



# Einleitung

- 1.1 Anlass und Problemstellung – 2
- 1.2 Zielgruppe und Bestimmungszweck – 5
- Literatur – 7

## 1.1 Anlass und Problemstellung

Die gesamtwirtschaftlichen Schäden durch Naturkatastrophen steigen weltweit. Insbesondere Hochwasser und Sturzfluten nehmen eine immer größere Bedeutung ein. Allein im Jahr 2016 verursachte eine Starkregenserie innerhalb von zwei Wochen in Deutschland einen Versicherungsschaden von etwa 2,6 Mrd. € [1]. Obwohl im Jahr 2017 die Schäden geringer als im Vorjahr waren, überstiegen sie aber noch immer die Summe von 1 Mrd. € [2]. 2018 wurden bereits in der ersten Jahreshälfte Schäden in Höhe von 1,3 Mrd. € registriert [3]. Neben materiellen Schäden an Gebäuden und Infrastruktur verursachen Starkregen und Sturzfluten durch Bodenabtrag, Verminderung der Bodenfruchtbarkeit und Gewässerbelastung vor allem aber auch schwere und kaum quantifizierbare ökologische Schäden. Dies belegen Luftbildaufnahmen von landwirtschaftlichen Flächen nach Starkregenereignissen eindrucksvoll [4, 5]. Aktuelle Auswertungen zeigen, dass der Trend hin zu stärkeren Extremen zunimmt und sich beispielsweise die Regenerosivität seit 1960 verdoppelt hat [6]. Wissenschaftler und Fachverbände sind sich daher einig: Hochwasser- und Starkregenvorsorge werden Daueraufgabe bleiben [7].

Zahlreiche Reaktionen folgten auf diese Entwicklungen. Dazu zählen beispielsweise die Europäische Hochwasserrisiko-management-Richtlinie [8], die 2010 durch die Novellierung der Wassergesetze von Bund und Ländern in national geltendes Recht übersetzt wurde. Dies führte zur Ausweisung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten. Wichtige Konsequenzen wurden auf Bundesebene gezogen durch das Nationale Hochwasserschutzprogramm im Jahr 2014, das Hochwasserschutzgesetz II von 2017 und durch die Anpassung der Strategien und Leitlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [9–11]. Auf Ebene der Bundesländer unterscheiden sich die Reaktionen stark. In Bayern wurde im Nachgang an das „Jahrhunderthochwasser“ von 2013

beispielsweise das bestehende Schutzkonzept zu einem ganzheitlicheren Hochwasserrisiko-management erweitert (Aktionsprogramm 2020+) [12]. Dort wird gegenwärtig auch eine „Hinweiskarte Oberflächenabfluss und Sturzfluten“ (HiOS) für alle Kommunen erarbeitet [13]. Baden-Württemberg hat 2016 als erstes Bundesland einen Leitfaden zum kommunalen Starkregenerisikomanagement als praxisorientierte Hilfestellung für kommunale Fachplaner und Entscheidungsträger veröffentlicht [14].

Die genannten Reaktionen sind ein wichtiger Schritt hin zu einer besseren Vorsorge vor meteorologischen Extremen. Der Fokus liegt aber bisher noch auf besiedelten Räumen. Da rund 80 % Deutschlands land- und forstwirtschaftlich genutzt sind, ergeben sich jedoch vor allem Herausforderungen im ländlichen Raum, um die natürlichen Ressourcen dieser Regionen langfristig zu erhalten – die Landschaft muss wetterfester werden. Daher hat sich in der Bayerischen Verwaltung für Ländliche Entwicklung die Initiative boden:ständig formiert (► [www.boden-staendig.eu](http://www.boden-staendig.eu)), um einen nachhaltigen Beitrag zum Boden- und Gewässerschutz zu leisten. Durch die Vernetzung und Unterstützung engagierter Akteure werden dabei insbesondere Landwirte und Gemeinden bei der Planung und Umsetzung von Maßnahmen unterstützt, die den negativen Auswirkungen der intensiven Flächennutzung entgegenwirken. Ziel ist, vor der „eigenen Haustür“ zum Erhalt lebendiger Böden beizutragen und die Flur abflussmindernd zu gestalten. Weitere Ansätze sind beispielsweise Entwicklungskonzepte für Gewässer III. Ordnung oder Bachpaten- und Gewässernachbarschaften, die Kommunen und örtlich zuständige Wasserwirtschaftsämter unterstützen [15–17]. Im Freistaat Sachsen wurden flächendeckend aus Gelände- und Bodendaten reliefbedingte Abflussbahnen ermittelt und in digitalen Karten dargestellt worden. Dort wird unter anderem die Begrünung erosionsgefährdeter Abflusswege forciert und gefördert [18, 19].

In Anbetracht der durch Klima- und Landnutzungsänderungen steigenden Hochwasserschäden muss der Wasser- und Stoffrückhalt in der Landschaft verbessert werden. Dazu müssen die Wasserflüsse in der Flur mehr Beachtung finden, z. B. bei der Anlage oder dem Ausbau von Straßen und Wegen, der Ausweisung von Baugebieten, der Umgestaltung der Landschaft im Rahmen von Flur- oder Bodenneuordnungen, aber auch bei der land- und forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Dies erfordert zunächst, sich der Wasserflüsse in der Landschaft und der vielfältigen Einflussnahme durch den Menschen bewusst zu werden und die Wasserflüsse quantitativ zu beschreiben. Benötigt werden (standardisierte) Methoden, um abzuschätzen, wo mit wieviel Regen bzw. Abfluss in welcher Zeit zu rechnen ist, wo dieses Wasser fließt und ob daraus eine Gefahr für Feld, Flur und Infrastruktur oder gar für Leib und Leben erwachsen kann. Diese Kenntnisse bilden die Basis, um Maßnahmen zur Abflussminderung in der Flur abzuleiten und zu gestalten.

Methoden zur quantitativen Beschreibung von Wasserflüssen werden z. B. zum Gewässerausbau oder der Dimensionierung von Rückhalteräumen in der wasserwirtschaftlichen Bemessungspraxis seit Ende des 19. Jahrhunderts eingesetzt [20], wobei die ersten hydrologischen Planungswerkzeuge vor allem zwischen 1930 und 1950 in den USA entwickelt wurden [21, 22]. Hierzulande fand diese Entwicklung vor allem in den 1960er- bis 1980er-Jahren statt, als Hochschulen sich dem Thema intensiver widmeten [23–29] und sich die ersten größeren Vereine und Fachverbände formierten [30, 31]. Der Großteil der noch heute eingesetzten Planungs- und Bemessungsmethoden, insbesondere für kleine Gewässer und Gebiete, in denen keine Messdaten über Wasserhaushaltsgrößen und -flüsse vorliegen, wurde zu dieser Zeit, d. h. vor 40 bis 60 Jahren entwickelt. Sie bieten bis heute die einzige Möglichkeit, Bemessungsgrößen für die Flur relativ einfach abzuschätzen. (Extremwert-)statistische

Ansätze und andere Schätzverfahren, sogenannte Regionalisierungsmethoden, sind aufgrund fehlender Messdaten oder der oft großen Heterogenität von Landschaftselementen in kleinen Gebieten (ca. 10–500 ha) bis heute dagegen nicht zuverlässig anwendbar.

Die bedeutendste neuere Entwicklung ist die zunehmende Verbreitung hydrodynamischer Modelle, die nicht nur den Wellenablauf in Gewässern, sondern durch Lösen der Flachwassergleichungen auch eine detaillierte Simulation des Oberflächenabflusses bei Starkregen in der Fläche ermöglichen. Sie erlauben eine deutlich differenziertere Betrachtung und Analyse der Fließpfade in der Flur als die klassischen Ansätze zur Abschätzung von Welleneigenschaften. Ihre Bedeutung wird daher weiter zunehmen. Bis heute ist ihre Anwendung jedoch aufwendig, da sie entsprechende Kenntnisse und Programme, hochaufgelöste Daten und zumindest für größere Gebiete auch noch immer enorme Rechenleistungen voraussetzen. Ihr Einsatz ist daher bis jetzt meist auf wasserwirtschaftliche Belange, größere Gewässer und besiedelte Räume begrenzt. Für kleine, einige Hektar bis wenige Quadratmeter große Einzugsgebiete besteht somit ein Mangel an einfachen Planungsmethoden.

Entsprechend sind (standardisierte) Verfahren zur Quantifizierung von Wasserflüssen in der Flur bis heute in Deutschland nicht etabliert, variieren von Bundesland zu Bundesland und werden häufig mit Ansätzen der Bodenabtrags- und Erosionsmodellierung vermengt. Letzteres ist fachlich nicht haltbar, da Erosion ein Prozess der Fläche ist und Bodenabtrag wesentlich vom Vorhandensein von transportierbarem Material abhängt (z. B. bei fehlender Bedeckung) und häufig nicht durch die Transportkapazität des Abflusses limitiert wird. Ein weiterer wesentlicher, für die flächenhafte Erosion irrelevanter Aspekt sind die Fließwege des Abflusses zwischen Feldrand und Gewässer. Sie bestimmen die Geschwindigkeit der Gebietsentwässerung

und damit die Höhe einer Abflusswelle maßgeblich [21].

Dieses Handbuch bereitet daher Methoden zur quantitativen Erfassung und Beschreibung von Wasserflüssen zusammenfassend und für Fragen der ländlichen Entwicklung und Flur- und Landschaftsgestaltung auf. Entsprechend liegt der räumliche Fokus im Bereich oberhalb der Gewässer III. Ordnung, also auf kleinen (<5 km<sup>2</sup>), vor allem landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten. Folgende Kernfragen werden beantwortet: Welcher Teil des Niederschlags fließt ab? Auf welchen Wegen fließt er ab, und wie können Abflussgeschwindigkeit oder Scheitelhöhe an einem bestimmten Punkt des Fließweges ermittelt werden? Da in der Praxis häufig unterschiedliche Ansätze oder identische Ansätze mit unterschiedlichen Parameterwerten verwendet werden, werden hier Empfehlungen zur Bestimmung hydrologischer Größen gegeben und ein Beitrag zu einer Vereinheitlichung der Methodenstandards geleistet. Dazu erfolgte eine umfangreiche Recherche relevanter Methoden und Fachveröffentlichungen [30, 32–39], Lehrbüchern [40–43] und den an Wasser- und Umweltbehörden der Länder verfügbaren Publikationen und Bemessungsverfahren [z. B. 14, 44–50]. Letzteren kommt eine hohe Bedeutung zu, um möglichst in der Wasserwirtschaft etablierte Methoden zu verwenden. Eine weitere, wesentliche Quelle stellten die Veröffentlichungen und Werkzeuge des US Natural Resources Conservation Service (NRCS) dar. Der NRCS hat seit den 1960er-Jahren umfangreiche und zwischenzeitlich weltweit verbreitete Methodenstandards und Praxishandbücher publiziert. Am wichtigsten sind hier das seit den 1950er-Jahren kontinuierlich fortgeschriebene hydrologische National Engineering Handbook [51], der Conservation Practices Training Guide [52] und die zahlreichen, online verfügbaren Planungswerkzeuge und Modelle [53]. Diesen Quellen wurden viele Auszüge entnommen und an die hiesigen Bedingungen angepasst. Ergänzt wurden sie durch Erkenntnisse, die bei Pilotprojekten zum Wasserrückhalt in der

Fläche und bei historischen Sturzflutereignissen gewonnen wurden [54–57], durch Empfehlungen bestehender Leitfäden und Veröffentlichungen der Fachverbände [7, 58–62] sowie durch Erfahrungen aus den Nachbarländern Österreich und Schweiz [63–65].

Der zweite Fokus des Handbuchs liegt auf der Beschreibung und Quantifizierung der Wirkung von abflussmindernden Maßnahmen. Klassische Fragen sind beispielsweise: Wie kann ein Wegseitengraben gestaltet werden, damit Wasser darin nicht beschleunigt, sondern verzögert abgeführt wird? Wie breit muss eine begrünte Abflussmulde sein, um Wasser schadlos aus der Fläche abzuleiten? Wie kann die Gebietsentwässerung durch Wege und die Parzellierung der Flur positiv beeinflusst werden und welche Wirkung ist zu erwarten? Welchen Effekt haben landwirtschaftliche Maßnahmen auf den Wasserrückhalt? Wie sind kleine Rückhaltebecken in der Fläche zu dimensionieren? Neben einer Beschreibung der Maßnahmen werden Gleichungen und Richtzahlen zur Planung und Beurteilung der Wirkung bereitgestellt. Das vorliegende Handbuch ist kein Leitfaden, der Schritt für Schritt beschreibt, wie eine bestimmte Maßnahme umzusetzen ist, sondern eine Zusammenstellung von Maßnahmen und Methoden, mit denen Wasserflüsse in der Landschaft gestaltet und beschrieben werden können. Idealerweise können die vorgestellten Ansätze als Blaupause für die Modellierung bzw. Dimensionierung konkreter Maßnahmen in der Flur herangezogen werden.

Das vorliegende Handbuch versucht, die Lücke zu schließen, die entsteht, weil klassische wasserwirtschaftliche Bemessungsansätze auf dauerhaft wasserführende Gewässer und kommunale Räume beschränkt sind. Zum anderen werden Maßnahmen zum dezentralen Wasserrückhalt in den bestehenden Handreichungen fast ausschließlich qualitativ beschrieben und erscheinen damit in der Wirkung ungewiss. Dies erschwert eine Kosten-Nutzen-Analyse und ein Abwägen verschiedener Optionen.

Gleichzeitig wurden nur gut beschriebene Methoden berücksichtigt, die mit üblichen Tabellenkalkulationsprogrammen gelöst werden können. Dies beruht auf der Überlegung, dass damit vielfach schon hinreichend genau Lösungen abgeleitet werden können. Die Komplexität der (instationären) Abflussprozesse bei konkreten Hochwasser- und Sturmflutereignissen wird damit zwar nur stark vereinfacht abgebildet, für Planungen, die viele Jahre Bestand haben, sind aber konkrete Ereignisse ohnehin nicht bekannt. Die Auswahl der Methoden begründete sich auch dadurch, dass auf Spezialwissen z. B. über flächendifferenzierte (hydrodynamische) Modellierungen und auf hohe technische Anforderungen, die sich oft aus der Anwendung flächendifferenzierter Niederschlag-Abfluss-Modelle ergeben, verzichtet wurde, um auch „Quereinsteigern“ und Spezialisten mit anderer Ausrichtung die Nutzung zu ermöglichen. Die Verfahren sollen so einem breiteren Nutzerkreis zugänglich werden.

Die beschriebenen Methoden versuchen, einen fairen Ausgleich zwischen dem notwendigen Aufwand und der erforderlichen Genauigkeit zu erreichen. Hinsichtlich der Genauigkeit sind zwei Dinge wesentlich: Erstens weiß eine Planung im Gegensatz zur retrospektiven Betrachtung nie, wann welches Ereignis wo auftritt und wie der Zustand der Flächen genau zu diesem Zeitpunkt ist. Diese Unsicherheit stellt alle anderen Unsicherheiten bei Weitem in den Schatten. Zweitens bedeutet dezentraler Hochwasserschutz immer, dass viele Maßnahmen zusammenwirken müssen, weil die einzelne Maßnahme schwach wirkt oder nur einen kleinen Teil der Flur schützt. Eine Fehleinschätzung einer einzelnen Maßnahme in einer speziellen Situation hat daher kaum Auswirkungen. Es kommt auf das Gesamtpaket an. Eine generelle Fehleinschätzung einer Maßnahme, z. B. eine Unterbewertung der Mulchsaat oder eine Überbewertung einer Querbearbeitung, wirkt sich dagegen stark aus. Hier ersetzt dieses Handbuch die gefühlte Wirkung

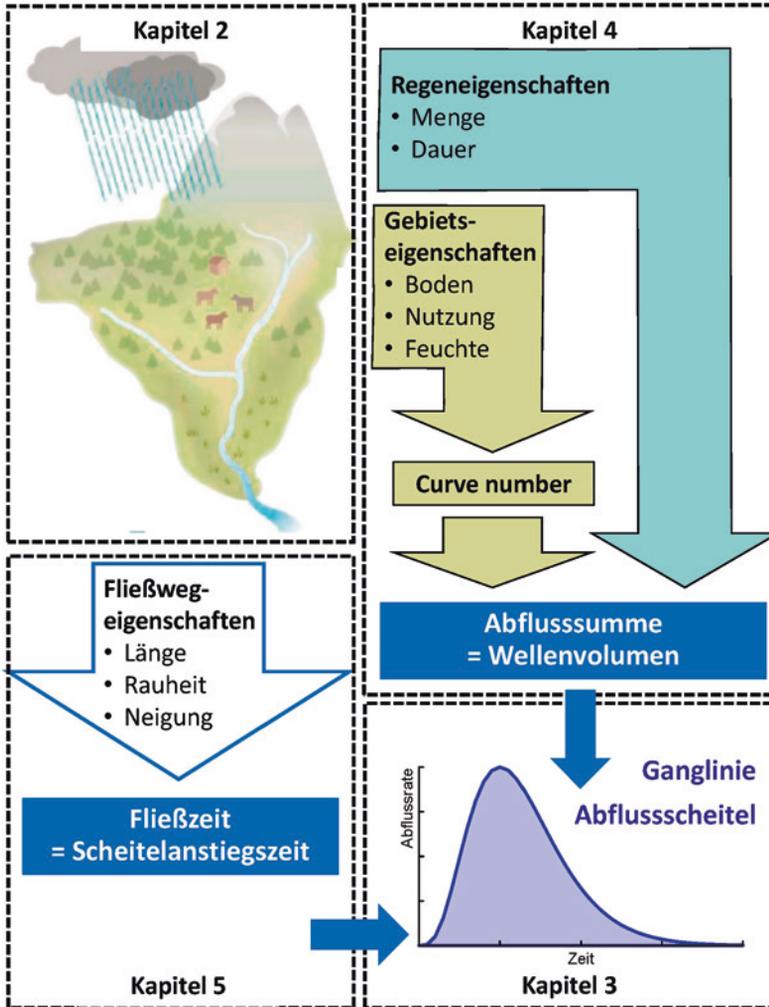
durch Zahlen und Kennwerte, die auf einem großen Fundus an Messungen, Erfahrungen und publizierten Werten aus der Literatur beruhen.

## 1.2 Zielgruppe und Bestimmungszweck

---

Wasser kennt keine Grenzen. Es bahnt sich unweigerlich seinen Weg, vernetzt unterschiedliche Landschaftsteile und wird dabei auf vielfältige Weise durch menschliches Wirken beeinflusst. Um die Auswirkungen von Starkregen zu mindern, gibt es daher viele Ansatzpunkte in der Fläche und entlang des kompletten Fließweges von der Wasserscheide bis in die größeren Gewässer. Konsequenter Wasserrückhalt betrifft daher immer viele unterschiedliche Akteure. Das gilt insbesondere, wenn Abflussminderung mit kleinen, dezentralen Maßnahmen erfolgen soll. Solche dezentralen Einzelmaßnahmen haben oft nur eine geringe Wirkung und beschränkte Reichweite. In Konsequenz sind mehrere aufeinander abgestimmte Maßnahmen an unterschiedlichen Stellen des Einzugsgebietes erforderlich, um einen deutlichen Effekt zu erreichen. Starkregenvorsorge in der Flur muss daher zwangsläufig als gesamtgesellschaftliche Gemeinschaftsaufgabe verstanden werden. Die wesentlichen Vorteile vieler dezentraler Maßnahmen sind, dass sie preiswert und vergleichsweise einfach zu verwirklichen sind und nicht nur punktuell wirken, sondern das gesamte Einzugsgebiet schützen.

Das vorliegende Handbuch soll dies unterstützen. Es richtet sich in erster Linie an Planer und Ingenieure, die den Landschaftswasserhaushalt beeinflussen, aber auch an alle weiteren, in der Flur tätigen Akteure wie Wasserberater, Pflege- und Zweckverbände, Hochschulangehörige, Fachinstitute und Entscheidungsträger in Behörden. Für sie wurden etablierte und praxisorientierte Ansätze zur Erfassung und Quantifizierung der Wasserflüsse in der Landschaft zusammengefasst



▣ **Abb. 1.1** Schematische Gliederung des Buchs und Zusammenwirken der Kapitel in der Abflussprognose

und beschrieben. Vereinzelt werden auch konstruktive Aspekte z. B. für den Wegebau, die Anlage von begrünten Abflussmulden oder kleine Rückhaltebecken genannt; diese haben jedoch in der Regel schematischen Charakter. Rechtliche Aspekte wurden, ebenso wie Strategien für die Umsetzung von Maßnahmen in die Praxis, ausgeklammert.

Der thematische Aufbau des Buchs und die für eine quantitative Prognose notwendigen Berechnungsschritte sind in [▣ Abb. 1.1](#) illustriert. Durch den Themenumfang, die Komplexität des Abflussvorgangs und die

Vielfalt an Verfahren und Maßnahmen sind den Möglichkeiten eines Buches gleichzeitig deutliche Grenzen gesetzt. Daher wird auch eine große Zahl weiterführender Literaturstellen genannt. Das Handbuch soll vor allem einen Zugang zu den unterschiedlichen Verfahren sowie deren Möglichkeiten und Grenzen bieten, einen Beitrag zur Standardisierung der Ansätze leisten und die Diskussion zwischen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Ländlicher Entwicklung befruchten. Zusammen sind sie die wesentlichen Akteure, die den Wasserrückhalt in der Fläche verbessern können.

## Literatur

---

1. Munich Re (2017) Naturkatastrophen 2016. Analysen, Bewertungen, Positionen. Topics Geo. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München
2. Munich Re (2018) Naturkatastrophen 2017. Analysen, Bewertungen, Positionen. Topics Geo. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München
3. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (2018) Naturgefahrenreport 2018. Die Schaden-Chronik der deutschen Versicherer. Berlin
4. Kistler M, Brandhuber R, Maier H (2013) Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen, Ergebnisse einer Feldstudie. Schriftenr Bayer Landesanst Landwirtsch 8: Freising
5. Brandhuber R, Treisch M, Fischer F et al (2017) Starkregen, Bodenerosion, Sturzfluten. Schriftenr Bayer Landesanst Landwirtsch 2: Freising
6. Auerswald K, Fischer FK, Winterrath T, Brandhuber R (2019) Rain erosivity map for Germany derived from contiguous radar rain data. Hydrol Earth Syst Sci 23:1819–1832. ▶ <https://doi.org/10.5194/hess-23-1819-2019>
7. DWA (2018) Hochwasser- und Starkregenvorsorge bleibt Daueraufgabe. DWA-Position zu Hochwasser und Sturzfluten. Korresp Wasserwirtsch 11:378–381
8. HWRM-RL (2007) Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsbl Europ Union L 288/28
9. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2018) LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenerisikomanagement. Erfurt
10. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2013) Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen. Tangermünde
11. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2018) Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten. Tangermünde
12. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2014) Hochwasserschutz Aktionsprogramm 2020plus. München
13. Kaiser M, Broich K, Pflugbeil T et al (2018) Sturzflutforschung in Bayern – Ziele und Ansätze des Projekts HiOS. Korrespondenz Wasserwirtsch 11:685–690. ▶ <https://doi.org/10.3243/kwe2018.11.005>
14. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2016) Leitfaden Kommunales Starkregenerisikomanagement in Baden-Württemberg. Karlsruhe
15. Henschel T, Schnippering E, Kolbinger A et al (2018) So schön und wertvoll können Gewässer sein. Unterhaltung von Gewässern III. Ordnung. Bayer Gemeindetag 1:7–12
16. Schnippering E (2018) Weniger ist mehr. der bauhofLeiter 8:42–44
17. Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008) Kooperation bei der Unterhaltung kleiner Gewässer. Beispiele aus Bayern. Gewässernachbarschaften. Umwelt Spezial. München
18. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2015) Begrünung von erosionsgefährdeten Abflussbahnen. Dresden
19. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2010) Erosionsschutz in reliefbedingten Abflussbahnen. Schriftenr 13: Dresden
20. Kuichling E (1889) The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. Trans Am Soc Civ Eng 20:1–56
21. Sherman LK (1932) Streamflow from rainfall by the unit-graph method. Eng News-Record 108:501–505
22. Williams JR, Kannan N, Wang X, Santhi C (2012) Evolution of the SCS runoff curve number method and its application to continuous runoff simulation. J Hydrol Eng 17:1221–1229
23. Anderl B (1975) Vorhersage von Hochwasserganglinien aus radargemessenem Regen. Dissertation, Universität Karlsruhe
24. Koehler G (1976) Niederschlag-Abfluß-Modelle für kleine Einzugsgebiete. Schriftenr Kuratoriums Kulturbauwesen 25: Parey, Hamburg
25. Lutz W (1984) Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen. Mitt Inst Hydrol Wasserwirtsch 24: Universität Karlsruhe
26. Plate EJ, Ihringer J, Lutz W (1988) Operational models for flood calculations. J Hydrol 100:489–506. ▶ [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(88\)90198-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(88)90198-9)
27. Kleeberg R-B, Overland H (1989) Zur Berechnung des effektiven oder abflusswirksamen Niederschlags. Mitt Inst Wasserwesen 32: Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
28. Neufang L, Auerswald K, Flacke W (1989) Automatisierte Erosionsprognose- und Gewässerverschmutzungskarten mit Hilfe der dABAG – ein Beitrag zur standortgerechten Bodennutzung. Bayer Landwirtsch Jahrb 66:1–19
29. Merz R (2006) Regionalisierung von Ereignisgrößen. Wiener Mitt 197:179–194 Technische Universität, Wien
30. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1982) Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil I: Analyse. Regeln zur Wasserwirtschaft 112: Paul Parey, Hamburg

31. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1984) Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil II: Synthese. Regeln zur Wasserwirtschaft 113: Paul Parey, Hamburg
32. Bronstert A, Seiert S, Oberholzer G (1993) Maßnahmen der Flurbereinigung und ihre Wirkung auf das Abflussverhalten ländlicher Gebiete. Schriften Landesamt Flurneuordnung Land Baden-Württemberg 3: Kornwestheim
33. Ott M (1999) Einbeziehung von Bodeninformationen bei der großräumigen Anwendung eines einfachen Niederschlag-Abfluss-Modells. In: Koehler G (Hrsg) Bemessungsabflüsse für kleine Einzugsgebiete. Ber Fachgeb Wasserbau Wasserwirt 9:179–192, Universität, Kaiserslautern
34. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft u. Kulturbau (1999) Hochwasserabflüsse. DVWK-Schriften 124: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn
35. Koehler G (1999) Regionalisierung von Hochwasserabflüssen für kleine Einzugsgebiete im südlichen Donauebiet. In: Koehler G (Hrsg) Bemessungsabflüsse für kleine Einzugsgebiete. Ber Fachgeb Wasserbau Wasserwirt 9:165–178, Universität, Kaiserslautern
36. Peschke G, Etzenberg C, Müller G et al (1999) Das wissenschaftliche System FLAB – ein Instrument zur rechnergestützten Bestimmung von Landschaftseinheiten mit gleicher Abflussbildung. Internationales Hochschulinstitut, Zittau
37. Sieker F, Wilcke D, Reich M, et al (2007) Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte – am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen. Abschlussbericht, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Leibniz Universität Hannover. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Projekt AZ 214679), Hannover
38. Maetens W, Poesen J, Vanmaercke M (2012) How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? Earth-Science Rev 115:21–36. [▶ https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.08.003](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.08.003)
39. Rieger W (2012) Prozessorientierte Modellierung dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen. Mitt Inst Wasserwesen Wasserwirt Ressourcenschutz 116: Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
40. Chow VT (2009) Open Channel Hydraulics. Blackburn Press, Caldwell, New Jersey, USA
41. Dyck S, Peschke G (1995) Grundlagen der Hydrologie. Verlag für Bauwesen, Berlin
42. Seybert TA (2006) Stormwater management for land development. Methods and calculations for quantity control. Wiley, Hoboken
43. Patt H, Jüpner R (2013) Hochwasser-Handbuch Auswirkungen und Schutz. Springer, Berlin
44. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2003) Hydraulik naturnaher Fließgewässer. Teil 1. Grundlagen und empirische hydraulische Berechnungsverfahren. Karlsruhe
45. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2005) Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes. Karlsruhe
46. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2006) Dezentraler Hochwasserschutz. Möglichkeiten der ländlichen Entwicklung zur Unterstützung eines dezentralen Hochwasserschutzes. Schriften 11: Dresden
47. Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016) Loseblattsammlung Hydrologische Planungsgrundlagen. Augsburg
48. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2016) Dezentraler Hochwasserschutz im ländlichen Raum. Dresden
49. Thüringer Landesverwaltungsamt (2017) Kommunales Risikomanagement bei Starkregen. Ilmenau
50. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2018) Leitfaden zur Erstellung von integralen Hochwasserschutzkonzepten in Thüringen. Jena
51. Natural Resources Conservation Service (2015) National engineering handbook. Part 630 hydrology. Natural Resources Conservation Service (NRCS), United States Department of Agriculture. [▶ http://t1p.de/NRCS-NEH](http://t1p.de/NRCS-NEH)
52. Natural Resources Conservation Service (1999) CORE4 Conservation Practices Training Guide. US Department of Agriculture, Washington
53. Natural Resources Conservation Service (2018) Hydrologic and hydraulic tools and models. US Department of Agriculture (USDA), Washington. [▶ http://go.usa.gov/rXYw](http://go.usa.gov/rXYw)
54. Lenz A, Karlstetter M, Knogler F (2010) Sanierung des landschaftlichen Stoffhaushalts durch Ländliche Entwicklung. Strategien für eine integrierte und effiziente Umsetzungsarbeit aufgezeigt am Einzugsgebiet des Schwimmbachs, Niederbayern. Ingenieurbüro Lenz, Ringelai. [▶ https://www.boden-staendig.eu/\\_Resources/Persistent/2e6f7e7a920efec3d3f408f620bf2b3c7d0ab423/schwimmbach-bericht-phase1-2010.pdf](https://www.boden-staendig.eu/_Resources/Persistent/2e6f7e7a920efec3d3f408f620bf2b3c7d0ab423/schwimmbach-bericht-phase1-2010.pdf)
55. Bronstert A, Agarwal A, Boessenkool B et al (2017) Die Sturzflut von Braunsbach am 29. Mai 2016 – Entstehung, Ablauf und Schäden eines „Jahrhundertereignisses“. Teil 1: Meteorologische und hydrologische Analyse. Hydrol Wasserbewirt 61:150–162. [▶ https://doi.org/10.5675/HyWa](https://doi.org/10.5675/HyWa)

56. Hübl J, Heiser M, Braito S, et al (2017) Ereignisdokumentation und Ereignisanalyse Rottal-Inn 2016, Ereignisanalyse Simbach. IAN-Report 180(2): Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien
57. Hübl J, Heiser M, Braito S, et al (2017) Ereignisdokumentation und Ereignisanalyse Rottal-Inn 2016, Ereignisdokumentation. IAN-Report 180(1): Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien
58. Reichert E, Achtziger R, Seidler C et al (2007) Maßnahmensteckbriefe zur Broschüre Wasser + Landschaft. Arbeitsgrundlage zur Optimierung einer nachhaltigen Landnutzung aus Sicht des Hochwasserschutzes und des Natur- und Landschaftsschutzes. Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum, Technische Universität Bergakademie, Freiberg
59. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2013) Starkregen und urbane Sturzfluten. Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge DWA-Themen T1: Hennef
60. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2015) Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung. Merkbl DWA-M 550: Hennef
61. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2015) Wasserrückhalt in der Fläche durch Maßnahmen in der Landwirtschaft – Bewertung und Folgerungen für die Praxis. DWA-Themen T5: Hennef
62. Ingenieurbüro Lenz (2017) Planungshandbuch. Initiative boden:ständig. Ringelai. ► [https://www.boden-staendig.eu/\\_Resources/Persistent/8e414f5335c25a92c760d80cd91699c2dcba11dc/Planungshandbuch-bodenstaendig-Stand-2017-11.pdf](https://www.boden-staendig.eu/_Resources/Persistent/8e414f5335c25a92c760d80cd91699c2dcba11dc/Planungshandbuch-bodenstaendig-Stand-2017-11.pdf)
63. Heumund C, Markart G, Kohl B, et al (2011) Abschätzung von Oberflächenabflussbeiwerten bei konvektiven Starkregen. Evaluation der Geländeanleitung von Markart et al. (2004) für Schweizerische Einzugsgebiete. BFW-Dokumentation 12: Bundesamt und Forschungszentrum Wald, Wien
64. Schweizer Bundesamt für Umwelt (2018) Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz. Bern
65. Markart G, Kohl B, Sotier B, et al (2004) Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen. BFW-Dokumentation 4: Bundesamt und Forschungszentrum Wald, Wien

**Open Access** Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (► <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/ die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

