
Operativer Hochwasserschutz

Robert Jüpner · Alexandra Schüller

Operativer Hochwasserschutz

 Springer Vieweg

Robert Jüpner
Wasserbau
RPTU Kaiserslautern-Landau
Kaiserslautern, Deutschland

Alexandra Schüller
Wasserbau
RPTU Kaiserslautern-Landau
Kaiserslautern, Deutschland

ISBN 978-3-658-46759-3 ISBN 978-3-658-46760-9 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-46760-9>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2025

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Dr. Daniel Froehlich

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Vorwort

Die Bewältigung von Hochwasserereignissen ist und bleibt eine gesellschaftliche Herausforderung. Insbesondere die Hochwasserkatastrophe im Ahrtal im Juli 2021 hat die Notwendigkeit einer deutlichen Verbesserung in diesem Aufgabenbereich nochmals und drastisch vor Augen geführt. Dieses Fachbuch soll dazu einen Beitrag leisten. Es basiert auf langjähriger Arbeit der Autoren in diesem Bereich und intensiver Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Akteuren im Hochwasserrisikomanagement. Einige Abschnitte in diesem Fachbuch entstammen vorherigen Veröffentlichungen der Autoren (s. unter anderem Jüpner 2022c; Schüller 2022; Schüller & Jüpner 2021b).

Die gewählte Struktur des vorliegenden Buches ist bewusst für einen breiten Leserkreis ausgerichtet und soll ein umfassendes Verständnis der Möglichkeiten und Grenzen des operativen Hochwasserschutzes begründen. Dabei wird ein methodischer Ansatz verfolgt, der neben der eigentlichen Ereignisbewältigung während des Hochwassers, die operative Hochwasservorsorge als auch die operative Hochwassernachsorge umfasst. Damit wird verdeutlicht, dass eine erfolgreiche und effektive Hochwasserbewältigung eine intensive Vorbereitung auf verschiedene Hochwasserszenarien sowie eine fundierte Ereignisanalyse nach Ablauf eines Hochwassers beinhalten muss. Auch wenn jedes Hochwasserereignis eine besondere Ausprägung besitzt und von einer Vielzahl meteorologischer, hydrologischer, räumlicher und nicht zuletzt gesellschaftspolitischer Rahmenbedingungen abhängig ist, lassen sich grundlegende Erkenntnisse aus den jeweiligen Hochwasserbewältigungsstrategien und -maßnahmen ableiten. In einem separaten Buchkapitel werden wesentliche Schlussfolgerungen für den operativen Hochwasserschutz aus abgelaufenen großen Hochwasserereignissen in Deutschland dargestellt und erläutert.

Dieses Buch wurde mit Unterstützung einer Reihe engagierter Kolleginnen und Kollegen erarbeitet, die ihre jeweilige Expertise bereitwillig und geduldig zur Verfügung gestellt haben. Einige Namen seien stellvertretend genannt:

- Dipl.-Ing. (FH) Hans Hoffmann, Daniel Gronwald und Tobias de Koeijer (Technisches Hilfswerk)

- Oberstleutnant Torsten Liebscher, Oberstleutnant Murat Aydin und Hauptmann Mark Bailey (Landeskommando Rheinland-Pfalz)
- Dr.-Ing. Wolfgang Kron (ehemals Munich Re)
- Burkhard Henning (ehemals Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt)
- Dr. Martin Fabisch, Selina Schaum, M.Sc. und Max Beining, M. Eng. (Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau)

Unseren Familien danken wir für die geduldige Unterstützung dieses zeitaufwendigen Projektes.

Wir freuen uns, wenn das Buch Eingang in die Praxis des operativen Hochwasserschutzes findet und wünschen allen Leserinnen und Lesern eine gewinnbringende Lektüre.

Kaiserslautern
Newark
Delaware
im September 2024

Prof. Dr. Robert Jüpner
Dr.-Ing. Alexandra Schüller

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Philosophie des Buches	1
1.2	Historische Entwicklung	3
1.2.1	Hochwasserschutz, Hochwasserrisikomanagement und Resilienz	4
1.2.2	Hochwasservorhersage	5
1.2.3	Hochwasserwarnung	5
1.2.4	Darstellung der Hochwasserlage im Ereignisfall	6
1.2.5	Technische Möglichkeiten der Hochwasserbewältigung	7
1.3	Aktuelle Situation	7
1.4	Definition des Begriffs „Operativer Hochwasserschutz“	9
1.5	Säulen des Operativen Hochwasserschutzes	11
2	Hochwasser: Typen, Ursachen, Ausprägung, Folgen	13
2.1	Wassergefahren	13
2.2	Typen von Hochwasser und ihre Ursachen	18
2.2.1	Flusshochwasser	19
2.2.2	Starkregenhochwasser	20
2.2.3	Sturzflut	21
2.2.4	Sturmflut	22
2.2.5	Eishochwasser	22
2.3	Ausprägung und Folgen	23
3	Hydrologische Grundlagen: Hochwasservorhersage und Hochwassermodellierung	27
3.1	Hydrologische Grundlagen der Hochwasserentstehung	27
3.2	Modellierung von Hochwasserereignissen	29
3.3	Modellierung von Starkregenereignissen	30

3.4	Hochwasservorhersage	31
3.4.1	Grundlagen der Hochwasservorhersage	34
3.4.2	Pegelgestützte Vorhersage	35
3.4.3	Ensemble-Vorhersage und ihre Interpretation	37
3.5	Starkregen-Vorhersage (meteorologische Vorhersage)	39
4	Grundlagen des Hochwasser- und Starkregenisikomanagements	41
4.1	Hochwasserrisikomanagement: Grundlagen und Instrumente	41
4.1.1	Grundlagen des Hochwasserrisikomanagements	42
4.1.2	Hochwassergefahren- und -risikokarten	43
4.2	Starkregenisikomanagement: Grundlagen und Instrumente	44
4.2.1	Grundlagen des Starkregenisikomanagements	44
4.2.2	Starkregengefahren- und -risikokarten	45
5	Grundlagen des Katastrophenschutzes	49
5.1	Einführung	49
5.2	Unterschied Krise – Katastrophe	50
5.3	Hochwasser als Katastrophe	51
5.4	Begriffsdefinition Katastrophenmanagement	54
5.5	Rechtlicher Rahmen und Zuständigkeiten	55
6	Grundlagen des Operativen Hochwasserschutzes	59
6.1	Handlungsfelder des operativen Hochwasserschutzes	59
6.2	Treiber des operativen Hochwasserschutzes	61
6.3	Akteure im operativen Hochwasserschutz	62
6.3.1	Wasserwirtschaftsverwaltung	65
6.3.2	Katastrophenschutzbehörden	66
6.3.3	Zivilschutzbehörden	67
6.3.4	Hilfsorganisationen	68
6.3.5	Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW)	69
6.3.6	Bundeswehr	71
6.4	Schnittstelle zwischen Wasserwirtschaft und Katastrophenschutz	73
6.5	Internationale Entwicklungen	75
7	Operative Hochwasservorsorge	79
7.1	Einführung	79
7.2	Operative Hochwasserschutzplanung	81
7.2.1	Allgemein	81
7.2.2	Alarm- und Einsatzplanung Hochwasser in Deutschland	82
7.2.3	Alarmierung, Warnung, Auslöseschwellen und Meldewege	84
7.2.4	Automatisierung	86
7.2.5	Priorisierung	88

7.2.6	Szenarienbetrachtung	90
7.3	Aus- und Fortbildung als Bestandteil der operativen Hochwasservorsorge	91
7.3.1	Operativer Hochwasserschutz als Teil der allgemeinen Katastrophenschutz-Ausbildung	92
7.3.2	Operativer Hochwasserschutz als spezieller Ausbildungsinhalt	93
7.3.3	Innovative Ansätze und Formate in der Aus- und Fortbildung	95
8	Operative Hochwasserbewältigung	97
8.1	Beginn der Hochwasserbewältigung	97
8.2	Potenzielle Gefährdungslagen in Abhängigkeit vom Hochwasser-Typ	98
8.3	Stabsarbeit im operativen Hochwasserschutz	99
8.4	Lagefeststellung und -beurteilung	101
8.5	Besonderheiten bei der Beurteilung der Hochwasserlage	104
8.6	Besonderheiten bei der Festlegung von Einsatzmaßnahmen	111
8.7	Operative Hochwasserbewältigung – Routinemaßnahmen	112
8.7.1	Planung, Unterteilung und Zuordnung der Routinemaßnahmen	114
8.7.2	Praktische Umsetzung von Routinemaßnahmen	116
8.7.2.1	Maßnahmen zur Verhinderung der flächenhaften Ausbreitung des Hochwassers	121
8.7.3	Deichverteidigung	125
8.7.4	Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der betroffenen Region	141
8.7.5	Maßnahmen zur Sicherstellung der Umsetzbarkeit der operativen Hochwasserschutzmaßnahmen	144
8.8	Operative Hochwasserbewältigung – Gefahrenabwehr- und Katastrophenschutzmaßnahmen	144
8.9	Operative Hochwasserbewältigung – Ereignisspezifische Besonderheiten	145
8.9.1	Verkläunungen und Verlegungen von Gewässerprofilen	147
8.9.2	Steuerung von technischen Hochwasserschutzanlagen	149
8.9.3	Deichbrüche	150
8.9.4	Starkregen und damit verbundene Gefahrensituationen	154

9	Operative Hochwassernachsorge	157
9.1	Einführung	157
9.2	Hochwasserereignisanalyse	160
9.3	Hochwasserschadensanalyse und -bewertung	163
9.4	Lessons Learned	166
10	Technische Instrumente im operativen Hochwasserschutz	169
10.1	Einführung	169
10.2	Entscheidungsunterstützungssysteme im Katastrophenschutz	170
10.3	Informations- und -managementsysteme in der Wasserwirtschaft und im Katastrophenschutz	171
10.3.1	Entscheidungsrelevante Daten für die Lagefeststellung und -beurteilung	174
10.3.2	Digitale Lagekarte im Ahrtal 2023	175
10.3.3	INGE	179
10.3.4	FLIWAS	180
10.4	Instrumente der Fernerkundung	182
10.5	Kommunikation mithilfe technischer Instrumente	182
10.6	Sonstige technische Instrumente	183
11	Praxisbeispiele	185
11.1	Vorbemerkung	185
11.2	Weihnachtshochwasser 2023 im Aller-Weser-Dreieck	188
11.2.1	Betrachtete betroffene Region	188
11.2.2	Entstehung und Ablauf des Hochwassers	188
11.2.3	Hochwasservorhersage	190
11.2.4	Operative Hochwasserbewältigung	192
11.2.5	Fazit	193
11.3	Elbe-Hochwasser 2002	194
11.3.1	Betrachtete betroffene Region	194
11.3.2	Entstehung und Ablauf des Hochwassers	195
11.3.3	Hochwasservorhersage	198
11.3.4	Operative Hochwasserbewältigung	200
11.3.5	Fazit	201
11.4	Sommer-Hochwasser der Elbe 2013	201
11.4.1	Betrachtete betroffene Region	201
11.4.2	Entstehung und Ablauf des Hochwassers	203
11.4.3	Hochwasservorhersage	203
11.4.4	Operative Hochwasserbewältigung	204
11.4.5	Fazit	212

11.5	Ahr-Hochwasser 2021	214
11.5.1	Betrachtete betroffene Region	214
11.5.2	Entstehung und Ablauf des Hochwassers	215
11.5.3	Hochwasservorhersage	216
11.5.4	Operative Hochwasserbewältigung	217
11.5.5	Fazit	218
12	Zukünftige Herausforderungen	221
12.1	Ausgangspunkt	221
12.2	Herausforderungen durch den Klimawandel	222
12.3	Herausforderungen durch den demografischen Wandel	223
12.4	Herausforderungen durch die Digitalisierung und künstliche Intelligenz	225
Literatur	227

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
&	und
<	kleiner
>	größer
≤	kleiner gleich
≥	größer gleich
§	Paragraf
°C	Grad Celsius
a	Jahr
Abb.	Abb.
admin.-org.	administrativ-organisatorisch
AEP	Alarm- und Einsatzplan
AG	Arbeitsgemeinschaft
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz
BMI	Bundesministerium des Inneren
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BW	Baden-Württemberg
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
d	Tag(e)
d. h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DV	Dienstvorschrift
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
et al.	et alii
etc.	et cetera

EU	Europäische Union
EZG	Einzugsgebiet
f.	folgende
F	Forschungsfrage
ff.	fortfolgende
FwDV	Feuerwehr-Dienstvorschrift
gem.	gemäß
Gew.	Gewässer
GG	Grundgesetz
ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geoinformationssystem
GMLZ	Gemeinsames Melde- und Lagezentrum des Bundes und der Länder
gr.	groß(e)
GVBl.	Gesetz- und Verordnungsblatt
h	Stunde(n)
HQ	Hochwasserabfluss
Hr.	Herr
HW	Hochwasser
HWMS	Hochwassermanagementsystem
HWRM-RL	Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie
i. d. R.	in der Regel
i. S. d.	im Sinne des
IuK	Information und Kommunikation
Kap.	Kapitel
KatS	Katastrophenschutz
kl.	klein
KRITIS	Kritische Infrastrukturen
l	Liter
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LdS	Leiter des Stabes
LFKA	Landesfeuerwehr- und Katastrophenschutzakademie Rheinland-Pfalz
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
max.	maximal
MdI	Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz
min.	mindestens
mm	Millimeter
MW	Mittelwasser
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen

o. Ä.	oder Ähnliches
o. g.	oben genannt
o. J.	ohne Jahr
o. O.	ohne Ort
OHWS	operativer Hochwasserschutz
op.-takt.	operativ-taktisch
org.	organisatorisch
pot.	potenziell
PuMA	Presse- und Medienarbeit
Q	Abfluss
qual.	qualitativ
rechtl.	rechtlich
RL	Richtlinie
RLP	Rheinland-Pfalz
s	Sekunde
S.	Seite
s.	siehe
s. u.	siehe unten
S1-6	Sachgebiet 1-6 (im Führungsstab)
schriftl.	schriftlich
sog.	sogenannte
Tab.	Tab.
techn.	technisch
TEL	Technische Einsatzleitung
THW	Technisches Hilfswerk
t_n	Wiederkehrzeit
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
ü. HN	über Höhengnull
ü. NN	über Normallnull
ÜSG	Überschwemmungsgebiet
usw.	und so weiter
UW	Unterwasser
v	Fließgeschwindigkeit
v. a.	vor allem
v. g.	vorgenannte
VfdB	Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V.
vgl.	vergleiche
VZP	Vorhersagezeitpunkt
WaWi	Wasserwirtschaft
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

ww.	wasserwirtschaftlich
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
ZSKG	Gesetz über den Zivilschutz und die Katastrophenhilfe des Bundes
zw.	zwischen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Bibel, niederdeutsch (1494) De Biblie mit vflitigher achtginghe [...]. Lübeck: Steffen Arndes, 19. Nov. 1494. BFSt: 7 A 7 (Frankesche Stiftungen 2023)	3
Abb. 1.2	Hochwasserrisikomanagement-Zyklus (Schüller und Jüpner 2021a, verändert nach Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 2019)	8
Abb. 1.3	Zusammenarbeit von Wasserwirtschaft und Katastrophenschutz bei der Bewältigung von Hochwasserereignissen – Prinzipskizze zur Illustration des operativen Hochwasserschutzes (verändert nach Jüpner 2022a)	10
Abb. 1.4	Untergliederung des operativen Hochwasserschutzes in die drei Säulen Vorsorge, Bewältigung und Nachsorge (Schüller 2022 verändert nach Schüller und Jüpner 2021a)	11
Abb. 2.1	Grenzwerte für die Stabilität von Personen in fließendem Wasser (aus: Kron et al. 2021)	15
Abb. 2.2	Hochwassergefahrenkarte mit Darstellung der Fließgeschwindigkeiten und Fließrichtung (Land NRW 2021, Datenlizenz Deutschland – Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0 – Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen 2023)	15
Abb. 2.3	Treibgutablagerung an der Ahr beim Juli-Hochwasser 2021 (Foto: Gronwald)	16
Abb. 2.4	Hoch anstehendes Grundwasser (Qualmwasser) in Rosenhof (Sachsen-Anhalt) erschwert die Deichverteidigung während des Elbe-Hochwassers im Juni 2013 (Foto: Jüpner 2013)	17

Abb. 2.5	Relevante Versagensfälle für technische Hochwasserschutzanlagen am Beispiel einer Hochwasserschutzwand (BHW vereinfacht ohne Freibord dargestellt)	18
Abb. 2.6	Zusammenhänge im Kontext fluvialer Überschwemmungen und pluvialer Überflutungen (verändert nach Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2023)	19
Abb. 2.7	Hochwasserschaden an der Ahr im Juli 2021. Zu erkennen sind sowohl die immense Verklausung der Brücke als auch Erosionsschäden am Bauwerk selbst (Foto: Gronwald 2021)	20
Abb. 2.8	Starkregenindex nach SCHMITT (Schmitt et al. 2018)	21
Abb. 2.9	Eis-Hochwasser in Tätzschwitz (Hoyerswerda) im März 2006 (Technisches Hilfswerk 2023, THW-Ortsverband Kamenz)	23
Abb. 2.10	Zusammenfassende Darstellung der Unterschiede zwischen Starkregen- und Flusshochwasserereignissen. (Schüller 2022 nach Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 2018b; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2010; Patt und Jüpner 2020a)	24
Abb. 3.1	Hochwasserabfluss-Ganglinie nach DIN 4049-3	28
Abb. 3.2	Niederschlagssummen 12–15. Juli 2021 über Deutschland (Deutscher Wetterdienst 2024a)	32
Abb. 3.3	Hochwassermeldepegel in Nordrhein-Westfalen–Bildschirmfoto (LUADB NRW 2022, letzter Zugriff am 31.01.2022; Quellenvermerk CC BY 4.0: © GeoBasis-DE/BKG 2022)	36
Abb. 3.4	Informationswerte bezogen auf die Hochwassermeldepegel in Nordrhein-Westfalen (Quelle: „Land NRW“; Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft Natur- und Verbraucherschutz 2021)	36
Abb. 3.5	Spanne der Wasserstandsvorhersagen für den Pegel Altenahr zum Vorhersagezeitpunkt 14.07. 2021 um 14:00 Uhr unter Verwendung von 20 Ensemble-Wettervorhersagen (ICON-D2-EPS); 20 Einzelvorhersagen (oben) und Quantildarstellung (unten). (© LfU-RLP 2022) (Bettmann 2022)	39
Abb. 3.6	Räumliche Starkregenverteilung (Deutscher Wetterdienst 2024b)	40
Abb. 4.1	Starkregengefahrenkarte der Gemeinde Kleinblittersdorf (UNIWASSER GmbH & geomer GmbH 2019)	47

Abb. 4.2	Beispiel einer Starkregengefahrenkarte, Braunsbach (geomer GmbH (2020 mit Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS) der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 21.12.2016; Geobasisdaten © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19 Datenquelle: LGL, www.lgl-bw.de)	48
Abb. 5.1	Visualisierung der Unterschiede zwischen Risiko, Krise und Katastrophe (Adam 2006 in Anlehnung an Saynisch 1994)	51
Abb. 5.2	Resilienz (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. 2024b)	52
Abb. 5.3	Flächenhafte Überflutung im Hinterland der Elbe infolge des Deichbruches bei Fischbek im August 2013 (Foto: Jüpner 2013) . . .	53
Abb. 5.4	Hochwasserschäden im oberen Ahrtal im Juli 2021 (Foto: Gronwald 2021)	54
Abb. 5.5	Sechsstufiger Katastrophenmanagement-Kreislauf (Grün 2005) . . .	55
Abb. 5.6	Beziehung zwischen Katastrophenvorsorge und Bekämpfung bzw. Bewältigung (Grün 2005)	56
Abb. 6.1	Wechselwirkungen und Zusammenhänge der Handlungsfelder des operativen Hochwasserschutzes mit Potenzial zur Weiterentwicklung (Schüller 2022)	60
Abb. 6.2	Beteiligte im operativen Hochwasserschutz (verändert nach Schüller und Jüpner 2021a)	63
Abb. 6.3	Aufbau des Verwaltungsstabes gem. der „Hinweise zur Bildung von Stäben der administrativ-organisatorischen Komponente (Verwaltungsstäbe – VwS)“ (Innenministerkonferenz 2003)	64
Abb. 6.4	Potenzielle Mitglieder eines Stabes im Hochwasser- oder Starkregenfall (Schüller 2022 nach Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten & Katastrophenschutz und zivile Verteidigung 1999)	65
Abb. 6.5	Dreistufiger Verwaltungsaufbau der Wasserwirtschaftsverwaltung inklusive ergänzender Institutionen sowie deren Aufgaben (in kursiv dargestellt) (HWMD = Hochwassermeldedienst) (Schüller 2022 verändert nach Kluth und Smeddinck 2020, inklusive Informationen von Jüpner und Müller 2010; GG 1949; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 2019)	66
Abb. 6.6	Bevölkerungsschutz-Pyramide (BBK, in: Karutz et al. 2017)	67
Abb. 6.7	THW-Stabsarbeit während des Hochwassers 2021 im Landkreis Euskirchen (Foto: de Koeijer 2021)	70

Abb. 6.8	Übersicht über die Ausbildungswege für die in der Stabsarbeit tätigen THW-Einsatzkräfte	71
Abb. 6.9	Die territoriale Organisation der Bundeswehr in Rheinland-Pfalz	72
Abb. 6.10	Ablaufplan zur Bereitstellung von Ressourcen der Bundeswehr bei Anforderung durch eine Gebietskörperschaft	74
Abb. 6.11	Themen des operativen Hochwasserschutzes innerhalb der Fachgebiete Wasserwirtschaft und Katastrophenschutz sowie an deren Schnittstelle	75
Abb. 7.1	Benennungssystem für Gebietsszenarien und Maßnahmen (WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH 2006)	91
Abb. 7.2	Ausbildungssystematik des THW (de Koejer 2022)	92
Abb. 7.3	Übersicht über die THW-Ausbildung im operativen Hochwasserschutz	94
Abb. 8.1	Typische Hochwasser-Abfluss- bzw. Wasserstands-Ganglinie als Ergebnis eines Niederschlagsereignisses (in Anlehnung an Seibert und Auerswald 2020)	98
Abb. 8.2	Aufbau des Führungsstabs inklusive Aufgabenverteilung der Sachgebiete (Schüller 2022 nach Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2000; Hofinger und Heimann 2016; Schüller 2022)	100
Abb. 8.3	Politisch Gesamtverantwortlicher bedient sich eines Führungs- sowie eines Verwaltungsstabs (verändert nach Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2000; Online-Verwaltungslexikon olev.de; Hofinger und Heimann 2016)	101
Abb. 8.4	Führungskreislauf nach (Fw)DV 100 mit Bezug zum Thema Lagebild, Priorisierung und entscheidungsrelevante Daten (verändert nach Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2000)	102
Abb. 8.5	Entscheidungsrelevante Daten im Rahmen der Lagefeststellung (Schüller 2022 verändert nach Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2000)	103
Abb. 8.6	Die Lagebeurteilung als wesentlicher Prozess der Einsatzplanung umfasst die Betrachtung von Entscheidungsvariablen (Schüller 2022 verändert nach Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2000)	103
Abb. 8.7	Vorhergesagte und gemessene Pegelstände der Elbe am Pegel Dresden im Sommer 2013 (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen 2015)	105

Abb. 8.8	Potenziell überschwemmte Flächen bei einem Hochwasser der Elbe in der Stadt Dresden (924 cm Pegel Dresden entsprechend HQ ₁₀₀), Screenshot der Homepage der Stadt Dresden (Stadt Dresden 2024)	106
Abb. 8.9	Vorhergesagte Höchststände für die Pegel Altenahr, Kordel und Prümzurly für Vorhersagezeitpunkte vor dem gemessenen Höchststand im Juli 2021 („gemessener“ Höchststand für Altenahr rekonstruiert) (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz 2022b)	107
Abb. 8.10	Übung von Bundeswehr und Technischem Hilfswerk zum Umgang mit katastrophalen Hochwasserereignissen im November 2023 in Mainz (Jüpner et al. 2024a)	109
Abb. 8.11	Deichbruchstelle bei Fischbeck während des Elbe-Hochwassers am 10. Juni 2013 (Foto: Jüpner 2013)	110
Abb. 8.12	Zusammenhang zwischen Präventionszeit und Rüstzeit im Rahmen der operativen Bewältigung inklusive Lösungsmöglichkeiten für den Fall B (Negativfall). (Anmerkung: Die Längen der Pfeile sind nicht maßstabsgetreu; relevant ist lediglich deren jeweiliges Verhältnis zwischen Präventionszeit und Rüstzeit)	113
Abb. 8.13	Hochwasservorhersage für einen Hochwassermeldepegel in Rheinland-Pfalz, veröffentlicht von der zuständigen Hochwasservorhersagezentrale (verändert nach Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz 2024a)	115
Abb. 8.14	Zentrale Aufgabenbereiche für Routinemaßnahmen	118
Abb. 8.15	Überwachung einer Böschungsrutschung nach dem Juli-Hochwasser 2021 an der Erft durch das THW (Foto: Hoffmann, 2021)	121
Abb. 8.16	Mit Dammbalken verschlossene Deichscharte am Kloster Jerichow (Sachsen-Anhalt) während des Elbe-Hochwassers 2006 (Foto: Jüpner 2006)	122
Abb. 8.17	Ortsabhängige mobile Hochwasserschutzsysteme (Massolle 2023)	123
Abb. 8.18	Aufbau einer mobilen Hochwasserschutzwand (Dammbalkensystem) als Beispiel einer Routinemaßnahme in der operativen Hochwasserbewältigung (Foto: Schüller 2021) ...	123
Abb. 8.19	Ortsunabhängige mobile Hochwasserschutzsysteme (Massolle 2023)	124
Abb. 8.20	Sandsackverbau beim Schutz überflutungsgefährdeter Bereiche der kritischen Infrastruktur in der Stadt Magdeburg während des Elbe-Hochwassers 2013 (Foto: Jüpner 2013)	125

Abb. 8.21	Schutz gegen Hochwasser mithilfe eines Sandsackersatzsystems (Foto: Mobildeich 2023)	126
Abb. 8.22	Bezeichnungen für Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2011, überarbeitet 2016)	127
Abb. 8.23	Querschnitt durch einen Deich nach DWA-Merkblatt 507 „Deiche an Fließgewässern“ (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2011, überarbeitet 2016)	128
Abb. 8.24	Lage der vollständig ausgebildeten Sickerlinie in einem homogenen Deichkörper (schematische Darstellung in Anlehnung an BAW 2017)	129
Abb. 8.25	Lage der vollständig ausgebildeten Sickerlinie in einem Deichkörper mit Dichtung (schematische Darstellung in Anlehnung an BAW 2017)	130
Abb. 8.26	Auswirkung von außen- und innenliegenden Dränsystemen auf die Lage der Sickerlinie (schematische Darstellung in Anlehnung an BAW 2017)	131
Abb. 8.27	Entwicklung eines Bauwerksversagens durch Überströmung verursacht durch Wasserspiegelanstieg (schematische Darstellung in Anlehnung an BAW 2017)	133
Abb. 8.28	Erhöhung der Deichkrone mithilfe von Sandsäcken am Elbe-Umflut-Kanal bei Pratau im Juni 2013 (Foto: Jüpner 2013) ...	134
Abb. 8.29	Böschungsbruch an einem homogenen Deich – schematische Darstellung (in Anlehnung an BAW 2017)	135
Abb. 8.30	Bau einer Sandsackauflast in Form einer Kammkade auf der landseitigen Deichböschung (im Bild vorn) – Foto: Jüpner 2013 ...	136
Abb. 8.31	Rutschung der wasserseitigen Böschung infolge schneller Wasserspiegelabsenkung und resultierender Umkehr der Sickerwasserströmung (schematische Darstellung in Anlehnung an BAW 2017)	137
Abb. 8.32	Hydraulischer Grundbruch, verursacht durch eine aufwärts gerichtete Strömungskraft infolge Unterströmung des Deichkörpers (schematische Darstellung in Anlehnung an BAW 2017)	138
Abb. 8.33	Sickerwasserquelle an einem Deichfuß und deren Fassung durch eine Quellskade (Foto: Jüpner 2006)	138
Abb. 8.34	Bau einer Quellskade (Foto: Jüpner 2023)	139
Abb. 8.35	Entwicklung eines Erosionskanals bis zum Versagen des Deichbauwerkes (schematische Darstellung in Anlehnung an BAW 2017)	140

Abb. 8.36	Fangedamm aus Sandsäcken in Längsschnitt und Draufsicht (LfU Bayern 2017)	141
Abb. 8.37	Ereignisspezifischen Besonderheiten	146
Abb. 8.38	Hochwassergefahrenkarte der Ortschaft Altenahr im oberen Ahrtal – Vergleich der Hochwassergefahrenkarte HQ _{extrem} und der Anschlaglinie des Hochwassers vom Juli 2021 (Bettmann 2022)	147
Abb. 8.39	Verklauste Brücke im Ahrtal im Juli 2021 (Foto: Schüller 2021) ...	148
Abb. 8.40	Bruch des rechten Saaledeiches bei Breitenhagen am 9. Juni 2013 (Foto: LHW 2013)	151
Abb. 8.41	Deichbruch Seegrehna (Elbe) im August 2002 (Foto: Henning 2023)	152
Abb. 8.42	Schließung Deichbruch Seegrehna (Elbe) im August 2002 (Foto: Henning 2023)	153
Abb. 9.1	Hochwasserschäden in Anlehnung an DWA 2008 (Piroth 2020) ...	163
Abb. 9.2	Georeferenzierte 3D-Modellierung von Altenahr aus einer Wiederholungsaufnahme im März 2022 (Abb. Professur Modellierung und Simulation – Konstruktion, Bauhaus-Universität Weimar, 2023). (aus: Fabisch et al. 2023)	164
Abb. 9.3	Einsatz von Baufachberatern des THW bei der Aufnahme von Hochwasserschäden in Bad Münstereifel nach dem Juli-Hochwasser 2021 (Foto: Hoffmann)	165
Abb. 10.1	Nutzung von Tablets durch das THW (Foto: Hoffmann 2024)	173
Abb. 10.2	Aufbau der Digitalen Lagekarte (Schüller 2022)	178
Abb. 10.3	Phasen der Digitalen Lagekarte in ihrer Entwicklung sowie behandelte Schwerpunktthemen (Schüller et al. 2024)	178
Abb. 10.4	Screenshot des Hochwassermanagementsystems INGE (© LfULG) (Sächsisches Landesamt für Umwelt o. J.)	180
Abb. 10.5	FLIWAS als Plattform zur Informationsbereitstellung (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft 2020)	181
Abb. 11.1	Landkreis Verden mit relevanten Fließgewässern, dazugehörigen Überschwemmungsgebieten und Deichlinien (Jüpner et al. 2024b)	189
Abb. 11.2	Hochwasserganglinie am Weser-Pegel Intschede kurz nach der Einmündung der Aller mit eingezeichneten Meldestufen 1 (gelb), 2 (orange) und 3 (rot) (Quelle: WSA Weser 2024) (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz)	190
Abb. 11.3	Blick in die Allerniederung während des Weihnachtshochwassers 2023 (Foto: TEL Landkreis Verden 2023)	191

Abb. 11.4	Provisorischer Aufstau eines Deichentwässerungsgrabens zur Reduktion der Sickerwasserströmungen und Vermeidung des Baus von Quellschäden an jeder einzelnen Schadstelle (Foto: Jüpner 2023)	193
Abb. 11.5	Bau eines provisorischen Deichverteidigungsweges an einem Allerdeich zur Sicherstellung der Erreichbarkeit von Schadstellen (Foto: Jüpner 2023)	194
Abb. 11.6	Einzugsgebiete sächsischer Nebenflüsse der Oberen Elbe (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen 2013)	195
Abb. 11.7	Summe der Niederschlagshöhen für das Einzugsgebiet der Elbe vom 06.08–13.08.2002 (Datenquelle: ČHMÚ, DWD, BfG, IKSE) (Internationale Kommission zum Schutz der Elbe 2004)	196
Abb. 11.8	Hochwasservorhersage für den Pegel Dresden (Internationale Kommission zum Schutz der Elbe 2004)	198
Abb. 11.9	Übersicht über die größten Flüsse und Deichsysteme in Sachsen-Anhalt (Henning 2023)	202
Abb. 11.10	Darstellung der einzelnen Vorhersagewerte in Bezug zum Messwert aus der Hochwasservorhersage für den Pegel Magdeburg-Strombrücke. (Quelle: LHW 2014, leicht verändert, zitiert aus: BfG 2014)	204
Abb. 11.11	Mit einer Kammkade verbaute Schadstelle an der Elbe bei Neuwerben (Foto: Jüpner 2013)	206
Abb. 11.12	Böschungsrutschung am rechten Elbedeich ca. 3 km unterhalb des Deichbruches Fischbeck (Foto: Jüpner 2013)	207
Abb. 11.13	Rechter Elbedeich bei Fischbeck am 9. Juni 2013 um 13:27 Uhr mit gut erkennbaren Längsrissen im Bereich der Deichkrone. (Quelle: LHW 2014)	208
Abb. 11.14	Rechter Elbedeich bei Fischbeck am 9. Juni 2013 um 19:42 Uhr mit gut erkennbaren umfangreichen operativen Hochwasserschutzmaßnahmen zur Aufkantung der Deichkrone und landseitigen Böschungssicherung. (Quelle: LHW 2014)	209
Abb. 11.15	Deichbruchstelle bei Fischbeck am 10. Juni 2013 gegen 14:00 Uhr (Foto: Jüpner 2013)	210
Abb. 11.16	Schließung des Deichbruches Fischbeck am 22. Juni 2013 (Foto: Müller 2013)	211
Abb. 11.17	Öffnung des rechtsseitigen Elbedeiches bei Schönfeld am 22. Juni 2013 (Foto: Müller 2013)	212
Abb. 11.18	Öffnung des rechtsseitigen Elbedeiches bei Schönfeld am 22. Juni 2013 – Detailaufnahme (Foto: Müller 2013)	213

Abb. 11.19	Gemessene und simulierte Abflussganglinie am Pegel Altenahr (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz 2022a)	215
Abb. 11.20	Darstellung der Wasserstands-Messwerte und -Vorhersagen auf www.hochwasser-rlp.de ; Vorhersagezeitpunkt 17:00 Uhr MESZ; Veröffentlichungszeitpunkt 18:25 MESZ (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz 2022a)	217
Abb. 11.21	Nach Durchgang der Hochwasserwelle im oberen Ahrtal (Foto: Gronwald 2021)	218

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Warnstufen des DWD (Deutscher Wetterdienst 2023b)	21
Tab. 3.1	Phasen der Niederschlag-Abfluss-Modellierung und verwendete Verfahren (in Anlehnung an Disse 2020)	30
Tab. 3.2	Relevante Parameter der Hochwasservorhersage für den operativen Hochwasserschutz	33
Tab. 3.3	Hochwassermeldung und -vorhersage als Instrumente zur Warnung vor Hochwassergefahren (Schüller 2022 nach Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 2014)	34
Tab. 4.1	Gegenüberstellung der jeweils dargestellten Inhalte in Hochwassergefahren- und risikokarten. HW = Hochwasser (Schüller 2022 verändert nach Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 2018a; HWRM-RL; WHG 2009)	43
Tab. 5.1	Inhalte des nichtpolizeilichen Bevölkerungsschutzes in Deutschland mit dessen Bestandteilen Katastrophenschutz und Zivilschutz (Schüller 2022 verändert nach Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2021; Karutz et al. 2017; GG 1949)	57
Tab. 7.1	Bestandteile eines Alarm- und Einsatzplans (AEP) Hochwasser (WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH 2006; IKoNE Arbeitsgruppe Hochwasservorsorge 1999; Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2019; Jüpner et al. 2020a)	83
Tab. 7.2	Alarmstufen gemäß dem Rahmen- Alarm- und Einsatzplan Rheinland-Pfalz (verändert nach Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz 2020)	86
Tab. 7.3	Beispiele für Auslöseschwellen (verändert nach Schüller 2022)	88
Tab. 7.4	Beispiele für moderne Ausbildungsformate im operativen Hochwasserschutz	95

Tab. 8.1	Potenzielle Gefährdungslagen in Abhängigkeit vom Hochwasser-Typ	99
Tab. 8.2	Drei Fälle zur Ermittlung und Beurteilung der Hochwasserlage	105
Tab. 8.3	Übersicht über typische operative Hochwasserschutzmaßnahmen (Routinemaßnahmen) – in Anlehnung an den Muster-Alarm- und Einsatzplan des Landkreises Düren (Kreis Düren 2020)	117
Tab. 8.4	Wesentliche Schadensbilder an Deichen, mögliche Folgen und empfohlene Deichverteidigungsmaßnahmen	132
Tab. 8.5	Übersicht über schwerwiegende Deichbrüche an Elbe und Mulde im August 2002 (Henning 2023)	151
Tab. 9.1	Ereignisanalysen des Elbe-Hochwassers 2013 (Auswahl)	161
Tab. 10.1	Geodaten im BOS-Umfeld und deren Herkunft entsprechend des VfdB-Merkblattes 07/01 (verändert nach Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. 2020)	175
Tab. 10.2	Auffistung entscheidungsrelevanter Daten für den Hochwasser- und/oder Starkregenfall (verändert nach Schüller 2022)	176
Tab. 11.1	Einordnung und Charakterisierung der gewählten Praxisbeispiele (sortiert nach der Größe des Einzugsgebietes)	187