 Mio. €

davon ca. 11 Mio. € auf Gelände der Universität Dortmund,
ca. 3,5 Mio. € an städtischen Einrichtungen,
ca. 2 Mio. € an Privateigentum,
ca. 950.000 € an Gewerbe

Maßnahmen/ Rückschlüsse:

- natürlicher Wasserrückhalt in den Einzugsgebieten
- Flächen-, Bau-, Risiko-, Informations- und Verhaltensvorsorge
- technischer Hochwasserschutz, Maßnahmen zur Katastrophenabwehr
- Vorhaltung und Vorbereitung des Katastrophenschutzes
- Empfehlungen zum Hochwasserrisikomanagement für die einzelnen Stadtteile
- Hilfe für Betroffene

BAIERSDORF in Mittelfranken im Juli 2007 (DWA 2011; Hinkelmann et al. 2010; Scheibel 2013)

Intensität: bis zu 200 mm in 6 h nach extremen abendlichen Gewitter (mehr als doppelt so viel wie im Monatsmittel)

Schäden: über 70 Mio. € an etwa 1.000 Gebäuden sowie im Gewerbegebiet; trotz Lage auf einer hochwasserfreien Terrasse der 500 m entfernten Pegnitz; Pegnitz erreichte knapp die Meldestufe 1 und hatte mit den Überflutungen in Baiersdorf nichts zu tun; flächenhafte Zuflüsse aus freiem Gelände bei wassergesättigtem Boden

- Aussagen Bürgermeister: „Die Gemeinde galt zuvor nie als eine vom Hochwasser bedrohte“, „99% der Firmen haben keine Versicherung gegen Elementarschäden“
- Aussage Gewerbepark-Chef: „mit einer solchen Sturzflut konnte hier wirklich niemand rechnen“

Maßnahmen/ Rückschlüsse:

- Erstellung eines Hochwasserschutzkonzeptes in Zusammenarbeit mit TU-Berlin
- Untersuchung der Wirkung von Hochwasserrückhaltebecken auf Überschwemmungsflächen und Wassertiefen im Modellgebiet

I

Ausgewertete Starkregenereignisse in Deutschland zeigen die unerwarteten Niederschläge, die hohen Schäden sowie Konsequenzen daraus.

8. Rechtliche Rahmenbedingungen

Vorsorge und Schutz vor urbanen Sturzfluten ist in Gesetzen und Regelwerken verschiedener betroffener Fachrichtungen verankert und in Planungen und Genehmigungen zu berücksichtigen und umzusetzen.

8.1. Klimaangepasste Bauleitplanung

Durch das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden“ vom 22.07.2011 wurde das Baugesetzbuch (BauGB) unter den Aspekten Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel novelliert („BauGB-Klimanovelle 2011“).

Durch die Aufnahme der sog. „Klimaschutzklausel“ 2011 ins BauGB (§1 Abs. 5 BauGB) wird das Anliegen einer klimaangepassten Stadtentwicklung gestärkt. Dort heißt es:

„Die Bauleitpläne sollen [...] beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern [...]. Hierzu soll die städtebauliche Entwicklung vorrangig durch Maßnahmen der Innenentwicklung erfolgen.“

Mit dieser Klimaschutznovelle wurde die Verantwortung der Bauleitplanung, sowohl für den Klimaschutz als auch für die Klimaanpassung, klargestellt.

Die in der Bauleitplanung umzusetzenden Regelungsgehalte von Klimaanpassungsmaßnahmen umfassen unter anderem (Brenner et al. 2013) :

- Ver- und Entsorgung innerhalb von Siedlungen
- Anpassung von Gebäuden
- Schutz und Entwicklung von Grün-, Wasser- und Freiflächen und urbane Durchgrünung
- Freihaltung bzw. differenzierte Nutzungsregelung für von (klimabeeinflussten) Extremereignissen betroffene Gebiete

Zudem sind Maßnahmen und Anpassungsstrategien im Stadtumbau (§ 171a Abs. 2 BauGB) festzulegen. Diese umfassen nach Brenner et al. (2013):

1. Freihalten von Brachflächen in von Extremereignissen betroffenen Gebieten
2. Schaffung von Grünflächen und Retentionsräumen
3. Entsiegelungsmaßnahmen
4. Gebäudebezogene, technische Vorkehrungen

Verschiedene Möglichkeiten und Projektbeispiele zur Klimaanpassung im Rahmen des Festsetzungskataloges wurden in Brenner et al. (2013) zusammengefasst (s. Anhang).

Eine weitere Konkretisierung der erforderlichen Maßnahmen ist in den Flächennutzungs- und Bebauungsplänen anzugeben und in den Baugenehmigungsverfahren umzusetzen.

8.2. Vorgaben für die Entwässerung

8.2.1. Das Wasserhaushaltsgesetz

§ 54 (WHG) Abs. 1 Nr. 2 besagt *„Abwasser ist [...] das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließende Wasser (Niederschlagswasser).“*

In § 60 Abs. 1 WHG werden die Vorgaben für Abwasseranlagen allgemein wie folgt definiert:

„Abwasseranlagen sind so zu errichten, zu betreiben und zu unterhalten, dass die Anforderungen an die Abwasserbeseitigung eingehalten werden.“

Im Übrigen dürfen Abwasseranlagen *„nur nach den allg. anerkannten Regeln der Technik errichtet, betrieben und unterhalten werden.“*

Hierbei wird nicht zwischen öffentlichen und privaten Abwasserleitungen unterschieden. Die allgemein anerkannten Regeln der Technik werden für Entwässerungsanlagen in DIN Normen (z. B. DIN EN 752) und Arbeits- und Merkblätter der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) (z.B. DWA A-118) festgeschrieben und sind demnach für die Bemessung und den Betrieb der Abwasseranlagen maßgebend.

Ferner ist in den Grundsätzen der Abwasserreinigung WHG § 55 Abs. 1 festgehalten, *„Abwasser ist so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird [...]“* und nach Abs. 2 soll *„Niederschlagswasser zunächst ortsnahe versickert, verrieselt oder direkt über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden, soweit dem weder wasserrechtliche noch sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften noch wasserwirtschaftliche Belange entgegenstehen.“*

8.2.2. Landeswassergesetzte am Beispiel des Bayerischen Wassergesetzes (BayWG)

8.2.2.1. Zielsetzung des integralen Überflutungsschutzes

Die Umsetzung des Wasserhaushaltsgesetzes erfolgt in den Bundesländern mit Landeswassergesetzen, Vorschriften und Richtlinien. Die Umsetzung soll am Beispiel des Bayerischen Wassergesetzes (BayWG) dargestellt werden.

Art. 44 BayWG „Grundsätze für den Schutz vor Hochwasser und Dürre“ besagt in Abs. 1:

„Zur Minderung von Hochwasser- und Dürregefahren sollen Staat und Gemeinden im Rahmen ihrer Aufgaben auf

- 1. Erhalt und Wiederherstellung der Versickerungsfähigkeit der Böden.*
- 2. Dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser.*
- 3. Maßnahmen zur natürlichen Wasserrückhaltung und zu Wasserspeicherung*

hinwirken.“

Art. 44 Abs. 2 BayWG:

„Bei der Planung von Hochwasserschutzeinrichtungen sind die Auswirkungen der Klimaänderung angemessen zu berücksichtigen.“

Damit ist das Ziel eines integralen Überflutungsschutzes durch gezielte Verminderung, Speicherung und Verzögerung des Oberflächenabflusses definiert, welcher auch unter Berücksichtigung zukünftiger Klimaveränderungen geplant werden muss. No-regret Maßnahmen wie in Kapitel 6.2 beschrieben bieten sich hier an.

8.2.2.2. Regelung zur Abwasserbeseitigungspflicht

Nach Art. 34 Abs. 1 BayWG sind *„zur Abwasserbeseitigung und damit auch zur Beseitigung des Niederschlagswassers die Gemeinden verpflichtet.“* Nach Art. 34. Abs.2 BayWG können Gemeinden und Zweckverbände jedoch durch eine Satzung bestimmen, dass die Übernahme des Abwasser abgelehnt werden darf, *„wenn das Abwasser wegen seiner Art- oder Menge besser von demjenigen behandelt wird, bei dem es anfällt.“* Somit kann durch Satzung festgelegt werden, dass ein Benutzungsrecht der Abwasseranlagen (also eine Einleitung in den Abwasserkanal) nicht besteht, wenn eine Versickerung oder anderweitige Beseitigung von Niederschlagswasser ordnungsgemäß möglich ist.

Für Benutzungen im Sinne des § 9 WHG z.B. für das Einleiten von Abwasser in Gewässer ist nach § 8 WHG Abs. 1 *„eine Erlaubnis oder Bewilligung erforderlich, soweit nicht durch dieses Gesetz oder auf*

der Grundlage dieses Gesetzes erlassener Vorschriften etwas anderes bestimmt ist“. Dies ist. z.B. bei der Ableitung oder Versickerung von Niederschlagswasser zu berücksichtigen, soweit nicht Verordnungen der Länder eigene Regelungen erlassen haben, z.B. die Niederschlagswasserfreistellungsverordnung in Bayern (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen 2000).

8.2.3. Zuständigkeiten bei Abwasserleitungen

Abwasserleitungen werden hinsichtlich der Zuständigkeitsbereiche in öffentliche Kanalisation und private Grundstücksentwässerungsanlage (GEA) unterteilt (Cvaci 2009). Für die Frage, wer für welche Teile der GEA oder auch der Zuleitungskanäle zuständig ist, bestehen keine bundeseinheitlichen Vorgaben. Die Regelungen werden länderspezifisch vorgegeben und sind in den Entwässerungssatzungen der Kommunen umgesetzt.

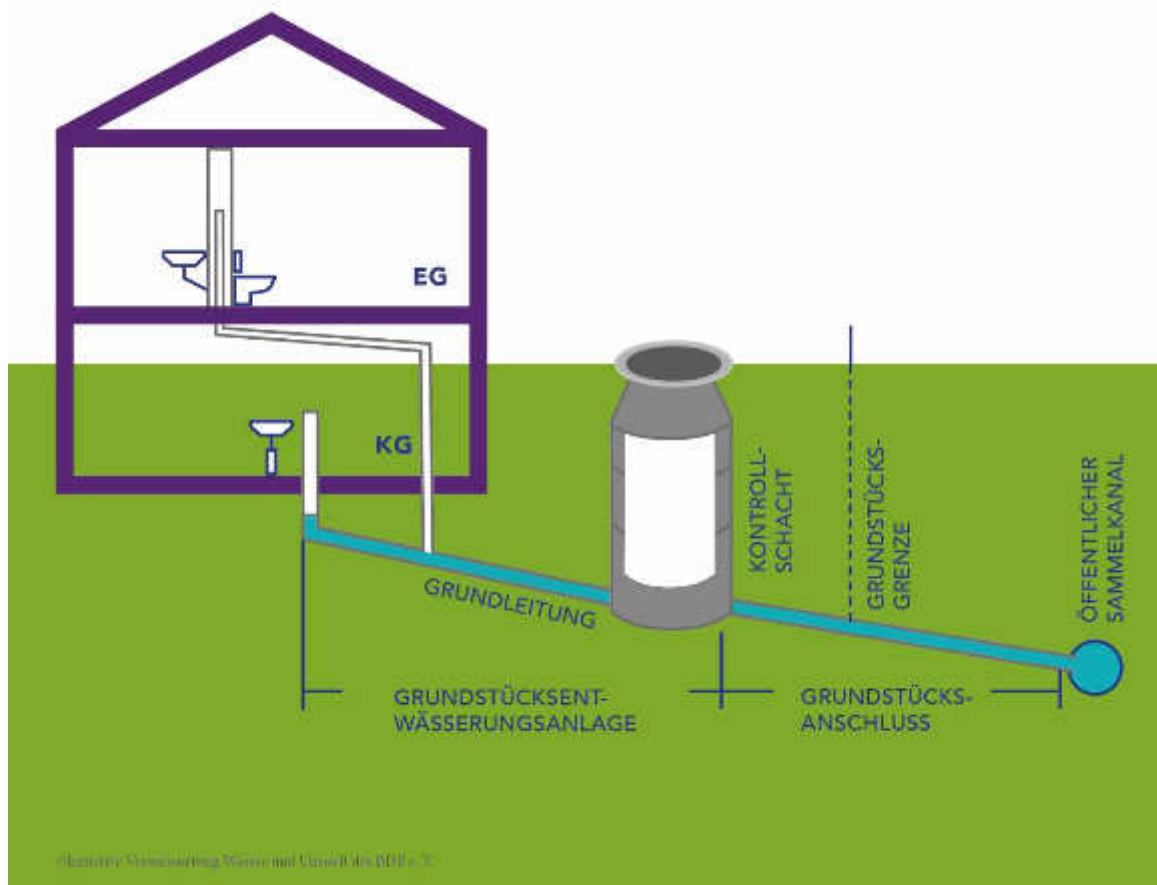


ABBILDUNG 37: ZUSTÄNDIGKEITSGRENZEN BEI GRUNDSTÜCKSENTWÄSSERUNGS-ANLAGEN (THIMET UND GÜNTHERT 2014)

Es können für die Zuständigkeitsgrenze grundsätzlich drei Fälle festgelegt werden:

1. Übergang der Zuständigkeitsgrenze am Hauptkanal
2. Übergang der Zuständigkeitsgrenze an der Grundstücksgrenze
3. Übergang der Zuständigkeitsgrenze am Revisionsschacht

Bei der Frage, ob die so genannte Anliegerregie (also Grenze am Hauptsammler) oder die Kommunalregie (ab Revisionsschacht oder Grundstücksgrenze) technisch oder wirtschaftlich zu bevorzugen ist, gibt es keine eindeutige Antwort, wobei auch viele Gemeinden im Interesse Ihrer Bürger die Kommunalregie bevorzugen. In allen drei Fällen besteht jedoch eine geteilte Zuständigkeit, die immer Schnittstellen und Umsetzungsprobleme erzeugt. Die Grundstückseigentümer sind häufig Laien und sich der Risiken mangelhafter Entwässerungseinrichtungen auf dem Grundstück und im Gebäude (z.B. Rückschlagklappen) nicht bewusst. Sie benötigen daher die fachliche Kompetenz der Entwässerungsbetriebe.

8.2.4. Rechtsentscheidungen bezüglich der erforderlichen Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes

Die Dimensionierung des Kanalnetzes erfolgt in Deutschland gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik nach dem DWA Arbeitsblatt A-118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“ (DWA 2006) und DIN EN 752 (s. Kap. 2.3.5).

Verschiedene Urteile des Bundesgerichtshofs weisen darauf hin, dass auch die „Überstauhäufigkeit“ eines Kanalnetzes als Maßstab für die Dimensionierung der Kanalisation zu berücksichtigen ist. Als Überstauenebene wird meistens die Höhe der Straßenoberkante festgelegt. Dies bedeutet, dass nicht allein der Bemessungsregen bei der Bemessung der Kanalisation zu berücksichtigen, sondern auch die konkreten örtlichen Verhältnisse, z.B. an der Oberfläche abfließendes Wasser.

Überflutungswahrscheinlichkeiten und -häufigkeiten können nur mit komplexen Verfahren ermittelt werden. Die nach DIN EN 752 empfohlenen Überflutungshäufigkeiten ergeben sich in Abhängigkeit der Gebietsstruktur. Aus diesem Vorgehen ist ersichtlich, dass Entwässerungssysteme, wenn sie nach den technischen Regeln bemessen und aktuell überprüft sind, auch seltene Ereignisse noch schadlos ableiten können. Diese Überprüfung wird bisher vorwiegend von den Kommunen durchgeführt, die bereits von Starkregenereignissen betroffen waren.

Der Entwässerungsbetrieb bzw. die Gemeinde ist grundsätzlich nicht für Schäden durch Überflutungen aus der Kanalisation haftbar, wenn die technischen Regelwerke bei Planung und Bau beachtet wurden. Dies gilt auch dann, wenn die Regelwerke nachträglich verschärft wurden. Daher ist eine aktuelle Überprüfung des Entwässerungssystems von großer Bedeutung.

So hat das LG Trier entschieden, dass eine Haftung der Gemeinde (Amtshaftung aus Art. 34 GG, § 839 BGB) nicht in Betracht kommt, wenn durch ein katastrophenartiges Regenereignis Schäden

durch Regenwasser entstehen, weil dieses von der (bereits überfüllten) Kanalisation nicht mehr aufgenommen werden kann, sondern ungefasst auf die Anliegergrundstücke gelangt (vgl. BGH, Urteil vom 22.11.2001 - Az.: III ZR 322/00 - ; OLG Schleswig, Urteil vom 10.5.2002 - Az.: 11 U 202/00).

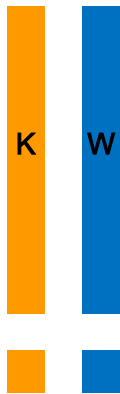
Generell darf nicht verkannt werden, dass eine Gemeinde nicht gehalten ist, ihr Kanalnetz auf Katastrophenregen oder katastrophenartige Unwetter auszulegen, weil dieses budgetmäßig nicht vertretbar wäre und einen erheblichen Anstieg der Regenwassergebühr zur Folge hätte (Stichwort höhere Gewalt) (vgl. BGH, Urteil vom 11.7.1991 - Az.: III ZR 177/90 - NJW 1992, S. 39ff.; OLG Frankfurt, Urteil vom 13.5.1985 - Az.: 1 U 164/84 - VersR 1986, S. 1125, BGH Urteil vom 5.6.2008 – Az.: III ZR 137/07).

Wenn sich in Zukunft Handlungsbedarf durch zunehmende Starkregenereignisse ergibt, oder bereits in der Gegenwart besonders gefährdete Gebiete (z.B. durch die Topographie) ausgemacht werden können, sind Maßnahmen erforderlich.

Hierzu wurde festgestellt, dass ein Grundstückseigentümer es nach der Rechtsprechung nicht hinnehmen muss, wenn sein Grundstück einmal jährlich einer Überschwemmung ausgesetzt ist, wenn der erforderliche Leitungsquerschnitt nicht unter umfassender Würdigung aller relevanten wasserwirtschaftlichen, technischen und topographischen Gegebenheiten ermittelt wurde (vgl. BGH, Urteil vom 11.7.1991 - Az.: III ZR 177/90 - NJW 1992, S. 39ff. und den Arbeitsbericht der der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.5 in der Zeitschrift KA 2008, S. 972ff.).

Dieser Fall kann auch bei einer korrekten Bemessung der Kanalisation auf Basis des Bemessungsregens eintreten, sofern die örtlichen Verhältnisse im Einzelfall (z.B. schnelle Oberflächenabflüsse an Hanglagen) bei der Planung nicht berücksichtigt wurden (s. BGH, Urteil vom 18.2.1999 - Az.: III ZR 272/96).

Um einer Überlastung des Kanalnetzes vorzubeugen, müssen folglich bereits während der Bauleitplanung zur Erschließung neuer Gebiete Maßnahme getroffen werden, die zu einer Verminderung, Rückhaltung und Verzögerung des Oberflächenabflusses führen. Dazu ist regelmäßig im Rahmen des Generalentwässerungsplanes eine Überprüfung des Entwässerungssystems erforderlich, um einerseits gefährdete Gebiete ermitteln zu können und andererseits das Haftungsrisiko zu vermindern.



Sowohl im Baugesetzbuch, als auch in den Wassergesetzen sind zur Vorsorge und zum Schutz vor urbanen Sturzfluten Vorgaben enthalten, die bei Planungen und Genehmigungen umzusetzen sind. Dazu sind in der Bauleitplanung Maßnahmen zur Verminderung und Rückhaltung des Oberflächenabflusses vorzusehen. Im Rahmen der Generalentwässerungsplanung ist eine Überprüfung des Entwässerungssystems erforderlich, um gefährdete Gebiete zu ermitteln und das Haftungsrisiko für den Entwässerungsverpflichteten zu reduzieren.

9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Beseitigung von Niederschlagswasser haben sich Kommunen und Grundstückseigentümer bisher zu wenig angenommen. Während die Schmutzwasserbeseitigung aus hygienischen Gründen unstrittig eine wichtige Aufgabe ist, die weitgehend gelöst ist, ist die Niederschlagswasserbehandlung häufig noch nicht zufriedenstellend geklärt. Durch die zunehmenden Starkregenereignisse in den letzten Jahren sind alle Beteiligten (Bürger und Kommunen) mehr sensibilisiert und es wurden Methoden zur Überflutungsvorsorge durch extreme Niederschlagsereignisse entwickelt. Leider sind diese Lösungsansätze noch nicht so verbreitet, dass die Betroffenen und insbesondere die Privatpersonen wissen, dass und wie sie sich vor diesen Naturereignissen schützen können.

Starkregenereignisse von kurzer Dauer und hoher Intensität können überall in Deutschland vorwiegend in den Sommermonaten auftreten. An Rändern von Gebirgen, z.B. im Alpenvorland aber auch in den Mittelgebirgen, treten vermehrt konvektive Niederschläge auf.

Eine Häufung von Starkregenereignissen mit Überflutungen im urbanen Raum wird wahrgenommen. Auch wenn noch keine wissenschaftlich fundierte Prognose aufgrund fehlender hydrologischer Daten möglich ist, so ist mit einer Zunahme dieser Extremereignisse zu rechnen.

Besonders gefährdete Objekte sind Wohn- und Industriegebäude, Infrastruktureinrichtungen und Verkehrsanlagen. Nachdem die Immobilien und deren Einrichtungen immer wertvoller werden, nimmt die Höhe der Schäden zu.

Während bei Flusshochwasser aus großen Einzugsgebieten lange Vorwarnzeiten den Betroffenen ermöglichen, sich und wertvolle Güter zu schützen und zu sichern, fehlen bei extremen Niederschlägen mit schnellem Abfluss sowohl Prognosen als auch entsprechende Vorwarnzeiten. Daher ist es für diese Ereignisse besonders wichtig, vorab bereits geeignete Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

Die gefühlte Sicherheit, dass das Entwässerungssystem ausreichend Schutz vor Überschwemmungen aus Niederschlägen im Siedlungsgebiet bietet, bedarf weiterer Aufklärung. Das Entwässerungssystem

kann nach den Regeln der Technik entsprechend bemessenen Querschnitten und Volumen seltene Ereignisse aufnehmen und mit Einstau und Überstau abführen, ohne dass es zu Überflutungen und Schäden kommt. Aus wirtschaftlichen Gründen wird die Kanalisation aber nicht für sehr seltene, extreme Niederschlagsereignisse ausgelegt, bei denen Überflutungen auftreten können.

Eine zunehmende Bedeutung für die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems hat auch ein integrales Regenwassermanagement mit Entsiegelung und Abkopplung von Flächen vom Kanalnetz, die Errichtung von Versickerungs- und Rückhalteinrichtungen sowie das Anlegen von Gründächern.

Für eine integrale Überflutungsvorsorge sind Niederschlags- und Abflussmessungen sowie aktuelle hydraulische Nachweise des Entwässerungssystems für eine Risikobewertung der Siedlungsgebiete wasserwirtschaftlich erforderlich und gegebenenfalls als Sanierungsmaßnahme umzusetzen.

Anhand von Überflutungsnachweisen unter Einbeziehung der Oberfläche muss ermittelt werden, an welchen Stellen des Entwässerungssystems Abwasser austritt, wohin dieses fließt und welche Einrichtungen gefährdet sind. Mit Hilfe von 2D Modellen können Gefahrenkarten erstellt werden, die mögliche Überflutungsflächen mit den Gefahrenstufen hoch, mittel und gering aufzeigen.

Der Überflutungsschutz für Starkregen im urbanen Raum kann nur in Zusammenarbeit aller Beteiligten erfolgreich sein. Neben den Entwässerungsbetrieben, die für die Entwässerung und z.T. für die Regenwasserbewirtschaftung zuständig sind, muss die staatliche und kommunale Wasserwirtschaft bei der Gestaltung der Gewässer die Niederschlagswasserabflüsse einbeziehen. Bei der multifunktionalen Flächennutzung von Verkehrs- und Grünflächen für die Überflutungsvorsorge sind viele Beteiligte wie Straßenbaulastträger und verschiedene Ämter einer Kommune betroffen.

Den privaten Grundstückseigentümern ist meist das Risiko einer Überflutung am wenigsten bewusst, daher ist eine Information und Beratung dieser Zielgruppe durch die Kommune am wichtigsten. Hier können oft mit einfachen Maßnahmen Schutzvorkehrungen getroffen werden.

Bei dem integralen Überflutungsschutz spielt die Information und Beratung der möglichen Betroffenen eine große Rolle. Hierbei ist vorab zu klären und zu regeln, wie mit flächenbezogenen Risikoinformationen umzugehen ist.

Für die Überflutungsvorsorgemaßnahmen ist von den Beteiligten zu klären, wer für welche Maßnahmen zuständig ist, und wer diese Maßnahmen finanziert. Maßnahmen, die mit der Entwässerung zusammenhängen, können über die Abwasserbeiträge und -gebühren finanziert werden. Sind an Straßen-, Frei- und Grünflächen Vorkehrungen geplant, so ist hierfür eine Kostenaufstellung erforderlich. Gewässerausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen sind von den jeweiligen Eigentümern und

Anliegern zu übernehmen. Objektschutzmaßnahmen an Gebäuden und anderen Einrichtungen werden von den jeweiligen Eigentümern zu finanzieren sein.

Ein ausreichender Versicherungsschutz sowie ein gut organisierter Katastrophenschutz helfen bei Überflutungen, Menschen und Güter zu schützen und zu retten sowie eingetretene Schäden zu regulieren.

Die Überflutungsvorsorge von Starkregen im urbanen Raum ist eine Gemeinschaftsaufgabe aller Beteiligten und Betroffenen. Sie erfordert eine detaillierte Analyse der Gefährdungen und der Risiken in Zusammenhang mit den hydrologischen Daten. Sie muss in der kommunalen Planung und Entwicklung in Flächennutzungs- und Bauleitplänen neben den Belangen der Baukultur, des Denkmalschutzes und der Denkmalpflege sowie der funktionalen Verbesserung der Infrastruktur einen ebenso hohen Stellenwert haben und bei Flächennutzungen mit berücksichtigt werden.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. F.W. Günthert

München, Mai 2016

LITERATURVERZEICHNIS

DIN 4045, 2003-08-00: Abwassertechnik - Grundbegriffe.

DIN EN 752, 2008-04-00: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden.

Assmann, A. (2012): Modellierung von extremen Starkregenereignissen - was ist möglich? 10. Hochwasserschutzforum in der Metropolregion Rhein Neckar. IHK Rhein-Neckar. Mannheim, 03.12.2012.

ATV-DVWK (2004): Merkblatt ATV-DVWK-M 165. Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung. Hennef: Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V.

Bartels, Hella; Dietzer, Bernd; Malitz, Gabriele; Albrecht, Franz M.; Guttenberger, Josef (2005): Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 – 2000). Fortschreibungsbericht. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main.

Baumgarten, Corinna; Christiansen, Eike; Naumann, Stephan; Penn-Bressel, Gertrude; Rechenberg, Jörg; Walter, Anne-Barbara (2011): Hochwasser - Verstehen, erkennen, handeln. UBA Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/hochwasser>, zuletzt geprüft am 10.04.2015.

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (2000): Niederschlagswasserfreistellungsverordnung. NWFreiV, vom 2008. Online verfügbar unter <http://www.izu.bayern.de/download/pdf/NWFreiV.pdf>.

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2014): Klimacheck. Klimawandel in Ihrer Gemeinde: Auswirkungen und Anpassung. Online verfügbar unter http://www.tourismus.hm.edu/die_fakultaet/forschung_projekte/c3_alps_1.de.html.

Becker, Paul (2014): Das Projekt Starkregen. Naturgefahrenkonferenz Berlin vom 03.06.2014. Hg. v. Deutscher Wetterdienst und Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Online verfügbar unter http://www.gdv.de/wp-content/uploads/2014/06/NGK_2014_DWD_Becker.pdf, zuletzt geprüft am 02.04.2015.

Benden, Jan (2014): Möglichkeiten und Grenzen einer Mitbenutzung von Verkehrsflächen zum Überflutungsschutz bei Starkregenereignissen. Aachen: Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr (Berichte des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr der RWTH Aachen University, 57).

Benden, Jan (2015): Multifunktionale Flächennutzung als Beitrag zur urbanen Starkregenvorsorge. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (2), S. 130–137.

Binder, C.; Steinreiber, Christian (2005): Charakterisierung von extremen Wetterereignissen. In: Karl W. Steininger, Christian Steinreiber und Christoph Ritz (Hg.): *Extreme Wetterereignisse und ihre wirtschaftlichen Folgen. Anpassung, Auswege und politische Forderungen betroffener Wirtschaftsbranchen*. Berlin: Springer.

Brenner, János; Dorsch, Fabian; Greiving, Stefan, Rüdiger, Andrea; Schlegelmilch, Frank; Ahrens, Filip (2013): Planungsbezogene Empfehlungen zur Klimaanpassung auf Basis der Maßnahmen des Stadtklimalotsen. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS-Online-Publikation, 25), zuletzt geprüft am 07.05.2015.

Bundesanstalt für Straßenwesen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. ZTV-ING. Ausg. 2012. Köln: FGSV-Verl (FGSV, 782/1).

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2013): Info-Brief 1: Fallstudiengestützte Expertise "Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ExWoSt), zuletzt geprüft am 12.05.2015.

Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen, zuletzt geprüft am 08.05.2015.

Cvaci, Darius (2009): Zustandserfassung und Bewertung von Grundstücksentwässerungsanlagen unter Einbeziehung einer optimierten organisatorischen Vorgehensweise. Aachen: Shaker (Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen, H. 103).

Deutscher Wetterdienst (2015): Deutscher Klimaatlas. Version : Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter <http://www.dwd.de/klimaatlas>, zuletzt geprüft am 03.07.2015.

Deutschländer, Thomas; Dalelane, Clementine (2012): Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderungen des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit. Hg. v. BBK, THW, DWD und UBA.

DKKV (2015): Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland. Hg. v. DKKV- Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. Bonn (DKKV-Schriftenreihe, 53).

Dr. Pecher AG (2014): Expertise Urbane Gefahrenkarten zur Ermittlung des Überflutungsrisikos. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Infobriefe). Online verfügbar unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Studien/2012/Ueberflutung/05_Veroeffentlichungen.html, zuletzt geprüft am 22.02.2016.

Dr. Pecher AG; TU Kaiserslautern; DWA (2015): Schlussbericht - Das Verbundprojekt KliWäss: konzeption, Erstellung und pilothafte Umsetzung eines Bildungsmoduls für Studierende, Meister und techniker zum Thema "Klimaangepasste Siedlungsentwässerung". Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

DWA (2006a): Arbeitsblatt A-100. Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA (2006b): Arbeitsblatt A-118. Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. März 2006. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA (2007): Merkblatt M-153. Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. August 2007. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA (2010): Merkblatt M-551. Audit "Hochwasser - wie gut sind wir vorbereitet". Hennef: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

DWA (2011a): Arbeitsblatt A-530. Beobachteranleitung für nebenamtliche Niederschlagsstationen Nst (A) und Nst (k) (BAN). Hennef.

DWA (2011b): Vom Hochwasser überrascht - das unterschätzte Sturzflutrisiko. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Mitglieder-Rundbrief, 1/2011).

DWA (2012): Arbeitsblatt A-531. Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer. September 2012. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA (2013): Starkregen und urbane Sturzfluten - Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. DWA-Themen: T1/2013. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA-Themen, 1/2013).

DWA (2014): Merkblatt M-553. Hochwasserangepasstes Planen und Bauen. Entwurf. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA AG ES 2.5 (2008): Prüfung der Überflutungssicherheit von Entwässerungssystemen. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.5 "Anforderungen und Grundsätze der Entwässerungssicherheit". In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2008, 2008, zuletzt geprüft am 2008.

DWD (2005): Wetterlexikon. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/>, zuletzt aktualisiert am 05.08.2005, zuletzt geprüft am 02.04.2015.

EU (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2002): Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten. RiStWag. Aug. 2002. Köln: FGSV-Verl (FGSV, 514).

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2005): Teil: Entwässerung. RAS-Ew ; mit "RAS-Ew-Bemessungshilfen" auf CD-ROM. Aug. 2005. Köln: Forschungsgesellschaft für Strassen-

und Verkehrswesen (Richtlinien für die Anlage von Straßen Entwässerung, / Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen ; Hauptbd).

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2010): Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln. RABT. Ausg. 2006, korrigierter Nachdr. Köln: FGSV-Verl (FGSV, 339).

Gatke, Dietmar; Thielking, Katharina; Hoppe, Holger; Kirschner, Nora; Koch, Michael; Behnken, Katrin (2015): Extreme Regen im urbanen Raum. Stadtgebietsweise Überflutungsbetrachtungen und Detailanalysen in Bremen. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (2), S. 150–156.

GDV (2013): Verteilung der Juni-Hochwasserschäden 2013 in Deutschland. Hg. v. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Grünewald, Uwe (2009): Gutachten zu Entstehung und Verlauf des extremen Niederschlag-Abfluss-Ereignisses am 26.06.2008 im Stadtgebiet von Dortmund. einschließlich der Untersuchung der Funktionsfähigkeit von wasserwirtschaftlichen Anlagen und Einrichtungen der Stadt, Emschergerossenschaft und Dritter in den Gebieten Dortmund-Marten, -Dorstfeld und -Schönau. Unter Mitarbeit von Sabine Schümborg, Britta Wöllecke, Gert Graf-van Riesenbeck und Klaus Piroth. Stadt Dortmund, Tiefbauamt; Emschergerossenschaft.

Grüning, Helmut; Grimm, Michael (2015): Unwetter mit Rekordniederschlägen in Münster. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (2), S. 157–162.

Günthert, F. Wolfgang (1996): Wohin mit dem Regenwasser? Thema: Wassergüte- und Abfallforschung - Innovation zu jeder Zeit. Festschrift zum 70. Geburtstag von em. Prof. Dr. -Ing. W. Bischofsberger. Hg. v. TUM - Technische Universität München. Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Garching b. München (Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Technischen Universität München, 125).

Hack, Hans-Peter (2014): Hydraulische Modellversuche bei Flutpoldern. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 7 (11).

Hamburg Wasser (2012): Wie schütze ich mein Haus vor Starkregenfolgen. Ein Leitfaden für Hauseigentümer, Bauherren und Planer. Online verfügbar unter <http://www.hamburgwasser.de/formulare-downloads.html?download=801>, zuletzt geprüft am 09.07.2015.

Hansmann, Armin (2015): Flexibles Hochwasserschutzsystem für Gebäude. In: *Wasserwirtschaft - Hydrologie, Wasserbau, Hydromechanik, Gewässer, Ökologie, Boden* 105 (4), S. 27–31.

Hinkelmann, R.; Lange, C.; Om, Y.; Seemann, S. (2010): Hochwasserschutzkonzept Baiersdorf. Hg. v. Technische Universität Berlin. Institut für Bauingenieurwesen. Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung. Online verfügbar unter https://www.wahyd.tu-berlin.de/menue/forschung/projekte/abgeschlossene_projekte/hochwasserschutzkonzept_baiersdorf/, zuletzt aktualisiert am 31.08.2010, zuletzt geprüft am 11.05.2015.

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH; Fachhochschule Aachen; Deutscher Wetterdienst (2008): Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS). Ergebnisse des Forschungsvorhabens; Abschnitt A: Datenbank. Hg. v. BMBF. Aachen.

IPCC: 4. IPCC-Bericht Kurzzusammenfassung, zuletzt geprüft am 08.05.2015.

IPCC (2014): Fünfter Sachstandsbericht des IPCC. Synthesebericht. Hg. v. BMUB, BMBF, UBA und De-IPCC. Online verfügbar unter http://www.de-ipcc.de/_media/141102_Kernbotschaften_IPCC_SYR.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2015.

itwh (2015): Kostra-DWD 2000. Version : Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter <http://www.itwh.de/software/software-produkte/produkt-detailansicht/kostra-dwd-2000-dach.html>.

Jeskulke, Michael; Laschet, Udo; Ioannis, Papadakis; Plexnies, Stefan; Quirmbach, Markus (2014): Verfahrensansatz zur Ermittlung und Bewertung von Überflutungsgefahren in großen Einzugsgebieten im Rahmen der Überflutungsprüfung gemäß DIN EN 752. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 61 (6), S. 511–517.

- Krieger, Klaus; Fröbe, Katja (2014): Erfahrungen mit dem ersten Hamburger Regenspielplatz. Workshop zur kommunalen Querschnittsaufgabe Überflutungsvorsorge. Hamburg Wasser. Wuppertal, 15.05.2014, zuletzt geprüft am 09.07.2015.
- Krieger, Klaus; Schmitt, Theo G. (2015): Möglichkeiten der Risikokommunikation im Rahmen eines präventiven Risikomanagements für Starkregen und urbane Sturzfluten. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (2), S. 145–149.
- LfU (2009): Merkblatt Nr. 4.3/3 Bemessung von Misch- und Regenwasserkanälen. Teil 1: Klimawandel und möglicher Anpassungsbedarf. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/doc/nr_433_teil1.pdf.
- Malitz, Gabriele (2015): Extremwertstatistisch ermittelte Starkniederschlagshöhen auf der Basis von Messwerten aus dem Zeitraum 1951 bis 2010. Ausblick auf KOSTRA-DWD-2010. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 8 (2), S. 79–80.
- Mann, Gunter; Klinger, Tobias (2015): Regenwassermanagement auf dem (begrünten) Dach. In: *fbr-wasserspiegel* 2015 (3), S. 22–24.
- Müller, Manfred (2014): Starkregenereignisse machen mittelfristig ein Umdenken notwendig. In: RWTH Aachen (Hg.): Aachener Schriften zur Stadtentwässerung. Band 18, Tagungsband. 15. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium am 01./02.10.2014.
- Pfister, Angela; Treis, Adrian; Teichgräber, Burkhard (2015): Der Einsatz von Radardaten für wasserwirtschaftliche Zwecke bei Emscher-genossenschaft und Lippeverband. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 8 (2), S. 115–124.
- Quirmbach, M.; Schultz, G. A. (2002): Comparison of rain gauge and radar data as input to an urban rain-fall-runoff model. In: *Water Science & Technology* 02 (45).
- RESCDAM (2000): The use of physical models in dam-break flood analysis. Helsinki University of Technology.
- Rohde, Sophia; Müller, Hannes; Schroeder, Kai; Kuchenbecker, Andreas; Haberlandt, Uwe (2015): Mit SYNOPSE auf Starkregen und urbane Sturzfluten vorbereiten. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (2), S. 100–101.
- Rother, Karl-Heinz (2014): Zur Abschätzung des Restrisikos hinter Hochwasserschutzanlagen unter sich verändernden gesellschaftlichen Randbedingungen. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 7 (11), S. 659–666.
- Ruiz Rodriguez + Zeisler + Blank, GbR (2010): Hochwasserschutzfibel. Objektschutz und bauliche Vorsorge. 3. Aufl. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Online verfügbar unter <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Sonderveroeffentlichungen/2010/Hochwasserschutzfibel.html>.
- RWTH Aachen (Hg.) (2014): Aachener Schriften zur Stadtentwässerung. Band 18, Tagungsband. 15. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium am 01./02.10.2014.
- Schaardt, Volker (2013): Vergleich hydrologischer und hydrodynamischer Kanalnetzberechnungen und Konsequenzen für die praktische Anwendung. Aachen: Shaker (Mitteilungen / Institut für Wasserwesen, 2012,14).
- Scheibel, Marc (2013): Starkregen und urbane Sturzfluten. Wupperverband. Online verfügbar unter [http://www.wupperverband.de/internet/mediendb.nsf/gfx/MED_IWER-99BEVQ_3C2268/\\$file/12_16Symp_Gebietsforum_Scheibel_Symposium_15.05.13_dz.pdf](http://www.wupperverband.de/internet/mediendb.nsf/gfx/MED_IWER-99BEVQ_3C2268/$file/12_16Symp_Gebietsforum_Scheibel_Symposium_15.05.13_dz.pdf), zuletzt geprüft am 02.04.2015.
- Schmitt, Theo G. (1996): Probleme der Überstau- und Überflutungshäufigkeit. In: ATV (Hg.): ATV Bundestagung, Bd. 4. ATV-Bundestagung. Leipzig, 14.-17.10. (ATV-Schriftenreihe, 4), S. 5–20.
- Schmitt, Theo G. (2011): Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen. Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz? In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 58 (1), S. 40–49.

- Schmitt, Theo G. (2015): Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge. Werkstattbericht zum Merkblatt DWA-M 119. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (2), S. 114–120.
- Schmitt et al. (2004): Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bestehender Entwässerungssysteme. ATV-Arbeitsgruppe ES 2.1. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 51 (1), S. 69–76.
- Schrader, Meeno (2015): Und jetzt ... das Wetter von morgen. Vortrag auf dem ACO Tiefbau Fachseminar REGENWELTEN am 05. März 2015.
- Sieber, Hans-Ulrich (2014): Anpassungsstrategien für Stauanlagen an den Klimawandel. Eine Ergebniszusammenfassung aus den DWA-Themen T2/2014. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 7 (11), S. 625–629.
- Stokman, Antje; Hoppe, Holger; Massing, Christian; Brenne, Fabian; Deister, Lisa (2015): Starkregenereignisse als Motor einer wassersensitiven Stadtentwicklung. In: *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (2), S. 122–129.
- Thimet, Juliane; Günthert, F. Wolfgang (2014): Abwasserbeseitigung. Technik und Recht. 1., neue Ausg. Wiesbaden: Kommunal- und Schul-Verlag Wiesbaden (Praxisreihe des Bayerischen Gemeindetags, 6).
- van Dillen, Anette; Schwarz, Katharina (2014): Den Flüssen mehr Raum geben. UMK beschließt Nationales Hochwasserschutzprogramm. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 7 (11), S. 624.
- Walkenhorst, Oliver; Stock, Manfred (2009): Regionale Klimaszenarien für Deutschland. Eine Leseanleitung. Hannover, zuletzt geprüft am 08.05.2015.
- Wernecke, Gabriele; Henschel, Frank; Luberichs, Martin (2014): Überflutungsvorsorge - Projektbeispiele aus Siegburg. In: RWTH Aachen (Hg.): Aachener Schriften zur Stadtentwässerung. Band 18, Tagungsband. 15. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium am 01./02.10.2014.
- Yörük, Alpaslan; Buchholz, Oliver (2014): Einsatz eines 2D-hydrodynamischen Modells zur Berechnung von Überflutungsfläche. Empfehlung und Werkzeuge zur Qualitätssicherung. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 7 (11), S. 635.

Anhang**Anhang 1 - Begriffsdefinitionen**

Im Folgenden sind Begriffsdefinitionen aus verschiedenen Quellen dargestellt, um auch dem nicht so fachkundigen Leser Hilfestellung beim Verständnis der z.T. auch unterschiedlich gebrauchten Begriffe zu geben.

Abwasser (§ 54 Abs. 1 WHG): WHG

„das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte Wasser und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließende Wasser (Niederschlagswasser)“.

Bauvorsorge (DWA): (DWA 2010, S. 9)

„Alle Maßnahmen der Hochwasservorsorge, die durch die bauliche Gestaltung und die Auswahl der Materialien, sowie durch die Gestaltung von Nutzungen auf die Minderung von Schadenspotenzialen und Schäden Einfluss nehmen“.

Flächenvorsorge (DWA): (DWA 2010, S. 9)

„Alle Maßnahmen der Hochwasservorsorge, die über die Flächennutzung auf die Minderung von Schadenspotenzialen und Schäden Einfluss nehmen“.

Flusshochwasser (DWA): (DWA 2010, S. 9)

„Hochwasser aus einem über die Ufer tretenden Gewässer infolge andauernder Überregnung und/oder Schneeschmelze in großen Teilen des Einzugsgebietes“.

Hochwasser (EU): (EU 2007, S. 3)

„zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist. Diese umfasst Überflutungen durch Flüsse, Gebirgsbäche, zeitweise ausgesetzte Wasserströme im Mittelmeerraum sowie durch in Küstengebiete eindringendes Meerwasser; Überflutungen aus Abwassersystemen können ausgenommen werden“.

Hochwassergefahrenkarten (EU): (EU 2007, S. 4–5)

„erfassen die geografischen Gebiete, die nach folgenden Szenarien überflutet werden könnten:

- a) Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder Szenarien für Extremereignisse;
- b) Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (voraussichtliches Wiederkehrintervall ≥ 100 Jahre);
- c) gegebenenfalls Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit.

Für jedes [...] genannte Szenario ist Folgendes anzugeben:

- a) Ausmaß der Überflutung;
- b) Wassertiefe bzw. gegebenenfalls Wasserstand;

c) gegebenenfalls Fließgeschwindigkeit oder relevanter Wasserabfluss“

Hochwasserrisiko (EU): (EU 2007, S. 3)

„Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Hochwasserereignisses und der hochwasserbedingten potenziellen nachteiligen Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten“.

Hochwasserrisikokarten (EU): (EU 2007, S. 4–5)

„verzeichnen potenzielle hochwasserbedingte nachteilige Auswirkungen [...], die anzugeben sind als:

- a) Anzahl der potenziell betroffenen Einwohner (Orientierungswert);
- b) Art der wirtschaftlichen Tätigkeiten in dem potenziell betroffenen Gebiet;
- c) Anlagen gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (1), die im Falle der Überflutung unbeabsichtigte Umweltverschmutzungen verursachen könnten, und potenziell betroffene Schutzgebiete gemäß Anhang IV Nummer 1 Ziffern i, iii und v der Richtlinie 2000/60/EG;
- d) weitere Informationen, die der Mitgliedstaat als nützlich betrachtet, etwa die Angabe von Gebieten, in denen Hochwasser mit einem hohen Gehalt an mitgeführten Sedimenten sowie Schutt mitführende Hochwasser auftreten können, und Informationen über andere bedeutende Verschmutzungsquellen“.

Hochwasservorsorge (DWA): (DWA 2010, S. 9)

„Alle Maßnahmen und Strategien, die in Ergänzung zum technischen Hochwasserschutz in Form von Deichen, Schutzmauern und Hochwasserrückhaltung geeignet sind, Hochwasserschäden zu mindern“.

Informationsvorsorge (DWA): (DWA 2010, S. 9)

„Alle Maßnahmen der Hochwasservorhersage und der Hochwasserwarnung“.

Jährlichkeit: (Baumgarten et al. 2011)

„Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Hochwasserereignisses mit dazugehörigem Wasserstand und Wassermenge“.

Klima (gemeingültig): (Schrader 2015)

"Wetter" gemittelt über einen sehr langen Zeitraum, z.B. 30 Jahre.

Klimamodell:

Dient zur Berechnung und Projektion des Klimas in einem bestimmten Zeitabschnitt.

KOSTRA-Atlas (itwh 2015)

„KOordinierte-Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen“. Bibliothek von gebietsspezifischen Regenspenden zur Bemessung von Regen beeinflusster Systeme. Wird regelmäßig aktualisiert.

Konvektiver Niederschlag: (DWD 2005)

„Kurz andauerndes Niederschlagsereignis (unter einer Stunde) mit meist hoher, manchmal schnell wechselnder Niederschlagsintensität und eng begrenztem Niederschlagsfeld (i. d. R. kleiner als 10 km²)“. Entstehung durch starke vertikale Luftbewegungen infolge hoher Temperaturen.

Natürlicher Wasserrückhalt (DWA): (DWA 2010, S. 9)

„Alle Maßnahmen zur Verbesserung der natürlichen Wasserrückhaltung auf forst- und landwirtschaftlichen Flächen sowie in Siedlungsgebieten und zur Wiedergewinnung von Überschwemmungsgebieten entlang der Gewässer“.

Niederschlag (DWD): (DWD 2005)

„Ausscheidung von Wasser aus der Atmosphäre im flüssigen und/oder festen Aggregatzustand, die man am Erdboden messen oder beobachten kann. Dabei wird unterschieden zwischen fallenden (z.B. Regen), aufgewirbelten (z.B. Schneetreiben), abgelagerten (z.B. Schneedecke) und abgesetzten (z.B. Reif) Niederschlägen. Die fallenden Niederschläge sind definiert als das Ausscheiden von Wasser aus Wolken, das den Erdboden in flüssiger und/oder fester Form erreicht. Arten der fallenden Niederschläge: Sprühregen, Regen, gefrierender Regen, gefrierender Sprühregen, Eisregen, Schnee, Schneegriesel, Eisnadeln, Diamantstaub, Polarschnee, Eiskörner Reifgraupel, Frostgraupel, Hagel“.

Niederschlagsereignis (DWD): (DWD 2005)

„Natürlich gegebenes oder je nach Betrachtung festzulegendes Niederschlagsgeschehen, charakterisiert durch Niederschlagsart, Niederschlagsdauer, Niederschlagsverlauf und räumliche Verteilung an der Erdoberfläche“.

Niederschlagshöhe (DWD): (DWD 2005)

„gibt an, wie hoch flüssiger Niederschlag eine horizontale Erdbodenfläche in einer Betrachtungszeitspanne bedecken würde, wenn nichts von dieser Fläche abfließen, verdunsten oder versickern könnte. Die Messgenauigkeit beträgt Zehntel Millimeter. Wird z.B. eine Niederschlagshöhe von 1 mm gemessen, so entspricht dieser Wert einer Niederschlagsmenge von 1 Liter pro Quadratmeter. Fester Niederschlag wird zur Angabe der Niederschlagshöhe geschmolzen, um danach die Wasserhöhe zu messen“.

Niederschlagsintensität (DWD): (DWD 2005)

	Niederschlagshöhe in 60 min	Niederschlagshöhe in 10 min
Leichter Regen	< 2,5 mm	< 0,5 mm
Mäßiger Regen	≥ 2,5 mm und < 10 mm	≥ 0,5 mm und < 1,7 mm
Starker Regen	≥ 10 mm	≥ 1,7 mm
Sehr starker Regen	≥ 50 mm	≥ 8,3 mm

Niederschlagsspende (DWD): (DWD 2005)

„Volumen des in einer bestimmten Zeitspanne auf eine bestimmte Fläche gefallenen Niederschlags, dividiert durch das Produkt aus dieser Zeitspanne und dieser Fläche (angegeben in l/(s·ha))“.

Niederschlagswahrscheinlichkeit (DWD): (DWD 2005)

„Bei der Ermittlung der Niederschlagswahrscheinlichkeit wird auf vergleichbare Fälle, bzw. Wetterlagen aus der Vergangenheit zurückgegriffen, d.h., eine Aussage: "Morgen ist (an einem bestimmten Ort) mit einer Niederschlagswahrscheinlichkeit von 80% zu rechnen" ist so zu interpretieren, dass es in 8 von 10 Fällen (Tagen) bei der (für "morgen") prognostizierten Wetterlage am betreffenden Ort geregnet hat. Es ist damit **n i c h t** ausgesagt, dass 80% des Zeitraumes des ("morgigen") Tages verregnet sein werden und auch nicht, wie viel es regnen soll. Eine solche Wahrscheinlichkeitsaussage kann jedoch mit quantitativen Angaben verknüpft werden, d.h. eine Aussage: "Morgen ist (an einem bestimmten Ort) mit einer Wahrscheinlichkeit von 20% damit zu rechnen, dass mehr als 5 l/m² Niederschlag fallen" bedeutet, dass es in 2 von 10 Fällen (Tagen) bei der (für "morgen") prognostizierten Wetterlage am betreffenden Ort vorgekommen ist, dass mehr als 5 l/m² Niederschlag gefallen sind“.

Risiko:

Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und dessen nachteiligen Auswirkungen (vgl. „Hochwasser Risiko“).

Schadenspotenzial (gemeingültige Bedeutung): (Baumgarten et al. 2011)

mit zunehmender Einengung der natürlichen Läufe und Ausuferungsbereiche von Gewässern und gleichzeitig teuren Baumaßnahmen für Wohnhäuser, Industrie und Verkehr nehmen die Schadenssummen im Falle eines Überflutungsereignisses zu. Der Umfang für potenzielle Schäden (Schadenspotenzial) steigt.

Starkregen (DWD): (DWD 2005)

„Von Starkregen spricht man bei großen Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit. Er fällt meist aus konvektiver Bewölkung (z.B. Cumulonimbuswolken). Starkregen kann zu schnell ansteigenden Wasserständen und (bzw. oder) zu Überschwemmungen führen, häufig einhergehend mit Boden-

erosion. Der DWD warnt deswegen vor Starkregen in 2 Stufen (wenn voraussichtlich folgende Schwellenwerte überschritten werden):

Regenmengen ≥ 10 mm / 1 Std. oder ≥ 20 mm / 6 Std. (Markante Wetterwarnung)

Regenmengen ≥ 25 mm / 1 Std. oder ≥ 35 mm / 6 Std. (Unwetterwarnung)".

Sturzflut (DWA): (DWA 2010, S. 9)

„Lokales extremes Hochwasser infolge hoher, zeitlich und räumlich eng begrenzter Niederschläge, wobei es ohne nennenswerte Vorwarnzeit zu unkontrolliertem Oberflächenabfluss kommen kann und kleinste Gewässerläufe zu reißenden Fluten werden".

Verhaltensvorsorge (DWA): (DWA 2010, S. 9)

„Alle Strategien und Maßnahmen, die über das Verhalten in Vorbereitung auf das Hochwasser und während des Hochwassers selbst auf die Minderung von Schadenspotenzialen und Schäden Einfluss nehmen".

Wetter (gemeingültig): (Schrader 2015)

Ist-Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem Ort, d.h. was wir an Auswirkungen direkt abbekommen.

Anhang 2 – Mittlere Abflussbeiwerte

TABELLE 2 EMPFOHLENE MITTLERE ABFLUSSBEIWERTE ψ_m VON EINZUGSGEBIETSFLÄCHEN FÜR BERECHNUNGEN (NACH DWA (2007))

Flächentyp	Art der Befestigung	ψ_m
Schrägdach	Ziegel, Dachpappe	0,8-1,0
Straßen, Wege und Plätze (flach)	Asphalt, fugenloser Beton	0,9
	Rasengittersteine	0,15
Böschungen, Bankette und Gräben mit Regenabfluss in das Entwässerungssystem	Kies- und Sandboden	0,3
Gärten, Wiesen und Kulturland mit möglichem Regenabfluss in das Entwässerungssystem	Flaches Gelände	0,0-0,1
	Steiles Gelände	0,1-0,3

Anhang 3 - Bemessungsregenhäufigkeiten

TABELLE 3: EMPFOHLENE BEMESSUNGSREGENHÄUFIGKEITEN BEI EINFACHEN BEMESSUNGSVERFAHREN (DIN EN 752)

Ort	Bemessungsregenhäufigkeiten	
	Jährlichkeit (1-mal in „n“ Jahren)	Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in 1 Jahr
Ländliche Gebiete	1 in 1	100 %
Wohngebiete	1 in 2	50 %
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	1 in 5	20 %
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 10	10 %

Anhang 4 - Überflutungshäufigkeiten

TABELLE 4: ÜBERFLUTUNGSNACHWEIS FÜR KOMPLEXE VERFAHREN (DIN EN 752)

Ort	Überflutungshäufigkeiten	
	Jährlichkeit (1-mal in „n“ Jahren)	Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in 1 Jahr
Ländliche Gebiete	1 in 10	10 %
Wohngebiete	1 in 20	5 %
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	1 in 30	3 %
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 50	2 %

Anhang 5 – Festsetzungsmöglichkeiten nach BGB

Auszüge aus den Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan zur Anpassung an urbane Sturzfluten nach BauGB (Brenner et al. 2013)

Festsetzung (§ 9 Abs. 1 BauGB) Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden:	Bezug zur Anpassung an den Klimawandel	Bezug zu den StadtKlimaExWoSt- Expertisen	Anwendungsmöglichkeiten im Rahmen	
			der Modellvorhaben	von externen Beispielen
1. die Art und das Maß der baulichen Nutzung	Begrenzung der Verdichtung zur Vermeidung von Überwärmung	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumente" (BBSR- Online-Publikation 24/2009) Diskussion verschiedener Leitbilder: Expertise "Leitbilder" (BBSR-Online- Publikation 24/2009) Einfacher Bebauungsplan: Expertise "Flexibilisierung der Planung für eine Klimaangepasste Stadtentwicklung — Verfahren, Instrumente und Methoden für anpassungsflexible Raum- und Siedlungsstrukturen "	Essen: Cool-City-Szenario Nachbarschafts- verband Karlsruhe: alternative Planentwürfe Nürnberg: Neuerschließung Gelände Weststadt Regensburg: Thematisierung in der historischen Altstadt; Problem: Bestand Weltkulturerbe Saarbrücken: Strategie zur Anpassung an Hitze	DWD-Stadtklima- Projekte Köln und Frankfurt z. B. Klima- wandelgerechte Metropole Köln. Abschlussbericht. Kap 5.1 Human- bioklimatische Bewertung für den Gestaltungs- plan eines Teils des Großmarkt- geländes in Köln. LANUV- Fachbericht 50
	Wasserrückhalt durch flächensparende Festsetzungen mit niedrigem Versiegelungsgrad	Langfristige Umbaukonzepte im Bestand: Expertise "Alles im Wandel: Demografische und klimatische Veränderungen im Kontext der integrierten Stadtentwicklung" Festsetzungs- möglichkeiten Hochwasserschutz: "Flexibilisierung der Planung für eine Klimaangepasste Stadtentwicklung — Verfahren, Instrumente und Methoden für anpassungsflexible Raum- und Siedlungsstrukturen"	Städteregion Aachen: Hochwasser Kategorie in Verwundbarkeits- Check Bad Liebenwerda: Öffnung von historischen Gräben in der Innenstadt Saarbrücken: Flussbett des Fischbachs im Stadtteil Rußhütte Syke: Umgang mit Extremwetter- ereignissen	Kommunen im Verbandsgebiet der Emscher- genossenschaft (15% des Niederschlags- wassers dezentral versickern)

2. die Bauweise, die über- baubaren und die nicht überbaubaren Grundstücks- flächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen	Durchlüftungs- optimierte Stellung baulicher Anlagen bzw. Begrenzung der Verdichtung durch Festlegung nicht überbaubarer Grundstücksflächen	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumente" (BBSR- Online-Publikation 24/2009) Synergien und Konflikte von Anpassungs- und z. T. Klimaschutz- maßnahmen: Stadtklimalotse (www.stadtklima- lotse.de; klimastadtraum.de)	Essen: Krupp-Park Nachbarschafts- verband Karlsruhe: alternative Planentwürfe	In verschiedenen Städten im Zusammenhang mit Klimaschutz (Südausrichtung PV-Anlagen, Sonnen- einstrahlung), aber Konflikt mit Anpassung möglich
4. die Flächen für Neben-anlagen, die auf Grund anderer Vorschriften für die Nutzung von Grundstücken erforderlich sind, wie Spiel-, Freizeit- und Erholungsflächen sowie die Flächen für Stellplätze und Garagen mit ihren Einfahrten	Flächen für Nebenanlagen die aufgrund anderer Vorschriften errichtet werden müssen sind festsetzbar. Somit kann eine unkontrollierte Flächenversiegelung vermieden werden und damit der Erwärmung sowie dem Oberflächenabfluss bei Starkregen entgegengewirkt werden.	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumente" (BBSR- Online-Publikation 24/2009) Langfristige Umbaukonzepte im Bestand: Expertise "Alles im Wandel: Demografische und klimatische Veränderungen im Kontext der integrierten Stadtentwicklung"	Essen: Cool-City-Konzept, Ausbildung von grünen Korridoren Nachbarschafts- verband Karlsruhe: alternative Plan- entwürfe Nürnberg: Neuerschließung des Quelle Areal in der Nürnberger Weststadt	-

5. die Flächen für den Gemeinbedarf sowie für Sport- und Spielanlagen	In überschwemmungs- bedrohten Arealen ist nur schadensresistente Nutzung zu planen. Diese sind ggf. multifunktional für Notentwässerung nutzbar zu machen.	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumente" (BBSR- Online-Publikation 24/2009) Langfristige Umbaukonzepte im Bestand: Expertise "Alles im Wandel: Demografische und klimatische Veränderungen im Kontext der integrierten Stadtentwicklung"	Saarbrücken: Neubaugebiet Franzenbrunnen Syke: Parkplatz der Kreissparkasse	-
---	---	---	--	---

9. der besondere Nutzungszweck von Flächen	Sinnvoll, wenn etwa Parkplätze, Freiflächen, Grünflächen etc. zur (Zwischen-) Speicherung von Extremniederschlag dienen sollen	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumente" (BBSR- Online-Publikation 24/2009) Multifunktionale Nutzungen: Expertise "Flexibilisierung der Planung für eine Klimaangepasste Stadtentwicklung – Verfahren, Instrumente und Methoden für anpassungsflexible Raum- und Siedlungsstrukturen"	StädteRegion Aachen: Qualitative Betroffenheits- analyse Niederschlag (Gebiet Eschweiler Königsbenden); Qualitative Betroffenheits- analyse Niederschlag (Gebiet Stolberg Finkensief) Saarbrücken: Neubaugebiet Franzenbrunnen Syke: Parkplatz der Kreissparkasse	Hamburg: Regenwasser- bewirtschaftungs- konzepte Wohn- park Trabrenn- bahn Farmsen. Gemeinde Hoppegarten: Regenwasser- konzept für den Ortsteil Hönow Potsdam: Regenrückhalte- und Versickerungs- becken Gartenstadt Bornstedter Feld u. a. m.
---	--	---	--	--

12. die Versorgungsflächen, einschließlich der Flächen für Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung	Standorte sind entweder hochwassersicher (insbesondere gegenüber Sturzfluten) zu planen oder es ist für geeigneten Objektschutz (z. B. Kapselung) zu sorgen	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumente" (BBSR-Online-Publikation 24/2009) Bewertung und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen im Vergleich zu anderen Änderungsprozessen: Expertise "Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen – Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung" (BMVBS-Online-Publikation 11/13) Expertisen "Klimawandelgerechte Stadtentwicklung" (Förderprogramme z. B. Förderung von Klimaschutzkonzepten) "Ex-Post-Analyse kommunaler Klimaschutzkonzepte" (BBSR-Online-Publikation 11/2010)	StädteRegion Aachen: Versorgung Gewerbegebiete Essen: Aufsatteln der Anpassungsstrategie auf das Integrierte Energie- und Klimakonzept Nachbarschaftsverband Karlsruhe: (Entwurfprinzipien und Maßnahmen berücksichtigen Klimaschutz)	-
--	---	--	---	---

14. die Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser, sowie für Ablagerungen	Die Beseitigung der Niederschläge umfasst das Sammeln, Fortleiten, Einleiten, Versickern, Verregnen und Verrieseln des Abwassers im Sinne des § 18 a WHG, sofern eine gesonderte Behandlung sowie Klärschlamm nicht anfallen Die Festsetzung gemäß Nr. 14 bezieht sich auf die Flächen für Einrichtungen der Rückhaltung und Versickerung von aus Niederschlägen stammendem Wasser, nicht jedoch auf die Maßnahme selbst Zur Beseitigung von Niederschlagswasser in einem Baugebiet kann aber nach § 9 Abs. 1 Nr. 14, 15 und 20 BauGB ein dezentrales System privater Versickerungsmulden und Grünflächen festgesetzt werden (bebauungsplanerische Festsetzung gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 14, 15 und 20 BauGB beinhalten keine unmittelbare Verpflichtung der Grundeigentümer Mulden anzulegen und dauerhaft zu unterhalten)	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumente" (BBSR-Online-Publikation 24/2009) Festsetzungsmöglichkeiten Hochwasserschutz: Expertise "Flexibilisierung der Planung für eine Klimaangepasste Stadtentwicklung – Verfahren, Instrumente und Methoden für anpassungsflexible Raum- und Siedlungsstrukturen"	StädteRegion Aachen: Hochwasser Kategorie in Verwundbarkeits-Check Syke: Umgang mit Extremwetterereignissen	Kommunen im Verbandsgebiet der Emscher-genossenschaft: Ziel: 15% des Niederschlagswassers dezentral versickern Ostfildern: Scharnhorster Park
--	---	--	---	---

16. die Wasserflächen sowie die Flächen für die Wasserwirtschaft für Hochwasser- schutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses	Beinhaltet Maßnahmen des aktiven Hochwasserschutzes (Deiche, Dämme) sowie Flächen für Maßnahmen der Hochwasservorsorge (Sicherung eines Überflutungsbereichs) Ermöglicht der Kommune eine eigenständige städtebauliche Regelung, deren Inhalt gleichwohl Gegenstand einer gemäß §§ 7 und 38 BauGB vorrangigen fachgesetzlichen Planung sein kann Bedeutend für Wasserflächen, die keine wesentliche wasserverkehrliche oder wasserwirtschaftliche Bedeutung besitzen, aber für das Lokalklima große Bedeutung haben können, um Überwärmung vorzubeugen	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumente" (BBSR- Online-Publikation 24/2009)	StädteRegion Aachen, Jena, Syke: Hochwasser in Anpassungs- strategie thematisiert Bad Liebenwerda: Öffnung von Stadtgräben; Umsetzung über Landschaftsplan	KlimaMORO: Oberes Elbtal / Osterzgebirge
---	--	---	---	--

24. die von der Bebauung freizuhaltenen Schutzflächen und ihre Nutzung [...]	Solche Schutzflächen können auch vor klimabeeinflussten Extremereignissen schützen (Sturzfluten, Rutschungen, Lawinen etc.) Die freizuhaltenen Flächen können als natürlicher Überschwemmungs- raum bzw. als unversiegelte Fläche den Wasserrückhalt in der Fläche gewährleisten und den Klimakomfort verbessern	Überblick bestehende Instrumente: Expertise "Rolle der bestehenden planerischen und rechtlichen Instrumenten" (BBSR- Online-Publikation 24/2009)	StädteRegion Aachen: Hochwasser Kategorie in Verwundbarkeits- Check Bad Liebenwerda: Öffnung Stadtgräben Saarbrücken: Resiliente Strukturen für Hochwasserschutz	KlimaMORO: "KlimaNeu" Landkreis Neumarkt
--	---	---	--	---

Anhang 6 - Fotodokumentation

Fotodokumentation von Starkregenereignissen



ABBILDUNG 38: EXTREMNIEDERSCHLAG IN DORTMUND VOM 26.06.2008 (FOTO: ERHARDT 2008 IN GRÜNEWALD (2009))



ABBILDUNG 39: ÜBERFLUTUNG GEWERBEGEBIET BAIERSDORF BEI FORCHHEIM (FOTO FREIWILLIGE FEUERWEHR STADT BAIERSDORF (BRUNNER 2008))



ABBILDUNG 40 AUSWIRKUNGEN EINER STURZFLUT IM INNENSTADTBEREICH (FOTO: WUPPERVERBAND (SCHEIBEL 2013))



ABBILDUNG 41: ÜBERLASTETE ABLAUFRINNE INFOLGE EINES STARKREGEN-EREIGNISSES (FOTO: WUPPERVERBAND (SCHEIBEL 2013))



ABBILDUNG 42: ÜBERFLUTETER VERKEHRSRAUM NACH EINEM STARKREGEN-EREIGNIS (FOTO: WUPPERVERBAND (SCHEIBEL 2013))



ABBILDUNG 43: ÜBERFLUTETE LANDSTRASSE WÄHREND EINES STARKREGEN-EREIGNISSES (FOTO: DEUTSCHER WETTERDIENST (BECKER 2014))



ABBILDUNG 44: ÜBERFLUTUNG DER UNTERFÜHRUNG VERDISTRAßE IN MÜNCHEN 2011 ©
(FOTO: STADTENTWÄSSERUNG MÜNCHEN)



ABBILDUNG 45: ÜBERFLUTUNG DER UNTERFÜHRUNG VERDISTRAßE IN MÜNCHEN
2011 (FOTO: STADTENTWÄSSERUNG MÜNCHEN)

Fotodokumentation von Gefahrenstellen

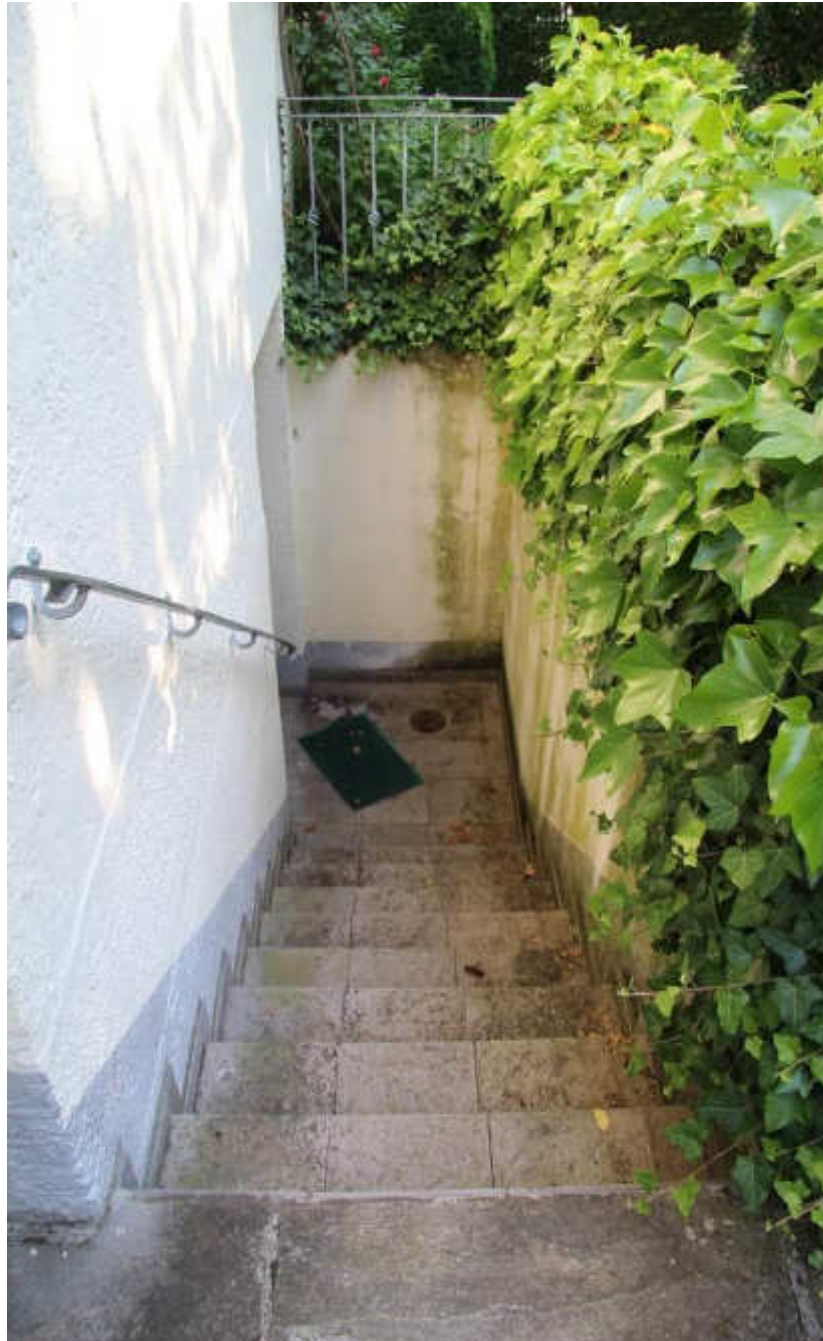


ABBILDUNG 46: GEFAHRENSTELLE KELLERABGANG (FOTO: GÜNTHERT 2015)



ABBILDUNG 47: GEFAHRENSTELLE TIEFGARAGENZUFAHRT (FOTO: GÜNTHERT 2015)

Fotodokumentation von Maßnahmen



ABBILDUNG 48: TERRASSENZUGANG HÖHERGESETZT FÜR ZUSÄTZ-
LICHEN ÜBERFLUTUNGSSCHUTZ (FOTO: GÜNTHERT 2015)



ABBILDUNG 49: HÖHERGESETZTER HAUSEINGANG
(FOTO: GÜNTHERT 2015)



ABBILDUNG 50: GEMAUERTER SCHUTZ GEGEN OBERFLÄCHENWASSER VOR KELLERFENSTER (FOTO: GÜNTHERT 2015)



ABBILDUNG 51: ENTSIEGELTE GARAGENZUFAHRT ZUR VERMINDERUNG UND VERZÖGERUNG DES OBERFLÄCHENABFLUSSES (FOTO: GÜNTHERT 2015)

Bildnachweis

Aco Tiefbau GmbH: Titelseite oben; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: S.20; Deutscher Wetterdienst: S.17/18/91; Dr. Pecher AG S.54; DWA AG ES 2.5: S. 58; Erhardt: S. 89; Freiwillige Feuerwehr Stadt Baiersdorf: S. 89; Funke Kunststoffe GmbH: S. 55; Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH: S. 45; Ingolstädter Kommunalbetriebe: S. 25; IPCC: S. 16; Initiative Verantwortung Wasser und Umwelt des BDB e.V. (Vorlage: LfU): S. 27; Initiative Verantwortung Wasser und Umwelt des BDB e.V. (Vorlage: Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH et al.): 46/47/48/50/51; Initiative Verantwortung Wasser und Umwelt des BDB e.V. (Vorlage: Universität der Bundeswehr München): S. 21/37/39/53/57/59; Metzner, Tim: S. 23; MEA Water Management GmbH: S.38; Prof. Dr.-Ing.Schmitt, Theo: S.31/32/33; Stadtentwässerung München: S. 43/92; Thimet und Günthert: S. 28/30/65; Wupperverband: S.90/91; alle anderen Abbildungen: Prof. Dr.-Ing. Günthert, F. Wolfgang