

**Grundlagen für die
Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310:**

**Vorkehrungen und Maßnahmen
wegen der Gefahrenquellen
Niederschläge und Hochwasser
(FKZ 3708 49 300)**

Endbericht

Forschungsnehmer: Ingenieurbüro Dr. Köppke GmbH,
Bad Oeynhausen

Autoren: Prof. Dr. Karl-Erich Köppke, Bad Oeynhausen
Dr. Olaf Sterger, EnviaTec GmbH, Berlin

unter Mitwirkung von
Prof. Dr. Manfred Stock,
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.
Bernhard Selbmann, Rödermark

im Auftrag des Umweltbundesamtes

Datum: 05. April 2012

Diese Publikation ist auch als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de/anlagen>
verfügbar.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
D-06844 Dessau-Roßlau

Redaktion: Fachgebiet III 2.3
Roland Fendler

Dessau-Roßlau, April 2012

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Prof. Dr. rer. nat. Karl-Erich Köppke, Ing.-Büro Dr. Köppke Dr.-Ing. Olaf Sterger, EnviaTec GmbH Prof. Dr. Manfred Stock, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung Bernhard Selbmann, Rödermark		8. Abschlussdatum Dezember 2011
		9. Veröffentlichungsdatum April 2012
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Ingenieurbüro Dr. Köppke GmbH Elisabethstr. 31 32545 Bad Oeynhausen		10. UFOPLAN – Nr. 3708 49 300
		11. Seitenzahl 188
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau-Roßlau		12. Literaturangaben 81
		13. Tabellen u. Diagramme 15
		14. Abbildungen 61
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung <p>Zielsetzung des Vorhabens war die Ausarbeitung eines Vorentwurfs für eine Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS), die den Stand der Sicherheitstechnik für die Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser unter Berücksichtigung der Folgen durch den Klimawandel beschreibt. Zur Implementierung des Standes der Technik wurde ein methodisches Vorgehen zur Erkennung und Bewertung der zu betrachtenden Gefahrenquellen (Gefahrenquellenanalyse), der Analyse der Gefahren und Gefährdungen bei Wirksamwerden der Gefahrenquellen einschließlich der Erarbeitung eines Schutzkonzeptes sowie der Betrachtung von Dennoch-Störfällen entwickelt. In Teil 1 des Berichts wird die TRAS vorgestellt. In Teil 2 werden Hinweise und Erläuterungen zur TRAS gegeben, wobei weitergehende Darstellungen in verschiedenen Anhängen gegeben werden.</p>		
17. Schlagwörter Hochwasser, Starkniederschläge, Störfall-Verordnung, Technische Regel für Anlagensicherheit, Klimawandel, Klimafaktor, Anpassung.		
18. Preis	19.	20.

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Prevention and preparedness due to hazards by precipitation and floods.		
5. Author(s), Family Name(s), First Name Prof. Dr. rer. nat. Karl-Erich Köppke, Ing.-Büro Dr. Köppke Dr.-Ing. Olaf Sterger, EnviaTec GmbH Prof. Dr. Manfred Stock, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung Bernhard Selbmann, Rödermark		8. Report Date December 2011
		9. Publication Date April 2012
6. Performing Organisation (Name, Address) Ingenieurbüro Dr. Köppke GmbH Elisabethstr. 31 D-32545 Bad Oeynhausen		10. UFOPLAN – Ref. No. 3708 49 300
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Federal Environment Agency Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau-Roßlau		11. No. of Pages 188
		12. No. of References 81
		13. No. of Tables, Diagr. 15
		14. No. of Figures 61
15. Supplementary Notes		
16. Abstract <p>The aim of the project was the elaboration of a concept for a technical rule for the safety of establishments due to hazards by precipitation and floods in consideration of consequences due to climate change. In order to implement the state of the art a method for identification and evaluation of the considered hazards was developed. Furthermore, it includes the analysis of the relevant hazards and their possible impacts on the establishment, the development of a protection concept and finally the consideration of and preparedness for an incident, which could happen in spite of all prevention measures. Part 1 of this report presents the technical rule. Hints and explanations are given in part 2. Detailed information can be found as annexes.</p>		
17. Keywords flood, precipitation, Major Accidents Ordinance, Technical Rule for Plant Safety, climate change, climate factor, adaptation.		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis:**TRAS 310: Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser:**

1. Präambel.....	5
2. Grundlagen.....	5
3. Anwendungsbereich.....	8
4. Begriffsbestimmungen.....	9
4.1. Überflutung (einschließlich Überschwemmung).....	9
4.2. Gefahrenquelle.....	10
4.3. Umgebungsbedingte Gefahrenquellen.....	10
4.4. Gefahrenquellenanalyse.....	10
4.5. Analyse der Gefahren und Gefährdungen.....	10
4.6. Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs bei Überflutungen.....	10
4.7. Schutzkonzept.....	11
4.8. Schutzziele.....	11
4.9. Störfalleintrittsvoraussetzung.....	12
5. Systematisierung und Aufbau der TRAS.....	12
5.1. Teil A: Gefahrenquellen durch Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang).....	15
5.2. Teil B: Gefahrenquellen durch Grundwasseranstieg.....	18
6. Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse.....	18
7. Detaillierte Gefahrenquellenanalyse.....	20
7.1. Teil A: Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang).....	22
7.1.1. Ermittlung von Informationen über die potenziellen Zuflusswege.....	23
7.1.2. Ermittlung der möglichen Wasserstandshöhe.....	25
7.1.3. Abschätzung der Strömungsgeschwindigkeit.....	27
7.1.4. Abschätzung der Gefährdung durch Treibgut oder Eisgang.....	27
7.2. Teil B: Grundwasseranstieg.....	28
7.3. Berücksichtigung des Klimawandels.....	29
8. Ermittlung der sicherheitsrelevanten, gefährdeten Teile des Betriebsbereichs und der Anlagen.....	30
8.1. Teil A: Ermittlung der durch Überflutung, (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang) gefährdeten Teile von Betriebsbereichen und Anlagen.....	31

8.2.	Teil B: Ermittlung der durch Grundwasseranstieg gefährdeten Teile von Betriebsbereichen und Anlagenteile.....	32
9.	Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen	32
10.	Festlegung von Szenarien und Schutzzielen	33
10.1.	Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut und Eisgang)	34
10.2.	Grundwasseranstieg.....	34
11.	Erarbeitung von Schutzkonzepten für die Szenarien	35
12.	Prüfung der Schutzkonzepte.....	36
13.	Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfälle) und Szenarien für die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung	37
14.	Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen.....	38
14.1.	Störfallauswirkungsbegrenzung bei Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut und Eisgang).....	39
14.2.	Störfallauswirkungsbegrenzung bei Grundwasseranstieg	40
14.3.	Organisatorische Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen	40
15.	Planung für Notfälle, Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung ..	41
15.1.	Planung für Notfälle.....	41
15.2.	Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen	41
15.3.	Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung.....	41
16.	Dokumentation	42
17.	Erfüllung von weiteren Pflichten der StörfallV.....	42
17.1.	Anforderungen an die Instandhaltung von Vorkehrungen (§ 6 Absatz 1 Nummer 1 und 2 StörfallV)	42
17.2.	Informationen und Schulungen der Beschäftigten (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV).....	43
17.3.	Beratung von zuständigen Behörden und Einsatzkräften im Störfall (§ 5 Absatz2 StörfallV)	43
	Anhang I Berücksichtigung des Klimawandels	45
	Abkürzungsverzeichnis:	45

Hinweise und Erläuterungen zur Technischen Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310: Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser	47
Zu Präambel.....	49
Zu Grundlagen.....	49
Zu Anwendungsbereich.....	52
Zu Begriffsbestimmungen.....	52
Zu Systematisierung und Aufbau der TRAS.....	54
Überflutung	55
Anstieg des Grundwassers	56
Hagelschlag und Eissturz	57
Steinschlag und Erdbeben	58
Schnee- und Eislasten	59
Zu Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse	59
Zu Detaillierte Gefahrenquellenanalyse	61
Überflutung (Hochwasser und sonstige Überflutungen).....	62
Anstieg des Grundwassers	65
Zu Berücksichtigung des Klimawandels.....	65
Zu Ermittlung der sicherheitsrelevanten, gefährdeten Teile des Betriebsbereichs und Anlagenteile	68
Zu Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen.....	69
Zu Festlegung von Szenarien und Schutzziele	69
Zu Erarbeitung von Schutzkonzepten für die Szenarien	71
Zu Prüfung der Schutzkonzepte	72
Zu Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfälle) und Szenarien für die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung.....	73
Zu Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen.....	75
Zu Planung für Notfälle, Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, der Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung	75
Zu Dokumentation.....	77
Zu Erfüllung von weiteren Pflichten der StörfallV	77
Anforderungen an die Instandhaltung von Vorkehrungen (§ 6 Absatz 1 Nummer 1, 2 StörfallV)	77

Informationen und Schulung des Personals (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV)	79
Information und Beratung der Gefahrenabwehr zuständigen Behörden und die Einsatzkräfte (Beratungspflicht kräften gemäß § 5 Absatz 2 StörfallV)	82
Anhang 1 Erkenntnisse über die Bedeutung des Klimawandels.....	85
1. Beobachtete Veränderungen des Klimas	85
2. Der Globale Klimawandel.....	89
3. Regionale Klimaszenarien für Deutschland	91
4. Extreme Niederschläge	96
4.1 KOSTRA-DWD-2000.....	99
4.2 Extremes Niederschlags-Abfluss-Ereignis in Dortmund 2008.....	101
4.3 V_b Wetterlagen	102
5. Flusshochwasser.....	103
5.1 Trendermittlung	103
5.2 Veränderungen des Wasserhaushalts nach Einzugsgebieten	110
5.2.1 Hochwasserentwicklung am Hochrhein	110
5.2.2 Hochwasserentwicklung am Oberrhein (Basel-Bingen).....	111
5.2.3 Hochwasserentwicklung am Mittelrhein und Niederrhein.....	111
5.2.4 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Elbe	112
5.2.5 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Donau.....	113
5.2.6 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Weser.....	114
5.2.7 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Ems	114
5.2.8 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Oder	114
6. Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten	115
7 Veränderungen der Schneehöhen.....	119
7.1 Auswirkungen der Schneefallgrenze auf Hochwasserereignisse im Alpenraum	120
7.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Schneesituation in den deutschen Mittelgebirgen.....	121
Anhang 2: Begriffe.....	122
Abflussbeiwert.....	122
Bemessungshochwasser.....	122
Bemessungsregen	122

Dauerniederschlag	122
Bestimmungsgemäßer Betrieb	122
Einstau	123
Eintrittswahrscheinlichkeit	123
Ernste Gefahr	124
Freibord	124
Grundstücksentwässerung	124
Hochwasser	124
Hochwassergefahrenkarten	125
Hochwasserrisikogebiete	126
Hochwasserrisikokarten	126
Hochwasserrisikomanagementpläne	127
Jährlichkeit	128
Kanalisation	128
KOSTRA-DWD 2000	128
Grundhochwasser	128
Regenabfluss	129
Rückstauenebene	129
Rückstaulinie	129
Schauer	129
Sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA)	129
Sicherheitsrelevante Teile des Betriebsbereiches (SRB)	130
Stand der Sicherheitstechnik	130
Störfall	130
Störfallstoffe	130
Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs	131
Sturzflutereignisse	131
Überlastung	131
Überschwemmungsgebiete	131
Überstau	131
Vorfluter	132
Wellenauflauf	132

Anhang 3: Extremwerte des Niederschlags, Zeitbeiwertverfahren / Fließzeitverfahren, SCS-Methode (TR-55) und KALYPSO.....	133
Extremwerte des Niederschlags	133
Zeitbeiwertverfahren / Fließzeitverfahren.....	135
TR-55 des Natural Resource Conservation Service (NRCS).....	139
Berechnungsprogramm KALYPSO.....	144
Anhang 4: Hinweise zur Entwicklung eines Schutzkonzeptes gegen Überflutung.....	147
Stand der Technik zur trockenen Vorsorge	147
Stationäre Maßnahmen	148
Instationäre Maßnahmen	152
Systeme mit permanenten Vorkehrungen.....	153
Sicherheitsnachweise für Systeme mit permanenten Vorkehrungen.....	157
Systeme ohne permanente Vorkehrungen als zusätzliche Maßnahme	159
Stand der Technik zur nassen Vorsorge	161
Anforderungen aufgrund Technischer Regeln für VAUwS- & Flüssiggasanlagen	161
Oberirdische Anlagen in Gebäuden:.....	162
Unterirdische Anlagen im Freien:.....	162
Oberirdische Anlagen im Freien:.....	162
Betriebsbereiche	163
Möglichkeiten der Nachrüstung	165
Nachrüstung durch Maßnahmen zur trockenen Vorsorge	165
Nachrüstung von Anlagen zur nassen Vorsorge.....	166
Anhang 5: Rückstau / Überflutung von Kanalnetzen	167
Anforderungen an Kanalisationsnetze	167
Anhang 6: Beispiel einer Gefahrenquellenanalyse	169
Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse.....	169
Lage des Unternehmens.....	169
Hochwasser 1954 (HHQ).....	171
Schlussfolgerungen der vereinfachten Gefahrenquellenanalyse	171

Detaillierte Gefahrenquellenanalyse	172
Potenzielle Zutrittswege durch Flusshochwasser	172
Potenzieller Zulauf durch Überspülung des Stausedamms (Stark- niederschlag)	176
Möglichkeit des Zulaufs am Wehr durch Treibgut.....	178
Maßnahmen im Flussgebiet.....	179
Anhang 7: Literatur zu Hinweisen und Erläuterungen	183

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ablaufschema zur Optimierung des Schutzkonzeptes (* soweit gemäß § 10 StörfallV gefordert.).....	14
Abbildung 2:	Systematisierung der von Niederschlägen und Sturmfluten ausgelösten Gefahrenquellen	15
Abbildung 3:	Potenzielle Wasserzuflüsse	16
Abbildung 4:	Potenzielle Wasserabflüsse	17
Abbildung 5:	Sicherheitsvorkehrungen und –maßnahmen (Überflutung)	35
Hinweise, Abb. 1:	Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels für einen Pegel in einem Poren- und Kluftwasserleiter über mehrere Jahre.....	65
Hinweise, Abb. 2:	Vorgehensweise zur Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels.....	67
Anhang 1, Abb. 1:	Trends der Häufigkeit von Starkregentagen (>30 mm) im Sommer (Juni-August) für verschiedene Großwetterlagen in Europa mit signifikant ansteigender Anzahl (Fricke et al. 2002).....	85
Anhang 1, Abb. 2:	Zehnjähriges Mittel der Andauer von winterlichen Westwind-Wetterlagen (WZ) und der Hochdruckbrücke BM im Sommer in Europa.....	86
Anhang 1, Abb. 3:	Veränderung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) 2003 (rot) gegenüber 1901 (blau) in Eppenrod (bei Limburg)	87
Anhang 1, Abb. 4:	Trends 1901 bis 2000 der Überschreitungswahrscheinlichkeit des 95%-Perzentilwertes des Niederschlags an 132 Stationen.....	88
Anhang 1, Abb. 5:	Der beobachtete und der in verschiedenen IPCC-SRES-Szenarien geschätzte Anstieg der globalen CO ₂ Emissionen .(Allison et al. 2009).....	90
Anhang 1, Abb. 6:	Globale Erwärmung an der Erdoberfläche in °C (relativ zu 1980 bis 1999) für die Szenarien A2, A1B und B1.....	90
Anhang 1, Abb. 7:	Niederschlagsänderung in Deutschland für die vier Jahreszeiten als Differenz im Jahrzehnt 2046 bis 2055 gegenüber dem Zeitraum 1951 bis 2003.	92
Anhang 1, Abb. 8:	Änderung der Sommerniederschläge nach REMO, CLM, WETTREG und STAR für das A1B-Emissionsszenario.....	94

Anhang 1, Abb. 9: Änderung der Winterniederschläge nach REMO, CLM, WETTREG und STAR für das A1B-Emissionsszenario.....	94
Anhang 1, Abb. 10: Trends bei Starkniederschlägen als Zunahme in % in extremen Quantilen über die betrachteten Zeiträume.....	95
Anhang 1, Abb. 11: Schema des Zusammenhangs zwischen Klimawandel und Schadenspotenzial bei Niederschlagsereignissen (Stock 2006).....	96
Anhang 1, Abb. 12: Diagramm von Niederschlagsintensität (mm/h) und Niederschlagsdauer für verschiedene Niederschlagstypen und Niederschlagsereignisse.....	98
Anhang 1, Abb. 13: Räumliche Verteilung der prozentualen Abweichung von Großwetterlagen bei Starkregenereignissen in Deutschland im Vergleich zu deren Häufigkeit für alle Niederschlagstage.....	100
Anhang 1, Abb. 14: Jahreshöchstabflüsse in m ³ /s am Rhein, Pegel Köln (Jonas et al. 2004).....	104
Anhang 1, Abb. 15: Räumliche Verteilung der Trends in den jährlichen Maximalreihen an 145 Pegeln in Deutschland im Zeitraum 1951-2002.....	105
Anhang 1, Abb. 16: Signifikante Hochwassertrends der Maxima.....	106
Anhang 1, Abb. 17: Zeitreihenvergleich von Andauer Großwetterlage WZ und Abfluss-Jahresmaxima Cochem.....	107
Anhang 1, Abb. 18: Beobachtete Veränderung der momentanen Bemessungswasserstände für das Donaeinzugsgebiet (Schutzlevel) unter Berücksichtigung von internen Korrelationen sowie Nichtstationarität.....	108
Anhang 1, Abb. 19: Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussbildung in der Elbe.....	109
Anhang 1, Abb. 20: Geschätzte Bandbreite des Meeresspiegelanstiegs, von bis zu 140 cm bis zum Jahr 2100 und in den weiteren Jahrhunderten darüber hinaus (Rahmstorf 2007, WBGU 2006).....	116
Anhang 1, Abb. 21: Simulierte Veränderung der Windgeschwindigkeit an der Nordseeküste.....	118
Anhang 1, Abb. 22: Küstengebiete an Nord- und Ostsee die bei verschiedenen Fällen von Deichversagen bei einem Meeresspiegelanstieg von 1m Höhe durch Überflutung bedroht wären (Kropp & Costa 2008, Stock et al. 2009).....	119
Anhang 2, Abb. 1: Skizze zur Erläuterung der Begriffe Einstau, Überflutung, Überlastung und Überstau.....	123

Anhang 3 Abb. 1:	Beispiel zur Extrapolation der Niederschläge für ein Rasterfeld aus dem KOSTRA-Atlas.....	133
Anhang 3 Abb. 2:	PEN Niederschlagshöhen $D = 48 \text{ h}$, $T = 1.000 \text{ a}$	134
Anhang 3 Abb. 3:	PEN Niederschlagshöhen $D = 48 \text{ h}$, $T = 10.000 \text{ a}$	135
Anhang 3 Abb. 4:	Beispiel der Informationen, die mit KOSTRA-DWD bereitgestellt werden (Auszug)	138
Anhang 3 Abb. 5:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluss gemäß TR-55 für unterschiedliche Oberflächentypen (letzteres ausgedrückt durch die Curve Number CN)	141
Anhang 3 Abb. 6:	Sensitivität der Oberflächeneigenschaften in Deutschland für Starkniederschlagsfluten in Abhängigkeit von Bodenart und Landnutzung.	143
Anhang 4 Abb. 1:	Schnittstellen bei der trockenen Vorsorge	148
Anhang 4 Abb. 2:	Rückschlagklappe.....	149
Anhang 4 Abb. 3:	Oberflächen- und Kühlwasserableitung	150
Anhang 4 Abb. 4:	Beispiel eines Dammbalkensystems mit Verankerung in einer Bodenplatte.....	153
Anhang 4 Abb. 5:	Hochwasserschutztor eines Betriebsbereichs	154
Anhang 4 Abb. 6:	Prinzip des aufklappbaren Bürgersteigs	155
Anhang 4 Abb. 7:	Aufklappbare Wand	155
Anhang 4 Abb. 8:	Prinzip der auffahrbaren Wand	156
Anhang 4 Abb. 9:	Glaswandsystem	156
Anhang 4 Abb. 10:	Probleme der geotechnischen Standsicherheit.....	158
Anhang 4 Abb. 11:	Sandsackbedarf in Abhängigkeit von der Schutzhöhe.....	159
Anhang 4 Abb. 12:	Beispiel für ein offenes Behältersystem.....	160
Anhang 4 Abb. 13:	Schlauchsystem.....	160
Anhang 4 Abb. 14:	Beispiel eines Stellwandsystems	161
Anhang 6, Abb. 1:	Luftbild des Unternehmens, aufgenommen in südwestlicher Richtung	169
Anhang 6, Abb. 2:	Lageplan des Unternehmens auf der topografischen Karte (Ausschnitt).....	170
Anhang 6, Abb. 3:	Wasserstand am damaligen Hauptkontor (Juli 1954)	171
Anhang 6, Abb. 4:	Abwasserplan mit Einleitungsstellen.....	172

Anhang 6, Abb. 5:	Sammelschacht vor der Einleitungsstelle K2 mit fernbedienbarer Verschlusseinrichtung und Messsonden für pH-Wert und Temperatur.....	173
Anhang 6, Abb. 6:	Ufermauer mit Anschlussleitung zum Überpumpen durch die Werksfeuerwehr und Handrad zum Bedienen des Verschlusses von K1 (im Hintergrund rechts das Wehr mit Kraftwerk)	174
Anhang 6, Abb. 7:	Überflutungsgebiet auf dem Werksgelände für HQ100	174
Anhang 6, Abb. 8:	Überflutetes Werksgelände bei HHQ	176
Anhang 6, Abb. 9:	Wehr oberhalb des Werksgeländes (Blick in Fließrichtung des Wassers).....	178
Anhang 6, Abb. 10:	Blick auf das Wehr während des Hochwassers von 1954	178
Anhang 6, Abb. 11:	Hochwasserschutz- und -meldeanlagen im Flussgebiet	179

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kriterien für ausgewählte umgebungsbedingte Gefahrenquellen	19
Tabelle 2:	Jährlichkeiten von naturbedingten Ereignissen, wie sie in anderen Rechtsbereichen, Regeln und Datenquellen Anwendung finden	21
Tabelle 3:	Lastannahmen für Treibgut nach BWK - Merkblatt 6	28
Tabelle 4:	Beispiele von Szenarien zur Ermittlung der Voraussetzungen von Störfällen	33
Hinweise, Tab. 1:	Beispiel eines Inspektions- und Wartungsplans.....	78
Hinweise, Tab. 2:	Melderaster zur Kategorisierung und Abgrenzung der Ereignisse.....	82
Anhang 1, Tab 1:	Niederschlagsdaten an der Station Dortmund-Universität am 26.07.2008.....	102
Anhang 1, Tab 2:	Bisherige und mögliche künftige Änderungen von Faktoren, die Sturmflutwasserstände in der Deutschen Bucht ändern können.....	117
Anhang 3, Tab. 1:	Empfohlene Spitzenabflussbeiwerte für unterschiedliche Regen-spenden bei einer Regendauer von 15 min (r15) in Abhängigkeit von der mittleren Geländeneigung IG und dem Befestigungsgrad (für Fließzeitverfahren).....	136
Anhang 3, Tab. 2:	Empfohlene mittlere Abflussbeiwerte von Einzugsgebietsflächen (aus DWA-M 153).....	139
Anhang 3, Tab. 3:	Oberirdischer Abfluss R _{Sur} [mm] für verschiedene Niederschläge P [mm] und CN-Werte	141
Anhang 5, Tab. 1:	Empfohlene Bemessungsregenhäufigkeiten nach DIN EN 752, 2008 bei Verwendung von einfachen Bemessungsverfahren.....	167
Anhang 5, Tab. 2:	Empfohlene Bemessungsregenhäufigkeiten nach DIN EN 752, 2008 bei Verwendung von komplexen Bemessungsverfahren.....	168
Anhang 6, Tab. 1:	Abwassereinleitungsstellen des Werks.....	172
Anhang 6, Tab. 2:	Einzugsgebietsgröße, Entfernung von der Mündung, ausgewählte hydrologische Hauptzahlen, Meldebeginn und Alarmstufen der Pegel 6, 7 (Werkspegel) und 8	181

Vorbemerkung

Im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Vorhaben Nummer 203 48 362, haben Warm und Köppke den Bericht „Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)“ vorgelegt.¹ Ein wichtiges Ergebnis war, dass das Technische Regelwerk den Anforderungen in § 3 Störfall-Verordnung (StörfallV) bezüglich erforderlicher Maßnahmen und Vorkehrungen gegen umgebungsbedingte Gefahrenquellen wie z. B. Niederschläge und Hochwasser nur unzureichend gerecht wird.

Deshalb hat das Umweltbundesamt im UFOPLAN 2008 unter dem Forschungskennzeichen 3708 49 300 ein Forschungsprojekt initiiert, das zum Ziel hat, Vorschläge für eine Konkretisierung der Pflichten von Betreibern von Betriebsbereichen gemäß StörfallV für Gefährdungen zu entwickeln und zu erläutern, die von Niederschlägen und Hochwasser ausgehen können.

Ein erster Vorentwurf für eine Technische Regel Anlagensicherheit (TRAS) „Niederschläge und Hochwasser“ wurde im Frühjahr 2009 im zuständigen Arbeitskreis der Kommission für Anlagensicherheit in Bonn vorgestellt. In den folgenden Monaten wurde in verschiedenen Sitzungen des Arbeitskreises dieser Vorentwurf diskutiert und modifiziert. Der Arbeitskreis war sich einig, dass für eine Gefahrenquellenanalyse natürlicher umgebungsbedingter Gefahrenquellen in der TRAS nur solche Gefahrenquellen berücksichtigt werden, für die praktisch anwendbare Grundlagen verfügbar sind.

Die Gefahrenquellen Erdbeben und Steinschlag wurden daher von weitergehenden Betrachtungen im Rahmen dieser TRAS ausgeschlossen, weil nur in Bayern Informationen zur Verfügung stehen, die im Rahmen einer Gefahrenquellenanalyse herangezogen werden können. Für Hagelschlag gibt es, anders als in der Schweiz, für Deutschland keine belastbaren Grundlagen.

Soweit Gefahrenquellen in der TRAS nicht berücksichtigt sind, bedeutet dies daher nicht, dass solche Gefahrenquellen in Deutschland generell nicht vorkommen können und daher nicht betrachtet werden müssen. Auch diese umgebungsbedingten Gefahrenquellen sind gemäß § 3 StörfallV zu berücksichtigen.

Der Vorentwurf der TRAS „Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser“ wurde von der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) in ihrer 18. Sitzung am 23.02.2011 für die Anhörung der Öffentlichkeit angenommen. Die Öffentlichkeit hatte in der Zeit vom 29.03.2011 bis 29.04.2011

¹ Warm, H.-J.; Köppke, K.-E.: Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen), Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, 2006, FKZ:203 48 362 <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3326.pdf>

Gelegenheit zur Stellungnahme zu diesem Vorentwurf². Über die eingegangenen Korrekturwünsche beriet der AK-Umgebungsbedingte Gefahrenquellen (AK-UG) am 24.05.2011 und die KAS am 29.06.2011.

Nach Anhörung der obersten für Anlagensicherheit zuständigen Landesbehörden durch das BMU vom 05.07. bis 31.08.2011 gemäß § 51a BImSchG schlug die Kommission für Anlagensicherheit in ihrer Sitzung am 03. und 04.11.2011 dem BMU eine überarbeitete Fassung der Technische Regel Anlagensicherheit (TRAS) „Niederschläge und Hochwasser“ zur Bekanntmachung vor.

Die TRAS ist entsprechend dem Erkenntnisfortschritt und mindestens alle fünf Jahre auf Aktualisierungsbedarf zu überprüfen. Dies betrifft insbesondere neuere Erkenntnisse zu den Folgen des Klimawandels sowie die Berücksichtigung weiterer umgebungsbedingter Gefahrenquellen.

In diesem Bericht werden Hinweise und Erläuterungen zur TRAS gegeben. Die Gliederung des Berichts folgt der Gliederung der TRAS.

In den Anhängen befinden sich weitergehende Informationen einschließlich der Ergebnisse des durchgeführten Tests des zentralen Elementes der TRAS - der Gefahrenquellenanalyse.

Als Navigationshilfe für den Leser dienen Hyperlinks am Anfang eines jeden Kapitels im Bericht und in dem TRAS-Vorentwurf, die das Hin- und Herspringen zwischen den inhaltlich zusammengehörenden Abschnitten ermöglichen.

Hyperlink zum jeweils zugehörigen Kapitel des Berichts

Hyperlink zum jeweils zugehörigen Kapitel der TRAS

TRAS  Bericht

TRAS  Bericht

² Bundesanzeiger 49 (2011) S. 1149 vom 29. März 2011

Technische Regel für Anlagensicherheit 310:

Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser

gemäß Beschluss der Kommission für Anlagensicherheit vom 03. und 04.11.11
nach Anhörung der Öffentlichkeit und der obersten zuständigen Landesbehörden

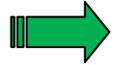
Diese TRAS dient der Konkretisierung der Eigenverantwortung von Betreibern von Betriebsbereichen aufgrund der Störfall-Verordnung (StörfallV) und von Anlagen aufgrund des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG). Bei ihrer Anwendung sind Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und der Wassergesetze der Länder ergänzend zu beachten. Dies gilt insbesondere hinsichtlich Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen gemäß den §§ 62 und 63 WHG und in Überschwemmungsgebieten gemäß § 78 WHG. Betreibern wird weiter empfohlen, die Beteiligungsmöglichkeiten gemäß § 79 WHG bei der Aufstellung, Überprüfung und Aktualisierung von (Hochwasser-)Risikomanagementplänen zu nutzen.

Inhaltsverzeichnis

1. Präambel.....	5
2. Grundlagen.....	5
3. Anwendungsbereich.....	8
4. Begriffsbestimmungen	9
4.1. Überflutung (einschließlich Überschwemmung).....	9
4.2. Gefahrenquelle.....	10
4.3. Umgebungsbedingte Gefahrenquellen	10
4.4. Gefahrenquellenanalyse	10
4.5. Analyse der Gefahren und Gefährdungen.....	10
4.6. Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs bei Überflutungen	10
4.7. Schutzkonzept.....	11
4.8. Schutzziele	11
4.9. Störfalleintrittsvoraussetzung	12
5. Systematisierung und Aufbau der TRAS	12
5.1. Teil A: Gefahrenquellen durch Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang).....	15
5.2. Teil B: Gefahrenquellen durch Grundwasseranstieg	18
6. Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse	18
7. Detaillierte Gefahrenquellenanalyse.....	20
7.1. Teil A: Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang)	22
7.1.1. Ermittlung von Informationen über die potenziellen Zuflusswege	23
7.1.2. Ermittlung der möglichen Wasserstandshöhe.....	25
7.1.3. Abschätzung der Strömungsgeschwindigkeit	27
7.1.4. Abschätzung der Gefährdung durch Treibgut oder Eisgang.....	27
7.2. Teil B: Grundwasseranstieg	28
7.3. Berücksichtigung des Klimawandels.....	29
8. Ermittlung der sicherheitsrelevanten, gefährdeten Teile des Betriebsbereichs und der Anlagen	30
8.1. Teil A: Ermittlung der durch Überflutung, (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang) gefährdeten Teile von Betriebsbereichen und Anlagen.....	31

8.2.	Teil B: Ermittlung der durch Grundwasseranstieg gefährdeten Teile von Betriebsbereichen und Anlagenteile	32
9.	Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen	32
10.	Festlegung von Szenarien und Schutzzielen.....	33
10.1.	Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut und Eisgang).....	34
10.2.	Grundwasseranstieg	34
11.	Erarbeitung von Schutzkonzepten für die Szenarien.....	35
12.	Prüfung der Schutzkonzepte.....	36
13.	Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfälle) und Szenarien für die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung.....	37
14.	Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen.....	38
14.1.	Störfallauswirkungsbegrenzung bei Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut und Eisgang).....	39
14.2.	Störfallauswirkungsbegrenzung bei Grundwasseranstieg.....	40
14.3.	Organisatorische Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen.....	40
15.	Planung für Notfälle, Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung	41
15.1.	Planung für Notfälle.....	41
15.2.	Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen	41
15.3.	Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung.....	41
16.	Dokumentation.....	42
17.	Erfüllung von weiteren Pflichten der StörfallV	42
17.1.	Anforderungen an die Instandhaltung von Vorkehrungen (§ 6 Absatz 1 Nummer 1 und 2 StörfallV).....	42
17.2.	Informationen und Schulungen der Beschäftigten (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV).....	43
17.3.	Beratung von zuständigen Behörden und Einsatzkräften im Störfall (§ 5 Absatz 2 StörfallV).....	43
	Anhang I Berücksichtigung des Klimawandels	45
	Abkürzungsverzeichnis:	45

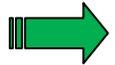
1. Präambel



Die Technischen Regeln für Anlagensicherheit (TRAS) enthalten dem Stand der Sicherheitstechnik im Sinne des § 2 Nummer 5 der Störfall-Verordnung (StörfallV, 12.BImSchV) entsprechende sicherheitstechnische Regeln und Erkenntnisse. Betriebs- und Beschaffenheitsanforderungen, die aus anderen Regelwerken zur Erfüllung anderer Schutzziele resultieren, bleiben unberührt.

Die TRAS werden gemäß § 51a des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) von der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) unter Berücksichtigung der für andere Schutzziele vorhandenen Regeln erarbeitet und, soweit erforderlich, dem Stand der Sicherheitstechnik angepasst. Sie werden dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vorgeschlagen und können von ihm nach Anhörung der für die Anlagensicherheit zuständigen obersten Landesbehörden im Bundesanzeiger veröffentlicht werden und es kann in Rechts- oder Verwaltungsvorschriften darauf Bezug genommen werden.

2. Grundlagen



Nach § 3 Absatz 1 StörfallV hat der Betreiber eines Betriebsbereichs im Geltungsbereich dieser Vorschrift die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern. Bei der Erfüllung dieser Pflicht sind gemäß § 3 Absatz 2 StörfallV auch umgebungsbedingte Gefahrenquellen, wie Erdbeben oder Hochwasser, zu berücksichtigen. Gefahrenquellen, die als Störfallursachen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können, müssen nicht berücksichtigt werden.

Vernünftigerweise auszuschließende Gefahrenquellen können zu Dennoch-Störfällen führen, deren Eintreten zwar nicht zu verhindern ist, gegen deren Auswirkungen jedoch unabhängig von den störfallverhindernden Vorkehrungen nach § 3 Absatz 1 StörfallV zusätzliche störfallauswirkungsbegrenzende Vorkehrungen zu treffen sind (§ 3 Absatz 3 StörfallV).

Solche Gefahrenquellen können z. B. sein:

1. das Versagen von Vorkehrungen nach § 3 Absatz 1 StörfallV
2. Hochwasser bzw. Niederschläge oberhalb einer vernünftigerweise zu unterstellenden Jährlichkeit¹

Dies bedeutet, dass insbesondere im Falle der Gefahr einer Stofffreisetzung oder der Gefahr der Störung von störfallverhindernden oder störfallbegrenzenden Einrichtungen aufgrund vernünftigerweise auszuschließender Gefahrenquellen zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen sind, um schädliche Auswirkungen auf Menschen, die Umwelt und Sachgüter zu begrenzen.

¹ D. h. oberhalb der anzuwendenden Bemessungsgrößen vgl. Kapitel 7, 10 und Anhang I.

Als Szenario gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV ist das Eindringen von Wasser in den Betriebsbereich (trotz der nach § 3 Absatz 1 StörfallV vorhandenen Schutzmaßnahmen) anzunehmen. Für das Ausmaß der Überflutung und die zu treffenden Maßnahmen ist dann eine Einzelfallbetrachtung notwendig (vgl. Kapitel 7 Detaillierte Gefahrenquellenanalyse).

Vernünftigerweise auszuschließende Gefahrenquellen können jedoch auch so unwahrscheinlich sein, dass sie jenseits der Erfahrung und Berechenbarkeit liegen. Gegen diese exzeptionellen Störfälle sind keine anlagenbezogenen Vorkehrungen zu treffen.

Für die Auslegung des Begriffs „vernünftigerweise“ gibt die Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV² unter Kapitel 9.2.6.1 Hinweise. Neben dem grundsätzlich anzulegenden strengen Maßstab sind für die Auslegung des Begriffs im Einzelfall folgende Kriterien heranzuziehen:

1. der allgemeine wissenschaftliche Kenntnisstand,
2. Erfahrungen, die in Anlagen dieser oder vergleichbarer Art gewonnen wurden oder
3. Rechnungen, Abschätzungen oder Übertragung von Erkenntnissen.

Bezüglich der naturbedingten Gefahrenquellen, wie Hochwasser und Niederschläge, hat sich der allgemeine Kenntnisstand vor dem Hintergrund des Klimawandels weiterentwickelt. Unbestritten ist, dass sich mit dem Anstieg der globalen Temperatur der Wasserhaushalt in der Atmosphäre verändert und die Wahrscheinlichkeit von Starkniederschlägen zunimmt.³ Damit steigen zugleich auch die Gefahren durch Hochwasser bzw. Überflutungen. Diese neuen Erkenntnisse sind bei der Bewertung der naturbedingten Gefahrenquellen zu beachten.

Vor diesem Hintergrund weist die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) darauf hin, dass bei Betriebsbereichen, in denen gefährliche Stoffe in höheren Mengen vorhanden sind und bei Extremereignissen freigesetzt werden könnten, die bisherigen Sicherheitsanforderungen und das Sicherheitsmanagement entsprechend des wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritts und der Betreiberpflichten gemäß StörfallV zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen sind.⁴

Die behördliche Bestimmung von signifikantem Hochwasserrisiko gemäß § 73 WHG ist bei der Einhaltung der allgemeinen Betreiberpflichten zu beachten. Daher sind als Grundlage für die Gefahrenquellenanalyse (vgl. Kapitel 6 und 7) die gemäß § 74 WHG von den Behörden der Wasserwirtschaft zu erstellenden (Hochwasser-)Gefahren- und Risikokarten zu beachten, die für Gewässerstrecken mit potenziellem, signi-

² <http://www.bmu.de/anlagensicherheit/doc/6133.php>

³ IPCC 2007, Forth Assessment Report (AR4), Cambridge University Press 2007, <http://www.ipcc.ch/>

⁴ Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel der Bundesregierung vom 17. Dezember 2008, <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php>

fikantem Hochwasserrisiko bis Ende 2013 erstellt und regelmäßig alle sechs Jahre aktualisiert werden.

Betreiber von Betriebsbereichen, die den Grundpflichten der StörfallV unterliegen, haben Änderungen von (Hochwasser-)Gefahrenkarten im Rahmen der Aktualisierung von Konzepten zur Verhinderung von Störfällen (§ 8 Absatz 3 StörfallV) sowie bei der systematischen Überprüfung und Bewertung von Konzepten zur Verhinderung von Störfällen und Sicherheitsmanagementsystemen (Anhang III 3g StörfallV) zu beachten.

Betreiber von Betriebsbereichen, die einen Sicherheitsbericht zu erstellen haben, haben diesen gemäß § 9 Absatz 5 StörfallV zu jedem Zeitpunkt zu überprüfen, wenn neue Umstände dies erfordern, oder um aktuelle Erkenntnisse zur Beurteilung der Gefahren zu berücksichtigen. Dies schließt Erkenntnisse zu umgebungsbedingten Gefahrenquellen und Einflüssen des Klimawandels auf diese ein. Davon unabhängig sind entsprechende Überprüfungen mindestens alle fünf Jahre erforderlich.

Hinsichtlich der Beschaffung von Informationen über Gefährdungen durch umgebungsbedingte Gefahrenquellen besteht⁵ für die Betreiber von Betriebsbereichen eine Informationssammlungspflicht, also eine Pflicht zur Zusammenstellung andersorts oder beim Betreiber bereits vorhandener Informationen. Informationsermittlungspflichten bestehen eingeschränkt im Bereich der „erweiterten“ Pflichten (§§ 9 bis 12 StörfallV)⁶. Wesentliche Informationsquellen sind in dieser TRAS sowie den Hinweisen und Erläuterungen hierzu⁷ aufgeführt.

Am Verhältnismäßigkeitsgrundsatz orientiert hat der Betreiber folgende Informationsquellen im Rahmen einer Sammlung und Auswertung, aber auch im Rahmen einer (räumlichen) Konkretisierung auf den Betriebsbereich zu berücksichtigen:

1. betreiberseitig bereits vorhandene Informationen,
2. behördlich bekannte Informationen und
3. allgemein öffentlich bekannte Informationen.

Insbesondere sind Veränderungen bei der behördlichen Bestimmung von signifikantem Hochwasserrisiko gemäß § 73 WHG sowie die Erstellung und Aktualisierung von (Hochwasser-)Gefahren- und Risikokarten gemäß § 74 WHG bei der Einhaltung dieser Pflichten zu beachten.

Dem Betreiber von Betriebsbereichen erwachsen auch gewisse, am Verhältnismäßigkeitsgrundsatz orientierte Informationssammlungspflichten mit spezifischem Bezug zu möglichen Folgen des Klimawandels; aufgrund dessen gesammelte Informationen hat er im Rahmen der ihn nach § 3 Absatz 1 StörfallV betreffenden Pflichten auch zu beachten.

⁵ [Schulte, M.; Kloos, J.: Abgrenzung der Behördenpflichten gegen Betreiberpflichten gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz und Störfall-Verordnung in Bezug auf umgebungsbedingte Gefahrenquellen, Dresden 2010](#)

⁶ Vgl. Anhang II Teil II Nummer 1 StörfallV i.V.m. Kapitel 9.2.2.1.1 und 9.2.2.1.4 der [Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV](#)

⁷ Vgl. <http://www.kas-bmu.de>

Als Auslegungsgröße für Schutzmaßnahmen soll grundsätzlich ein Klimaänderungsfaktor von 1,2 herangezogen werden, um die Folgen des Klimawandels bis zum Jahr 2050 zu berücksichtigen (siehe Kapitel 7.3 und Anhang I), sofern von den zuständigen Behörden gemäß den §§ 72 bis 81 WHG die Folgen des Klimawandels nicht bereits in den (Hochwasser-)Gefahrenkarten berücksichtigt wurden oder die zuständige Behörde für das jeweilige Gewässer mögliche Veränderungen des Abflusses bei Hochwasser aufgrund des Klimawandels bereits festgestellt hat. Die KAS wird den fortschreitenden Kenntnisstand bei der von ihr alle fünf Jahre geforderten Überarbeitung dieser TRAS berücksichtigen.

3. Anwendungsbereich



Die TRAS gilt für Betriebsbereiche gemäß § 3 Absatz 5a BImSchG, die in den Anwendungsbereich der StörfallV fallen. Es wird empfohlen, diese TRAS aber auch auf alle übrigen immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen, bei denen die Gefahr der Freisetzung von gefährlichen Stoffen⁸ besteht, anzuwenden⁹. Diese TRAS richtet sich insbesondere an

1. Betreiber,
2. Behörden und
3. Gutachter/Sachverständige

die Vorkehrungen gegen durch Niederschläge und Überflutungen ausgelöste umgebungsbedingte Gefahrenquellen für Betriebe zu treffen, anzuordnen oder zu beurteilen haben.

Diese TRAS gilt für Gefahrenquellen, die aus

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Überflutungen durch Gewässer (Hochwasser oder Sturmfluten), einschließlich dem Versagen von Hochwasserschutzanlagen,2. sonstigen Überflutungen, z. B. durch Starkniederschläge oder Rückstau aus der Kanalisation,3. aufsteigendem Grundwasser |
|---|

resultieren.

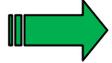
Mit Niederschlägen und Überflutungen stehen auch die Gefahrenquellen Schnee- und Eislasten, Hagelschlag, Eissturz, Steinschlag und Erdbeben in direktem oder indirektem Zusammenhang. Für diese Gefahrenquellen standen für eine Bewertung im Rahmen der Ausarbeitung dieser TRAS noch keine belastbaren Informationen zur Verfügung. Die Betreiber müssen gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV auch diese Gefah-

⁸ Stoffe im Sinne von § 2 Nummer 1 StörfallV

⁹ Nachfolgend wird von „Betriebsbereichen“ gesprochen, wenn Anforderungen aufgrund der StörfallV nur für solche gelten. Ansonsten wird „Betrieb“ verwendet, wenn Anforderungen für Betriebsbereiche anzuwenden sind und die Anwendung für genehmigungsbedürftige Anlagen empfohlen wird.

renquellen grundsätzlich berücksichtigen. In jedem Fall steht der Betreiber in der Pflicht, bei einer offensichtlichen Gefährdung oder belastbaren Erkenntnissen hier auch im Rahmen seiner Verkehrssicherungspflicht vorsorglich aktiv tätig zu werden.

4. Begriffsbestimmungen



Die nachfolgenden Begriffsbestimmungen sind bei der Anwendung dieser TRAS zu Grunde zu legen. Hinweise zur Definition weiterer in dieser TRAS genutzter Begriffe können der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV und den Leitfäden der Kommission für Anlagensicherheit entnommen werden.

4.1. Überflutung (einschließlich Überschwemmung)

Hochwasser ist die zeitlich begrenzte Überschwemmung von normalerweise nicht mit Wasser bedecktem Land durch oberirdische Gewässer oder durch in Küstengebiete eindringendes Meerwasser (§ 72 WHG). Überschwemmungsgebiete sind Gebiete zwischen oberirdischen Gewässern und Deichen oder Hochufern und sonstige Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt oder durchflossen oder die für die Hochwasserentlastung oder Rückhaltung beansprucht werden (§ 76 WHG).

Von *Überschwemmung* wird gesprochen, wenn *Oberflächengewässer* wie Flüsse, Bäche oder auch Seen infolge Schneeschmelze oder lokal intensiver (Starkregen) oder großräumig lang andauernder Niederschläge anschwellen und das angrenzende Umfeld überfluten, Dämme, Uferbereiche oder Bauwerke unterspülen oder Geschiebe, Schlamm und Schwemmgut auf den überfluteten Flächen ablagern. Vom WHG abweichend wird nach DIN 4049-3 (1994) jene Fläche, die durch Ausuferern vom Wasser eingenommen wird, als Überschwemmungsgebiet bezeichnet. Ausuferern bezeichnet den Zustand, wenn ein Gewässer über die seitliche Begrenzung seines Gewässerbetts tritt. Mit Blick auf die von einer Überschwemmung ausgehenden Gefahren wird zwischen statischer und dynamischer Überschwemmung unterschieden.

Der Begriff Überflutung wird vor allem für Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden verwendet. Nach DIN EN 752 (2008) wird damit ein Zustand bezeichnet, „...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“.

Die Auswirkungen von Überschwemmung und Überflutung nach DIN EN 752 auf Betriebe sind im Wesentlichen gleich.

Unter *Überflutung* wird daher in dieser TRAS jeder nicht bestimmungsgemäße Stand von Wasser über Flur außerhalb von baulichen Anlagen oder oberhalb des untersten Bodens von baulichen Anlagen verstanden. D. h. Überflutungen im Sinne dieser TRAS schließen Überschwemmungen ein.

4.2. Gefahrenquelle

Eine Gefahrenquelle (Gefahrenursache) ist der Ursprung einer Gefahr, aus der sich destruktive Wirkungen entwickeln können. Bei der Betrachtung der betrieblichen Gefahrenquellen sind hypothetische mögliche Zustände und Ereignisse, wie z. B. das Versagen von Anlagenteilen, die zu einer Betriebsstörung und damit zu einer Gefahr führen können, zu betrachten. Eine Gefahrenquelle ist mit dem Begriff »mögliche Gefahrenursache« gleichzusetzen. In § 3 StörfallV wird Hochwasser als Beispiel für eine umgebungsbedingte Gefahrenquelle genannt.

4.3. Umgebungsbedingte Gefahrenquellen

Umgebungsbedingte Gefahrenquellen sind Einflüsse, die von außen auf einen Betrieb einwirken und zu einer Beeinträchtigung der Funktion sicherheitsrelevanter Teile eines Betriebsbereichs (SRB) oder einer Anlage (SRA)¹⁰ führen können. Diese TRAS beschränkt sich ausschließlich auf die in Kapitel 3 genannten, naturbedingten Gefahrenquellen.

4.4. Gefahrenquellenanalyse

Die Gefahrenquellenanalyse im Sinne dieser TRAS ist der erste Schritt, um in einem umfassenden Prozess Gefahrenquellen und deren Ursache zu erkennen. Die Gefahrenquellenanalyse ermittelt Gefahrenquellen, ohne eine Bewertung oder Beurteilung vorzunehmen. Im Rahmen dieser TRAS werden durch die Gefahrenquellenanalyse umgebungsbedingte Gefahrenquellen betrachtet, um festzustellen, ob sie auf einen Betrieb einwirken können.

4.5. Analyse der Gefahren und Gefährdungen

Bei der Analyse der Gefahren und Gefährdungen im Sinne dieser TRAS werden die Wirkungen umgebungsbedingter Gefahrenquellen auf einen Betrieb untersucht. Bei nicht akzeptablen Risiken sind Maßnahmen zu entwickeln, um diese Risiken auf ein akzeptiertes Maß zu vermindern.

4.6. Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs bei Überflutungen

Soweit sicherheitsrelevante Anlagenteile nicht dazu bestimmt sind, unter Einfluss von Überflutungen betrieben zu werden, auch wenn sie dafür geeignet sind (z. B. auftriebssicher aufgestellte Behälter), ist bei Überflutungen auf dem Betriebsgelände

¹⁰ Vgl. Abschlussbericht Arbeitskreis "Richtwerte für sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereiches (SRB)" (KAS-1), Kommission für Anlagensicherheit, Bonn 2006

(u. a. Betriebsbereich nach der StörfallV) eine Störung des bestimmungsgemäßen Betriebes nicht auszuschließen.

Eine derartige Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs liegt insbesondere in folgenden Fällen vor:

1. Die Standsicherheit und/oder Integrität sicherheitsrelevanter Teile von Betriebsbereichen und Anlagen¹¹ mit besonderem Stoffinhalt ist unmittelbar gefährdet.
2. Die Funktion von sicherheitsrelevanten Teilen von Betriebsbereichen und Anlagen ist gefährdet.
3. Sicherheitsrelevante Bedienvorgänge oder organisatorische Arbeitsabläufe können, z. B. wegen Einschränkungen in der Erreichbarkeit von Teilen von Betriebsbereichen und Anlagen, nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen durchgeführt werden.

4.7. Schutzkonzept

Ein Schutzkonzept im Sinne dieser TRAS beinhaltet die Entwicklung von geeigneten Maßnahmen zur Verhinderung oder Auswirkungsbegrenzung von Störfällen aufgrund des Wirksamwerdens umgebungsbedingter Gefahrenquellen.

4.8. Schutzziele

Schutzziele im Sinne dieser TRAS werden bestimmt, um die menschliche Gesundheit, die Umwelt sowie Sachgüter vor nachteiligen Folgen einer Freisetzung, eines Brandes oder einer Explosion von gefährlichen Stoffen infolge des Wirksamwerdens einer umgebungsbedingten Gefahrenquelle, wie z. B. Überflutung, zu bewahren. Soweit Anlagen immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig sind, muss gemäß § 5 Absatz 1 BImSchG gewährleistet werden, dass

1. schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können;
2. Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen.

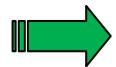
Für Betriebsbereiche muss gewährleistet werden, dass Beschaffenheit und Betrieb der Anlagen des Betriebsbereichs dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen.

¹¹ Vgl. Kapitel 9.2.4 der [Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV](#).

4.9. Störfalleintrittsvoraussetzung

Als Störfalleintrittsvoraussetzung wird der Moment/Zustand in der Ereigniskette nach Beginn einer Störung verstanden, bei dem die Voraussetzungen für das Vorliegen eines Störfalls gegeben sind. Ein im Wasser stehender oder überfluteter Betriebs- oder Lagerbehälter mit gefährlichen Stoffen ist im Sinne dieser TRAS i. d. R. noch als Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs anzusehen, solange nicht die Gefahr z. B. einer Stofffreisetzung gegeben ist. Eine Störfalleintrittsvoraussetzung liegt erst dann vor, wenn Wasser in den sicherheitsrelevanten Behälter eindringt, die Integrität des Behälters oder seine Standfestigkeit nicht mehr gewährleistet ist und dies zu einer ernsten Gefahr gemäß § 2 Nummer 4 StörfallV oder zu Sachschäden nach Anhang VI Teil 1 Ziffer I Nummer 4 StörfallV führen kann.

5. Systematisierung und Aufbau der TRAS



Die Erfüllung der Betreiberpflichten im Sinne der StörfallV hinsichtlich der in dieser TRAS betrachteten Gefahrenquellen kann mit den vier Schritten erreicht werden:

1. **Gefahrenquellenanalyse**, in der geprüft wird, welche Gefahrenquellen singularär oder in Kombination auf den Betrieb einwirken können,
2. **Analyse der Gefahren und Gefährdungen**, in der geprüft wird, ob durch Einwirkungen auf sicherheitsrelevante Teile des Betriebsbereichs oder der Anlagen Störfälle eintreten können,
3. **Erstellung eines Schutzkonzepts**, in der Vorkehrungen zur Störfallverhinderung festgelegt werden,
4. **Betrachtung von „Dennoch-Störfällen“**, durch die insbesondere Maßnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen von Störfällen festgelegt werden

(Vgl. die in **Abbildung 1** dargestellte systematische Herangehensweise). Ausgangspunkt ist eine Gefahrenquellenanalyse, in der die möglichen Gefahrenquellen ermittelt werden. In der vereinfachten Gefahrenquellenanalyse werden zunächst nur qualitativ die regional möglichen (vernünftigerweise nicht auszuschließenden) Ereignisse am Standort (u. a. Betriebsbereich) identifiziert. In der detaillierten Gefahrenquellenanalyse werden weitere Informationen herangezogen, um die möglichen Gefahrenquellen genauer zu ermitteln.

Im nächsten Schritt sind die gefährdeten, sicherheitsrelevanten Betriebsbereichs- und Anlagenteile zu identifizieren.

Abhängig von der Sicherheitsrelevanz und den möglichen Störfallauswirkungen, sind Schutzziele festzulegen und ein Schutzkonzept zu erarbeiten, mit dem die Schutzziele erreicht werden. Z. B. kann aus der Schutzzielformulierung, dass kein Wasser in ein Chemikalienlager eindringen darf, als technische Maßnahme eine Hochwasserschutzwand für einen bestimmten Wasserstand vorgesehen werden. Danach ist das Schutzkonzept bzgl. seiner Wirksamkeit zu prüfen und zu dokumentieren. Gegebenenfalls ist das Schutzkonzept weiter anzupassen.

Anschließend werden vernünftigerweise auszuschließende Gefahrenquellen (Dennoch-Störfälle) untersucht, deren Eintreten zwar nicht zu verhindern ist, gegen deren Auswirkungen jedoch unabhängig von den störfallverhindernden Vorkehrungen nach § 3 Absatz 1 StörfallV zusätzliche störfallauswirkungsbegrenzende Vorkehrungen zu treffen sind (§ 3 Absatz 3 StörfallV).

Dies gilt nicht für Gefahrenquellen, die so unwahrscheinlich sind, dass sie jenseits der Erfahrung und Berechenbarkeit liegen. Gegen diese exzeptionellen Störfälle sind keine anlagenbezogenen Vorkehrungen zu treffen.

Bei der Planung für Notfälle, der Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, der Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung und der Informationen gemäß § 9 Absatz 1 Nummer 5 StörfallV (Informationen hinsichtlich Ansiedlung neuer Tätigkeiten etc.) sind die Betrachtungen der o.g. Dennoch-Störfälle ebenfalls in geeigneter Weise zu berücksichtigen.

Gefahrenquellenanalyse sowie Analyse der Gefahren und Gefährdungen sind in Konzepten zur Verhinderung von Störfällen zu berücksichtigen sowie zusammen mit Untersuchungen zu den o.g. Dennoch-Störfällen in Sicherheitsberichte aufzunehmen.

Technische Regel Anlagensicherheit

Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser

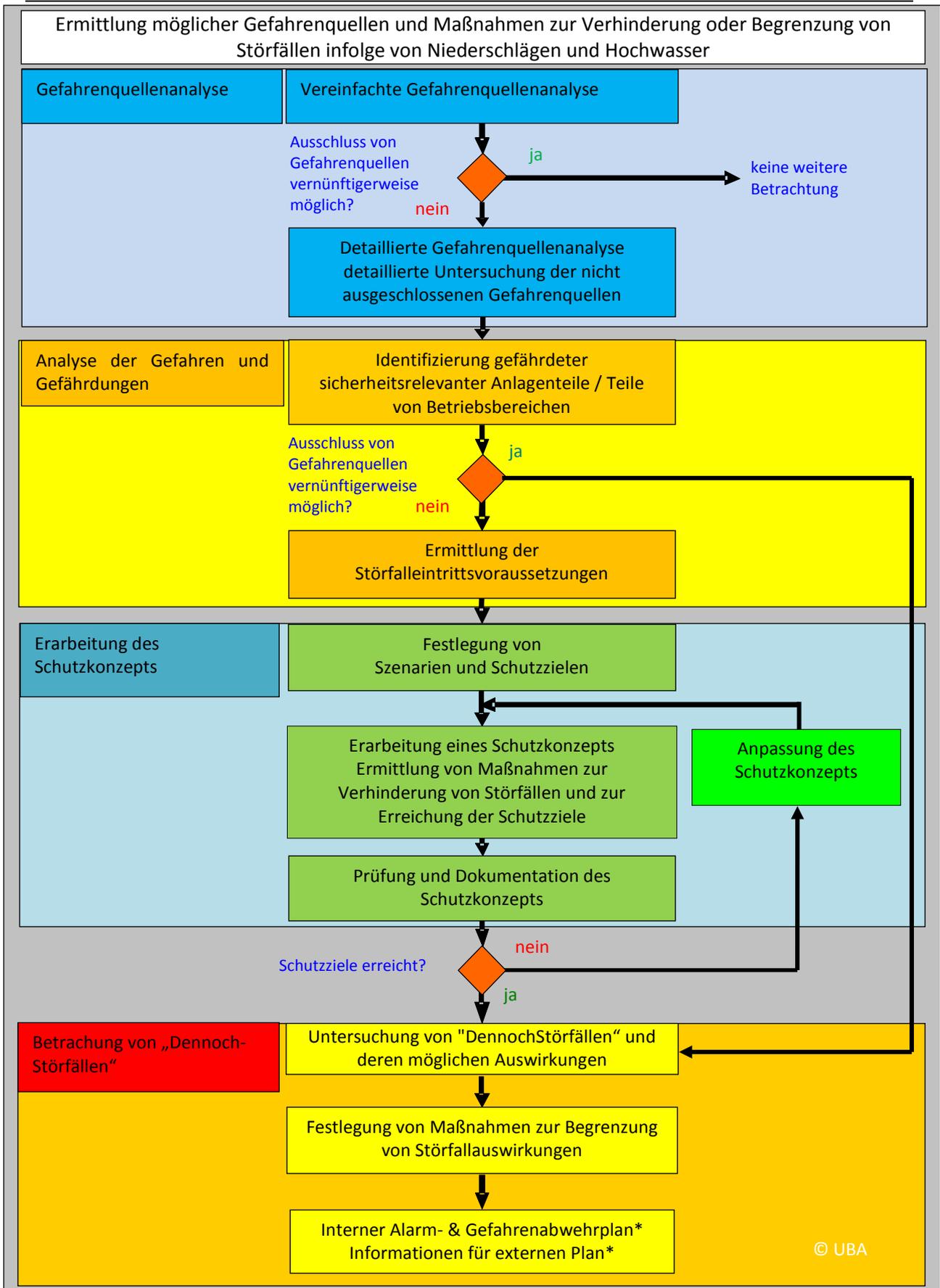


Abbildung 1: Ablaufschema zur Optimierung des Schutzkonzeptes (* soweit gemäß § 10 StörfallV gefordert.)

Der Aufbau der TRAS orientiert sich an der in Abbildung 1 dargestellten Vorgehensweise. Bei den mit dieser TRAS geregelten umgebungsbedingten Gefahrenquellen werden damit im Zusammenhang stehende Ereignisse wie folgt unterteilt:

1. auslösende Ereignisse, wie Starkregen, die nicht durch Maßnahmen beeinflussbar sind, und
2. mögliche Folgeereignisse, wie z. B. Überflutungen, Grundwasserhochstand.

Bei den Folgeereignissen wird darüber hinaus unterschieden zwischen

1. Ereignissen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit Überflutungen stehen, wie auch Treibgut und Eisgang,
2. Ereignissen durch Anstieg des Grundwassers.

Die Systematisierung der verschiedenen Ereignisse ist in Abbildung 2 dargestellt.

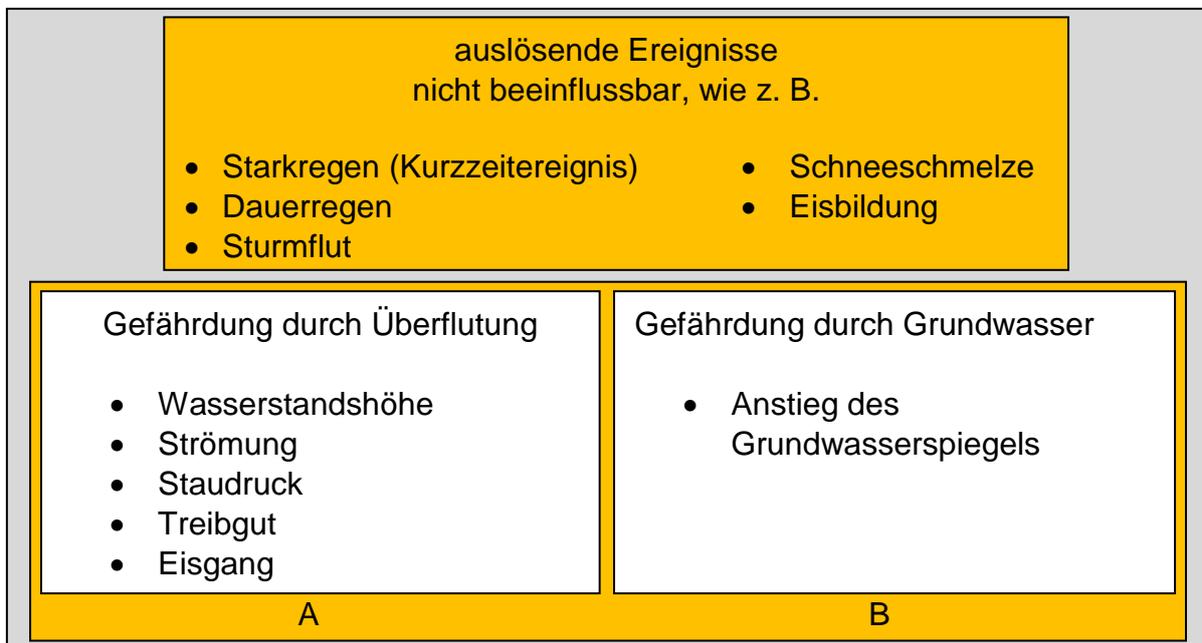


Abbildung 2: Systematisierung der von Niederschlägen und Sturmfluten ausgelösten Gefahrenquellen

5.1. Teil A: Gefahrenquellen durch Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang)

Hochwasser ist ein natürliches Ereignis, das an oberirdischen Gewässern durch Niederschläge und Schneeschmelze, Rückstau durch Eis oder an den Meeresufern durch die periodisch wiederkehrenden Gezeiten ausgelöst wird. Ausgelöst durch Starkniederschläge können Überflutungen auch in gewässerfernen Gebieten entstehen, wie z. B. in Muldenlagen oder dicht bebauten Gebieten.

Grundsätzlich gilt, dass eine Überflutung immer dann entsteht, wenn der Wasserzufluss wesentlich größer ist als der Wasserabfluss. Daher müssen die potenziellen

Zuflusswege ebenso wie die Abflusswege vom Anlagenbetreiber betrachtet werden. Eine Übersicht der verschiedenen potenziellen Zuflusswege zeigt **Abbildung 3**.

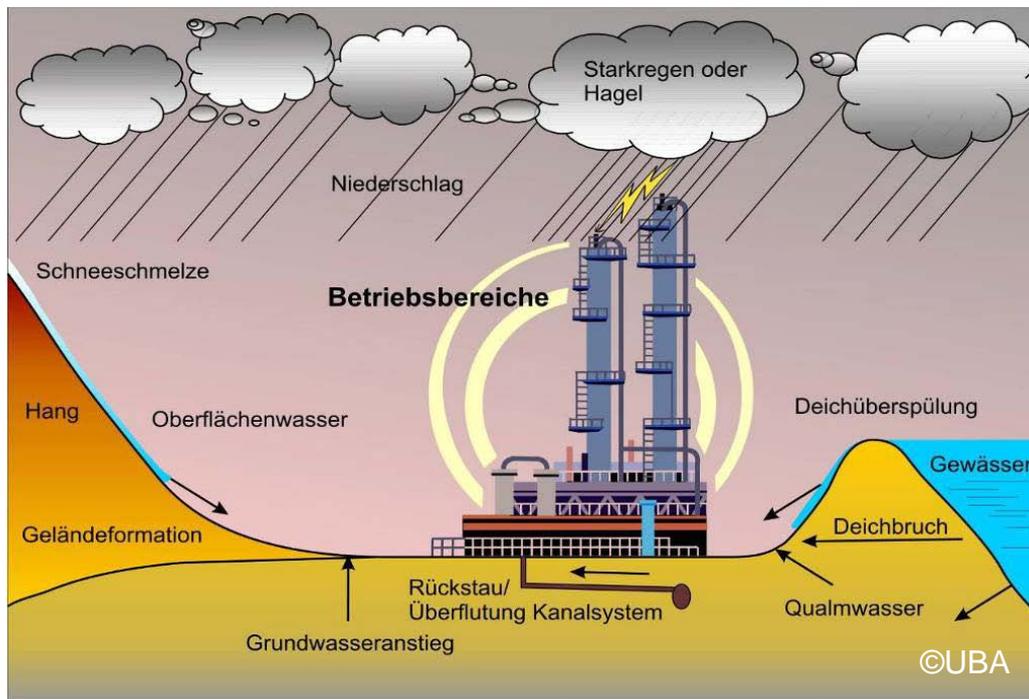


Abbildung 3: Potenzielle Wasserzuflüsse

Danach kann der potenzielle Wasserzutritt als

1. Extremniederschlag,
2. Rückstauwasser aus dem Kanalsystem (betrieblich/außerbetrieblich),
3. Oberflächenwasser (seitlicher Zufluss aufgrund der Geländeformation, z. B. zu Muldenlagen),
4. seitlicher Zufluss infolge Hochwassers oder Versagens einer Hochwasserschutzanlage (Deiche, Tore) sowie
5. Grundwasser bzw. Qualmwasser¹²

erfolgen.

Die potenziellen Abflusswege sind in **Abbildung 4** dargestellt. Folgende Abflusswege können genannt werden:

1. oberflächlicher Abfluss (aufgrund der Geländeformation, schadloses Ableiten von überschüssigem Wasser über die Straße bei Extremereignissen),
2. Versickerung,
3. Kanalisation (betrieblich/außerbetrieblich),
4. Hochwasserpumpwerke (entlang der Gewässer).

¹² Temporäres Flachgewässer unmittelbar hinter einem Deich, gebildet durch Unterströmung des Deiches durch den Wasserdruck des hohen Flusspegels.

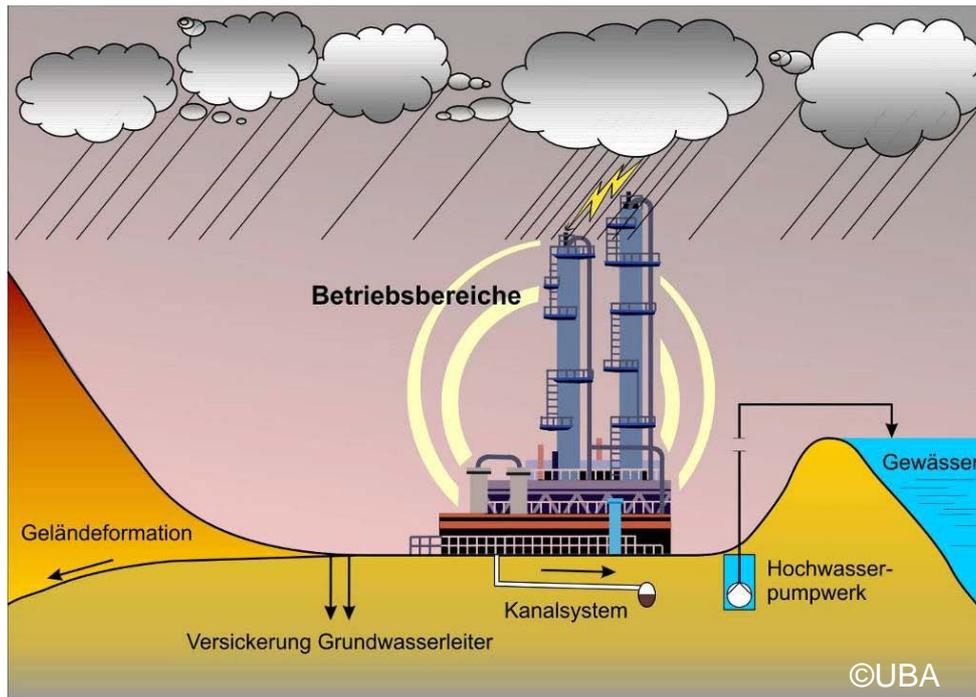


Abbildung 4: Potenzielle Wasserabflüsse

Wie die Abbildungen auch andeuten, sind vorbeugende Maßnahmen (wie Maßnahmen in Hochwasserentstehungsgebieten, Regenwasserbewirtschaftung) und wasserbauliche Maßnahmen, die von den zuständigen Landesbehörden, Deichverbänden etc. entlang der Gewässer geplant und ausgeführt werden, wie z. B. Deiche, Retentionsräume usw., sowie die betriebliche Eigenvorsorge zum Schutz einzelner Betriebe, Anlagen oder Anlagenteile jeweils wichtige Elemente des modernen, umfassenderen Hochwasserschutzes¹³. Im Rahmen dieser TRAS wird die für Betriebe erforderliche Eigenvorsorge konkretisiert. Ein entsprechendes, wirkungsvolles Schutzkonzept für den Betrieb aufgrund der Betreiberpflichten der StörfallIV und des BImSchG ist eine unverzichtbare Ergänzung des öffentlichen Hochwasserschutzes.

Die Konzepte zum Hochwasserschutz waren lange Zeit retrospektiv angelegt. Maßnahmen zum Schutz vor Überflutungen wurden basierend auf den Erfahrungen vergangener Ereignisse geplant und durchgeführt. In den letzten Jahren hat sich hier eine gravierende Änderung vollzogen. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels wird nunmehr ein vorausschauender Hochwasserschutz betrieben. Dies bedeutet, dass mit Hilfe moderner Informationssysteme und Simulationsmodelle zukünftig zu erwartende Entwicklungen berechnet und die Planungsinstrumente zum Hochwasserschutz daran angepasst werden.

Den Herausforderungen des Klimawandels müssen sich auch die betroffenen Betreiber stellen und für angemessene Schutzmaßnahmen gegen Hochwasser bzw. Überflutung sorgen und ggf. vorhandene Vorkehrungen und Maßnahmen an die veränderten Bedingungen anpassen. Betreibern von Betriebsbereichen erwachsen hieraus

¹³ Vgl. u. a. [Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser „Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen“](#) (März 2010)

auch gewisse, am Verhältnismäßigkeitsgrundsatz orientierte Informationssammlungspflichten mit spezifischem Bezug zu möglichen Folgen des Klimawandels (siehe Kapitel 2). Im Sinne einer pragmatischen Vorgehensweise wird in dieser TRAS daher die grundsätzliche Anwendung eines „Klimaanpassungsfaktors“ empfohlen (siehe Kapitel 7.3 und Anhang I).

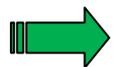
5.2. Teil B: Gefahrenquellen durch Grundwasseranstieg

Durch lang anhaltenden Regen oder infolge von Überflutungen tritt meist mit zeitlicher Verzögerung durch die Grundwasserneubildung ein Anstieg des Grundwasserspiegels ein. Umgekehrt kann der Grundwasserspiegel während längerer Trockenzeiten auch stark absinken. Die Geschwindigkeit, mit der sich der Grundwasserspiegel ändert, ist stark von der Bodenart und dem Schichtenaufbau abhängig. In Flusseinzugs- und Küstengebieten werden die Grundwasserspiegel des oberen Grundwasserleiters zudem vom Wasserstand des jeweiligen Gewässers beeinflusst.

Bei unterirdischen Tanks und erdverlegten Rohrleitungen kann der Auftrieb durch ansteigendes Grundwasser erhöht werden, was zu einer Gefährdung der erdverlegten Anlagenteile führen kann.

Ein Anstieg des Grundwasserspiegels kann auch durch technische Ursachen, wie die Abschaltung von Grundwasserhaltungen oder gezielten Flutungen in ehemaligen Bergbauregionen, verursacht werden. Diese Art des Grundwasseranstiegs wird planmäßig vollzogen und stellt keine Gefahrenquelle durch naturbedingte Ereignisse dar. Daher wird diese Ursache des Grundwasseranstiegs im Rahmen dieser TRAS nicht näher betrachtet. Relevant kann jedoch der Ausfall von Pumpen für die Grundwasserhaltung - etwa durch einen Stromausfall - sein, wenn dies einen schnellen Grundwasseranstieg auslösen kann.

6. Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse



Es ist zu ermitteln, ob die betrachteten Gefahrenquellen - auch unter Berücksichtigung der Erkenntnisse zum Klimawandel – als auslösendes Ereignis für einen Störfall in Frage kommen oder vernünftigerweise ausgeschlossen werden können. Dazu ist im ersten Schritt aufgrund qualitativer Kriterien ein Screening durchzuführen. Für Gefahrenquellen, die durch dieses Screening nicht ausgeschlossen werden können, wird eine detaillierte Gefahrenquellenanalyse erforderlich, um die am Standort möglichen Gefahrenquellen im Detail zu ermitteln und daraus die notwendigen Vorkehrungen und Maßnahmen abzuleiten.

Für eine Entscheidung, ob eine Gefahrenquelle vernünftigerweise ausgeschlossen werden kann, sind möglichst einfache und leicht nachvollziehbare Kriterien heranzu-

ziehen. In **Tabelle 1** sind für Fluss- und Küstenhochwasser ggf. in Verbindung mit Strömung, Treibgut und Eisgang solche Kriterien genannt.¹⁴

Tabelle 1: Kriterien für ausgewählte umgebungsbedingte Gefahrenquellen

Gefahrenquelle	Kriterium	Erfordernis und Umfang einer Gefahrenquellenanalyse	
Fluss- oder Küstenhochwasser in Verbindung mit Strömung, Staudruck, Treibgut und Eisgang	festgesetztes Überschwemmungsgebiet oder in (Hochwasser-)Gefahren- oder Risikokarten nach § 74 WHG ¹⁵ kartiert	innerhalb des festgesetzten Überschwemmungs- oder kartierten (Hochwasser-) Risikogebietes	detaillierte Gefahrenquellenanalyse
		kartiert, aber außerhalb des (Hochwasser-)Risikogebietes	keine weitere Betrachtung erforderlich
Grundwasseranstieg	unterirdische Anlagenteile ¹⁵ mit gefährlichen Stoffen (Tankanlagen, Rohrleitungen)	vorhanden	detaillierte Gefahrenquellenanalyse
		nicht vorhanden	keine weitere Betrachtung erforderlich

¹⁴) Für alle oberirdische Gewässer und Küstenabschnitte, an denen ein potenziell signifikantes Hochwasserrisiko für wahrscheinlich erachtet wird, werden (Hochwasser-)Gefahren- und Risikokarten bis zum 22. Dezember 2013 für mittlere und seltene Hochwasserereignisse erstellt. Diese können für die Gefahrenquellenanalyse herangezogen werden, sofern Betriebsbereiche bei der Bewertung von Hochwasserrisiken und voraussichtliche Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigt wurden. Für alle übrigen Gewässer ist die Wahrscheinlichkeit einer Hochwassergefahr bei den örtlich zuständigen Behörden der Wasserwirtschaft zu erfragen.

Für die Gefahrenquelle „Überflutung“ ausgelöst durch Niederschläge („Sturzfluten“) und außerhalb der kartierten (Hochwasser-)Risikogebiete kann kein einfaches, generelles Kriterium angegeben werden, nach dem ein Ausschluss vernünftigerweise erfolgen kann.

Wie in Kapitel 5.1 jedoch schon erläutert wurde, treten Überflutungen nur dann auf, wenn bezogen auf den Betrieb der Zufluss größer ist als der Abfluss. Eine Beurteilung muss sich daher auf eine Zu- und Abflussbilanz stützen. Beide Volumenströme können von folgenden Faktoren beeinflusst werden:

1. Unterstellte Niederschlagsintensität bzw. Niederschlagssumme,
2. Topografische Lage (Hanglage, Mulde usw.) unter Zuhilfenahme von Angaben zur Geländehöhe (Informationsquelle: digitale Geländemodelle, hilfsweise amtliche Höhenkarten unter Berücksichtigung des Datums der Landaufnahme,

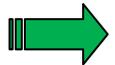
¹⁴ Sowohl dem Betreiber wie auch der zuständigen Behörde bleibt es unbenommen, im Einzelfall weitere Ermittlungen vorzunehmen bzw. zu fordern.

¹⁵ „Unterirdisch“ im Sinne des anlagenbezogenen Gewässerschutzes (§§ 62 und 63 WHG), der an diese Anlagen besondere Anforderungen stellt. Sofern durch Grundwasser ein Wasserstand über Flur oder oberhalb des untersten Bodens baulicher Anlagen eintritt handelt es sich um eine Überflutung im Sinne dieser TRAS (vgl. Kapitel 4.1).

3. Flächenversiegelung innerhalb und außerhalb des Betriebes (Abflussbeiwerte),
4. Einengungen im Wasserabflussbereich, z. B. durch Bahndämme, Straßenüberführungen oder Geländeformation,
5. Lage des Betriebes oder der Anlage in der Nähe zu Brücken oder Durchlässen, deren Abflussprofile durch Treibgut oder Eisversetzungen zugesetzt oder beschädigt und deren Standsicherheit gefährdet werden kann
6. Lage des Betriebs oder der Anlage an Ufern tidebeeinflusster Gewässer,
7. Leistungsfähigkeit der betrieblichen Kanalisation (Regen- oder Mischwasserkanal) sowie ggf. Behandlung und Einleitung,
8. Leistungsfähigkeit der kommunalen Kanalisation in der Umgebung des Betriebsbereichs oder der Anlage (Informationsquelle: Abwasserbeseitigungspflichtiger, z. B. Zweckverband, städtisches Tiefbauamt oder Stadtwerke).

Kann eine Überflutung durch Niederschlag oder Hochwasser vernünftigerweise ausgeschlossen werden, können auch die Gefahrenquellen Strömungsgeschwindigkeit, Eisgang und Treibgut vernünftigerweise ebenfalls ausgeschlossen werden, weil sie an eine Wasserströmung gekoppelt sind.

7. Detaillierte Gefahrenquellenanalyse



Für den Fall, dass Gefahrenquellen vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden können, ist eine detaillierte Gefahrenquellenanalyse erforderlich. In der Regel basieren Gefahrenkarten für naturbedingte Ereignisse sowie die Bemessungsgrundlagen zum Schutz vor umgebungsbedingten Gefahrenquellen auf statistischen Auswertungen vergangener Ereignisse und werden üblicherweise in Jährlichkeiten angegeben (**Tabelle 2**). Die Festsetzungen von Überschwemmungsgebieten und diese Gefahrenkarten bilden eine wichtige Grundlage zur Durchführung der detaillierten Gefahrenquellenanalyse. Sofern Gefahrenkarten für die relevanten Gefahrenquellen vorliegen sowie aussagekräftig und einschlägig sind, sind darüber hinausgehende Ermittlungen in aller Regel nicht erforderlich. Für die detaillierte Gefahrenquellenanalyse ist von folgenden, auslösenden Ereignissen auszugehen:

1. Ereignisse mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrintervall mindestens 100 Jahre analog zu § 74 WHG) und ggf. darüber hinausgehende Bemessungsgrundlagen für öffentliche Hochwasserschutzanlagen (s. u.) als Grundlage für störfallverhindernde Maßnahmen (nach § 3 Absatz 1 StörfallV).
2. Eindringen von Wasser in den Betriebsbereich als Grundlage für vorbeugend zu treffende Maßnahmen, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten (§ 3 Absatz 3 StörfallV, vgl. Kapitel 13).

Hinsichtlich der Grundlagen für störfallverhindernde Maßnahmen ist zu berücksichtigen, dass die Bemessungsgrundlagen für öffentliche Hochwasserschutzanlagen über das 100-jährliche Hochwasser hinausgehen können. Dies bedeutet für Be-

triebsbereiche, die hinter diesen Einrichtungen liegen, dass der Betreiber in der Regel keine eigenen Vorkehrungen zur Störfallverhinderung treffen muss, solange das Versagen von Schutzeinrichtungen als Gefahrenquelle im Sinne des § 3 Absatz 1 StörfallV ausgeschlossen werden kann. Falls ein Betriebsbereich jedoch direkt an das entsprechende Gewässer grenzt, sind auch für ihn die Bemessungsgrundlagen der öffentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen anzuwenden, da Hochwasser sonst durch den Betriebsbereich in das Hinterland eindringen könnte. Falls die öffentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen nicht entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik bemessen oder errichtet wurden oder betrieben werden, kann das Versagen nicht ausgeschlossen werden. Der Betreiber hat dann eigene Maßnahmen gemäß § 3 StörfallV zu treffen; alternativ kann er sich an der Ertüchtigung der öffentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen beteiligen.

Bei der Festlegung von Extremereignissen für Fluss- und Küstenhochwasser sind – soweit vorhanden – die (Hochwasser-)Gefahren- und Risikokarten für dieses Szenario (§ 74 WHG) heranzuziehen, um die Folgen eines Versagens der Hochwasserschutzeinrichtungen ermitteln zu können (vgl. **Tabelle 2**).

Tabelle 2: Jährlichkeiten von naturbedingten Ereignissen, wie sie in anderen Rechtsbereichen, Regeln und Datenquellen Anwendung finden

Gefahrenquelle	Grundlage	Jährlichkeiten
Flusshochwasser	§ 74 WHG	(Hochwasser-)Gefahrenkarten ¹⁶ <ul style="list-style-type: none"> ➤ für Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder Extremereignisse ➤ Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (voraussichtliches Wiederkehrintervall mindestens 100 Jahre) ➤ soweit erforderlich, Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit
Küstenhochwasser	§ 74 WHG	für ausreichend geschützte Küstengebiete: Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder Extremereignisse
Festsetzung von Überschwemmungsgebieten	§§ 76 bis 78 WHG	extremwertstatistische Auswertungen der Abflusszeitreihen an Pegeln (100-jährlicher Hochwasserabfluss und zugehöriger Wasserstand).
Starkniederschläge	KOSTRA-Atlas ¹⁷	Niederschlagsintensitäten für eine Niederschlagsdauer von 5 Min. bis 72 Std. und Jährlichkeiten von 0,5 bis 100 Jahren

¹⁶ Gemäß den Szenarien der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (2007/60/EG). Risikokarten können herangezogen werden, sofern Betriebsbereiche bei der Bewertung von Hochwasserrisiken und voraussichtliche Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigt wurden.

¹⁷ Der KOSTRA-Atlas basiert auf Daten des Deutschen Wetterdienstes.

Gefahrenquelle	Grundlage	Jährlichkeiten
Regenwasserabfluss (Kanalbemessung) ¹⁸	Arbeitsblatt DWA A 118 (März 2006) i. V. m. DIN EN 752 (2008-04)	Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete: empfohlene Häufigkeit ¹⁹ des Bemessungsregens, bei dem noch keine Überlastung des Kanalsystems auftreten darf: 1 Mal in fünf Jahren Empfohlene Häufigkeit ²⁰ , ab der Überflutungen eintreten können: 1 Mal in 30 Jahren

Wie **Tabelle 2** zeigt, werden für die verschiedenen Ereignisse in anderen Rechtsbereichen, technischen Regeln und Datenbanken zum Teil unterschiedliche Jährlichkeiten verwendet. Bei Fluss- und Küstenhochwasser ist darüber hinaus die ggf. abweichende, örtliche Bemessung öffentlicher, ggf. benachbarter Hochwasser-schutzeinrichtungen zu beachten.

Im Einzelnen ist die detaillierte Gefahrenquellenanalyse mit Hilfe der folgenden Vorgaben und Hilfsmittel durchzuführen.

7.1. Teil A: Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang)

Für den Fall, dass Überflutungen und hiermit verbundene Gefahrenquellen nicht bereits aufgrund der vereinfachten Gefahrenquellenanalyse vernünftigerweise ausgeschlossen werden können, beinhaltet die detaillierte Gefahrenquellenanalyse folgende Schritte:

1. Ermittlung der potenziellen Zuflusswege mit Strömungsrichtung
2. Ermittlung der möglichen Wasserstandshöhen in Abhängigkeit von der Intensität des Ereignisses
3. Quantifizierung der Strömungsgeschwindigkeiten
4. Abschätzung der Gefährdung durch Treibgut oder Eisgang
5. Abschätzung der Gefährdung durch Erosion (Unterspülung von Gebäuden und Anlagenteilen)
6. Abschätzung der Gefährdung durch Aufschwimmen von Anlagen und Anlagenteilen

Die Quantifizierung der Strömungsgeschwindigkeit ist für die Abschätzung der Wirkung von Staudruck und Treibgut erforderlich.

¹⁸ Siehe DIN EN 752 Teil 8.4.3.3 Bemessungskriterien: Nationale oder lokale Vorschriften oder die zuständigen Stellen können Bemessungsregenhäufigkeiten oder Bemessungsüberflutungshäufigkeiten oder beides festlegen. Für Misch- und Trennsysteme dürfen unterschiedliche Bemessungskriterien festgelegt werden.

Die genannten Bemessungskriterien sind für die Gefahrenquellenanalyse relevant und dürfen für die Festlegung der Schutzziele (vgl. Kapitel 10) nicht unüberprüft übernommen werden.

¹⁹ Vgl. DIN EN 752 Teil 8.4.3.3 a) Bemessungskriterien für die Verwendung von einfachen Bemessungsverfahren.

²⁰ Vgl. DIN EN 752 Teil 8.4.3.3 b) d. h. unter Anwendung komplexer Verfahren.

Neben der Informationsauswertung, die entlang der potenziellen Zu- und Abflusswege erfolgt, sind weitere Informationen zu ermitteln, die für das zu entwickelnde Schutzkonzept unabdingbar sind. Hierzu zählen:

1. die Geschwindigkeit des Eintritts eines Ereignisses,
2. die Dauer des Ereignisses sowie
3. die abrufbaren Vorwarnungen, wie z. B. Unwetterwarnungen, Pegelstandsvorhersagen und Niederschlagsintensitäten.

Mit diesen zusätzlichen Informationen sind vom Betreiber für seinen Betriebsbereich im Alarm- und Gefahrenabwehrplan – sofern gemäß § 10 StörfallV gefordert – realistische Reaktionszeiten zu entwickeln.

7.1.1. Ermittlung von Informationen über die potenziellen Zuflusswege

Zustrom von Oberflächenwasser

Der mögliche Zustrom von Oberflächenwasser kann mit einem digitalen Geländemodell, hilfsweise einer topografischen Karte, den Geländehöhen des Betriebes und seiner Umgebung sowie der Prüfung der örtlichen Randbedingungen ermittelt werden. Hindernisse wie Bebauungen, Aufschüttungen oder Ähnliches sind zu berücksichtigen. Erforderlich sind darüber hinaus Angaben über die örtlichen Gefälle sowie die Flächenversiegelung um den und in dem Betrieb.

Mit diesen Angaben muss verifiziert werden, ob und inwieweit der Betrieb tatsächlich durch den Zustrom von Oberflächenwasser betroffen werden kann, mit welchem Zustrom ggf. zu rechnen ist und welche Strömungsrichtungen zu erwarten sind.

Informationen zu den örtlich zu erwartenden Niederschlagsintensitäten können dem Kostra-Atlas²¹ und den extremwertstatistischen Auswertungen der örtlichen Niederschlagszeitreihen der Wasserwirtschaftsverwaltung nach Dauerstufe und Jährlichkeit entnommen werden.

Zustrom durch Überspülen oder Versagen von Hochwasserschutzanlagen und Qualmwasser

In der Nähe von Gewässern mit Hochwasserschutzanlagen ist der Zulaufweg von Wasser durch Überspülung oder im Versagensfall leicht vorhersehbar. Schwieriger wird es, wenn der Betrieb weiter entfernt von Hochwasserschutzanlagen angesiedelt ist und der Fließweg aufgrund der topografischen Situation ermittelt werden muss. Qualmwasser tritt jedoch in der Regel nur in unmittelbarer Nähe zum Deich auf.

Ein Überspülen von Hochwasserschutzanlagen erfolgt bei Überschreitung der Bemessung, d. h. ggf. bereits bei Hochwasser mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit.

²¹ Siehe <http://www.dwd.de/kostra>

Das Versagen von öffentlichen Hochwasserschutzanlagen kann als Gefahrenquelle im Sinne des § 3 Absatz 1 StörfallV in der Regel ausgeschlossen werden. Dies ist nicht möglich, wenn sie nicht entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik bemessen sowie errichtet wurden und betrieben werden.

Das Versagen oder Überspülen von Hochwasserschutzanlagen kann eine Gefahrenquelle im Sinne des § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfall) darstellen. So wird Deichüberspülung und ggf. Deichversagen in den im Wasserhaushaltsgesetz verankerten Gefahrenkarten für „Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder bei Extremereignissen“ zu Grunde gelegt. Der Betreiber muss dies ggf. im Rahmen der Empfehlungen in Kapitel 13 hinsichtlich seiner Maßnahmen zur Begrenzung von Auswirkungen mit berücksichtigen.

Zustrom durch Starkniederschläge und Kanalsystem

Die Bemessung einer Kanalisation erfolgt nach Arbeitsblatt DWA A 118 (März 2006)²² und DIN EN 752 (2008). Kanäle werden für einen bestimmten Durchfluss geplant, der auf der Grundlage

1. eines Bemessungsregens,
2. der Abflussbeiwerte für verschiedene Oberflächencharakteristiken,
3. der Größe des Einzugsgebietes sowie
4. der Geländeneigung

errechnet wird.

Ein wichtiger Parameter ist die zulässige Bemessungsüberflutungshäufigkeit des Kanalsystems in Abhängigkeit vom Schutzgut. Ein Überschreiten der Bemessung bedeutet, dass kein Wasser oder nur eine reduzierte Menge durch die Kanäle abfließt und sogar ein Rückstrom aus der Kanalisation zu erwarten ist, wodurch Überflutungen eintreten können. Als für Industrie- und Gewerbegebiete zulässige Überflutungshäufigkeit wird im Arbeitsblatt DWA A 118 (März 2006) in Verbindung mit DIN EN 752 (2008) ein Mal in 30 Jahren vorgeschlagen. Für ältere Kanalsysteme ist nicht auszuschließen, dass höhere Überflutungshäufigkeiten angesetzt wurden. Die tatsächliche Leistungsfähigkeit einer Kanalisation kann geringer als die Bemessung sein, wenn Beeinträchtigungen z. B. Ablagerungen und Schäden nicht durch angemessene Wartung beseitigt werden.

Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der betrieblichen und öffentlichen Kanalisation sowie der für die detaillierte Gefahrenquellenanalyse anzusetzenden Jährlichkeiten für die auslösenden Ereignisse ist der zu geringe Abfluss oder ein Zustrom aus der Kanalisation zu berücksichtigen. Die identifizierten Zuflusswegen und -ströme sind in den weiteren Schritten zu berücksichtigen.

²² Vgl. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: Arbeitsblatt DWA-A 118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“, März 2006

Informationen zu den Niederschlagsintensitäten können den oben genannten Quellen entnommen werden.

Eine Überflutung des Kanalsystems kann auch dadurch ausgelöst werden, dass bei einem Hochwasserereignis das Gewässer in das Kanalsystem zurückstaut und das Abwasser nicht mehr abfließen kann.

7.1.2. Ermittlung der möglichen Wasserstandshöhen

Für die Ermittlung der möglichen Wasserstandshöhen wird zwischen Überflutungen durch Fluss- und Küstenhochwasser und Überflutungen durch lokale Niederschläge in Gebieten, die nicht als (Hochwasser-)Risikogebiet ausgewiesen sind, unterschieden.

Überflutung durch Flusshochwasser

Für alle größeren Flüsse in Deutschland sind die Überschwemmungsgebiete festzustellen und für Gewässer mit signifikantem Hochwasserrisiko Gefahren- und Risikokarten für festgelegte Hochwässer bis spätestens Ende 2013 zu erstellen. Die Grundlage für dieses Kartenmaterial bilden bundesweit ein Hochwasser mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren (mittlere Wahrscheinlichkeit nach § 74 WHG) sowie Hochwässer mit einer Jährlichkeit größer als 100 Jahren (Extremhochwasser / niedrige Wahrscheinlichkeit nach § 74 WHG). Die Karten sind im Internet veröffentlicht bzw. bei den zuständigen Wasserbehörden einsehbar. Die (Hochwasser-)Gefahrenkarten geben darüber Auskunft, mit welchen Wasserständen lokal zu rechnen ist. Liegt ein Betrieb innerhalb eines kartierten (Hochwasser-)Risikogebietes, liegen Informationen über die lokal zu erwartenden Wasserstandshöhen vor. Darüber hinaus sind oftmals auch Angaben über die Strömungsgeschwindigkeiten erhältlich.

Überflutung durch Sturmfluten

Analog zum Flusshochwasser sind für die gefährdeten Küstengebiete ebenfalls Karten erarbeitet worden. Die ausgewiesenen (Hochwasser-)Risikogebiete sind die Gebiete, die im Fall des Versagens von Hochwasserschutzanlagen überflutet werden können.

Überflutungen durch lokale Starkregenereignisse in Gebieten außerhalb von Überschwemmungs- und ausgewiesenen (Hochwasser-)Risikogebieten

Risikogebiete gemäß den §§ 72 und 73 WHG werden nur für durch Hochwasser von Gewässern gefährdete Gebiete bestimmt. Die Gefährdung eines Betriebsbereichs oder einer Anlage durch lokale Starkniederschläge erschließt sich daher weniger einfach als bei Fluss- oder Küstenhochwasser. Gleichwohl haben vergangene Ereignisse gezeigt, dass diese Gefahrenquelle sehr wohl real werden und zu einer Überflutung von Gebieten führen kann, die nicht als (Hochwasser-)Risikogebiete ausgewiesen sind. In einigen Bundesländern (z. B. Thüringen) finden daher Untersuchungen zur Lokalisierung besonders sturzflutgefährdeter Gebiete statt.

Um die Gefahrenquelle einzuschätzen, müssen zunächst Informationen gesammelt werden, die prüfbar und belastbar sind. Auf dieser Grundlage ist eine Zu- und Abflussbilanz aufzustellen. Der Oberflächenzu- und -abfluss wird wesentlich bestimmt durch:

1. lokale Niederschlagsintensität und –dauer²³,
2. Größe der Oberfläche, die bei der Ermittlung des Zuflusses zu berücksichtigen ist,
3. Versickerungsrate in Abhängigkeit von der Flächennutzung,
4. Leistungsfähigkeit des Kanalsystems,
5. Abflusshindernisse.

Die sich einstellende lokale Wasserstandhöhe ergibt sich aus der Volumenstrombilanzierung in Verbindung mit der lokalen Geländeformation. Bereits aus den Höhenlinien der topografischen Karte ist ersichtlich, ob sich der Betrieb in einer Mulde oder in einem Gebiet mit Gefälle befindet. Des Weiteren ist zu prüfen, ob mögliche Hindernisse wie Bahndämme oder andere Bauwerke den Abfluss von Wasser behindern können. Auch der Verschluss von Brücken durch Treibgut kann den Oberflächenabfluss behindern.

Kann eine Überflutung nicht ausgeschlossen werden, sind digitale Geländemodelle und in der Regel Berechnungsprogramme zur hydrologischen und hydraulischen Simulation zu nutzen. Für einfache Fälle kann eine 1-D-Betrachtung, für größere Betriebe oder bei unklaren Strömungsrichtungen kann eine instationäre 2-D-Simulation sinnvoll sein.

In Fällen, in denen eine Gefahrenquellenanalyse auf der Grundlage einer Volumenstrombilanzierung in Verbindung mit der geografischen Lage des Betriebs keine plausiblen Ergebnisse zur Berechnung hinsichtlich des möglichen lokalen Wasserstandes liefert, sind sinnvolle Annahmen für die weitere Durchführung der Gefahrenquellenanalyse zu treffen.

Ist beispielsweise bereits aufgrund der topografischen Karte erkennbar, dass der Betrieb oder ein sicherheitsrelevantes Teil desselben in einer Mulde liegt, muss angenommen werden, dass eine Überflutung des Geländes eintreten kann. Unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten sind sinnvolle Wasserstandshöhen anzunehmen. Durch Variation der Wasserstände kann die Gefährdung des Betriebes eingegrenzt werden (Sensitivitätsanalyse). Die Wahl der angenommenen Wasserstände ist von der Geländeformation abhängig.

²³ Vgl. Bartels, H. et al.: Kostra-DWD-2000 Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000) Fortschreibungsbericht, DWD Offenbach 2005; Verworn, H.-R., Kummer, U.: Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN), Leibnitz Universität Hannover 2006; Verworn, H.-R., Draschoff, R.: PEN-Erweiterung. Leibnitz Universität Hannover 2008

7.1.3. Abschätzung der Strömungsgeschwindigkeit

Strömung tritt im Falle von Überflutungen immer im Zusammenhang mit Gefällestrecken auf. Gefällestrecken sind:

1. Fließwege von Flüssen und Bächen,
2. Berghänge bei Zufluss von Oberflächenwasser,
3. Gefälle zwischen Oberkante der Hochwasserschutzeinrichtungen und den dahinterliegenden Gebieten im Falle einer Überspülung oder eines Versagens z. B. durch Deichbruch,
4. ggf. auch Höhenunterschiede innerhalb eines Betriebs.

Die Kenntnis der Strömungsgeschwindigkeit ist für die Berechnung derjenigen Kräfte erforderlich, die auf Anlagenteile, wie z. B. Behälter, wirken (Staudruck). Darüber hinaus liefert sie die Grundlage beispielsweise zur Berechnung des Impulses beim Aufprall eines Treibgutes auf einen Behälter bzw. zur Bemessung von stationären oder mobilen Schutzsystemen.

Die Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt in der Regel mit Hilfe hydraulischer Modelle, die auch hinsichtlich der Bewertung der Erosionsgefahr die erforderlichen Grundlagendaten ausgeben können.

Fließwege von Flüssen und Bächen

Die Strömungsgeschwindigkeit in den ausgewiesenen (Hochwasser-)Risikogebieten entlang der Fließgewässer ist oftmals den bis Ende 2013 zu erstellenden, amtlichen (Hochwasser-)Gefahrenkarten zu entnehmen und steht damit den Betrieben, die in den ausgewiesenen (Hochwasser-)Risikogebieten entlang der Fließgewässer liegen, in zahlreichen Fällen zur Verfügung. Soweit das nicht der Fall ist, ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich.

Berghänge bei Zufluss von Oberflächenwasser

Die Strömungsgeschwindigkeit des zulaufenden Wassers ist u. a. vom Gefälle und der Rauigkeit des Untergrundes abhängig. Hieraus lassen sich die Strömungsgeschwindigkeiten näherungsweise ermitteln.

7.1.4. Abschätzung der Gefährdung durch Treibgut oder Eisgang

Die Bewertung der Gefahrenquelle Treibgut hat auf der Basis

1. der Geländenutzung,
2. Gefälle,
3. Strömungsrichtung,
4. Strömungsgeschwindigkeit und ggf.
5. der zu erwartenden Wassermenge

zu erfolgen. Diese Gefahrenquellen können insbesondere relevant sein für Rohrbrücken, aufgeständerte Behälter etc.

Bei der Bewertung der Geländenutzung ist zwischen internem und externem Treibgut zu unterscheiden. Externes Treibgut sind z. B. Äste, Baumstämme oder gar Autos, die von außen auf das Betriebsgelände getrieben werden können. Internes Treibgut sind Materialien, wie z. B. Container, Rohre, Fässer, Behälter, Wärmetauscher, die auf dem Betriebsgelände selbst bevorratet werden und im Falle einer starken Strömung mobilisiert werden können. Internes Treibgut ist durch geeignete Aufstellung oder Sicherung zu vermeiden.

Kann eine lokale Strömungsgeschwindigkeit am Ort des Betriebes ermittelt bzw. abgeschätzt werden, kann ein Treibgutprall oder Eisstoß mit Hilfe bestimmter Lastannahmen berechnet werden. In dieser Weise wird z. B. bei der Dimensionierung von mobilen Hochwasserschutzanlagen vorgegangen. Als Grundlage zur Lastprüfung wird eine Grundfläche von 0,5 m x 0,5 m angesetzt. Der Mindestwert der Ersatzlast beträgt 10 kN. In Abhängigkeit vom Aufprallwinkel und der Fließgeschwindigkeit kann die Last variiert werden (Tabelle 3). Eine Auslegung gegen Treibgut- und Eisstoß kann nach den Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“²⁴ erfolgen.

Tabelle 3: Lastannahmen für Treibgut nach BWK - Merkblatt 6²⁵

		Fließgeschwindigkeit v		
		3 m/s	2 m/s	1 m/s
Winkel δ	31°-45°	30 kN	20 kN	10 kN
	21°-30°	20 kN	15 kN	10 kN
	10°-20°	15 kN	10 kN	10 kN

Ist die Tabelle nicht anwendbar, ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich.

Ergänzend ist zu berücksichtigen, wie Treibgut auf den Verlauf von Überflutungen Einfluss nehmen kann (z. B. durch Verstopfung von Wehren oder Brücken).

7.2. Teil B: Grundwasseranstieg

Um die Gefährdung durch Grundwasseranstieg zu bewerten, sind vom zuständigen Wasserwirtschaftsamt bzw. den örtlichen Behörden Informationen zur Höhenlage des Grundwasserspiegels einzuholen. Darüber hinaus liegen in zahlreichen Fällen Aufzeichnungen über einen längeren Zeitraum zu Veränderungen des Grundwasserspiegels vor. Die Behörden verfügen häufig auch über Modelle, die Aussagen über zu erwartende Veränderungen der Grundwasserspiegel liefern. Die Gefahrenquellen-

²⁴ Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen": Häfen und Wasserstraßen, EAU 2004 (10.Auflage 2009, Neufassung 2010)

²⁵ Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK): „Mobile Hochwasserschutzsysteme“, Grundlagen für Planung und Einsatz, Dezember 2005

analyse baut im Wesentlichen auf diesen Informationen und den Einbautiefen von sicherheitsrelevanten Teilen von Betriebsbereichen und Anlagen auf. Weiter relevant kann der Ausfall von Pumpen für die Grundwasserhaltung - etwa durch einen Stromausfall - sein, wenn dies einen schnellen Grundwasseranstieg auslösen kann.

7.3. Berücksichtigung des Klimawandels



Im Rahmen der Gefahrenquellenanalyse sollen die voraussichtlichen Folgen des Klimawandels Berücksichtigung finden, selbst wenn diese naturgemäß mit Unsicherheiten behaftet sind. Es ist davon auszugehen, dass der bereits eingetretene Wandel des Klimas Einfluss auf Intensität und Häufigkeit des Wirksamwerdens zumindest eines Teils der oben genannten Gefahrenquellen hat.

Für die Durchführung der detaillierten Gefahrenquellenanalyse hat der Betreiber Informationen und Daten zusammenzustellen, die auf unterschiedlichen Grundlagen basieren können. Daten, die durch statistische Auswertungen historischer Ereignisse ermittelt wurden, berücksichtigen nur vergangene Ereignisse. Dennoch bieten sie zunächst eine Grundlage für die Durchführung der Gefahrenquellenanalyse.

Mit dem globalen Anstieg der Temperatur infolge des Klimawandels steigt die Wasseraufnahmefähigkeit der Atmosphäre überproportional an. Dies lässt erwarten, dass Starkniederschläge bzgl. ihrer Intensität und Häufigkeit entsprechend dem Temperaturanstieg zunehmen. Es können daher Voraussetzungen für gegeben erachtet werden, dass die Wahrscheinlichkeit für Hochwasser bzw. Überflutungen durch häufigere und intensivere Starkniederschläge steigen wird. Die Angaben bzgl. der Zunahme der Niederschlagsmengen sind dagegen durchaus unterschiedlich. Gemäß den 2007 vom IPCC untersuchten Emissionsszenarien ist zu vermuten, dass im Winter die Niederschlagsmengen für den Zeitraum 2021 bis 2050 um 0 % bis 15 % gegenüber dem Kontrollzeitraum 1961 bis 1990 zunehmen können. Für den Zeitraum 2071 bis 2100 können sie um 0 % bis 40 % zunehmen, wobei die regionalen Niederschlagsmengen sehr unterschiedlich sein können.

Um den wissenschaftlichen Erkenntnissen über den Klimawandel im Rahmen der Gefahrenquellenanalyse am besten Rechnung zu tragen, müssten die regionalen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für Niederschläge etc. angepasst werden. Hierzu können bereits vorliegende Erkenntnisse über die Veränderung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen oder Annahmen aufgrund der Szenarien über den Klimawandel genutzt werden.

Weil eine Anpassung jedoch meist mit großem Aufwand verbunden ist, kann stattdessen der einfachere Ansatz eines pauschalen Zuschlages auf die historischen Daten angewandt werden, selbst wenn er nicht wissenschaftlich exakt ist. Ein solcher Ansatz wird im Projekt KLIWA²⁶ untersucht, um die Folgen des Klimawandels auf den Hochwasserabfluss in ihre wasserwirtschaftlichen Planungen für den vorbeugenden Hochwasserschutz einfließen zu lassen. Wie die Untersuchungen zeigen,

²⁶ KLIWA: Kooperationsvorhaben "[Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft](#)"

wird für den Hochwasserabfluss für ein Ereignis, das statistisch ein Mal in 100 Jahren eintritt, je nach Flusseinzugsgebiet ein Zuschlag von 15 % bzw. 25 % zu den bisherigen Hochwasserkennwerten bei der Bemessung von neuen Hochwasserschutzanlagen empfohlen.²⁷

Einem pragmatischen Ansatz folgend, soll im Rahmen der detaillierten Gefahrenquellenanalyse analog dem kurz beschriebenen Projekt KLIWA vorgegangen werden. Selbst wenn noch nicht in jedem Fall ein Klimaänderungsfaktor wissenschaftlich ermittelt werden konnte, soll im Rahmen der Festlegung von Szenarien und Schutzzielen sowie der Erarbeitung eines Schutzkonzeptes grundsätzlich ein Klimaänderungsfaktor von pauschal 1,2 (vgl. Anhang I Berücksichtigung des Klimawandels) angesetzt werden, sofern von den zuständigen Behörden gemäß den §§ 72 bis 81 WHG die Folgen des Klimawandels nicht bereits in den (Hochwasser-)Gefahrenkarten berücksichtigt wurden oder die zuständige Behörde für das jeweilige Gewässer mögliche Veränderungen des Abflusses bei Hochwasser aufgrund des Klimawandels bereits festgestellt hat. Auf diese Weise wird eine Verbindung zwischen statistischen Daten historischer Ereignisse und der möglichen zukünftigen Entwicklung aufgrund des Klimawandels auf eine einfache Art hergestellt.

Um den Klimawandel zu berücksichtigen, ist ein Zuschlag von 20 % anzusetzen bei

1. der Starkniederschlagshöhe,
2. dem Bemessungshochwasserabfluss,

soweit in den zugrunde liegenden Daten der Einfluss des Klimawandels noch nicht berücksichtigt ist.

Der Klimaänderungsfaktor ist eine Auslegungsgröße, mit deren Hilfe bei der Planung von Schutzvorkehrungen und -maßnahmen eventuelle Klimaänderungen bis zum Jahr 2050 pauschal berücksichtigt werden sollen. Näheres ist Anhang I zu entnehmen. Er ist nicht anzuwenden bei der Entscheidung, ob eine Gefahrenquelle vernünftigerweise auszuschließen ist, und bei der Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Kapitel 13 Dennoch-Störfälle).

8. Ermittlung der sicherheitsrelevanten, gefährdeten Teile des Betriebsbereichs und der Anlagen



Derartige sicherheitsrelevante Teile des Betriebsbereichs (SRB) und der Anlagen (SRA) sind

1. Anlagen und Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt,
2. Anlagen und Anlagenteile mit besonderer Funktion.

(siehe auch KAS-1 und Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV)

²⁷ Hennegriff, W.; Kolokotronis, V.: Methodik zur Ableitung von Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserkennwerte in Baden-Württemberg. Wasserwirtschaft 9/2007, S. 31 bis 35

Gefährdete Teile von Betriebsbereichen und Anlagen im Sinne dieser TRAS sind sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen und Anlagen, bei denen bei Wirksamwerden der jeweiligen umgebungsbedingten Gefahrenquellen (d. h. Gefährdung durch die Umgebung) eine Gefahr bzw. Gefährdung durch einen Störfall (d. h. Gefahr bzw. Gefährdung im Betrieb oder für die Umgebung) bestehen kann. Der Kreis der zu schützenden Teile von Betriebsbereichen und Anlagen ist daher von der Art der Gefahrenquelle und der unterstellten Intensität (z. B. Wasserstand in m, Strömungsgeschwindigkeit in m/s, Niederschlag in mm/h) derselben abhängig.

Auch Anlagen außerhalb des Betriebsbereichs können eine Sicherheitsrelevanz aufweisen. Die möglichen Wirkungen der Gefahrenquellen auf diese Anlagen müssen dann ebenfalls betrachtet werden.

Soweit die Ermittlung der sicherheitsrelevanten Anlagenteile (SRA) auf der Basis von Richtwerten (KAS-1) erfolgte, ist diese für die Gefahrenquellen Überflutung und hoher Grundwasserstand im Hinblick auf eine ausreichende Berücksichtigung der Wassergefährdung der Stoffe und Stoffgruppen zu überprüfen.

Hinweis: Bei bestehenden Betriebsbereichen und Anlagen waren die sicherheitsrelevanten Anlagen und Anlagenteile bereits für die Erstellung des Sicherheitsberichts zu ermitteln. Diese Ermittlung ist zu überprüfen, wenn die jeweilige Gefahrenquelle auf mehr als eine Anlage mit dem gleichen Stoff bzw. der gleichen Stoffgruppe gemäß Anhang I StörfallV wirken kann.

8.1. Teil A: Ermittlung der durch Überflutung, (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut, Eisgang) gefährdeten Teile von Betriebsbereichen und Anlagen

Die sicherheitsrelevanten Teile von Betriebsbereichen und Anlagen mit besonderem Stoffinhalt oder mit besonderen Funktionen müssen dahingehend betrachtet werden, ob sie im Einflussbereich des Wasserzustroms liegen und ob sie ganz oder teilweise unterhalb der potenziellen Wasserstandshöhe liegen. Mit der ermittelten Strömungsrichtung und der Bewertung von möglicherweise anfallendem Treibgut oder Eisgang sind zudem diejenigen sicherheitsrelevanten Teile von Betriebsbereichen und Anlagen zu ermitteln, bei denen eine Beschädigung durch äußere Krafteinwirkung nicht ausgeschlossen werden kann. Hilfsmittel zur Ermittlung der gefährdeten Anlagen und Anlagenteile sind Maschinenaufstellungspläne (Seitenansicht) sowie die topografischen Karten und digitalen Geländemodelle.

Anschließend sind die so ermittelten, durch Überflutung gefährdeten Anlagenteile z. B. in den R&I-Fließbildern zu identifizieren, um deren Funktion innerhalb der Gesamtanlage beurteilen zu können.

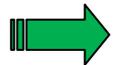
Darüber hinaus sind auch sicherheitsrelevante Einrichtungen zu berücksichtigen, die nicht auf dem Betriebsgelände stehen, wie z. B. Transformatorstationen, Telefonverteiler. Auch die Infrastruktureinrichtungen wie Straßen und Bahngleise sind zu berücksichtigen, damit auch deren Funktionen in einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan (soweit gemäß § 10 StörfallV gefordert) berücksichtigt werden kann.

8.2. Teil B: Ermittlung der durch Grundwasseranstieg gefährdeten Teile von Betriebsbereichen und Anlagenteile

Eine Gefährdung von Teilen von Betriebsbereichen und Anlagen mit besonderem Stoffinhalt oder mit besonderer Funktion durch aufsteigendes Grundwasser beschränkt sich auf Anlagenteile, die unterirdisch im Sinne des anlagenbezogenen Gewässerschutzes sind²⁸, insbesondere im Erdreich verlegt sind. Hierzu zählen vor allem unterirdische Tanks und im Erdreich verlegte Rohrleitungen.

Darüber hinaus ist die Wirkung auf Fundamente und Kellerräume sonstiger sicherheitsrelevanter Teile von Betriebsbereichen und Anlagen zu beachten (insbesondere Auftriebskräfte, die zum Versagen des Tragwerks führen können).

9. Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen



Bei der Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen ist für die einzelnen gefährdeten Teile von Betriebsbereichen und Anlagen zu prüfen, ob im Falle der unterstellten Art und Intensität des Wirksamwerdens der jeweiligen Gefahrenquelle tatsächlich ein Störfall eintreten kann oder ob nur eine Störung des Betriebes vorliegt. Hierzu ist zu untersuchen, wie sich das Wirksamwerden der Gefahrenquelle auf die jeweils gefährdeten sicherheitsrelevanten Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevanten Teile eines Betriebsbereichs (SRB) auswirken kann. Beispiele für mögliche auslösende Ereignisse sowie Auswirkungen auf die SRA und SRB gibt **Tabelle 4**.

Folgendes Vorgehen wird vorgeschlagen:

1. Ermittlung der Auswirkungen auf gefährdete Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt,
2. Ermittlung der Auswirkungen auf gefährdete Anlagenteile mit besonderer Funktion (innerhalb von Anlagen),
3. Ermittlung der Auswirkungen auf gefährdete Anlagen mit besonderem Stoffinhalt,
4. Ermittlung der Auswirkungen auf gefährdete Anlagen mit besonderer Funktion innerhalb und außerhalb des Betriebsbereichs,
5. Ermittlung der Auswirkungen auf den Betriebsbereich.

Spätestens im letzten Schritt sind die Folgen des gleichzeitigen Wirkens von Gefahrenquellen auf alle Teile von Betriebsbereichen und Anlagen des Betriebes sowie Wechselwirkungen (Wirkung auf eine Anlage/ein Anlagenteil löst Störfall in einer anderen Anlage/einem anderen Anlagenteil aus) zu betrachten.

²⁸ Als solche werden bezeichnet: Unterirdische Anlagen sind Anlagen, bei denen zumindest ein Anlagenteil unterirdisch ist; unterirdisch sind Anlagenteile, a) die vollständig oder teilweise im Erdreich eingebettet sind, sowie b) die nicht vollständig einsehbar in Bauteilen, die unmittelbar mit dem Erdreich in Berührung stehen, eingebettet sind (Entwurf zur Verordnung zu den §§ 62 und 63 WHG).

Tabelle 4: Beispiele von Szenarien zur Ermittlung der Voraussetzungen von Störfällen

Auslösendes Ereignis	Mögliche Auswirkungen auf SRA und SRB
Teil A: Gefährdungen bei Überflutung, Treibgut und Eisgang	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lösen von Behältern aus ihrer Verankerung (Lageänderungen) ➤ Beschädigung von Behältern und Rohrleitungen ggf. Gebäuden bzw. Gebäudeteilen ➤ Verschiebung oder Unterspülung von Fundamenten ➤ Einschränkung der Funktion oder Ausfall von Anlagenteilen und Versorgungseinrichtungen, wie z. B. <ul style="list-style-type: none"> • Stromversorgung • Prozessleittechnik • Sonstigen sicherheitstechnischen Einrichtungen • Versorgungsleitungen außerhalb des Betriebs
<u>Einwirkungen durch Überflutung und Strömung</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Wassereintritt (u. a. chemische Reaktion mit Gefahrstoffen bei Eindringen in Umschließungen) ➤ Auftrieb ➤ Wasserdruck (statische Kräfte) ➤ Temperaturänderung (Abkühlung und Erwärmung) ➤ Strömung (Kräfte durch Anströmung) ➤ Unterspülung und Erosion 	
<u>Mechanische Einwirkung durch Treibgut</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Betriebliches Treibgut, wie Container, Transportbehälter, Abfallmulden, Fässer, Paletten, Baumaterial, gelagerte Anlagenkomponenten ➤ umgebungsbedingtes Treibgut (von außerhalb des Betriebs) aus ländlichen Räumen (Äste, Bäume usw.), aus Gewerbe- und Wohngebieten (Autos etc.) sowie aus Gewässern (Eisgang) 	
Teil B: Einzelgefährdungen infolge Grundwasseranstieg <ul style="list-style-type: none"> ➤ Auftrieb ➤ Wassereintritt (u. a. chemische Reaktion mit Gefahrstoffen bei Eindringen in Umschließungen) ➤ Wasserdruck (statische Kräfte) 	

10. Festlegung von Szenarien und Schutzziele

Auf der Grundlage der Kenntnisse der möglichen Gefahrenquellen (7. Detaillierte Gefahrenquellenanalyse) und der hierdurch möglichen Gefahren bzw. Gefährdungen (9. Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen) sind abdeckende Szenarien zu bilden, die detailliert zu untersuchen sind (vgl. Kapitel 9.2.6.2 der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV). Sie dienen der Ermittlung der Wirksamkeit von Vorkehrungen und Maßnahmen nach § 3 Absatz 1 und § 4 StörfallV „Anforderungen zur Verhinderung von Störfällen“ (vgl. Kapitel 9.2.6.2.3 Nummer 1 der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV) sowie deren Übereinstimmung mit dem Stand der Sicherheitstechnik.

Für die spätere Prüfung der Szenarien sind die übergeordneten Schutzziele bezüglich des Schutzes von Menschen, Umwelt und Sachgütern gemäß § 5 BImSchG und § 3 StörfallV zu beachten und bezogen auf die Gefahrenquellen sowie zugehörige Szenarien zu konkretisieren. Ergänzend sind die Anforderungen des anlagenbezogenen Gewässerschutzes gemäß den §§ 62 und 63 WHG insbesondere in Überschwemmungsgebieten zu beachten.

Grundlage für die Konkretisierungen sind die Ergebnisse der Gefahrenquellenanalyse aus der sich Informationen über die Intensität einer Gefahrenquelle als Funktion der Eintrittswahrscheinlichkeit ergeben. Bei Kenntnis der durch die Intensitäten ausgelösten Schäden können die Risiken ermittelt werden. Durch Konkretisierung der allgemeinen Schutzziele müssen diese Risiken auf ein akzeptiertes Maß reduziert werden.

Für die Festlegung der Schutzziele soll mindestens ein 100-jährliches Ereignis zu Grunde gelegt werden. Für Betriebe, die direkt an Gewässer grenzen, sind die Ausführungen in Kapitel 7 Absatz 2 zu beachten. Die Folgen des Klimawandels für die verschiedenen Gefahrenquellen sind ergänzend zu berücksichtigen (siehe Anhang I).

Beispielhaft können folgende Szenarien und Schutzziele benannt werden:

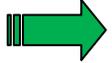
10.1. Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut und Eisgang)

- Z. B.: A) Auslegungsrelevante Szenarien / Intensitäten der Gefahrenquellen
1. Wasserstand (über Flur)
 2. Staudruck aufgrund der Strömungsgeschwindigkeit
 3. Last durch Treibgut beim Aufprall
 4. Niederschlagsintensität (mm/h)
- B) Konkretisierte Schutzziele
1. Schutz des Betriebes gegen den Wasserstand
 2. Auslegung der Schutzvorkehrungen gegen den Staudruck und Last durch Treibgut
 3. Schutz der sicherheitsrelevanten Anlagen gegen den Wasserstand oder Abfahren und Evakuierung der Gefahrstoffe bis zum Eintreffen des Hochwassers

10.2. Grundwasseranstieg

- Z. B.: A) Auslegungsrelevante Intensitäten der Gefahrenquellen
- Grundwasser gleich/höher Erdoberfläche
- B) Konkretisierte Schutzziele
- Auftriebssicherheit
 - Dichtigkeit

11. Erarbeitung von Schutzkonzepten für die Szenarien



Auf der Grundlage der vernünftigerweise nicht auszuschließenden Gefahrenquellen, identifizierten Gefahren bzw. Gefährdungen, Szenarien und Schutzzielen sind Schutzkonzepte zu entwickeln. Bei der Erarbeitung von Schutzkonzepten ist die Forderung zur Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik in § 3 Absatz 4 StörfallV zu beachten.

Bei der Erarbeitung eines Schutzkonzeptes ist neben der Intensität eines Ereignisses

1. die Geschwindigkeit des Eintritts des Ereignisses,
2. die Vorwarnzeit (z. B. Wettervorhersage und Pegelstände),
3. die Handlungsfähigkeit während des Ereignisses

von mitentscheidender Bedeutung. Dies betrifft insbesondere organisatorische Maß

Überflutungen den Aufbau mobiler Hochwasserschutzsysteme oder die Inbetriebnahme von Entwässerungstechnik.

Jedes Schutzkonzept soll verschiedene Sicherheitsvorkehrungen und –maßnahmen (Verteidigungslinien) beinhalten (Abbildung 5). Bei bestehenden oder zur Errichtung anstehenden Betriebsbereichen oder Anlagen können unterschiedliche Vorkehrungen und Maßnahmen sinnvoll sein.

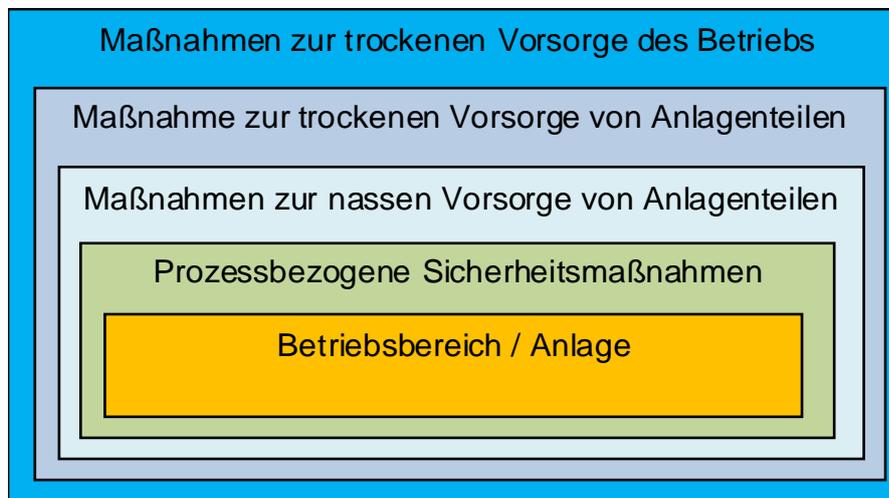


Abbildung 5: Sicherheitsvorkehrungen und –maßnahmen (Überflutung)

Schutzkonzepte gegen Hochwasser, Überflutung, Treibgut und Eisgang basieren meist auf den technischen Maßnahmen der trockenen Vorsorge für den betroffenen Betriebsbereich, einzelne Anlagen oder Anlagenteile. Bei der trockenen Vorsorge wird der Zutritt von Wasser unterbunden. Die Entwicklung eines geeigneten Schutzkonzeptes basiert auf der Kenntnis der Zutrittswege des Wassers.

Denkbar ist für einzelne Anlagenteile auch die nasse Vorsorge. Dies bedeutet, dass die Anlagenteile bei Zutritt von Wasser nach dem Stand der Technik zu sichern sind. Dies betrifft z. B. Behälter, die gegen Auftrieb zu sichern sind, oder unterirdische Tanklager (Grundwasseranstieg). Sowohl bei der trockenen als auch bei der nassen Vorsorge sind die Gefahrenquellen Treibgut und Eisgang zu berücksichtigen.

Darüber hinaus sind bei ausreichenden Reaktionszeiten auch organisatorische Maßnahmen denkbar.

Im Einzelnen sind folgende Schutzkonzepte zu nennen:

- Trockene Vorsorge
 1. Höhenlage des Betriebsbereichs oder zu schützender Anlagen
 2. Höhenlage von zu schützenden Anlagenteilen
 3. Stationärer, technischer Hochwasserschutz des Betriebsbereichs oder der zu schützenden Anlagen mit Auslegung gegen Treibgut und Eisgang
 4. Automatischer Verschluss von Kanälen und Rohrleitungen
 5. Mobiler, technischer Hochwasserschutz des Betriebsbereichs oder der zu schützenden Anlagen mit Auslegung gegen Treibgut und Eis sowie Planung für Hochwasser im Rahmen des Alarm- und Gefahrenabwehrplans.
- Nasse Vorsorge
 1. Auslegung von Anlagenteilen gegen Überflutung (Wasserstandshöhe, Auftrieb, Strömung, Staudruck, Treibgut und Eis)
 2. Maßnahmen zur Rückhaltung von externem Treibgut und Eis
 3. Sicherung von Lagerplätzen (internes Treibgut).
- Organisatorische Maßnahmen
 1. Außerbetriebnahme von Anlagen oder Anlagenteilen
 2. Evakuierung von gefährlichen Stoffen sowie Planung für Hochwasser im Rahmen des Alarm- und Gefahrenabwehrplans.

12. Prüfung der Schutzkonzepte



Das gemäß Kapitel 11 entwickelte Schutzkonzept ist hinsichtlich des Erreichens der Schutzziele zu überprüfen. Hierbei sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten und Intensitäten der umgebungsbedingten Gefahrenquellen sowie die Versagenswahrscheinlichkeiten der gewählten Vorkehrungen und Maßnahmen zur Risikoverminderung zu berücksichtigen.

Die Untersuchung dient dem Nachweis, dass die Betreiberpflichten gemäß StörfallV und BImSchG erfüllt sind.

Werden die gewählten Vorkehrungen und Maßnahmen nicht als ausreichend bewertet, so ist das jeweilige Schutzkonzept zu überarbeiten, um weitere Vorkehrungen und Maßnahmen zur Störfallvorsorge einzubeziehen.

Sind die Vorkehrungen und Maßnahmen ausreichend, sind die bisherigen Schritte, insbesondere die Schutzziele, Schutzkonzepte und deren Prüfung, unter Beachtung der entsprechenden Anforderungen der StörfallV und des BImSchG zu dokumentieren.

13. Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfälle) und Szenarien für die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung

Die Ermittlung dieser Szenarien erfolgt, um

1. die zur Begrenzung von Auswirkungen von vernünftigerweise auszuschließenden Störfällen gemäß § 3 Absatz 3 und § 5 Absatz 1 StörfallV (Dennoch-Störfälle) erforderlichen Maßnahmen (vgl. Kapitel 9.2.6.2.3 Nummer 2 der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV),
2. die für die Ausarbeitung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen gemäß § 10 StörfallV erforderlichen Informationen und
3. die für die Erstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erforderlichen Informationen gem. § 9 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV (vgl. Kapitel 9.2.6.2.3 Nummer 3 der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV)

zu ermitteln.

Vernünftigerweise auszuschließende Gefahrenquellen können zu Dennoch-Störfällen führen, deren Eintreten zwar nicht zu verhindern ist, gegen deren Auswirkungen jedoch unabhängig von den störfallverhindernden Vorkehrungen nach § 3 Absatz 1 StörfallV zusätzliche störfallauswirkungsbegrenzende Vorkehrungen zu treffen sind (§ 3 Absatz 3 StörfallV). Solche Gefahrenquellen können z. B. sein:

1. das Versagen von Vorkehrungen nach § 3 Absatz 1 StörfallV,
2. Hochwasser bzw. Niederschläge oberhalb der Jährlichkeit, die für die Vorkehrungen und Maßnahmen zur Störfallverhinderung „vernünftigerweise“ zu unterstellen ist²⁹.

Dies bedeutet, dass insbesondere im Falle einer möglichen Stofffreisetzung aufgrund vernünftigerweise auszuschließender Gefahrenquellen zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen sind, um schädliche Auswirkungen auf Menschen, Umwelt und Sachgüter zu begrenzen.

Vernünftigerweise auszuschließende Gefahrenquellen können jedoch auch so unwahrscheinlich sein, dass sie jenseits der Erfahrung und Berechenbarkeit liegen. Gegen diese exzeptionellen Störfälle sind keine anlagenbezogenen Vorkehrungen zu treffen. Liegt ein Betrieb hoch und küstenfern, so kann z. B. die Gefahrenquelle Sturmflut ausgeschlossen werden. Eine Berücksichtigung im Rahmen der Störfallauswirkungsbetrachtung ist unter diesen Bedingungen nicht weiterführend.

Als Szenario gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV ist das Eindringen von Wasser in den Betriebsbereich (trotz der nach § 3 Absatz 1 StörfallV vorhandenen Schutzmaßnahmen) anzunehmen. Dieses Szenario ist jedoch von dem nicht zu betrachtenden exzeptionellen Ereignis abzugrenzen, sodass u. U. nur ein Teil des Gefahrstoffinven-

²⁹ D. h. oberhalb der anzuwendenden Bemessungsgrößen vgl. Kapitel 10 und Anhang I.

tars relevant ist. Für das Ausmaß der Überflutung und die zu treffenden Maßnahmen ist daher eine ursachenunabhängige Einzelfallbetrachtung notwendig.

Bei den Szenarien nach § 3 Absatz 3 StörfallV kann sich der Betreiber z. B. orientieren an:

- Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder Extremereignissen (§ 74 WHG),
- Historische Ereignisse (z. B. HHQ),
- Hochwassermelde- und -alarmstufen,
- Niederschläge bestimmter Wahrscheinlichkeit.

Im Einzelnen ist bei der Darstellung der Szenarien zu beachten:

1. Durch den Ausschluss exzeptioneller Ereignisse sind höher liegende Anlagenteile möglicherweise nicht zu berücksichtigen,
2. umgebungsbedingte Gefahrenquellen, wie z. B. Hochwasser, können auf mehrere Anlagenteile gleichzeitig wirken und Störungen verursachen,
3. als Folge kann u. U. mehr als die größte zusammenhängende Masse (GZM) freigesetzt werden (Leckage mehrerer Behälter),
4. neben der Ausbreitung von Stoffen in der Atmosphäre ist bei hochwasser- und niederschlagsverursachten Ereignissen eine Ausbreitung auf dem Wasserweg anzunehmen,
5. es ist davon auszugehen, dass die Verfügbarkeit bisher vorgesehener auswirkungsbegrenzender Maßnahmen bei umgebungsbedingten Gefahrenquellen u. U. eingeschränkt (Zufahrtswege etc.) ist,
6. es ist darüber hinaus anzunehmen, dass die Verfügbarkeit externer Kräfte eingeschränkt ist,
7. darüber hinaus ist zu prüfen, inwieweit eine Störung eine weitere Störung an einer anderen Anlage und an einem anderen Anlagenteil auslösen kann.

Sinnvollerweise ist für die Darstellung von Ablaufszenarien für Dennoch-Störfälle zunächst festzustellen, inwieweit in den vorliegenden Sicherheitsberichten bestimmte Szenarien schon untersucht wurden und Ergänzungen unter dem Gesichtspunkt der umgebungsbedingten Gefahrenquellen erforderlich sind.

14. Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen



Nach § 3 Absatz 3 StörfallV hat der Betreiber zur Erfüllung seiner Pflichten vorbeugend Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten. Der Stand der Sicherheitstechnik umfasst technische und organisatorische Maßnahmen, die in den folgenden Kapiteln dargestellt werden. Bei den

technischen Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen sind zwei grundsätzliche Möglichkeiten zu unterscheiden:

1. Maßnahmen, die unmittelbar an dem betroffenen Betrieb ansetzen (z. B. Tanklager, Rohrleitungen), um die Freisetzung von gefährlichen Stoffen zu minimieren,
2. Maßnahmen, die um den betroffenen Betrieb ansetzen, um die Ausbreitung von Stoffen zu verhindern bzw. einzuschränken.

Ob und inwieweit die in dieser TRAS betrachteten äußeren umgebungsbedingten Gefahrenquellen Maßnahmen zur Verhinderung von Schadstoffausbreitungen überhaupt zulassen, muss systematisch im Einzelfall geprüft werden, weil neben dem betroffenen Betrieb meist auch die nähere Umgebung dieses Bereiches betroffen sein wird und die Gefahrenquelle, insbesondere Hochwasser, über eine längere Zeit andauern kann.

Als Schutzziele zur Begrenzung von Störfallauswirkungen sind grundsätzlich geeignet:

- a) Begrenzung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen aus ihrer Umschließung,
- b) Minderung der Ausbreitung freigesetzter, gefährlicher Stoffe,
- c) Begrenzung der Verdampfung von freigesetzten gefährlichen Stoffen,
- d) Verhinderung der Zündfähigkeit oder Zündung gefährlicher Stoffe,
- e) Verhinderung oder Minderung der Einwirkung auf sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen und Anlagen.

14.1. Störfallauswirkungsbegrenzung bei Überflutung (Wasserstandshöhe, Strömung, Staudruck, Treibgut und Eisgang)

Es ist zunächst zu prüfen, welche in Kapitel 11 bereits entwickelten Schutzkonzepte ohnehin das Szenario Überflutung abdecken und ob die hier ggf. bereits vorgesehenen störfallauswirkungsbegrenzenden Maßnahmen anwendbar sind. Im Gegensatz zu den in den Sicherheitsberichten meist betrachteten „Dennoch-Störfällen“ und hierfür durchgeführten Auswirkungsbetrachtungen für den Luftpfad sind im Überflutungsfall insbesondere die Ausbreitungen über den Wasserpfad relevant. Über den Wasserpfad können nur feste, flüssige oder gelöste gasförmige Stoffe in die Umwelt eingetragen werden. Feste Stoffe können sich absetzen, aufschwimmen oder sind dispers gelöst. Flüssige Stoffe können vollständig im Wasser gelöst werden oder werden als aufschwimmende Phase (z. B. Öl) fortgetragen. Darüber hinaus können sich flüssige Stoffe, mit einer Dichte größer als die von Wasser, absetzen, wobei dies ähnlich wie bei festen Stoffen von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist. Gase können sich ganz oder teilweise in Wasser lösen.

Für die umgebungsbedingten Gefahrenquellen Überflutung, Treibgut und Eisgang kommen insbesondere folgende technische Maßnahmen in Betracht:

Maßnahmen zur Begrenzung der Freisetzung von Stoffen z. B.

1. Verschließen von Lecks,
2. Umpumpen von Flüssigkeiten aus leckgeschlagenen Tanks,
3. Abpumpen von kontaminiertem Wasser aus Untergeschossen, Auffangtassen, Löschwasserbecken nach dem Hochwasserereignis.

Maßnahmen zur Begrenzung der Störfallauswirkungen z. B.

1. Einsatz von Barrieren zur Abflussverhinderung (z. B. Ölsperren),
2. Abpumpen und Entsorgung von kontaminiertem, stehendem Wasser,
3. Fassung und Behandlung von kontaminiertem Grundwasser aus Brunnen.

14.2. Störfallauswirkungsbegrenzung bei Grundwasseranstieg

Solange der Grundwasseranstieg anhält, besteht die Gefahr, dass ein unterirdischer Tank beschädigt wird, in dem eine Flüssigkeit gelagert ist, und Wasser eindringt. Somit ergeben sich folgende Maßnahmen zur Störfallauswirkungsbegrenzung:

Maßnahmen zur Begrenzung der Freisetzung von Stoffen z. B.

1. Prüfung, ob eine Beschädigung unterirdischer Anlagenteile vorliegt, solange der Grundwasserstand hoch ist,
2. Abpumpen von Flüssigkeiten aus beschädigten Tanks.

Maßnahmen zur Begrenzung der Störfallauswirkungen z. B.

1. Grundwasserabsenkung durch Brunnen (sowie hierfür eine Erlaubnis vorliegt),
2. Fassung und Behandlung von kontaminiertem Grundwasser aus Brunnen.

14.3. Organisatorische Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen

Eine wesentliche Voraussetzung für die Wirksamkeit von störfallauswirkungsbegrenzenden Maßnahmen ist die Information der Betroffenen bzw. der Behörden über Art und Ausmaß der Freisetzung sowie zu Verhaltensmaßnahmen. Hierzu zählen z. B.:

1. Warnung vor einer Trinkwasserentnahme,
2. Aufruf zum Schließen von Fenstern und Türen im Falle einer Gaswolke.

Zu den organisatorischen Maßnahmen zählt die Evakuierung von Betroffenen.

15. Planung für Notfälle, Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung



15.1. Planung für Notfälle

Gemäß § 8 Absatz 3 StörfallV hat der Betreiber in den Fällen des § 7 Absatz 2 Nummer 1 bis 3 StörfallV das Konzept zur Verhinderung von Störfällen, einschließlich das diesem Konzept zugrunde liegende Sicherheitsmanagementsystem, sowie die Verfahren zu dessen Umsetzung zu überprüfen und erforderlichenfalls zu aktualisieren. Dies betrifft daher auch die gemäß Anhang III 3e StörfallV erforderliche Planung für Notfälle. Im Rahmen einer derartigen Aktualisierung sind die Ergebnisse der obigen Schritte zu berücksichtigen.

15.2. Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen

Nach § 10 StörfallV hat der Betreiber eines Betriebsbereichs, der den erweiterten Pflichten unterliegt, einen Alarm- und Gefahrenabwehrplan (AGAP) zu erstellen und nach § 10 Absatz 4 StörfallV zu erproben, zu überprüfen und zu aktualisieren. Auch Betriebsbereiche mit Grundpflichten können entsprechend einer Anordnung im Einzelfall zum Aufstellen derartiger Pläne verpflichtet werden (§ 1 Absatz 2 i. V. m. § 6 Absatz 4 StörfallV).

Die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung wegen Gefahren durch Niederschläge und Hochwasser/Überflutung ist in der Regel als integraler Bestandteil eines gesamten internen Alarm- und Gefahrenabwehrplanes einzubringen. Im Einzelfall kann es aber auch sinnvoll sein, einen separaten internen Alarm- und Gefahrenabwehrplan, z. B. nur für Hochwasser, zu erstellen. Dieser separate Plan kann allerdings nur ein Teilbereich eines AGAPs sein. Eine Vernetzung mit dem Gesamt-AGAP ist hierbei erforderlich, da Folgeabläufe wie Stofffreisetzungen, resultierend aus Hochwasserereignissen in wesentlichen Punkten wieder mit den Organisations- und Handlungsabläufen des Gesamt-AGAP konform sein müssen.

15.3. Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung

Betreiber von Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten haben den zuständigen Behörden die für die Erstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erforderlichen Informationen zu übermitteln (§ 10 Absatz 1 Nummer 2 StörfallV). Hierzu hat die Störfall-Kommission den Leitfaden „Schnittstelle Notfallplanung“ (SFK-GS-45) herausgegeben. Neben den Angaben, die ohnehin in den Alarm- und Gefahrenabwehrplänen enthalten sein müssen, sind zusätzlich bzgl. der nicht auszuschließen-

den umgebungsbedingten Gefahrenquellen folgende Informationen an die Behörden zu übermitteln:

1. Lage des Betriebsbereichs in einer Höhenkarte,
2. Darstellung der Richtung aus der die Gefahr droht (z. B. Strömungsrichtung),
3. Möglicher Wasserstand im betroffenen Betriebsbereich,
4. Angaben zur Strömungsgeschwindigkeit,
5. Aufstellpläne mit Seitenansichten und Höhenangaben,
6. Art und Menge der gehandhabten Stoffe mit Eigenschaften (Gefahrstoffverzeichnis, erweitert um Angaben zum Hold-up der störfallrelevanten Stoffe),
7. Lage der Kanalisation,
8. Lage und Höhenangaben von Auffang- und Rückhaltebecken,
9. Lage von Grundwasserbrunnen und Trinkwassergewinnungsanlagen,
10. Informationen zur internen Alarm- und Gefahrenabwehrplanung bzgl. der umgebungsbedingten Gefahrenquellen.

Die übermittelten Informationen können auch für Hochwasserrisikomanagementpläne genutzt werden.

16. Dokumentation

Die bisherigen Schritte und ihre Ergebnisse, insbesondere die Schutzziele, Schutzkonzepte und deren Prüfung, sind zu dokumentieren. Bei Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten hat dies im Sicherheitsbericht sowie ggf. im Alarm- und Gefahrenabwehrplan zu erfolgen.

17. Erfüllung von weiteren Pflichten der StörfallV

17.1. Anforderungen an die Instandhaltung von Vorkehrungen (§ 6 Absatz 1 Nummer 1 und 2 StörfallV)

Nach § 6 Absatz 1 Nummer 1 und 2 StörfallV hat der Betreiber zur Erfüllung seiner Pflichten die Errichtung und den Betrieb der sicherheitsrelevanten Anlagenteile zu prüfen sowie die Anlagen des Betriebsbereichs in sicherheitstechnischer Hinsicht ständig zu überwachen und regelmäßig zu warten. Darüber hinaus sind die Wartungs- und Reparaturarbeiten nach dem Stand der Technik durchzuführen. Auf Anhang 1 Nummer 3.2 der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV wird hingewiesen.

Die Instandhaltungspflicht schließt die Instandhaltung von Vorkehrungen zur Verhinderung von Störfällen aufgrund von umgebungsbedingten Gefahrenquellen und zur Begrenzung von Störfallauswirkungen ein. Instandhaltungsarbeiten aufgrund von Herstellervorschriften oder Technischen Regeln sind durchzuführen.

17.2. Informationen und Schulungen der Beschäftigten (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV)

Durch geeignete Bedienungs- und Sicherheitsanweisungen und durch Schulung des Personals (einschließlich des relevanten Personals von Subunternehmen) ist Fehlverhalten vorzubeugen. Auf Anhang 1 Nummer 3.4 der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV wird hingewiesen.

Die Schulung des Personals beinhaltet sowohl das erforderliche Verhalten zur Erfüllung der Pflichten nach der StörfallV, z. B. zur Verhinderung von Störfällen und zur Begrenzung von Störfallauswirkungen, als auch das Verhalten zur eigenen Sicherheit im Falle des Wirksamwerdens der umgebungsbedingten Gefahrenquellen. Insbesondere ist auf die Gefahren einer mittleren oder hohen Strömungsgeschwindigkeit auch schon bei niedrigen Wasserständen und von Stromschlägen bei der Überflutung von elektrischen Anlagen und Anlagenteilen hinzuweisen.

Das Personal ist hinsichtlich Art, möglicher Intensität und Häufigkeit der vernünftigerweise nicht ausgeschlossenen umgebungsbedingten Gefahrenquellen und bei deren Wirksamwerden erforderlichem Verhaltens zu schulen. In Anweisungen ist festzulegen, wer das Vorliegen einer akuten Gefahr bzw. Gefährdung feststellt, wie das Personal darüber informiert wird, wer sich wie zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung von Störfallauswirkungen und zur eigenen Sicherheit zu verhalten hat. Dies gilt für das gesamte Personal im Betriebsbereich d. h. auch für in nicht sicherheitsrelevanten Teilen des Betriebsbereichs Beschäftigte.

Im Rahmen von periodisch durchzuführenden Schulungen zur Vermittlung dieser Anweisungen sind auch Übungen (gemäß § 10 Absatz 4 StörfallV mindestens alle 3 Jahre), z. B. zum Aufbau einer mobilen Hochwasserschutzwand oder Evakuierung von Teilen eines Betriebsbereichs, durchzuführen. Dabei sind die Organisation, die Vorbereitung sowie die Abläufe zur Umsetzung von Maßnahmen zu prüfen und Anweisungen sowie Schulungen ggf. zu verbessern.

17.3. Beratung von zuständigen Behörden und Einsatzkräften im Störfall (§ 5 Absatz 2 StörfallV)

Nach § 5 Absatz 2 StörfallV hat der Betreiber einer Anlage zur Erfüllung seiner Pflichten, im Störfall die für die Gefahrenabwehr zuständigen Behörden und Einsatzkräfte unverzüglich, umfassend und sachkundig zu beraten. Auf Anhang I Nummer 2.3 der Vollzugshilfe des BMU zur StörfallV wird hingewiesen.

Unverzögliche Beratung setzt voraus, dass der Betreiber, seine Vertreterin oder sein Vertreter für Behörden und Einsatzkräfte nach Eintritt des Störfalls ohne schuldhaftes Verzögern erreichbar ist.

Umfassende Beratung setzt voraus, dass der Betreiber, seine Vertreterin oder sein Vertreter den Behörden und Einsatzkräften alle zur Minderung von Störfallauswirkungen erforderlichen Angaben übermitteln kann, insbesondere:

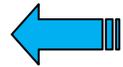
1. Informationen zum Betriebsbereich, einschließlich zu dessen Anlagen, den vorhandenen Stoffen, ihren Eigenschaften und Wirkungen auf Menschen und die Umwelt,
2. Informationen zum Störfall, insbesondere zu dessen möglichen Auswirkungen,
3. Informationen zum erforderlichen Verhalten von Personen innerhalb und außerhalb des Betriebsbereichs während und nach dem Störfall, insbesondere Informationen, die es der eventuell betroffenen Öffentlichkeit ermöglichen könnten, Maßnahmen zur Abwendung oder Begrenzung von Schäden infolge des Störfalls zu ergreifen,
4. Informationen über Möglichkeiten der Minderung von Ausbreitung und Wirkung der beteiligten Stoffe,
5. Informationen über Möglichkeiten zur Feststellung von Gefahren durch die beteiligten Stoffe.

Sachkundige Beratung setzt voraus, dass die gegebenen Informationen dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand entsprechen.

Im Falle von umgebungsbedingten Gefahrenquellen ist diese Beratung nicht nur gegenüber den für den Vollzug der StörfallIV verantwortlichen Behörden zu leisten, sondern gegenüber allen für die Verhinderung des Wirksamwerdens der Gefahrenquellen oder Begrenzung ihrer Folgen verantwortlichen oder tätigen Behörden und Einsatzkräften. Hinsichtlich Überflutungen schließt dies z. B. die Wasserbehörden und Wasserwehren ein.

Im Falle von Überflutungen muss sich die Beratung insbesondere auf Wirkung, Verhalten und Ausbreitung beteiligter Stoffe in Gewässern erstrecken können.

Anhang I Berücksichtigung des Klimawandels



Grundsätze:

Zur Anpassung an den Klimawandel ist dieser wie folgt zu berücksichtigen:

1. Auf die für das Jahr 2010 anzusetzenden Intensitäten von auslösenden Ereignissen wird ein Klimaanpassungsfaktor von 1,2 angewandt, um mögliche Änderungen bis 2050 zu berücksichtigen.
2. Neue Anlagen, die bis 2050 bzw. über 2050 hinaus ausgelegt werden, sollen der Anforderung entsprechen.
3. Der Klimaanpassungsfaktor muss nicht berücksichtigt werden, wenn eine neu geplante Anlage nicht bis 2050 betrieben werden soll.
4. Im Jahr 2050 sollen alle Anlagen unter Berücksichtigung des Klimaanpassungsfaktor ausgelegt sein.
5. Durch eine detaillierte Gefahrenquellenanalyse kann im Einzelfall begründet werden, dass von dem Faktor 1,2 abgewichen wird. Dies ist insbesondere möglich, wenn die Folgen des Klimawandels bereits in (Hochwasser-) Gefahrenkarten berücksichtigt sind oder die zuständige Behörde für das jeweilige Gewässer die mögliche Veränderung des Abflusses bei Hochwasser aufgrund des Klimawandels bereits festgestellt hat.
6. Sollten bis 2050 andere Erkenntnisse hinsichtlich des Klimawandels vorliegen, werden diese im Rahmen der Überarbeitungen dieser TRAS berücksichtigt.

Anforderungen:

Im Einzelnen wird der Bedarf der Anpassung an den Klimawandel wie folgt berücksichtigt:

Gefahrenquelle	ab 2010 anzusetzende Intensität	für 2050 anzusetzende Intensität
Flusshochwasser	Hochwasserabfluss (m ³ /s) vgl. Kapitel 7	1,2 x Hochwasserabfluss (m ³ /s)
Sturzflutereignisse ³⁰	Hochwasserabfluss (m ³ /s)	1,2 x Hochwasserabfluss (m ³ /s)
Sturmflutereignisse	Sollhöhe von Deichen etc. gemäß Festsetzung	Nacherhöhung von bis zu 1 m möglich ³¹
Starkniederschläge	Starkniederschlagshöhe ³² für t = 100 a	1,2 x Starkniederschlagshöhe für t = 100 a
aufsteigendes Grundwasser	Geländeoberkante	Geländeoberkante (Klimaanpassungsfaktor nicht relevant)

³⁰ Zum Begriff siehe unter Hinweise und Erläuterungen zur TRAS

³¹ Vgl. Generalpläne Küstenschutz, z. B. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz unter <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>

³² Vgl. <http://www.dwd.de/kostra>

Abkürzungsverzeichnis:

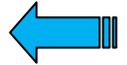
AGAP	Alarm- und Gefahrenabwehrplan (insbesondere gemäß § 10 StörfallV)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
12.BImSchV	Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Störfall-Verordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BWK	Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
d. h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
ggf.	gegebenenfalls
GZM	Größte zusammenhängende Masse (vgl. Abschlussbericht Schadensbegrenzung bei Dennoch-Störfällen Empfehlungen für Kriterien zur Abgrenzung von Dennoch-Störfällen und für Vorkehrungen zur Begrenzung ihrer Auswirkungen, Störfall-Kommission SFK-GS-26, Bonn 1999)
HHQ	Höchster bekannter Durchfluss
i. d. R.	in der Regel
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)
i. V. m.	in Verbindung mit
KAS	Kommission für Anlagensicherheit
KAS-1	„Richtwerte für sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereiches (SRB)“: Richtwerte für sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereiches (SRB), Kommission für Anlagensicherheit, Bonn 2006
KLIWA	Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung (Publikation des DWD)
o. g.	oben genannte(n)
R&I-Fließbild	Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema
SFK-GS-45	Leitfaden Schnittstelle Notfallplanung des Arbeitskreises Schnittstelle Notfallplanung, Störfall-Kommission, Bonn 2005
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
SRA	Sicherheitsrelevante Anlagenteile (vgl. KAS-1: Abschlussbericht - Arbeitskreis "Richtwerte für sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereiches (SRB)", KAS, Bonn 2006)
SRB	Sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereichs (vgl. KAS-1 s. o.)
StörfallV	Störfall-Verordnung - Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
TRAS	Technische Regel Anlagensicherheit
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
u. U.	unter Umständen
VAUwS	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Entwurf Dezember 2010
vgl.	vergleiche
WHG	Wasserhaushaltsgesetz – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
z. B.	zum Beispiel

Hinweise und Erläuterungen

zur Technischen Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310:

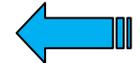
**Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen
Niederschläge und Hochwasser**

Zu Präambel



Üblicherweise enthalten Rechtsvorschriften Präambeln, in denen Sinn und Zweck der nachfolgenden Regelungen umrissen werden. Dieser Praxis folgt auch die Präambel der TRAS Niederschläge und Hochwasser. Das verfolgte Anliegen der TRAS und ihr Zustandekommen werden – wie bei früheren TRAS - kurz beschrieben.

Zu Grundlagen



Die Ausführungen im Kapitel Grundlagen zielen darauf ab, die rechtliche Zuordnung der TRAS zu verdeutlichen. Die Pflichten der Betreiber von Betriebsbereichen leiten sich aus § 3 der StörfallV (Störfall-Verordnung, 12. BImSchV) ab und umfassen Folgendes:

1. Vorkehrungen zur Verhinderung von Störfällen (§ 3 Absatz 1 StörfallV),
2. Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen – für „Dennoch“-Störfälle (§ 3 Absatz 3 StörfallV),
3. die Pflicht zur Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik (§ 3 Absatz 4 StörfallV).

Gemäß Absatz 2 sind bei der Erfüllung dieser Betreiberpflichten umgebungsbedingte Gefahrenquellen zu berücksichtigen, wobei Hochwasser und Erdbeben, *expressis verbis* genannt werden.

Vorkehrungen zur Verhinderung von Störfällen sind vom Betreiber zu treffen, wenn die Gefahrenquellen vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden können und müssen Art und Ausmaß der ansonsten bei Wirksamwerden der Gefahrenquellen resultierenden Gefahren entsprechen (d. h. im Verhältnis zu den hervorgerufenen Risiken stehen).

Zur Auslegung des Begriffs „vernünftigerweise“ wird auf die vom BMU veröffentlichte Vollzugshilfe zur Störfallverordnung hingewiesen.³⁵ Ob und wie die hier relevanten Gefahrenquellen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können, wird im Zusammenhang mit den Erläuterungen zur Gefahrenquellenanalyse diskutiert.

Um Art und Ausmaß der möglichen Gefahren zu ermitteln, müssen zuvor Art und Ausmaß der Gefährdungen durch umgebungsbedingte Gefahrenquellen ermittelt werden. Eine wichtige Erkenntnisquelle bzgl. der durch Niederschläge (und damit Hochwasser und sonstige Überflutungen) ausgelösten Gefahrenquellen sind die Ergebnisse der von zahlreichen Instituten durchgeführten Untersuchungen über den Klimawandel.³⁶ Nach den inzwischen vorliegenden Erkenntnissen werden zukünftige Niederschläge und Hochwasser in der Wahrscheinlichkeit ihres regionalen Auftretens

³⁵ BMU: Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung vom März 2004
<http://www.bmu.de/anlagensicherheit/doc/6133.php>

³⁶ Eine Literaturzusammenstellung befindet sich am Ende des Berichts.

und ihrer Intensität, im Ablauf und im Hinblick auf ihre Auswirkungen vom Klimawandel beeinflusst. Hierzu tragen bei:

1. Anstieg des Meeresspiegels,
2. Veränderung von Häufigkeit und Intensität von Sturmfluten,
3. Veränderung der Anteile der verschiedenen Großwetterlagen in Westeuropa,
4. Verlagerung der Hauptniederschlagsperioden im Jahresgang,
5. Veränderung der maximalen Schneehöhen in den einzelnen Flusseinzugsgebieten,
6. Veränderung der Zeiten und Intensitäten der Schneeschmelze in den einzelnen Flusseinzugsgebieten,
7. Veränderungen der voraussichtlich abflussrelevanten Niederschlagsmengen in den einzelnen Flusseinzugsgebieten und deren Teile,
8. Veränderung von Häufigkeiten, Intensitäten und Abflussrelevanz von Starkniederschlagsereignissen und extremen Wetterlagen (z. B. V_b-Ereignisse).

Weil diese Erkenntnisse mittlerweile weitgehende Akzeptanz gefunden haben, fordert die Deutsche Anpassungsstrategie der Bundesregierung an den Klimawandel³⁷ eine Überprüfung und ggf. Anpassung der bisherigen Sicherheitsanforderungen und -managementsysteme.

Beschaffenheit und Betrieb der Anlagen in Betriebsbereichen müssen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen, was damit auch für die wegen umgebungsbedingter Gefahrenquellen erforderliche Vorkehrungen und Maßnahmen gilt. Von daher ergibt sich für die Betreiber von Anlagen im Geltungsbereich der Störfall-Verordnung eine besondere Verantwortung zur Gewährleistung der Anlagensicherheit gegenüber Gefahrenquellen, wie Hochwasser und Starkniederschlägen.

Betreiber mit „erweiterten“ Pflichten haben nach § 9 StörfallV ihren Sicherheitsbericht sowie ihr Konzept zur Verhinderung von Störfällen und ihr Sicherheitsmanagementsystem zu jedem anderen Zeitpunkt, wenn neue Umstände dies erfordern, oder um aktuelle Erkenntnisse zur Beurteilung der Gefahren zu berücksichtigen, fortzuschreiben. Dies schließt Erkenntnisse zu umgebungsbedingten Gefahrenquellen und den Einfluss des Klimawandels auf diese ein.

Wichtige Schritte zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels erfolgten mit dem Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes im Jahre 2005³⁸ sowie mit der Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) 2009³⁹ insbesondere mit den neuen §§ 72 bis 81 WHG.

§ 73 WHG verpflichtet die zuständigen Behörden Hochwasserrisiken zu bewerten und Gebiete mit signifikantem Hochwasserrisiko bis Ende 2011 zu bestimmen. Hochwasserrisiko ist hierbei die Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts ei-

³⁷ BMU 2008: Deutsche Anpassungsstrategie an der Klimawandel (DAS),
www.bundesumweltministerium.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php

³⁸ Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes vom 3. Mai 2005, BGBl. I Nummer 26 vom 9.5.2005, S. 1224

³⁹ Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts vom 31. Juli 2009, BGBl 2009, Teil 1 Nummer 51 vom 6. Aug. 2009

nes Hochwasserereignisses mit möglichen nachteiligen Hochwasserfolgen. Die Bewertung und Bestimmung ist alle sechs Jahre zu überprüfen. Spätestens im Rahmen der ersten Überprüfung sind auch die voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen. Zu den relevanten nachteiligen Hochwasserfolgen gehören Folgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe, wirtschaftliche Tätigkeiten und erhebliche Sachwerte.

Gemäß § 74 WHG sind die zuständigen Behörden verpflichtet, Gefahren- und Risikokarten für Gebiete mit signifikantem Hochwasserrisiko bis Ende 2013 zu erarbeiten und spätestens bei deren erster Überarbeitung bis Ende 2019 auch die Folgen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Aus der Sicht der Berichtersteller sind die Gefahrenkarten im Rahmen der allgemeinen Betreiberpflichten bei der Ermittlung der Gefährdungen zu beachten, was durch einen Bezug zu den §§ 73 und 74 WHG in der TRAS herausgestellt wird.

Nach § 75 WHG haben die zuständigen Behörden für Gewässer mit gemäß § 73 WHG festgestelltem, signifikantem Hochwasserrisiko Risikomanagementpläne bis Ende 2015 zu erstellen, alle sechs Jahre zu aktualisieren und spätestens im Rahmen der ersten Aktualisierung bis Ende 2021 auch die voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Hochwasserrisikomanagementpläne werden ein bedeutendes Instrument des modernen Hochwasserschutzes werden⁴⁰. Hierzu tragen bei:

- die umfassenden Schutzziele,
- die grenzüberschreitende Erstellung für Flusseinzugsgebiete,
- die Anwendung des Managementprinzips mit einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess,
- die umfassenden Maßnahmen von Vorsorge bis Regeneration,
- der Einbezug aller interessierten Stellen und der Öffentlichkeit.

Die TRAS konkretisiert (lediglich) das Element Eigenverantwortung innerhalb des modernen Hochwasserrisikomanagements. Betreiber sollen erforderliche Maßnahmen innerhalb ihres Umwelt- bzw. Sicherheitsmanagements bestimmen und in dieses integrieren. Diese Maßnahmen sind dann wiederum in die (Hochwasser-)Risikomanagementpläne zu integrieren. Entsprechend verweist § 75 Absatz 3 WHG auf Art. 7 und den Anhang der Richtlinie 2007/60/EG. Danach gehören zu den erforderlichen Angaben in Risikomanagementplänen u. a. die im Rahmen der Richtlinie 96/82/EG (Seveso-II-Richtlinie) ergriffenen Hochwasserbekämpfungsmaßnahmen.

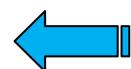
Betreibern ist daher anzuraten, die gemäß § 79 WHG gegebenen Beteiligungsmöglichkeiten bei der Aufstellung, Überprüfung und Aktualisierung von Risikomanagementplänen zu nutzen. Betreiber von Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten haben den zuständigen Behörden die für die Erstellung externer Alarm- und Gefahren-

⁴⁰ Vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser: Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen, beschlossen auf der 139. LAWA-VV am 25. & 26. März 2010 in Dresden

abwehrpläne erforderlichen Informationen zu übermitteln (§ 10 Absatz 1 Nummer 2 StörfallV). Dies sollte alle für die Ausarbeitung von Risikomanagementplänen erforderlichen Informationen, insbesondere aufgrund der Anwendung der TRAS, umfassen und ist auch anderen Betreibern zu empfehlen.

Die TRAS dient insofern ausschließlich der Konkretisierung der Eigenverantwortung von Betreibern von Betriebsbereichen aufgrund der Störfall-Verordnung und Anlagen aufgrund des BImSchG. Bei ihrer Anwendung sind Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes und der Wassergesetze der Länder ergänzend zu beachten. Dies gilt insbesondere hinsichtlich Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen gemäß den §§ 62 und 63 WHG und in Überschwemmungsgebieten gemäß § 78 WHG.

Zu Anwendungsbereich

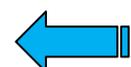


Die vorgeschlagene TRAS gilt für Betriebsbereiche mit gefährlichen Stoffen im Anwendungsbereich der Störfall-Verordnung. Ihre Anwendung wird aber auch für andere immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen empfohlen, bei denen die Gefahr der Freisetzung von gefährlichen Stoffen besteht. Aus diesem Grund wird in der TRAS auch von „Betrieb“ als Oberbegriff für Betriebsbereiche und Anlagen gesprochen. Damit wird der Anwendungsbereich auf genehmigungsbedürftige Anlagen insgesamt ausgedehnt. Von Betriebsbereich wird nur gesprochen, wenn Anforderungen aufgrund der Störfall-Verordnung nur für solche gelten.

Die TRAS richtet sich an die Betreiber und kann von Behörden und Sachverständigen im Rahmen von Genehmigungsverfahren, Überwachung und Inspektionen herangezogen werden. Im Rahmen der Festlegung des Anwendungsbereichs ist auch die Auflistung der Gefahrenquellen erforderlich, die diese TRAS berücksichtigt.

In § 3 Absatz 2 StörfallV genannte, umgebungsbedingte Gefahrenquellen können naturbedingt und technisch bedingt sein (d. h. auch durch Anlagen außerhalb des Betriebsbereichs). Diese TRAS ist auf Gefahrenquellen, die durch Niederschläge, Hochwasser und sonstige Überflutungen hervorgerufen werden, begrenzt. Die methodische Vorgehensweise ist jedoch so konzipiert, dass sie grundsätzlich auch für die Berücksichtigung weiterer natürlicher oder technischer umgebungsbedingter Gefahrenquellen geeignet ist.

Zu Begriffsbestimmungen



In der TRAS werden nur jene Begriffe erläutert, die für das Verständnis der Zusammenhänge unverzichtbar sind. Im Einzelnen werden folgende Begriffe definiert:

- Überflutung
- Gefahrenquelle
- Umgebungsbedingte Gefahrenquellen
- Gefahrenquellenanalyse
- Analyse der Gefahren und Gefährdungen

- Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs bei Überflutungen
- Schutzkonzept
- Schutzziele
- Störfalleintrittsvoraussetzung

Einige Begriffe erscheinen im allgemeinen Sprachgebrauch zunächst synonym, wie z. B. Überschwemmung und Überflutung. Tatsächlich sind sie jedoch in unterschiedlichen Bereichen eingeführt worden und somit unterschiedlich belegt, so dass für diese TRAS eine Begriffsklärung erforderlich ist.

Der Begriff „umgebungsbedingte Gefahrenquellen“ wird in der Störfall-Verordnung eingeführt. Als Beispiele werden Erdbeben und Hochwasser genannt. In der Vollzugshilfe des BMU zur Störfall-Verordnung wird der Begriff umfassender definiert. Hier werden darüber hinaus noch Ereignisse genannt, die von benachbarten Anlagen verursacht werden oder von Verkehrsanlagen ausgehen können. Die im Rahmen dieser TRAS betrachteten naturbedingten Gefahrenquellen werden ausschließlich durch Niederschläge unmittelbar oder mittelbar (Hochwasser/sonstige Überflutungen) verursacht.

Aufgrund der allgemeinen Verwendung des Begriffs Gefahrenquelle für betriebliche und natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen in § 3 StörfallV folgt die TRAS dieser Begriffsverwendung. Als Gefahrenquelle werden daher auch auslösende Ereignisse bezeichnet, die nicht direkt aber in Folge eine Gefahr auslösen können, wie etwa ein Starkniederschlag, der durch Überflutung und Auftrieb einen sicherheitsrelevanten Behälter beschädigt und eine Stofffreisetzung auslöst. Die erforderliche Unterscheidung ist in der Stufe Analyse der Gefahren und Gefährdungen gemäß der in Abbildung 1 dargestellten Vorgehensweise vorzunehmen.

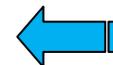
Analog zu dem für betriebliche Gefahrenquellen einschlägigen Begriff „Sicherheitskonzept“ und dem für Eingriffe Unbefugter einschlägigen Begriff „Sicherungskonzept“ wird in Zusammenhang mit umgebungsbedingten Gefahrenquellen der Begriff „Schutzkonzept“ verwandt. Dies soll eine gemeinsame Berücksichtigung der Arten von Gefahrenquellen innerhalb des Sicherheitskonzepts nicht ausschließen.

Eine ganze Reihe weiterer Begriffe werden in der vorgelegten TRAS zwar genutzt, jedoch nicht in die Definitionen der TRAS aufgenommen. Sie sind im Anhang 5 erläutert. Dabei handelt es sich um folgende weiterführenden Begriffsbestimmungen:

- Hochwasserrisikomanagementpläne
- Abflussbeiwert
- Bemessungshochwasser
- Bemessungsregen Bestimmungsgemäßer Betrieb
- Dauerniederschlag
- Einstau
- Eintrittswahrscheinlichkeit / Jährlichkeit
- Ernste Gefahr
- Freibord
- Hochwasser
- Hochwassergefahrenkarten
- Hochwasserrisikogebiete

- Hochwasserrisikokarten
- Kanalisation
- KOSTRA-DWD 2000
- Oberflächenüberflutung
- Regenabfluss
- Rückstauebene
- Rückstaulinie
- Schauer
- Sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA)
- Sicherheitsrelevante Teile des Betriebsbereiches (SRB)
- Stand der Sicherheitstechnik
- Störfall
- Störfallstoffe
- Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs
- Sturzflutereignis
- Überlastung
- Überschwemmungsgebiete
- Überstau
- Vorfluter
- Wellenauflauf

Zu Systematisierung und Aufbau der TRAS



Insgesamt enthält die TRAS sowohl Vorgaben zur Vorgehensweise als auch Mindestanforderungen für technische Vorkehrungen und organisatorische Maßnahmen. In diesem Kapitel werden einleitend

- die grundsätzlich vorgesehene Vorgehensweise,
- die relevanten Gefahrenquellen,
- das Prüfinstrument der Zu- und Abflussbilanz

vorge stellt.

Die Erfüllung der Betreiberpflichten im Sinne der Störfall-Verordnung hinsichtlich der umgebungsbedingten Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser kann mit einer methodischen Vorgehensweise erreicht werden, die als Grafik (Abbildung 1) illustriert wird. Neue Kernstücke der vorgestellten Methodik sind die vereinfachte und detaillierte Gefahrenquellenanalyse. Alle anderen Teilschritte sind übliche Vorgehensweisen und schon in den verschiedenen Publikationen beschrieben.^{41, 42, 43} Sie wurden für die zu betrachtenden umgebungsbedingten Gefahrenquellen Hochwasser und Niederschläge nur inhaltlich angepasst.

⁴¹ Störfall-Kommission (SFK) "Leitfaden Anlagensicherheit" (Kapitel 3) SFK-GS-06, Nov. 1995

⁴² Arbeitskreis des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg: "Vollzug der §§ 9 und 13 Störfall-Verordnung (12. BImSchV)" (Kapitel 3), März 2002

⁴³ SFK „Risikomanagement im Rahmen der Störfall-Verordnung“ (Kap 4.4) April 2004

Auch bei den bereits grundsätzlich etablierten Schritten (wie der Analyse der Gefahren und Gefährdungen) sind jedoch die Besonderheiten natürlicher, umgebungsbedingter Gefahrenquellen, hier von Überflutungen, zu beachten:

- a) Natürliche umgebungsbedingte Gefahrenquellen können auf mehr als nur ein Anlagenteil oder eine Anlage wirken und es kann dadurch zur Freisetzung von mehr als der Masse an gefährlichen Stoffen aus einem einzigen sicherheitsrelevanten Teil eines Betriebsbereichs oder einer Anlage kommen.
- b) Die Gefahrenquellen können nicht nur Anlagen und Anlagenteile stören sondern auch organisatorische Maßnahmen sicherheitsrelevant beeinflussen.
- c) Sicherheitsrelevante Anlagen können sich auch außerhalb des Betriebs befinden und ihre Sicherheitsrelevanz erst durch das gemeinsame Versagen offenbaren.
- d) Die Ausbreitung von gefährlichen Stoffen im Falle von Überflutungen kann insbesondere auf dem Wasserpfad erfolgen, während in den Sicherheitsberichten meist nur die Ausbreitung über den Luftweg betrachtet wird.
- e) Die Verfügbarkeit externer Einsatzkräfte bei Wirksamwerden der Gefahrenquellen kann nicht unterstellt werden, da die Gefahrenquellen auch anderweitig zu Schäden führen können, die diese binden.

Auf den ersten Blick erscheint zweifelhaft, dass die Betrachtung von „Dennoch-Störfällen“ ausgelöst durch natürliche Gefahrenquellen tatsächlich zu einem Sicherheitsgewinn führen wird. Tatsächlich sind Möglichkeiten zur Minderung von Freisetzungen und zu ihrer Begrenzung auch und zum Teil gerade im Falle von Überflutungen möglich (vgl. Zu Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen). Daher ist die Betrachtung der „Dennoch-Störfälle“ in der systematischen Vorgehensweise ebenfalls von Bedeutung.

Um das Verständnis der Vielzahl niederschlagsbedingter Ereignisse zu erleichtern wird unterschieden zwischen:

- Auslösenden Ereignissen, wie Niederschlägen und Starkregen. Auch Hagel- und Eisschlag sowie Schnee stellen auslösende Ereignisse dar, werden in der TRAS jedoch nicht weiter betrachtet.
- Möglichen Folgeereignissen, wie z. B. Überflutungen und Anstieg des Grundwassers. Auch Erdbeben, Steinschlag und Einsturz von Anlagen oder Gebäuden infolge zu hoher Schneelasten stellen Folgeereignisse dar, die jedoch ebenfalls in der TRAS nicht näher betrachtet werden.

Die auslösenden Ereignisse können von Menschen nicht beeinflusst werden. Eingriffsmöglichkeiten bestehen jedoch bei den Folgeereignissen. Durch geeignete Maßnahmen können diese verhindert oder in ihrer Wirkung vermindert werden.

Überflutung

Gemäß Definition der TRAS können Überflutungen nicht nur durch Hochwasser, sondern auch durch Niederschläge, Kanalarückstau, Grundwasser etc. an gewässerfernen Standorten eintreten. Da auch der nicht bestimmungsgemäße Stand von

Wasser oberhalb des untersten Boden von baulichen Anlagen Überflutungen zugeordnet wird, sind in Zusammenhang mit Überflutungen auch sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen und Anlagen unter Erdgleiche zu berücksichtigen, die nicht unterirdisch im Sinne des anlagenbezogenen Gewässerschutzes sind, wie z. B. Tanks in Kellerräumen.

Damit sich der Betreiber erst qualitativ und dann quantitativ einen Überblick über Art und Ausmaß der Gefährdung seines Betriebs verschafft, wird eine einfache Zu- und Abflussbilanz vorgesehen, bevor Anwendbarkeit und Anwendungsbedarf von hydrologisch-hydraulischen Modellen zu prüfen sind.

Eine Überflutung ist dann zu erwarten, wenn an einem bestimmten Querschnitt die lokalen Zuflüsse höher als die Abflüsse sind. Die Beschreibung der möglichen Gefährdung durch Überflutung erfolgt daher zunächst vor allem anhand der Skizzen der potenziellen Zu- und Abflusswege und zeitlich aufgelöste Informationen über Zu- und Abflussströme. Die genannten Zuflussquellen und Abflussmöglichkeiten sind auf Vollständigkeit zu prüfen. Bei einzelnen Zuflussquellen und bei ihrem Zusammenwirken sind die verschiedenen, möglichen zeitlichen Abläufe, wie unterschiedliche Niederschlagsdauer-Intensitätsbeziehungen oder von Hochwasserwellen, zu berücksichtigen. Weitere Hinweise der folgenden Kapitel sind zu beachten.

Der Betrachtungsraum beschränkt sich auf den Betrieb mit seiner näheren Umgebung. Hydrologische Zusammenhänge im Verlauf eines ganzen Gewässers oder gar Flusseinzugsgebietes werden deshalb nicht diskutiert, weil die Betrachtung der einzelnen Gefährdungen aus dem Blickwinkel des Anlagenbetreibers zu erfolgen hat und nicht aus wasserbaulicher Sicht der zuständigen Behörden.

Anstieg des Grundwassers

Der Anstieg des Grundwassers ist meist eine schleichende, nicht sichtbare Folge von lang anhaltenden Niederschlägen. Andererseits kann der Grundwasserspiegel bei längeren Trockenperioden auch stark absinken. Es ist zu erwarten, dass infolge des Klimawandels beide Ereignisse in Zukunft verstärkt zu beobachten sind. Auch der Anstieg des Meeresspiegels wird dazu beitragen, dass das Grundwasser in ausgedehnten Küstenregionen ansteigen wird. Auch Vertiefungen von Fahrrinnen für die Schifffahrt führen zu einem Grundwasseranstieg.

Eine weitere mögliche Ursache des Grundwasseranstiegs sind abnehmende Entnahmen zur Wassergewinnung. Hier sollten die Betreiber der Entnahmeanlagen Auswirkungen auf Betriebe prüfen, bevor die Reduktion umgesetzt wird.

Ein plötzlicher, vollkommener Ausfall einer Grundwasserhaltung (z. B. durch Stromausfall, innerhalb oder außerhalb des Betriebs) kann jedoch auch zu einem schnellen Grundwasseranstieg führen. Im Rahmen der Gefahrenquellenanalyse sollte diese Option geprüft werden.

Im Rahmen dieser TRAS werden vor allem die Gefahren durch Auftrieb von und Druck auf unterirdische Tanks oder Rohrleitungen betrachtet, in den gefährliche Stoffe vorhanden sind. „Unterirdisch“ wird hierbei im Sinne des anlagenbezogenen Gewässerschutzes nach den §§ 62 und 63 WHG verstanden. Unterirdisch sind da-

nach Anlagen oder Anlagenteile, die vollständig oder teilweise im Erdreich oder vollständig in Bauteilen, die unmittelbar mit dem Erdreich in Berührung stehen, eingebettet sind.

Neben einer Untersuchung des aktuellen Zustands ist auch die Betrachtung der Möglichkeit von langfristigen Veränderungen und der Notwendigkeit eigener Beobachtungsmaßnahmen anzuraten, wenn sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen oder Anlagen unter Erdgleiche vorhanden sind.

Obwohl die nachfolgend beschriebenen Ereignisse in der TRAS wegen zum Zeitpunkt der Erstellung fehlender wissenschaftlicher Grundlagen (z. B. statistische Auswertungen von vergangenen Ereignissen) nicht weiter betrachtet werden, so sind diese von Betreibern gleichwohl gemäß § 3 StörfallV zu beachten:

Hagelschlag und Eissturz

Hagelschlag ist eine Gefahrenquelle unter der nicht nur die Landwirtschaft zunehmend leidet. Schäden an baulichen Anlagen können erheblich sein. Schäden an sicherheitsrelevanten Teilen von Betriebsbereichen und Anlagen sind zwar bislang nicht bekannt geworden, gleichwohl kann diese Gefahrenquelle nicht vernachlässigt werden, wie zahlreiche Ereignisse weltweit gezeigt haben.

Das größte Hagelkorn in Nordamerika wurde am 22. Juni 2003 in Aurora, Nebraska USA gefunden. Es hatte einen Durchmesser von 17,8 cm und einen Umfang von 47,6 cm mit einem Gewicht von knapp 758 g. Das bekannte Hagelunwetter am 12. Juli 1984 in München brachte Hagel bis 9,5 cm im Durchmesser mit einem Gewicht von über 300 g, wobei in Richtung Landsberg angeblich noch größere Hagelkörner gefunden wurden.

Europa's Hagelzone (hail alley) bezieht sich auf die Regionen Süddeutschlands, Schweiz, Österreich, Norditalien und vom französischen Jura bis zu den Vogesen; kurz: der Alpenraum. Hier treffen viele Faktoren zusammen, die für die Hagelproduktion und für einen Hagelschlag am Boden wichtig sind. Der wichtigste Faktor ist die orografische Eigenschaft dieser Region. Die durch die Alpen entstehenden lokalen Windsysteme, der regional unterschiedliche Temperatur und Feuchtegehalt, die orografisch bedingten Hebeprozesse und die verschiedenen Höhenlagen, bestimmen das Wetter vor Ort und beeinflussen somit auch die Unwetterklimatologie in diesem Gebiet.

In Deutschland sind besonders die südlichen und westlichen Bundesländer, vor allem aber der Süden von Baden-Württemberg und Bayern betroffen. Auch hier haben die Alpen, der Schwarzwald und die Schwäbische Alb einen entscheidenden Einfluss auf die Gewitter- und Hagelbildung. Die absolute Häufigkeit von Hagelschlag ist in Süddeutschland teils 20 Mal höher als an den Küstengebieten. Darüber hinaus ist diese Region auch häufiger von Starkhagel (> 5 cm im Durchmesser) betroffen.

Diese Situation kann sich aufgrund des Klimawandels verändern. Untersuchungen im Auftrag der Versicherungswirtschaft⁴⁴ zeigen, dass bis 2040 und insbesondere bis 2070 mit einer erheblichen Zunahme der Schäden durch Sturm und Hagel insbesondere auch in den östlichen Bundesländern zu rechnen ist.

Der Eissturz ist ein Ereignis, das bislang unter dem Gesichtspunkt des Arbeitsschutzes betrachtet wurde. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass auch sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen und Anlagen davon betroffen sein könnten.

Steinschlag und Erdrutsch

Die Gefahrenquelle Steinschlag ist, wie das Ereignis vom Januar 2010 in Stein an der Traun bewiesen hat, keinesfalls zu vernachlässigen. Bei diesem Unglück wurde ein Einfamilienhaus durch den Abgang eines Felsen völlig zerstört, was 2 Todesopfer forderte. Auch das Ereignis in Schmalkaden im November 2010, wo ein Erdloch mit einem Durchmesser von 20 m aufgerissen wurde (Erdfall), ist der Gefahrenquelle „Erdrutsch“ zuzuordnen.

Allerdings sind nur im Freistaat Bayern Massenverlagerungen für den Alpenraum in einem Informationssystem erfasst.⁴⁵ Mit der Plattform „GEORISK“ stehen Informationen über Hangbewegungen zur Verfügung, was weitgehend digital mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) erfolgt. Die Kernelemente dieses Systems sind ein "Rutschungskataster" mit speziellen Beschreibungen zu jedem Einzelobjekt sowie eine Datenbank.

Im Bodeninformationssystem Bayern (BIS) sind die wesentlichen Grunddaten der Hangbewegungen dargestellt und beschrieben. Ebenso werden Gefahrenhinweiskarten für geologische Gefährdungen vorgehalten. Des Weiteren wurden im Umkreis von Hauptsiedlungsgebieten im bayerischen Alpenraum Karten der Aktivitätsbereiche erstellt.

Bei Georisk-Daten bzw. Georisk-Objekten im BIS handelt es sich um Datensätze, in denen Informationen zu Hangbewegungen (Bergsturz, Felssturz, Talzusub, Kriechhang, Rutschung, Schuttstrom und Erdfälle) gespeichert sind. Neben der Angabe unterschiedlichster Basisdaten (Stammdaten) wie Rechts- und Hochwerte (Gauß-Krüger-Koordinaten), Kartenblattnummern und Aufnahmegeauigkeiten, werden auch Angaben über Art, Zustand, Geometrie und flächenhafte Ausdehnung (Anbruch- und Ablagerungsbereiche) der Hangbewegungen sowie über die betroffenen geologischen Einheiten gemacht. Des Weiteren können jedem Georisk-Objekt ausführliche Texterläuterungen und Bilder zugeordnet werden.

⁴⁴ [Prof. Dr. Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe: Szenarien für Deutschland - Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadenssituation in der Versicherungswirtschaft, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung](#)

⁴⁵ GEORISK: www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/georisk/index.htm

Auch die Gefahrenlage in Traun an der Stein war bekannt, weil zwei Bereiche in der Nähe zum betroffenen Wohnhaus im BIS verzeichnet waren. Gleichwohl wurde die Gefährdung als zu gering für eine Evakuierung eingestuft.

Insgesamt muss jedoch festgestellt werden, dass mit Ausnahme der beschriebenen Systeme in Bayern keine flächendeckenden Informationen über Erdbeben und Steinschlaggefahren vorliegen. Vor diesem Hintergrund können im Rahmen einer TRAS auch keine allgemein gültigen Hinweise für eine Gefahrenquellenanalyse gegeben werden. Daher werden in der TRAS diese Gefahrenquellen nicht weiter betrachtet.

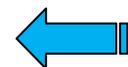
Schnee- und Eislasten

Der Winter 2009/2010 hat darüber hinaus auch die Gefahren durch Schnee- und Eislasten deutlich werden lassen. In Attendorn, Amberg und Vilshofen brachen aufgrund der Schneelast Lagerhallen ein. Der Einsturz der Eishalle in Bad Reichenhall im Jahre 2006, der durch sehr hohe Schneelasten ausgelöst wurde, hat, wie die juristische Aufarbeitung ergeben hat, zahlreiche Baumängel offenbar werden lassen.

Insgesamt ist festzustellen, dass aufgrund der in jüngster Zeit aufgetretenden Ereignisse - selbst wenn noch keine Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, betroffen waren – eine Beachtung auch dieser in der TRAS nicht betrachteten Gefahrenquellen erforderlich ist.

Im Rahmen der maximal fünfjährlichen Überprüfungen der TRAS wird eine Integration dieser weiteren Gefahrenquellen zu prüfen sein.

Zu Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse



Die vereinfachte Gefahrenquellenanalyse hat die Aufgabe, diejenigen Gefahrenquellen zu bestimmen, die auf sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen und Anlagen einwirken können.

Zunächst sind die Gefahrenquellen zu ermitteln, die dem Bereich des „Exzeptionellen Störfalles“ zuzuordnen sind. Gefahrenquellen, die außerhalb des wissenschaftlichen Erkenntnisvermögens und jeglicher Berechenbarkeit liegen, können vorab ausgeschlossen werden (vgl. „keine weitere Betrachtung“ in der Abbildung 1). Z. B. muss eine Sturmflut nicht betrachtet werden, wenn die geografischen Voraussetzungen (Binnenlage) nicht gegeben sind.

Danach ist zu prüfen, welche Gefahrenquellen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können, so dass keine Vorkehrungen und Maßnahmen nach § 3 Absatz 1 und 4 zur Verhinderung von Störfällen erforderlich werden. Die dabei vernünftigerweise ausgeschlossenen Gefahrenquellen sind jedoch später im Rahmen der Betrachtung von „Dennoch-Störfällen“ wieder zu berücksichtigen (vgl. Abzweig nach „Identifizierung gefährdeter sicherheitsrelevanter Anlagenteile in Abbildung 1).

Die Vollzugshilfe des BMU zur Störfall-Verordnung geht in Kapitel 3 davon aus, dass bei der Auswahl möglicher Gefahrenquellen vorzugsweise im Sinne einer Wahrscheinlichkeitsbetrachtung zwischen vernünftigerweise auszuschließenden und vernünftigerweise nicht auszuschließenden Gefahrenquellen zu unterscheiden ist. Für

die betrachteten umgebungsbedingten Gefahrenquellen werden in Tabelle 1 der TRAS zunächst einfache Kriterien vorgestellt, auf deren Basis Ausschlüsse geprüft werden können. Dies ist möglich für folgende Gefahrenquellen:

- Fluss- oder Küstenhochwasser in Verbindung mit Strömung, Staudruck, Treibgut und Eisgang,
- Grundwasseranstieg.

Liegt ein Betrieb z. B. innerhalb der amtlichen Gefahrenkarten für Fluss- oder Küstenhochwasser aber außerhalb des Risikogebietes, können diese Gefahrenquellen i. d. R. vernünftigerweise ausgeschlossen werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, auf welche Eintrittswahrscheinlichkeiten diese Karten abstellen, ob Betriebsbereiche bei der Bestimmung der Risikogebiete berücksichtigt wurden, ob sie die aktuellen Abflussverhältnisse wiedergeben und ob sie bereits mögliche Änderungen durch den Klimawandel berücksichtigen (vgl. Anhang I der TRAS).

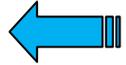
Eine direkte Gefährdung durch Grundwasser ist nur dann zu betrachten, wenn sicherheitsrelevante, unterirdische Teile von Betriebsbereichen und Anlagen wie Rohre, Tanks oder Behälter mit gefährlichen Stoffen vorhanden sind.

Unterirdische Anlagen (im Sinne der TRAS) sind Anlagen, bei denen zumindest ein Anlagenteil unterirdisch ist; unterirdisch sind Anlagenteile, a) die vollständig oder teilweise im Erdreich eingebettet sind, sowie b) die, die nicht vollständig einsehbar in Bauteilen, die unmittelbar mit dem Erdreich in Berührung stehen, eingebettet sind (Entwurf zur Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAUwS) zu den §§ 62 und 63 WHG)

Soweit ein Grundwasseranstieg sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen und Anlagen gefährden kann, die unter Erdgleiche angeordnet sind, aber nicht unterirdisch im Sinne dieser Definition des anlagenbezogenen Gewässerschutzes sind, werden diese sinnvollerweise unter Überflutung behandelt, um Wechselwirkungen mit oder gleiche Wirkungen durch Oberflächengewässer zu berücksichtigen.

Die Gefahrenquelle Überflutung ausgelöst durch Starkniederschläge ist ebenfalls getrennt von Hochwasser zu bewerten. Weil hierfür i. d. R. keine amtlichen Gefahrenkarten zur Verfügung stehen, ist eine deterministische Entscheidung bzgl. eines Ausschlusses von der weiteren Betrachtung nicht möglich. Daher ist für diesen Fall eine probabilistische Betrachtung durchzuführen. Hierzu gibt die TRAS zahlreiche Hinweise, welche Informationen dazu beitragen können, die Wahrscheinlichkeit einer Überflutung durch Niederschläge abschätzen zu können. Die erste Betrachtung erfolgt am sinnvollsten entlang der potenziellen Zu- und Abflusswege von Oberflächenwasser und Niederschlägen. Eine höhere Wahrscheinlichkeit für den Eintritt einer Überflutung durch Niederschläge liegt vor allem dann vor, wenn z. B. der Betrieb oder Teile davon in einer Mulde oder Senke liegen.

Zu Detaillierte Gefahrenquellenanalyse



Die detaillierte Gefahrenquellenanalyse dient einer eingehenderen Untersuchung von möglichen Eintrittswahrscheinlichkeiten und möglichen Intensitäten von Gefahrenquellen. Die Ergebnisse sollen dazu dienen,

- a) im nachfolgenden Schritt prüfen zu können, ob eine Gefährdung sicherheitsrelevanter Anlagenteile vernünftigerweise ausgeschlossen werden kann,
- b) eine Festlegung und Prüfung von Schutzzielen zu erlauben,
- c) Gefährdungen durch die Gefahrenquellen für die nachfolgende Untersuchung von „Dennoch-Störfällen“ zu beschreiben (Szenarienbildung).

Im Rahmen der detaillierten Gefahrenquellenanalyse sind daher weitergehende Informationen über die Bedingungen einzuholen, die die Gefährdung sicherheitsrelevanter Teile von Betriebsbereichen und Anlagen beeinflussen können. Wie die Analyse der zur Verfügung stehenden Daten zeigt, sind die Vorgaben zu deren Bewertung sehr unterschiedlich. Während bei der Kanalbemessung für Industrie- und Gewerbegebiete für den Regenwasserabfluss von einer Überflutungshäufigkeit von 1 Mal in 30 Jahren ausgegangen wird (DIN EN 752, Stand 2008), wird in § 74 WHG eine Jährlichkeit von mindestens 100 Jahren als Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit für Flüsse vorgegeben.

Da die verschiedenen Gefährdungen zu Teilen die gleiche Wirkung auf Teile eines Betriebs haben, ist für die detaillierte Gefahrenquellenanalyse ein einheitlicher Ansatz zu empfehlen. Da die Kriterien im Wasserhaushaltsgesetz die höchste Verbindlichkeit haben und bei der Bestimmung von Risikogebieten (§ 73 WHG), der Kartierung der Risikogebiete (§ 74 WHG) und beim Risikomanagement von den für Hochwasserschutz zuständigen Behörden (§ 75 WHG) angewandt werden, ist zu empfehlen, das dortige System zu verwenden.

Dementsprechend sollte für die vernünftigerweise nicht auszuschließenden Gefahrenquellen eine mittlere Wahrscheinlichkeit von höchstens $10^{-2}/a$ (höchstens 1 mal in 100 Jahren, wie in § 74 Absatz 2 WHG genannt) zugrunde gelegt werden. Soweit für ein Gewässer oder einen Teil eines Gewässers Behörden für den öffentlichen Hochwasserschutz geringere Wahrscheinlichkeiten anwenden, sollten diese als Kriterium verwandt werden, wenn der Betrieb direkt an dem Gewässer liegt. Hierdurch soll verhindert werden, dass „Deichlücken“ entstehen und bei Hochwasser das Wasser durch den Betrieb in das Hinterland strömt. Auch passt nur dann die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung des Betreibers zur öffentlichen Notfallplanung. Soweit von den zuständigen Behörden bei der Festsetzung des Bemessungshochwassers der Klimawandel (noch) nicht berücksichtigt wurde, sind die Vorgaben hierzu zu beachten (vgl. Anhang I der TRAS).

Für Extremereignisse (wie in § 74 Absatz 2 WHG genannt), die im Rahmen der Untersuchung von „Dennoch-Störfällen“ zu berücksichtigen sind, sind geringere Wahrscheinlichkeiten (höhere Jährlichkeiten) anzusetzen. In Gefahren- und Risikokarten wird von den Behörden hinsichtlich Extremereignissen auf 500- oder 1.000-jährliche Ereignisse abgestellt.

Bei einer derartigen Abstimmung auf die Kriterien des WHG und der für Hochwasserschutz zuständigen Behörden können die erforderlichen Daten über Gefährdungen durch Hochwasser bei den Behörden abgefragt werden.

Bei Starkregenereignissen kann vor dem Hintergrund der Vorgaben zur Kanalbemessung nahezu flächendeckend davon ausgegangen werden, dass bei einem Regenereignis, das statistisch nur alle 100 Jahre einmal auftritt, der Kanal kein Wasser mehr aufnimmt (Abfluss), sondern je nach Höhenlage des Betriebsbereichs sogar mit einem Zulauf von Wasser aus dem Kanalsystem zu rechnen ist. Kanalsysteme sind für den Fall Starkregen je nach topografischen Gegebenheiten nicht als Sicherheitsvorkehrung sondern eher als Gefährdung zu betrachten. Die Gefahrenquelle Überflutung durch Starkniederschläge ist daher vom Betreiber i. d. R. selbstständig zu analysieren.

Überflutung (Hochwasser und sonstige Überflutungen)

Bzgl. der Gefahrenquelle Überflutung ist die Gefährdung sicherheitsrelevanter Teile von Betriebsbereichen und Anlagen durch Ermittlung folgender Angaben zu quantifizieren:

- potenziellen Zuflusswege mit Strömungsrichtung(en)
- mögliche Wasserstandshöhen
- Strömungsgeschwindigkeit
- Gefährdung durch Staudruck, Auftrieb, Treibgut oder Eisgang

Für jeden dieser vier Punkte werden detaillierte Empfehlungen zur Vorgehensweise und zur Bewertung der Gefahrenquelle unterbreitet. Die Informationsbeschaffung in dieser Phase ist umfangreicher, weil neben qualitativen auch zunehmend quantitative Informationen einbezogen werden.

Betreiber in der Nähe großer Fließgewässer (d. h. mit signifikantem Hochwasserrisiko gemäß § 73 WHG) können sich bei der Abschätzung der Gefährdungslage auf vielfältige Dokumente und Informationen der für Hochwasserschutz zuständigen Behörden stützen (z. B. (Hochwasser-)Gefahrenkarten, (Hochwasser-)Risikokarten, (Hochwasser-)Risikomanagementpläne – soweit bereits vorliegend). Insbesondere bei Gewässern zweiter oder dritter Ordnung ist zu prüfen, ob das jeweilige Gewässer bearbeitet und in den Gefahrenkarten bereits berücksichtigt wurde.

Für Betriebe außerhalb der (Hochwasser-)Risikogebiete ist die Informationsbeschaffung deutlich komplizierter. Um zu belastbaren Informationen für eine detaillierte Gefahrenquellenanalyse zu kommen, sind zunächst Daten über die Wahrscheinlichkeiten von Niederschlagsintensitäten in Verbindung mit der Zeitdauer vom Deutschen Wetterdienst (DWD) abzufragen.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt für Deutschland eine regionalisierte Auswertung von extremwertstatistisch ermittelten Niederschlagsintensitäten für Niederschlagsdauern (5 Min. bis 72 Std.) und Jährlichkeit (0,5 a bis 100 a) im KOSTRA-At-

las zur Verfügung.⁴⁶ Die hier aufbereiteten Daten geben einen ersten Anhaltspunkt über die zu erwartenden Starkniederschläge. Informationen über Starkniederschläge können ergänzend von den örtlichen Wasserbehörden erfragt werden, die ggf. die örtlichen Verhältnisse besser wiedergeben. Für die Betrachtung von „Dennoch-Störfällen“ können die Praxisrelevanten Extremwerte des Niederschlags (siehe: Zu Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfälle) und Szenarien für die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung), die eine Extrapolation der Kostra-Daten sind, angesetzt werden.

Die zukünftige Entwicklung von Niederschlägen wird mit regionalen Klimamodellen simuliert. Diese nutzen Daten aus globalen Modellen, die auf der Grundlage verschiedener sozioökonomischer Entwicklungen mit ihren jeweiligen Emissionsszenarien berechnet wurden. Die zur Verfügung stehenden regionalen Klimamodelle zeigen die Trends der Niederschlagssummen und deren jahreszeitlichen Verteilung. Nähere Informationen zu den regionalen Klimamodellen gibt der Anhang 1 dieses Berichtes.

Als vereinfachende Alternative zu den aufwendigen Berechnungen der Klimamodelle soll daher zur Berücksichtigung des Klimawandels ein Faktor von 1,2 auch für die im Kostra-Atlas ausgewiesenen Niederschlagshöhen angenommen werden (vgl. Anhang I der TRAS).

Auf der Basis der Niederschlagsdaten ist eine Zu- und Abflussbilanz zu erstellen, wie dies z.B. für die Bemessung von Regenrückhalteräumen erfolgt⁴⁷. Zur Ermittlung der Zu- und Abflussströme für verschiedene Zeiträume von Niederschlägen können folgende Hilfsmittel herangezogen werden:

- Zeitbeiwertverfahren / Fließzeitverfahren
- SCS-Methode (TR-55) des Soil Conservation Service (SCS), heute Natural Resources Conservation Service (NRCS) des Department of Agriculture der U.S.A.
- Kalypso (<http://sourceforge.net/projects/kalypso/files/Kalypso/>)

Diese drei Möglichkeiten werden in Anhang 3 „Informationen zum Zeitbeiwertverfahren, Fließzeitverfahren, zur SCS-Methode (TR-55) und zu KALYPSO“ dieses Berichtes beschrieben. Das Zeitwertverfahren & Fließzeitverfahren wurde in Anhang 6 „Beispiel einer Gefahrenquellenanalyse“ der Hinweise und Erläuterungen zum Vorentwurf der TRAS eingesetzt.

Die zur Beurteilung der Gefährdungslage essentiellen Ausgangsinformationen wie der oberirdische Zufluss, die Fließtiefe und die Fließzeit zwischen Niederschlagsereignis und Hochwasserscheitel können mit Hilfe der TR-55 des Soil Conservation Service (SCS) ermittelt werden. Diese Methode ist auch in Deutschland eingeführt. Auf der Grundlage der Niederschlagsspenden in Verbindung mit dem Klimafaktor

⁴⁶ Deutscher Wetterdienst: KOSTRA-DWD-2000 – Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 – 2000), Offenbach 2005

⁴⁷ Vgl. DWA-Arbeitsblatt „Bemessung von Regenrückhalteräumen“ DWA-A 117, April 2006.

lassen sich somit mit einfachen und plausiblen Mitteln die abflusswirksame Niederschlagsspende und der oberirdische Spitzenabflusses in kleinen Einzugsgebieten ermitteln.

Eine weitere Lösung bietet das Berechnungsprogramm Kalypso, das im Rahmen eines OpenSource Projektes entwickelt wurde. Kalypso verfügt über Standardfunktionen für die hydrologische und hydraulische Simulation, die eine wirksame Unterstützung bei der Gefahrenquellenanalyse darstellen.

Die sich einstellende lokale Wasserstandhöhe ergibt sich aus der Volumenstrombilanzierung in Verbindung mit der lokalen Geländeformation. Aus den Höhenlinien der topografischen Karte ist ersichtlich, ob sich der Betrieb in einer Mulde oder in einem Gebiet mit Gefälle befindet. Da die Landaufnahmen dieser Karten z.T. erheblich zurückliegen, sind für die weitere Gefahrenquellenanalyse Daten aus den neueren digitalen Geländemodellen grundsätzlich zu bevorzugen. Weiter ist zu prüfen, ob mögliche Hindernisse wie Bahndämme oder andere Bauwerke den Abfluss von Wasser behindern können. Auch der Verschluss von Brücken durch Treibgut kann den Oberflächenabfluss behindern.

In Fällen, in denen eine Gefahrenquellenanalyse auf der Grundlage einer Volumenbilanzierung in Verbindung mit der geografischen Lage des Betriebs keine plausiblen Ergebnisse hinsichtlich des möglichen lokalen Wasserstandes liefert, sind sinnvolle Annahmen für die Durchführung der Gefahrenquellenanalyse zu treffen und zu variieren.

Ist beispielsweise aufgrund der topografischen Karte erkennbar, dass der Betrieb oder die Anlage in einer Mulde liegt, muss angenommen werden, dass eine Überflutung des Geländes eintreten kann. Unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten ist es in einigen Fällen möglich, sinnvolle Wasserstandshöhen anzunehmen. In den Fällen, wo dies nicht möglich ist, sollten plausible Wasserstände angesetzt werden, um zu prüfen, welche sicherheitsrelevanten Anlagenteile und Infrastruktureinrichtungen in diesen Fällen gefährdet sein könnten. Durch Variation der Wasserstände kann die Gefährdung des Betriebes eingegrenzt werden (Sensitivitätsanalyse). Die Wahl der angenommenen Wasserstände ist von der Geländeformation abhängig. In Gefällegen ist zwar ein Wasserzustrom zu erwarten, jedoch meist kein größerer Wasserstand über Geländeniveau.

Ergänzend ist zu untersuchen, wie vernünftigerweise nicht auszuschließendes Treibgut auf den Verlauf von Überflutungen durch Flusshochwasser oder nach Starkniederschlägen Einfluss nehmen kann (z. B. Verlegung von Wehren oder Brücken).

Weitere Informationen:

Neben der Informationsauswertung, die entlang der potenziellen Zu- und Abflusswege erfolgt, sind weitere Informationen zu ermitteln, die für das zu entwickelnde Schutzkonzept bzw. die Betrachtung von „Dennoch-Störfällen“ unabdingbar sind.

Hierzu zählen:

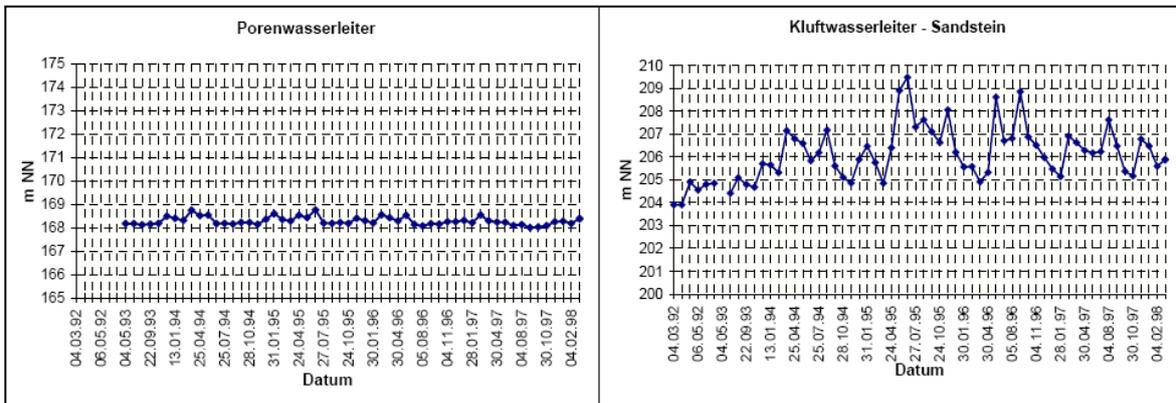
- die Geschwindigkeit des Eintritts eines Ereignisses,
- die Dauer des Ereignisses sowie

- die abrufbaren Vorwarnungen, wie z. B. Unwetterwarnungen, Pegelstandsvorhersagen und Niederschlagsintensitäten.

Mit diesen zusätzlichen Informationen sind vom Betreiber für seinen Betriebsbereich im Alarm- und Gefahrenabwehrplan realistische Reaktionszeiten zu entwickeln.

Anstieg des Grundwassers

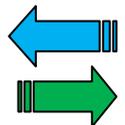
Für zahlreiche Regionen liegen Karten vor, in denen die Grundwassergleichen dargestellt sind. Dies sind Karten, in denen die Höhen mit gleichem Grundwasserspiegel dargestellt sind. Darüber hinaus sind für die Gefahrenquellenanalyse aber auch die Schwankungsbreiten der Grundwasserspiegel von Bedeutung. Diese sind neben den wetterbedingten Einflüssen vor allem von der Bodenmatrix abhängig. Die folgende Abbildung zeigt die geringe Schwankungsbreite für einen Pegel in einem Porenwasserleiter über mehrere Jahre. Anders sieht das Bild für einen Pegel in einem Kluftwasserleiter aus. Die Schwankungsbreite beträgt in diesem Fall nahezu 6 m.



Hinweise, Abb. 1: Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels für einen Pegel in einem Poren- und Kluftwasserleiter über mehrere Jahre.

Derartige Aufzeichnungen liegen für zahlreiche Messstellen vor und können bei den zuständigen Wasserwirtschaftsämtern abgefragt werden. Zu Teilen liegen den zuständigen Behörden auch Modelle vor, mit denen die voraussichtliche Entwicklung der Grundwasserstände berechnet wird. Mit diesen Informationen und unter Berücksichtigung eines Klimafaktors kann die Gefährdung von sicherheitsrelevanten Teilen von Betriebsbereichen und Anlagen geprüft werden.

Zu Berücksichtigung des Klimawandels



Um die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen, soll entsprechend den Vorgaben der TRAS bei Bemessungshochwasserabfluss sowie Starkniederschlags- höhe auf die für bzw. ab 2010 anzusetzenden Werte grundsätzlich ein Sicherheits- aufschlag von 20% für die vernünftigerweise nicht auszuschließende Gefährdung und gemäß § 3 Absatz 1 StörfallV erforderlichen Vorkehrungen erfolgen (vgl. An- hang I der TRAS).

Ein solcher Ansatz wird im Projekt KLIWA⁴⁸ untersucht, um die Folgen des Klimawandels auf den Hochwasserabfluss in ihre wasserwirtschaftlichen Planungen für den vorbeugenden Hochwasserschutz einfließen zu lassen^{49, 50, 51}. Wie die Untersuchungen zeigen, wird für den Hochwasserabfluss für ein Ereignis, das statistisch ein Mal in 100 Jahren eintritt, je nach Flusseinzugsgebiet ein Zuschlag von 15% bzw. 25% zu den bisherigen Hochwasserkennwerten bei der Bemessung von neuen Hochwasserschutzanlagen empfohlen.⁵²

Da die erhöhten Anforderungen erhebliche bauliche Maßnahmen erfordern können, enthält Anhang I eine Übergangsregelung bis 2050, die sich nicht nur an den Erkenntnissen über Folgen des Klimawandels orientiert, sondern auch die üblichen Zeiträume für wesentliche Änderungen von Betrieben berücksichtigt.

Zunächst ist daher zu prüfen, ob ein Betriebsbereich oder eine Anlage bis 2050 oder darüber hinaus betrieben werden soll. Nur wenn dies nicht der Fall ist, müssen die Vorkehrungen gemäß § 3 Absatz 1 StörfallV nicht gegen Gefährdungen unter Berücksichtigung des Klimafaktors ausgelegt werden (TRAS Anhang I Nummer 2 und 3).

Danach ist für die Gefahrenquelle Hochwasser zu prüfen, ob für das Gewässer, von dem diese Gefährdung ausgehen kann, von den zuständigen Behörden bereits eine Veränderung des Hochwasserabflusses aufgrund des Klimawandels festgestellt wurde. Ist dies der Fall, so ist diese festgestellte Veränderung vorrangig anzuwenden (TRAS Anhang I Nummer 5). Analog sind die Vorgaben zur Verbesserung des Küstenschutzes aufgrund der Folgen des Klimawandels zu beachten. Hiermit wird in der TRAS die Kompetenz der Wasserbehörden der Länder respektiert.

In allen anderen Fällen sind die für das bzw. ab dem Jahr 2010 mindestens für ein hundertjähriges Ereignis anzusetzenden Niederschlagsintensitäten und Hochwasserabflüsse mit 1,2 zu multiplizieren und derart bei der Festlegung der Schutzziele als Mindestmaßstab zu berücksichtigen. Sollte ein Betreiber für den Küstenschutz verantwortlich sein, so ist die Möglichkeit einer Erhöhung um 1 m - einschließlich der hierfür erforderlichen Verstärkung - entsprechend vorzusehen.

⁴⁸ KLIWA: Kooperationsvorhaben "[Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft](#)"

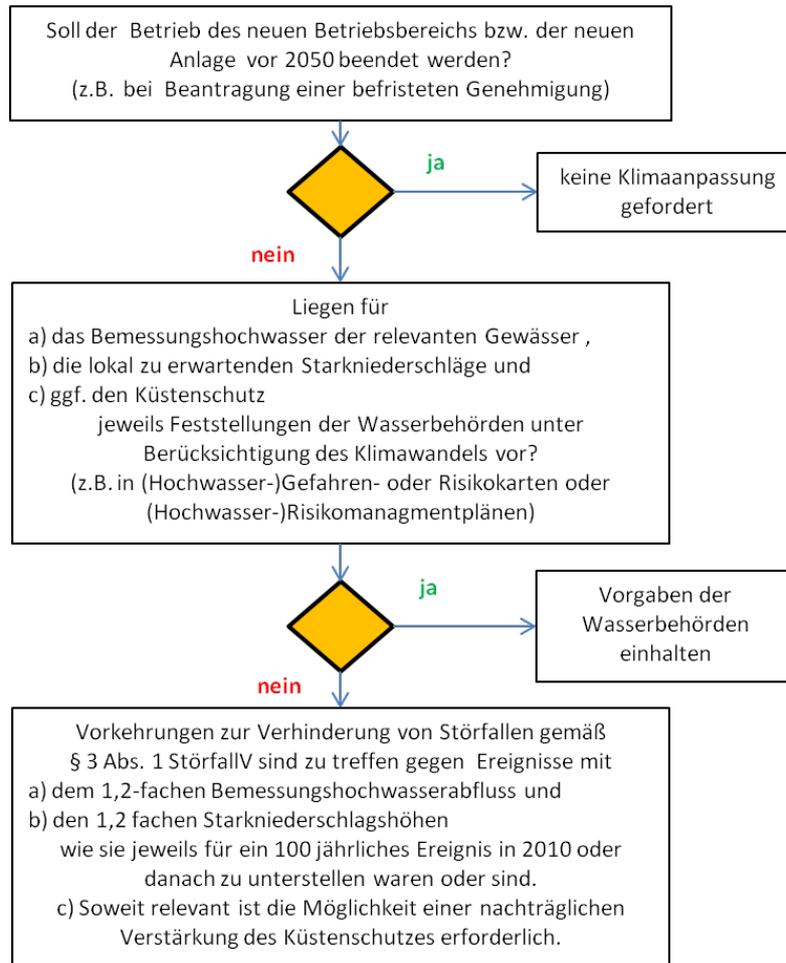
⁴⁹ Vgl. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes – Leitfaden, Karlsruhe 2005

⁵⁰ Hennegriff, W.; Reich, J.: Auswirkungen des Klimawandels auf den Hochwasserschutz. BWGZ 2 / 2007, S. 65 - 69

⁵¹ Hennegriff, W.; Kolokotronis, V.: Methodik zur Ableitung von Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserkennwerte in Baden-Württemberg. Wasserwirtschaft 9/2007, S. 31 - 35

⁵² Hennegriff, W.; Kolokotronis, V.: Methodik zur Ableitung von Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserkennwerte in Baden-Württemberg. Wasserwirtschaft 9/2007, S. 31- 35

Damit ergibt sich folgende Vorgehensweise:



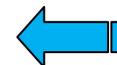
Hinweise, Abb. 2: Vorgehensweise zur Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels

Davon unabhängig müssen für alle Betriebsbereiche bzw. Anlagen zur Berücksichtigung des Klimawandels spätestens 2050 entweder

- a) entsprechend den einschlägigen, den Klimawandel berücksichtigenden Anforderungen der zuständigen Wasserbehörden oder
- b) entsprechend dem Bemessungshochwasserabflusses und den Niederschlagshöhen für ein 100-jährliches Ereignis, wie es für bzw. ab 2010 zu erwarten ist, multipliziert mit einem Faktor 1,2

Vorkehrungen zur Verhinderung von Störfällen gemäß § 3 Absatz 1 StörfallV aufgrund der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser getroffen sein.

Zu Ermittlung der sicherheitsrelevanten, gefährdeten Teile des Betriebsbereichs und Anlagenteile



Als sicherheitsrelevante Teile des Betriebsbereichs und der Anlagen sind jene

- mit besonderem Stoffinhalt
- mit besonderer Funktion

zu bestimmen.

Bei bestehenden Betriebsbereichen und Anlagen sind die sicherheitsrelevanten Teile grundsätzlich bekannt. Ob alle Teile tatsächlich durch die jeweilige naturbedingte Gefahrenquelle betroffen sind, muss im Einzelfall untersucht werden. Beispielsweise sind alle Anlagenteile im Falle einer Überflutung betroffen, die sich unterhalb oder mindestens auf der Höhe des Wasserspiegels befinden.

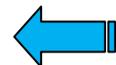
Bei der Gefährdungsgruppe Überflutung & Grundwasseranstieg kommt der Freisetzung in Gewässer besondere Bedeutung zu. Die zu Teilen pragmatisch definierten Schwellen des Anhang I Seveso-II-Richtlinie und damit die daraus abgeleiteten Schwellen (vgl. KAS-1) tragen diesbezüglich der Wassergefährdung und Freisetzung über den Wasserpfad zu Teilen nicht ausreichend Rechnung. Es ist zu empfehlen, die empfohlenen Schwellen (z. B. die über 1.000 Kg) im Hinblick auf die Wassergefährdung der Stoffe oder Stoffgruppen, z. B. auf der Basis von Wassergefährdungsklassen, zu überprüfen und weiter zu differenzieren. Bei der Überprüfung der Schwellen sollten auch die Nutzungen des gefährdeten Gewässers (z. B. zur Trinkwassergewinnung oder als Badegewässer) mit einbezogen werden.

Besonders zu beachten ist die Möglichkeit gemeinsamer Ausfälle von sicherheitsrelevanten Teilen von Betriebsbereichen und Anlagen aufgrund gleichzeitiger Einwirkung der natürlichen Gefahrenquellen. Werden die Auslegungsgrenzen überschritten, so kann ein gemeinsamer Ausfall entsprechend der Erhöhung des Wasserstandes im Betrieb fortschreiten. Die TRAS sieht daher vor, dass die Höhenlagen sicherheitsrelevanter Anlagenteile identifiziert werden und diese bei der Analyse von Gefahren und Gefährdungen (Störfalleintrittsvoraussetzungen) berücksichtigt werden.

Sicherheitsrelevant können auch Anlagen sein, die sich nicht innerhalb des Betriebsgeländes befinden oder nicht als „Anlage“ angesehen werden. Hierzu gehören z. B. Anlagen für die Energieversorgung, Kühlwassersysteme, Kläranlagen, Regenrückhaltebecken, Erschließung, Kommunikation. Die speziellen Voraussetzungen für die Aufrechterhaltung eines bestimmungsgemäßen Betriebs während und nach einer Überflutung (der Umgebung und/oder des Betriebsgeländes) sind in diesem Zusammenhang zu beachten.

Ergibt die Untersuchung aller sicherheitsrelevanten Teile des Betriebsbereichs oder der Anlage, dass sie durch vernünftigerweise nicht auszuschließende Gefahrenquellen nicht gefährdet werden können, so kann mit der Untersuchung von „Dennoch-Störfällen“ fortgefahren werden (vgl. Abzweig in Abbildung 1).

Zu Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen



Bei den Gefahrenquellen Überflutung & Grundwasseranstieg ist ein Wasserstand in einem Betrieb eine notwendige Voraussetzung für einen möglichen Störfall, jedoch noch keine hinreichende Bedingung. Erst wenn z. B. ein sicherheitsrelevanter Tank aus der Verankerung gerissen und beschädigt wird, sind die Voraussetzungen für einen Störfall gegeben. Daher ist es erforderlich zu prüfen, ob sich aus der Einwirkung der Gefahrenquellen auf sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen und Anlagen konkret Gefahren in Form von Störfällen ergeben können.

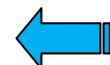
Kernstück dieses Abschnitts der TRAS ist eine Tabelle mit Beispielen von Szenarien zur Ermittlung der Voraussetzungen von Störfällen, in der verschiedene auslösende Ereignisse den möglichen Auswirkungen auf sicherheitsrelevante Teile von Betriebsbereichen und Anlagen gegenübergestellt werden. Damit kann der Anwender die für seinen Betrieb zutreffende Situation beschreiben und bewerten, ob im Falle der unterstellten Art und Intensität des Wirksamwerdens der jeweiligen Gefahrenquelle tatsächlich ein Störfall eintreten kann oder ob nur eine Störung des Betriebes vorliegt.

Hierbei sollten nicht nur gefährdete Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt oder besonderen Funktionen berücksichtigt werden, sondern auch sonstige gefährdete Anlagen und Anlagenteile innerhalb und außerhalb des Betriebsgeländes, die für die Anlagensicherheit von Bedeutung sind (s. o.).

Darüber hinaus sind gemeinsame Ausfälle und Wechselwirkungen verschiedener Anlagenteile zu betrachten. Was bedeutet beispielsweise die Unterbrechung einer Versorgungsleitung für andere Anlagenteile? Für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten, für die ein Sicherheitsbericht erstellt wurde, liegen meist Untersuchungen über die Wechselwirkungen von Anlagenteilen vor. Diese sind dann zu überprüfen und ggf. entsprechend der möglichen Einwirkungen durch die hier relevanten natürlichen, umgebungsbedingten Gefahrenquellen zu ergänzen.

Die TRAS schlägt vor, bei der Analyse der Störfalleintrittsvoraussetzungen schrittweise von der kleinsten Einheit (Anlagenteile) zur größten Einheit (Betriebsbereich insgesamt) vorzugehen. Nachdem geprüft wurde, ob eine Gefahrenquelle bei der jeweiligen Einheit einen Störfall auslösen kann, ist deren Verhalten unter dem Einfluss der Gefahrenquelle zu bestimmen und dann zu prüfen, ob sich aufgrund des Verhaltens der Einheiten dieser Ebene im Zusammenwirken beim nächst höheren Element ein Störfall ausgelöst werden kann. Werden z. B. Anlagenteile aufgrund des Auftriebs bei Überflutung zu Treibgut, so muss dies noch keinen Störfall darstellen. Zerstören aber diese Anlagenteile dann als Treibgut ein sicherheitsrelevantes Anlagenteil mit besonderem Stoffinhalt, so kann dies einen Störfall auslösen.

Zu Festlegung von Szenarien und Schutzziele



Um die Anforderungen des § 9 Absatz 1 Nummer 2 in Verbindung mit Anhang II Nummer IV der StörfallV zu erfüllen, sind die möglichen Ereignisabläufe (Störfallablaufszszenarien) zu untersuchen und darzustellen. Zur späteren Prüfung der Einhaltung der übergeordneten Schutzziele des BImSchG (§ 5) und der Störfall-Verordnung

(§ 3) sind diese in Bezug auf die möglichen Gefährdungen, zugehörige Szenarien und hierdurch mögliche Gefahren zu konkretisieren.

Die TRAS macht für die Schutzziele zwei Arten von Vorgaben:

1. Die Schutzziele müssen die Risiken auf ein akzeptiertes Maß reduzieren.
2. Bei der Festlegung der Schutzziele ist – unabhängig von der Art der natürlichen Gefahrenquelle - mindestens ein 100-jährliches Ereignis zu Grunde zu legen. Soweit Betriebe direkt an Gewässer grenzen und benachbarte, öffentliche Hochwasserschutzanlagen gemäß weitergehenden Jährlichkeiten ausgelegt sind, sind diese anzuwenden. Ergänzend sind die Anforderungen aufgrund des Klimawandels (Anhang 1 der TRAS) zu beachten.

Unabhängig hiervon ist zu beachten, dass die Vorkehrungen und Maßnahmen gemäß § 3 Absatz 4 StörfallV dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen müssen.

Grundsätzlich können von Betreibern die Schutzziele jedoch auf unterschiedliche Weisen konkretisiert werden. Da die Entscheidung über die Methodik bei den Betreibern und zuständigen Behörden bleiben soll, sind zum methodischen Ansatz gemäß Abbildung 1 der TRAS gleichwertige Lösungen möglich. Dieser basiert auf Eintrittswahrscheinlichkeiten von Intensitäten von Gefährdungen, z. B. der Eintrittswahrscheinlichkeit eines bestimmten Hochwasserabflusses, da die Geowissenschaften die Gefährdungen probabilistisch analysieren und die relevanten Daten i. d. R. entsprechend bereitstellen.

Analog der Darstellung zur methodischen Vorgehensweise gemäß Abbildung 1 der TRAS wird für die jeweilige naturbedingte Gefährdung eine auslegungsrelevante Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Jährlichkeit festgelegt. Auf der Grundlage dieser Daten bzw. der Ergebnisse der detaillierten Gefahrenquellenanalyse lassen sich anschließend konkrete quantitative Angaben, wie z. B. den Wasserstand im Falle einer Überflutung, ableiten. Mit diesen Ergebnissen kann dann das Schutzkonzept für die Anlage oder bestimmte Anlagenteile konzipiert und die jeweiligen technischen Vorkehrungen und organisatorischen Maßnahmen bemessen werden (z. B. Hochwasserschutzwand). Die Vorkehrungen und Maßnahmen müssen für den gesamten Betrieb oder alle sicherheitsrelevanten Teile von Betriebsbereichen und Anlagen wirksam sein. Bezüglich der Gefahrenquelle Hochwasser hat der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. eine gleichlautende Empfehlung gegeben.⁵³

Die Festlegung der auslegungsrelevanten Eintrittswahrscheinlichkeiten kann insbesondere für Fluss- und Küstenhochwasser nicht losgelöst von den auslegungsmaßgeblichen Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Bemessung öffentlicher Hochwasserschutzanlagen (insbesondere Deiche) erfolgen. In der Regel werden öffentliche Deiche für ein Hochwasser ausgelegt, das statistisch einmal in 100 Jahren auftritt (HQ₁₀₀). Für einzelne Flussabschnitte haben die Behörden jedoch höhere Jährlichkeiten festgelegt, wie z. B. am Niederrhein, wo die Deiche für ein HQ₅₀₀ bemessen

⁵³ Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.: Schutz vor Überschwemmungen, Leitfaden Schutzkonzepte und Schutzmaßnahmen bei Industrie- und Gewerbeunternehmen, Bericht VdS 3521, 2007,09

wurden. Vor diesem Hintergrund muss sich die Festlegung der betriebsbereichbezogenen Auslegung auch an den Auslegungszielen für die Bemessung benachbarter, öffentlicher Hochwasserschutzbauwerke orientieren.⁵⁴

Alternativ zu der in Abbildung 1 dargestellten induktiven Vorgehensweise ist auch eine deduktive Vorgehensweise denkbar. Hierbei wird zuerst eine probabilistische Festlegung von Schutzzielen vorgenommen, bei der aus den akzeptierten Risiken über die Szenarien die abzudeckenden Wahrscheinlichkeiten der Intensität von umgebungsbedingten Gefahrenquellen zu bestimmen sind. Hier können die Versagenswahrscheinlichkeiten der Vorkehrungen und Maßnahmen bereits mit berücksichtigt werden.

Beide Vorgehensweisen sind Teil eines iterativen Prozesses an dessen Ende die Übereinstimmung der Schutzkonzepte mit den Schutzzielen überprüft ist.

Zu Erarbeitung von Schutzkonzepten für die Szenarien

Bei sicherheitstechnischen Fragestellungen wird in der Regel davon ausgegangen, dass aufgrund einer Fehlfunktion oder Fehlbedienung ein Störfall ausgelöst werden kann. Daher setzen technische Maßnahmen unmittelbar an der Anlage an, um eine Freisetzung von gefährlichen Stoffen zu verhindern. Bei „Dennoch-Störfällen“ wird darüber hinaus auf die Begrenzung der Auswirkungen auf die Umwelt abgestellt. Die sicherheitstechnische Betrachtung erfolgt meist von innen nach außen, also von der Anlage selbst hin zu Maßnahmen, die um die Anlage eingesetzt werden, um mögliche Auswirkungen im Falle eines Störfalls zu begrenzen.

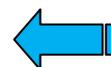
Im Zusammenhang mit umgebungsbedingten Gefahrenquellen erfolgt die sicherheitstechnische Betrachtung dagegen von außen nach innen. Äußere Gefahrenquellen, wie z. B. Hochwasser, sind von der Anlage oder dem Betrieb fernzuhalten. Daher kann ein Schutzkonzept auf mehreren Barrieren bzw. Verteidigungslinien aufgebaut werden. Für die Gefahrenquelle Überflutung können als äußerste Verteidigungslinie Maßnahmen zur trockenen Vorsorge des gesamten Betriebs sein. Ein Beispiel hierfür ist die Eindeichung, wie dies z. B. von einem Unternehmen in Stade realisiert wurde. Eine zweite Verteidigungslinie könnte die trockene Vorsorge einzelner sicherheitsrelevanter Teile von Betriebsbereichen und Anlagen sein, wie z. B. der Energieverteilung. Sollten diese Verteidigungslinien versagen, könnten auch Maßnahmen der nassen Vorsorge eine Freisetzung von Stoffen verhindern (z. B. Auftriebssicherheit von Behältern). Die in der Abbildung dargestellte letzte Verteidigungslinie sind prozessbezogene Maßnahmen, die unmittelbar an der Anlage ansetzen. Dies können zum Beispiel Schutzsysteme sein, die jedoch unabhängig vom auslösenden Ereignis eingesetzt werden.

⁵⁴ [Warm, H.-J.; Köpcke, K.-E.: Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser \(Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen\)](#), Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, 2006, FKZ:203 48 362

Neben technischen können aber auch organisatorische Maßnahmen sinnvoll sein. Denkbare wäre in diesem Zusammenhang die Auslagerung von gefährlichen Stoffen, sofern eine ausreichende Reaktionszeit für eine solche Maßnahme gegeben ist. Dies ist z. B. am Niederrhein, der Unterelbe oder der Unterweser der Fall. Die dort auftretenden Flutwellen können Stunden oder Tage vorher berechnet werden. Anders sind jedoch Gebiete zu bewerten, die im Einzugsgebiet von Gebirgen liegen, wo die Reaktionszeiten aufgrund der Gefällstrecken oftmals sehr kurz sind.

Der Stand der Sicherheitstechnik wird in Anhang 4 dieses Berichts „Hinweise zur Entwicklung eines Schutzkonzeptes gegen Überflutung“ eingehend dargestellt. Die TRAS selbst gibt an dieser Stelle nur eine Übersicht über die möglichen Maßnahmen gegen die naturbedingten Gefahrenquelle. Wichtig ist, dass mit dem Schutzkonzept alle vernünftigerweise nicht auszuschließenden Gefährdungen und Szenarien abgedeckt werden.

Zu Prüfung der Schutzkonzepte



Die Verifizierung des Schutzkonzeptes erfolgt im Wege einer Gefahrenanalyse. Dabei kommen zum Einsatz:

- intuitive Methoden (Brainstorming)
- induktive Methoden (Ereignisablaufanalyse) ⁵⁵
- deduktive Methoden (z. B. Fehlerbaumanalyse) ^{56, 57}
- PAAG-Verfahren (**P**rognose, **A**uffinden der Ursachen, **A**bschätzen der Auswirkungen, **G**egenmaßnahmen) mit intuitiven, induktiven und deduktiven Elementen ⁵⁸

Hierfür stehen zahlreiche Anleitungen, Checklisten und Erfahrungsberichte zur Verfügung, so dass darauf in der TRAS nicht weiter eingegangen werden muss. Zu prüfen ist, ob die gewählten Vorkehrungen und Maßnahmen gegen die betrachteten natürlichen Gefahrenquellen die durch diese und die Betriebe verursachten Risiken auf ein akzeptiertes Maß reduzieren. Hierbei ist auch das Versagen getroffener technischer Vorkehrungen und organisatorischer Maßnahmen gegen die natürlichen umgebungsbedingten Gefahrenquellen zu berücksichtigen, wie z. B. Überspülen von Deichen bei Überschreitung der Bemessung oder Versagen von Deichen bei längerem Einstau.

In der Risikokommunikation ist zu beachten, dass die Schutzobjekte nicht nur diesen Risiken ausgesetzt sind, sondern auch Risiken durch die natürlichen Gefahrenquel-

⁵⁵ DIN 25419: Ereignisablaufanalyse: Verfahren, grafische Symbole und Auswertung, Normenausschuss Kerntechnik, 1995

⁵⁶ DIN 25424 Fehlerbaumanalyse, Teil 1 und 2, Ausgabe 1981-09, Beuth Verlag Berlin

⁵⁷ Böhnert, R.: Bauteil- und Anlagensicherheit. Vogel Verlag Würzburg 1992, ISBN 3-8023-0469-3

⁵⁸ Selbmann, B.: Das PAAG-Verfahren - Methodik / Anwendung / Beispiele - Risikobegrenzung in der Chemie, Ausgabe 2000. Herausgeber: Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen Industrie, Kurfürsten Anlage 62, D-69115 Heidelberg, Deutschland

len selbst. Eine Abstimmung mit den für die Kontrolle dieser direkten Risiken zuständigen Behörden ist anzuraten.

Zu Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfälle) und Szenarien für die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung



Die TRAS unterscheidet bei der Ermittlung von Störfallablaufszenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV zwischen vernünftigerweise auszuschließende Gefahrenquellen, die dann zu „Dennoch-Störfällen“ führen können, wenn

- a) die störfallverhindernde Vorkehrungen versagen oder
- b) Hochwasser bzw. Niederschläge oberhalb der aufgrund einer probabilistischen Analyse vernünftigerweise angenommenen Jährlichkeit eintreten.

Darüber hinaus wurden Gefahrenquellen auf der Grundlage einer vereinfachten Gefahrenquellenanalyse deterministisch als „Exzeptionelle Gefährdungen“ ausgeschlossen. Solche Gefahrenquellen sind so unwahrscheinlich, dass sie auch im Rahmen der Betrachtung von „Dennoch-Störfällen“ ausgeschlossen bleiben.

Für die Ermittlung der zu unterstellenden Gefährdungen ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich. Dabei kann sich der Betreiber an folgenden Ereignissen oder Informationen orientieren:

1. Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder Extremereignisse (§ 74 WHG),
2. Historische Ereignisse (z. B. HHQ),
3. Hochwassermelde- und –alarmstufen,
4. maximalen Niederschlägen (vgl. Anhang 3).

zu 1: Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder Extremereignisse (§ 74 WHG)

Als Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder Extremereignis (§ 74 WHG) wird in Gefahren- und Risikokarten ein 500- oder 1.000-jährliches Hochwasser unterstellt. Wird bei den Szenarien für Hochwasser auf diese Jährlichkeiten abgestellt, so können diese Karten genutzt werden (z. B. Rhein-Atlas der IKS⁵⁹).

Zu 2: Historische Ereignisse (z. B. HHQ d. h. höchster bekannter Hochwasserabfluss)

Soweit keine Gefahrenkarten für Extremereignisse erstellt sind, können – soweit bekannt – lokale, historische Extremereignisse herangezogen wer-

⁵⁹ Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: www.iksr.org

den. Die Auswertung eines historischen Ereignisses wird in Anhang 6 dargestellt.

Zu 3: Hochwassermelde- und –alarmstufen

Sollten für das jeweils relevante Gewässer Hochwassermelde- oder –alarmstufen festgelegt sein, sollten diese bereits bei der Szenarienbildung berücksichtigt werden. Dies erleichtert die später für die Notfallplanung erforderliche Berücksichtigung. Angaben zu Hochwassermelde- und -alarmstufen sind erhältlich unter: www.hochwasserzentralen.de.

Zu 4: maximale Niederschläge (vgl. Anhang 3)

Eine statistische Auswertung der Starkniederschlagsereignisse in Abhängigkeit von Dauerstufe und Wiederkehrzeit wird vom Deutschen Wetterdienst DWD mit KOSTRA-DWD angeboten. Das Programm ermöglicht alle sinnvollen und erlaubten Inter- und Extrapolationen im Bereich der Dauerstufen D zwischen 5 Minuten und 72 Stunden, sowie im Bereich der jährlichen Wiederkehrzeiten zwischen $T = 0,5$ a (entspricht der jährlichen Überschreitungshäufigkeit von im Mittel $n = 2$ mal pro Jahr) und $T = 100$ a (im Mittel alle 100 Jahre nur einmal erreicht oder überschritten entsprechend $n = 0,01$).⁶⁰

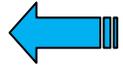
Für die Betrachtung von Dennoch-Störfällen reicht jedoch die Betrachtung von Ereignissen mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren nicht aus. Um Starkniederschlagsereignisse mit einer höheren Jährlichkeit zu ermitteln, wurde ein Verfahren vom Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) entwickelt.⁶¹ Es basiert im Wesentlichen auf der Extrapolation der in KOSTRA-DWD angegebenen Daten. Die Zielsetzung dieses Projektes war es, u. a. eine Festlegung der Niederschlagshöhen für die Wiederkehrzeiten $T = 1.000$ a und 10.000 a zu gewinnen. Aufgrund der entwickelten methodischen Vorgehensweise wurden die Niederschlagshöhen flächendeckend ermittelt. Wegen der mit diesem Vorgehen verbundenen Unsicherheiten wurden die ermittelten Niederschlagshöhen in Niederschlagsklassen eingeteilt und kartiert. In Anhang 3 dieses Berichtes sind zwei Beispiele für verschiedene Niederschlagsereignisse mit einer Jährlichkeit von 1.000 und 10.000 Jahren als Karten dargestellt.

Für die Szenarien für Dennoch-Störfälle soll – anders als für die Auslegung der Vorkehrungen und Maßnahmen zur Verhinderung von Störfällen – der Klimafaktor gemäß Anhang I der TRAS nicht angesetzt werden.

⁶⁰ Deutscher Wetterdienst (DWD): www.itwh.de/S_kostr.htm

⁶¹ Verworn, H.-R.; Kummer, U.: Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN). Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, 2003, [www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LAWA/Vorhaben_des_ehemaligen_Ausschusses_Daten_\(AD\)/D_1.01/Abschlussbericht_PEN.pdf](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LAWA/Vorhaben_des_ehemaligen_Ausschusses_Daten_(AD)/D_1.01/Abschlussbericht_PEN.pdf)

Zu Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen

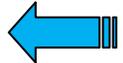


Im Falle des Versagens aller Schutzeinrichtungen können aufgrund der natürlichen, umgebungsbedingten Gefahrenquellen, wie

1. Überflutung,
2. Grundwasseranstieg,
3. Hagelschlag,
4. Schnee- und Eislasten

Brände, Explosionen und Stofffreisetzungen ausgelöst werden, wobei sich Schadstoffe in der Luft, im Gewässer oder im Boden ausbreiten können. Der Betreiber hat Vorkehrungen zu treffen, um die Ausbreitung dieser Stoffe zu vermeiden oder zu vermindern oder zumindest die Auswirkungen einer Schadstoffausbreitung zu begrenzen. Hierfür gibt die TRAS, differenziert für die oben genannten Gefahrenquellen, grundsätzliche Hinweise. Bei der Festlegung von Maßnahmen sind die Bedingungen zu berücksichtigen unter denen sie wirksam werden sollen, wie z. B. Einschränkungen der Zugänglichkeit des Betriebs bei Überflutungen oder zusätzliche Beeinträchtigungen durch Starkwind, wie er in Verbindung mit Starkniederschlägen oder Hagel auftreten kann.

Zu Planung für Notfälle, Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, der Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung



Dieser Abschnitt der TRAS widmet sich der Ausarbeitung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen und dem Katastrophenschutz. Eine Unterscheidung nach Gefahrenquellen erfolgt dabei nicht.

Bei Betriebsbereichen mit Grundpflichten sind die Ergebnisse der obenstehenden Schritte im Rahmen der Fortschreibung von Konzepten zur Verhinderung von Störfällen und der Fortentwicklung des Sicherheitsmanagements aufgrund § 8 Absatz 3 StörfallV innerhalb der Planung für Notfälle gemäß Anhang III e zu berücksichtigen.

Bei Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten sind, wenn die Ergebnisse der obenstehenden Schritte neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Gefahren zu liefern, die Konzepte zur Verhinderung von Störfällen und Sicherheitsberichte fortzuschreiben sowie das Sicherheitsmanagement fortzuentwickeln. Da dann auch die Angaben gemäß Anhang III Teil V fortgeschrieben werden müssen, wird i. d. R. auch das Erfordernis einer Fortschreibung der Alarm- und Gefahrenabwehrpläne gemäß § 10 StörfallV vorliegen.

Die TRAS lässt offen, ob für einzelne natürliche Gefahrenquellen spezielle Pläne entwickelt werden oder natürliche Gefahrenquellen in allgemeinen Plänen berücksichtigt werden.

Nach § 10 Absatz 1 Nummer 2 StörfallV sind Betreiber von Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten verpflichtet, den zuständigen Behörden die für die Erstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erforderlichen Informationen zu übermitteln. Zahlreiche Informationen sind vom Betreiber ohnehin für die Erstellung des Sicherheitsberichts zu erarbeiten.

Folgende Angaben sollen in den betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen enthalten sein:

1. Örtliche Lage

- Angaben zur Topografie im geeigneten Maßstab
- Höhenkarte mit Kennzeichnung der gefährdeten Teile des Betriebsbereichs, insbesondere im Falle eines Bemessungsereignisses (vgl. Anhang I der TRAS) sowie eines Extremhochwassers (vgl. Abbildung 8 des Anhangs 6 Beispiel einer Gefahrenquellenanalyse)
- Karte und Höhenangaben zum betrieblichen Kanalsystem
- Abstände der Anlagen untereinander
- Infrastruktureinrichtungen, wie z. B. Ver- und Entsorgungssysteme oder Sozialeinrichtungen
- Lage des Betriebsbereichs in Hochwassergefahrenkarten gemäß § 74 WHG
- Potenzielle Zulaufwege auf der Grundlage der Gefahrenquellenanalyse

2. Informationen über betriebliche Hochwasserschutzmaßnahmen

- Stationäre Hochwasserschutzmaßnahmen
 - Deiche mit Höhenangaben und Auslegungsgrundlagen
 - Schutztore mit Höhenangaben und Auslegungsgrundlage
 - Schutzwände mit Höhenangaben und Auslegungsgrundlage
 - Kanalverschlusssysteme
- Instationäre Hochwasserschutzmaßnahmen
 - mobile Hochwasserschutzwände mit Höhenangaben und Auslegungsgrundlagen
 - Hochwasserpumpen mit maximalen Durchsatzmengen (m³/h)
- Organisatorische Maßnahmen
 - Auslagerung von gefährlichen Stoffen Angaben über Verkehrswege
 - im Falle eines Notfalls einsetzbare Mitarbeiterzahl

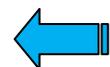
3. Angaben über die in den gefährdeten Teilen des Betriebsbereichs gehandhabten Stoffe

- Informationen über Art, Gefährlichkeit und Menge der gehandhabten Stoffe
- Angaben über Eigenschaften der gehandhabten Stoffe
 - Löslichkeit in Wasser
 - Flüchtigkeit der Stoffe
 - Reaktion mit Wasser

Die TRAS empfiehlt diese Informationen nicht nur den für den Vollzug des BImSchG und der Störfall-Verordnung zuständigen Behörden zu übermitteln, sondern auch den zuständigen Wasserbehörden.

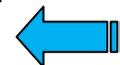
(Hochwasser-)Risikomanagementpläne sollen gemäß § 75 Absatz 3 WHG die im Anhang der Richtlinie 2007/60/EG genannten Angaben enthalten. Hierzu gehören gemäß Anhang A I.4 dieser Richtlinie im Rahmen anderer Gemeinschaftsrechtsakte ergriffene „Hochwasserbekämpfungsmaßnahmen“, wobei als ein entsprechender Rechtsakt die Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen (Seveso-Richtlinie) explizit genannt wird. Eine derartige Berücksichtigung ist naturgemäß nur möglich, wenn die Behörden über diese Informationen verfügen.

Zu Dokumentation



Hier wird auf die in der Störfall-Verordnung verankerten Dokumentationspflichten verwiesen.

Zu Erfüllung von weiteren Pflichten der Störfall-Verordnung



Hierzu zählen

- Anforderungen an die Instandhaltung von Vorkehrungen (§ 6 Absatz 1 Nummer 1, 2 StörfallV)
- Informationen und Schulungen der Beschäftigten (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV)
- Beratung von zuständigen Behörden und Einsatzkräften im Störfall (§ 5 Absatz 2 StörfallV)

Die TRAS beschränkt sich auf eine Präzisierung dieser drei Pflichten. Die in der TRAS behandelten Gefahrenquellen sind gleichwohl bei der Umsetzung weiterer Pflichten der Störfall-Verordnung zu berücksichtigen.

Anforderungen an die Instandhaltung von Vorkehrungen (§ 6 Absatz 1 Nummer 1, 2 StörfallV)

Die Grundlage für Inhalt und Aufbau von Instandhaltungsanleitungen bildet die DIN 31052. Nach DIN 31051 beinhaltet der Begriff der Instandhaltung folgende Einzelmaßnahmen:

- Inspektion,
- Wartung,
- Instandsetzen,
- Verbesserung.

In der Praxis hat sich die Entwicklung eines betrieblichen Instandhaltungsmanagements bewährt, das im Einzelnen folgende grundsätzliche Arten von Instandhaltungsvorgaben enthalten sollte:

Vorbeugende Instandhaltung	Die Durchführung der Maßnahmen erfolgt nach einem festen Zeitraster. Es handelt sich hierbei um eine zeitabhängige präventive Maßnahmendurchführung zur Sicherstellung einer maximalen Zuverlässigkeit.
Zustandsabhängige Instandhaltung	Die Durchführung der Maßnahmen erfolgt nach Zustand und Verschleiß.
Wiederkehrende Prüfung	Die ordnungsgemäße Funktion von technischen Maßnahmen ist nach einem festen Zeitraster zu überprüfen. Dies ist vor allem dann erforderlich, wenn z. B. Hochwasserpumpen oder mobile Hochwasserschutzmaßnahmen in der Regel außer Betrieb sind.
Verbesserung	Erfassung und Auswertung von Defiziten, Ableitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen (ausgenommen Änderungen).

Ausgeführte Maßnahmen zur Instandhaltung sind zu dokumentieren.

Der Instandhaltungsplan muss alle aufgrund der Gefahrenquellen getroffenen Vorkehrungen berücksichtigen, insbesondere technische und baulichen Einrichtungen. Im Einzelnen können beispielhaft folgende Maßnahmen zur Instandhaltung erforderlich sein:

Hinweise, Tab. 1: Beispiel eines Inspektions- und Wartungsplans

Schutzeinrichtung	Inspektion/Wartung	Intervall
stationäre Hochwasserschutzeinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung von Deichen: <ul style="list-style-type: none"> - Vorhandensein von Tierbauten - Schädigender Bewuchs - Erosionserscheinungen (Anrisse, Abbrüche, Spalten) - Verformungen an Böschungen oder Krone durch Sackungen oder Mulden - Kontrolle von Bauten in / durch den Damm - Anschwemmen von Treibgut 	1 x /Monat
	<ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung und Instandhaltung von Hochwasserschutzwänden und -toren 	1 x /Jahr
	<ul style="list-style-type: none"> • Instandhaltung der technischen Maßnahmen zum Schutz vor Treibgut 	1 x /Jahr
	<ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung von Kanalverschlüssen 	1 x /Jahr

**Technische Regel Anlagensicherheit „Niederschläge und Hochwasser“
Hinweise und Erläuterungen zur TRAS**

Schutzeinrichtung	Inspektion/Wartung	Intervall
Mobile Hochwasser-schutzeinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der Funktionalität und Integrität von mobilen Hochwasserschutzanlagen (z. B. Dammbalkensysteme) durch Aufbau im Rahmen von jährlichen Übungen • Überprüfen von Zuordnung und Vollständigkeit von mobilen Systemen 	1 x /Jahr
Halterungen	<ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der Halterungen für Hochwasserschotts 	2 x /Jahr
Sicherungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung von baulichen Sicherungsmaßnahmen zum Schutz von Hochwasserschutzanlagen, wie z. B. Poller zum Schutz von Halterungen von Hochwasserschotts bei Fahrzeugverkehr 	2 x /Jahr
Pumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Regelmäßige Überprüfung von Hochwasserpumpen, incl. Funktionstest. 	2 x /Jahr
Auftriebssicherungen	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung von Verankerungen von Tankanlagen oder anderen auftriebsgefährdeten Apparaten oder Rohrleitungen mit gefährlichen Stoffen 	2 x /Jahr
Kommunikationsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der Funktion von mobilen Kommunikationsmitteln 	2 x /Jahr

Informationen und Schulung des Personals (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV)

Die Schulung des Personals (einschließlich des relevanten Personals von Subunternehmen) umfasst z. B.:

1. Förderung des Bewusstseins über die Existenz der Gefahrenquellen
 - Aufzeigen der Gefahrenquellen, wenn möglich mit historischen Aufnahmen inkl. sekundärer Gefahrenquellen, wie Strömung, Treibgut, Versagen von Schutzeinrichtungen
 - Darstellung der gefährdeten Teile des Betriebsbereiches
 - Erläuterungen zu den Hochwasser- bzw. Überflutungsschutzanlagen
 - Erläuterungen der Informationsquellen (Betriebseigene Pegelstände, Hochwassermeldezentralen, Unwetterwarndienste usw.)
 - Erläuterung der Organisationsstruktur im Fall des Wirksamwerdens der Gefahrenquelle
 - Erläuterung der Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen
 - Erläuterung der persönlichen Gefahren wie z. B. Gefahren durch Strömung oder Gefahren durch Überflutung elektrischer Anlagen

2. Maßnahmen zur Instandhaltung von Vorkehrungen zum Hochwasser- bzw. Überflutungsschutz
 - Durchführung von jährlichen Übungen, z. B. Aufbau von mobilen Hochwasserschutzanlagen
 - Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen entsprechend dem betrieblichen Inspektions- und Wartungsplan
 - Prüfung der Funktionstüchtigkeit von Sicherheitssystemen (z. B. Pumpwerke, mobile Hochwasser- bzw. Überflutungsschutzsysteme)
3. Verhalten vor Wirksamwerden der Gefahrenquelle (ggf. gemäß Alarm- und Gefahrenabwehrplan)
 - Beobachtung der Pegelstände
 - Einholung von Informationen (Wasserbehörden, Hochwasserinformationssysteme, Unwetterzentralen usw.)
 - Durchführung der betrieblichen Sicherheitsmaßnahmen entsprechend dem Schutzkonzept, wie z. B.
 - Sicherung auftriebsgefährdeter Behälter oder Apparate
 - Verschließen der Kanalsysteme
 - Aufbau mobiler Hochwasserschutzsysteme
 - Vorbereitung der Hochwasserpumpen
 - Auslagerung von gefährlichen Stoffen
 - Abfahren der Produktionsanlagen
 - Räumung von gelagerten Ersatz- oder Ausbauteilenteilen (Vermeidung von betriebsinternen Treibgut)
 - Informationen an die Katastrophenschutzbehörden (z. B. zum Auslagern von Stoffen)
4. Verhalten während des Wirksamwerdens der Gefahrenquelle (ggf. gemäß Alarm- und Gefahrenabwehrplan)
 - Zur Sicherheit der Beschäftigten erforderliche Maßnahmen
 - Beobachtung der betrieblichen Situation mit Lagebeurteilung
 - Informationsbeschaffung von Behörden und Internetportalen über die Entwicklung der Wetter- bzw. Hochwassersituation
 - Laufende Inspektion der Hochwasserschutzanlagen
 - Durchführung von Notfallmaßnahmen, wie z. B. Ausbesserungen zur Deichverteidigung
 - Kommunikation mit den zuständigen Katastrophenschutzbehörden
 - Entscheidung für weitergehenden Maßnahmen (z. B. ggf. Flutung von z. B. Kellerräumen)

- Verhalten bei Freisetzung von gefährlichen Stoffen
- Durchführung von innerbetrieblichen Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen
- Rückzugslinien und Evakuierung

Für den Fall des Austretens gefährlicher Stoffe werden sind an dieser Stelle noch Erläuterungen über das Absetzen von Informationen oder Warnungen zu geben:

Bei Störfällen, die von Hochwasser und Starkregen ausgehen, sind insbesondere Gefahren für Dritte durch Gefahrstoffe im Wasser zu beachten. Die höchste Gefahr infolge einer Freisetzung gefährlicher Stoffe besteht durch direkten Kontakt, z. B. bei der Deichverteidigung, sowie für die Trinkwassergewinnung - und damit für Leben und Gesundheit einer großen Zahl von Menschen. Erhebliche Gefahren können aber auch für die Kühl- und Brauchwassergewinnung, die Landwirtschaft (Bewässerung, Viehtränke) und für Flora und Fauna der betroffenen Gewässer entstehen. Können die freigesetzten Schadstoffe in die Schmutz- oder Mischwasserkanalisation eindringen, ist die Beeinträchtigung des Betriebs von Kläranlagen zu besorgen, was wiederum erhebliche Folgeschäden nach sich ziehen kann. Eine unverzügliche, sachgerechte und umfassende Information oder Warnung und Beratung der zuständigen Behörden ist daher dringend geboten (s. u.).

Eine Entscheidung über die Einstufung, Information oder Warnung und Entwarnung außerhalb des Betriebs ist Aufgabe der zuständigen Behörden. Insbesondere haben im Falle einer unmittelbaren Bedrohung der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt die informationspflichtigen Stellen (Behörden) sämtliche Informationen, über die sie verfügen und die es der eventuell betroffenen Öffentlichkeit ermöglichen könnten, Maßnahmen zur Abwendung oder Begrenzung von Schäden infolge dieser Bedrohung zu ergreifen, unmittelbar und unverzüglich zu verbreiten; dies gilt unabhängig davon, ob diese Folge menschlicher Tätigkeit oder einer natürlichen Ursache ist. (§ 10 Absatz 5 Umweltinformationsgesetz / Art. 7 Absatz 4 Umweltinformationsrichtlinie (2003/4/EG). Soweit Warnsysteme und Empfehlungen der Flussgebietskommissionen existieren, sollten diese ab D2 genutzt werden.

Für störfallbezogene Ereignisse gelten vier Meldestufen. Gemäß Vollzugshilfe des BMU zur Störfall-Verordnung vom März 2004 werden diese wie folgt unterschieden:

Hinweise, Tab. 2: Melderaster zur Kategorisierung und Abgrenzung der Ereignisse

Meldestufe	Charakterisierung der Ereignisse	Maßnahmen
D1	Keine Auswirkungen außerhalb der Werkgrenzen und keine Belastungen des Grundwassers zu besorgen. Dazu gehören auch Ereignisse, bei denen eine Gefahr außerhalb objektiv nicht besteht, die aber von der Nachbarschaft wahrzunehmen sind und für gefährlich gehalten werden können (z. B. starke Geräusche; Abfackeln von Gasen; schwache, begrenzte Geruchseinwirkung).	Gegenseitige Information von Anlagenbetreiber, Polizei und Feuerwehr. Keine Maßnahmen der Behörden zur Gefahrenabwehr erforderlich.
D2	Auswirkungen und Belastungen außerhalb der Werkgrenzen nicht auszuschließen . Dazu gehören auch Ereignisse, bei denen eine großflächige oder anhaltende Geruchseinwirkung festzustellen ist, eine Gefährdung der Gesundheit aber nicht besteht.	Feststellende Maßnahmen durch Polizei und Feuerwehr. Gegebenenfalls abgestimmte Information an die betroffene Bevölkerung durch die Behörden. Begrenzte Maßnahmen der Behörden. Behördeninformation nach Plan.
D3	Gefährdung außerhalb der Werkgrenzen wahrscheinlich oder bereits gegeben .	Maßnahmen wie D2. Warnung der betroffenen Bevölkerung durch die Behörden. Einsatz von Polizei, Feuerwehr und Rettungsdienst.
D4	Schwerer D3-Fall oder Katastrophenfall .	Maßnahmen wie D3. Gegebenenfalls Maßnahmen nach Katastrophenschutzplan.

5. Verhalten nach Abklingen der Gefahrenquelle

- Inspektion des Betriebsbereichs auf Schäden und Stofffreisetzungen
- Sicherung und Beseitigung/Entsorgung von gefährlichen Stoffen im Betriebsbereich (z. B. auf Betriebsflächen oder in Kellerräumen)
- Instandsetzung der Hochwasser- bzw. Überflutungsschutzsysteme
- Schwachstellenanalyse bzgl. der technischen und organisatorischen Maßnahmen

Information und Beratung der Gefahrenabwehr zuständigen Behörden und die Einsatzkräfte (Beratungspflicht gemäß § 5 Absatz 2 StörfallV)

Der Betreiber hat dafür zu sorgen, dass in einem Störfall die für die Gefahrenabwehr zuständigen Behörden und die Einsatzkräfte unverzüglich, umfassend und sachkundig beraten werden. Die umfasst insbesondere

- Informationen zum Schadensfall, wie z. B.:
 - Freisetzung von Flüssigkeit aus einem Behälter oder Rohrleitung
 - Freisetzung von gasförmigen Stoffen oder festen Stoffen
 - Fortreißen von Behältern oder Gebinden mit der Strömung
- Informationen über Art, Gefährlichkeit und Menge der ausgetretenden Stoffe

- Informationen zum Emissionsweg (Kanal, Gewässer, Atmosphäre)
- Informationen zum Verhalten der Stoffe in der Umwelt (z. B. Durchmischung mit Wasser, Aufschwimmen auf der Wasseroberfläche, Absinken auf den Grund)
- Abschätzung der Schadstoffkonzentrationen durch Verdünnung mit Wasser
- Bewertung der Gefährlichkeit der ausgetretenen Stoffe auf Grundlage der abgeschätzten Schadstoffkonzentrationen
- Beratung der Behörden über die einzuleitenden Maßnahmen im Falle des Austretens von gefährlichen Stoffen, wie z. B. beim Einsatz von Schadstoffbekämpfungsmitteln (z. B. Binde- oder Lösungsmittel)
- Beratung bei der Beseitigung von Schäden (z. B. bei Bodenkontaminationen)

Dies muss insbesondere alle Informationen umfassen, die die Behörden benötigen, um Informationen zu verbreiten, die es der eventuell betroffenen Öffentlichkeit ermöglichen könnten, Maßnahmen zur Abwendung oder Begrenzung von Schäden zu ergreifen (§ 10 Absatz 5 Umweltinformationsgesetz).

Zu beraten sind „die für die Gefahrenabwehr zuständigen Behörden und die Einsatzkräfte“, d. h. nicht nur die für den Vollzug des BImSchG und der Störfall-Verordnung zuständigen Behörden. Für den Fall von Überflutungen oder hohen Grundwasserständen sind insbesondere die Wasserbehörden zu beraten und als Einsatzkräfte auch Wasserwehren.

In diesem Zusammenhang von Bedeutung aber in der TRAS nicht explizit angesprochen sind die Pflichten von Betreibern von Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten nach § 12 Absatz 1 StörfallV

1. ... auf Verlangen der zuständigen Behörde zu einer von ihr benannten, zur Informationsweitergabe geeigneten Stelle der öffentlichen Verwaltung eine jederzeit verfügbare und gegen Missbrauch geschützte Verbindung einzurichten und zu unterhalten sowie
2. eine Person oder Stelle mit der Begrenzung der Auswirkungen von Störfällen zu beauftragen und diese der zuständigen Behörde zu benennen.

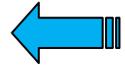
Soweit eine Anordnung nach Nummer 1 ergangen ist, muss wegen „jederzeit verfügbar“ die Verbindung auch unter den Umständen der Wirksamkeit einer umgebungsbedingten Gefahrenquelle verfügbar sein.

Die mit der Begrenzung von Auswirkungen von Störfällen beauftragte Person oder Stelle sollte die Beratungstätigkeit nach § 5 Absatz 2 StörfallV (s. o.) auch hinsichtlich durch natürliche umgebungsbedingte Gefahrenquellen ausgelösten Störfälle leisten können.

Im Rahmen der Planung für Notfälle sowie Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen sollte geprüft werden, ob und ggf. zu welchen weiteren Behörden

- a) eine weitere jederzeit verfügbare Verbindung eingerichtet wird, sowie
- b) eine Information über die benannte Person oder Stelle sinnvoll ist.

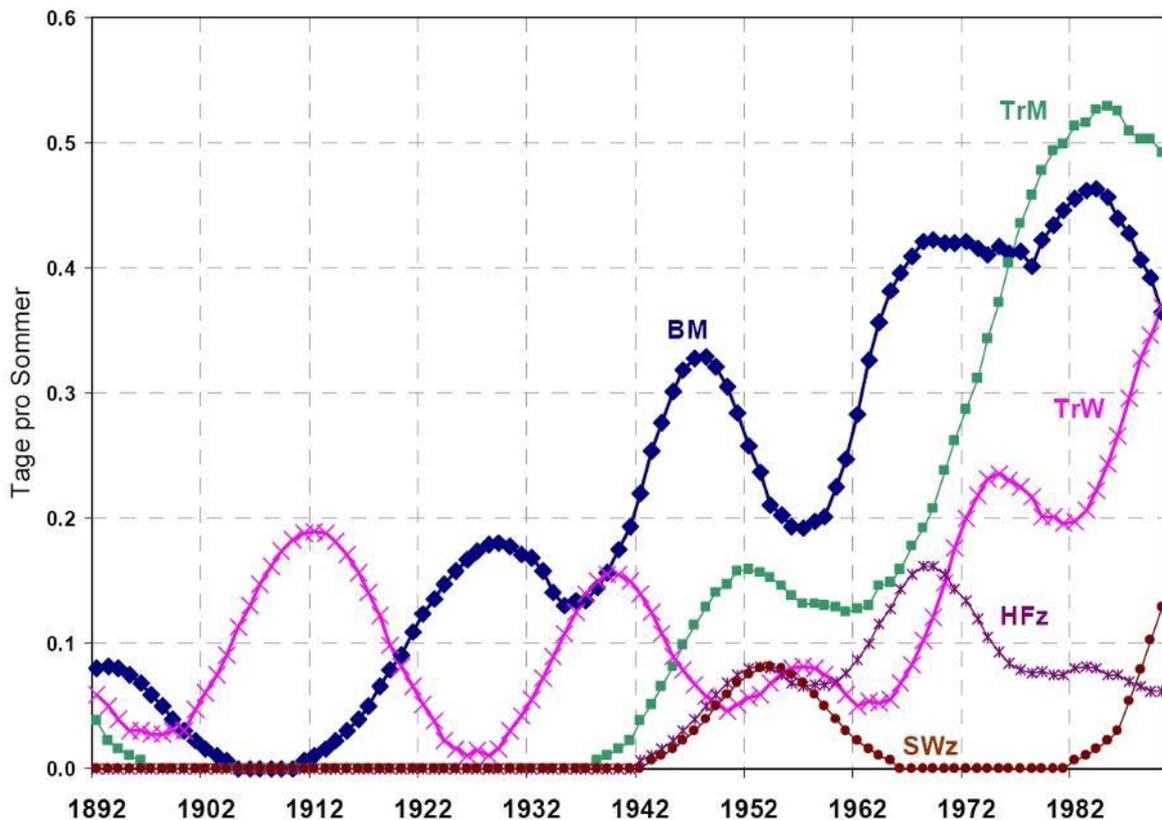
Anhang 1 Erkenntnisse über die Bedeutung des Klimawandels



Erkenntnisse über den Klimawandel entstammen der Untersuchung historischer Daten oder Projektionen, die auf Szenarien der Emissionen von das Klima beeinflussenden Stoffen beruhen sowie modellgestützten Abschätzungen möglicher Auswirkungen.

1. Beobachtete Veränderungen des Klimas

Hinsichtlich der Entwicklung von Extremwetterereignissen beobachtet man in den letzten vier Jahrzehnten bei einigen ursächlich damit verbundenen Großwetterlagen signifikante Veränderungen, die mit dem Klimawandel in Zusammenhang gebracht werden können. Dies betrifft z. B. Starkregenereignisse, die vermehrt im Sommer bei einigen Großwetterlagen auftreten. **Anhang 1, Abbildung 1** zeigt eine Zunahme der Häufigkeit von Starkregentagen (> 30 mm) im Sommer (Juni-August) für verschiedene Großwetterlagen (Fricke et al. 2002).



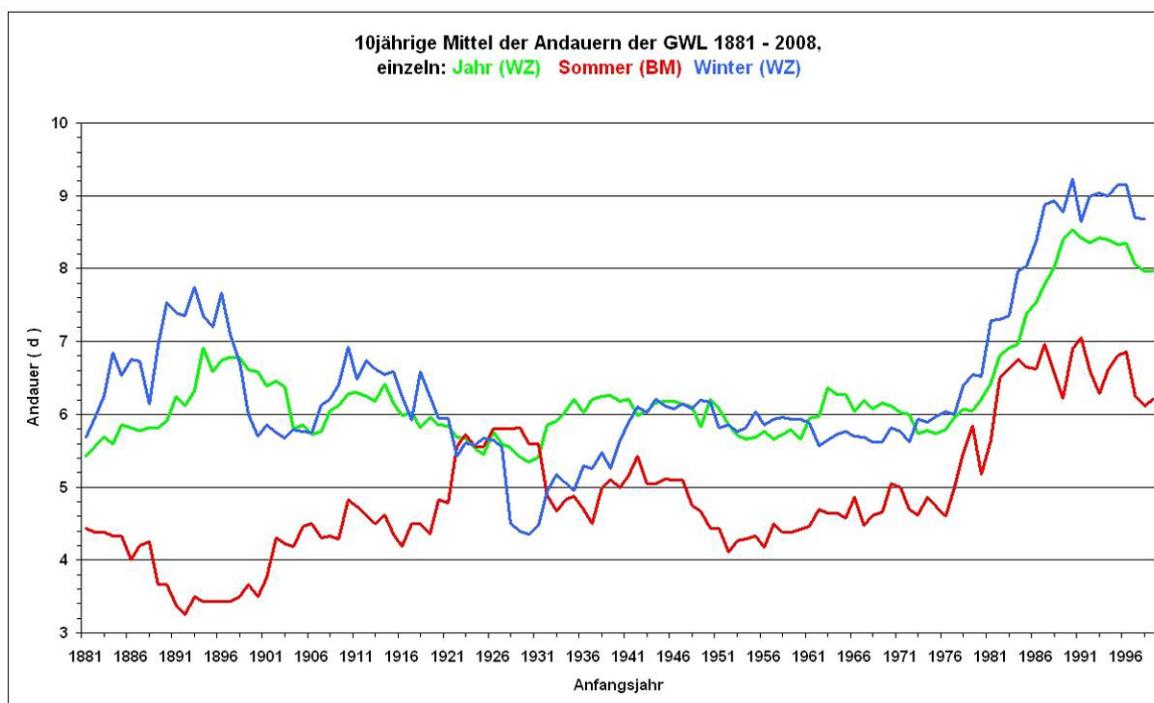
Anhang 1, Abb. 1: Trends der Häufigkeit von Starkregentagen (>30 mm) im Sommer (Juni-August) für verschiedene Großwetterlagen in Europa mit signifikant ansteigender Anzahl (Fricke et al. 2002).

Auffällig ist der Anstieg bei der Hochdruckbrücke Mitteleuropa (BM), Trog Westeuropa (TrW) und den sog. V_b -Lagen (TrM, Trog Mitteleuropa), bei den Hochwasser-

ereignissen an der Oder 1997, an der Elbe 2002 oder der Donau 2005. Bei der besonderen Wetterlage V_b entsteht über dem Mittelmeer ein Tief, das sich dort mit viel Feuchtigkeit anreichert, sich in der Folge nach Nordosten verlagert und über die Alpen oder östlich der Alpen bis nach Osteuropa vorankommt. Aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehalts kommt es meist zu starken, lang anhaltenden Niederschlägen über Osteuropa bis nach Ostdeutschland. Das Elbe-Hochwasser im Jahr 2002 entstand durch solch eine V_b -Wetterlage. Betrachtet werden hier hauptsächlich die für Deutschland in diesem Zusammenhang bedeutsamen Auswertungen für Mittel- und Westeuropa.

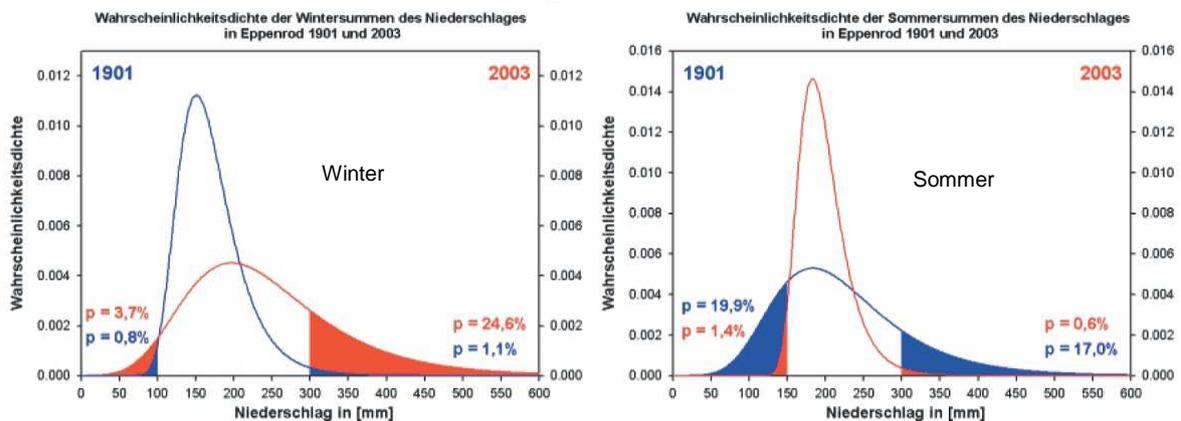
Für einige Wetterlagen in Europa konnte eine signifikante Zunahme der Andauer seit den neunzehnhundertsiebziger Jahren des letzten Jahrhunderts nachgewiesen werden (Werner 2009). Dies ist in **Anhang 1 Abbildung 2** deutlich zu erkennen, wobei die beiden Achsen die unterschiedliche zeitliche Dimension von Klima ($x \approx 100$ Jahre) und Wetter (y : 3 bis 9 Tage) wiedergeben. Auffällig ist der Anstieg bei sog. V_b -Lagen (TrM, Trog Mitteleuropa), wie sie bei den Hochwasserereignissen an Oder 1997, Elbe 2002 oder Donau 2005 vorlag. Die Wetterlagen BM (Hochdruckbrücke Mitteleuropa) und TrW (Trog Westeuropa) im Sommer sowie WZ (West zyklonal) im Winter sind häufig mit extremen lokalen Niederschlägen oder heftigen Stürmen verbunden, letztere z. B. mit der Lawinenkatastrophe von Galtür, Anfang 1999, oder den Stürmen Lothar (26.12.1999) und Kyrill (Januar 2007).

Die Andauer ist ein für das Schadenspotential relevanter Parameter. Anzumerken ist, dass auch gegenläufige Trends bei verschiedenen Wetterlagen beobachtet werden, z. B. nehmen die Westwindwetterlagen WZ im Sommer ab.



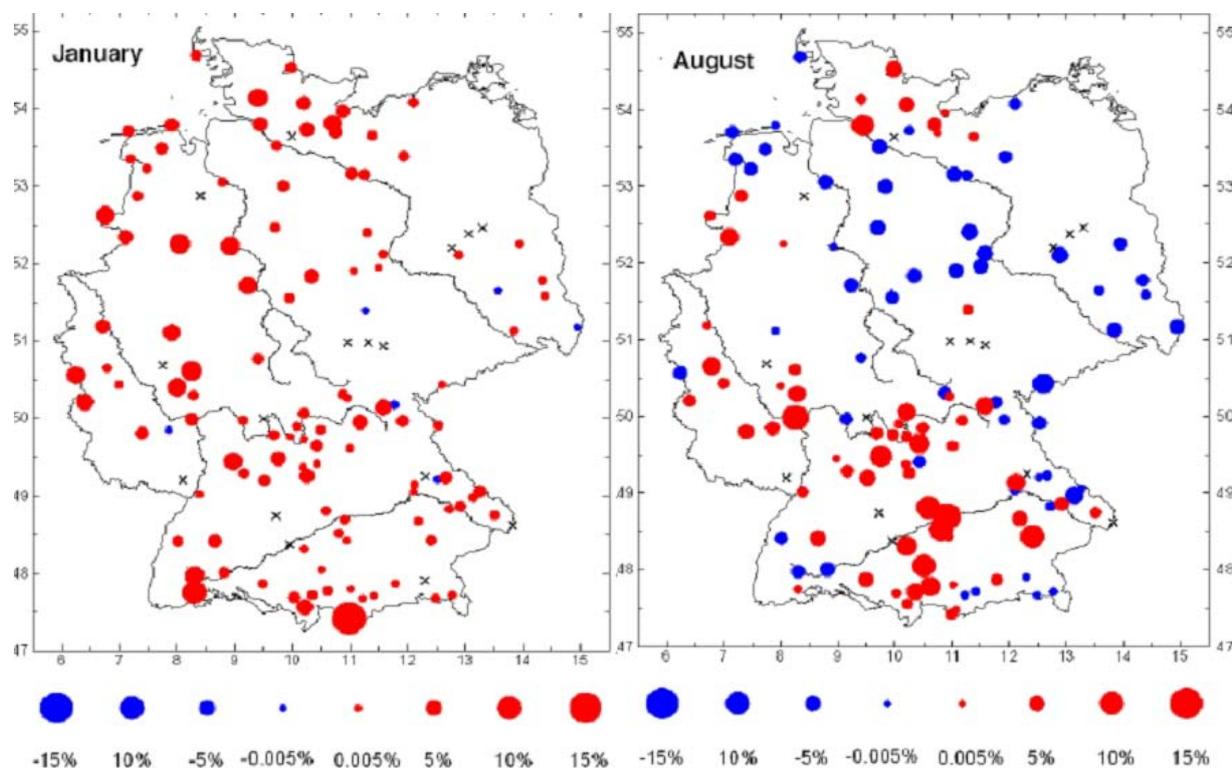
Anhang 1, Abb. 2: Zehnjähriges Mittel der Andauer von winterlichen Westwind-Wetterlagen (WZ) und der Hochdruckbrücke BM im Sommer in Europa.

Spiegeln sich solche Trends auch im Verhalten der Extremereignisse wider? Diese Frage wurde z. B. von Jonas et al. 2005 und Schönwiese et al. 2006 aufgrund einiger ausgewählter Ergebnisse untersucht. Dabei werden im Folgenden unter „Extremereignissen“ solche (synoptische) Konstellationen verstanden, die in den Zeitreihen der Beobachtungsdaten zum Auftreten von extremen Werten führen. Konventionsgemäß gelten solche Werte als extrem, die relativ weit vom Mittelwert bzw. Modus (häufigsten Wert) entfernt auftreten. Insbesondere ist nach möglichen Änderungen der Häufigkeit und Intensität (als Abstandsmaß vom Mittelwert bzw. Modus) von Extremwerten gefragt. Entscheidend dafür sind nicht nur Trends, sondern auch die überlagerten weiteren Variationsanteile. Hilfreich zur Klärung solcher Probleme sind die Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen Zeitreihen, die in normierter Form Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (engl. Probability Density Functions, PDF) heißen. Zwei Beispiele in **Anhang 1, Abbildung 3** zum Niederschlag, der häufig einer Gumbelverteilung folgt, sollen dies veranschaulichen (Station Eppenrod bei Limburg). Dabei ist jeweils die PDF zu Beginn (1901) und zum Ende (2003) des betrachteten Zeitintervalls angegeben. Hier ist im Winter nicht nur eine Verschiebung des Modus zu höheren Werten hin feststellbar (Trend); gleichzeitig ist auch die Varianz erheblich angestiegen. Folglich hat sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit extrem geringer Niederschläge (Schwellendefinition 100 mm) als auch extrem hoher Niederschläge (Schwellendefinition 300 mm) zugenommen, und zwar von jeweils rund 1 % auf 4 % bzw. 1 % auf 25 % (Schönwiese et al., 2006). Gerade dieses letztgenannte Beispiel zeigt, wie enorm sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremwerten im Zuge des Klimawandels verändern können. Da jedoch im Sommer an der gleichen Station die Varianz nicht zu-, sondern abgenommen hat, ist in dieser Jahreszeit die Extremwert-Eintrittswahrscheinlichkeit geringer geworden, und zwar für extrem geringe Niederschläge (Schwellenwertdefinitionen wie im Winter) von jeweils rund 20 % auf 1 % (trotz Trend zu geringerem Niederschlag) und für extrem hohe Niederschläge von 17 % auf 1 %. Diese Beispiele für eine Station und jeweils ein Jahr erlauben aber noch keine Aussage über die Entwicklung der Eintrittswahrscheinlichkeit von seltenen Niederschlagsereignissen, da es dazu einer längeren Zeitreihe bedarf.



Anhang 1, Abb. 3: Veränderung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) 2003 (rot) gegenüber 1901 (blau) in Eppenrod (bei Limburg)

In **Anhang 1, Abbildung 4** ist die regionale Struktur für die Niederschlagsmonatsdaten Januar und August im Zeitraum 1901-2000 an 132 Stationen mit den Trends der Überschreitungswahrscheinlichkeiten des 95 % Perzentils dargestellt.



* rot: Zunahme; blau: Abnahme, siehe auch Farblegende; schwarz (x): keine signifikante Änderung (nach Trömel, 2005).

Anhang 1, Abb. 4: Trends 1901-2000 der Überschreitungswahrscheinlichkeit des 95%-Perzentilwertes des Niederschlags an 132 Stationen.

Dabei ist als Repräsentant des Winters der Januar und des Sommers der August ausgewählt. Die roten Farbsymbole weisen wieder auf zunehmende, die blauen auf abnehmende Wahrscheinlichkeit hin, sind aber nun zusätzlich je nach Ausmaß der Wahrscheinlichkeitstrends unterschiedlich groß. Im Januar erkennt man verbreitet eine Zunahme der Eintrittswahrscheinlichkeit extrem hoher Niederschläge (**Anhang 4, Abbildung 4**, links), ausgenommen in den südlichen neuen Bundesländern (Brandenburg, Thüringen und zum Teil auch Sachsen). Überall wo die Eintrittswahrscheinlichkeit zugenommen hat (rote Symbole), weist dies auf Varianzzunahmen hin und somit auf eine (ggf. den Mittelwertrends überlagerte) Tendenz zu einem „echt“ extremeren Verhalten hin. Im August (**Anhang 1, Abbildung 4** rechts) sind die Tendenzen noch wesentlich uneinheitlicher. Die Wahrscheinlichkeit für extrem hohe Niederschläge nimmt im August in Bayern ganz markant und verbreitet zu (nicht jedoch im äußersten Südosten und im Bayerischen Wald), weiterhin entlang des Rheins, in Schleswig-Holstein und im äußersten Südwesten von Niedersachsen. Im Gegensatz zum Januar gibt es größere Bereiche, vor allem in der Nordhälfte (ausgenommen Schleswig-Holstein und einige Teilregionen im äußersten Westen), wo sowohl die Unter- als auch Überschreitungswahrscheinlichkeiten abnehmen (**Anhang 1, Abbildung 4**, blaue Symbole im rechten Teilbild), was auf abnehmende Varianz und somit weniger extreme Gegebenheiten hinweist. (Weitere Details siehe Trömel, 2005).

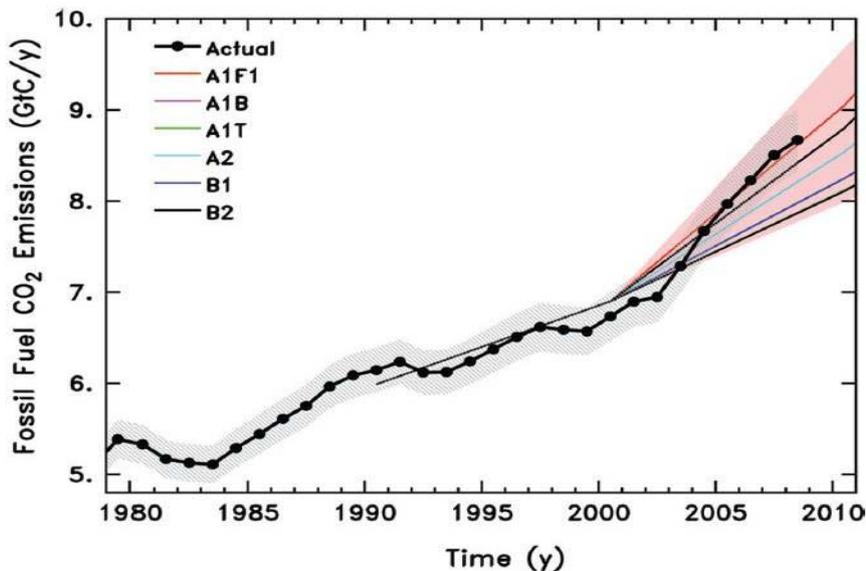
Aus solchen Beobachtungen lassen sich nur vorsichtig und unter Vorbehalt Erwartungen zur Entwicklung von Extremwetterereignissen herleiten, wie eine Zunahme von Winterstürmen oder zunehmend heftigeren Niederschlagsereignissen, die aber regional sehr unterschiedlich im Sommer häufiger aber auch seltener werden können. Daraus ergibt sich insgesamt ein regional und jahreszeitlich sehr differenziertes Bild unterschiedlicher regionaler Gefährdung.

2. Der Globale Klimawandel

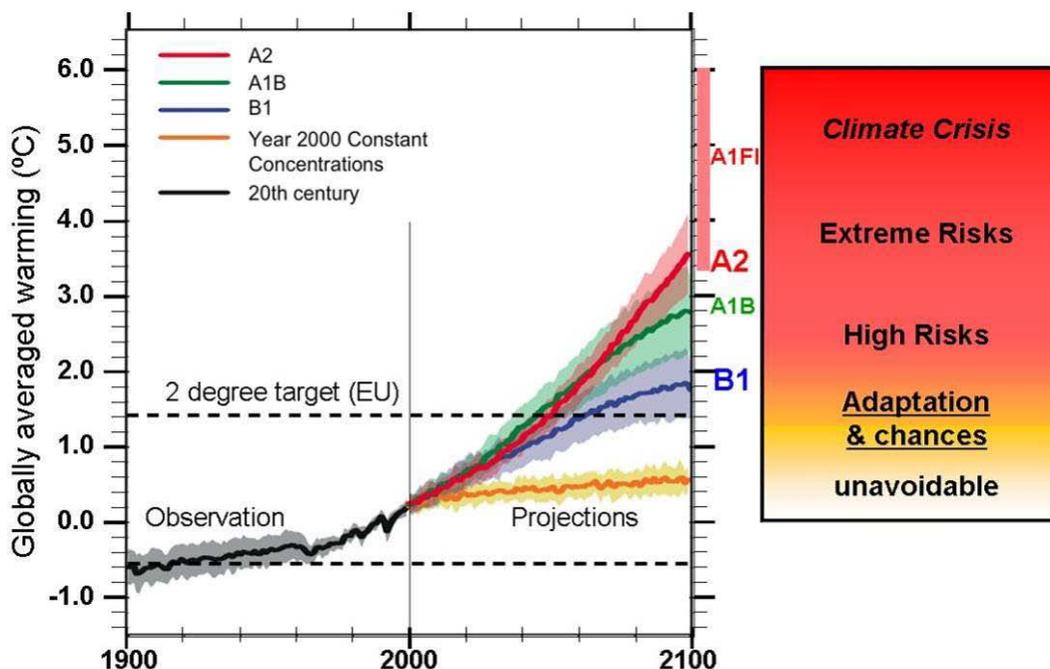
Um Klimaprojektionen für die Zukunft mit Klimamodellen berechnen zu können, müssen Annahmen über die möglichen Veränderungen der Zusammensetzung der Atmosphäre und ihrer klimawirksamen Strahlungseigenschaften gemacht werden. Dazu sind im Rahmen des IPCC-Prozesses Zukunftsszenarien für den Zeitraum 2001 bis 2100 basierend auf unterschiedlichen Annahmen über den demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Wandel entwickelt worden. Die Szenarien sind in vier Hauptgruppen unterteilt: A1, A2, B1 und B2. Bei A1 unterscheiden sich noch drei Untergruppen durch ihren jeweiligen technologischen Schwerpunkt: intensive Nutzung fossiler Brennstoffe (A1FI), nicht-fossile Energiequellen (A1T) oder Ausgeglichenheit über alle Energieträger hinweg (A1B).

Wenn man diese sechs IPCC-Emissions-Szenarien mit den beobachteten globalen CO₂ Emissionen vergleicht, kann man feststellen, dass etwa ab dem Jahr 2004 die Emissionsrate stärker steigt, als im „worst case“ Szenarium A1FI (**Anhang 1, Abbildung 5**, Allison et al. 2009). Das heißt unter Einbeziehung der Unsicherheit, dass der im 4. Bericht des IPCC von 2007 beschriebene zukünftige globale Temperaturanstieg eventuell noch übertroffen werden könnte.

Die künftig zu erwartende Änderung der globalen Durchschnittstemperatur bis 2100 zeigt **Anhang 1, Abbildung 6** für die verschiedenen IPCC-Szenarien. Basis ist eine große Zahl von Simulationen mit einer breiten Auswahl an Klimamodellen. Danach könnte in Abhängigkeit von den gewählten Szenarien die globale Erwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts zwischen 1,8 °C und 4,0 °C bei einer Unsicherheit zwischen 1,1 °C und 6,4 °C betragen. Im Vergleich dazu ist die Jahresmitteltemperatur etwa um 0,8°C seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts angestiegen. Der linke Teil von **Anhang 1, Abbildung 6** entspricht Abbildung 3.2 des IPCC Synthesis Reports 2007. Der rechte Teil ist eine zusammenfassende Vereinfachung der Risikobewertungen im IPCC-Bericht, Abbildung 3.6, dargestellt in (Stock 2010).



Anhang 1, Abb. 5: Der beobachtete und der in verschiedenen IPCC-SRES-Szenarien geschätzte Anstieg der globalen CO₂ Emissionen. (Allison et al. 2009).



Anhang 1, Abb. 6: Globale Erwärmung an der Erdoberfläche in °C (relativ zu 1980 -1999) für die Szenarien A2, A1B und B1.

Die Schattierung in Abbildung 6 kennzeichnet die Bandbreite der einzelnen Modellergebnisse. Die orange Linie verdeutlicht, dass die Konzentrationen von Treibhausgasen und Sulfat-Aerosolen auf Jahr-2000-Werten gehalten wurden. Ergänzend sind die Unsicherheit in Bezug auf das A1FI-Szenario, die Leitplanke des 2 Grad Ziels der EU sowie eine Risikobewertung (Stock 2010) eingezeichnet.

3. Regionale Klimaszenarien für Deutschland

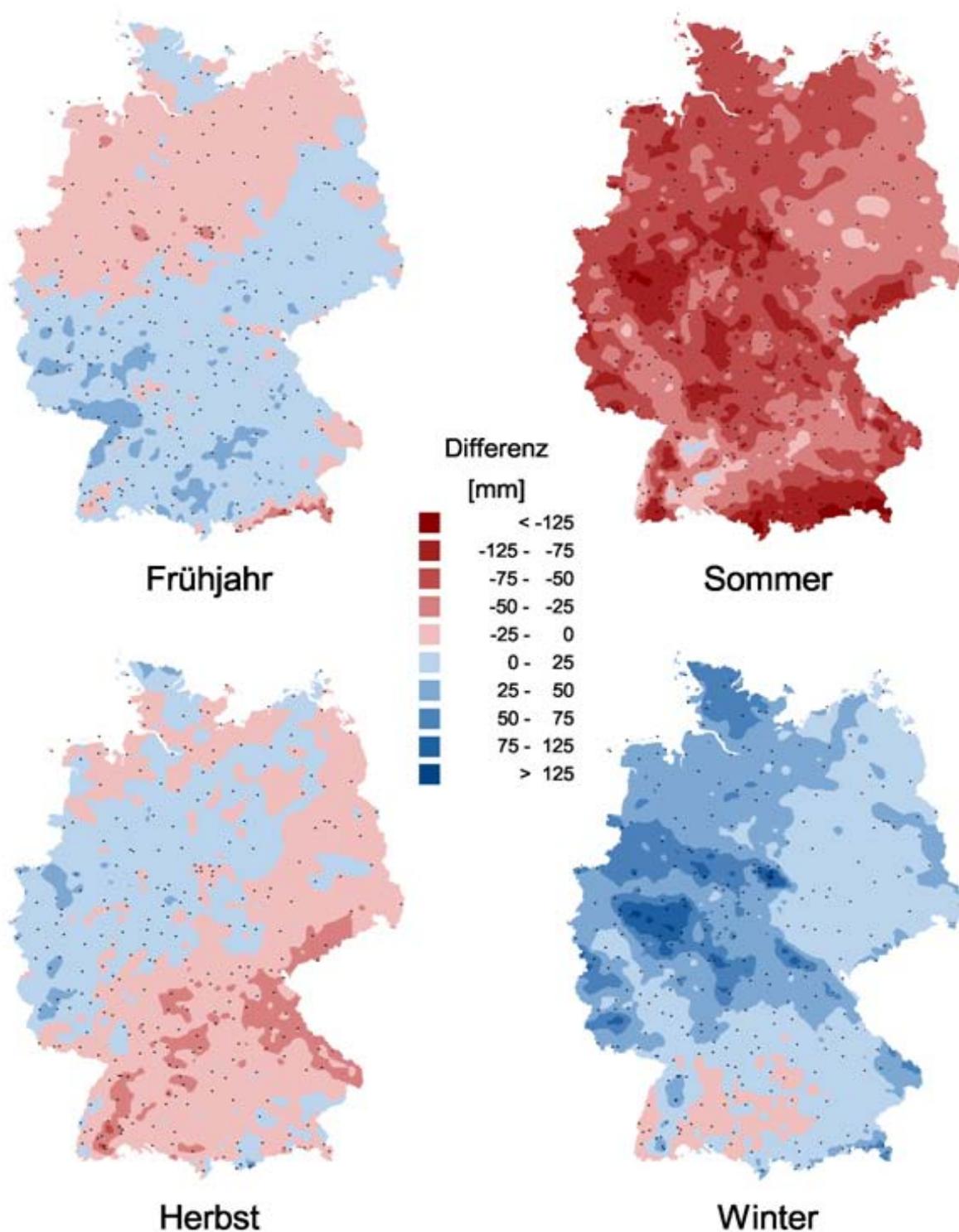
Zur Berechnung der zukünftigen Entwicklung des Klimas werden Klimamodelle eingesetzt. Die räumliche Auflösung der globalen Klimamodelle ist mit einer horizontalen Gitterweite zwischen 120 km bis über 200 km derzeit zu grob, um für Deutschland regional differenzierte Aussagen treffen zu können. Daher werden Regionalisierungsverfahren eingesetzt, bei denen sowohl statistische als auch dynamische regionale Klimamodelle sowie jeweils die Informationen aus den Berechnungen der Globalmodelle zur Anwendung kommen.

In Deutschland stehen vier regionale Klimamodelle zur Verfügung:

- COSMO-CLM <http://www.clm-community.eu/>
- REMO: Jacob et al. 2008
- STAR: Orłowsky et al. 2008
- WETTREG: Spekat et al. 2007

COSMO-CLM und REMO sind numerische Klimamodelle, das heißt, sie berechnen in Zeitschritten die Veränderungen verschiedener Größen für zahlreiche Punkte eines drei-dimensionalen Gitters, das eine bestimmte Region überdeckt. STAR und WETTREG sind dagegen statistische Klimamodelle, die zukünftige Klimaszenarien simulieren, indem vergangene Witterungsabschnitte und deren Klimaparameter mittels statistischer Verfahren analysiert und mit Hilfe von Trendentwicklungen aus globalen Modellen in die Zukunft extrapoliert werden. Näheres siehe unter Walkenhorst und Stock 2009.

Anhang 1, Abbildung 7 zeigt die Niederschlagsänderung in Deutschland für die vier Jahreszeiten als Differenz im Jahrzehnt 2046 bis 2055 gegenüber dem Zeitraum 1951 bis 2003, berechnet mit dem statistischen Regionalmodell STAR. Die schon in den letzten Jahrzehnten beobachtete regionale und zeitliche Ungleichverteilung setzt sich fort, mit mehr Niederschlag im Winter und weniger im Sommer (Werner, Gerstengarbe 2007).



* Berechnung mit dem statistischen Regionalmodell STAR; Datengrundlage: 2342 Stationen des DWD (schwarze Punkte), Szenario A1B-Temperaturverlauf (Werner, Gerstengarbe 2007).

Anhang 1, Abb. 7: Niederschlagsänderung in Deutschland für die vier Jahreszeiten als Differenz im Jahrzehnt 2046 bis 2055 gegenüber dem Zeitraum 1951 bis 2003.

Anhang 1, Abbildung 8 und **Abbildung 9** zeigen die Ergebnisse von Szenarienrechnungen der vier regionalen Klimamodelle in einem vom Deutschen Wetterdienst (DWD) durchgeführten Modellvergleich (BMU 2008). Zugrunde liegt das A1B-Emissionsszenario. Vergleichend dargestellt sind in **Abbildung 8** der Sommer- und in **Abbildung 9** der Winterniederschlag für zwei Zeithorizonte in Kartenform, jeweils oben 2021 bis 2055 und unten 2071 bis 2100 (vgl. auch Walkenhorst und Stock, 2009). Die Summe des Jahresniederschlags ist in den meisten regionalen Klimaszenarien nur geringfügig verändert. Allerdings ist zu erwarten, dass sich die schon in den letzten Jahrzehnten beobachtete jahreszeitliche Ungleichverteilung des Niederschlags weiter verstärkt. Das bedeutet mehr Niederschlag im Winter und weniger im Sommer.

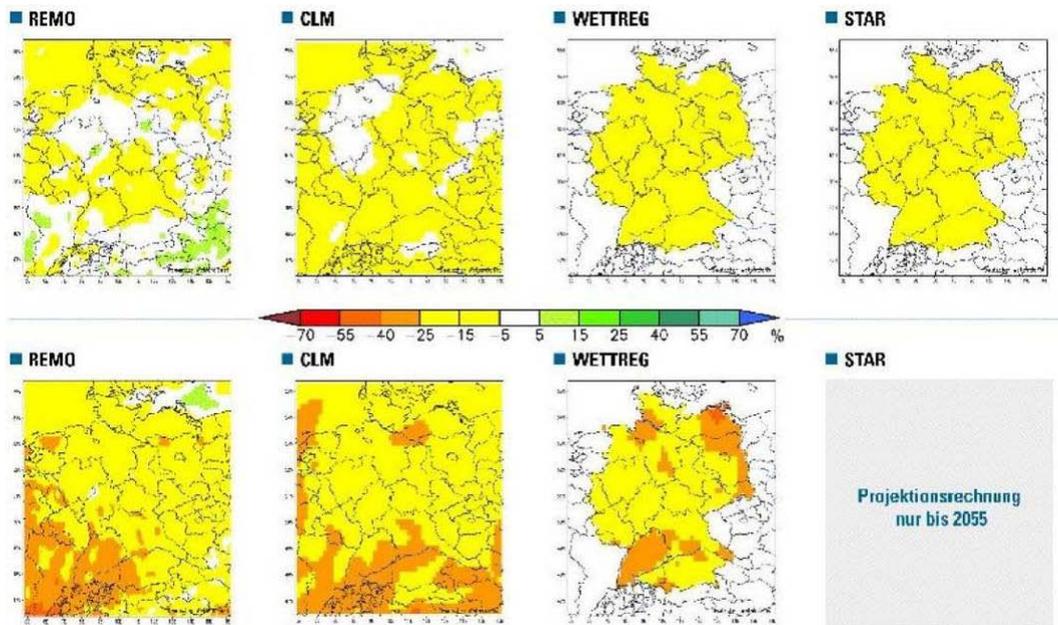
Am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) wurde darüber hinaus untersucht, wie gut die Ergebnisse verschiedener regionaler Klimamodelle für die vergangenen Jahrzehnte mit den Messdaten übereinstimmen. So legt etwa ein statistischer Vergleich von Modellergebnissen und Messdaten für den Zeitraum 1976 bis 2000 für das Elbe-Einzugsgebiet nahe, dass beide dynamischen Modelle REMO und CCLM gegenüber den statistischen STAR und WETTREG noch größere Unsicherheiten aufweisen – u. a. bei der Wiedergabe von Temperaturen, Niederschlägen und Trockenperioden (Orlowsky 2007, Orlowsky et al. 2008). Einige dieser Unsicherheiten können durch die Erhöhung der Anzahl der Realisierungen genauer bestimmt werden. Um die jeweiligen Vorzüge von dynamischen und statistischen Modellen gezielt ausnutzen zu können, koppeln neue Ansätze am PIK daher statistische mit dynamischen Modellen, wobei erstere den Trendverlauf vorgeben und letztere für einen kürzeren Zeitraum viele Realisierungen rechnen. Eine solche Kopplung verspricht vor allem Fortschritte bei der Modellierung von Extremereignissen.

Zudem deutet sich ein weiter fortgesetzter Trend zu mehr Starkniederschlagsereignissen bei abnehmendem Dauerregen an. Hier zeigen die verschiedenen Klimamodelle stark unterschiedliche Werte, d. h. Angaben zu Starkniederschlagsereignissen sind mit noch größeren Unsicherheiten verbunden als Niederschläge allgemein.

Die vom Modell REMO berechneten Trends bei Starkniederschlägen zeigt **Anhang 1, Abbildung 10** (Tomassini and Jacob, 2009). Gegenüber den Beobachtungsdaten für (1961 bis 2004) zeigen beide Kontrollläufe unterschiedlich abnehmende Starkregen. Die Unterschiede zwischen Beobachtung und Simulation können ihre Ursache auch im als Antrieb dienenden Globalmodell ECHAM5 haben. Bei den zukünftigen Szenarien (2001 bis 2100) steigen die Starkniederschläge umso mehr, je höher die Temperaturzunahme im Szenario ist ($B1 < A1B < A2$). Dies stimmt mit den im folgenden Abschnitt erläuterten physikalischen Erwartungen überein.

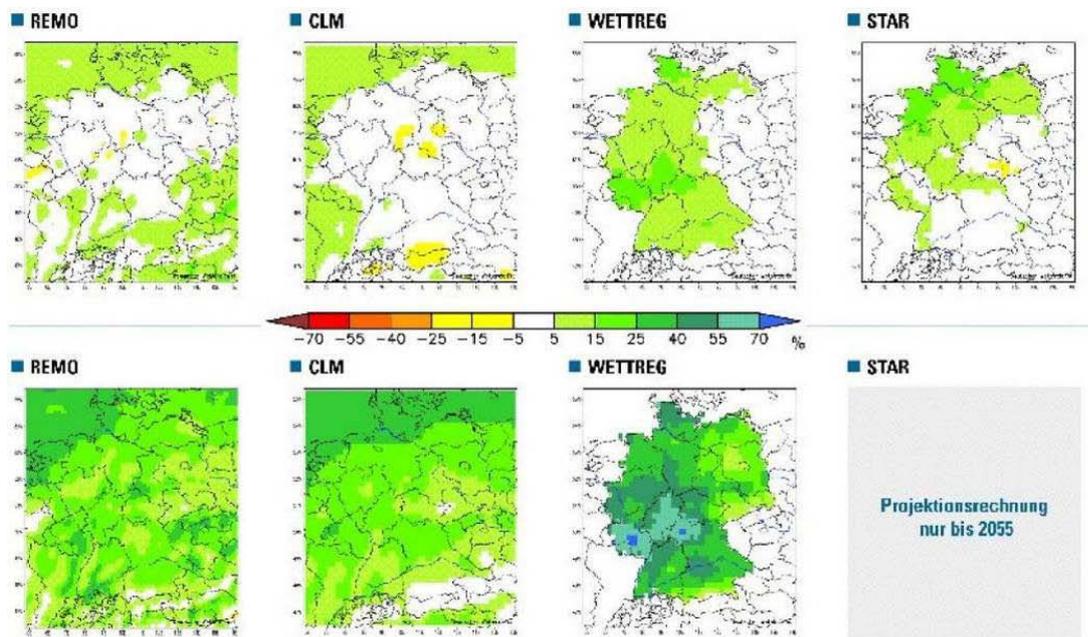
Hinweise und Erläuterungen zur TRAS

Anhang 1: Erkenntnisse über die Bedeutung des Klimawandels



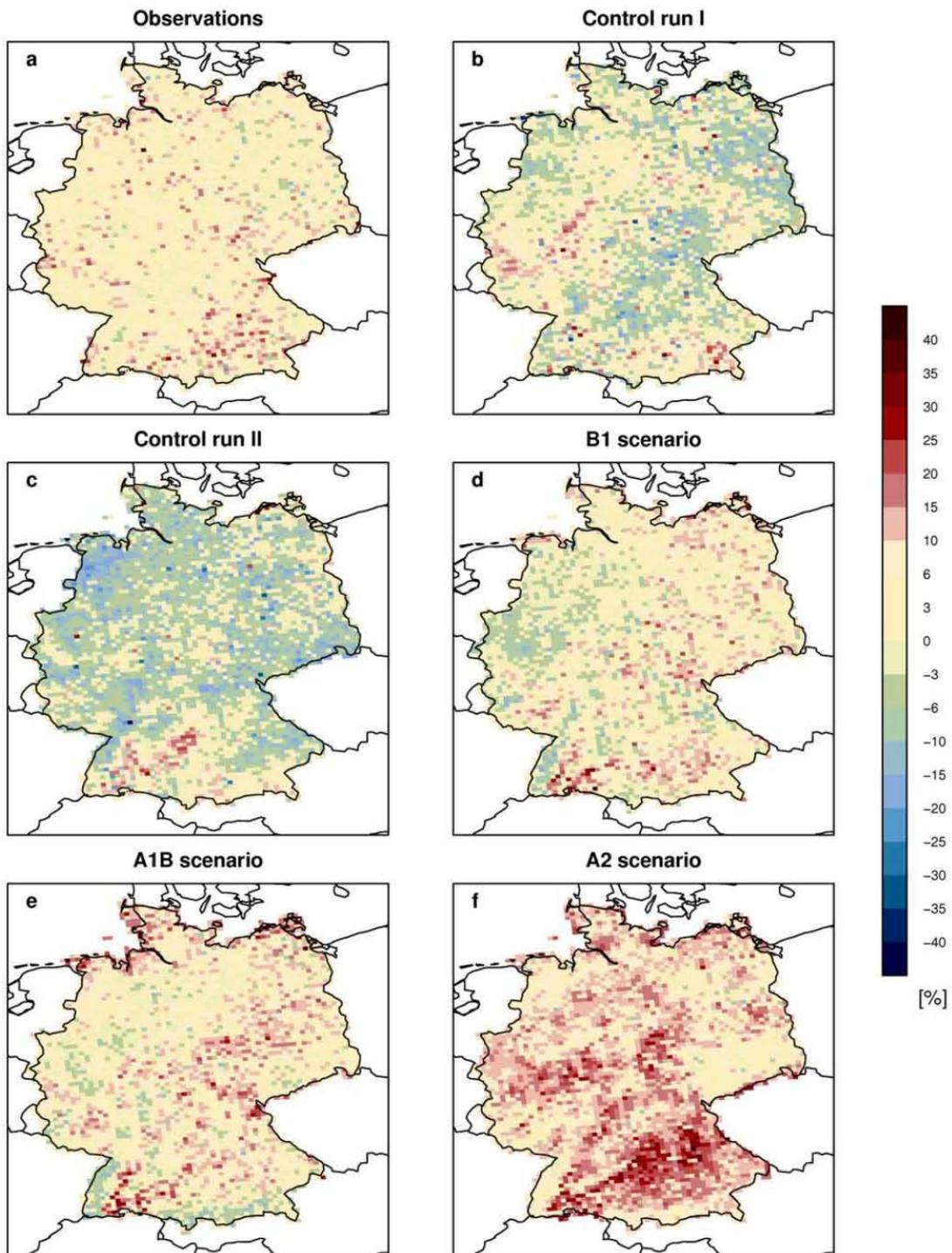
* Auswertung des DWD; Zeitraum 2021 bis 2050 (obere Reihe) und 2071 bis 2100 (untere Reihe) im Vergleich zur Periode 1961 bis 1990 (Graphiken aus BMU 2008)

Anhang 1, Abb. 8: Änderung der Sommerniederschläge nach REMO, CLM, WETTREG und STAR für das A1B-Emissionsszenario



* Auswertung des DWD; Zeitraum 2021-2050 (obere Reihe) und 2071-2100 (untere Reihe) im Vergleich zur Periode 1961-1990 (Graphiken aus BMU 2008)

Anhang 1, Abb. 9: Änderung der Winterniederschläge nach REMO, CLM, WETTREG und STAR für das A1B-Emissionsszenario



* (a) Beobachtung (1961 bis 2004); (b) REMO erster Kontrolllauf (1961 bis 2004); (c) REMO zweiter Kontrolllauf (1961 bis 2004); (d) REMO B1 Szenario (2001 bis 2100); (e) REMO A1B Szenario (2001 bis 2100); (f) REMO A2 Szenario (2001 bis 2100). Quelle: Tomassini and Jacob, 2009.

Anhang 1, Abb. 10: Trends bei Starkniederschlägen als Zunahme in % in extremen Quantilen über die betrachteten Zeiträume

4. Extreme Niederschläge

Niederschlagsbestimmte Klimawirkungen steigen infolge der zunehmenden Wasseraufnahmefähigkeit der Atmosphäre und damit intensiviertem Wasserkreislauf überproportional mit zunehmender Temperatur. Nach der Gleichung von Clausius-Clapeyron steigt der Wassergehalt der Atmosphäre bei einer Temperaturerhöhung von 20 auf 21°C um 6 bis 7 %:

$$de_s(T) / e_s(T) = L dT / R T^2 \quad (1)$$

$e_s(T)$ = Sättigungsdampfdruck

L = latente Verdampfungswärme

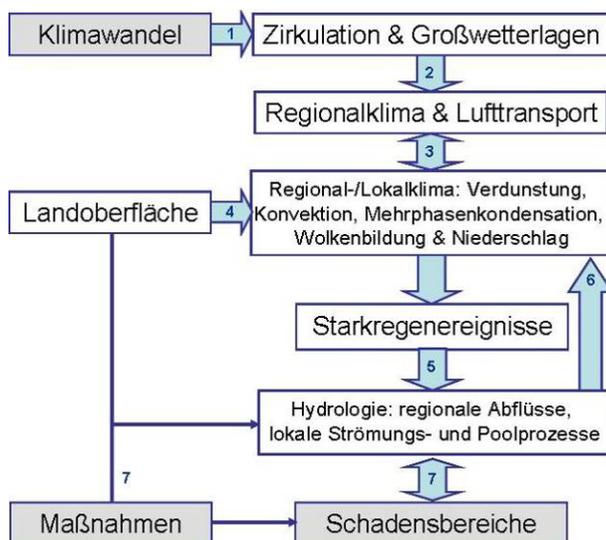
R = Gaskonstante

Gleichung (1) bedeutet, dass der Sättigungsdampfdruck exponentiell mit der Temperatur zunimmt. Das heißt, man kann für die bei Niederschlägen potenziell verfügbare Wassermenge W in Abhängigkeit von der Temperaturzunahme ΔT als einfachsten Zusammenhang folgende Gleichung aufstellen (Stock 2009):

$$W(T) = w_0 + w_1 \exp(w_2 \Delta T) \quad (2)$$

Die Wirkfaktoren w_0 , w_1 und w_2 sind von regionalen klimatischen und geografischen Einflüssen abhängig und müssen aus Beobachtungsdaten hergeleitet werden.

Welche Faktoren bei den Auswirkungen des Klimawandels auf lokale Starkniederschläge eine Rolle spielen können zeigt **Anhang 1, Abbildung 11** (Stock 2006).



Anhang 1, Abb. 11: Schema des Zusammenhangs zwischen Klimawandel und Schadenspotenzial bei Niederschlagsereignissen (Stock 2006).

Wie zuvor schon dargelegt, sind bei Großwetterlagen und Zirkulationsmustern Veränderungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel bereits deutlich zu beobachten. Diese Veränderungen und die temperaturabhängige Wasseraufnahme in der Atmosphäre werden in den Regionalen Klimamodellen berücksichtigt. Nur ansatz-

weise ist dies für die klimarelevanten Eigenschaften der Landoberfläche möglich, die das Regional- und Lokalklima und damit Verdunstung, Konvektion, Kondensation und Wolkenbildung bestimmen. Starkregen ist definiert als Niederschlag hoher Dichte pro Zeiteinheit. Starkregen fällt meist aus konvektiver Bewölkung (z. B. Cumulusnimbuswolken) und Gewitterzellen. Der DWD definiert Starkregen im Bundesgebiet als Niederschlag/Zeit ist größer als:

5 mm / 5 min

7,1 mm / 10 min

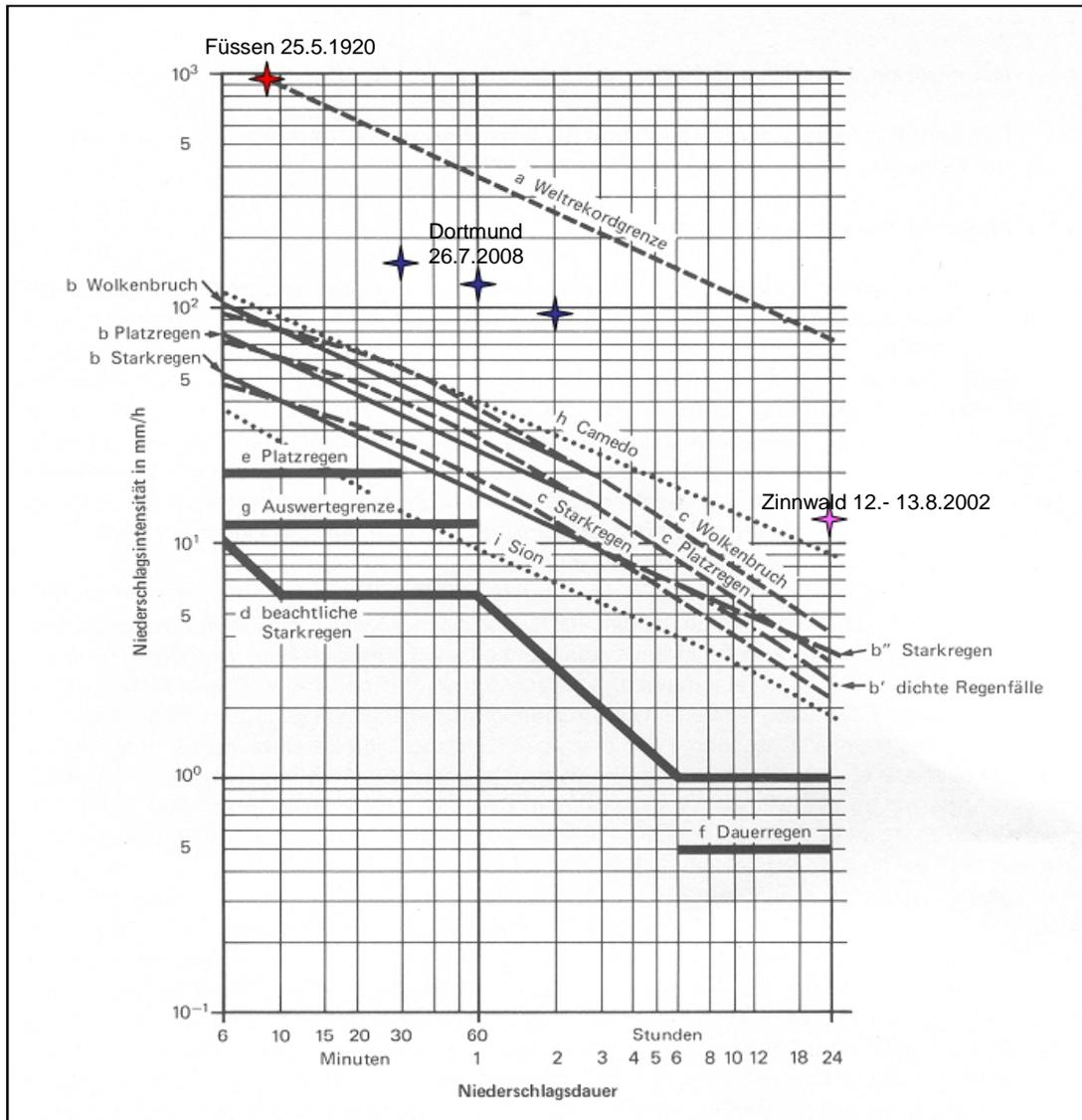
10 mm / 20 min

17,1 mm / 60 min.

Die komplexen Rückwirkungen vom Lokal- zum Regionalklima oder vom Bodenwassergehalt, der sich durch lokale Strömungs- und Poolprozesse ändert, sind nicht befriedigend berücksichtigt. Dies kann ein Grund sein, warum die Modelle die sehr differenzierte Entwicklung lokaler Niederschlagsereignisse nur unbefriedigend und mit großer Unsicherheit simulieren können.

In Deutschland wurde als höchste 24-stündige Niederschlagshöhe ein Wert von 312,0 mm gemessen, am 12. bis 13.08.2002 in Zinnwald im Osterzgebirge. Die höchste Niederschlagsintensität betrug 126,0 mm, die am 25.05.1920 bei Füssen (Allgäu) in nur 8 Minuten (!) fiel (www.dwd.de). Zum Vergleich: die weltweit höchste gemessene 24-stündige Niederschlagshöhe liegt bei 1.870 mm, gemessen am 15./16.03.1952 in Cilaos (Insel La Reunion (Frankreich) im indischen Ozean).

Eine Einordnung der Beziehung zwischen Niederschlagsintensität in mm/h und der Niederschlagsdauer zeigt **Anhang 1, Abbildung 12** (Geiger et al. 1991).



Anhang 1, Abb. 12: Diagramm von Niederschlagsintensität (mm/h) und Niederschlagsdauer für verschiedene Niederschlagstypen und Niederschlagsereignisse.

Aus Gleichung (2) im Zusammenhang mit Abbildung 12 erhält man einen vereinfachten theoretischen Ansatz zur Abschätzung der regionalen Niederschlagsentwicklung im Klimawandel. Wenn entsprechend genügende Beobachtungsdaten zu Niederschlagsmengen der Vergangenheit vorliegen, kann man die Wirkfaktoren in Gleichung (2) abschätzen. Unter der vereinfachenden Annahme, dass deren Änderung im Klimawandel im Vergleich zur Temperaturänderung vernachlässigbar ist, erhält man die mögliche zukünftig erhöhte Niederschlagsmenge, die das Produkt aus Niederschlagsintensität und –dauer ist.

4.1 KOSTRA-DWD-2000

Der DWD hat für Deutschland eine regionalisierte Auswertung von extremwertstatistisch ermittelten Niederschlagshöhen im KOSTRA-Atlas (1997) bereit gestellt (Bezugszeitraum 1951 bis 1980) und mit KOSTRA-DWD-2000 aktualisiert (Basiszeitraum 1951 bis 2000). KOSTRA steht für **Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierung-Auswertung**. Die Ergebnisse schreiben in Abhängigkeit von Niederschlagsdauer (5 min bis 72 h) und Jährlichkeit (0,5 a bis 100 a) konsequent die Aussagen zu KOSTRA-DWD (Basiszeitraum 1951 bis 1980) fort.

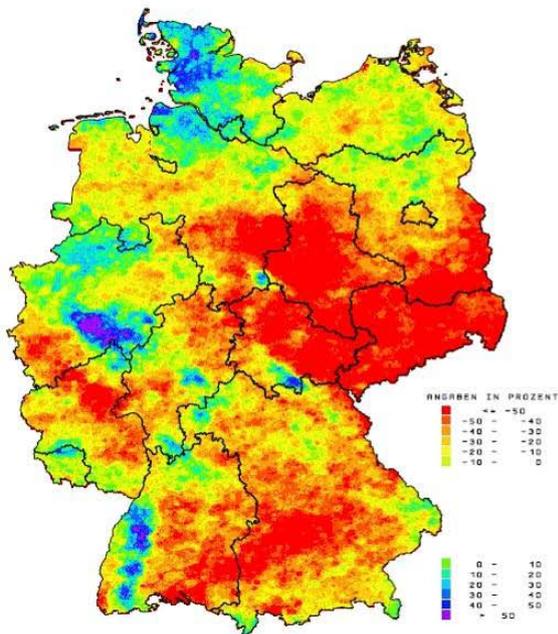
Der neue und auch längere Bezugszeitraum 1951 bis 2000 zeigt besonders bei den selteneren Ereignissen einen Trend zur Anhebung der Niederschlagshöhen. Dies bestätigt nicht nur den in der öffentlichen Diskussion artikulierten Verdacht, dass sich das Starkniederschlagsgeschehen verstärkt hat, sondern deckt sich auch mit den oben in Abschnitt 2.2 für starkregenrelevante Großwetterlagen beschriebenen beobachteten Veränderungen (vgl. auch Anhang 1, Abbildung 1 und 2). An Hand der Häufigkeitsverteilungen kann man in allen Zeitspannen (Jahr, Sommer und Winter) eine Tendenz zur Zunahme der Niederschlagshöhen erkennen und diese den jeweils unterschiedlichen Großwetterlagen in den Jahreszeiten zuordnen (BM, TrM, TrW im Sommer und vorherrschend WZ im Winter).

Mit Hilfe von KOSTRA-DWD-2000 erhält man nun auch erste Anhaltspunkte für die räumliche Differenzierung dieser Tendenz. Die Ergebnisse für die Jahre 1951 bis 2000 zeigt **Anhang 1, Abbildung 13** für die Großwetterlagen WZ und TrW jeweils für das Sommerhalbjahr (Monate Mai bis September) und das Winterhalbjahr (Oktober bis April).

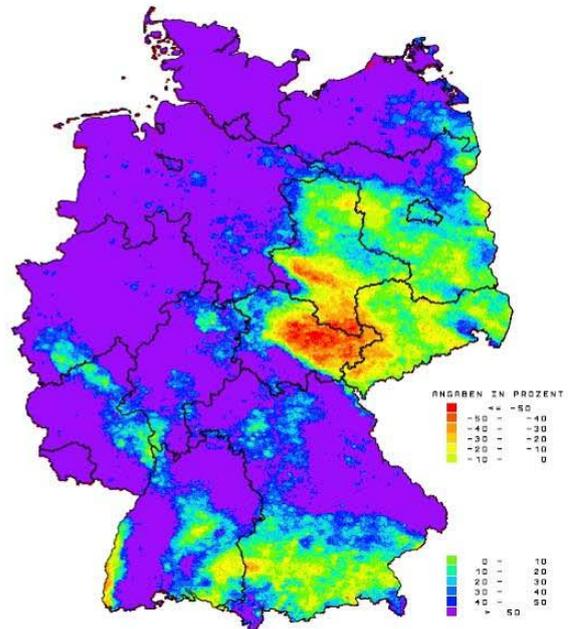
Hinweise und Erläuterungen zur TRAS

Anhang 1: Erkenntnisse über die Bedeutung des Klimawandels

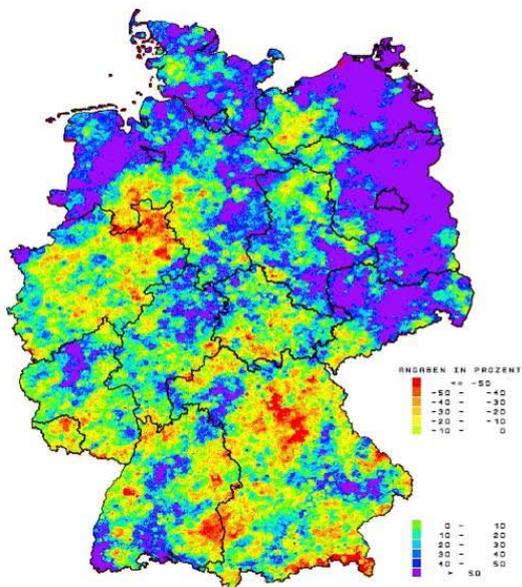
EXTREME NIEDERSCHLAGSHÖHEN 1951-2000, MAI -SEP.
FÜR GWL WESTLAGE, ZYKLONAL (WZ)
ABWEICHUNGEN (%) DER HÄUFIGKEIT GEGENÜBER RR-GESAMT



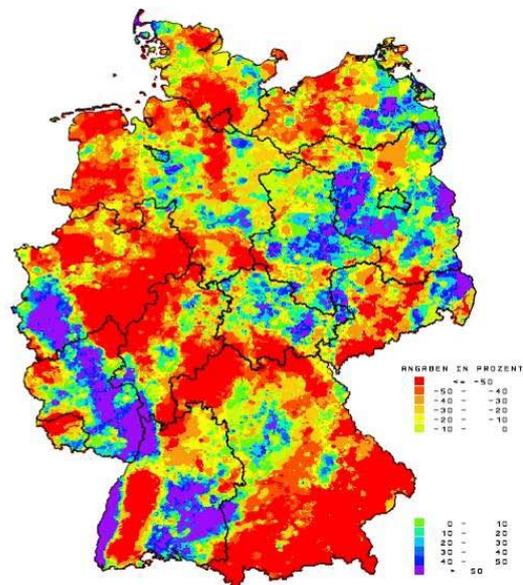
EXTREME NIEDERSCHLAGSHÖHEN 1951-2000, OKT.-APR.
FÜR GWL WESTLAGE, ZYKLONAL (WZ)
ABWEICHUNGEN (%) DER HÄUFIGKEIT GEGENÜBER RR-GESAMT



EXTREME NIEDERSCHLAGSHÖHEN 1951-2000, MAI -SEP.
FÜR GWL TROG WESTLAGE (TRW)
ABWEICHUNGEN (%) DER HÄUFIGKEIT GEGENÜBER RR-GESAMT



EXTREME NIEDERSCHLAGSHÖHEN 1951-2000, OKT.-APR.
FÜR GWL TROG WESTLAGE (TRW)
ABWEICHUNGEN (%) DER HÄUFIGKEIT GEGENÜBER RR-GESAMT



* links: Sommer, rechts: Winter Oben: Westlage zyklonal (WZ); Unten: Troglage Westeuropa (TRW); (KOSTRA-DWD-2000 Fortschreibungsbericht, Basis: 136 Ereignisse).

Anhang 1, Abb. 13: Räumliche Verteilung der prozentualen Abweichung von Großwetterlagen bei Starkregenereignissen in Deutschland im Vergleich zu deren Häufigkeit für alle Niederschlagstage.

Dargestellt wird jeweils die Abweichung der Häufigkeit einer Großwetterlage bei Starkniederschlagsereignissen (hier umfasst die Auswahl 136 Ereignisse) im Ver-

gleich zu deren Häufigkeit für alle Niederschlagstage. Die Farbgebung entspricht dem relativen Anteil am Niederschlagsgeschehen. Grünlich-gelblich bedeutet, die Wetterlage ist bei den Starkniederschlagshöhen genauso häufig wie bei den übrigen Niederschlagsereignissen. Je intensiver blau die Färbung wird, umso mehr dominiert die Wetterlage das Starkniederschlagsgeschehen, je röter umso weniger ist sie dafür wirksam.

Die Großwetterlage WZ (Westlage, zyklonal) hat im Sommer nur in den westlichen Mittelgebirgen und an der Nordseeküste einen größeren Einfluss auf die Starkniederschläge. Die Grenzgebirge zu Tschechien und die Alpen sind davon nicht betroffen. Im Winter drehen sich die Verhältnisse flächenmäßig um. Im überwiegenden Teil des Bundesgebietes ist WZ die dominierende Wetterlage. Nur im Lee von Thüringer Wald und Harz ist sie unbedeutend, wie die roten Flächen ausweisen. In den übrigen Gebieten, wie im mittleren und oberen Rheintal, im mittleren Neckar- und Maintal und südlich der Donau ist ihr Anteil nicht größer als beim übrigen Niederschlagsgeschehen auch.

Die Großwetterlage TRW (Trog Westeuropa) zeigt im Sommer im Bundesgebiet einen bunten Flickenteppich mit einem Schwerpunkt der Häufigkeiten im Norden und Osten. Im übrigen Bundesgebiet liegen die Gebiete mit hohem und geringem Anteil nahe beieinander. Sie lassen sich geographisch nicht so klar eingrenzen und mit Mittelgebirgslagen in Beziehung bringen. Diese Karte bildet das mosaikartige, in der Regel thermisch bedingte Bild sommerlicher Starkniederschläge ab.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass erwartungsgemäß die zunehmenden Trends der Starkniederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr durch eine Zunahme der Großwetterlagen der zonalen Zirkulationsform verursacht werden, verbunden mit sinkenden Anteilen der Großwetterlagen meridionaler Zirkulationsform. Der für den Hauptanteil der Starkniederschläge verantwortliche zonale Anteil war und ist jedoch nicht in einer festen Relation an die Häufigkeit der zonalen Zirkulationsform insgesamt gekoppelt. Erst ab etwa den Jahren 1980 bis 1989 sind diese mit fast konstanten +90 % überproportional – nahezu doppelt so häufig wie in der Gesamtheit – für das Auftreten von Starkniederschlägen verantwortlich (siehe auch Kapitel 1 dieses Anhangs).

4.2 Extremes Niederschlags-Abfluss-Ereignis in Dortmund 2008

Das „Julihochwasser 2008“ in Dortmund ist ein Beispiel für Starkniederschläge an Orten, wo bisher keine verwertbaren historischen Beobachtungen derartiger Ereignisse existieren. Es wurde in einem Gutachten analysiert (Grünewald et al. 2009). Danach kam es im Bereich des Aufeinandertreffens zweier sehr warmer, energiereicher aber unterschiedlich feuchter Luftmassen am 26.07.2008 in kurzer Zeit und auf engem Raum zur Ausbildung heftiger Gewittersysteme wobei sich relativ stationär immer neue Gewitterzellen entwickelten. Das sich daraufhin einstellende, eng begrenzte und sehr intensive Ereignis zeichnete sich durch sehr große Niederschlagsintensitäten und -mengen aus. An der Station Dortmund-Universität wurden folgende maximale Intensitäten gemessen:

Anhang 1, Tab 1: Niederschlagsdaten an der Station Dortmund-Universität am 26.07.2008

Niederschlagsdauer	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
Niederschlagsintensität	26,2 mm	47,8 mm	70,9 mm	125,2 mm	193,3 mm

Das Ereignis kann statistisch gesehen deutlich über einem Ereignis eingeordnet werden, das im Mittel alle 100 Jahre eintritt. Die Niederschläge überschritten die nach deutschen und europäischen Regelwerken fixierten Bemessungsgrößen von Entwässerungsanlagen sowohl für die Überstau- als auch für die Überflutungshäufigkeit erheblich. Insgesamt ließ sich dazu einschätzen, dass die untersuchten, wasserwirtschaftlichen Anlagen der Stadt Dortmund und der Emschergenossenschaft sowohl in baulicher als auch entwässerungstechnischer Hinsicht voll funktionsfähig waren. Sie entsprachen den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Bei dem aufgetretenen außerordentlich seltenen Naturereignis konnten die wasserwirtschaftlichen Anlagen, die auf Wahrscheinlichkeitsvorgaben basierenden, anerkannten Regelwerken dimensioniert und genehmigt wurden, ihrer Funktion zwangsläufig nicht voll gerecht werden. Eine generelle Auslegung auf extrem seltene Ereignisse stößt auf Grenzen der Technik, der Ökonomie und der Sinnhaftigkeit, da eine hundertprozentige Sicherheit überall und für alles unrealistisch ist. Allerdings kann sich im Klimawandel zeigen, dass derartige Ereignisse zukünftig häufiger auftreten werden und ihnen daher in geeigneter Form auch in der Stadtentwässerung zu begegnen ist.

Bereits frühere, ähnliche Ereignisse haben die Anfälligkeit von dicht bebauten Strukturen gezeigt. Räumliche Schwerpunkte mit häufigen Ereignissen sind die Großstädte Hamburg, Berlin, München, Frankfurt, Stuttgart und Hannover, die Ballungsräume in Nordrhein-Westfalen, die Orte entlang der Rheinschiene und der Alpenvorraum. Der aktuelle Stand der URBAS-Datenbank (vgl. <http://www.urbanesturzfluten.de/>) beim Abschluss Ende September 2007 erfasst 420 Ereignisse, die einen Zeitraum von fast 30 Jahren abdecken.

4.3 V_b Wetterlagen

Großflächige Hochwasserereignisse sind in den östlichen und den südöstlichen Regionen Deutschlands häufig mit sogenannten V_b -Wetterlagen verbunden. Bei V_b und V_b -ähnlichen Wetterlagen wird durch einen Kaltluftvorstoß in den Golf von Genua eine Tiefdruckentwicklung ausgelöst, wobei der Kern dieses Tiefdruckgebietes mit der Höhenströmung über die nördliche Adria, Slowenien und Ungarn um die Alpen herum nach Polen geführt wird. Bei V_b -ähnlichen Lagen bildet sich ein abgeschlossenes Höhentief über Norditalien und dem Alpenraum, in der Meteorologie auch Kaltlufttropfen genannt. Das Oderhochwasser 1997 oder das Elbehochwasser (2002) waren Folgen einer V_b -Wetterlage.

Die Aussagen hinsichtlich V_b -Lagen in Klimaänderungsszenarien sind nicht ganz eindeutig. Generell zeigen die Szenarien eine Abnahme der Tiefdruckentwicklung im Mittelmeerraum, was auch zu der starken Niederschlagsabnahme in dieser Region

führt. Damit sollte auch die Häufigkeit der V_b -Lagen zurückgehen. Da jedoch bei der Entstehung der Genuatiefs auch die Alpen eine wichtige Rolle spielen und diese in den Klimamodellen nur sehr grob enthalten sind, darf man diese Aussage nicht überinterpretieren. Sehr wahrscheinlich ist aber eine Intensivierung der Niederschläge bei V_b -Wetterlagen, da sich das Mittelmeer deutlich erwärmen wird und dadurch die Verdunstung dort ansteigen wird.

Ein plausibles Zukunftsszenarium bezüglich V_b - und V_b -ähnlichen Lagen ist eine Abnahme der Häufigkeit, derzeit rund 10 bis 15 Ereignisse pro Jahr, aber eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten bei diesen Wetterlagen. Damit würde sich aber voraussichtlich das Hochwasserrisiko durch diese Wetterlagen erhöhen. Besonders niederschlagsintensiv sind V_b -Lagen im Sommer, da hier feuchtwarme Luftmassen mit enormen Wassermengen über die Alpen transportiert werden. Die Ereignisse des letzten Jahrzehntes lassen eine Zunahme dieser V_b -Lagen im Sommer befürchten. Sollte sich der Trend des letzten Jahrzehntes mit dem häufigeren Auftreten im Sommer weiter fortsetzen, würde dies das Risiko noch weiter ansteigen lassen.

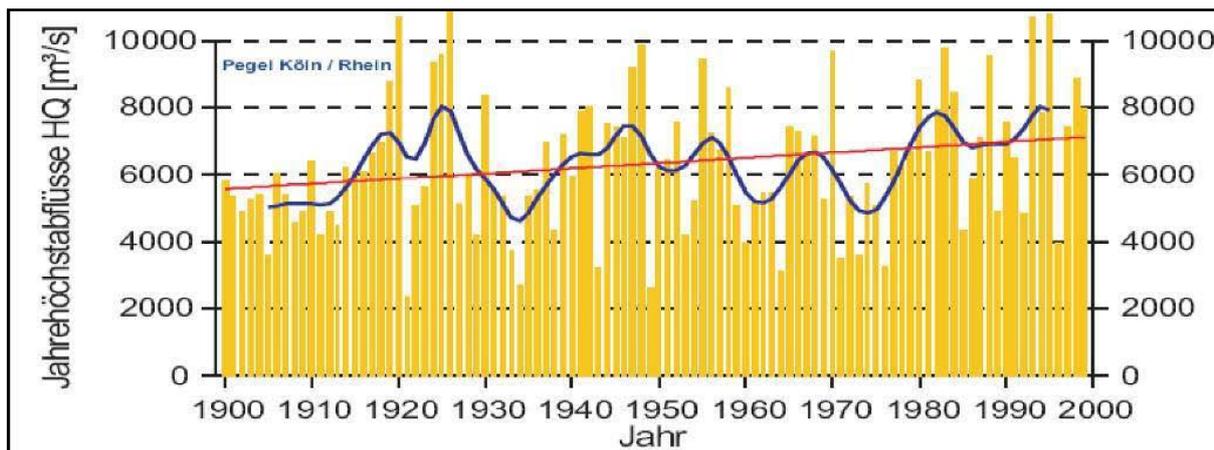
Im Winter können V_b -Wetterlagen zu enormen Schneemengen führen. So bescherte Tief "Daisy" Deutschland im Januar 2010 ausgiebige Schneefälle.

5. Flusshochwasser

5.1 Trendermittlung

Flusshochwasser treten infolge lang andauernder ergiebiger Niederschlagsereignisse oder Schneeschmelzen auf. Auf Grund der lang anhaltenden starken Niederschläge kommt es, wie oben in Abhängigkeit vom Bodentyp berechnet, zu einer Sättigung der Aufnahmekapazität des Bodens, sodass der Niederschlag irgendwann direkt abfließt. Die Hochwasserwelle baut sich im Hauptstrom aus den Zuflüssen der Nebenflüsse auf und bewegt sich dann flussabwärts. Da dies binnen Tagen geschieht, kann man erwartete Wasserstände mit Vorhersagemodellen berechnen und Maßnahmen zu Hochwasserverteidigung und Schadensminderung durchführen.

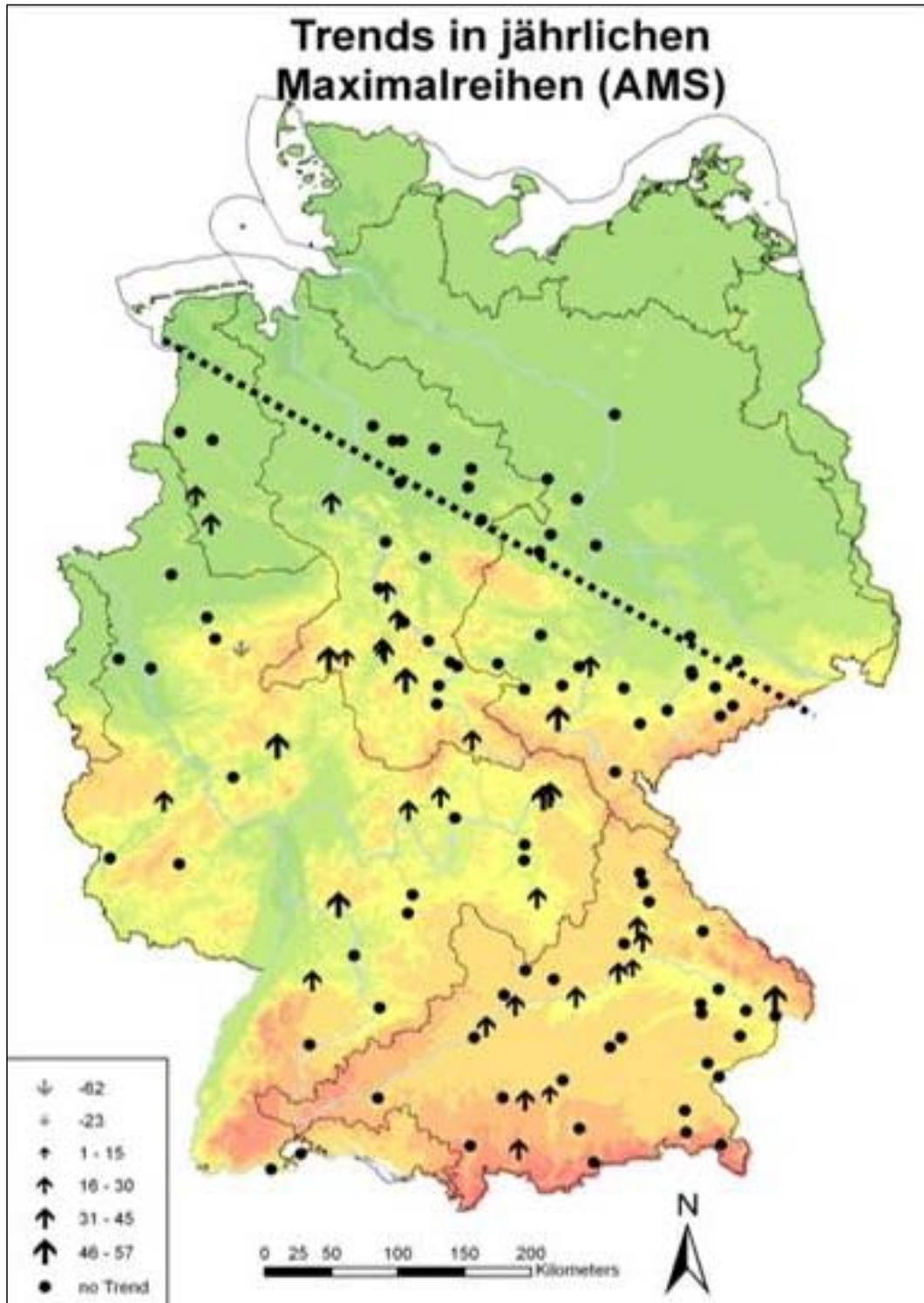
Ein Beispiel für die enormen Folgen von Starkniederschlägen ist das Elbe-Hochwasser 2002 (Grünwald et al. 2004). Als Folge der ungewöhnlich starken Niederschläge im bayerischen und westösterreichischen Donau- sowie tschechischen Elbebereich traten gewaltige Hochwasserwellen, insbesondere im Bereich der Elbe und ihrer Nebenflüsse auf. Dabei erreichte die Elbe in Dresden einen Pegelstand von 9,40 m (Normalwert 2,30 m), wie er seit Beginn der Aufzeichnungen (1500) noch nie aufgetreten war.



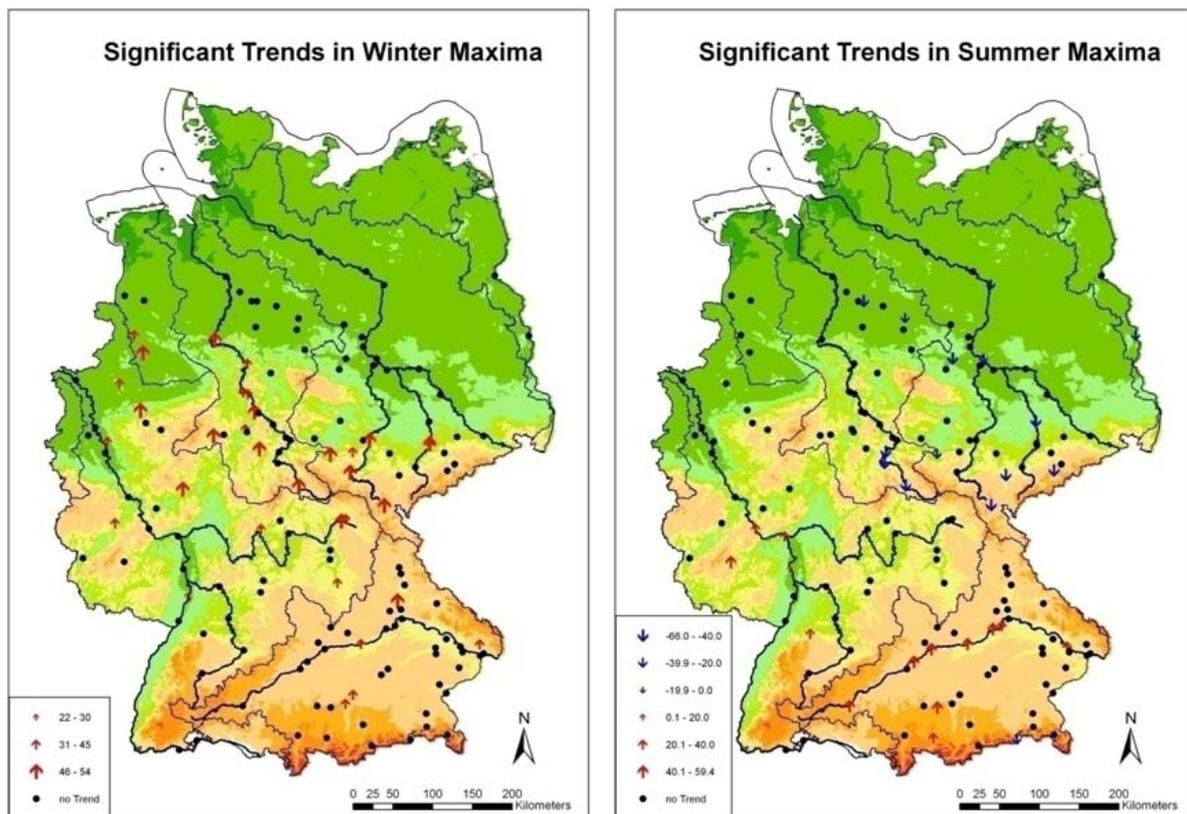
Anhang 1, Abb. 14: Jahreshöchstabflüsse in m^3/s am Rhein, Pegel Köln (Jonas et al. 2004)

Wie Abbildung 14 zeigt, nahmen am Pegel Köln/Rhein die Abflussmengen systematisch zu. Nähere Betrachtungen zeigen, dass dies insbesondere für den Winter zutrifft. Dies steht in Übereinstimmung mit der bereits erwähnten generellen Zunahme hoher Niederschlagssummen im Winter. Im Westen Deutschlands nimmt die Neigung zu extremen Niederschlägen und somit Überschwemmungen, insbesondere im Winter, zu.

Die in den letzten Jahrzehnten beobachtete Abfolge verheerender Hochwasserereignisse in Deutschland hat den Verdacht genährt, dass sich deren Häufigkeit und/oder Höhe vergrößert haben. In einer Arbeitsgruppe wurden am Geoforschungszentrum Potsdam 145 Pegelzeitreihen für den Zeitraum 1951 bis 2002 dahingehend auf räumliche und saisonale Kohärenz analysiert (Petrov und Merz 2009). Um ein repräsentatives Bild zu erhalten, waren die Pegel möglichst homogen über die Fläche in Deutschland verteilt. Verschiedene Hochwasserindikatoren wurden untersucht. **Anhang 1, Abbildung 15** zeigt die räumliche Verteilung der Trends in den jährlichen Maximalreihen. Man findet eine relativ scharfe Abgrenzung von NW nach SO (Petrov und Merz 2009). Es zeigen sich überwiegend steigende Hochwassertrends (häufig feldsignifikant) und wenige abnehmende Trends (nicht feldsignifikant). Die Veränderungen sind hauptsächlich in West-, Süd- und Mitteldeutschland zu beobachten, während sie im Nordosten eher gering waren. Die jahreszeitliche Analyse zeigt, dass die Änderungen vor allem im Winter zu beobachten sind, siehe **Anhang 1, Abbildung 16**.



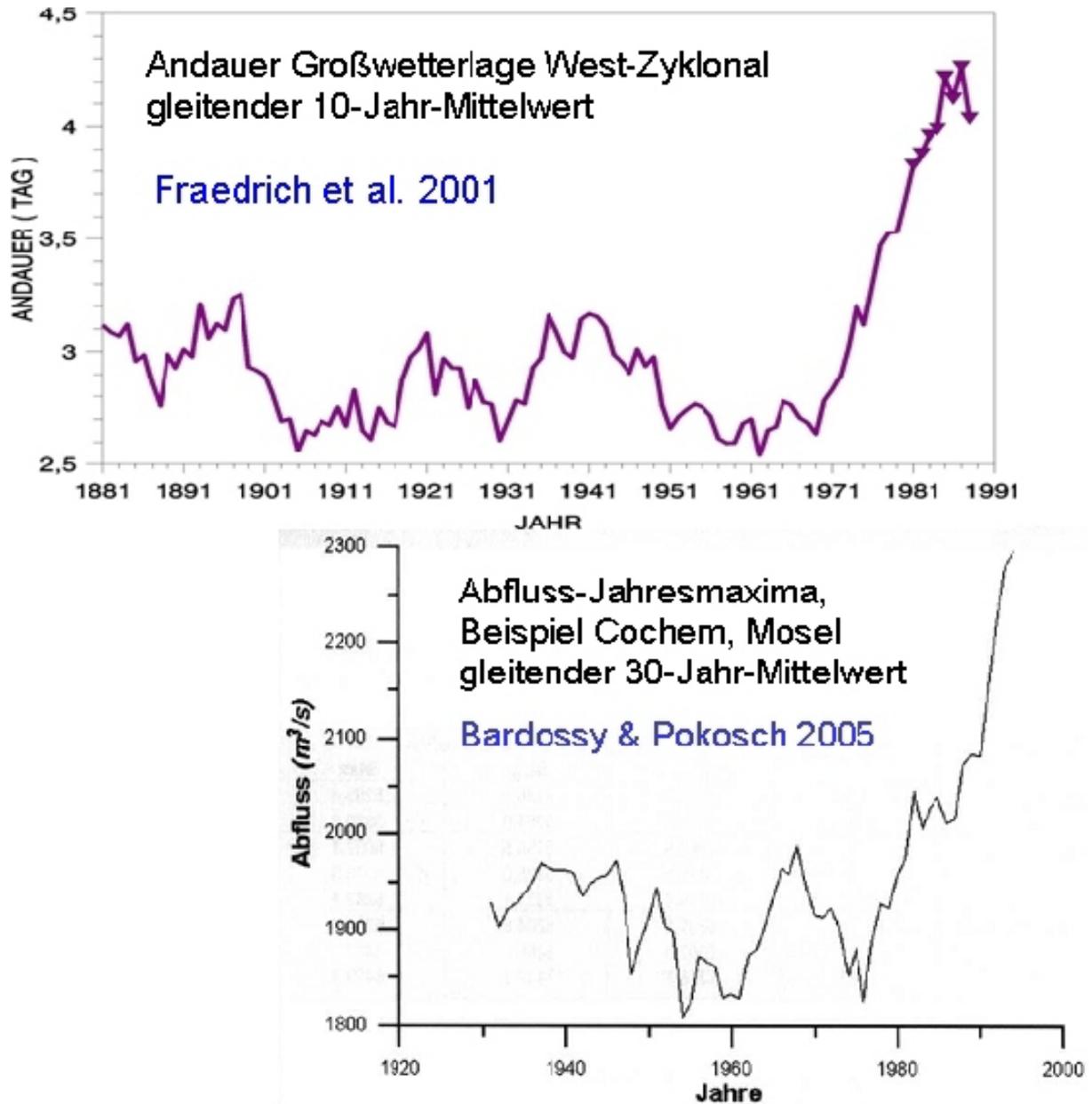
Anhang 1, Abb. 15: Räumliche Verteilung der Trends in den jährlichen Maximalreihen an 145 Pegeln in Deutschland im Zeitraum 1951 bis 2002.



Anhang 1, Abb. 16: Signifikante Hochwassertrends der Maxima.

Sowohl die räumliche wie die saisonale Kohärenz der beobachteten Trends und die Unabhängigkeit signifikanter Änderungen vom Flusseinzugsgebiet legen den Schluss nahe, dass die beobachtete Zunahme der Hochwassergefahr durch die Klimaänderung induziert worden ist.

Eine Ursache ist in der Zunahme der Persistenz von mehreren hochwasserträchtigen Großwetterlagen zu sehen. Dies wird auch von Bardossy und Pokosch, 2005, festgestellt. In **Anhang 1, Abbildung 17** wird ihre Zeitreihe des Abflusses am Pegel Cochem, Mosel, mit der Änderung der Großwetterlage West zyklonal (Fraedrich et al. 2001) verglichen. Auf den möglichen Zusammenhang zwischen längeren Andauern von Großwetterlagen und verstärkten Niederschlägen und Flutereignissen wurde bereits in Kapitel 1 dieses Anhangs hingewiesen (siehe dort auch **Anhang 1, Abbildung 1**).

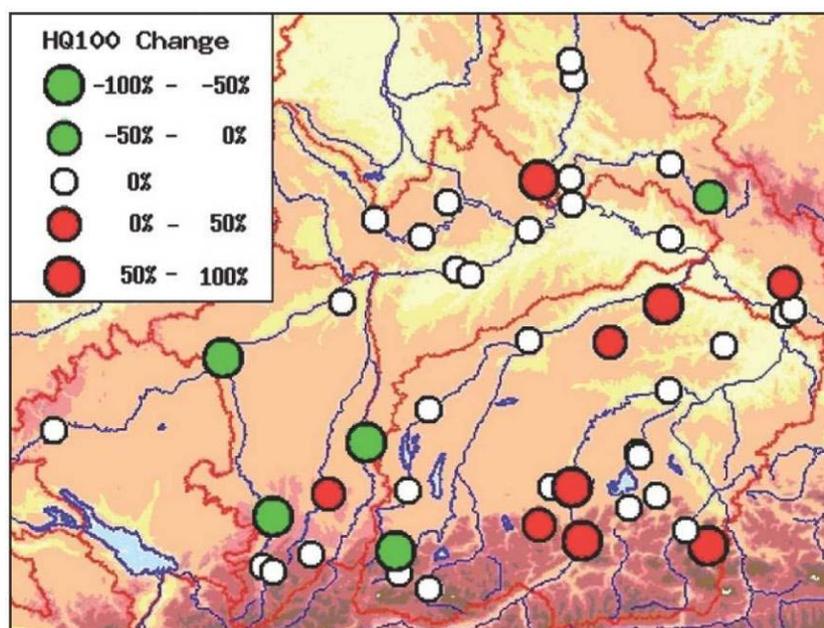


Anhang 1, Abb. 17: Zeitreihenvergleich von Andauer Großwetterlage WZ und Abfluss-Jahresmaxima Cochem.

Die Klassifizierung von Extremen ist nicht ausschließlich eine statistische Größe, denn die Gesellschaft entscheidet - zumindest partiell - was als extrem empfunden wird und was nicht. Mithin ist jedes statistische Verfahren eine Hilfskonstruktion, um Risiken einschätzen zu können. Ähnlich wie bei Seedeichen auch werden Bemessungsgrößen für Flussdeiche auf der Basis von Flutjährlichkeiten (z. B. 100-jährliche Wiederkehr) bestimmt. Weil bekannt ist, dass diese Messgrößen unsicher sind, werden beispielsweise in Bayern Unsicherheitszuschläge von 10 bis 15% und zusätzlich ein Klimafaktor von 10 bis 20% addiert. Zudem basieren Standardverfahren zur Häufigkeit von Extremen auf empirisch gemessenen Daten, also auf der Vergangenheit, für die methodisch obligatorisch zusätzlich erstens Stationarität und zweitens eine Unabhängigkeit der Ereignisse angenommen werden müssen (Fisher-Tippett Theo-

rem). Beide Annahmen sind in Bezug auf die instationäre Klimaentwicklung und die in der Praxis vorhandenen Korrelationen in Abflusszeitreihen eher fragwürdig.

Neuere methodische Entwicklungen (Kropp und Schellnhuber 2009) zeigen, dass mit Methoden der instationären GEV (Generalized Extreme Value distribution) verbesserte Bewertungsverfahren existieren, mit denen der Informationsgehalt empirischer Messreihen hinsichtlich Instationarität und Korrelationen berücksichtigt werden kann. Untersucht wurde dies in einer Fallstudie am Beispiel der Bemessungswasserstände für das Donaeinzugsgebiet (**Anhang 1, Abbildung 18**). Es zeigt sich in der Analyse, dass die Jährlichkeit von 100-jährlichen Ereignissen mit Standardverfahren entweder deutlich über- oder deutlich unterschätzt werden (Stock et al. 2009, Kallache et al. 2009). Es zeigten sich für ein in einem ersten Untersuchungszeitraum auftretendes hundertjährliches Hochwasser in einem zweiten Zeitraum Schwankungen der Wiederkehrzeit von 30 bis 1000 Jahren statt der erwarteten 100 Jahre. Ferner wurde der zeitliche Verlauf eines neu entwickelten Instationaritätsmaßes regional untersucht. Dabei wurden synchrone Schwankungen für süddeutsche Abflusspegel detektiert, die in jüngster Zeit noch zunehmen. Dieses Ergebnis bekräftigt die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Instationaritäten und Korrelationen, zur Vermeidung vergrößerter Unsicherheiten bei der Extremwertanalyse mittels Standardverfahren.

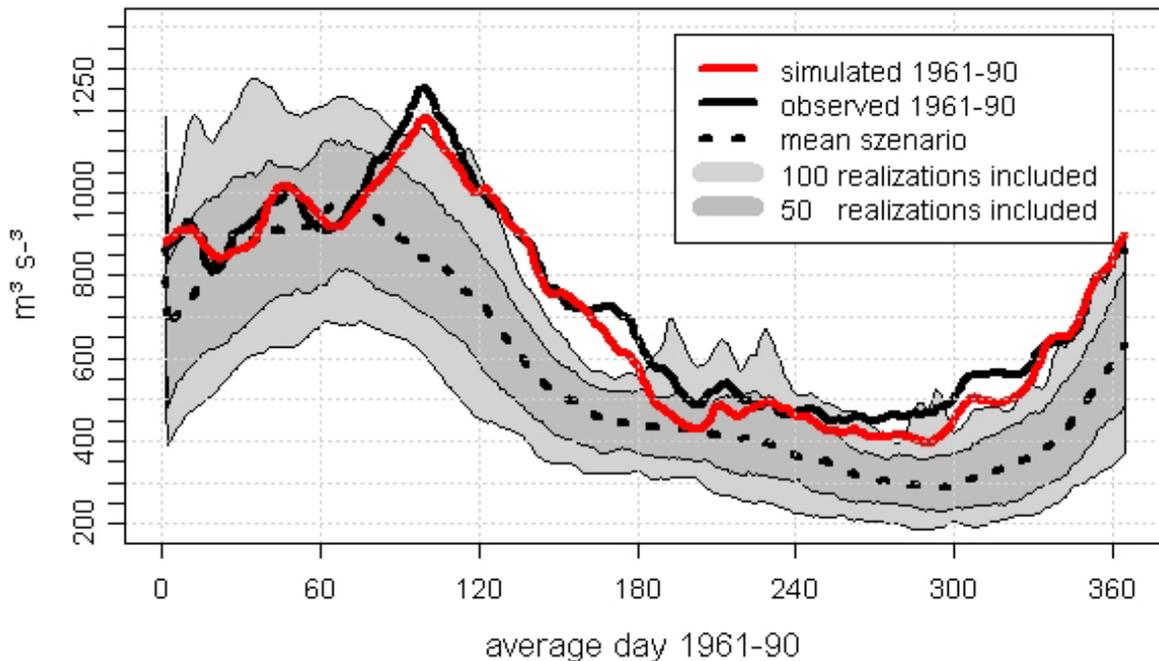


Anhang 1, Abb. 18: Beobachtete Veränderung der momentanen Bemessungswasserstände für das Donaeinzugsgebiet (Schutzlevel) unter Berücksichtigung von internen Korrelationen sowie Nichtstationarität.

Im Mittel kann man für 100-jährlich Ereignisse von 10 bis 20% zu niedrigen Wiederkehrschwellen ausgehen. Das Bild ist für ein Einzugsgebiet allerdings sehr uneinheitlich. Es sind nebeneinander signifikant steigende und fallende sowie nichtsignifikante Trends der Pegel im Donaeinzugsgebiet feststellbar. Es spielt dabei eine Rolle,

dass Wiederkehrschwellen und Trends außer von der Niederschlagsentwicklung von vielen anderen Faktoren abhängen, die in Vulnerabilitätsanalysen integriert mit der Klimaveränderung zusammen betrachtet werden müssen, um handlungsrelevante Schlüsse ziehen zu können.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussbildung in der Elbe zeigt **Anhang 1, Abbildung 19**.



Grautöne: Bandbreite von hundert Simulationen als mittleres Jahr für den Zeitraum 2046 bis 2055 im Vergleich zur Referenz 1961 bis 1990

Schwarze Linie: Beobachtung

Rote Linie: Simulation mit dem Klimamodell STAR (Hattermann et. al., 2007)

Anhang 1, Abb. 19: Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussbildung in der Elbe.

Hundert Realisationen des Klimas wurden im Elbeinzugsgebiet bis 2055 durch das regionale Klimamodell STAR erzeugt. Der simulierte Niederschlag zeigt keinen starken Trend. Anders sieht es beim Abfluss aus, der mit dem Modell SWIM für die hundert Simulationen als mittleres Jahr für die Zeitscheibe 2046 bis 2055 gerechnet wurde. Im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 bis 1990 erhält man eine deutliche Abnahme im Sommer, im Winter hingegen eine Zunahme.

5.2 Veränderungen des Wasserhaushalts nach Einzugsgebieten

Eine detaillierte Darstellung der Veränderungen des Wasserhaushaltes in den Flusseinzugsgebieten ist dem Forschungsbericht des Umweltbundesamtes [„WASKlim - Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft“](#) zu entnehmen (Scherzer, J. et al., 2010). Die für das Forschungsvorhaben „Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser“ relevanten Ergebnisse werden im Folgenden auszugsweise zitiert:

Rhein

Mit einer Länge von 1.320 km und einer Einzugsgebietsfläche von 185.000 km² ist der Rhein einer der größten Flüsse Europas. Der deutsche Anteil am Einzugsgebiet beträgt 104.660 km², entsprechend 29 % der Landesfläche. Das Abflussregime des Rheins wird durch die jeweiligen Nebenflüsse maßgeblich verändert.

Eine detaillierte Analyse der Abflussverhältnisse im deutschen Rheingebiet erfordert daher eine Untergliederung in die Teilgebiete:

- Hochrhein (Bodensee - Basel),
- Oberrhein (Basel-Bingen) sowie
- Mittelrhein (Bingen – Köln) und
- Niederrhein (Köln – Niederländische Grenze)

5.2.1 Hochwasserentwicklung am Hochrhein

Der Hochrhein wird durch die Abflüsse des schweizerischen Alpenrheins geprägt, wobei der Abfluss durch den Bodensee abgemildert wird. Der Alpenrhein zeigt hinsichtlich des Gesamtabflusses einen leicht positiven Trend im Abflussverhalten von 0,18 m³/s pro Jahr, dieser ist aber nicht signifikant. Ob diese Veränderung niederschlagsbedingt ist, steht derzeit noch nicht fest.

Bei den Abflussmengen der fünf wichtigsten Bodenseezuflüsse ist für die Zeitreihe ab 1970 eine Erhöhung für die Wintermonate und eine Verringerung für die Sommermonate zu erkennen.

Für den Bodenseewasserstand zeigt sich zwar im Jahresmittel kein Indiz für eine Veränderung durch klimatischen Einfluss, im Jahresverlauf ist allerdings ab 1990 im Mittel eine „deutliche Verringerung“ der Pegelstände für Juli bis Mitte September und eine Erhöhung für November bis Mitte Januar zu erkennen.

Die Untersuchung des Langzeitverhaltens der Hochwasserabflüsse ergab für die meisten der untersuchten Pegel in Baden-Württemberg und Bayern eine nur geringe Trendsteigung, die meist keine oder nur geringe Signifikanz aufweist. Analog zur Entwicklung der Mittelwasser zeigt sich für die jüngere Vergangenheit bei den arithmetischen Mitteln der monatlichen Höchstwerte eine Zunahme, beschränkt sich aber auf das Winterhalbjahr.

5.2.2 Hochwasserentwicklung am Oberrhein (Basel-Bingen)

Ebenso wie die Mittelwasserabflüsse zeigen auch die Analysen der Hochwasserabflüsse nur sehr schwache Trendsteigungen, die i. d. R. nicht oder nur schwach signifikant sind. Jedoch zeigt sich seit den 1970er Jahren für die Wintermonate eine Erhöhung der monatlichen Höchstwerte. Zu einer deutlich positiven Veränderung der Hochwasserabflüsse kommt es bei einigen Pegeln, die sich überwiegend im Osten des Schwarzwaldes befinden.

Eine Häufung von Extremhochwasser wird für viele Mittelgebirgsregionen, beispielhaft für die Enz, durch die Veränderungen der Großwetterlage beobachtet. Bei den Ergebnissen zu künftigen Hochwasserverhältnissen sind jedoch erhebliche regionale und saisonale Unterschiede festzustellen (vgl. Weber 2006). Für Baden-Württemberg ist künftig landesweit mit einer Zunahme bei den kleinen und mittleren Hochwasserereignissen zu rechnen. Für den Neckar (Pegel Rockenau) und die Kinzig (Pegel Schwaibach) zeigen die Berechnungen für den Sommer teilweise leichte Abnahmen, für den Winter jedoch mit + 39 % bzw. + 35 % deutliche Zunahmen der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse (MoMHQ). Ähnliches gilt für den Neckar. Für den oberen Main (Kemmern) ergibt sich für die Wintermonate eine deutliche Erhöhung der Hochwasserabflüsse, in den Sommermonaten weisen die Berechnungen keine wesentlichen Veränderungen auf. Für die Fränkische Saale (Main) wird ebenfalls mit einer deutlichen Zunahme der Hochwasserabflüsse gerechnet.

Für den Neckar wie auch den Main werden sich Bemessungshochwasser erhöhen, für die kleinen und mittleren Ereignisse um ca. 40 bis 50 %, für den HQ₁₀₀ um ca. 15 %. Für drei Teileinzugsgebiete von Neckar, Ruhr und Kocher zeigt sich eine Tendenz zur Verschiebung der Hochwasser vom Winter in den Frühling, die durch ein mögliches Zusammenfallen mit Schneeschmelzabflüssen aus den Alpen neben lokalen Folgen auch die Hochwassersituation des Rheins negativ beeinflussen können.

5.2.3 Hochwasserentwicklung am Mittelrhein und Niederrhein

Allgemein wird für Nordrhein-Westfalen angenommen, dass sich die Mittelwasserabflüsse leicht erhöhen. Für die mittleren Hochwasserereignisse zeigt sich für Rheinland-Pfalz seit Ende der siebziger Jahre beim Durchfluss eine Erhöhung um ca. 20 % im Vergleich zum vorherigen Zeitraum. Im Gegensatz zur Gesamtbetrachtung besteht für die jeweiligen Teilreihen kein Trend. In Bezug auf das Auftreten zeigt sich, dass sich die Häufigkeit von Hochwassern größer als das arithmetische Mittel der beobachteten Höchstwerte (MHQ) im Mittel um 25 % erhöht hat. Für Nordrhein-Westfalen wird zwar ein leichter Anstieg für Winterhöchstabflüsse beobachtet, für mittlere und kleine Hochwasserereignisse jedoch nicht. Für beide Bundesländer wird angegeben, dass für Hochwasser kleiner bis mittlerer Jährlichkeit eine Häufung möglich ist. Die Aussagen beschränken sich aber auf das Winterhalbjahr.

Zur zukünftigen Entwicklung des Mittelwassers werden für den Rhein-Pegel Köln zeitlich differenzierte Ergebnisse angegeben: für die Dekade 2020 bis 2029 ergibt sich zunächst eine leichte Abnahme (-0,6 %), für die feuchte Dekade 2030-39 mit + 16 % eine deutliche Zunahme. Die Dekade 2040 bis 2049 zeigt nur eine leichte Zu-

nahme (+ 0,8 %). Weiter zeigen sich für den Pegel Köln auch eine „Intensivierung der innerjährlichen Abflüsse“ und eine „Umverteilung der Abflüsse“ mit weniger Abfluss im Frühjahr und mehr Abfluss im Winter. In Zusammenhang mit den Veränderungen im alpinen Teil des Rheingebietes erscheint aufgrund der Tendenz zu mehr Winterabfluss „eine Verschärfung der Hochwassersituation“ für Mittel- und Niederrhein möglich.

Für mehrere Nebenflüsse des Mittelrheins wird für die Zukunft mit steigenden Durchflüssen gerechnet. Für die Lahn zeigen die Ergebnisse für den Mittelwasserabfluss mit einer Abnahme im Sommer und einer Zunahme im Winter im Jahresmittel eine leichte Zunahme von 3 % (Leun) bzw. 8 % (Marburg). Sehr deutliche Erhöhungen im Mittelwasserabfluss zeigen sich mit bis zu 100 % für einzelne Monate für Pegel von Mosel und Sieg. Für das Einzugsgebiet der Nahe werden im Winter deutliche Zunahmen erwartet. Im Sommer werden diese durch das erhöhte Bodenfeuchtedefizit ausgeglichen.

Für Hochwasser kleiner Jährlichkeit weisen die Simulationen im Nahe-Einzugsgebiet signifikant mehr Abfluss auf. Für die Lahn hingegen wird in Bezug auf den MHQ nur mit moderaten Zunahmen von 2 % (Leun) und 9 % (Marburg) gerechnet, für den statistischen Extremhochwasserabfluss allerdings mit einer Zunahme um 20 - 25 %.

5.2.4 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Elbe

Das Einzugsgebiet der Elbe umfasst eine Fläche von 148.270 km². Die Elbe entspringt im Riesengebirge in der Tschechischen Republik, auf deren Gebiet ca. 1/3 des Einzugsgebietes liegen. Mit der Moldau nimmt sie ihren größten Zufluss auf. Durch den Bau von Talsperren und Rückhaltebecken, insbesondere zwischen 1955 und 1980 auf tschechischer Seite, erfolgt eine Minderung von Hochwasser und wird insbesondere die Niedrigwasserführung stark geregelt. Der Flusslauf auf deutschem Staatsgebiet wird bis zum Eintritt in das Norddeutsche Tiefland am Schloss Hirschstein bei Meißen der Oberen Elbe zugeordnet. Die Mittlere Elbe reicht bis zum Wehr Geesthacht oberhalb von Hamburg und die Untere Elbe bis zur Mündung in die Nordsee. Das Abflussregime ist durch die Mittelgebirgs-Zuflüsse geprägt, die Abflussganglinie wird durch geringe Niederschläge, fehlende Gletscher und große Lockergesteinsaquifere in den Urstromtälern bestimmt. Die Zuflüsse von Mulde und Saale können bei Hochwasser erhebliche Mengen zum Abfluss der Elbe beisteuern, verändern den grundsätzlichen Charakter aber nicht.

Für das Land Brandenburg, den größten Teil des östlichen Einzugsgebietes der Mittleren Elbe, weisen die mittleren Jahresabflüsse im Zeitraum 1980 bis 1999 einen Rückgang um 2,5 % pro Jahr auf, also insgesamt um 50 %, während für das Gebiet nordöstlich der Elbe eine mittlere jährliche Abnahme von 0,5 % pro Jahr angegeben wird, allerdings für den Zeitraum 1961 bis 2002. In Bezug auf Winterhochwasser für die Elbe bei Dresden wird eine signifikante Abnahme angenommen, für Sommerhochwasser wurde keine Veränderung festgestellt. Nach einer Studie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG 2002) zeigt sich dagegen für die letzten 40 Jahre mit „drastischen Abnahmen der Maxima im Winter“ und „deutlicher Zunahme der Maxima im Sommer“ eine Verschiebung der innerjährlichen Verteilung der Jahreshöchstab-

flüsse. Hattermann (2005) erwartet für den Winter einen späteren Anstieg sowie einen früheren Rückgang der Abflüsse im Frühjahr.

Im Einzugsgebiet der Parthe (südl. Nebenfluss der Weißen Elster) wurden durch das LfUG Sachsen umfangreiche Untersuchungen zum Wasserhaushalt durchgeführt. Die Ergebnisse für das Schnellbachgebiet zeigen zu Anfang der 90er Jahre einen deutlichen Rückgang der Abflüsse mit einer anschließenden Zunahme. Für die Abflüsse der Kalten Bode (Harz) wird dagegen im Zeitraum 1951 bis 2000 ein zunehmender Trend festgestellt. In verschiedenen Teileinzugsgebieten der Elbe ist künftig wahrscheinlich mit abnehmenden Durchflüssen bei Mittelwasser zu rechnen, teilweise in erheblichem Ausmaß. Mit deutlichen Abnahmen ist für die Havel zu rechnen, ebenso für Unstrut, Parthe, Wipper und Querne. Auch für die Mulde wird mit einer Abnahme der mittleren monatlichen Mittelwasserabflüsse (MoMQ) gerechnet. Für die Elbe-Zuflüsse aus dem Osterzgebirge liegt für die zukünftige Entwicklung ebenfalls eine Tendenz zur Verringerung der Abflüsse vor.

Für die Hochwassersituation zeigen die Ergebnisse zur zukünftigen Veränderung für Wipper und Querne mit bis zu 40 % deutliche Abnahmen. Auch für die Parthe weisen die Ergebnisse für mittlere Abflüsse (MQ) und mittlere Hochwasserabflüsse (MHQ) in allen Monaten teilweise deutliche Abnahmen auf.

5.2.5 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Donau

Mit einer Gesamtlänge von 2.800 km und einer Einzugsgebietsfläche von 817.000 km² ist die Donau der zweitgrößte Fluss Europas. Das deutsche Teilgebiet der Oberen Donau umfasst 7,3 % der Gesamtfläche. Es umfasst Teile des Schwarzwaldes, der Schwäbischen und Fränkischen Alb, den Oberpfälzer und den Bayerischen Wald sowie den bayerischen Alpenraum und das Alpenvorland. Der bedeutendste Zufluss der Oberen Donau ist der Inn bei Passau an der österreichischen Grenze. Das Abflussregime der deutschen Donau wird durch eine Überlagerung der Ganglinien der nördlichen Mittelgebirgszuflüsse mit winterlichen Hochwassermaxima und der südlichen alpinen Zuflüsse mit sommerlichen Hochwassermaxima geprägt.

Zur bisherigen Entwicklung des Hochwasserabflusses im Donaugebiet lässt sich aus den Ergebnissen statistischer Analysen kein Trend ableiten. Allerdings weisen die meisten Pegel bei der Betrachtung der jüngeren Vergangenheit eine Tendenz zu vermehrtem Auftreten von Hochwasserereignissen auf. In Bayern treten vereinzelt auch signifikant negative Veränderungen im letzten Jahrhundert auf, während für den Pegel Donauwörth ab 1974 ein „deutlich höheres Niveau“ der monatlichen Abflusshöchstwerte festgestellt worden ist. Für die zukünftige Entwicklung der Hochwasser weisen die Ergebnisse für den Pegel Kirchen-Hausen deutliche Tendenzen zu einer Erhöhung auf. Dies betrifft insbesondere das Winterhalbjahr und beschränkt sich auf Hochwasser kleiner bis mittlerer Jährlichkeit.

5.2.6 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Weser

Durch den Zusammenfluss von Fulda und Werra entsteht bei Hannoversch-Münden die Weser. Mit einer Lauflänge von 432 km (mit der Werra: 725 km), entwässert die Weser ein Einzugsgebiet von ca. 46.000 km². Unterhalb von Verden steigt mit dem Zufluss der Aller die Abflussmenge sprunghaft an. Das Abflussverhalten der Weser weist sowohl Elemente eines Flachlandflusses, als auch eines Mittelgebirgsflusses auf, mit Niedrigwasser im Sommer und schneller Bildung von Hochwasserspitzen im Winter.

Die Werra zeigt in den letzten 60 Jahren einen Trend zu erhöhter Hochwassergefahr im Winter, während das Hochwasserrisiko für den Sommer seit ca. 250 Jahren abnimmt. Für die Sieber (Pegel Pionierbrücke, Harz) zeigt die bisherige Entwicklung im Winter zunehmende und im Sommer abnehmende Trends.

In der Jahresabflusssumme ist der Trend zunehmend. Eine Analyse der zukünftigen Entwicklung für drei Einzugsgebiete im Oberlauf der Weser kommt zu folgenden Ergebnissen: Für den Mittelwasserbereich ergibt sich im Jahresmittel für Eder und Diemel eine Abnahme der Durchflüsse im zweistelligen Bereich, während für die Fulda ein leichter Zuwachs erwartet wird. Für den mittleren Hochwasserbereich wird bei der Fulda ein deutlicher Zuwachs um bis zu 16 % erwartet, für Eder und Diemel eine geringfügige Abnahme. Der statistische Extremhochwasserabfluss nimmt für alle Teilgebiete zu, im Besonderen für die Fulda, für die sogar eine Zunahme um bis zu 39 % postuliert wird.

5.2.7 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Ems

Die Ems ist ein Flachlandfluss mit Ursprung im Sandgebiet der Senne im Süden des Teutoburger Waldes. Mit einer Lauflänge von 370 km entwässert sie ein Gebiet von ca. 15.600 km². Bedeutende Nebenflüsse der Ems sind die Hase mit Mündung bei Meppen sowie der Tidefluss Leda mit Mündung bei Leer. Für die Kenngrößen NM7Q (niedrigstes arithmetisches Mittel des Abflusses an sieben aufeinanderfolgenden Tagen) und NM21Q (niedrigstes arithmetisches Mittel des Abflusses an 21 aufeinanderfolgenden Tagen) zeigt sich für die Zeitreihe 1944 bis 2003 am Pegel Versen ein signifikant positiver Trend.

5.2.8 Hochwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Oder

Die Oder ist mit einer Einzugsgebietsfläche von ca. 119.000 km² und einer Länge von 850 km ein bedeutender Fluss Europas. Mit einer Fläche von ca. 5.600 km² ist hier das deutsche Einzugsgebiet nur von untergeordneter Bedeutung. Dies spiegelt sich auch im Abflussverhalten wider, welches vor allem durch die hydrographischen und klimatischen Gegebenheiten auf tschechischer und polnischer Seite geprägt wird. Die Teileinzugsgebiete auf deutscher Seite haben kaum Einfluss auf das Abflussverhalten der Oder, insbesondere beim Hochwassergeschehen.

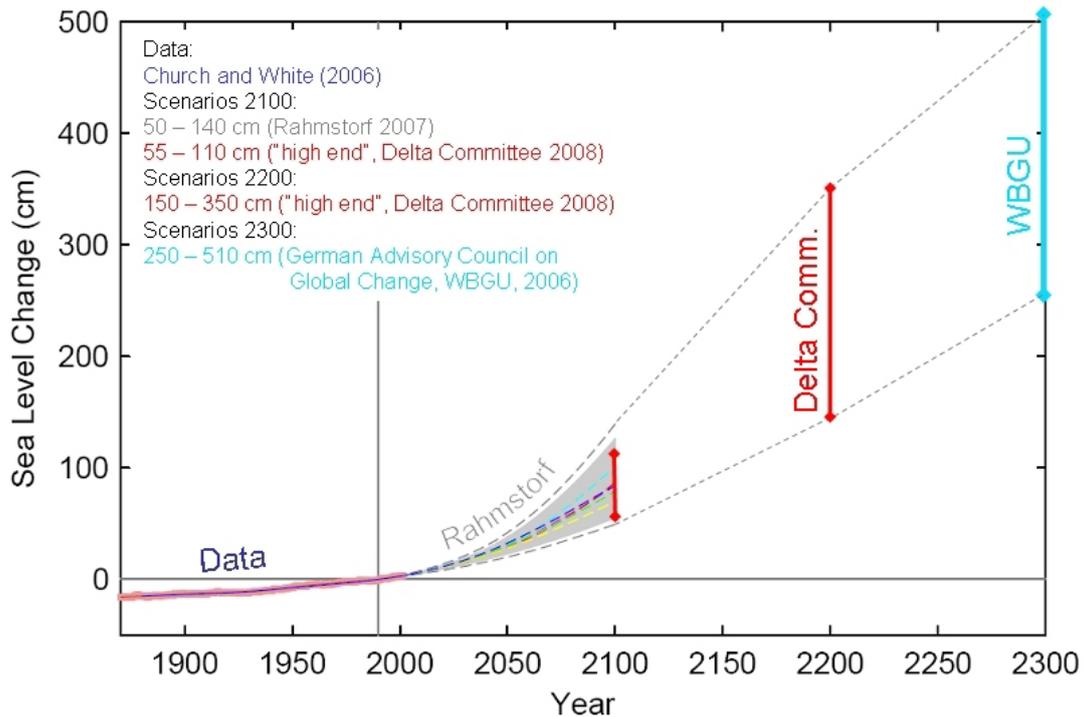
Für das Land Brandenburg, auf dessen Gebiet nahezu das gesamte deutsche Oder-Einzugsgebiet liegt, weisen die mittleren Jahresabflüsse einen Rückgang um 50 % auf. Für die Oder wird angegeben, dass durch den großen Anteil von Mittelgebirgs-

regionen am Einzugsgebiet, in denen die klimatischen Bedingungen stabiler sind, sowie durch die Größe des Einzugsgebietes, das Abflussverhalten stabil ist.

Die hier vorgestellten Einzelergebnisse des Forschungsberichts „WASKlim - Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft“ basieren auf einer Literaturrecherche mit den Teilaspekten Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserabfluss sowie Grundwasser, wobei für den hier betrachteten Zusammenhang ausschließlich die Entwicklung von Hochwasserereignissen von Interesse sind. Genauere Angaben zur Entwicklung bzgl. des HQ₁₀₀ oder eines Extremereignisses sind derzeit noch nicht durchgängig verfügbar. Zudem sind die bislang vorliegenden Untersuchungsergebnisse aufgrund der Komplexität der klimatischen Randbedingungen und Szenarien in Verbindung mit den wasserwirtschaftlichen Datenbeständen mit großen Unsicherheiten verbunden. Dies gilt insbesondere für Prognosen bzgl. Entwicklungen bis 2100. Daher sind belastbare Aussagen hinsichtlich Art, Intensität und Wirkungen von zukünftigen Hochwasserereignissen derzeit kaum möglich.

6. Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten

Die weltweit größte Erwärmung wird in den Polarregionen erwartet, wobei das arktische Meereis weiter zurückgehen wird. In den unterschiedlichen vom IPCC untersuchten Szenarien steigt der Meeresspiegel zum Ende des 21. Jahrhunderts im globalen Mittel um 18 bis 38 cm (B1) beziehungsweise um 26 bis 59 cm (A1FI). Neue Ergebnisse deuten allerdings darauf hin, dass die Meeresspiegelprojektionen durch den IPCC zu niedrig sein könnten (Rahmstorf 2007), weil sich das Abschmelzen von Festlandeis, wie z. B. den grönländischen Eismassen beschleunigt. Dadurch könnte der Anstieg bis 2100 ca. 140 cm betragen, wobei noch erhebliche Unsicherheiten bestehen. Der Anstieg ist 2100 noch lange nicht abgeschlossen, wie **Anhang 1, Abbildung 20** zeigt.



Anhang 1, Abb. 20: Geschätzte Bandbreite des Meeresspiegelanstiegs, von bis zu 140 cm bis zum Jahr 2100 und in den weiteren Jahrhunderten darüber hinaus (Rahmstorf 2007, WBGU 2006).

Erfahrungen zum Risiko von Sturmfluten an der Küste sind über Jahrhunderte gewachsen und haben zu hoch entwickelten Schutzsystemen geführt. Die Bemessungshöhe eines Deiches ist eine komplexe Größe. Sie setzt sich zusammen aus Vergleichswerten (höchste jemals gemessene Wasserstände), statistischen Größen (Eintrittswahrscheinlichkeit für eine 100-jährliche Flut), Sicherheitszuschlägen sowie Erfahrungen über Windrichtung, Windstau und seeseitiger Wellenaufbauhöhe.

Unter einer Sturmflut versteht man ein ungewöhnlich hohes Ansteigen des Wassers an Meeresküsten und Tidenflüssen. Bedingt wird dies durch ein Zusammentreffen u. a. folgender Faktoren:

- Fluthöhe und –dauer (Tideverlauf)
- Wirkung des Luftdruckgradienten im Bereich sehr tiefen Luftdrucks durch Aufbau eines „Wasserberges“
- starker Windschub
- Wellenaufbau, Wellenüberlagerung und brandender Wellengang (zusätzliche dynamische Komponenten)
- Aufsteilung bei küstennaher Topographie
- bei Randmeeren die Eigenschwingung von Wassermassen

Besonders hohe Wasserstände treten bei Springtiden auf, wenn Sonne, Mond und Erde in einer Reihe stehen und sich somit die Gezeitenwirkung von Sonne und Mond addieren.

Für den Nordseeraum sind bislang keine eindeutigen Trends in Richtung auf häufigere Sturmflutwetterlagen zu erkennen. Allerdings sagen die neuesten meteorologischen Modelle, mit denen Windstärke, Windrichtung, Wasserstände und Seegang in

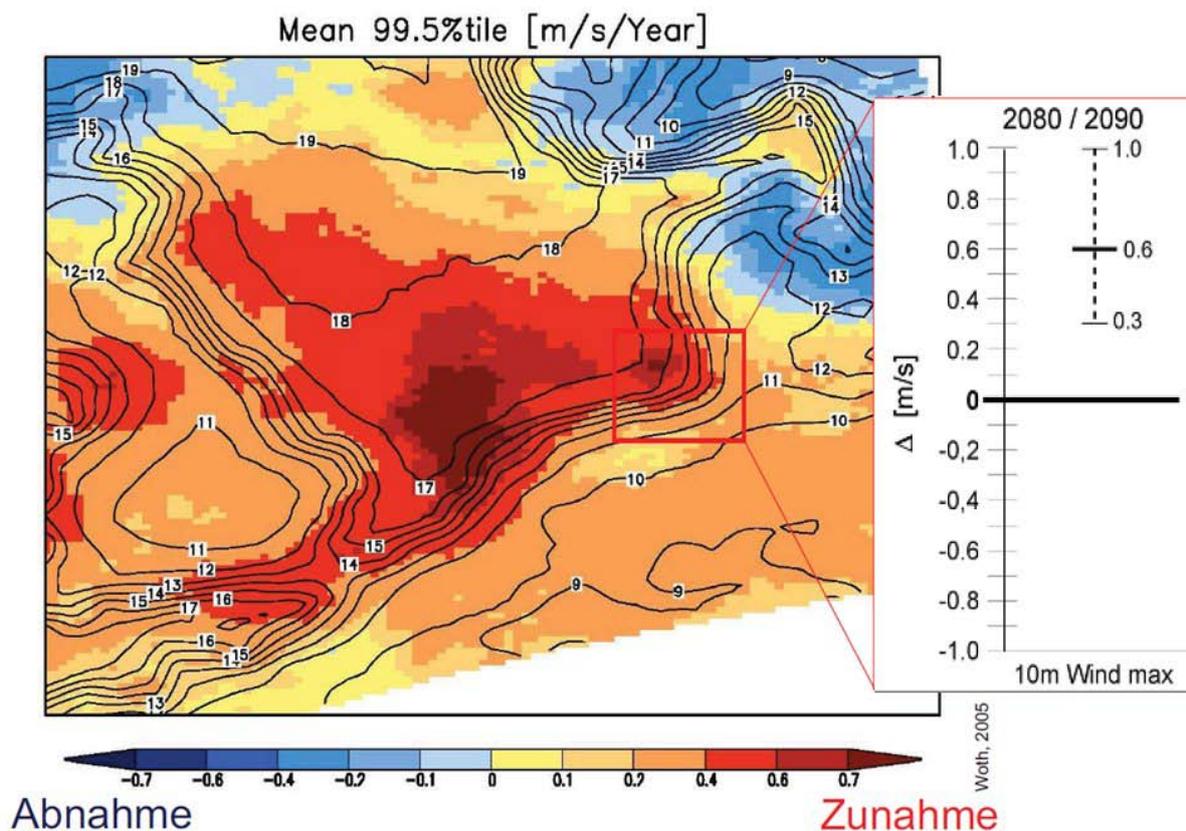
der Nordsee berechnet werden, vorher, dass Starkwinde aus Nord bis West über der Deutschen Bucht zunehmen könnten und damit auch die Sturmfluten bis 2030 30 bis 50 cm höher auflaufen würden als bisher, bei weiter fortschreitendem Klimawandel auch noch höher (siehe **Anhang 1, Tabelle 2** nach v. Storch et al. 2009).

Anhang 1, Tab 2: Bisherige und mögliche künftige Änderungen von Faktoren, die Sturmflutwasserstände in der Deutschen Bucht ändern können.

<i>Wesentliche Faktoren, die Sturmflutwasserstände langfristig ändern können</i>	<i>Änderungen bisher (1907 bis 2006)</i>	<i>Mögliche Änderungen bis 2030</i>	<i>Mögliche Änderungen bis 2100</i>
Globaler mittlerer Meeresspiegelanstieg	ca. 2 dm	ca. 1 – 2 dm	ca. 2 – 8 dm
Meteorologisch bedingter Anteil des Sturmflutwasserstandes	keine	ca. 0 – 1 dm	ca. 1 – 3 dm
Regionaler und lokaler Meeresspiegelanstieg	ca. 2 dm	bisher unbekannt	bisher unbekannt
Wellenauflauf	keine	bisher unbekannt	bisher unbekannt
Gezeitenregime	regional sehr unterschiedlich	bisher unbekannt	bisher unbekannt
Topographie	regional sehr unterschiedlich	bisher unbekannt	bisher unbekannt

Eine relativ sichere Annahme kann jedoch getroffen werden: bei einem um ca. 50 cm höheren Meeresspiegel werden gefährliche Sturmflutwasserstände an der Nord- und Ostseeküste wesentlich häufiger eintreten als vorher; einfach deshalb, weil das Basisniveau nun um einen halben Meter höher liegt. Dadurch wächst auch die Belastung der Deiche, insbesondere wenn Extremwasserstände entweder sehr lange andauern oder sich in kürzeren Abständen wiederholen. Ein sogenannter 100-jährlicher Wasserstand, wie er bei der Sturmflut 1976 an der Nordseeküste eintrat (z. B. Cuxhaven mit 5,1 m über Mittelwasser), könnte aufgrund des Meeresspiegelanstiegs daher nun zu einem 10-jährlichen Ereignis werden. Darüber hinaus wird mit diesen häufiger auftretenden Extremwasserständen im Normalfall auch hoher und energiereicher Seegang einhergehen, der nicht nur am Deich und im Vorland sondern auch an den Stränden und Dünen zerstörerische Wirkung entfalten kann.

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Sturmflutrisiko an der Nordseeküste wurde beim Helmholtz-Zentrum Geesthacht (Zentrum für Materialforschung und Küstenforschung GKSS) untersucht (v. Storch et al. 2009, Woth 2006). Modellrechnungen ergeben eine zu erwartende Zunahme der Windstärken und damit des Sturmflutrisikos in der Deutschen Bucht, siehe Rechteck in **Anhang 1, Abbildung 21** (Sterr 2009).

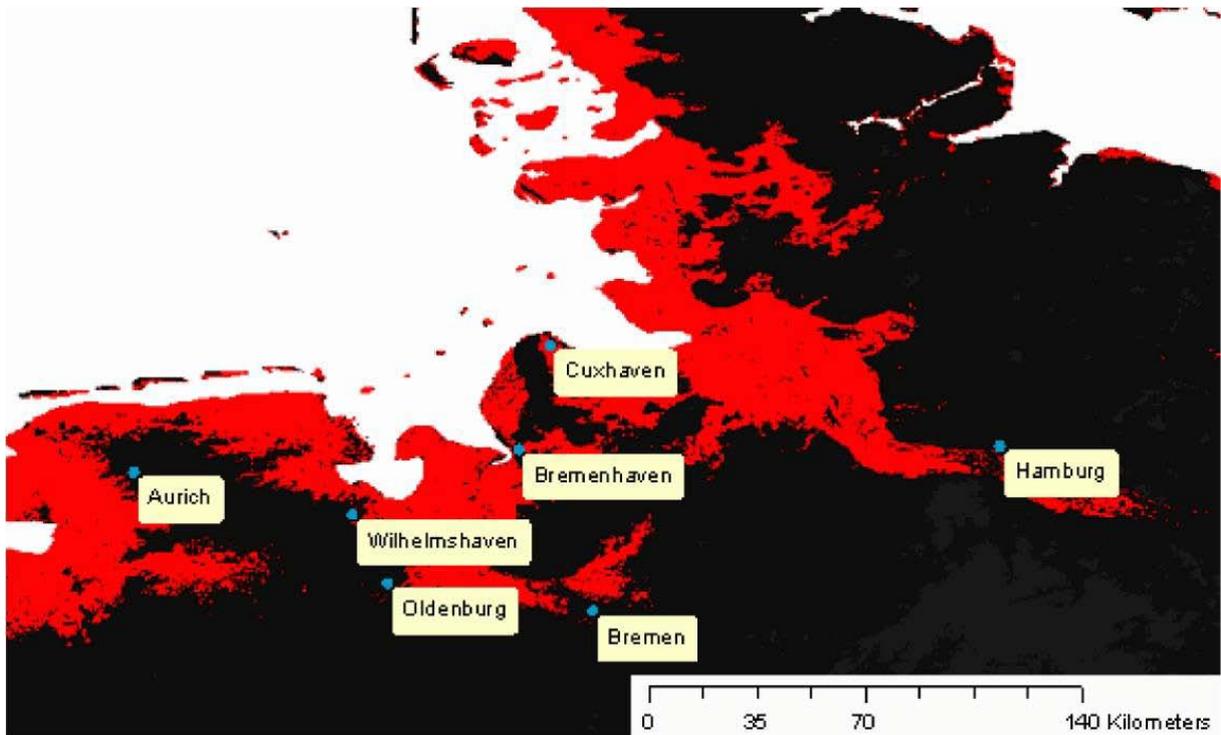


Anhang 1, Abb. 21: Simulierte Veränderung der Windgeschwindigkeit an der Nordseeküste.

Die Sturmaktivität hat ab 1970 ähnlich zugenommen, wie dies für die Andauer von Westwinden zeigt, sie nimmt nach 1995 aber wieder etwas ab. Für die zukünftigen Fluthöhen wurden Modellrechnungen durchgeführt. Zusammen mit dem vom IPCC erwarteten Anstieg des mittleren Meeresspiegels um ca. 40 cm bis Ende des 21. Jahrhunderts ergibt sich dazu beim A2-Szenario mit einem moderaten Anstieg der mittleren Windgeschwindigkeit ein Gesamtanstieg bei Sturmflut um 70 cm. Eine solche Entwicklung würde zu einer Abnahme des Sicherheitsspielraums derzeitiger Küstenschutzmaßnahmen an der Nordseeküste führen. Es wird daher ähnlich wie in Bayern beim Flusshochwasser überlegt, ob auch ein Klimaänderungsfaktor in der Bemessung von Höchstwasserständen eingeführt werden sollte.

Festzuhalten ist, dass eine beschleunigte Erwärmung auch ein längerfristig beschleunigtes Abschmelzen von Eismassen bedingt, auf deren Konsequenzen man vorbereitet sein sollte. Hierzu gehört beispielsweise eine Analyse der Küstengebiete an Nord- und Ostsee die im Fall eines Deichversagens bei einem Meeresspiegelanstieg von 1 m Höhe durch Überflutung bedroht wären, wie in **Anhang 1, Abbildung 22** dargestellt (Kropp & Costa 2008). Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Darstellung nicht eine tatsächlich mögliche Überflutung darstellt, sondern summarisch alle denkbaren zukünftigen Risikozonen für verschiedene voneinander unabhängige Deichabschnitte umfasst, d. h. auch verschiedene nicht gleichzeitig zu erwartende Versagensereignisse enthält.

Für deutsche Küsten besteht hinsichtlich der Deichhöhen mindestens bis 2030 noch ein ausreichender Schutz bei einer Höhe bis zu 10 m an der Nordsee und 3,5 bis 6,5 m an der Ostsee. In den vergangenen Jahren wurde in den überarbeiteten Generalplänen zum Küstenschutz eine Erhöhung der Bemessungswasserstände um 50 cm vorgesehen. Sollten sich in den nächsten beiden Dekaden weiter wesentliche Veränderungen zeigen, kann darauf noch adäquat reagiert werden.



Anhang 1, Abb. 22: Küstengebiete an Nord- und Ostsee die bei verschiedenen Fällen von Deichversagen bei einem Meeresspiegelanstieg von 1m Höhe durch Überflutung bedroht wären (Kropp & Costa 2008, Stock et al. 2009).

7 Veränderungen der Schneehöhen

Da die gegenwärtige Erderwärmung mit einer Erhöhung der mittleren Temperatur auch in den höheren Berg- und damit Schneeregionen einhergeht, kann die mittlere Schneehöhe als ein Beispiel und statistischer Wert für die globale Erwärmung gesehen werden. Durch die höhere mittlere Temperatur schmilzt der Schnee schneller, es sinkt auch die allgemeine, durchschnittliche Schneehöhe. Ein anderes Beispiel dafür ist die Erhöhung der Schneegrenzen.

Die Erderwärmung führt dazu, dass die Luft potenziell mehr Feuchtigkeit aufnehmen (vgl. Gleichung 2 in Kapitel 4) und diese als Schnee wieder abgeben kann. Auf der anderen Seite führt die Erhöhung der mittleren Temperatur dazu, dass weniger Schneetage im Jahr anfallen.

7.1 Auswirkungen der Schneefallgrenze auf Hochwasserereignisse im Alpenraum

Als Faustformel kann man davon ausgehen, dass eine Temperaturerhöhung von 1°C die mittleren Schneeverhältnisse um rund 150 m nach oben verschiebt. Dies ist aber nur ein Näherungswert, der sich sowohl aus Schneedeckenaufbau als auch Abschmelzung zusammensetzt. Diese Verschiebung der Schneeverhältnisse wird das Abflussverhalten der Flüsse insbesondere im Bereich der Alpen stark beeinflussen. Der Winterabfluss wird generell zunehmen und die Abflussspitze der Schneeschmelze wird deutlich früher auftreten. In Kombination mit der Zunahme der Winterniederschläge wird sich das Hochwasserrisiko im Winter und Frühjahr im Alpenraum deutlich erhöhen. Besonders davon betroffen sind Höhenlagen zwischen 500 m und 2.000 m. Unter 500 m fallen bereits heute mehr als 50 Prozent der Starkniederschläge im Winter als Regen und daher wirkt sich eine weitere Absenkung des Schneeanteiles nicht so stark aus. Über 2.000 m wiederum wird es auch gegen Ende dieses Jahrhunderts noch kalt genug sein, dass der Winterniederschlag großteils als Schnee fällt.

Für das Auftreten von Hochwasser im Winter und Frühjahr ist jedoch nicht nur die Verschiebung der mittleren Verhältnisse relevant. Die Höhe der Schneefallgrenze gehorcht speziell im Gebirge nichtlinearen Gesetzen. Durch das Schmelzen von fallenden Schneeflocken wird die Luft gekühlt. Dies hat zur Folge, dass bei intensiven Niederschlägen durch das Schmelzen die Luft über mehrere hundert Meter Seehöhe auf 0 °C abgekühlt wird und damit die Schneefallgrenze nach unten gezogen wird. Besonders effizient ist dieser Prozess in Alpentälern, da hier das Volumen der Atmosphäre durch die Berghänge reduziert ist und diese Abkühlung rascher erfolgt. Dies hat zur Folge, dass in den Alpentälern die Schneefallgrenze meist tiefer liegt als im Flachland. Damit hängt die aktuelle Schneefallgrenze nicht nur vom allgemeinen Temperaturniveau, sondern auch von der Niederschlagsintensität und der lokalen Topographie ab.

Dieses nichtlineare Verhalten der Schneefallgrenze kann nun im Gebirge besonders dann zu erhöhtem Hochwasserrisiko führen, wenn durch Erwärmung, die Schneefallgrenze während eines intensiven Niederschlags gerade nicht die Seehöhe der Gebirgskämme erreicht. In diesem Fall kann ein Temperaturanstieg von 1 °C die Schneefallgrenze um bis zu 1.000 m nach oben verschieben und dadurch die Abflussspitzen während des Niederschlagsereignisses deutlich erhöhen. Als Beispiel für derartige Phänomene können die großen Alpentäler wie Salzach oder Inntal dienen.

Jedoch nicht nur die Wasserführung der Flüsse im Winter und Frühjahr wird durch die Schneefallgrenze beeinflusst. In hochalpinen Einzugsgebieten spielt sie auch im Sommer eine wichtige Rolle. Ein Beispiel hierfür sind die Hochwasserereignisse im Mai 1999 und im August 2005. Diese beiden Ereignisse brachten fast identische Niederschlagssummen, jedoch befand sich im Mai 1999 die Schneefallgrenze bei etwa 2.100 m Seehöhe, im August 2005 hingegen um die 3.000 m und dies führte speziell in der Schweiz, Vorarlberg und Tirol zu deutlich höheren Abflussspitzen und Hochwasserschäden. Die Schneefallgrenze im Sommer spielt nur in Seehöhen über 2.000 m eine Rolle.

7.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Schneesituation in den deutschen Mittelgebirgen

Die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels sind schwer einschätzbar. Im Rahmen des Projekts GIS-KliSchee wurden regionalisierte Klimadaten sowie naturräumliche Rahmenbedingungen in verschiedenen Prognosevarianten modelliert. Hintergrund des Forschungsprojektes sind mögliche Veränderungen des Wintersporttourismus durch den Klimawandel.

Nach den Ergebnissen ist festzustellen, dass Veränderungen in den mildereren südwestlichen Mittelgebirgen rascher vor sich gehen, da diese im Hochwinter bereits heute selbst in den höheren Lagen nahe am Gefrierpunkt sind. Die östlichen Mittelgebirge, die tendenziell trockener und kälter sind, würden besonders beim feuchten Szenario von einem Mehr an Niederschlag betroffen, so dass in diesem Falle für einen beschränkten Zeitraum sogar größere Schneemengen in den östlichen Mittelgebirgen anzutreffen sein könnten als bisher. Dies gilt insbesondere bei V_b -Wetterlagen, in deren Folge erhebliche Schneemengen in den östlichen Regionen Deutschlands niedergehen können, wie das Tief „Daisy“ im Januar 2010 gezeigt hat.

Kritisch anzumerken bleibt, dass neben den Aussagen zu Veränderungen der Schneetage über die zukünftig zu erwartenden Schneehöhen außer qualitativen Aussagen keine für dieses Projekt quantitativ verwertbaren Untersuchungsergebnisse vorliegen.

Anhang 2: Begriffe

Abflussbeiwert

„Vom Einzugsgebiet abhängiger Faktor, mit dem die Regenmenge je Zeiteinheit multipliziert wird, um den zu erwartenden Regenabfluss zu erhalten, der in das Entwässerungssystem eingeleitet werden soll“ (DIN EN 752). Der Abflussbeiwert (Symbol ψ) liegt zwischen 0 und 1. Ein Abflussbeiwert von 1 (obere Grenze) bedeutet, dass der gesamte Niederschlag zum Abfluss kommt (also nichts versickert oder verdunstet), ein Abflussbeiwert von 0 hingegen bedeutet, dass vom auftreffenden Niederschlag nichts abfließt.

Bemessungshochwasser

In Anlehnung an DIN 4049-3 wird als Bemessungshochwasser jener Zustand in einem oberirdischen Gewässer verstanden, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluss den der Bemessung zugrunde gelegten Wert erreicht oder überschritten hat.

Bemessungsregen

Annahme zur Regenwassermenge als Ausgangspunkt für die Bemessung von Regenwasser- oder anderen Abwasserableitungs- oder -versickerungssystemen. Dargestellt wird der Bemessungsregen üblicherweise in der Form $r(D;T)$. Bei einem Regenereignis mit einer Häufigkeit von 5 Jahren T und einer Dauer D von 5 Minuten ergibt sich folgende Darstellung: $r(5;5)$. Die Einheit des Bemessungsregens ist Liter pro Sekunde und Hektar. Der Mittelwert für Deutschland beträgt 311 l/(s * ha) . Bemessungsregen können KOSTRA-DWD 2000 entnommen werden.

Dauerniederschlag

Lang andauerndes Niederschlagsereignis (mehrere Stunden) mit geringer, sich meist wenig ändernder Niederschlagsintensität und ausgedehntem Niederschlagsfeld. Dauerniederschlag wird auch advektiver Niederschlag genannt, da er durch überwiegend horizontale Luftbewegung (Advektion) entsteht ([Wetterlexikon DWD, 2009](#)).

Bestimmungsgemäßer Betrieb

Bestimmungsgemäßer Betrieb ist entsprechend der Vollzugshilfe des BMU zur Störfall-Verordnung der zulässige Betrieb, für den eine Anlage nach ihrem technischen Zweck bestimmt, ausgelegt, geeignet und zugelassen ist. Der bestimmungsgemäße Betrieb umfasst:

- den Normalbetrieb, einschließlich betriebsnotwendiger Eingriffe (wie z. B. Probenahme oder Lagerung mit Füll-, Umfüll- und Abfüllbetrieb),

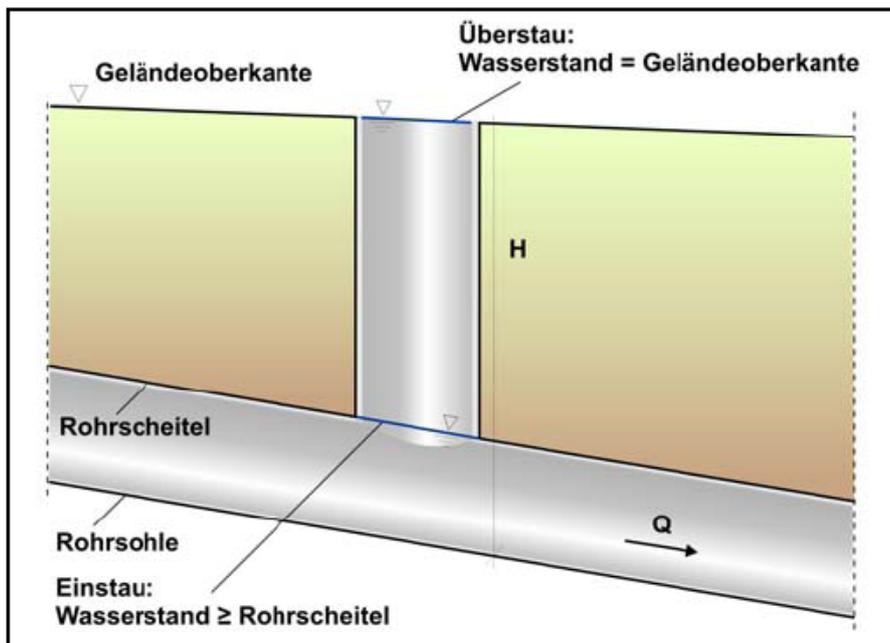
- den Probebetrieb
- die Inbetriebnahme und den An- und Abfahrbetrieb
- Instandhaltungsvorgänge wie Reinigungsarbeiten
- den Zustand bei vorübergehender Außerbetriebnahme

Soweit eine Zulassungspflicht vorliegt, wird der bestimmungsgemäße Betrieb auch durch die Zulassung und ergangene Anordnungen eingegrenzt.

Einstau

Einstau einer Kanalstrecke liegt vor, wenn der Wasserstand über dem Rohrscheitel, aber noch unterhalb der Einstauebene liegt. Der Abfluss erfolgt somit unter Druck.

Zum besseren Verständnis der Begriffe Einstau, Überflutung, Überlastung und Überstau nachfolgend eine Skizze.



Anhang 2, Abb. 1: Skizze zur Erläuterung der Begriffe Einstau, Überflutung, Überlastung und Überstau

Eintrittswahrscheinlichkeit

Nach DIN 4049-3 bezeichnet die Eintrittswahrscheinlichkeit oder das hydrologische Risiko jene Wahrscheinlichkeit, dass ein Wert mit einer bestimmten Jährlichkeit innerhalb einer Zeitspanne von n Jahren erreicht oder überschritten wird.

Ernste Gefahr

Eine ernste Gefahr ist gemäß § 2 StörfallV eine Gefahr, bei der

- a) das Leben von Menschen bedroht wird oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen von Menschen zu befürchten sind,
- b) die Gesundheit einer großen Zahl von Menschen beeinträchtigt werden kann oder
- c) die Umwelt, insbesondere Tiere und Pflanzen, der Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- oder sonstige Sachgüter geschädigt werden können, falls durch eine Veränderung ihres Bestandes oder ihrer Nutzbarkeit das Gemeinwohl beeinträchtigt würde.

Freibord

Der Freibord bezeichnet in der Wasserwirtschaft den Abstand zwischen einem Wasserspiegel und einer höher liegenden Kante eines Bauwerkes, meistens die Oberkante eines Dammes oder Ufers. Nach DIN 4048 ist der Freibord definiert als der Abstand zwischen dem sogenannten Höchsten Stauziel und dem niedrigsten Punkt einer Bauwerkskrone, die nicht überströmt werden soll.

Grundstücksentwässerung

System von Rohren und Zusatzbauten zur Ableitung von Schmutzwasser- und/oder Regenwasser zu einer Senkgrube, Kanalisation oder sonstigen Entsorgungseinrichtung.

Hochwasser

Hochwasser ist die zeitlich begrenzte Überschwemmung von normalerweise nicht mit Wasser bedecktem Land durch oberirdische Gewässer oder durch in Küstengebiete eindringendes Meerwasser (§ 72 WHG).

Aus hydrologischer Sicht ist Hochwasser die zeitlich begrenzte Zunahme des Abflusses eines Gewässers über dem Basisabfluss, die eine für jeden Abflussquerschnitt aus der Statistik oder den örtlichen Gegebenheiten zu bestimmende Grenze überschreitet, als Folgeerscheinung des Ablaufes meteorologischer (z. B. Frühjahrshochwasser infolge Tauwetter in den Kammlagen) oder künstlich hervorgerufener Ereignisse (z. B. Ablassen einer Talsperre).

Zur Kennzeichnung der Hochwasserereignisse als Bestandteil der hydrologischen Hauptzahlen eines Gewässers an der jeweiligen Messstelle werden häufig verwendet (vgl. DIN 4049):

- HW bzw. HQ: höchster Wasserstand (W) bzw. Abfluss (Q) innerhalb eines bestimmten Betrachtungszeitraums (z. B. eines Hochwasserereignisses)
- HHW bzw. HHQ: höchster bekannter Wasserstand (W) bzw. Abfluss (Q)
- MHW bzw. MHQ: mittlerer Hochwasserstand (W) bzw. -abfluss (Q)

Hochwassergefahrenkarten

Gemäß [EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie, 2007](#) und [Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts vom 31. Juli 2009](#) erfassen Hochwassergefahrenkarten Gebiete, die bei folgenden Hochwasserereignissen überflutet werden könnten:

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

Für jedes dieser Szenarien ist anzugeben:

- Ausmaß der Überflutung;
- Wassertiefe bzw. gegebenenfalls Wasserstand;
- gegebenenfalls Fließgeschwindigkeit oder relevanter Wasserabfluss.

Zusammen mit Hochwasserrisikokarten und Hochwasserrisikomanagementplänen dienen Hochwassergefahrenkarten als Grundlage für die Festlegung von Prioritäten sowie für technische, finanzielle und politische Entscheidungen im Bereich des Hochwasserrisikomanagements.

Die Gefahrenkarten sind von den zuständigen Behörden bis zum 22. Dezember 2013 zu erstellen und danach alle sechs Jahre zu überprüfen und erforderlichenfalls zu aktualisieren (analog Risikokarten).

In die Hochwassergefahrenkarten fließen sowohl das vorhandene Wissen über Hochwasserereignisse der Vergangenheit als auch Erkenntnisse über mögliche, zukünftige Ereignisse ein.

Beispielsweise zeigen die Überschwemmungsgefährdungskarten der IKSR die Umhüllenden der Überschwemmung für verschiedene Wahrscheinlichkeiten und die Wassertiefen für sehr seltene Ereignisse ([IKSR, 2002](#)).

Die Erstellung großflächiger Hochwassergefahrenkarten ist erst durch die heute vorhandene Computermodellierung möglich. Früher konnte die Gefährdung lediglich aufgrund eindeutiger im Gelände erkennbarer Grenzen oder abgelaufener Hochwas-

ser abgeschätzt werden. Die heutigen Berechnungsprogramme ermöglichen die Bestimmung der betroffenen Flächen und der Überflutungstiefe. Für örtliche Situationen kann zusätzlich die Fließgeschwindigkeit und -richtung an jedem beliebigen Ort und zu jedem gewünschten Zeitpunkt der Überschwemmung bestimmt werden. Historische Betrachtungen dienen der Verifikation von Modellrechnungen und zeigen, dass jedes Hochwasser individuell abläuft ([IKSR, 2002](#)).

Hochwasserrisikogebiete

Gebiete, für die als Ergebnis einer behördlichen Bewertung ein signifikantes Hochwasserrisiko festgestellt wird, sind Hochwasserrisikogebiete gemäß [EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie, 2007](#) und [Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts vom 31. Juli 2009](#).

Hochwasserrisiko ist die Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Hochwasserereignisses mit den möglichen nachteiligen Hochwasserfolgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe, wirtschaftliche Tätigkeiten und erhebliche Sachwerte ([Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts vom 31. Juli 2009](#), § 73 Absatz 1).

Hochwasserrisikokarten

In den gemäß [EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie, 2007](#) und [Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts vom 31. Juli 2009](#) zu erstellenden Hochwasserrisikokarten sind das Ausmaß der Überflutung, Wassertiefe bzw. Wasserstand und Fließgeschwindigkeit oder relevanter Wasserabfluss für folgende drei Szenarien zu verzeichnen:

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

Zusammen mit Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikomanagementplänen dienen sie als Grundlage für die Festlegung von Prioritäten sowie für technische, finanzielle und politische Entscheidungen im Bereich des Hochwasserrisikomanagements. Dabei sind auch ggf. betroffene Industrieanlagen anzugeben, von denen „potenzielle hochwasserbedingte nachteilige Auswirkungen“ ausgehen können. Hierbei wird referenziert auf Anlagen gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, die im Falle der Überflutung unbeabsichtigte Umweltverschmutzungen verursachen könnten.

Die Risikokarten sind von den zuständigen Behörden bis zum 22. Dezember 2013 zu erstellen und danach alle sechs Jahre zu überprüfen und erforderlichenfalls zu aktualisieren (analog Gefahrenkarten).

Eine Möglichkeit besteht darin, in Hochwasserrisikokarten das Schadenpotenzial abzubilden. Das Schadenpotenzial ist die Summe der möglicherweise geschädigten Werte im gefährdeten Bereich. Diese Vorgehensweise wurde beispielsweise im Atlas der IKSR über mögliche Schäden bei Extremhochwasser gewählt ([IKSR, 2002](#)).

Hochwasserrisikomanagementpläne

Hochwasserrisikomanagementpläne sind gemäß EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (2007/60/EG) und [Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts vom 31. Juli 2009](#) zu erstellen, um die nachteiligen Auswirkungen von Hochwasser zu vermeiden bzw. zu verringern. Die Hochwasserrisikomanagementpläne erfassen alle Aspekte des Hochwasserrisikomanagements, wobei der Schwerpunkt auf Vermeidung, Schutz und Vorsorge, einschließlich Hochwasservorhersagen und Frühwarnsystemen, liegt⁶². Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten sind Bestandteile der Hochwasserrisikomanagementpläne. Darüber hinaus sollen u. a. eine Übersichtskarte des Flussgebiets, eine Beschreibung der Ziele des Hochwasserrisikomanagements (z. B. Verringerung möglicher nachteiliger Hochwasserfolgen für die Schutzgüter) und die Maßnahmen zur vorbeugenden Hochwasserabwehr (einschließlich deren Rangfolge) in die Hochwasserrisikomanagementpläne aufgenommen werden.

Hochwasserrisikomanagementpläne umfassen vor allem auch Maßnahmen zur Verringerung potenzieller hochwasserbedingter nachteiliger Folgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten und beinhalten die im Anhang der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie beschriebenen Bestandteile. Die Hochwasserrisikomanagementpläne berücksichtigen relevante Aspekte, wie etwa Kosten und Nutzen, Ausdehnung der Überschwemmung und Hochwasserabflusswege und Gebiete mit dem Potenzial zur Retention von Hochwasser, wie z. B. natürliche Überschwemmungsgebiete, die umweltbezogenen Ziele des Artikels 4 der [Wasserrahmenrichtlinie \(2000/60/EG\)](#) Bodennutzung und Wasserwirtschaft, Raumordnung, Flächennutzung, Naturschutz, Schifffahrt und Hafeninfrastuktur. Aufgrund anderer EU-Richtlinien ergriffene Maßnahmen sind in den Plänen zu berücksichtigen. Insbesondere sind in den (Hochwasser-)Risikokarten Anlagen gemäß Anhang I der [Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung \(nunmehr Industrieemissions-Richtlinie der EU\)](#) zu verzeichnen und in den Managementplänen die Maßnahmen von Betriebsbereichen (Betriebe) gemäß der Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen (Seveso-Richtlinie) zu berücksichtigen.

⁶² Vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser: Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen, beschlossen auf der 139. LAWA-VV am 25. & 26. März 2010 in Dresden

Hochwasserrisikomanagementpläne sollen so erstellt werden, dass sie mit den Bewirtschaftungsplänen für die Einzugsgebiete gemäß [Wasserrahmenrichtlinie](#) koordiniert und in diese einbezogen werden können.

Die Hochwasserrisikomanagementpläne sind von den zuständigen Behörden bis spätestens Ende 2015 zu erstellen und danach alle sechs Jahre zu überprüfen und erforderlichenfalls zu aktualisieren. Dabei ist den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Auftreten von Hochwasser Rechnung zu tragen.

Jährlichkeit

Nach DIN 4049-1 wird als Jährlichkeit oder Wiederholungszeitspanne (auch: Wiederkehrintervall) die mittlere Zeitspanne bezeichnet, in der ein Ereignis einen Wert entweder einmal erreicht oder überschreitet bzw. einmal erreicht oder unterschreitet.

Kanalisation

„Netz von Rohrleitungen und zugehörigen Bauwerken, das Abwasser von Abwasserleitungen zu Kläranlagen oder an anderen Entsorgungsstellen ableitet“ (DIN EN 752, 2008)

KOSTRA-DWD 2000

KOSTRA-DWD 2000 ist eine vom Deutschen Wetterdienst autorisierte digitale Datenbank mit Niederschlagshöhen für Deutschland in Abhängigkeit von Dauerstufe und Wiederkehrzeit und umfasst in der neuesten Version von 2006 den Beobachtungszeitraum 1951 bis 2000. KOSTRA steht für **Ko**ordinierte **St**arkniederschlags-**R**egionalisierungs-**A**uswertungen. KOSTRA-DWD 2000 wird veröffentlicht durch das Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, Hannover.

Grundhochwasser

Mit Grundhochwasser wird eine temporäre, unkontrollierte Aufspiegelung von Grundwasser verstanden. Sie kann nach anhaltenden Überschwemmungen, Einstellung von Grundwasserhaltungsmaßnahmen, Veränderungen aufgrund von Baumaßnahmen etc. erfolgen.

Oberflächenüberflutung

„Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eintreten können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder von der Oberfläche her in Gebäude eindringen“ (DIN EN 752, 2008 siehe auch "Überflutung").

Regenabfluss

„Niederschlagswasser, das auf einer Oberfläche in ein Entwässerungssystem oder einen Vorfluter abfließt“ (DIN EN 752, 2008).

Rückstauenebene

Die Rückstauenebene markiert den höchstmöglichen Stand des Abwassers an einer bestimmten Stelle in einem Kanalsystem. Soweit nichts anderes festgelegt ist, gilt an der Anschlussstelle des Grundstücksentwässerungskanal die Straßenoberkante (genauer: Geländehöhe der Schachtabdeckung) als maßgebende Rückstauenebene (vgl. auch Rückstaulinie).

Rückstaulinie

Berechneter oder tatsächlich auftretender Wasserstand des Abwassers in einem Entwässerungssystem infolge der hydraulischen Bedingungen stromabwärts (DIN EN 752, 2008, vgl. auch Rückstauenebene).

Schauer

Kurz andauerndes Niederschlagsereignis (unter einer Stunde) mit meist hoher, manchmal schnell wechselnder Niederschlagsintensität und eng begrenztem Niederschlagsfeld (i. d. R. kleiner als 10 km²). Schauer werden auch als konvektiver Niederschlag bezeichnet, weil sie durch starke vertikale Luftbewegungen (Konvektion) entstehen ([Wetterlexikon DWD, 2009](#)).

Sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA)

Als sicherheitsrelevante Anlagenteile sind alle Apparate, Maschinen, Systeme, Ausrüstungsteile oder Einrichtungen anzusehen, von deren Auslegung, Beschaffenheit und Funktionsweise in besonderer Weise die Sicherheit der Anlage und die Begrenzung von Störfallauswirkungen abhängen. Sicherheitsrelevante Anlagenteile sind

- Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt sowie
- Anlagenteile mit besonderer Funktion.

Sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) mit besonderem Stoffinhalt sind Anlagenteile, in denen ein Stoff, der von Anhang I der StörfallV erfasst ist, in sicherheitstechnisch relevanter Menge vorhanden sein kann.

Hinweise zur Ermittlung der sicherheitsrelevanten Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt gibt der Bericht „Richtwerte für sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereiches (SRB)“ (KAS-1, 2006).

Sicherheitsrelevante Teile des Betriebsbereiches (SRB)

Sicherheitsrelevante Teile des Betriebsbereiches (SRB), wie in § 4 Nummer 4 und Anhang II Nummer III.1 StörfallV genannt, sind die Anlagen, in denen Stoffe nach Anhang I StörfallV in relevanten Mengen vorhanden sind, und die Anlagen, deren Betrieb zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung von „Dennoch-Störfällen“ erforderlich sind. Sie sollen damit von den „konventionellen“ Bereichen auf dem Betriebsgelände abgegrenzt werden, in denen gefährlichen Stoffe nicht in relevanten Mengen vorhanden sind und die nicht unmittelbar für den sicheren Betrieb erforderlich sind, wie Verwaltungsgebäude, Werkstattgebäude etc.

Stand der Sicherheitstechnik

Gemäß § 2 StörfallV wird als Stand der Sicherheitstechnik jener Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen bezeichnet, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung ihrer Auswirkungen gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Sicherheitstechnik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind.

Dies gilt auch für die technischen Vorkehrungen und organisatorischen Maßnahmen, die zur Verhinderung von Störfällen oder zur vorbeugenden Begrenzung von Störfallauswirkungen aufgrund der aus den auslösenden Ereignissen folgenden Gefahrenquellen erforderlich sind.

Störfall

Ein Störfall ist gemäß § 2 StörfallV ein Ereignis, wie z. B. eine Emission, ein Brand oder eine Explosion größeren Ausmaßes, das sich aus einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs in einem unter die Störfall-Verordnung fallenden Betriebsbereich oder in einer unter die Störfall-Verordnung fallenden Anlage ergibt, das unmittelbar oder später innerhalb oder außerhalb des Betriebsbereichs oder der Anlage zu einer ernststen Gefahr oder zu Sachschäden (gemäß StörfallV Anhang VI Teil 1 Ziffer I Nummer 4) führt und bei dem ein oder mehrere gefährliche Stoffe beteiligt sind.

Störfallstoffe

Störfallstoffe sind gefährliche Stoffe gemäß Störfall-Verordnung, d. h. Stoffe, Gemische oder Zubereitungen, die in Anhang I der Störfall-Verordnung aufgeführt sind oder die dort festgelegten Kriterien erfüllen und die als Rohstoff, Endprodukt, Nebenprodukt, Rückstand oder Zwischenprodukt vorkommen, einschließlich derjenigen, bei denen vernünftigerweise davon auszugehen ist, dass sie bei einem außer Kontrolle geratenen industriellen chemischen Verfahren anfallen können.

Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs

Eine Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs bzw. Betriebsstörung ist eine sicherheitstechnisch bedeutsame Abweichung vom bestimmungsgemäßen Betrieb. So liegt bei Anlagen mit EMSR-Einrichtungen (Elektro-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik) eine Betriebsstörung z. B. dann vor, wenn eine sicherheitsrelevante Prozessgröße unter Berücksichtigung der Toleranzen des Meßsystems den Grenzwert in Richtung des unzulässigen Bereichs der Überwachungseinrichtung verlässt.

Sturzflutereignisse

Insbesondere durch konvektive Starkniederschlagsereignisse ausgelöstes, schnell (i. d. R. in Minuten bis Stunden Vervielfachung des Abflusses) eintretende Überflutung oder eintretendes Hochwasser, häufig verbunden starker Strömung und Treibgut. Weitere relevante Ursachen von Sturzflutereignissen sind Gletscherseeausbrüche oder das Versagen von Talsperren.

Überlastung

„Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser in einem Freispiegelsystem oder in einer Kanalisation unter Druck abfließen, aber nicht an die Oberfläche gelangen und so keine Überflutung verursachen,“ (DIN EN 752, 2008).

Überlastung einer Kanalstrecke besteht z. B. dann, wenn der Wasserstand höher liegt als der Rohrscheitel. Dann geht die Art des Abflusses vom Freispiegelabfluss über in Abfluss unter Druck (vgl. Anhang 2 Abbildung 1).

Überschwemmungsgebiete

Überschwemmungsgebiete sind nach dem Wasserhaushaltsgesetz Gebiete zwischen oberirdischen Gewässern und Deichen oder Hochufern und sonstige Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt oder durchflossen oder die für Hochwasserentlastung oder Rückhaltung beansprucht werden. Die [EG-Hochwasserrisiko-managementrichtlinie, 2007](#) hebt die Bedeutung der Überschwemmungsgebiete als natürliche Retentionsflächen hervor. Überschwemmungsgebiete werden durch die Landesregierungen auf der Grundlage eines HQ₁₀₀ festgesetzt.

Überstau

Ein Überstau liegt vor, wenn der Wasserstand einen vorgegebenen Kontrollquerschnitt überschreitet. Das Bezugsniveau kann die Geländeoberkante (GOK) aber auch ein darunter liegendes Niveau, wie z. B. der unterste Boden einer Anlage, sein (vgl. Anhang 2 Abbildung 1).

Vorfluter

„Jedes Gewässer, in das Wasser oder Abwasser eingeleitet wird“ (DIN EN 752, 2008)

Wellenauflauf

Als Wellenauflauf wird der vertikale Abstand zwischen dem Ruhewasserspiegel und der Höhe der auf der Böschung des Deiches auslaufenden Welle verstanden.

Der Wellenauflauf wird u. a. beeinflusst von

- Struktur des Deiches (u. a. seeseitige Neigung, Vorstrandgeometrie, Oberflächenrauheit),
- Wellenparameter (Wellenhöhe, Wellenperiode, Wellenrichtung, Wellenspektrum),
- Windparameter (Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Winddauer).

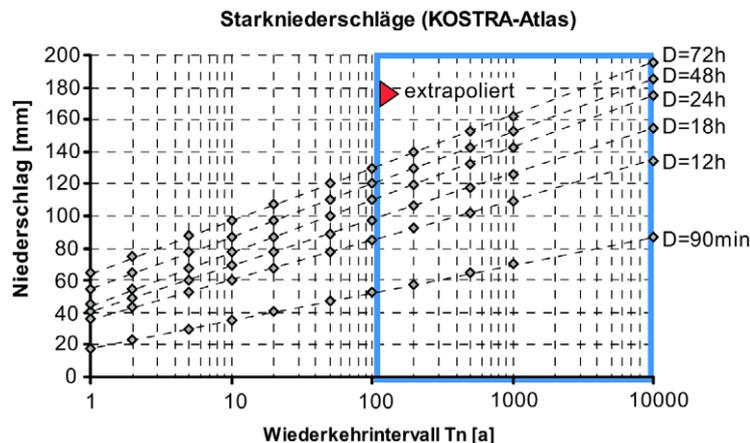
Kurze, steile Böschungen erzeugen deutlich größere Wellenaufläufe, als Böschungen, die über eine größere Strecke flach ansteigen.

Anhang 3: Extremwerte des Niederschlags, Zeitbeiwertverfahren, Fließzeitverfahren, SCS-Methode (TR-55) und KALYPSO

Zur Ermittlung von Überflutungshöhen müssen aus Extremniederschlagswerten Überflutungshöhen berechnet werden. Hierzu können die dargestellten Extremwerte des Niederschlags und die Berechnungsmethoden Zeitbeiwertverfahren, Fließzeitverfahren, SCS-Methode (TR-55) und KALYPSO genutzt werden.

Extremwerte des Niederschlags

Im Rahmen des Projektes PEN⁶³ „Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags“ wurde die Generierung von praxisrelevanten Extremwerten für Starkregenereignisse mit einer Jährlichkeit von 1.000 Jahren und 10.000 Jahren untersucht. Diese sind für die Dimensionierung wasserbaulicher Maßnahmen erforderlich. Im Kern wird der für die einzelnen Regionen (Raster) vorhandene Datensatz, die im KOSTRA-Atlas⁶⁴ zusammengestellt sind, extrapoliert (**Anhang 3, Abbildung 1**).



Anhang 3 Abb. 1: Beispiel zur Extrapolation der Niederschläge für ein Rasterfeld aus dem KOSTRA-Atlas⁶⁵

In den folgenden Abbildungen sind exemplarisch die Ergebnisse der Ermittlung der Niederschlagshöhen für Jährlichkeiten von 1.000 und 10.000 Jahren bei einer Niederschlagsdauer von 48 Stunden dargestellt.

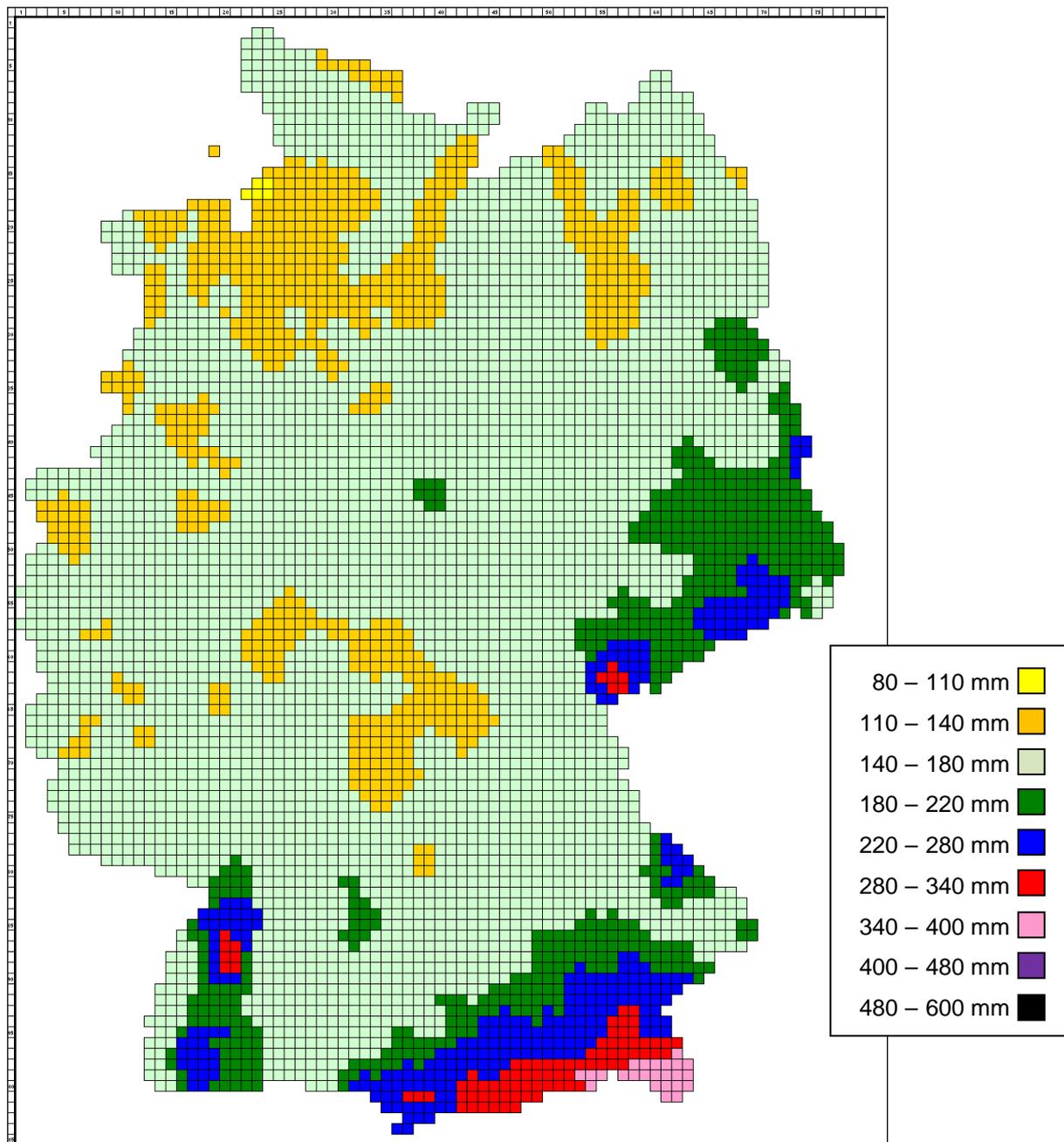
⁶³ Verworn, H.-R.; Kummer, U.: Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN). Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, 2003,

⁶⁴ DWD (1997): KOSTRA-Atlas, Starkniederschlagshöhen für Deutschland. Offenbach.

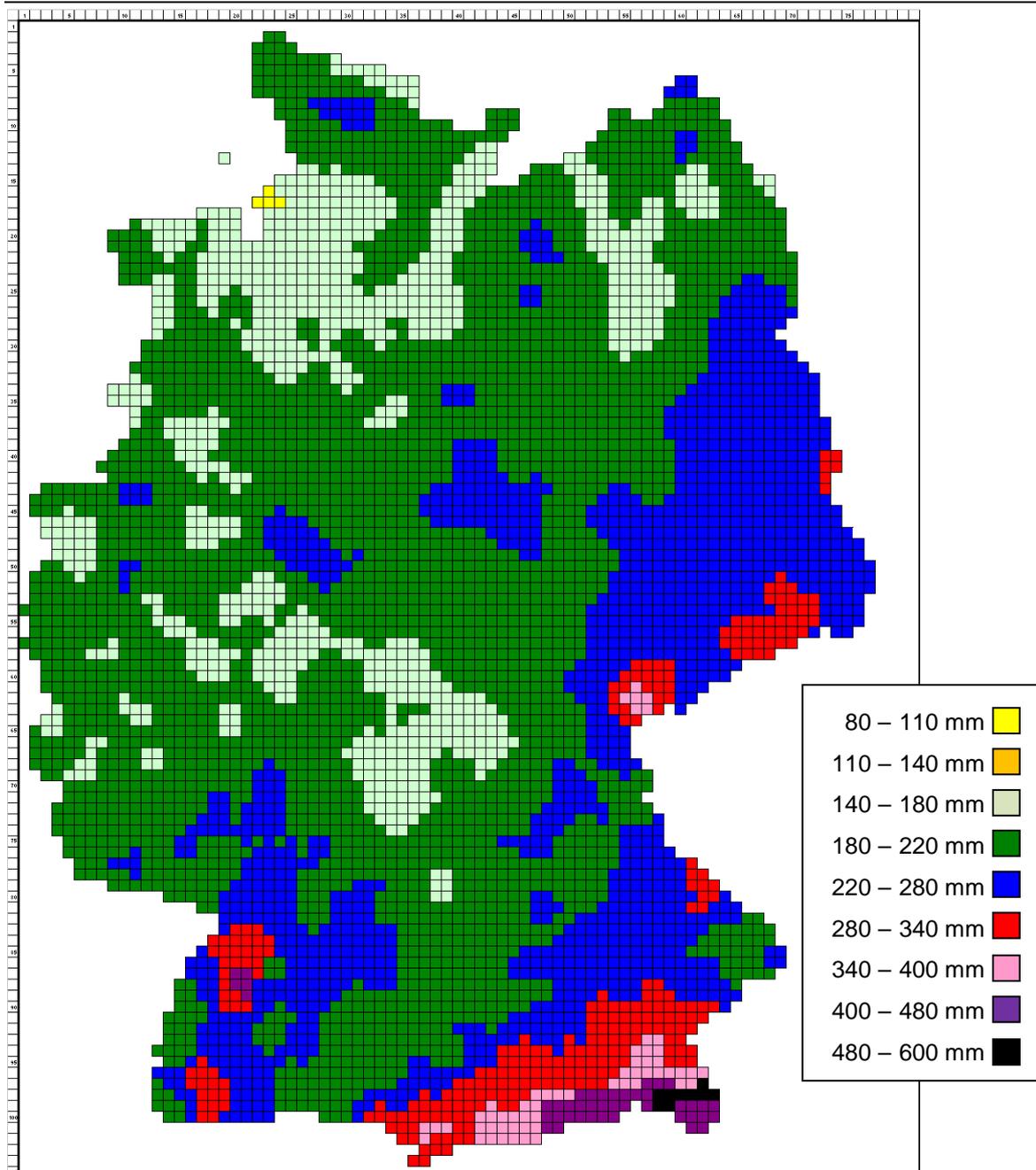
⁶⁵ Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Ermittlung von Bemessungsabflüssen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen, Merkblätter Band 46, 2004

Hinweise und Erläuterungen zur TRAS

Anhang 3: Extremwerte des Niederschlags, Zeitbeiwertverfahren / Fließzeitverfahren,
SCS-Methode (TR-55) und KALYPSO



Anhang 3 Abb. 2: PEN Niederschlagshöhen D = 48 h, T = 1.000 a



Anhang 3 Abb. 3: PEN Niederschlagshöhen $D = 48$ h, $T = 10.000$ a

Entsprechende Angaben für 6, 12, 24 und 72 Stunden sind dem Bericht „Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN)“ des Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover zu entnehmen.

Zeitbeiwertverfahren, Fließzeitverfahren

Niederschlag-Abfluss-Berechnungen haben eine lange Tradition. Das bekannteste und bis in die Gegenwart angewendete Verfahren ist das Zeitbeiwertverfahren bzw. die im englischen Sprachraum übliche rational method (ATV-DVWK-M 165).

Hinweise und Erläuterungen zur TRAS

Anhang 3: Extremwerte des Niederschlags, Zeitbeiwertverfahren / Fließzeitverfahren, SCS-Methode (TR-55) und KALYPSO

Das Verfahren ist dadurch charakterisiert, dass der Abfluss aus der Einzugsgebietsfläche A_E multipliziert mit einem Abflussbeiwert ψ und der Regenspende r je Flächeneinheit und Zeit ermittelt wird.

Für die Berechnung der an der Eintrittsstelle in den Kanal oder an einem bestimmten Kanalquerschnitt zu erwartenden Menge an Niederschlagswasser gilt nach DWA-A118 folgende Formel:

$$Q_R = r_{D,n} * \Psi_s * A_{E,k}$$

Mit:

- Q_R = Regenwetterabfluss [l/s]
- $r_{D,n}$ = Regenspende der Dauer D und der Häufigkeit n [l/(s·ha)]
- Ψ_s = Spitzenabflussbeiwert; Quotient aus maximaler Niederschlagsabflussspende q_{max} und zugehöriger maximaler Regenspende r_{max}
- $A_{E,k}$ = Fläche des kanalisierten bzw. durch ein Entwässerungssystem erfassten Einzugsgebietes

Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass der höchste Niederschlagsabfluss dann zu verzeichnen ist, wenn die Fließzeit mit der Berechnungsregendauer übereinstimmt. Der Spitzenabflussbeiwert Ψ_s kann DWA-A118 entnommen werden (vgl. **Anhang 3, Tabelle 1**).

Anhang 3, Tab. 1: Empfohlene Spitzenabflussbeiwerte für unterschiedliche Regenspenden bei einer Regendauer von 15 min (r_{15}) in Abhängigkeit von der mittleren Geländeneigung IG und dem Befestigungsgrad (für Fließzeitverfahren)

Befestigungsgrad [%]	Gruppe 1 $IG < 1\%$				Gruppe 2 $1\% \leq IG \leq 4\%$				Gruppe 3 $4\% < IG \leq 10\%$				Gruppe 4 $IG > 10\%$			
	für r_{15} [l/(s·ha)] von															
	100	130	180	225	100	130	180	225	100	130	180	225	100	130	180	225
0 *)	0,00	0,00	0,10	0,31	0,10	0,15	0,30	(0,46)	0,15	0,20	(0,45)	(0,60)	0,20	0,30	(0,55)	(0,75)
10 *)	0,09	0,09	0,19	0,38	0,18	0,23	0,37	(0,51)	0,23	0,28	0,50	(0,64)	0,28	0,37	(0,59)	(0,77)
20	0,18	0,18	0,27	0,44	0,27	0,31	0,43	0,56	0,31	0,35	0,55	0,67	0,35	0,43	0,63	0,80
30	0,28	0,28	0,36	0,51	0,35	0,39	0,50	0,61	0,39	0,42	0,60	0,71	0,42	0,50	0,68	0,82
40	0,37	0,37	0,44	0,57	0,44	0,47	0,56	0,66	0,47	0,50	0,65	0,75	0,50	0,56	0,72	0,84
50	0,46	0,46	0,53	0,64	0,52	0,55	0,63	0,72	0,55	0,58	0,71	0,79	0,58	0,63	0,76	0,87
60	0,55	0,55	0,61	0,70	0,60	0,63	0,70	0,77	0,62	0,65	0,76	0,82	0,65	0,70	0,80	0,89
70	0,64	0,64	0,70	0,77	0,68	0,71	0,76	0,82	0,70	0,72	0,81	0,86	0,72	0,76	0,84	0,91
80	0,74	0,74	0,78	0,83	0,77	0,79	0,83	0,87	0,78	0,80	0,86	0,90	0,80	0,83	0,87	0,93
90	0,83	0,83	0,87	0,90	0,86	0,87	0,89	0,92	0,86	0,88	0,91	0,93	0,88	0,89	0,93	0,96
100	0,92	0,92	0,95	0,96	0,94	0,95	0,96	0,97	0,94	0,95	0,96	0,97	0,95	0,96	0,97	0,98

*) Befestigungsgrade $\leq 10\%$ bedürfen i. d. R. einer gesonderten Betrachtung

Weichen Regendauer D und Fließzeit t_f voneinander ab, wird die Regenspende durch Multiplikation mit einem Zeitbeiwert φ angepasst:

- Bei $t_f > D$: Regenspende wird durch Multiplikation mit $\varphi < 1$ vermindert
- Bei $t_f < D$: Regenspende wird durch Multiplikation mit $\varphi > 1$ erhöht

Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass

- die Regenspende (Ergiebigkeit) mit zunehmender Regendauer abnimmt

und somit

- die maximale Durchflussmenge kleiner als die errechnete Abflussmenge ist, wenn die Fließzeit länger dauert, als der zugrunde gelegte Berechnungsregen.

Die o. g. Umrechnung mit Hilfe des Zeitbeiwerts φ entfällt, wenn anstelle der früher üblichen Bezugsregenspende $r_{15,1}$ auf die jeweils zutreffende Regenspende $r_{D,n}$, gemäß KOSTRA-DWD zurück gegriffen wird.

Hinweise und Erläuterungen zur TRAS

Anhang 3: Extremwerte des Niederschlags, Zeitbeiwertverfahren / Fließzeitverfahren, SCS-Methode (TR-55) und KALYPSO



Deutscher Wetterdienst Abt. Hydrometeorologie
KOSTRA-DWD 2000

Niederschlagshöhen und -spenden
Zeitspanne : Januar - Dezember
Rasterfeld : Spalte: 53 Zeile: 60

T	0,5		1,0		2,0		5,0		10,0		20,0		50,0		100,0	
D	hN	rN	hN	rN	hN	rN	hN	rN	hN	rN	hN	rN	hN	rN	hN	rN
5,0 min	2,7	90,2	4,7	155,4	6,6	220,7	9,2	306,9	11,2	372,1	13,1	437,4	15,7	523,6	17,7	588,8
10,0 min	5,0	83,2	7,7	127,7	10,3	172,1	13,9	230,9	16,5	275,4	19,2	319,9	22,7	378,7	25,4	423,1
15,0 min	6,6	72,8	9,8	108,3	12,9	143,9	17,2	190,9	20,4	226,4	23,6	261,9	27,8	308,9	31,0	344,5
20,0 min	7,7	63,8	11,3	94,1	14,9	124,4	19,7	164,5	23,4	194,8	27,0	225,1	31,8	265,2	35,5	295,5
30,0 min	9,0	50,3	13,4	74,5	17,8	98,7	23,5	130,7	27,9	155,0	32,3	179,2	38,0	211,2	42,4	235,4
45,0 min	10,1	37,4	15,3	56,7	20,5	76,1	27,5	101,7	32,7	121,1	37,9	140,4	44,8	166,0	50,1	185,4
60,0 min	10,6	29,3	16,5	45,8	22,4	62,3	30,3	84,2	36,3	100,7	42,2	117,2	50,1	139,0	56,0	155,6
90,0 min	12,2	22,7	18,1	33,5	23,9	44,3	31,7	58,7	37,5	69,5	43,4	80,4	51,1	94,7	57,0	105,6
2,0 h	13,5	18,8	19,3	26,8	25,1	34,9	32,8	45,5	38,6	53,6	44,3	61,6	52,0	72,2	57,8	80,3
3,0 h	15,5	14,3	21,2	19,6	26,9	24,9	34,4	31,9	40,1	37,2	45,8	42,4	53,4	49,4	59,1	54,7
4,0 h	17,0	11,8	22,6	15,7	28,2	19,6	35,7	24,8	41,4	28,7	47,0	32,6	54,5	37,8	60,1	41,7
6,0 h	19,2	8,9	24,8	11,5	30,3	14,0	37,7	17,4	43,3	20,0	48,8	22,6	56,2	26,0	61,7	28,6
9,0 h	21,7	6,7	27,2	8,4	32,6	10,1	39,9	12,3	45,4	14,0	50,8	15,7	58,1	17,9	63,6	19,6
12,0 h	23,6	5,5	29,0	6,7	34,4	8,0	41,6	9,6	47,0	10,9	52,4	12,1	59,6	13,8	65,0	15,0
18,0 h	23,7	3,7	30,8	4,7	37,8	5,8	47,1	7,3	54,1	8,4	61,2	9,4	70,5	10,9	77,5	12,0
24,0 h	23,8	2,8	32,5	3,8	41,2	4,8	52,6	6,1	61,3	7,1	69,9	8,1	81,3	9,4	90,0	10,4
48,0 h	33,7	2,0	45,0	2,6	56,3	3,3	71,2	4,1	82,5	4,8	93,8	5,4	108,7	6,3	120,0	6,9
72,0 h	32,2	1,2	45,0	1,7	57,8	2,2	74,7	2,9	87,5	3,4	100,3	3,9	117,2	4,5	130,0	5,0

- T - Wiederkehrzeit (in [a]): mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet
- D - Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen (in [min, h])
- h - Niederschlagshöhe (in [mm])
- rN - Niederschlagsspende (in [l/(s*ha)])

Für die Berechnung wurden folgende Grundwerte (hN in [mm]) verwendet:

T/D	15,0 min	60,0 min	12,0 h	24,0 h	48,0 h	72,0 h
1 a	9,75	16,50	29,00	32,50	45,00	45,00
100 a	31,00	56,00	65,00	90,00	120,00	130,00

Berechnung "Kurze Dauerstufen" (D<=60 min): u hyperbolisch, w doppelt logarithmisch

Wenn die angegebenen Werte für Planungszwecke herangezogen werden, sollte für rN(D;T) bzw. hN(D;T) in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit (Jährlichkeit)

bei 0,5 a <= T <= 5 a ein Toleranzbetrag ± 10 %,

bei 5 a < T <= 50 a ein Toleranzbetrag ± 15 %,

bei 50 a < T <= 100 a ein Toleranzbetrag ± 20 %, Berücksichtigung finden.

Anhang 3 Abb. 4: Beispiel der Informationen, die mit KOSTRA-DWD bereitgestellt werden (Auszug)

Für zusammenhängende Einzugsgebietsflächen können bei vereinfachten Niederschlag-Abfluss-Berechnungen nach dem Zeitbeiwertverfahren die in DWA-M 153 tabellierten mittleren Abflussbeiwerte ψ_m herangezogen werden (vgl. Anhang 3, Tabelle 2).

Anhang 3, Tab. 2: Empfohlene mittlere Abflussbeiwerte Ψ_m von Einzugsgebietsflächen (aus DWA-M 153)

Flächentyp	Art der Befestigung	Ψ_m
Schrägdach	Metall, Glas, Schiefer, Faserzement	0,9 - 1,0
	Ziegel, Dachpappe	0,8 - 1,0
Flachdach (Neigung bis 3° oder ca. 5 %)	Metall, Glas, Faserzement	0,9 - 1,0
	Dachpappe	0,9
	Kies	0,7
Gründach (Neigung bis 15° oder ca. 25 %)	humusiert < 10 cm Aufbau	0,5
	humusiert \geq 10 cm Aufbau	0,3
Straßen, Wege und Plätze (flach)	Asphalt, fugenloser Beton	0,9
	Pflaster mit dichten Fugen	0,75
	fester Kiesbelag	0,6
	Pflaster mit offenen Fugen	0,5
	lockerer Kiesbelag, Schotterrasen	0,3
	Verbundsteine mit Fugen, Sickersteine	0,25
	Rasengittersteine	0,15
Böschungen, Bankette und Gräben mit Regenabfluss in das Entwässerungssystem	toniger Boden	0,5
	lehmiger Sandboden	0,4
	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

TR-55 des Natural Resource Conservation Service (NRCS)

Die zur Beurteilung der Gefährdungslage essentiellen Ausgangsinformationen wie die oberirdische Abflussmenge, die Fließtiefe und die Fließzeit zwischen Niederschlagsereignis und Hochwasserscheitel können ggf. analog [TR-55 des Soil Conservation Service \(SCS\), heute Natural Resources Conservation Service \(NRCS\) des Department of Agriculture der U.S.A.](#) ermittelt werden.

Mit einfachen und plausiblen Mitteln lassen sich die abflusswirksame Niederschlagsmenge und der oberirdische Spitzenabflusses in kleinen Einzugsgebieten mit bis zu 25 square miles (~ 65 km²) ermitteln. Hierfür ist auch ein Programm verfügbar, das von der Internetseite des NRCS kostenlos herunter geladen werden kann ([WinTR-55](#)). Dieses Programm läuft auf Rechnern mit Microsoft-Windows-Betriebssystem und kann wahlweise auch so eingestellt werden, dass sämtliche Berechnungen unter Verwendung metrischer Maßeinheiten erfolgen.

Ausgangspunkt der Berechnungen sind 24 h-Niederschläge mit einer Ergiebigkeit von bis zu 50 inches (~ 270 mm).

Folgende Eingangsinformationen werden benötigt:

- Fläche des Einzugsgebiets (und seiner Teile, soweit unterschiedliche Versiegelung, Bodentypen, Landnutzung usw. zu berücksichtigen sind),
- Länge des Fließwegs des oberirdischen Abflusses,

Hinweise und Erläuterungen zur TRAS

Anhang 3: Extremwerte des Niederschlags, Zeitbeiwertverfahren / Fließzeitverfahren, SCS-Methode (TR-55) und KALYPSO

- Niederschlagshöhen und Jährlichkeiten (können z. B. aus KOSTRA-DWD entnommen werden),
- Art der Verteilung des Niederschlags im Einzugsgebiet und Form der Abflussganglinie (soweit vom Standard abgewichen werden soll),
- „Curve Number“ (Koeffizient zur Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen versiegelten und unversiegelten Flächen auf den abflusswirksamen Anteil des Niederschlags; kann aus Tabellen abgelesen werden, erforderlichenfalls mit Interpolation).

Als erster Schritt wird der oberirdische Abfluss ermittelt. Dies erfolgt mit Hilfe der „Curve Number“-Methode. Diese Methode wurde nach dem Regenüberschuss-Konzept für kleine Einzugsgebiete entwickelt und berücksichtigt hydrologische Bodeneigenschaften, Grad der Versiegelung und - soweit zutreffend - Art der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Das Verfahren liefert den Gesamtabfluss für das Niederschlags-Abfluss-Ereignis als empirische Gleichung auf der Basis von Beobachtungsdaten (siehe folgende Formeln und **Anhang 3, Abbildung 5**). In **Anhang 3, Tabelle 3** ist der aus den folgenden Formeln resultierende oberirdische Abfluss für Niederschlagswerte P zwischen 10 mm und 250 mm in Abhängigkeit des CN-Werts beispielhaft tabelliert.

$$R_{\text{Sur}} = \frac{P - 0,2S}{P + 0,8S}$$

Mit:

R_{Sur} = oberirdischer Abfluss [mm]

P = Niederschlag [mm]

S = maximales Speichervermögen des Bodens [mm]

S errechnet sich wie folgt:

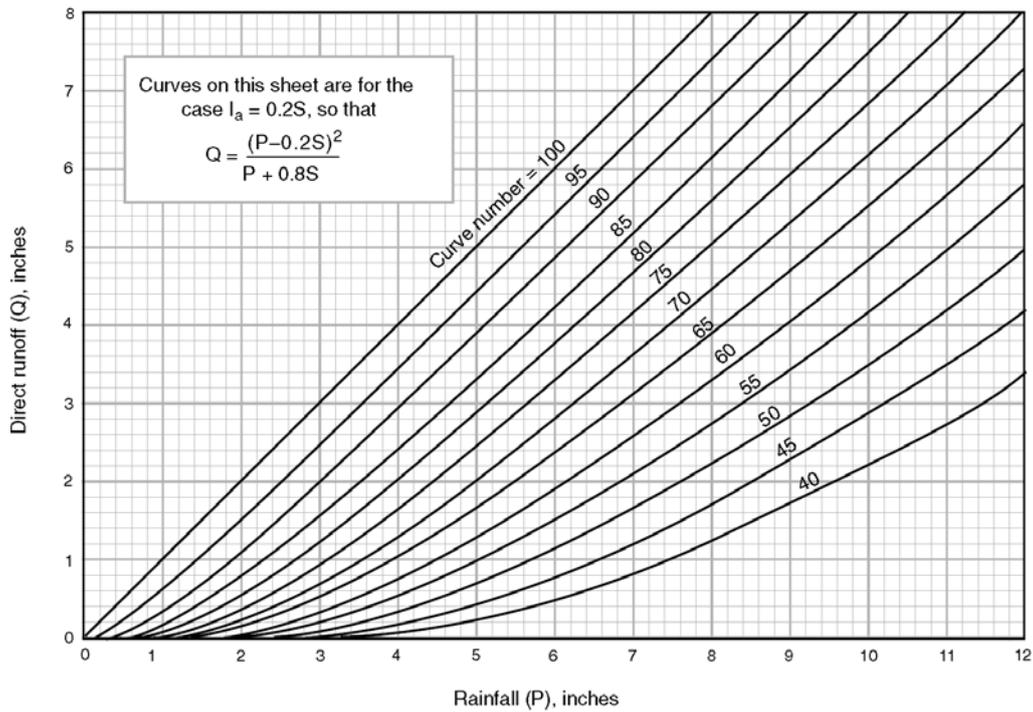
$$S = 25,4 * \left(\frac{1000}{\text{CN}} - 10 \right)$$

Mit:

CN = Curve Number [-]

25,4 = Umrechnungsfaktor Inch/mm

Anhang 3: Extremwerte des Niederschlags, Zeitbeiwertverfahren / Fließzeitverfahren, SCS-Methode (TR-55) und KALYPSO



Anhang 3 Abb. 5: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluss gemäß TR-55 für unterschiedliche Oberflächentypen (letzteres ausgedrückt durch die Curve Number CN)

Anhang 3, Tab. 3: Oberirdischer Abfluss R_{Sur} [mm] für verschiedene Niederschläge P [mm] und CN-Werte

CN:	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98	
S:	381,00	310,44	254,00	207,82	169,33	136,77	108,86	84,67	63,50	44,82	28,22	13,37	5,18	
Niederschlag P	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,58	2,59	5,68	
	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,75	2,18	4,84	9,78	14,89	
	30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,58	1,75	3,70	6,72	11,28	18,35	24,57
	40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	1,07	2,61	4,94	8,21	12,70	18,86	27,48	34,39
	50	0,00	0,00	0,00	0,33	1,40	3,22	5,81	9,29	13,80	19,61	27,11	36,90	44,28
	60	0,00	0,00	0,32	1,50	3,49	6,29	9,94	14,52	20,19	27,17	35,78	46,49	54,20
	70	0,00	0,20	1,35	3,42	6,35	10,14	14,81	20,45	27,18	35,19	44,74	56,17	64,14
	80	0,04	0,98	3,01	6,00	9,88	14,63	20,29	26,92	34,63	43,55	53,90	65,93	74,10
	90	0,48	2,30	5,24	9,16	13,98	19,68	26,29	33,85	42,44	52,18	63,21	75,73	84,07
	100	1,40	4,13	7,98	12,83	18,57	25,20	32,71	41,14	50,54	61,00	72,63	85,57	94,04
	110	2,75	6,41	11,19	16,95	23,61	31,13	39,50	48,73	58,88	69,99	82,14	95,44	104,01
	120	4,52	9,10	14,82	21,49	29,04	37,41	46,59	56,58	67,41	79,10	91,72	105,33	114,00
	130	6,66	12,19	18,83	26,40	34,81	44,01	53,96	64,65	76,10	88,33	101,35	115,23	123,98
	140	9,15	15,63	23,18	31,64	40,89	50,88	61,55	72,91	84,93	97,64	111,03	125,14	133,97
	150	11,98	19,40	27,86	37,18	47,25	57,98	69,35	81,32	93,88	107,02	120,75	135,07	143,95
	160	15,11	23,48	32,83	42,99	53,85	65,31	77,33	89,88	102,93	116,47	130,50	145,00	153,94
	170	18,53	27,83	38,07	49,06	60,67	72,82	85,46	98,55	112,06	125,97	140,27	154,95	163,93
	180	22,22	32,46	43,56	55,35	67,69	80,51	93,74	107,34	121,27	135,52	150,07	164,90	173,93
	190	26,17	37,32	49,28	61,85	74,90	88,35	102,14	116,21	130,55	145,11	159,88	174,85	183,92
	200	30,36	42,42	55,21	68,54	82,27	96,33	110,65	125,17	139,88	154,73	169,71	184,81	193,91
210	34,78	47,73	61,34	75,40	89,80	104,44	119,26	134,21	149,26	164,38	179,56	194,77	203,91	
220	39,40	53,24	67,65	82,43	97,47	112,66	127,96	143,31	158,69	174,06	189,42	204,73	213,90	
230	44,23	58,94	74,13	89,61	105,26	120,99	136,74	152,48	168,16	183,77	199,29	214,70	223,89	
240	49,25	64,81	80,77	96,93	113,17	129,41	145,60	161,69	177,67	193,50	209,17	224,67	233,89	
250	54,45	70,85	87,56	104,37	121,19	137,92	154,53	170,96	187,21	203,24	219,06	234,64	243,89	

Für die Anwendung der „Curve Number“-Methode in Deutschland steht eine flächendeckende Karte zur Verfügung, aus der die zutreffenden CN-Werte unter Berücksichtigung der verfügbaren Daten über die Landnutzung und des hydrologischen Bodentyps entnommen werden können. Diese Karte wurde im Rahmen des UBA-Projekts Fachinformationssystem Klimafolgen und Anpassung (FISKA) FKZ 206 41 100 erstellt (siehe **Anhang 3, Abbildung 6**).

Selbstverständlich kann aber auch eine genauere Ermittlung der CN-Werte anhand der in TR-55 aufgeführten und in WinTR-55 implementierten Tabellen und Rechenvorschriften erfolgen.

Der nächste Schritt besteht darin, die Fließzeit als Quotient aus dem Fließweg (= Inputwert) und der Fließgeschwindigkeit zu berechnen. Somit muss zunächst die Fließgeschwindigkeit bestimmt werden. Dabei sind die sich üblicherweise ausbildenden unterschiedlichen Strömungsformen zu berücksichtigen, die verschiedenes Fließverhalten zeigen:

- Dünner Wasserfilm am Ausgangspunkt des oberirdischen Abflusses, dessen Fließweg mit maximal 300 ft. (~ 100 m) Länge angenommen wird⁶⁶,
- Zusammenfassung des Abflusses in sich bildenden temporären Rinnsalen im mittleren Teil des Einzugsgebiets⁶⁷,
- Ausbildung eines kanalartigen Abflusses im unteren Teil des Einzugsgebiets⁶⁸.

Die Fließgeschwindigkeit für diese drei Strömungsformen wird nach unterschiedlichen Methoden berechnet bzw. ermittelt. Aus den drei Fließgeschwindigkeiten und zugehörigen Teilfließwegen wird die für den gesamten Fließweg anzusetzende Fließgeschwindigkeit (als gewichtetes Mittel) bestimmt. Diese wiederum wird zur Fließzeitberechnung herangezogen.

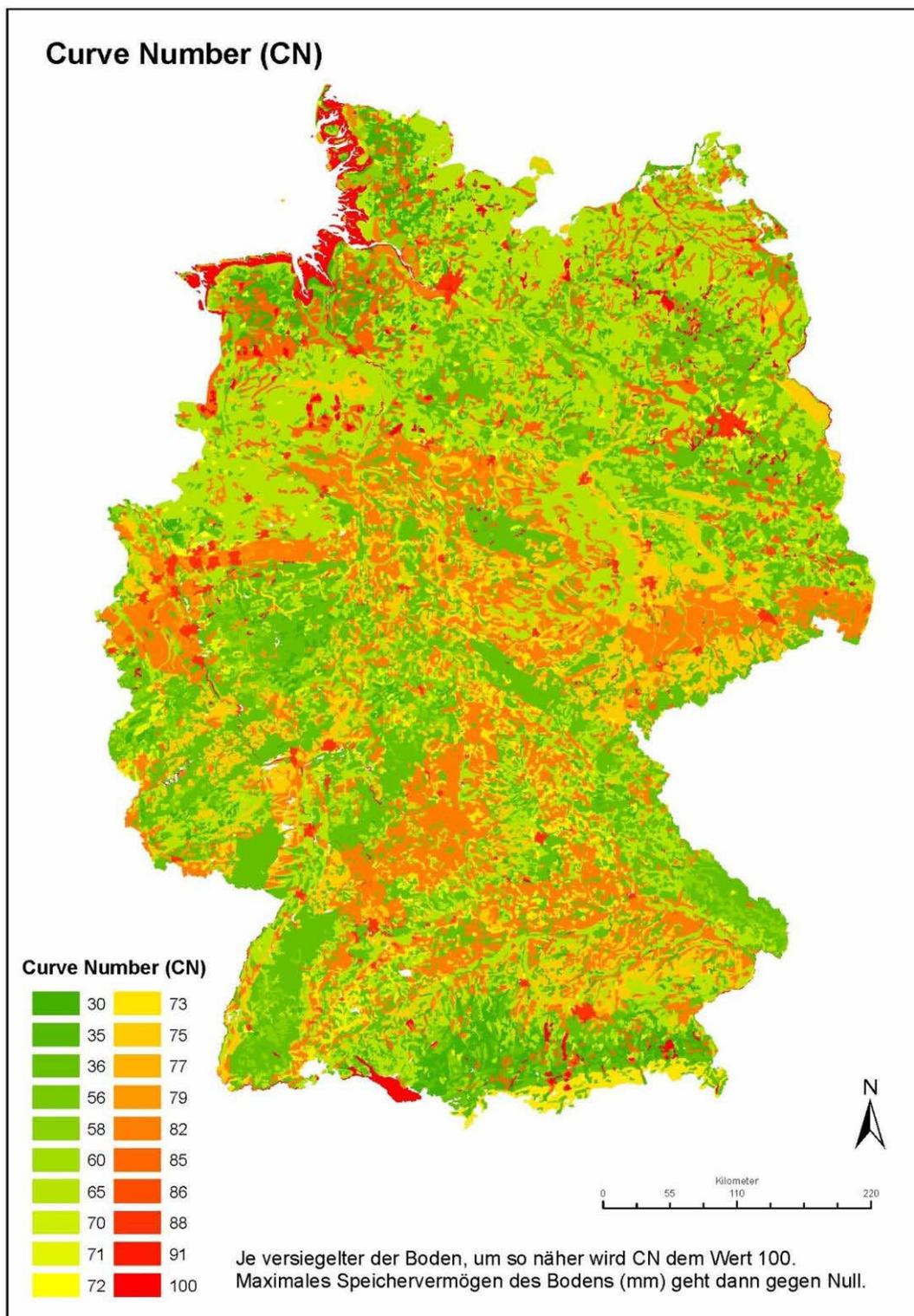
Als nächster Schritt wird der Spitzenabfluss (z. B. in m³/s) berechnet. Dabei fließt u. a. auch die sich verändernde Intensität des Regens über die Zeit (Niederschlagsverteilung) mit ein.

Auf der Grundlage dieser Ausgangswerte wird als letzter Schritt eine Abflussganglinie über die Zeit errechnet. Als Ergebnis der Berechnung erhält man somit u. a. den Spitzenabfluss im Abflussquerschnitt (an der tiefsten Stelle Einzugsgebietes) und dessen Eintrittszeit in Stunden nach Niederschlagsbeginn.

⁶⁶ vergleichbar mit **Abflussbildung** gemäß ATV-DVWK-M 165

⁶⁷ vergleichbar mit **Abflusskonzentration** gemäß ATV-DVWK-M 165

⁶⁸ vergleichbar mit **Kanalabfluss** gemäß ATV-DVWK-M 165



Anhang 3 Abb. 6: Sensitivität der Oberflächeneigenschaften in Deutschland für Starkniederschlagsfluten in Abhängigkeit von Bodenart und Landnutzung.

Berechnungsprogramm KALYPSO

Eine neuere, vom Anwendungsbereich her weniger eingeschränkte, aber auch etwas anspruchsvollere Lösung bietet Kalypso. Kalypso ist eine Software, die von BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH und dem Institut für Wasserbau der TU Hamburg-Harburg im Rahmen eines OpenSource Projektes entwickelt wurde. Das Programmpaket ist auf der Internetseite <http://sourceforge.net/projects/kalypso/files/Kalypso/> für jedermann frei verfügbar. Unter <http://kalypso.bjoernsen.de/> sind einführende Erläuterungen und Übersichten zu den einzelnen Programmbestandteilen verfügbar. Nach Angaben seiner Entwickler besteht der Haupteinsatzzweck von Kalypso in der Erarbeitung von Hochwasserschutzkonzepten sowie Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten. Dementsprechend hat Kalypso eine raumbezogene Sicht auf die Datenbestände.

Kalypso verfügt über Standardfunktionen für die hydrologische und hydraulische Simulation, die eine wirksame Unterstützung bei der Gefahrenquellenanalyse darstellen können. Diese Standardmodule basieren auf KalypsoBASE, greifen auf eine einheitliche Datenbasis zurück und sind ebenfalls als Open Source Codes frei verfügbar. ([Module von Kalypso](#))

Im Einzelnen handelt es sich dabei um folgende Module:

- Kalypso Hydrology: Niederschlag-Abfluss-Simulation; konzeptionelles, deterministisches, nicht lineares, detailliertes hydrologisches Modell
- Kalypso WSPM: 1 D-Wasserspiegellagenberechnung
- Kalypso 1D/2D: Instationäre gekoppelte 1 D/2D-Strömungsberechnung von Oberflächengewässern
- Kalypso Flood: Ermittlung und Darstellung von Überschwemmungsflächen und Fließtiefen (Postprocessing)
- Kalypso Risk: Ausweisung von Hochwasserrisiken entlang von Gewässern (Postprocessing)
- Kalypso Evacuation: Werkzeugkasten zur Unterstützung der Konzeption und Validierung von Evakuierungsstrategien

Hervorzuheben ist, dass die Standards des W3C-Konsortiums und des OpenGIS-Konsortiums unterstützt werden, so dass die Kompatibilität zu anderen Systemen gewährleistet ist. So wird beispielsweise in den Kalypso-Applikationen durchgängig der Standard GML 3 (Geography Markup Language) des OGC unterstützt. Damit wird eine einfache Einbindung in OGC-konforme Geodateninfrastrukturen ermöglicht (z. B. Google Maps).

Wenngleich die anwendungsorientierte grafische Benutzeroberfläche den Umgang mit dem Programm erleichtert, erfordert die erfolgreiche Anwendung doch eine gewisse Einarbeitung. Grundkenntnisse der hydrologischen Zusammenhänge und Erfahrungen im Umgang mit Geoinformationssystemen sind dabei unverzichtbar. Die Anwendung der Software setzt außerdem voraus, dass eine ganze Reihe von Infor-

mationen verfügbar ist bzw. im Rahmen des Projekts akquiriert werden kann. Für das Modul Kalypso Hydrology betrifft dies beispielsweise folgendes:

- Meteorologische und hydrologische Daten (z. B. Zeitreihen für Niederschlag, Temperatur, Verdunstung, Zuflussganglinien, Pegelganglinien)
- Topographische Daten
- Pedologische und geologische Daten
- Landnutzungsdaten
- Informationen über das Kanalnetz
- Bauwerksinformationen (Rückhalteräume, Schöpf- und Pumpwerke)
- Hydraulische Eingangsdaten

Die Aufbereitung dieser Daten umfasst:

- Logische Verknüpfung der Systemelemente (Teilgebiete, Knoten, Stränge) - Systemplan
- Teilgebietsuntergliederung
- Aufbereitung von Landnutzungsdaten
- Aufbereitung von Bodendaten
- Bildung von Hydrotopen
- Aufbereitung der Zeitreihen
- Hydraulische Berechnung
- Ermittlung der Teilgebiets- und Strangdaten (z. B. Schneeparameter, Grundwasserparameter, Speicherkenwerte)
- Ermittlung der Retentionskonstanten
- Ermittlung der Zeitflächenfunktion je Teilgebiet

Nachdem diese Schritte durchlaufen sind, kann mit der Aufstellung des Basismodells begonnen werden.

Anhang 4: Hinweise zur Entwicklung eines Schutzkonzeptes gegen Überflutung

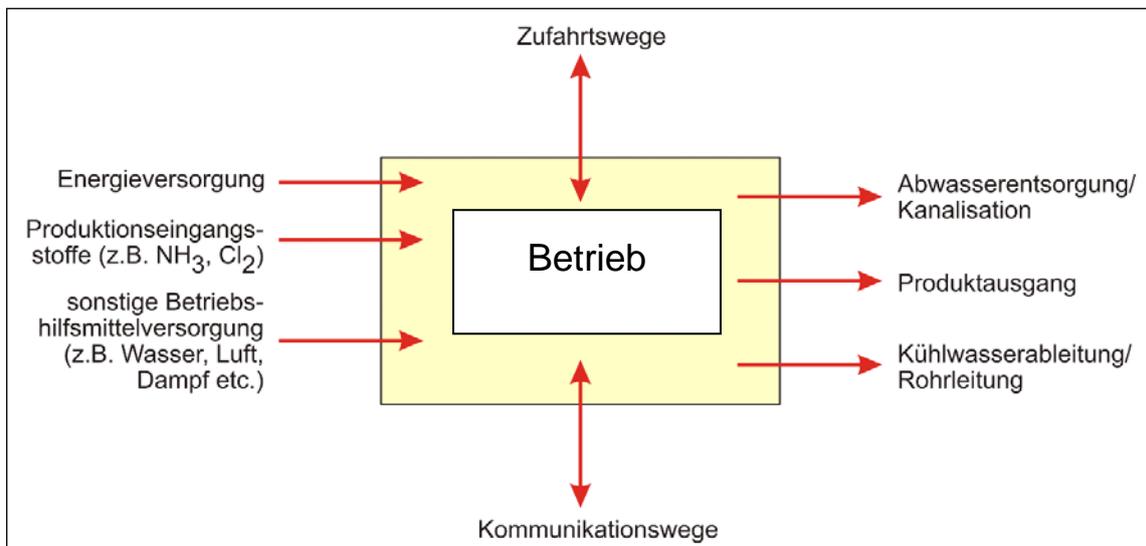
Zur Auswahl geeigneter Maßnahmen und Einrichtungen zum Hochwasserschutz bzw. zum Schutz vor Überflutungen ist die Kenntnis der Rahmenbedingungen eines Ereignisses von entscheidender Bedeutung. Hierzu zählen im Einzelnen:

Wasserstand	Für einen wirksamen Schutz ist die Kenntnis möglicher Wasserstände erforderlich. Hierzu ist eine enge Abstimmung mit den Behörden erforderlich.
Strömungsgeschwindigkeit	Je nach Lage des Betriebes müssen auch die möglichen Strömungsgeschwindigkeiten berücksichtigt werden, weil hierdurch erhebliche Kräfte auf Anlagen ausgeübt werden können. Dies gilt insbesondere für Anlagen an Gebirgsbächen sowie für Anlagen unmittelbar hinter Deichen, die durch einen Deichbruch gefährdet werden könnten. Die Strömungsgeschwindigkeit ist auch bei der Auswahl und Auslegung von mobilen Schutzwänden zu berücksichtigen.
Treibgut	Die Gefahren durch Treibgut sind vor allem bei Gewässern mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten zu beachten.
Eisgang	Auch durch Eisgang können Beschädigungen an Anlagen hervorgerufen werden. Daher sollte auch der Eisgang bei betrieblichen Maßnahmen nicht unbeachtet bleiben.

In den folgenden Abschnitten werden die in der Praxis realisierten technischen Vorkehrungen und organisatorischen Maßnahmen beschrieben, die den gegenwärtigen Stand der Technik zum betrieblichen Hochwasserschutz repräsentieren. Dabei wird zwischen trockener und nasser Vorsorge unterschieden.

Stand der Technik zur trockenen Vorsorge

Die trockene Vorsorge kann entweder am Gebäude selbst oder um das Gebäude bzw. den Betrieb herum erfolgen. In der Regel wird bei der trockenen Vorsorge primär versucht, den gesamten Betrieb bzw. das ganze Betriebsgelände vor Hochwasser zu schützen. Hierzu ist es erforderlich, alle potenziellen Schnittstellen zwischen äußerem und innerem Bereich zu ermitteln.



Anhang 4 Abb. 1: Schnittstellen bei der trockenen Vorsorge

Die trockene Vorsorge kann durch stationäre und instationäre Maßnahmen sicher gestellt werden.

Stationäre Maßnahmen

Der Stand der Technik stationärer Maßnahmen kann wie folgt zusammengefasst werden:

Anheben des Geländeniveaus Ein Chemieunternehmen ließ vor dem Bau neuer Produktionsanlagen wegen der festgestellten Hochwassergefährdung ihr Betriebsgelände anheben. Somit wurde eine Überschwemmung im August 2002 verhindert. Das Anheben des Geländeniveaus ist ein sicherer Weg, Betriebe zu schützen, jedoch in der Regel nur bei Neuanlagen realisierbar. Ob bei älteren Betrieben eine Anhebung des Geländes möglich ist, muss im Einzelfall betrachtet werden. Denkbar ist auch eine lokale Anhebung einzelner Anlagen oder Anlagenteile. Auf diese Weise wird auch ein höherer Schutzgrad vor Treibgut erreicht.

Eindeichung Größere Betriebe werden oftmals durch Deiche geschützt, wie z. B. Tanklager in Raffinerien. Das mit diesen Maßnahmen erreichbare Schutzniveau ist jedoch nicht dem bei einer ausreichenden Höhenlage gleichzusetzen, weil das Risiko z. B. eines Deichversagens oder der Beschädigung durch Treibgut oder Eis je nach Anlagenstandort bestehen bleibt. Zur Erreichung eines hohen Schutzniveaus hat die Errichtung von Flussdeichen nach dem Stand der Technik zu erfolgen. Die DIN 19712 „Flußdeiche“ ist zu beachten.

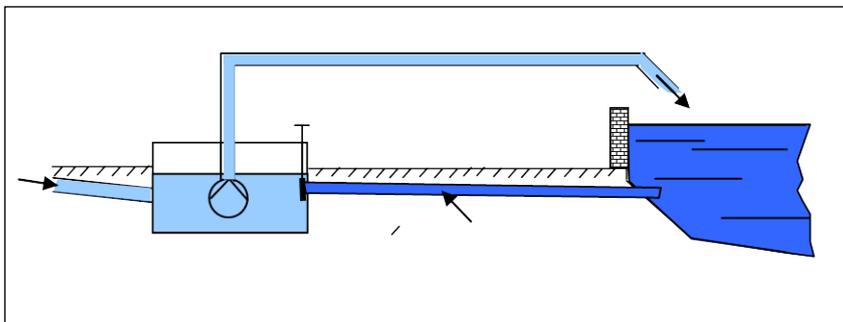
- Schutzwände Feste Schutzwände werden z. B. zur Sicherung zahlreicher chemischer Betriebe am Rhein eingesetzt. Grundlage zur Bemessung der Höhe der Schutzwände ist der in den Gefahrenkarten ausgewiesene Wasserstand über dem Betriebsgelände bei einem Extremhochwasser.
- Kanalverschlüsse Sichere Verschlusssysteme für Abwasserkanäle oder Kühlwasserableitungen sind Rückschlagklappen, die den Wasserdruck des Gewässers nutzen, um den Wassereintritt in das betriebliche Kanalsystem zu verhindern. Ein Beispiel ist in **Anhang 4, Abbildung 2** dargestellt. Nachteilig bei derartigen Systemen ist, dass mit einem solchen Verschluss auch kein Wasser mehr abgeleitet werden kann.



Anhang 4 Abb. 2: Rückschlagklappe

Verschlusssysteme sind auch für private Heizöltanks von großer Bedeutung und sollten standardmäßig für Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten eingebaut werden. Produktionsbetriebe, die weder Abwasser noch Kühlwasser abgeben können, müssen u. U. die Produktion herunterfahren.

Um den Produktionsbetrieb möglichst lange aufrechterhalten zu können, kann die Abgabe von Kühl- und Oberflächenwasser über eine Druckrohrleitung erfolgen, die über die Hochwasserschutzwand führt, wobei der normale Kanal abgesciebert wird.



Anhang 4 Abb. 3: Oberflächen- und Kühlwasserableitung

Das in **Anhang 4, Abbildung 3** dargestellte Ableitungssystem wird in der Regel auch in Kläranlagen eingesetzt, die - wie am Niederrhein - durch Deiche geschützt sind.

Inwieweit die Entnahme von Kühlwasser durch Hochwasser gefährdet wird, muss im Einzelfall geprüft werden. Zahlreiche Unternehmen beziehen ihr Kühlwasser direkt aus dem Gewässer und/oder aus Brunnen als Uferfiltrat. Mit Einstellung der Kühlwasserversorgung muss durch Verschlussysteme (z. B. Schieber) sichergestellt sein, so dass kein Wasser über die Kühlwasserversorgungsleitungen auf das Betriebsgelände gelangen kann.

Speicherbehälter für Abwasser

Die Ableitung von Abwasser ist immer dann eingeschränkt, wenn die nachgeschaltete Kläranlage vom Hochwasser bedroht ist und gegebenenfalls abgeschaltet werden muss. Dies kann nicht nur direkt einleitende, sondern auch indirekt einleitende Betriebe betreffen. In diesen Fällen kann es für die Aufrechterhaltung der Produktion bedeutsam sein, wenn eine Zwischenspeicherung des Abwassers möglich ist. So kann das Abwasser z. B. in einem Speicher gesammelt werden, der für mehrere Tage die Produktionsabwässer der verschiedenen Betriebe aufnehmen kann.

Energieversorgung

Die Energieversorgung muss, solange Produktionsanlagen in Betrieb sind, zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. Dies bedeutet, dass eine doppelte unabhängige Einspeisung über 2 Schienen vorhanden sein muss. Dies stellen zahlreiche Betriebe z. B. über eine Notstromversorgung (meist Notstromgenerator mit Dieselaggregat) sicher, damit ein ordnungsgemäßes Abfahren der Anlage gewährleistet ist (Betriebsbereiche müssen i. d. R. über eine Notstromversorgung verfügen). Diese muss insgesamt sicher gegen umgebungsbedingte Gefahrenquellen ausgeführt sein. Für die relevanten MSR/

PLT-Systeme zum sicheren Abfahren oder so genannten Stillstands-HOLD können auch Batterien genutzt werden.

Für den Fall eines sogenannten Stand-By-Betriebes im Hochwasserfall muss die Kraftstoffreserve für das Notstromdieselaggregat auf die voraussichtliche Hochwasserdauer bemessen sein.

Kann eine sichere Stromversorgung nicht sicher gestellt werden, sollten die gefährdeten Anlagen vorsorglich herunter gefahren werden.

Betriebshilfsmittel-
versorgung

Die Versorgungsleitungen für die verschiedenen Betriebshilfsmittel befinden sich bei größeren Industrieparks u. U. außerhalb von z. B. eingedeichten Flächen. Es muss für den jeweiligen Standort sichergestellt werden, dass eine Beschädigung der Versorgungsleitungen nicht zu befürchten ist. Da es sich oftmals um Rohrbrücken handelt, ist insbesondere die Gefahr von Treibgut zu beachten. Im Einzelnen sind folgende Maßnahmen zur Sicherung der Betriebsmittelversorgung bei Hochwasser zu nennen:

- Druckluftversorgung durch Not-Kompressor mit Dieselaggregat
- Stickstoffversorgung durch
 - ausreichende Speicherung
 - Not-Kompressor mit Dieselaggregat
- Reinwasserversorgung
- Kühlwasserversorgung durch
 - ausreichende Kühlwasserspeicherung in Tanks oder Ponds
 - ständige Druckhaltung durch Jockeypumpensysteme mit Umlaufregelung
 - Kühlwasserentnahmeanschluss an Gewässer
 - Notkühlwasserpumpen mit Dieselantrieb
- ausreichende Lagermengen von Dieselkraftstoff

Die Kalkulation der Lagermenge von Dieselkraftstoff oder der Rückhaltekapazität für Abwasser hängt, wie schon erläutert, von der voraussichtlichen Dauer der Hochwasserwelle ab.

Kommunikations-
wege

Entscheidend für alle organisatorischen Maßnahmen ist die Kommunikation mit den Katastrophenschutzämtern. Wie die Ereignisse im August 2002 gezeigt haben, waren wegen der schweren Regenfälle die Funkmasten der Handy-Netze in

den betroffenen Regionen teilweise zerstört oder deren Energieversorgung beendet. Daher ist es erforderlich, unterbrechungsfreie Standleitungen mit einer Eigenstromversorgung über Festnetz zu den Behörden zu installieren. Darüber hinaus dürfen nicht alle Rufnummern der Öffentlichkeit bekannt sein, weil sonst die Leitungen überlastet werden.

Instationäre Maßnahmen

Ist ein ausreichender stationärer Hochwasserschutz aufgrund komplexer Anlagenstrukturen aus Gründen der Logistikverbindungen, wie z. B. Straßen- oder Wasserstraßenanbindung oder aus Gründen der Geländestruktur nicht möglich, dann müssen entsprechende Maßnahmen und Einrichtungen des mobilen Hochwasserschutzes Anlagen und Betriebsbereiche schützen. Diese sind mobile Sperren mit gleichzeitigen Entwässerungssystemen der gefährdeten Bereiche.

Vom Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) wurde ein Merkblatt zum mobilen Hochwasserschutz mit folgenden Zielen vorgelegt:⁶⁹

- Darstellung der Grundlage für den sicheren und gezielten Einsatz von planbaren, mobilen Hochwasserschutzsystemen
- Entwicklung von Kriterien für Konstruktion, Statik, Gründung und Logistik
- Formulierung von Mindestanforderungen der Standsicherheit, Betriebssicherheit und funktionalen Sicherheit
- Erarbeitung von Auswahlkriterien verschiedener Systeme und Konstruktionen unter Abwägung des Risikos
- Entwicklung von Prüfkriterien für die Eignung planbarer, mobiler Hochwasserschutzsysteme in Form genereller Kriterien ohne Berücksichtigung spezieller Standortgegebenheiten

Das Merkblatt wurde erarbeitet, weil für mobile Hochwasserschutzwände bislang noch keine allgemein anwendbaren Standards existierten, so dass noch große Unsicherheiten bei der Planung, Konzeptionierung und Beurteilung solcher Schutzeinrichtungen bestanden. Das BWK-Merkblatt bietet eine Grundlage für den sicheren und gezielten Einsatz von planbaren, mobilen Hochwasserschutzsystemen.

Mobile Hochwasserschutzsysteme können unterschieden werden in Systeme *mit* und *ohne* permanente Vorkehrungen. Systeme mit permanenten Vorkehrungen kommen grundsätzlich geplant zum Einsatz. Dagegen können Systeme ohne permanente Vorkehrungen sowohl geplant als auch notfallmäßig zum Einsatz kommen. Beim notfallmäßigen Einsatz sind keinerlei Randbedingungen zum Einsatzort und der zu beherrschenden Gefahr bekannt. Daher sind die Unsicher-

⁶⁹ BWK (2005) – Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V.: Merkblatt: Mobile Hochwasserschutzsysteme - Grundlagen für Planung und Einsatz, Sindelfingen; ISBN 3-936015-19-8

heiten beim geplanten Einsatz wesentlich geringer als bei einem notfallmäßigen Einsatz.

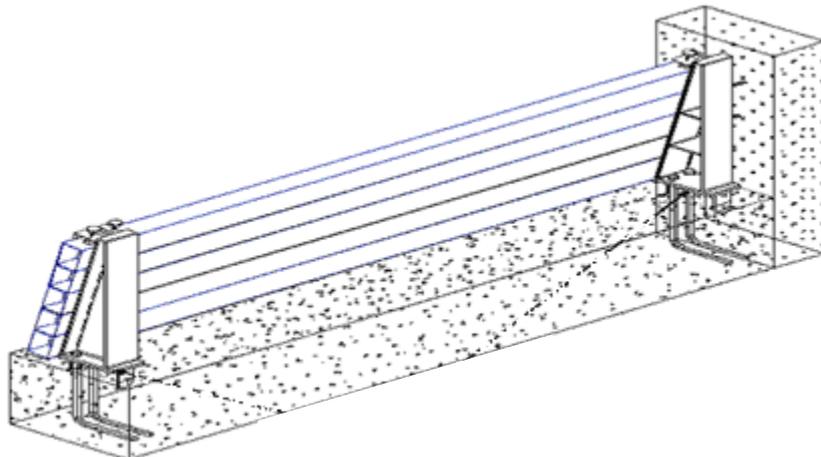
Im BKW-Merkblatt wird zwar das gesamte Spektrum der derzeit verfügbaren Systeme des mobilen Hochwasserschutzes beschrieben, jedoch wird ausdrücklich festgestellt, dass die statischen, geotechnischen und logistischen Bemessungskriterien sich auf solche Systeme beschränken, bei denen ein gesicherter Kraftschluss mit dem Untergrund gewährleistet werden kann. Nur unter diesen Bedingungen lassen sich bestimmte Sicherheitsanforderungen nachweisen. Für den Schutz von Betrieben, betrieblichen VAWS-Anlagen und Flüssiggastankanlagen ergibt sich somit der Stand der Technik durch den gesicherten Kraftschluss mit dem Untergrund und dem damit verbundenen sicherheitstechnischen Nachweis. Darüber hinaus ist die Beständigkeit des Systems gegen Treibgutaufprall ein weiteres Kriterium.

Systeme mit permanenten Vorkehrungen

Beispiele für Systeme mit permanenten Vorkehrungen sind Dammbalkensysteme, Torsysteme, aufklapp- oder aufschwimbare Systeme, Schlauchwehrsysteme und Glaswandsysteme.

Dammbalken-
Systeme

Hochwertige mobile Schutzwände werden als Dammbalkensysteme ausgeführt und sind seit vielen Jahren für den Hochwasserschutz im Einsatz (**Anhang 4, Abbildung 4**).



Anhang 4 Abb. 4: Beispiel eines Dammbalkensystems mit Verankerung in einer Bodenplatte.

Um die jeweiligen Staudrücke aufnehmen zu können, müssen mobile Schutzwände fest im Boden verankert werden. Grundlage einer Berechnung muss der hydrostatische Wasserdruck aus Höhe und Anströmgeschwindigkeit, das Eigengewicht nach DIN 1055 sowie ein zu bemessender Zuschlag zur Aufnahme von Kräften durch Treibgut sein. (Berechnungsgrundlage in Anlehnung an DIN 19704 und nach DIN 19569). Das bislang am häufigsten ausgeführte Dammbalkensystem besteht aus einzeln übereinander gestapelten Balken mit seitlichen Befestigungen in Mauernischen sowie an demontierbaren oder fest eingebauten Stützen. Als Dammbalken werden beispielsweise verzahnte, untereinander abgedichtete Profile aus Aluminium oder Edelstahl eingesetzt, die sich bei steigendem Pegelstand mit Wasser füllen und somit die Stabilität der Wand erhöhen. Für die Stabilität einer Wand ist der Achsabstand der Stützen in Abhängigkeit von der Stauhöhe entscheidend.

Mit den verschiedenen Dammbalkensystemen lassen sich Schutzhöhen von 4 m und mehr realisieren. Die Schutzwandlänge ist unbegrenzt und kann individuell der lokalen Situation angepasst werden. Sowohl die Stützen als auch die Balken müssen von geschulten Kräften montiert werden.

Torsysteme

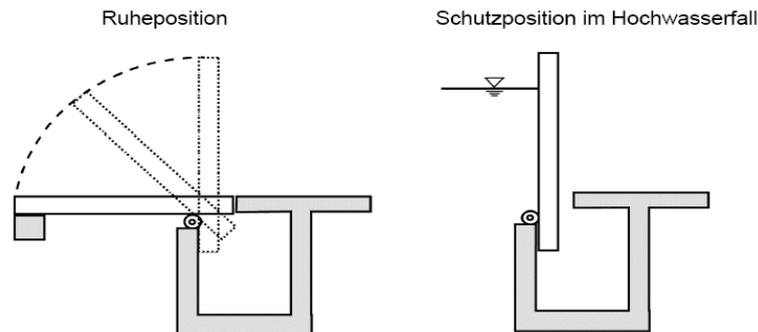
Je nach örtlichen Randbedingungen sind Hochwasserschutzttore in die stationären Sicherungsmaßnahmen zu integrieren. Ein Beispiel eines Drehtores ist **Anhang 4, Abbildung 5** dargestellt.



Anhang 4 Abb. 5: Hochwasserschutztor eines Betriebsbereichs

aufklappbare
Systeme

Anhang 4, Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für ein aufklappbares System.



Anhang 4 Abb. 6: Prinzip des aufklappbaren Bürgersteigs

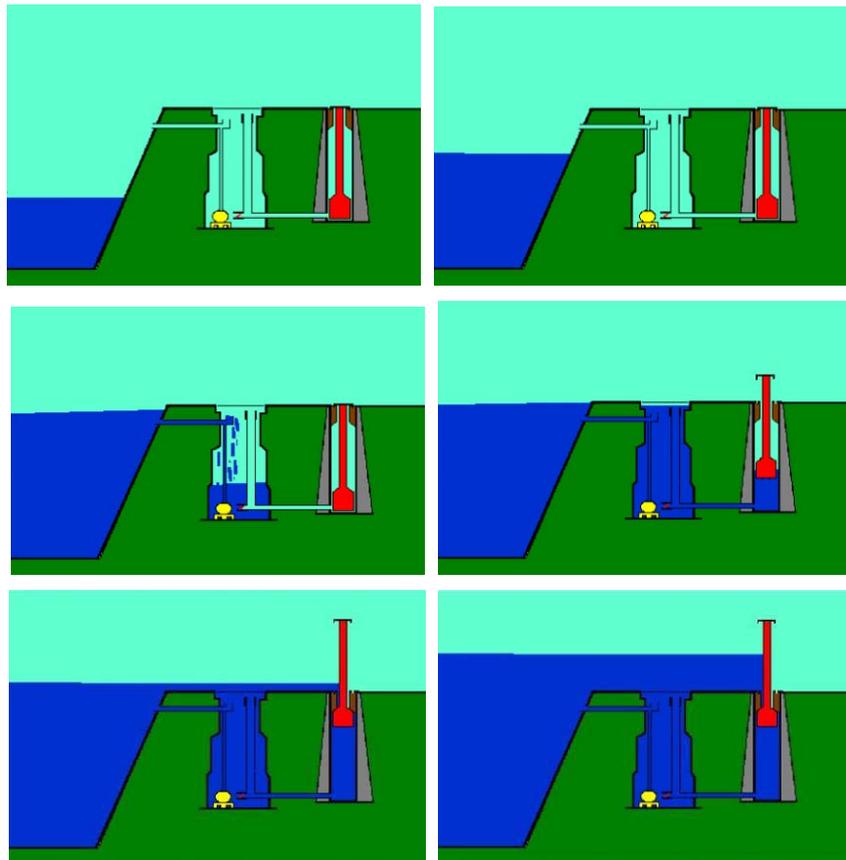
Der aufklappbare Bürgersteig besteht aus Stahlelementen, die innerhalb von 15 Minuten mit Hilfe einer elektrischen Antriebsvorrichtung automatisch aktiviert werden. Bei Stromausfall garantieren ein Notstromaggregat sowie eine Handkurbel den Betrieb. Die hydraulischen Belastungen der Schutzwand sind aufgrund der hydrostatischen Druckverteilung eindeutig berechenbar. Um die Wellenbewegung abzufangen, wird zusätzlich ein dynamischer Zuschlag berücksichtigt. Leckwasser oder infolge der Wind-Wellen-Bewegung über die Schutzwand hinwegschwappendes Wasser kann problemlos abgeführt oder in den Fluss zurück gepumpt werden. Kosten für ein solches System wurden vom Hersteller nicht vorgelegt. Ein anderes Beispiel für ein aufklappbares System zeigt die **Anhang 4, Abbildung 7**.



Anhang 4 Abb. 7: Aufklappbare Wand

aufschwimmbare
Systeme

Die Bildserie in **Anhang 4, Abbildung 8** zeigt eine Wand, die nach dem nach Prinzip der kommunizierenden Röhren nach oben gedrückt wird. Fällt das Wasser wieder, wird es aus dem Schacht mit Hilfe einer Pumpe entfernt.



Anhang 4 Abb. 8: Prinzip der auffahrbaren Wand

Glaswandsysteme Glaswandsysteme sind ähnlich den Dammbalkensystemen über Flanschverbindungen fest in einer Bodenplatte verankert. Die Glaswand besteht aus Sicherheitsgründen aus vielscheibigem Sicherheitsglas. Sie werden dann eingesetzt, wenn die Eigenschaft „Sichtbarkeit“ von besonderem Interesse ist.



Anhang 4 Abb. 9: Glaswandsystem

Weitere Systeme sind z. B. Schlauchwehr- oder Kissensysteme, bei denen die Hochwasserschutzwand aus einem oder mehreren teilweise am Boden befestigten Gummischläuchen besteht, die mit Wasser gefüllt werden. Die Gesamthöhe solcher Systeme kann bis zu 2,00 m betragen. Es können damit nicht begrenzte Längen durch Aneinanderreihung einzelner Elemente erreicht werden.

Sicherheitsnachweise für Systeme mit permanenten Vorkehrungen

Für die vorgestellten Systeme mit permanenten Vorkehrungen sind Sicherheitsnachweise auf der Basis bestimmter Lastannahmen zu erbringen, die die technischen Grundlagen für Genehmigungen oder nachträgliche Anordnungen bilden. Im Einzelnen sind folgende Einwirkungen zu betrachten:

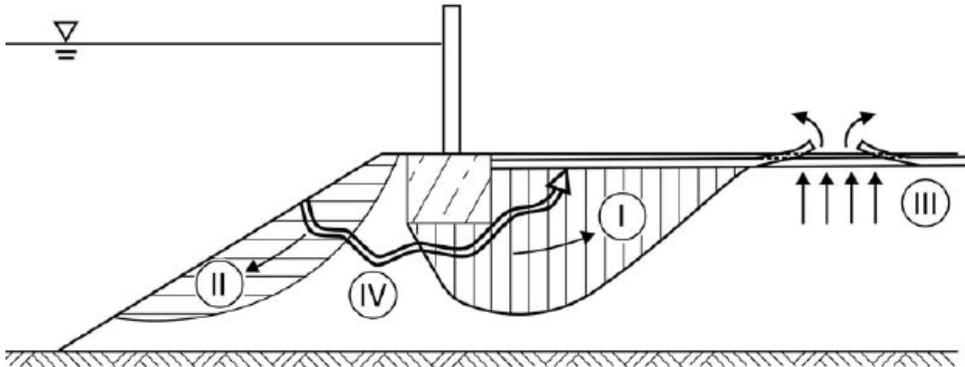
- Hydrostatischer Druck
- Strömungsdruck in Abhängigkeit vom Anströmwinkel
- Wasserspiegellage am Flussaußenbogen aufgrund der Überhöhung im Vergleich zum mittleren Wasserspiegel
- Wellendruck
- Anprall von Treibgut und Eisstoß
- Windlast
- Personenlasten
- Fahrzeuganprall
- Polderseitiger Wasserdruck für Standorte mit relativ langsamen Abfluss polderseitigen Wassers

Die Belastung durch das Überströmen eines mobilen Hochwasserschutzsystems bietet im Normalfall keinen planmäßigen Schutz. Dies bedeutet, dass eine sofortige Evakuierung der betroffenen Gebiete einzuleiten ist, falls ein Überströmen der Hochwasserschutzwand droht. Werden mobile Systeme vorgesehen, so muss dies bei der Planung für Notfälle, internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen sowie der Schulung der Beschäftigten (einschließlich Fremdfirmen) berücksichtigt werden. Eine Bemessung von Hochwasserschutzsystemen für eine Belastung infolge Überströmens kann allenfalls mit Ergebnissen aus Modellversuchen vorgenommen werden. In diesem Fall ist zu beachten, dass die Versuchsergebnisse lediglich für das untersuchte System verwendet werden – eine Übertragbarkeit auf abweichende Systemkonfigurationen ist meist nicht gegeben.

Durch die im BWK-Merkblatt vorgenommenen Lastannahmen, die auch Grundlage einer Genehmigung oder nachträglichen Anordnung sein sollte, selektieren die am Markt insgesamt angebotenen Systeme, so dass nur noch eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Systemen bleibt, die die Lastannahmen sicher erfüllen können und somit den Stand der Technik repräsentieren. Diese Systeme sind in diesem Bericht dargestellt worden.

Weil im Merkblatt des BWK für die genannten Einwirkungen Lastannahmen und Berechnungsformeln im Einzelnen angegeben sind, wird an dieser Stelle auf eine wei-

tergehende Darstellung verzichtet. Neben den genannten Sicherheitsnachweisen sind auch geotechnische Nachweise zu erbringen. **Anhang 4, Abbildung 10** zeigt schematisch die Probleme der geotechnischen Standsicherheit.



Anhang 4 Abb. 10: Probleme der geotechnischen Standsicherheit

- ① Die Belastungen an der Schutzwand sind sicher in den Untergrund zu leiten. Die betreffenden erdstatischen Nachweise bestehen damit aus
 - Grundbruchnachweis
 - Nachweis bzgl. Kippen und
 - Nachweis der Standsicherheit gegen Abschieben (Gleiten)Grundlage ist die DIN 1054.
- ② Für die Standsicherheit von eventuell vorhandenen Böschungen in der Nähe der mobilen Schutzelemente sind Nachweise zur Böschungssicherheit zu führen. Grundlage ist die DIN 1054, Abschnitt 12 in Verbindung mit DIN 1084-100.
- ③ Für den Gründungsbereich der mobilen Schutzelemente ist die Auftriebssicherheit bzw. hydraulische Grundbruchsicherheit zu betrachten. Grundlage ist die DIN 1054, Abschnitt 11 bzw. DIN 19712, Abschnitt 9.5.
- ④ Es ist darüber hinaus der Nachweis der Erosionssicherheit des Untergrundes zu führen. Hinweise hierzu gibt z. B. das Merkblatt „Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen“ der Bundesanstalt für Wasserbau.

Schließlich dürfen auch sonstige Bauwerke im Untergrund die geotechnische Standsicherheit der mobilen Schutzwände nicht gefährden. Hierzu zählen z. B. Rohrleitungen, Kanäle und Gebäude.

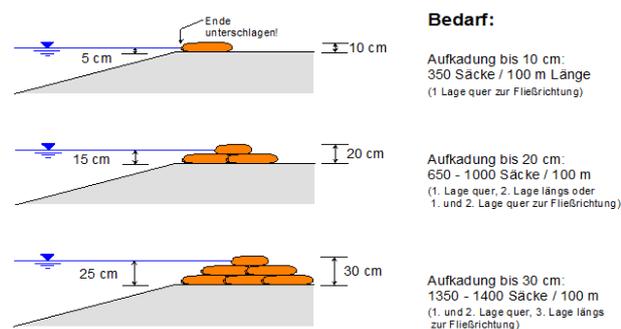
Das Merkblatt des BWK gibt zahlreiche Hinweise zur Sicherstellung der geotechnischen Standsicherheit, die wegen des Umfanges im Rahmen dieses Forschungsvorhabens im Einzelnen nicht dargestellt werden können.

Systeme ohne permanente Vorkehrungen als zusätzliche Maßnahme

Systeme ohne permanente Vorkehrungen sind z. B. Sandsacksysteme, Behältersysteme, Stellwandsysteme sowie Behelfssysteme, die zum Schutz von Betriebsbereichen im Rahmen der planbaren Gefahrenabwehr sowie als Notfallmaßnahme eingesetzt werden können. Beim notfallmäßigen Einsatz sind keinerlei Randbedingungen zum Einsatzort und der zu beherrschenden Gefahren bekannt. Beim geplanten Einsatz ist der Einsatzort im Voraus bekannt und es werden im Sinne einer Notfallplanung verschiedene Abklärungen zur Systemwahl und dessen Einsatz durchgeführt. Die verbleibenden Unsicherheiten sind beim geplanten Einsatz daher wesentlich geringer als beim notfallmäßigen Einsatz. Die empfohlene max. Schutzhöhe soll beim geplanten Einsatz auf 1,2 m und beim notfallmäßigen Einsatz auf 0,6 m begrenzt bleiben.

Sandsäcke

Die einfachste und seit langem praktizierte Art eines mobilen Hochwasserschutzsystems ist der Einsatz von Sandsäcken. Kennzeichnend für den Einsatz von Sandsäcken ist ein hoher personeller Aufwand mit entsprechender Zeitverzögerung sowie eine Stauhöhe von max. 1,5 m. Ebenso ist der Sand zu bevorraten und gegebenenfalls nach dem Einsatz zu entsorgen. **Anhang 4, Abbildung 11** verdeutlicht den Sandsackbedarf in Abhängigkeit von der Schutzhöhe. Es wird deutlich, dass der Einsatz von Sandsäcken neben dem Personaleinsatz vor allem auch ein logistisches Problem darstellt. Daher wurden in den letzten Jahren Alternativsysteme entwickelt.



Anhang 4 Abb. 11: Sandsackbedarf in Abhängigkeit von der Schutzhöhe

Offene Behältersysteme

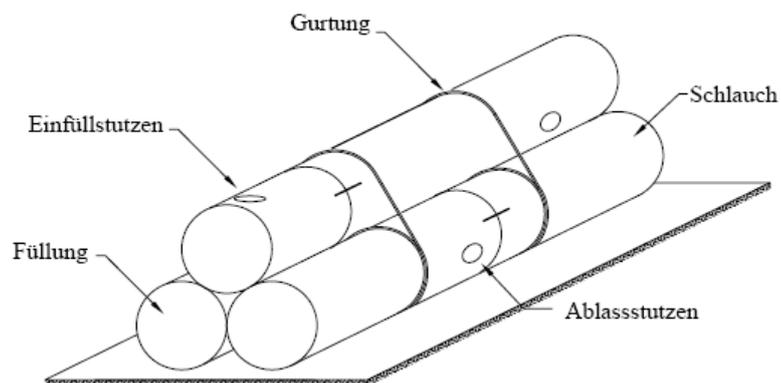
Behältersysteme bestehen aus einer Stahlrahmenkonstruktion mit einem reißfesten Geotextil. Die offenen Behältersysteme werden derzeit in einer Höhe von 1 bis 3 m angeboten. Sie werden mit Kies, Sand oder Erde gefüllt. Mit Wasser gefüllte offene Behälter haben sich nicht bewährt und werden daher nicht mehr angeboten. Ein Beispiel zeigt **Anhang 4, Abbildung 12**.



Anhang 4 Abb. 12: Beispiel für ein offenes Behältersystem

Geschlossene Behältersysteme

Geschlossene Behältersysteme werden in Form von Schläuchen, Kissen oder in Trapezform angeboten. Die Füllung der Systeme erfolgt ausschließlich mit Wasser. Als Material wird beschichtetes Polyester eingesetzt. Die geschlossenen Behältersysteme werden zusammengefaltet, als Taschen bzw. gerollt angeliefert und am Einsatzort ausgelegt bzw. ausgerollt.



Anhang 4 Abb. 13: Schlauchsystem

Bei Schlauchsystemen müssen bei Schutzhöhen über 0,50 m zwei Schläuche parallel nebeneinander verlegt werden, da nur bei einem Schlauch in Folge des Wasserdruckes der Fluten der Schlauch wegrollen würde. Je nach Durchmesser der Schläuche sind die beiden Schläuche fest miteinander über eine Lasche verbunden oder müssen mit Gurten zu einem Doppelement verbunden werden. Mit Schläuchen lassen sich

Systemhöhen zwischen 0,22 m (hier reicht ein Schlauch, der mit Bodennägeln im Untergrund befestigt wird) und 1,20 m erzielen. Zusätzliche Systemhöhe wird gewonnen, indem ein dritter Schlauch auf den beiden bereits mit Wasser gefüllten Schläuchen aufgesetzt und mit zusätzlichen Gurten fixiert wird.

Stellwandsysteme Stellwandsysteme werden von verschiedenen Herstellern angeboten und unterscheiden sich nicht grundsätzlich voneinander. Die Stützelemente aus Metall oder Kunststoff werden in einem Abstand von etwa 1,2 bis 1,5 m aufgestellt und mit Erdnägeln oder Ankerbolzen gegen Schub gesichert. Eine Aufstellung auf festem Untergrund (Asphalt, Pflaster) ist wegen der Standsicherheit zu empfehlen. Über Querstreben oder Querstützen werden die Stützenkonstruktionen zu einem Tragwerk verbunden. Der prinzipielle Aufbau der Stellwandsysteme ist in **Anhang 4, Abbildung 14** dargestellt. Bei Wandelementen aus Metall sind je nach Anbieter Stauhöhen von 1,5 bis zu 3,0 m möglich.



Anhang 4 Abb. 14: Beispiel eines Stellwandsystems

Stand der Technik zur nassen Vorsorge

Die nasse Vorsorge unterscheidet sich von der trockenen dadurch, dass in diesem Fall eine Überflutung des Betriebsgeländes zugelassen wird. In diesem Fall müssen die Anlagen im Inneren des Betriebsgeländes gesichert sein. Hierzu gibt es für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (§§ 62 und 63 WHG - VAUwS) und Flüssiggasanlagen Technische Regeln, die zu beachten sind.

Anforderungen aufgrund Technischer Regeln für VAUwS- & Flüssiggasanlagen

Viele Betriebe beinhalten Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Maßgebend für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen sind auch die Anforderungen nach § 62 WHG sowie die Empfehlungen der IKSE „Anforderungen an technische Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Hoch-

wassergebietenen oder einstaugefährdeten Bereichen“. Hinweise auf die Sicherung von VAUWS-Anlagen und Anlagen zur Lagerung von Flüssiggas gegen Hochwasser einschließlich der Rohrleitungen finden sich in einzelnen Regelwerken, wie z. B. der TRB 600 Absatz 3.6, der TRbF 20, TRbF 40 und der TRD 452 - Anlagen 1 und 2.

Die technischen Vorkehrungen gegen Hochwasser können wie folgt zusammengefasst werden:

Oberirdische Anlagen in Gebäuden:

- Auftriebssicherheit durch Verankerung der Tanks in einer festen Bodenplatte oder an den Seitenwänden durch Schraubverbindungen oder Stahlgurte oder durch Abstützung mit Stahlstreben an der Decke
- Einsatz von für Hochwasser zugelassenen Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Anordnung der Entlüftungsrohre oberhalb der Wasserlinie
- Abdichtung von überflutungsgefährdeten Befüllanschlüssen; Entfernung der Dichtung nur beim Befüllvorgang
- Befestigung der Rohrleitungen auf der gesamten Länge
- Wasserdichte Ausführung von Öffnungen, die unterhalb der Wasserlinie liegen
- Verzicht auf Untergeschossnutzung
- Anordnung von Hauptschaltern und Verteilungseinrichtungen oberhalb der Wasserspiegellinie
- Installation von Verschlussventilen direkt am Tank zur Verhinderung eines Nachströmens aus dem Tank bei Beschädigung einer Rohrleitung

Unterirdische Anlagen im Freien:

- Aufbringen einer Erdüberdeckung von ≥ 1 m für Druckbehälter (TRB 600)
- Einsatz von für Hochwasser zugelassene Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Anordnung der Entlüftungsrohre oberhalb der Wasserlinie
- Abdichtung von überflutungsgefährdeten Befüllanschlüssen; Entfernung der Dichtung nur beim Befüllvorgang

Oberirdische Anlagen im Freien:

- Auftriebssicherheit durch Verankerung der Tanks in einer festen Bodenplatte durch Schraubverbindungen oder Stahlgurte (1,3-fache Auftriebssicherheit mit leerem Behälter bezogen auf den höchsten zu erwartenden Wasserstand (TRbF 20, TRbF 40, TRD 452 – Anlagen 1 und 2)
- Einsatz von für Hochwasser zugelassene Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Befestigung der Rohrleitungen auf der gesamten Länge
- Installation von Verschlussventilen direkt am Tank zur Verhinderung eines Nachströmens aus dem Tank bei Beschädigung einer Rohrleitung
- Sicherung vor Treibgut und Eisgang durch z. B. Leitbleche
- Sicherung der Rohrleitungen gegen Treibgut

Betriebsbereiche

Bei Betriebsbereichen wird in der Regel davon ausgegangen, dass Wasser nicht auf das Betriebsgelände eindringen darf. Entsprechend wird an den einzelnen Standorten eine trockene Vorsorge betrieben. Dennoch gibt es Betriebe, die aufgrund ihrer Lage an Gewässern und aufgrund der Gewässercharakteristik keine trockene, sondern eine nasse Vorsorge betreiben müssen. Dennoch stellt die nasse Vorsorge eher den Ausnahmefall dar. Bei der nassen Vorsorge sind die folgende Aspekte für Anlagen und Anlagenteile von Betrieben näher zu betrachten:

Auftriebssicherheit	Die Auftriebssicherheit von Behältern kann durch eine Verankerung/Verschraubung der Sättel oder Fuß- bzw. Zargenringe eines Behälters oder Tanks im/am Fundament bzw. der Fundamentbewehrung oder einer Bodenplatte erreicht werden. Die Sättel müssen hierbei mit dem Behälter eine ausreichende Verbindung haben. Eine weitere Möglichkeit ist das Aufbringen von Gewichten sowie die Sicherung durch Stahlbänder, die im Fundament oder einer Bodenplatte verankert werden. Das Fundament muss in der Lage sein, die Zugkraft des Auftriebs aufzunehmen. Ziel dieser Maßnahmen ist es, entsprechend den Vorgaben der IKSE die 1,3-fache Auftriebssicherheit zu erreichen. Eine Vorhaltung von mobilen Einrichtungen, z. B. zur Anbringung von Gewichten oder einer Seilverankerung, ist insbesondere bei kurzen Vorwarnzeiten nicht sinnvoll.
Schutz vor Treibgut	Es lassen sich folgende Konzepte je nach Anlagenaufstellung und -konfiguration in Erwägung ziehen: <ul style="list-style-type: none"> • Abwehrschutz in Form von Leitplanken aus Stahl • Abwehrschutz als Betonmauern mit Durchlässen (z. B. Schlitzten) zur Wasserableitung pfeilförmige Brecherkonstruktionen mit Steigung zum Objekt hin, um Treibgut abzuwehren.
sichere Umschließung der Stoffe	Wesentlich ist der sichere Einschluss von gefährlichen Medien. Dies gilt zum einen für die Konstruktion eines Behälters oder Tanks selbst und zum anderen für das System, mit denen diese Behältnisse in einer Anlage eingebunden sind. Hierzu zählen vornehmlich Verbindungseinrichtungen, wie Rohrleitungen, Hook Ups (Installation von MSR-Einrichtungen mit Messstellen, Transmittern, Leitungen etc. vor Ort) der MSR oder Anschlüsse von Sicherheitsarmaturen (PSVs). Sofern es sich hierbei um geschlossene Behälter und Tanks handelt, wie z. B. Druckbehälter und -systeme, ist von einem sicheren Einschluss der Stoffe auch im Falle von Hochwasser

auszugehen, wenn diese dem möglichen äußeren Wasserdruck standhalten. Bei offenen Behältern muss in jedem Einzelfall geprüft werden, ob Verschlussysteme (z. B. anschraubbare Deckel) angebracht werden können. Hierbei ist auch die Entlüftungsleitung zu beachten, die entsprechend hoch geführt werden muss.

Verzicht auf Untergeschossnutzung

Im Rahmen der nassen Vorsorge sollten Untergeschosse in Gebäuden zur Lagerung von Chemikaliengebunden oder zum Aufstellen von Anlagen mit gefährlichen oder wassergefährdenden Stoffen nicht genutzt werden. Darüber hinaus sollten im Untergeschoss auch keine wichtigen Energieversorgungs-, Steuer- und Messeinrichtungen untergebracht werden.

Hochlagerung auf Gerüsten

Die Behälter zur Chemikalienbevorratung können auf Stahlgerüsten installiert werden, so dass eine direkte Gefährdung durch Hochwasser nicht besteht. Bei derartigen Gerüsten ist jedoch darauf zu achten, dass diese nicht durch Treibgut oder Eisgang gefährdet werden. Auch sind die Fundamente so zu konzipieren, dass eine Kolkbildung die Stützen nicht gefährdet.

Anlagenkonzeption Einblocksystem

Für den Fall, dass bei einer Anlage eine durch Leitungsabriss aufgrund eines Aufschwimmens oder durch Treibgut verursachte Leckage eintritt, sollen die Anlagen oder Komponenten mit ferngesteuerten Schnellschlussarmaturen ausgestattet sein, die ein Einblocken kleinerer Anlageneinheiten ermöglichen, um eine Leckage der größten zusammenhängenden Menge (GZM) verhindern zu können.

Bei solchen Einblocksystemen kann dann jeweils nur die Menge des eingeblockten Systems, in welchem sich das Leck befindet, austreten.

Anlagenabfahren, Anlagenstillstand, Anlagenentleerung, Mess- und Regelungstechnik (MSR), Prozessleittechnik (PLT)

Anlagen mit gefährlichen Stoffen müssen auch im Falle einer Überflutung sicher und zielgerichtet stillgesetzt, d. h. abgefahren werden können. Dies erfolgt sowohl mit einem sogenannten schnellen Abfahren (NOT-AUS / SHUT DOWN) als auch mit einem langsamen Abfahren über ein MSR-/PLT-System und ein sogenanntes Faile Safe System (Warm et al., 2007). Da ein Herunterfahren aus verfahrenstechnischen Gründen häufig nur über einen längeren Zeitraum, zu Teilen von mehreren Stunden möglich ist, sind

- a) besondere Anforderungen an die Qualität von Sicherheitsgerichteten MSR-/PLT-Einrichtungen als auch
- b) an deren sichere Stromversorgung zu stellen.

Zur Verhinderung von aus Hochwassersituationen resultierenden Gefahren sind ggf. entsprechende MSR-/PLT-Schutzeinrichtungen in Betriebsbereichen vorzusehen.

Sicherheitsmaßnahmen mit Mitteln der MSR/PLT gelten hierbei nicht nur dem Abfahren, sondern auch der Anlagensicherheit im Betriebsstillstand mit eingeschlossenen Stoffen als auch dem Entleeren von Behältern und Tanks von gefährdeten in ungefährdete Bereiche, sowie dem Einblocken leckgeschlagener Einheiten oder Komponenten, wie vor gezeigt.

Möglichkeiten der Nachrüstung

Nachrüstungen sind dann erforderlich, wenn bestehende Anlagen vor den Gefahren durch Hochwasser zu schützen sind.

Nachrüstung durch Maßnahmen zur trockenen Vorsorge

Für bestehende Anlagen sind die Möglichkeiten der Nachrüstung zur Sicherung vor Hochwasser grundsätzlich individuell zu prüfen. Hierbei sind zunächst die Maßnahmen zur trockenen Vorsorge zu prüfen. Unabhängig von der Art der zu schützenden Anlage kann je nach örtlichen Gegebenheiten eine trockene Vorsorge durch stationäre oder mobile Schutzwände erreicht werden. Hierbei sind insbesondere die bei mobilen Systemen zu berücksichtigenden Kriterien der Standsicherheit sowie der geotechnischen Bedingungen zu berücksichtigen.

Die Anhebung von Tankanlagen im gewerblichen oder industriellen Bereich durch Aufschüttung oder Lagerung auf Stahlgerüsten ist als Nachrüstungsmaßnahme für den jeweiligen Einzelfall zu prüfen. Diese Maßnahmen sind vor allem dann interessant, wenn hierdurch zugleich auch ein Schutz vor Treibgut erreicht wird. Derartige Maßnahmen sind jedoch meist nur für Anlagen realisierbar, die im Freien aufgestellt

sind. Darüber hinaus ist eine Erhöhung der Aufstellung von vorhandenen Behältern nur dann als Möglichkeit in Betracht zu ziehen, wenn sie mit einem Kran in einem Stück gehoben werden können.

Eine der wichtigsten Nachrüstungsmaßnahmen für die trockene Vorsorge ist die Bereithaltung von Pumpen, wenn Wasser diffus, z. B. durch nicht zugängliche Drainageleitungen in den zu schützenden Bereich eintritt.

Nachrüstung von Anlagen zur nassen Vorsorge

Sollte eine trockene Vorsorge nicht möglich sein, sind alle Maßnahmen zur nassen Vorsorge zu prüfen. Die meisten der zuvor aufgezählten Maßnahmen der nassen Vorsorge sind auch als Nachrüstungsmaßnahme für Betriebsbereiche, Anlagen, VAUwS-Anlagen, Flüssiggaslagerbehälter anwendbar. Hierzu zählen

- die Sicherung von Behältern in Gebäuden oder oberirdischen Anlagen im Freien gegen Auftrieb durch Gurtsysteme, Verschraubungen usw.,
- die Verbesserung der Auftriebssicherheit von unterirdischen Behältern durch Erhöhung der Erdüberdeckung oder durch Aufbringen einer Betonplatte,
- die Sicherung der Anlagen vor Wassereintritt oder Austritt von Stoffen (Installation von Ventilen, Verlängerung von Einfüllstutzen und Entlüftungsleitungen oberhalb der Wasserlinie usw.) und
- der Schutz vor Treibgut und Eisgang (z. B. durch Leitbleche).

Anhang 5: Rückstau / Überflutung von Kanalnetzen

Anforderungen an Kanalisationsnetze

Maßgebliche Regeln für die Bemessung neuer und die Sanierung vorhandener Kanalisationen sind DIN EN 752, 2008, und das DWA Arbeitsblatt Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen (März 2006 Korrigierte Fassung, Stand: September 2011 (DWA A 118)). Nach DIN EN 752, 2008 wird unterschieden in

- Bemessungskriterien für die Verwendung von einfachen Bemessungsverfahren,
- Bemessungskriterien für die Verwendung von komplexeren Bemessungsverfahren

Bei der Verwendung von einfachen Bemessungsverfahren werden folgende Bemessungsregenhäufigkeiten empfohlen, sofern keine lokalen oder nationalen Bemessungskriterien vorliegen:

Anhang 5, Tab. 1: Empfohlene Bemessungsregenhäufigkeiten nach DIN EN 752, 2008 bei Verwendung von einfachen Bemessungsverfahren

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 %
* Für diese Bemessungsregen dürfen keine Überlastungen auftreten.		

DIN EN 752, 2008-04 fordert „bei Abflüssen aus größeren Erschließungen und Entwässerungssystemen, insbesondere wenn maßgebliche Schäden oder Risiken für die Gesundheit der Öffentlichkeit oder der Umwelt zu erwarten sind,“ einen zeitveränderlichen Bemessungsregen anzusetzen und eine computergestützte Abflusssimulation durchzuführen. Sofern keine nationalen oder lokalen Bemessungskriterien vorliegen werden die in **Anhang 5, Tabelle 2** zusammengestellten Jährlichkeiten für Überflutungshäufigkeiten empfohlen.

Anhang 5, Tab. 2: Empfohlene Bemessungsregenhäufigkeiten nach DIN EN 752, 2008 bei Verwendung von komplexen Bemessungsverfahren

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 Bahnanlagen, Unterführungen	1 in 50	2 %

Mit diesen Bemessungsvorgaben wird nicht versucht Überflutungen oder Überlastungen zu vermeiden, sondern die Häufigkeiten derartiger Ereignisse zu begrenzen. Das heißt, dass von einer bestimmten Versagenswahrscheinlichkeit ausgegangen wird, seltenere - und damit stärkere - Regen führen zu einer Netzüberlastung. Für den Fall der im Rahmen dieser TRAS zu betrachtenden Starkregenereignisse mit Jährlichkeiten von z. B. 100 Jahren im Rahmen der Gefahrenquellenanalyse ist eine Überflutung des Kanalsystems zu erwarten.

Starkregenereignisse mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren, wie sie z. B. im Rahmen der Gefahrenquellenanalyse anzusetzen sind, führen bei Regenwasserkanälen, die auf der Grundlage der zuvor dargestellten Kriterien bemessen wurden, zu einer Überflutung. Dies gilt auch grundsätzlich auch für Mischwasserkanäle.

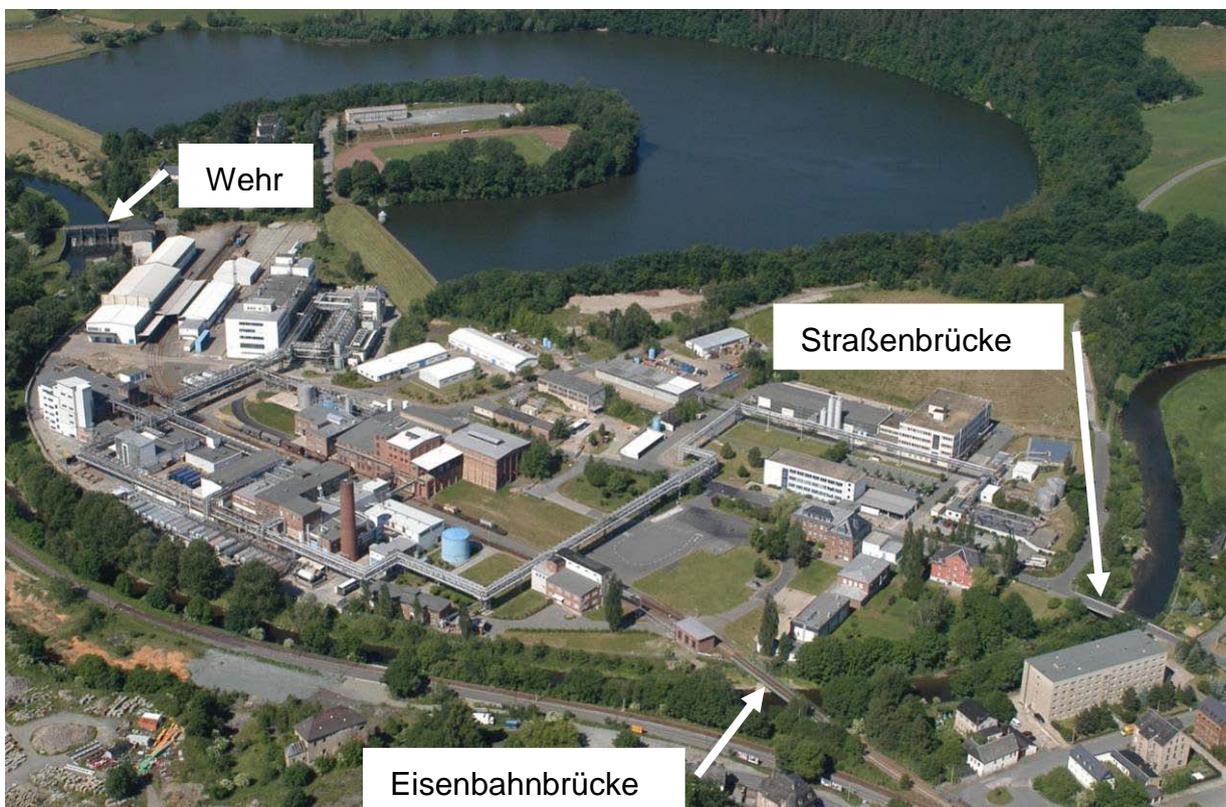
Die meisten der heute betriebenen Misch- oder Regenwasserkanalnetze wurden mit deutlich einfacheren Mitteln bemessen, z. B. über den Nachweis, dass ein in der abflusswirksamen Fläche fallender „Bemessungsregen“ schadlos abgeführt werden kann. Dabei wurde insbesondere aus wirtschaftlichen Gründen in Kauf genommen, dass es in gewissen Abständen auch Regenereignisse geben wird, deren Intensität diesen „Bemessungsregen“ übertreffen.

Anhang 6: Beispiel einer Gefahrenquellenanalyse

Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse

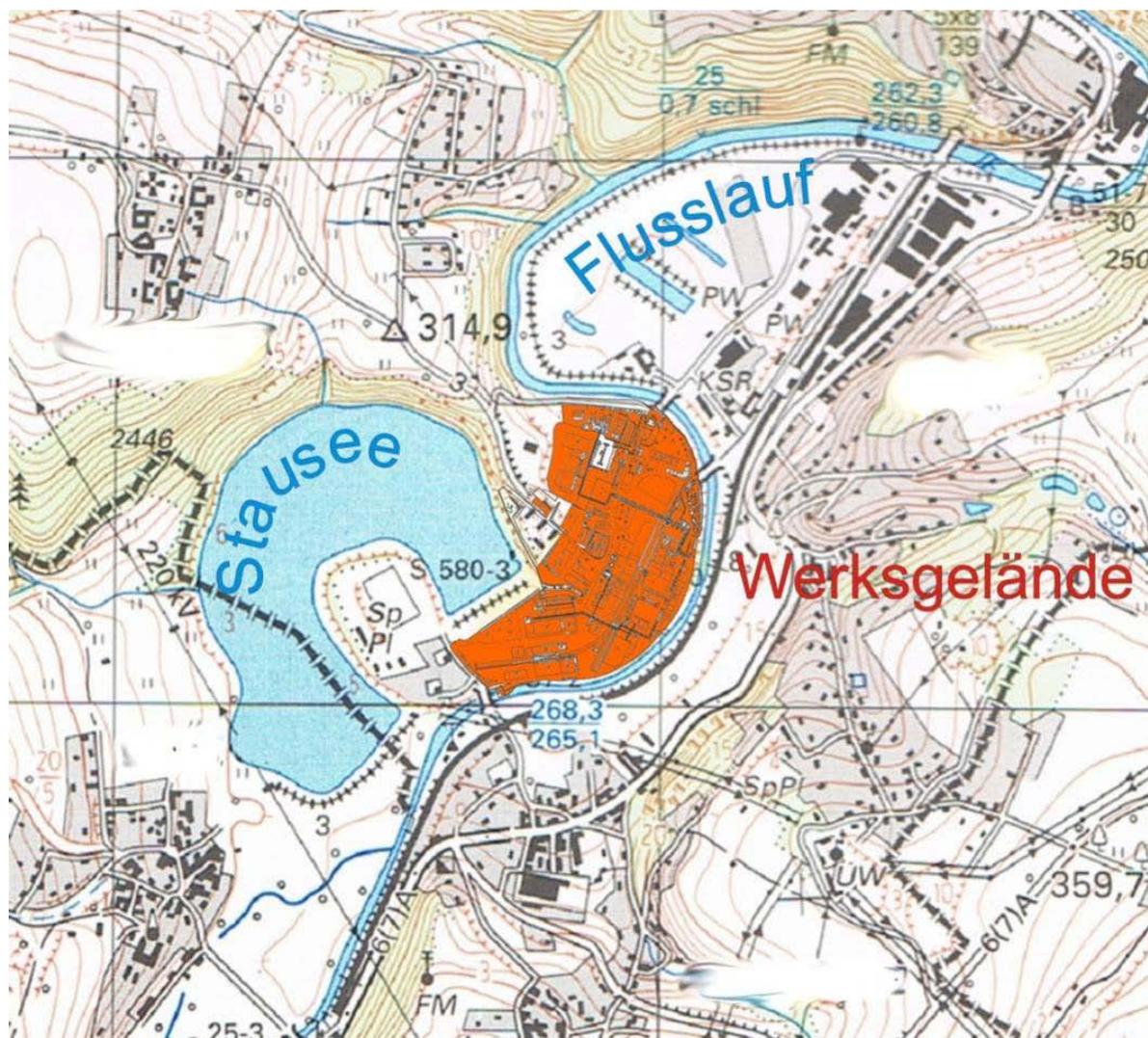
Lage des Unternehmens

Das Werk befindet sich mit seinen Produktionsanlagen in Tallage (Höhe über NN: 266 bis 270 m) in einer Flussschleife. Im Norden und im Süden wird das Werk vom Fluss begrenzt. Im Osten und im Süden liegt jenseits des Flusslaufes der Bahnkörper der DB AG. Am Stausee (Dammhöhe ca. 277 m über NN) und im Westen steigt das Gelände an bis auf eine Höhe von ca. 400 m über NN.



Anhang 6, Abb. 1: Luftbild des Unternehmens, aufgenommen in südwestlicher Richtung

Die Zufahrt zum Werk erfolgt via Straßenbrücke über den Fluss (in **Anhang 6, Abbildung 1** rechts unten). Das Werk verfügt über eine Eisenbahnanbindung zur Hauptstrecke der Deutsche Bahn AG. In Havarie- oder Katastrophenfällen kann auch der LKW-Verkehr über die Anschlussbahnbrücke geleitet werden.



Anhang 6, Abb. 2: Lageplan des Unternehmens auf der topografischen Karte (Ausschnitt)

Der Stausee befindet sich auf dem Gelände einer ehemaligen Mänderschleife des Flusses. Er wurde in den Jahren 1949 - 1954 errichtet und diente bis 1989 der Trinkwassergewinnung. Bei einer Wasserfläche von ca. 28 ha hat der Stausee ein Fassungsvermögen von ca. 800.000 m³. Er wird mit Flusswasser über eine 400 Meter lange unterirdische Leitung mit einem Querschnitt von 1.000 mm gespeist. Der Volumenstrom dieser Leitung wird mit 0,7 m³/s angegeben. Der Stausee kann über eine Leitung (ebenfalls Querschnitt 1.000 mm), die das Betriebsgelände des Werks kreuzt, unterhalb des Wehrs (in Anhang 6, Abbildung 1 oben links zu erkennen) entlastet werden.

Die unmittelbare Umschließung des Werks durch den Fluss und den Stausee geht auch aus **Anhang 6, Abbildung 2** hervor.

Hochwasser 1954 (HHQ)

Anfang Juli 1954 wurde das damalige Chemiewerk vom bis dato höchsten Hochwasser des Flusses erfasst. Nach den Angaben in der wasserrechtlichen Zustimmung zum Bau der Uferschutzmauer wurde dabei auf dem Werksgelände ein Höchstwasserstand von **267,56 m über NN** erreicht. Diese Angabe zum Wasserstand stimmt recht gut überein mit der Höhe, die sich ergibt, wenn der Wasserstand an einem noch heute vorhandenen Gebäude aus Fotografien der damaligen Überschwemmung abgeschätzt und zu den bekannten Höhenkoten des umliegenden Geländes addiert wird.



Anhang 6, Abb. 3: Wasserstand am damaligen Hauptkontor (Juli 1954)

Schlussfolgerungen der vereinfachten Gefahrenquellenanalyse

Damit ist festzuhalten, dass eine Gefährdung des Industriestandorts durch Hochwasser als eine umgebungsbedingte Gefahrenquelle im Sinne von § 3 Absatz 2 der StörfallV (12. BImSchV) vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden kann.

Detaillierte Gefahrenquellenanalyse

Potenzielle Zutrittswege durch Flusshochwasser

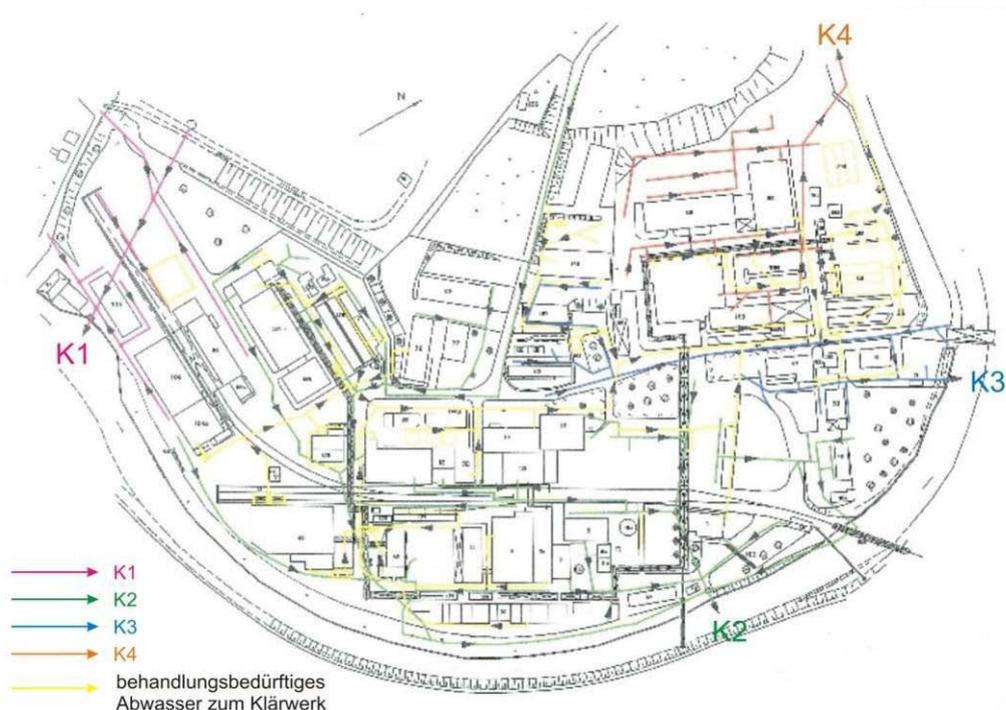
Kanalisation

Das Werk ist Direkteinleiter. Neben der Einleitung von Kühl- und Niederschlagswasser werden auch die in der werkseigenen Kläranlage gereinigten Abwässer direkt in den Vorfluter abgegeben. Die Einleitungsstellen und zugehörigen Abwasserströme sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Anhang 6, Tab. 1: Abwassereinleitungsstellen des Werks

Einleitungsstelle	Abwasserart
K1	Niederschlagswasser aus dem südlichen Betriebsteil (Containerplatz, Vorland Stauseedamm), Überlauf Stausee
K2	Kühl- und Niederschlagswasser aus den Produktionsbereichen
K3	Niederschlagswasser aus dem Bereich Verwaltung/Wohnhäuser
K4	Ablauf der werkseigenen Abwasserbehandlungsanlage, Niederschlagswasser aus restlichen Teilen im nördlichen Werksbereich

Bei Hochwasser können alle vier Einleitungsstellen gegen Rückstau gesichert (verschlossen) werden. Entsprechende Anweisungen sind im Hochwassergefahrenabwehrplan verankert. Anstelle der Freispiegelentwässerung wird dann auf Druckentwässerung mittels Pumpe und Feuerwehrschauch über die Hochwasserschutzmauer bzw. den Deich umgestellt.



Anhang 6, Abb. 4: Abwasserplan mit Einleitungsstellen

Die Lage der Einleitungsstellen geht aus dem Abwasserplan (**Anhang 6, Abbildung 4**) hervor.

Anhang 6, Abbildung 5 zeigt den Sammelschacht vor der Einleitungsstelle K2 mit Schieber, der aus der Messwarte des Unternehmens fernbedient werden kann. K1 und K3 müssen manuell betätigt werden, für K4 erfolgt der Verschluss mittels Blase.



Anhang 6, Abb. 5: Sammelschacht vor der Einleitungsstelle K2 mit fernbedienbarer Verschlusseinrichtung und Messsonden für pH-Wert und Temperatur

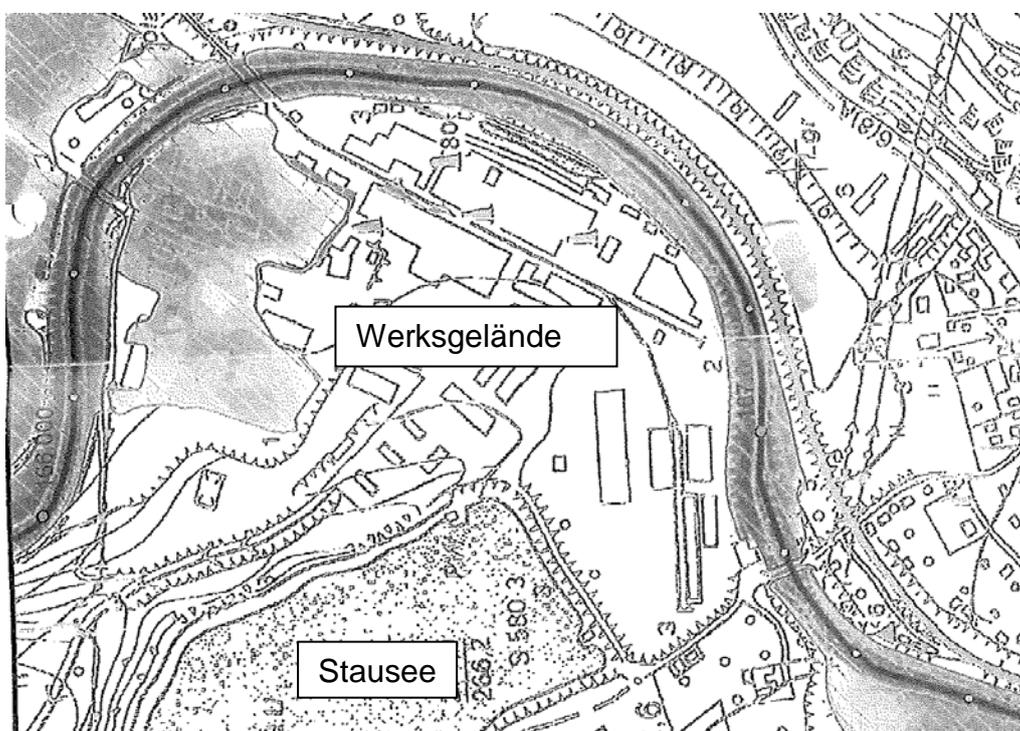
Flusshochwasser

1972 wurde entlang der Süd- und Ostflanke des Unternehmens zum Fluss hin eine Ufermauer errichtet.

Die Höhe der Ufermauer wurde für den „worst case“ des höchsten Hochwassers HHQ zuzüglich 50 cm Freibord ausgerichtet (siehe **Anhang 6, Abbildung 6**). Für den Deich, der sich in Fließrichtung an die Ufermauer anschließt, wurde als Schutzziel HQ₁₀₀ gewählt. Nach den Berechnungen der zuständigen Wasserbehörden kann dieser Teil des Werksgeländes überschwemmt werden.



Anhang 6, Abb. 6: Ufermauer mit Anschlussleitung zum Überpumpen durch die Werksfeuerwehr und Handrad zum Bedienen des Verschlusses von K1 (im Hintergrund rechts das Wehr mit Kraftwerk)



Anhang 6, Abb. 7: Überflutungsgebiet auf dem Werksgelände für HQ₁₀₀

Ein weitergehender Hochwasserschutz soll durch Deichaufkantung mit Sandsäcken erfolgen. Als weitere mobile Einrichtungen, werden folgende Maßnahmen vorgehalten:

- Dammbalkenverschluss des Tors zum Vorland des Flusses
- Abpumpen des auf dem Werksgelände anfallenden Oberflächenwassers oder eingedrungener Wassermassen über die Ufermauer in den Fluss (Anschluss von Feuerwehrschräuchen an den hierfür vorgesehenen Überpumpstellen)
- Schließen von Lücken im Hochwasserabwehrsystem durch Sandsackverbau (z. B. an der Zufahrtsbrücke über den Fluss)

Neben diesen bautechnischen Vorkehrungen existieren konkrete Maßnahmepläne und Anweisungen, die im Falle eines Hochwasserereignisses zu befolgen sind. Dabei handelt es sich u. a. um

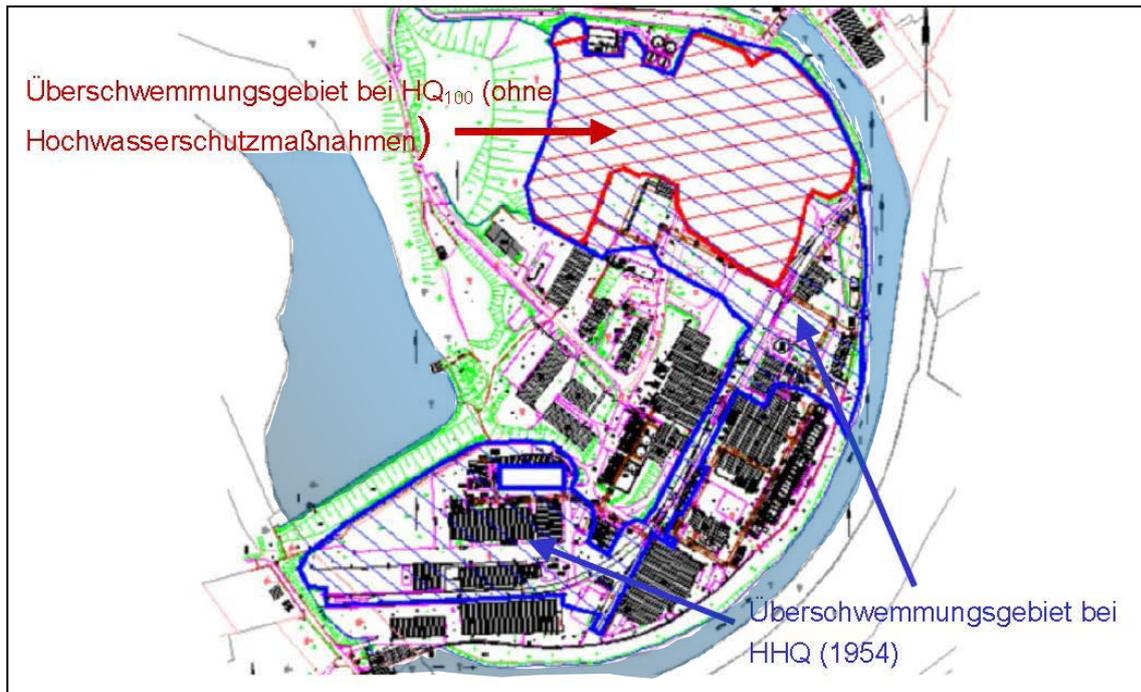
- Hochwassergefahrenabwehrplan
- Aufgaben des Messwartenfahrers bei Hochwasser
- Plan zur Abschieberung und Aufstellung der Pumpen bei Hochwasser
- Beobachtung der Entwicklung der Pegelstände

Gleichwohl wurde im Rahmen dieser Gefahrenquellenanalyse das Überflutungsgebiet für das HHQ in die topografische Karte eingezeichnet (höchster Pegelstand: 267,56 m ü. NN). Dies erfolgte vor dem Hintergrund des § 74 WHG, nach dem die zuständigen Behörden (nicht das Unternehmen!) die entsprechenden Gefahrenkarten und Risikokarten zu erstellen haben:

1. Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder bei Extremereignissen,
2. Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (voraussichtliches Wiederkehrintervall mindestens 100 Jahre),
3. soweit erforderlich, Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit.

Für das Gebiet, in dem das Unternehmen angesiedelt ist, liegen die Gefahrenkarten und Risikokarten noch nicht vor. Bislang wurden nur die Gefahrenkarten für ein HQ₁₀₀ fertiggestellt. Dementsprechend wurde vom Unternehmen die Bemessung des o. g. Deiches für dieses Schutzziel vorgenommen.

Während für das HQ₁₀₀ die Schutzmaßnahmen am Deich ausreichend sind, werden im Falle des HHQ von 1954 große Teile des Werksgeländes überflutet, sofern die Aufkantung mit Sandsäcken nicht rechtzeitig erfolgt (**Anhang 6, Abbildung 8**).



Anhang 6, Abb. 8: Überflutetes Werksgelände bei HHQ

Potenzieller Zulauf durch Überspülung des Stauseedamms (Starkniederschlag)

Wie aus der Lagebeschreibung hervorgeht, liegt die Dammkrone des Stausees unmittelbar am Werkszaun. Von daher muss bei der Gefahrenquellenanalyse auch eine Überflutung des Werksgeländes infolge Überlaufs des Stausees in Betracht gezogen werden. Ein derartiges Szenario ist denkbar aufgrund von Starkniederschlägen im Einzugsgebiet des Stausees.

Zur Überprüfung dieser Gefährdung wurden nachfolgende Berechnungen unter Verwendung der für die Gemarkung zutreffenden Angaben in KOSTRA-DWD angestellt.

Einzugsgebietsfläche (geschätzt):	225 ha
Abflussbeiwert ψ_m (gewählt nach DWA-M 153 ⁷⁰ , Tabelle 2)	0,4
Jährlichkeit	100
Niederschlagsspende bei Dauer des Ereignisses = 72 h	5 l/(s*ha)
Niederschlagshöhe bei Dauer des Ereignisses = 72 h	130 mm
Klimafaktor ⁷¹	1,2

⁷⁰ Merkblatt DWA-M 153 Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, August 2007 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef

⁷¹ Die Angaben zur Niederschlagsspende bzw. -höhe in KOSTRA-DWD beruhen auf Auswertungen des Wettergeschehens in den zurückliegenden Jahrzehnten (1951 bis 2000). Um die in Folge des Klimawandels zu erwartende höhere Niederschlagshäufigkeit bzw. -ergiebigkeit zu berücksichtigen, werden die retrospektiv gültige Niederschlagsspende bzw. -höhe gemäß KOSTRA-DWD mit einem Klimafaktor von 1,2 multipliziert. Dies entspricht einem Sicherheitszuschlag von 20%.

Als maximaler Zufluss zum See innerhalb von 72 h ergibt sich daraus:

$$225 \text{ ha} * 0,4 * 5 \frac{\text{l}}{\text{s} * \text{ha}} * 1,2 * 72 \text{ h} * \frac{60 \text{ min.}}{\text{h}} * \frac{60 \text{ sec.}}{\text{min.}} = 139.968 \text{ m}^3$$

bzw.

$$225 \text{ ha} * \frac{10.000 \text{ m}^2}{\text{ha}} * 0,4 * 0,13 \text{ m} * 1,2 = 140.400 \text{ m}^3$$

Der weiteren Berechnung werden **140.000 m³** zugrunde gelegt.

Der Stausee selbst wird natürlich auch vom Niederschlag erreicht ($\psi = 1$):

$$28 \text{ ha} * 5 \frac{\text{l}}{\text{s} * \text{ha}} * 1,2 * 72 \text{ h} * \frac{60 \text{ min.}}{\text{h}} * \frac{60 \text{ sec.}}{\text{min.}} = 43.546 \text{ m}^3$$

bzw.

$$28 \text{ ha} * \frac{10.000 \text{ m}^2}{\text{ha}} * 0,13 \text{ m} * 1,2 = 43.680 \text{ m}^3$$

Der weiteren Berechnung werden **43.600 m³** zugrunde gelegt. Als Summe ergibt sich damit eine Wassermenge von ca. **183.800 m³**.

Entwässert wird der See über eine Rohrleitung, die zum Übergabepunkt K1 verlegt ist. Über diese Rohrleitung können ca. 300 m³/h zum Fluss abgelassen werden. Darüber hinaus können über einen Feuerwehrschauch, der im Bedarfsfall verlegt wird, zusätzlich 150 m³/h in den Fluss gepumpt werden. Innerhalb von 72 h können somit maximal abgeleitet werden:

$$(300 + 150) \text{ m}^3/\text{h} * 72 \text{ h} = \mathbf{32.400 \text{ m}^3}$$

Somit bleibt ein aufzunehmendes Volumen von

$$183.800 \text{ m}^3 - 32.400 \text{ m}^3 = \mathbf{151.400 \text{ m}^3}$$

Bei der o. g. Fläche des Sees führt das zu einer maximalen Aufhöhung von

$$\frac{151.400 \text{ m}^3}{280.000 \text{ m}^2} = \mathbf{0,54 \text{ m}}$$

Diese Aufhöhung des Seewasserspiegels ist unkritisch, weil sie deutlich unterhalb des vorhandenen Freibords von etwa 1,50 m liegt. Selbst ein Katastrophenniederschlag von 200 mm, wie am 26.07.2008 im Stadtgebiet von Dortmund aufgetreten, kann ohne Überlauf des Staudamms aufgenommen werden (Aufhöhung des Seewasserspiegels dann um ca. **73 cm**).

Möglichkeit des Zulaufs am Wehr durch Treibgut

Anhang 6, Abbildung 9 zeigt den Zulauf zum Wehr oberhalb des Werksgeländes. Es ist erkennbar, dass insgesamt 4 Pfeiler die Brücke tragen und somit potenziell zum Aufstau von Treibgut beitragen können. Damit würde der Wasserspiegel ansteigen und im schlimmsten Fall über die Ufer treten. Das Werksgelände selbst liegt an dieser Stelle deutlich niedriger.



Anhang 6, Abb. 9: Wehr oberhalb des Werksgeländes (Blick in Fließrichtung des Wassers)

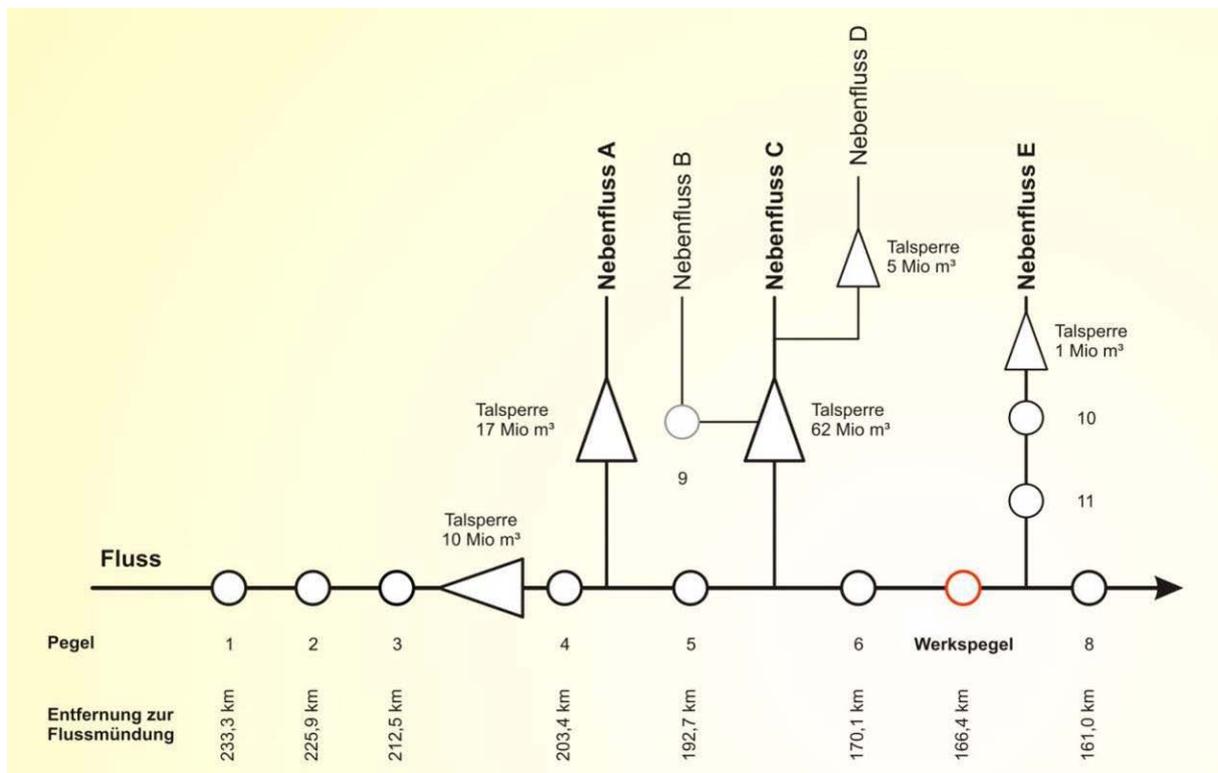


Anhang 6, Abb. 10: Blick auf das Wehr während des Hochwassers von 1954

Zur Bewertung dieser Gefahrenquelle kann eine historische Aufnahme von 1954 herangezogen werden. Abbildung 10 zeigt, dass sich aufgrund der Wassermassen in Verbindung mit der Strömungsgeschwindigkeit kein Treibgut an den Brückenpfeilern aufgestaut hat. Diese Aufnahme beweist, dass der Abflussquerschnitt des Wehrs so groß bemessen ist, dass selbst das HHQ von 1954 ohne nennenswerten Aufstau passieren konnte. Allerdings sollte das Werk bei Hochwasser dafür sorgen, dass das Wehr rund um die Uhr von Treibgut freigehalten wird.

Maßnahmen im Flussgebiet

Die Lage des Standorts innerhalb des Flussgebiets und die für die Hochwasservorhersage und -gefahrenabwehr maßgeblichen Gewässerpegel sind in **Anhang 6, Abbildung 11** dargestellt.



Anhang 6, Abb. 11: Hochwasserschutz- und -meldeanlagen im Flussgebiet

Der flussaufwärts nächstgelegene Pegel im System der Hochwasservorhersage ist Pegel Nummer 6. Der nächstgelegene Pegel unterhalb des Standorts ist Pegel Nummer 8.

Das Zwischeneinzugsgebiet unterhalb Pegel 6 bis zum Werk ist vergleichsweise klein und es gibt keine nennenswerten Zuflüsse. Von daher eignet sich dieser Pegel gut als Warnpegel. Allerdings beträgt die Fließzeit von diesem Pegel bis zum Werk bei Hochwasser nur ca. 20 Minuten, das ist als Vorwarnzeit für viele Hochwasserschutzmaßnahmen zu gering. Somit ist es sinnvoll, im Falle eines möglichen Hochwassers auch die Wasserstände der weiter oberhalb gelegenen Pegel zu verfolgen.

Das Werk betreibt eine eigene Online-Messung des Wasserstands mittels Ultraschall (Pegelstandort: Bahnbrücke).

In **Anhang 6 Tabelle 2** auf der folgenden Seite sind die wichtigsten Angaben zu den o. g. Pegeln zusammengefasst.

Wie aus der hydrologischen Statistik des Flusses hervorgeht, ist seit dem verheerenden Hochwasser vom Jahr 1954 kein annähernd vergleichbar schweres Ereignis mehr eingetreten. Grund hierfür sind vor allem die zwischenzeitlich getroffenen Hochwasserschutzmaßnahmen im Einzugsgebiet, d. h. der Bau von Talsperren.

1954, zum Zeitpunkt des HHQ, betrug der für den Hochwasserschutz verfügbare Stauraum im Flussgebiet oberhalb des Werksgeländes nur ca. 10 Mio. m³. Danach wurden Talsperren für den Hochwasserschutz an den Nebenflüssen A und C errichtet. Damit hat sich der verfügbare Hochwasserschutzraum im Einzugsgebiet um mehr als Faktor 5 erhöht.

Daraus darf geschlussfolgert werden, dass ein vergleichbar verheerendes Hochwasser wie das HHQ im Jahre 1954 nicht mehr zu erwarten ist.

Anhang 6, Tab. 2: Einzugsgebietsgröße, Entfernung von der Mündung, ausgewählte hydrologische Hauptzahlen, Meldebeginn und Alarmstufen der Pegel 6, 7 (Werkspegel) und 8

Pegel	Einzugsgebietsgröße	Entfernung von der Mündung	HHQ	HHW	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀	HW ₁₀₀	HQ ₂₀₀	HQ ₃₀₀	HW ₃₀₀	MHQ
Pegel 6	957 km ²	170,1 km	103 m ³ /s	273,67 m ü. NN		255 m ³ /s	275,40 m ü. NN		369 m ³ /s	275,96 m ü. NN	
Werkspegel	985 km ²	166,4 km	445 m ³ /s	267,56 m ü. NN	209 m ³ /s	263 m ³ /s	267,48 m ü. NN	329 m ³ /s			
Pegel 8	1.255 km ²	161,0 km	558 m ³ /s		297 m ³ /s	382 m ³ /s		489 m ³ /s			89,8 m ³ /s

Pegel	Pegel Null	MB (entspricht Stufe A1 in Sachsen)	A1 (entspricht Stufe A2 in Sachsen)	A2 (entspricht Stufe A3 in Sachsen)	A3 (entspricht Stufe A4 in Sachsen)
Pegel 6	271,39 m ü. NN	180	220	300	380
Werkspegel	264,11 m ü. NN	102	142	182	222
Pegel 8	253,41 m ü. NN	300	340	380	420

Anhang 7: Literatur zu Hinweisen und Erläuterungen

- Allison I. et. Al. (2009). The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the world on the Latest Climate Science. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60pp. (www.copenhagendiagnosis.com/)
- ATV-DVWK-M 165 (2004): Merkblatt ATV-DVWK-M 165: Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung Januar 2004
- Bárdossy, A.; Pakosch, S. (2005): Wahrscheinlichkeiten extremer Hochwasser unter sich ändernden Klimaverhältnissen; Wasserwirtschaft 7-8/2005, p 58-62
- BJOERNSEN (2011): Kalypso, Ein Modellsystem für die Wasserwirtschaft Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, Koblenz, 2011 <http://kalypso-bjoernsen.de/index.php?id=330>
- BMU 2008: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), <http://www.bundesumweltministerium.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php>
- BÜK 1000 - Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000; www.bgr.bund.de/chn_092/nn_325378/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/BUK_1000.html
- DWA-A 118, 2006 Arbeitsblatt DWA-A 118 Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, März 2006
- DWA-M 153 Merkblatt DWA-M 153 Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, August 2007
- FISKA 2009: UBA-Forschungsprojekt Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 2: Aufbau eines Fachinformationssystems Klimaanpassung (FISKA); (FKZ 206 41 100); Abschlussbericht vorgesehen im Oktober 2009
- Fraedrich, K.; Gerstengarbe, F.W.; Werner, P.C. (2001) Climatic Change, 50, 405-417, 2001
- Fricke, W.; Kaminski, U. (2002): GAW Brief des Deutschen Wetterdienstes Nummer 12, 2002
- Geiger, H., H. Zeller, G. Röthlisberger (1991): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Band 7, S. 55 ff., Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf 1991

- Grünewald, U. et. al. (2004): Hochwasservorhersage in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Kurzfassung für die Versicherungswirtschaft. In: Lessons learned, Schriftenreihe des DKKV, Band/Heft 29. Bonn.
- Grünewald, U. et. al. (2009): Gutachten zu Entstehung und Verlauf des extremen Niederschlag-Abfluss-Ereignisses am 26.07.2008 im Stadtgebiet von Dortmund, Januar 2009 (www-docs.tu-cottbus.de/hydrologie/public/files/Hochwassergutachten_Dortmund.pdf)
- Hattermann, F.F., J. Post, V. Krysanova, T. Conradt and F. Wechsung (2008). Assessment of Water Availability in a Central-European River Basin (Elbe) Under Climate Change. Advances in Climate Change Research 4, 42-50
- Hennegriff W. Kolokotronis V, Weber H, Bartels H (2006): Klimawandel und Hochwasser - Erkenntnisse und Anpassungsstrategien beim Hochwasserschutz;
http://www.kliwa.de/download/klimawandel_hochwasser.pdf
- IPCC 2007, Forth Assessment Report (AR4), Cambridge University Press 2007, <http://www.ipcc.ch/>
- Jacob, D.; Göttel, H.; Kotlarski, S., Lorenz, P.; Sieck, K. 2008: Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland – Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 20441138, Umweltbundesamt Dessau (Hrsg.), August 2008.
- Jonas M, Staeger T, Schönwiese, C.D. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen - Schwerpunkt Deutschland; Umweltbundesamt, Forschungsbericht 201 41 254
- Kallache M, Rust H & Kropp JP (2005): Trend Assessment: Applications for Hydrology and Climate Research. Nonlinear Processes in Geophysics. 12: 201-210
- Kallache M, Rust H, Lange H & Kropp JP (2009): Extreme Value Analysis considering Trends: Application to Discharge Data of the Danube River Basin; in Kropp JP & Schellnhuber, HJ (2009)
- KOSTRA-DWD-2000 (2006): Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung – Auswertung DWD (1951 bis 2000), 2006 (<http://www.dwd.de/kostra>)
- Kropp JP & Costa L (2008): Impacts and Costs of Sea-Level Rise in Europe. Journal of Coastal Research, eingereicht
- Kropp JP & Schellnhuber, HJ (2009): In Extremis: Trends, Correlations and Extremes in Hydrology and Climate. Springer, Berlin, im Erscheinen.

- Kropp JP, Block A., Reusswig F, Zickfeld K & Schellnhuber HJ (2006): Semiquantitative Assessment of Regional Climate Vulnerability: The North Rhine - Westphalia Study. *Climatic Change*. 76(3-4): 265-290
- Kunz, M.; Kottmeier, Ch. (2005): -Studie zur Häufigkeit und Intensität meteorologischer Ereignisse mit großem Schadenpotential in Baden-Württemberg, Abschlussbericht im Rahmen des Projekts KLARA, Karlsruhe 2005
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Ermittlung von Bemessungsabflüssen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen, Merkblätter Band 46, 2004
- Münchener Rück (2007): Topics Geo – Naturkatastrophen 2007, Münchener Rück, München 2008;
- Orlowsky, B. (2007) Setzkasten Vergangenheit - ein kombinatorischer Ansatz für regionale Klimasimulationen, Dissertation, Universität Hamburg 2007
- Orlowsky, B., Gerstengarbe, F.-W.; Werner, P.C. (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theoretical and Applied Climatology* 92, 3-4, 209-223.
- Petrow, T.; Zimmer, J.; Merz, B. (2009): Trends in Hochwasserreihen und Großwetterlagen in Deutschland, Tag der Hydrologie, Kiel, März 2009
- Rahmstorf, S. (2009): Sea Level Rise. Vortrag auf dem Climate Change Congress in Kopenhagen, 10.3.2009. <http://climatecongress.ku.dk/speakers/stefanrahmstorf-plenaryspeaker-10march2009.pdf>.
- Rahmstorf, S. et. al. (2007): Recent Climate Observations Compared to Projections. *Science* 316, 709. www.pikpotsdam.de/~stefan/Publications/Nature/rahmstorf_etal_science_2007.pdf.
- Scherzer, J. et al. (2010) WASKlim Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft Block 1: Methodenentwicklung zur Bestimmung der Anpassungskapazität und Vulnerabilität Block 2: Anpassungskonzepte für den Wassersektor und Umgang mit Nutzungskonflikten <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4019.pdf>
- Schönwiese, C.-D., T. Staeger, H. Steiner und S. Brinckmann (2006): Analyse der Klimaveränderungen in Hessen für den Zeitraum 1901-2003 (Abschlussbericht zum INKLIM-Projekt, Baustein II., Nummer 2004.090353876-3 HLUG). Bericht Nummer 3, Univ. Frankfurt/M.

- Schönwiese, C.-D., T. Staeger, H. Trömel, S. (2006): Klimawandel und Extremereignisse in Deutschland, DWD-Klimastatusbericht 2005, S. 7-17
- Spekat, A.; Enke; W. & Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES Szenarios B1, A1B und A2. Endbericht, UBA, Dessau.
www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3133.pdf.
- Sterr, H. (2009) Umweltbundesamt - Dialoge zur Klimaanpassung, Küstenschutz, Mai 2009
http://www.anpassung.net/nn_701074/DE/Anpassungsstrategie/Veranstaltungen/Dialoge_20zur_20Klimaanpassung/0905-K_C3_BCstenschutz/Dialog_20K_C3_BCstenschutz.html
- Stock M (2007) „Fachinformationssystem Klimafolgen: Generierung von Risikokarten“, Vortrag auf dem dritten nationalen Workshop „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland“ des UBA, Dessau, 6.-7. November 2007
- Stock M. (Ed.) (2005): KLARA, KLimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung; PIK-Report No. 99. Potsdam
- Stock, M. (2006): Klimawandel - Konsequenzen für die Siedlungsentwässerung?, DWA-Expertengespräch, Hennef/Sieg, 22. Februar 2006
- Stock, M. (2009) Hat der Klimawandel Auswirkungen auf die Anlagensicherheit?, Chemie Ingenieur Technik 1-2 2009, Herausgeber DECHEMA GDCh VDI GVC, p. 119-126
- Stock, M. (2010): Predictions, Projections, and Perspectives of Climate Change; angenommen zur Veröffentlichung in Nova Acta Leopoldina
- Stock, M.; Kropp, J.; Walkenhorst, O. (2009): Risiken, Vulnerabilität und Anpassungserfordernisse für klimaverletzliche Regionen, Raumforschung und Raumordnung 2/2009
- Tomassini, I. and Jacob, D. (2009): Spatial analysis of trends in extreme precipitation events in high-resolution climate model results and observations for Germany; JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 114, D12113, 2009
- TR-55 (1986): Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division, Technical Release 55, June 1986 <http://www.cpsc.org/reference/tr55.pdf>

- Trömel S, Schönwiese CD (2009): Extreme value and trend analysis based on statistical modelling of precipitation time series. In Kropp, J.P., Schellnhuber, H.J. (eds.): In Extremis - Extremes, Trends, and Correlations in Hydrology and Climate. Springer, Berlin etc., pp. 4-20.
- Trömel, S. (2005): Statistische Modellierung von Klimazeitreihen. Bericht Nummer 2, Inst. Atmosphäre u. Umwelt, Universität Frankfurt/M.
- URBAS (2008): Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS), Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben FKZ 0330701 C, Dezember 2008, <http://www.urbanesturzfluten.de/>
- Verworn, H.-R.; Kummer, U.: Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN). Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, 2003, [www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LAWA/Vorhaben_des_ehemaligen_Ausschusses_Daten_\(AD\)/D_1.01/Abschlussbericht_PEN.pdf](http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/cms/WaBoAb_prod/WaBoAb/Vorhaben/LAWA/Vorhaben_des_ehemaligen_Ausschusses_Daten_(AD)/D_1.01/Abschlussbericht_PEN.pdf)
- von Storch, H., I. Meinke und R. Weisse (2009): Nordseesturmfluten im Klimawandel. Proceedings Symposium "Stormvloed 1509 – Geschiedenis van de Dollard", 19. September 2009, Leer
- Wald J (2004): Auswirkungen der Klimaänderungen auf Planungen – Praxisbeispiele. KLIWA-Berichte, Vol 4, p.169-186.
- Walkenhorst, O.; Stock, M. (2009): Regionale Klimaszenarien für Deutschland. Eine Leseanleitung. E-Paper der ARL Nummer 6. Hannover;
- Warm, H.-J.; Köppke, K.-E.; Krätzig, W.B.; Beem, H. (2007): Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser; Bericht UBA-FB-001047, 2007
- WBGU (2006): The future of the oceans: to warm, to high, to sour. German Advisory Council on Global Change to the Federal Government (WBGU), Special Report.
- Werner, P.C. (2009): private Mitteilung.
- Werner, P.C., Gerstengarbe, F.-W. (2007): Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten? In: Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Hrsg.: Endlicher, W., Gerstengarbe, F.-W., Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und Humboldt-Universität zu Berlin, S. 56-59, ISBN 978-3-9811871-0-6
- WinTR-55: Hydraulics and Hydrology Tools and Models - WinTR-55 United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service ([WinTR-55](#))

Woth K (2006): Regionalisation of global climate change scenarios: An ensemble study of possible changes in the North Sea storm surge statistics. Vom Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg als Dissertation angenommene Arbeit. GKSS-Report 2006/13

www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk46/merk46.pdf

Zebisch et al. (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltbundesamt, Climate Change 08/05 (UFO-PLAN 201 41 253), Dessau (<http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2947.pdf>).