

# Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg

Anhang 2, 3, 4 und 5



<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, <a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>BEARBEITUNG</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
<b>REDAKTION</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
<b>BEZUG</b>	Kostenloser Download unter: <a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/starkregen">www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/starkregen</a>
<b>STAND</b>	Dezember 2016

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Anhang 2: Hochwasser-Alarmstufenmodell	4
Anhang 3: Methodische Grundlagen Oberflächenabflusswerte Baden-Württemberg	7
1. Hintergrund	7
2. Vorgehen	8
2.1 Das Modell RoGeR	8
2.2 Datenaufbereitung und Modellevaluation	10
2.3 Niederschlagsdaten: Plausibilisierung und Statistik	10
2.4 Modellierung der Abflüsse bei extremen Starkniederschlägen	14
2.5 Literatur	16
Anhang 4: Glossar „Kommunales Starkregenrisikomanagement“	17
Anhang 5: Weitere Quellen zur Bewusstseinsbildung und Einschätzung der Gefahrenlage	22

## Anhang 2: Hochwasser-Alarmstufenmodell

entwickelt von Christian Brauner, Risk Management

Um die verfügbare Reaktionszeit zu verlängern bzw. die Reaktionsgeschwindigkeit zu erhöhen, wurde ein vierstufiges Alarmstufenmodell entwickelt, das durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist:

- Ständige Beobachtungen der Wetter-Warmlage
- ausdifferenzierte Maßnahmen zwischen Eingang einer Wetterwarnung und dem tatsächlichen Eintreten einer kritischen Hochwassersituation, um dem Problem der Überwarnung Rechnung zu tragen
- Vereinfachung der Kommunikation der beteiligten Akteure
- adäquate Abbildung der gesetzlich definierten Aufgabenzuweisungen

### **Auslösung der Alarmstufen:**

Auf kommunaler Ebene wird im Alarm- und Einsatzplan definiert, unter welchen Bedingungen welche Alarmstufe auszulösen ist. Dies wird von Kommune zu Kommune zumindest teilweise unterschiedlich sein, um den örtlichen Gegebenheiten, Risiken, Möglichkeiten und Bedürfnissen gerecht zu werden.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Bürgermeister und die von ihm beauftragten Funktionsträger jede Alarmstufe auslösen oder aufheben.

### **Kommunikation der aktuellen Alarmstufe:**

Alarmstufenmodelle bieten die Möglichkeit, zahlreiche Einzelmaßnahmen zu Paketen zusammenzufassen und diese den einzelnen Stufen zuzuordnen. Mit der Auslösung der Stufe erfolgt auch die Auslösung der Maßnahmen. Auf diese Weise kann die Kommunikation erheblich vereinfacht werden, weil nicht mehr Einzelmaßnahmen, sondern nur noch die jeweiligen Alarmstufen zu kommunizieren sind. Für die Blaulichtorganisationen sind solche Alarmstufenmodelle Standard.

## Vierstufenmodell

Die nachstehende Tabelle zeigt das Modell und nennt die stufenauslösenden Ereignisse, die primär auf der jeweiligen Stufe zu verfolgenden Ziele und die wichtigsten Aufgaben:

Stufe → ↓ Indikator	0 Monitoring	1 Warnphase	2 Kontrollphase	3 Notfallphase
<b>Auslösendes Ereignis</b>	Ständiger Auftrag der zuständigen Stelle; i.d.R. der Feuerwehr- bzw. integrierten Leitstelle.	Für die Kommune liegen relevante Warnungen oder Informationen über Ereignisse vor, insbesondere von DWD, HVZ oder HMO.	Ein kritisches Wetterereignis wird sehr wahrscheinlich eintreten oder ist bereits eingetreten. Wasser fließt aber noch überwiegend kontrolliert ab.	Eine kritische Abflusssituation wird sehr wahrscheinlich eintreten oder ist bereits eingetreten. Wasser droht außer Kontrolle zu geraten oder ist bereits außer Kontrolle.
<b>Ziele</b>	Alle Akteure erhalten unverzüglich die für sie relevanten Warnungen.	Frühestmögliche Erkennung der tatsächlich kritischen Wetterentwicklungen. Vorbereitung aller Akteure auf eine mögliche kritische Entwicklung.	Hochwasserschutz-Einrichtungen sind aktiviert und kontrolliert. Wasser wird unter Kontrolle gehalten oder (zum Beispiel Hangwasser) unter Kontrolle gebracht. Prognostizieren des Eintritts kritischer Zustände (= Abwehrphase) bei steigenden Wasserständen.	Menschen, Tiere und Sachwerte sind vor Hochwassergefahren zu schützen. Hochwassergefahren werden abgewehrt bzw. gemindert.
<b>Aufgaben</b>	Ständiges Beobachten der Warnlage (365/24). Auslösen des Unwetter-Voralarms oder HMO-Alarms, sobald definierte Warnschwellen überschritten werden.	Interpretation der Warnung aus Sicht der Kommune. Beobachten von Warnlage und Wetterentwicklung. Sicherstellung der Einsatzbereitschaft.	Beobachten der Abflusssituation. Inbetriebnahme und Kontrolle von Abflüssen und Hochwasserschutzeinrichtungen. Beheben von Abflussstörungen.	Schützen/Retten von Mensch, Tier und Sachwerten. Abwehr von (Hoch-)Wassergefahren und damit einhergehenden Gefahren. Verteidigung von Hochwasserschutzanlagen.

### Anwendung des Hochwasser-Alarmstufenmodells für Starkregenereignisse:

Das Alarmstufenmodell bietet die Möglichkeit, die vorhandenen Ressourcen optimal auszunutzen. Das ist gerade für Starkregenereignisse angesichts der extrem kurzen Vorwarnzeiten von enormer Bedeutung. Den einzelnen Alarmstufen können anhand einer Warnmatrix verschiedene Indikatoren zugeordnet werden. Mögliche Indikatoren für Starkregenereignisse sind:

- Wetterwarnungen, insbesondere des DWD
- HW-Frühwarnungen für kleine Einzugsgebiete (Hochwasservorhersagezentrale - HVZ)
- Betriebszustand von Hochwasser-Schutzanlagen
- Definierte Stände lokaler Pegel
- Einstauungen / Ausuferungen an definierten Stellen, z.B. Brücken
- Definierte Ereignisse, z.B.
  - Ereignisse auf der typischen Zugbahn von Gewitterzellen
  - Ereignisse im Bereich des Oberlieggers,
  - markante Niederschlagsereignisse,
  - markante Abflusssituationen
  - ...
  - ...

**Beispiel für eine zu ergänzende Warnmatrix für das vierstufige**

Indikator	Monitoring	Warnphase	Kontrollphase	Notfallphase
<b>DWD BLAU, GELB oder ORANGE</b>	x			
<b>DWD VORABINFORMATION</b>		x		
<b>DWD ROT</b>		x		
<b>DWD LILA</b>				
<b>Lokaler Niederschlagsmesser A</b>			x	
<b>Oberlieger kritisch</b>			x	
...			x	
				x

## Anhang 3: Methodische Grundlagen Oberflächenabflusswerte Baden-Württemberg

### Konsistente Grundlagendaten als Eingangsgröße für die in-stationäre 2-D hydraulische Starkregen - Gefährdungsanalyse

Markus Weiler, Andreas Steinbrich, Michael Stölzle

#### 1. Hintergrund

Zur Ermittlung der seltenen, außergewöhnlichen und extremen Oberflächenabflusswerte in Baden-Württemberg wurden für festgelegte, extreme lokale Niederschlagsereignisse mit einer Dauer von einer Stunde und Wiederkehrintervallen (T) von 30 und 100 Jahren zur Generierung der seltenen und außergewöhnlichen Ereignisse sowie einem „Extrem“-Szenario die daraus lokal in der Fläche gebildeten Abflüsse berechnet. Das Modell RoGeR bestimmt dafür alle Abflussprozesse, wobei für das Starkregenerisikomanagement nur die berechneten Oberflächenabflusswerte verwendet werden, da nur kurze lokale Ereignisse betrachtet werden. Die Oberflächenabflusswerte werden einerseits durch die Niederschlagsmenge und -intensität und andererseits von der Vorfeuchte sowie den lokalen Bodeneigenschaften und der Landnutzung beeinflusst. Zur Quantifizierung der Niederschläge für unterschiedliche Jährlichkeiten wurde an der Professur für Hydrologie der Universität Freiburg anhand von ca. 350 Stationsdatensätzen eine für die Aufgabenstellung besonders geeignete Methodik entwickelt, um daraus räumlich hochaufgelöste Starkregensmengen abzuleiten (Kapitel 2.3).

Der Ansatz zur Bestimmung der Oberflächenabflusswerte beruht auf Arbeiten des Wasser- und Bodenatlas (WaBoA) und dem Modell RoGeR (Runoff Generation Research) der Universität Freiburg, Professur für Hydrologie. Die räumliche Verteilung der Vorfeuchtwerte wurde aus dem Grundwasserneubildungsmodell GWN-BW (Gudera & Morhard 2015) abgeleitet, das für das Land Baden-Württemberg entwickelt und für andere Fragestellungen schon erfolgreich getestet und angewandt wurde.

Die Modellierung der Abflussbildungsprozesse und somit der Oberflächenabflusswerte erfolgte für Vorfeuchtebedingungen im Sommer, einmal unter der Annahme, dass auf Ackerstandorten mit wenig Vegetationsbedeckung Verschlämmung eingetreten ist (vorangegangene erosive Niederschläge) und einmal unter der Annahme, dass keine Verschlämmung eingetreten ist. Um das Maß der möglichen Verschlämmung zu quantifizieren, wurden die K-Faktoren der Böden herangezogen. Somit sind nur bestimmte Standorte verschlammungsgefährdet. Bei der Erstellung der Starkregengefahrenkarten sollte in Bezug auf die Verschlämmung und Kenntnis des Einzugsgebietes ein fachlich plausibler Ansatz gewählt werden. In der Regel sollte allerdings im Rahmen einer worst-case Betrachtung der Ansatz verschlämmt gewählt werden.

Aus der Kombination der Niederschlagsszenarien mit den beiden Verschlammungsszenarien ergeben sich fünf landesweite Modellläufe:

- 1) Seltenes Oberflächenabflussereignis unverschlämmt (sOFu): Niederschlagsereignis: Dauer 1h, T=30 Jahre, keine Bodenverschlämmung eingetreten.
- 2) Seltenes Oberflächenabflussereignis verschlämmt (sOFv): Niederschlagsereignis: Dauer 1h, T=30 Jahre, Bodenverschlämmung eingetreten.
- 3) Außergewöhnliches Oberflächenabflussereignis unverschlämmt (aOFu): Niederschlagsereignis: Dauer 1h, T=100 Jahre, keine Bodenverschlämmung eingetreten.
- 4) Außergewöhnliches Oberflächenabflussereignis verschlämmt (aOFv): Niederschlagsereignis: Dauer 1h, T=100 Jahre, Bodenverschlämmung eingetreten.
- 5) Extremes Oberflächenabflussereignis (eOF): höchstes beobachtetes Niederschlagsereignis in Baden-Württemberg, Dauer 1h, Berücksichtigung der kleinräumigen Erhöhung in konvektiven Zellen und eingetretener Bodenverschlämmung (worst-case Szenario).

Die Modellierung erfolgte in 5-Minuten-Schritten mit einer räumlichen Auflösung von 5 x 5 m. In dieser Auflösung wurde landesweit für alle Zeitschritte der gebildete Oberflächenabfluss (Horton'scher Oberflächenabfluss und Sättigungsflächenabfluss) sowie der Maximalwert und die Summe über alle Zeitschritte ausgegeben.

Diese konsistenten Informationen über die räumliche und zeitliche Verteilung des gebildeten Oberflächenabflusses können anschließend als Eingangsdaten für die 2-D hydraulische Gefährdungsanalyse dienen, um potenzielle Überflutungstiefen, -ausdehnungen und Fließgeschwindigkeiten nach Starkregenereignissen zweidimensional zu berechnen.

Die bisherigen Untersuchungen zu RoGeR haben gezeigt, dass die räumliche Auflösung von 5 x 5 m für die Modellierung der Abflussbildungsprozesse vollkommen ausreicht. Die Modellierung der Abflusskonzentration mit hydraulischen Modellen wird jedoch häufig in einer höheren räumlichen Auflösung erfolgen. Deshalb werden die Ergebnisdaten der landesweiten Modellierung in der Auflösung 1 x 1 m von der LUBW bereitgestellt.

Im Fokus der Datenbereitstellung sind kurze Starkniederschlagsereignisse sehr hoher Intensitäten, die in der Lage sind, sogenannte Sturzfluten auszulösen, die fast ausschließlich auf Oberflächenabfluss zurückzuführen sind. Da solche Ereignisse fast ausschließlich im Sommerhalbjahr auftreten, wurden keine Modellläufe unter Vorbedingungen durchgeführt, wie sie im Winter anzutreffen sind (noch höhere Vorfeuchten, geringere Interzeption, gepflügte Äcker, etc.). Aufgrund der hohen Vorfeuchten im Winter und in dieser Jahreszeit bevorzugt auftretender moderater aber lange anhaltender Niederschläge spielen im Winter auch vermehrt Abflussprozesse im Boden (Zwischenabfluss) eine Rolle. Solche Ereignisse führen eher zu Hochwasser entlang der Flüsse als zu lokalen Sturzfluten. Somit wird der Einfluss von Schneeschmelze oder von gefrorenen Böden in den Szenarien nicht abgebildet.

## 2. Vorgehen

### 2.1 Das Modell RoGeR

RoGeR ist ein ereignisbasiertes Niederschlag-Abflussmodell, das anhand von Erkenntnissen aus der internationalen Abflussforschung unter Nutzung hoch aufgelöster digitaler räumlicher Daten die Abflussbildungsprozesse in der Fläche quantifiziert. RoGeR berücksichtigt alle für die Abflussbildung relevanten Prozesse (Abb. 1 Anhang) und bildet diese in hoher räumlicher (bis zu 1 x 1 m) und zeitlicher (bis zu 1 Minute) Auflösung ab.

Die Parametrisierung von RoGeR erfolgt aufgrund von digitalen, räumlich verteilten Daten wie:

- der Bodenkarte 1:50.000 (BK50)
- der Hydrogeologischen Karte 1:50.000 (HGK50)
- dem Versiegelungsgrad der Landoberfläche 1 x 1 m
- Laser Scan Daten 1 x 1 m sowie
- dem CORINE Land cover (Bodenbedeckungsdaten für Deutschland).

Aufgrund der räumlich verteilten Parametrisierung ist RoGeR in ganz Baden-Württemberg für beliebig große Gebiete (von einzelnen Hängen und Kleinst Einzugsgebieten bis zum mesoskaligen Einzugsgebiet) einsetzbar, ohne dass eine Kalibrierung des Modells erforderlich ist.

Die Eignung von RoGeR wurde anhand von sieben Großberechnungsversuchen (75 m<sup>2</sup>) an fünf verschiedenen Standorten und anhand von 36 beobachteten Hochwasserereignissen in 13 Einzugsgebieten (3 – 170 km<sup>2</sup>) in Baden-Württemberg getestet (Steinbrich und Weiler 2012, Steinbrich und Weiler 2015, Steinbrich et al. 2016). Dabei wurden für ausgewählte beobachtete Starkregenereignisse die simulierte und gemessene Abflussganglinie am Pegel verglichen und bezüglich Abflussvolumen, Abflussspitze und Form der Abflussganglinie analysiert. Die Anwendung von RoGeR auf sieben Großberechnungsversuche erbrachte eine sehr gute Wiedergabe sowohl der gemessenen Oberflächen- wie auch der gemessenen Zwischenabflüsse (Steinbrich et al. 2016). Diese Vergleiche haben gezeigt, dass RoGeR für die Modellierung der Abflussbildungsprozesse in der Hang- und Plotskala sowie in kleinen Einzugsgebieten ohne Beobachtungsdaten besonders geeignet ist.



## 2.2 Datenaufbereitung und Modellevaluation

Für die Modellierung von Szenarien mit RoGeR sind die folgenden räumlich verteilten Eingangsdaten landesweit als 5 x 5 m - Raster aufbereitet worden:

Grundlagendaten (Geo-Daten)

- Landnutzung (Kombination aus CORINE Land Cover, ATKIS und Laser Scann Daten)
- Versiegelungsgrad (Kombination aus ALK und ATKIS; aggregiert aus 1 x 1 m<sup>2</sup> Auflösung)
- Gefälle der Erdoberfläche (aggregiert aus Laser Scann Daten 1 x 1 m<sup>2</sup> Auflösung)
- Dichte der vertikalen Makroporen (in Abhängigkeit von Landnutzung)
- Tiefe der vertikalen Makroporen (in Abhängigkeit von Landnutzung)
- Dichte der hangparallelen Makroporen (in Abhängigkeit von Landnutzung)
- Mittlerer Abstand von Trockenrissen (aus Literatur)
- Mittlerer Grundwasserflurabstand (aus DEM und AWGN Gewässernetz)
- Mächtigkeit des Bodens (BK 50)
- Nutzbare Feldkapazität des Bodens (BK50)
- Luftkapazität des Bodens (BK50)
- Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit des Bodens (BK50)
- Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit des geologischen Untergrundes (HGK 50)

### Niederschlag

Extreme lokale Niederschlagsereignisse sind eine wichtige Eingangsgröße für das Model RoGeR, um Oberflächenabflüsse zu quantifizieren. Die Aufbereitung der Niederschlagsdaten ist in Kapitel 2.3 detailliert beschrieben.

### Vorfeuchte

Das Grundwasserneubildungsmodell für Baden-Württemberg (GWN-BW), das auf den gleichen bodenkundlichen Datengrundlagen wie RoGeR aufbaut, wurde verwendet, um den täglichen Bodenwassergehalt von 1971 bis 2013 zu simulieren. Daraus wurden für alle modellierten Teilflächen Baden-Württembergs für das Sommerhalbjahr Häufigkeitsverteilungen der Bodenfeuchte erstellt.

## 2.3 Niederschlagsdaten: Plausibilisierung und Statistik

### Grundlagen

Als Alternative zu KOSTRA-DWD-2010 als Starkregenprodukt wurde ein regionaler Ansatz zur Ableitung der Bemessungsniederschläge realisiert. Dies war erforderlich, da KOSTRA-DWD-2010 bezüglich der Datengrundlage und der Methodik für kurze Niederschlagsdauern und hohe Jährlichkeiten nicht als geeignet angesehen werden kann (z.B. aufgrund der unzureichenden räumlichen Auflösung für lokale extreme Niederschlagsereignisse).

Um konsistente Grundlagen für eine Starkregengefahrenkartierung und die Ableitung von Bemessungsniederschlägen in Baden-Württemberg zu schaffen, wurden durch die Uni Freiburg hochaufgelöste Niederschlagsstationsdatensätze zusammengeführt und ihre Reliabilität überprüft. Als Datengrundlage standen Niederschlagsstationsdatensätze der Behörden LUBW (Karlsruhe) und des DWD (Offenbach) zur Verfügung. Etwa 63% der Daten hatten eine zeitliche Auflösung von 5 Minuten, 37% der Daten von sogar 1 Minute, womit auch für sehr kurze Dauerstufen (5-Minuten-Starkregen) Ereignisse extrahiert und analysiert werden konnten. Die Datenreihen erstreckten sich auf den Zeitraum 1950 bis 2015, die Mehrheit der Aufzeichnungen stammte aus dem Zeitraum 2000 bis 2015. Stationen umliegender Bundesländer (Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz) wurden genutzt, um auch in den Randbereichen Baden-Württembergs zu einer verlässlichen Niederschlagsstatistik mit guter Datengrundlage zu gelangen. Das vorgestellte Verfahren kann für jede Dauerstufe zwischen 5 Minuten und 1 Tag angewandt werden. Für die Bestimmung der Oberflächenabflusswerte wurde 1 Stunde als Dauerstufe gewählt.

## Verfahren

Insgesamt wurden 346 Niederschlagsstationen ausgewertet (Abbildung 2). Die Niederschlagsstatistik basierte im Wesentlichen auf der Ableitung von partiellen Serien für die Anpassung von Extremwertverteilungen. Partielle Serien berücksichtigen nicht nur das größte jährliche, sondern etwa die 2.7-fache jährliche Anzahl der größten Niederschlagsereignisse in der gesamten Stationszeitreihe. Hiermit können auch mehrere Starkregenereignisse aus einem Jahr berücksichtigt werden und eine Periode mit besonders vielen hohen Ereignissen findet ebenfalls Berücksichtigung. Die zeitliche Unabhängigkeit der Ereignisse im Rahmen der Niederschlagsstatistik wurde durch mindestens 2 Tage Abstand zwischen Einzelereignissen sichergestellt. Die Plausibilisierung der Stationsdaten basierte dabei auf verschiedenen Schritten, welche teils iterativ ausgeführt wurden: Berücksichtigung von Datenqualitätsmerkmalen, Zusammenführung und Homogenisierung von verschiedenen Niederschlagsmesstechniken an einem Ort, Abgleich der Aufzeichnungsauflösung der Zeitreihen. Zusätzlich wurden außergewöhnliche Intensitätsverläufe (z.B. Blockregen) entfernt und Stationscharakteristika

(z.B. Jahressummen des Niederschlags) mit benachbarten Stationen verglichen, um auffällige Stationsdaten zu entfernen. Starkregen treten vor allem im Sommer auf, daher wurden für das Verfahren Ereignisse zwischen dem 1. April und 31. Oktober ausgewählt. Die Datenreihen zeigen zudem im Winterhalbjahr häufig höhere Niederschlagsmengen, welche aber stichpunktartig Schneefallereignissen zugewiesen werden konnten. Die Fokussierung auf das Sommerhalbjahr reduziert somit auch die Messfehler von winterlichen Schneefallereignissen.

Die Zeitreihen der Niederschlagsstationen in Baden-Württemberg sind in ihrer Länge sehr heterogen. Im Durchschnitt weist jede Station 12 Jahre Daten auf, die Zeitreihenlängen schwanken jedoch zwischen 1 bis 53 Jahren (Abbildung 2 Anhang). Stationen mit weniger als 4 Jahren Daten wurden aus der Analyse entfernt, da bei kurzen Zeitreihen keine umfangreiche Datenplausibilisierung durchgeführt werden konnte. Die unterschiedlichen Zeitreihen führen zu unterschiedlichen Längen der partiellen Serien für die extremen Niederschlagsereignisse. Hierdurch müsste mit starken Unterschieden zwischen

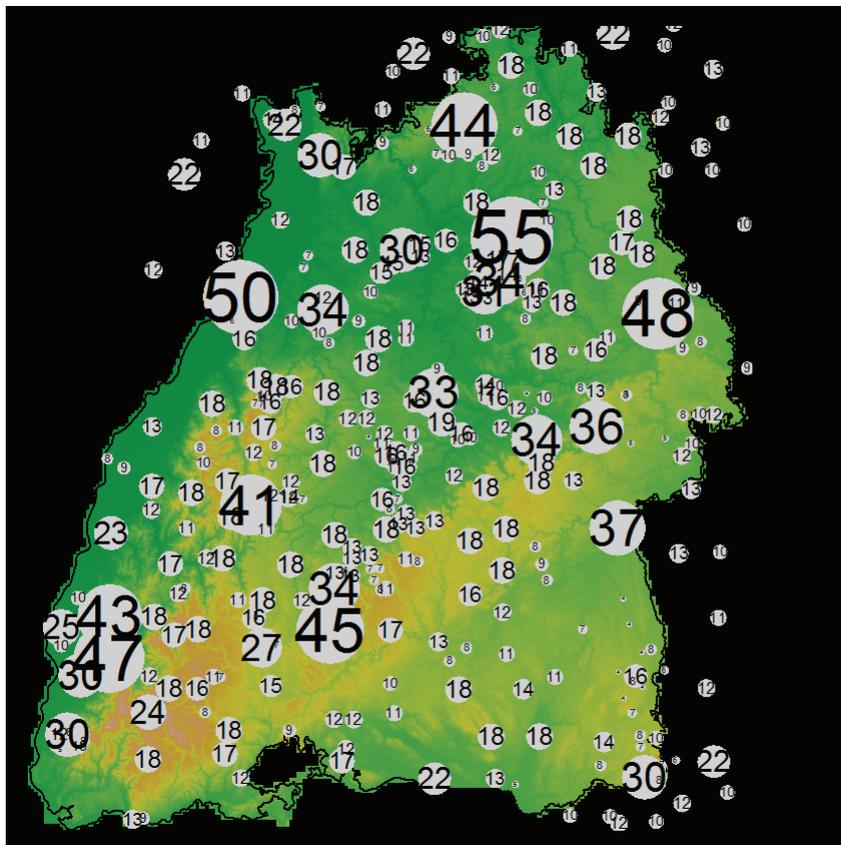


Abbildung 2 Anhang: Ausgangsdatenlage der Niederschlagsstationen für das Projekt. Dargestellt ist die räumliche Verteilung der Niederschlagsstationen und die Anzahl der Stationsjahre je Station. Kleine Ziffern verweisen auf 8 oder weniger Stationsjahre.

den Stationen bezüglich der Anpassung der Extremwertverteilungen an die Daten gerechnet werden (z.B. Unterschiede in den Unsicherheiten der Schätzungen). Dies würde zwangsläufig zu räumlichen Unterschieden in der Niederschlagsstatistik führen, welche dann auf die Methode und nicht die Daten zurückzuführen wäre. Deshalb wurden Informationen über Starkregenereignisse von benachbarten Stationen (Tochterstationen) auf die jeweilige Zielstation (Mutterstation) übertragen. Ziel war es, eine einheitliche Datenlage für alle 346 Stationen in Baden-Württemberg zu schaffen (vergleichbare Zeitreihenlänge). Die Übertragung berücksichtigt dabei spezifische Stationsmerkmale wie die mittlere Niederschlagshöhe. Das bedeutet, dass Niederschlagsereignisse mit einem Korrekturfaktor übertragen und je nach Charakteristika der Mutter- und Tochterstation bei der Übertragung erhöht oder vermindert werden. Hierdurch wurden alle partiellen Serien auf vergleichbare Zeitlängen angepasst (ca. 100 Stationsjahre). Alle Niederschlagsstationen traten dabei als Mutter- und auch als Tochterstationen auf. Für die Anpassung der Extremwertverteilungen kann nun auf längere Datenreihen zurückgegriffen werden, wodurch eine höhere Anpassungsgüte für Wiederkehrintervalle  $\leq 100$  Jahre diagnostiziert wurde.

Für die Auswahl der Tochterstationen wurde ein höhen- gewichtetes Entfernungsmaß, basierend auf einer Weiterentwicklung des LARSIM Interpolationsverfahrens, genutzt. Durchschnittlich waren für die Auffüllung auf 100 Stationsjahre ca. 7 Tochterstationen notwendig, in Regionen mit geringer Stationsdichte oder vielen kurzen Datenreihen bis zu 13 Stationen. Es wurde ein mittelwerttreuer Ansatz bei der Auffüllung der Stationsjahre genutzt, um zu garantieren, dass alle Ereignisse einer Station übertragen wurden. Das bedeutet, dass die Stationsjahre solange mit kompletten Ereignisreihen von Tochterstationen aufgefüllt wurden, bis die Differenz auf 100 Stationsjahre minimal war.

An die beobachteten Ereignisse von etwa 100 Stationsjahren wurde dann die Paretoverteilung (Extremwertverteilung für partielle Serien mit 3 Parameter) angepasst (ATV, 1985). Daraus wurden für jede Station für die Wiederkehrintervalle 30 und 100 Jahren die Niederschlagsmengen für die Dauer von einer Stunde geschätzt. Abschlie-

ßend wurde ein multiples lineares Modell genutzt, um die Stationsdaten zu interpolieren. Für jede 1 km Rasterzelle in Baden-Württemberg wurden die 12 benachbarten Niederschlagsstationen verwendet (mit einer Distanzgewichtung), um mit den Prädiktoren Lage (X,Y) und Höhe (Z) die Niederschlagsmenge zu bestimmen. Da nach der Interpolation in einigen Regionen außergewöhnlich hohe oder geringe Werte generiert wurden, wurden die unteren bzw. oberen 5% der interpolierten Werte jeweils auf die entsprechenden Werte des 5% bzw. 95% Perzentils festgelegt.

Für das extreme Ereignis (eOF) werden die größten, beobachteten Niederschlagsereignisse innerhalb der Datenreihen für die gesamte Landesfläche als Grundlage genommen. Da für die größten Ereignisse kurzer Dauern kein räumliches Muster zu beobachten ist, wird die daraus resultierende Niederschlagsmenge als konstant für das Land angenommen, da dieses extremste Ereignis landesweit auftreten kann. Außerdem wurde berücksichtigt, dass das verwendete Stationsmessnetz die kleinräumigen Starkregenereignisse nur unzureichend erfassen kann. Aus den Beobachtungsdaten der Starkregenereignisse ergibt sich ein ausgeprägter Gradient zwischen den Niederschlagsmengen und der Distanz der Stationen hin zum maximal beobachteten Ereignis. Um höhere Niederschlagsintensitäten der Starkregenereignisse auch für kleinere Einzugsgebiete bis zu 5 km<sup>2</sup> zu berücksichtigen, wurde dieser Gradient in einen Erhöhungsfaktor umgerechnet. Dieser liegt im Mittel für alle Stationen bei 30%, womit sich ein landesweiter Niederschlagswert als Eingangsgröße für das extreme Ereignis (eOF) von 128 mm pro Stunde ergibt.

#### **Ergebnisse und Plausibilisierung**

Durch die Auffüllung der Stationen auf 100 Stationsjahre wird eine konsistente Datenbasis für die Anpassung der Extremwertverteilungen geschaffen. Im Vergleich zu den Originalzeitreihen können die Unsicherheiten für alle Wiederkehrintervalle deutlich reduziert werden. Es zeigt sich auch, dass der eigentliche Schätzwert, also die Niederschlagsmenge, durch das Verfahren wenig beeinflusst wird. Dennoch ist häufig von einer leicht höheren Niederschlagsschätzung auszugehen, da Starkregenereignisse aus dem Umland mit in die Stationsstatistik einfließen.

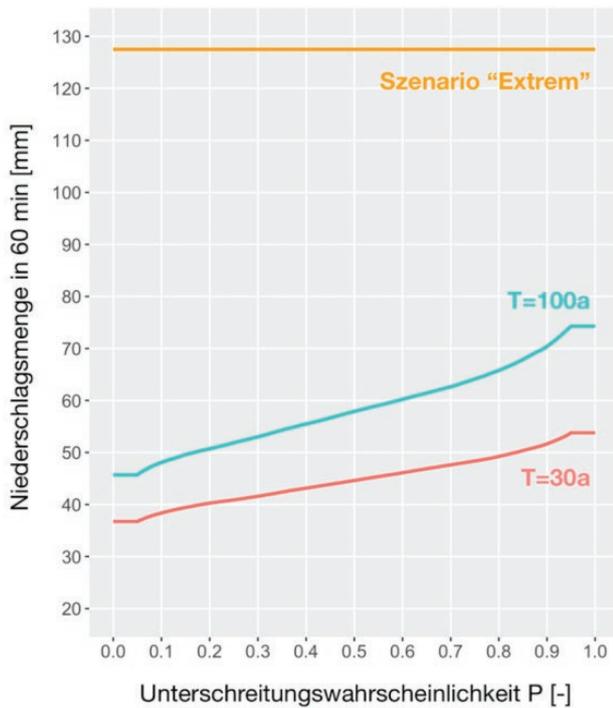


Abbildung 3 Anhang: Verteilung der landesweiten Niederschlagsmengen für die Wiederkehrintervalle  $T=30$  und  $T=100$  Jahre und dem konstanten landesweiten Niederschlagswert für das extreme Szenario.

Die 3-parametrische Paretoverteilung ermöglicht ein stärkeres Abflachen oder Ansteigen der Extremwertverteilung im Bereich großer und sehr großer Wiederkehr. Somit können sowohl die erfassten Extremniederschläge an den Stationen wie auch physikalische Prozesse (z. B. eine Limi-

tierung der Luftmassenhebung in der Atmosphäre und damit eine Begrenzung der verfügbaren Niederschlagsmenge) durch die Pareto-Extremwertverteilung gut abgebildet werden. Einen Überblick über kumulierte Verteilung der Niederschlagsmengen der 3 Szenarien zeigt Abbildung 3 Anhang.

Die resultierende räumliche Verteilung der Niederschlagsmengen für die Wiederkehrintervalle  $T=30$  und  $T=100$  Jahre ist in der Abbildung 3a Anhang dargestellt. Insbesondere in den südlichen Landesteilen sind die Niederschlagsmengen generell höher als in den nördlichen Landesteilen.

#### Zeitliche Verteilung der Niederschläge

Zur Ermittlung eines mittleren zeitlichen Verlaufs der Niederschlagsintensitäten wurden die Niederschlagsaufzeichnungen aller zur Verfügung stehender Stationen herangezogen. Es wurden die 1-Stunden-Niederschläge mit einer Summe größer 25 mm ausgelesen und deren zeitliche Verteilung ausgewertet (Abb. 4 Anhang). Für die Modellläufe mit RoGeR wurde der mediane zeitliche Verlauf gewählt. Daraus ergibt sich ein anfangsbetonter Niederschlagsverlauf (siehe auch Tabelle. 1 und Abb. 5 Anhang).

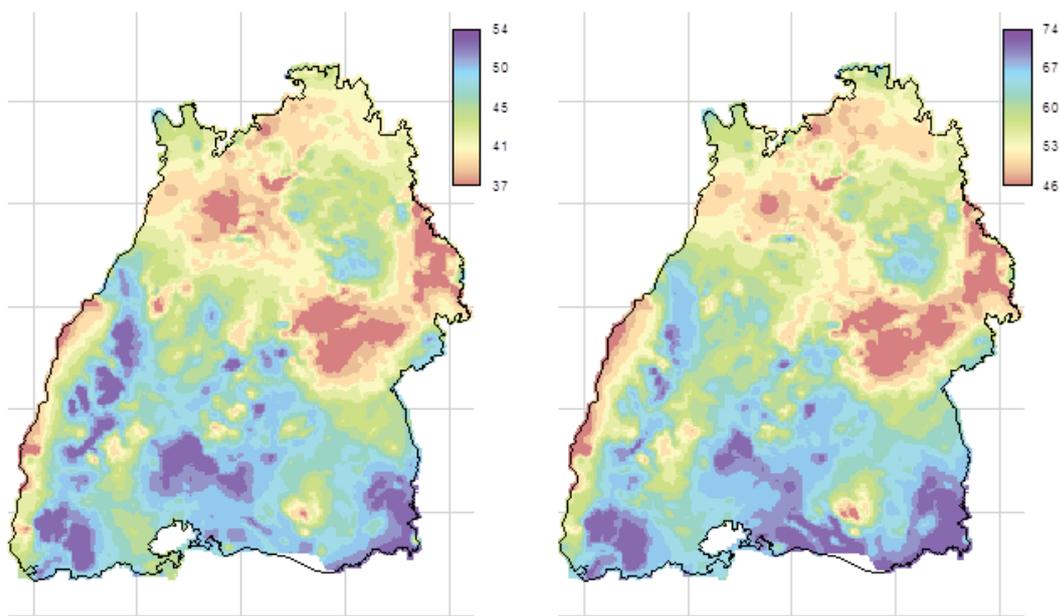


Abbildung 3a Anhang: Räumliche Verteilung der sommerlichen Niederschlagsmengen (mm) für die Wiederkehrintervalle  $T=30$  Jahre (links) und  $T=100$  Jahre (rechts).

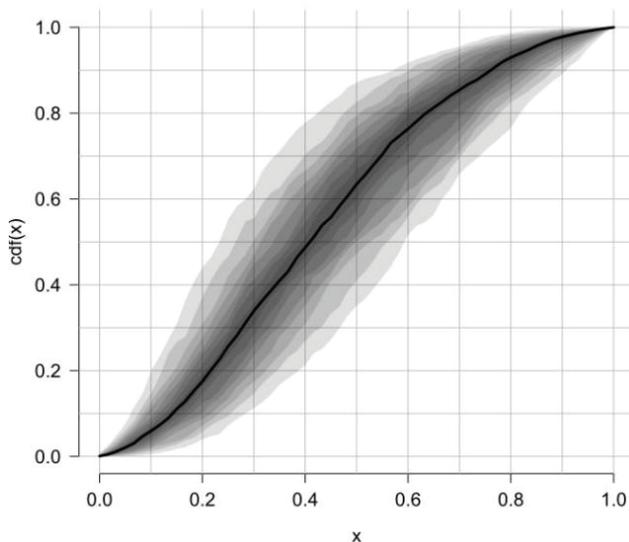


Abbildung 4 Anhang: Zeitlicher kumulativer Verlauf der Stundenniederschläge > 25 mm über alle Stationen in Baden-Württemberg (Median und 5% Perzentile)

## 2.4 Modellierung der Abflüsse bei extremen Starkniederschlägen

Die landesweite Modellierung der Abflussbildungsprozesse erfolgte für Vorfeuchtebedingungen im Sommer. Im ersten Fall wurde angenommen, dass auf Ackerstandorten Verschlammung eingetreten ist. Dies kann auf verschlamm-

ungsgefährdeten Böden der Fall sein, wenn der Boden kaum durch eine Vegetationsdecke geschützt ist (z.B. Maisanbau und Starkregen im Frühjahr). Im zweiten Fall sind die Bodenaggregate noch intakt und der Boden nicht verschlammte. Die Modellläufe erfolgten in einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten mit einer räumlichen Auflösung von 5 x 5 m. In dieser räumlichen und zeitlichen Auflösung wurde landesweit der gebildete Oberflächenabfluss (Horton'scher Oberflächenabfluss und Sättigungsflächenabfluss) sowie der Maximalwert und die Summe über alle Zeitschritte ausgegeben.

In Tabelle 1 Anhang ist beispielhaft für eine Rasterzelle auf einem Ackerstandort auf Lössboden die Modellausgabe dargestellt. Für jeden in Tabelle 1 dargestellten Ausgabewert wird ein landesweites 5 x 5 m<sup>2</sup>-Rasterdantensatz erzeugt. Abb. 5 Anhang zeigt den zeitlichen Verlauf von Niederschlag, Infiltration und Oberflächenabfluss für das in Tabelle 1 Anhang dargestellte Beispiel. Der zeitliche Verlauf des Niederschlages wurde wie oben beschrieben ermittelt.

In Abbildung 6 Anhang ist beispielhaft die räumliche Verteilung der Abflusssummen aller 5 Szenarien für ein Gebiet im Kraichgau dargestellt. Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung sind einerseits die Siedlungsge-

Tabelle 1 Anhang: Beispiel der am Ende zu Verfügung stehenden Ergebnisdaten für eine Gridzelle auf einem Ackerstandort auf Lössboden

Objekt / Bereich	sOFu	sOFv	aOFu	aOFv	eOF
Niederschlagssumme [mm]	44.0	44.0	59.0	59.0	127.5
Abflusssumme [mm]	13.13	19.70	26.81	34.05	101.53
Maximaler Abfluss [mm/5min]	2.88	3.64	4.90	5.61	14.39
Abfluss [mm] von 0-5min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
Abfluss [mm] von 5-10min	0.06	0.12	0.54	1.12	7.45
Abfluss [mm] von 10-15min	1.18	2.46	2.95	4.66	13.74
Abfluss [mm] von 15-20min	1.86	3.16	4.12	5.17	14.06
Abfluss [mm] von 20-25min	2.45	3.39	4.50	5.34	14.04
Abfluss [mm] von 25-30min	2.88	3.64	4.90	5.61	14.39
Abfluss [mm] von 30-35min	2.24	2.89	3.93	4.54	11.93
Abfluss [mm] von 35-40min	1.45	2.02	2.80	3.34	9.23
Abfluss [mm] von 40-45min	0.50	1.01	1.45	1.93	6.10
Abfluss [mm] von 45-50min	0.46	0.91	1.36	1.79	5.72
Abfluss [mm] von 50-55min	0.05	0.10	0.26	0.55	3.00
Abfluss [mm] von 55-60min	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12

biete und Verkehrswege klar erkennbar. Die Boden- und Landnutzungseigenschaften beeinflussen darüber hinaus die Variation der Oberflächenabflüsse. Auch beim extremen Oberflächenabflussereignis können gewisse Gebiete immer noch den Niederschlag aufnehmen und das Wasser infiltriert fast vollständig, wohingegen andere Gebiete Abflüsse von über 100 mm produzieren. Bei den seltenen und außergewöhnlichen Oberflächenabflussereignissen

sind auch schon einige Gebiete sehr abflussbereit, auch der Unterschied durch die Verschlümmung ist klar sichtbar, insbesondere auf den ackerbaulich genutzten Flächen.

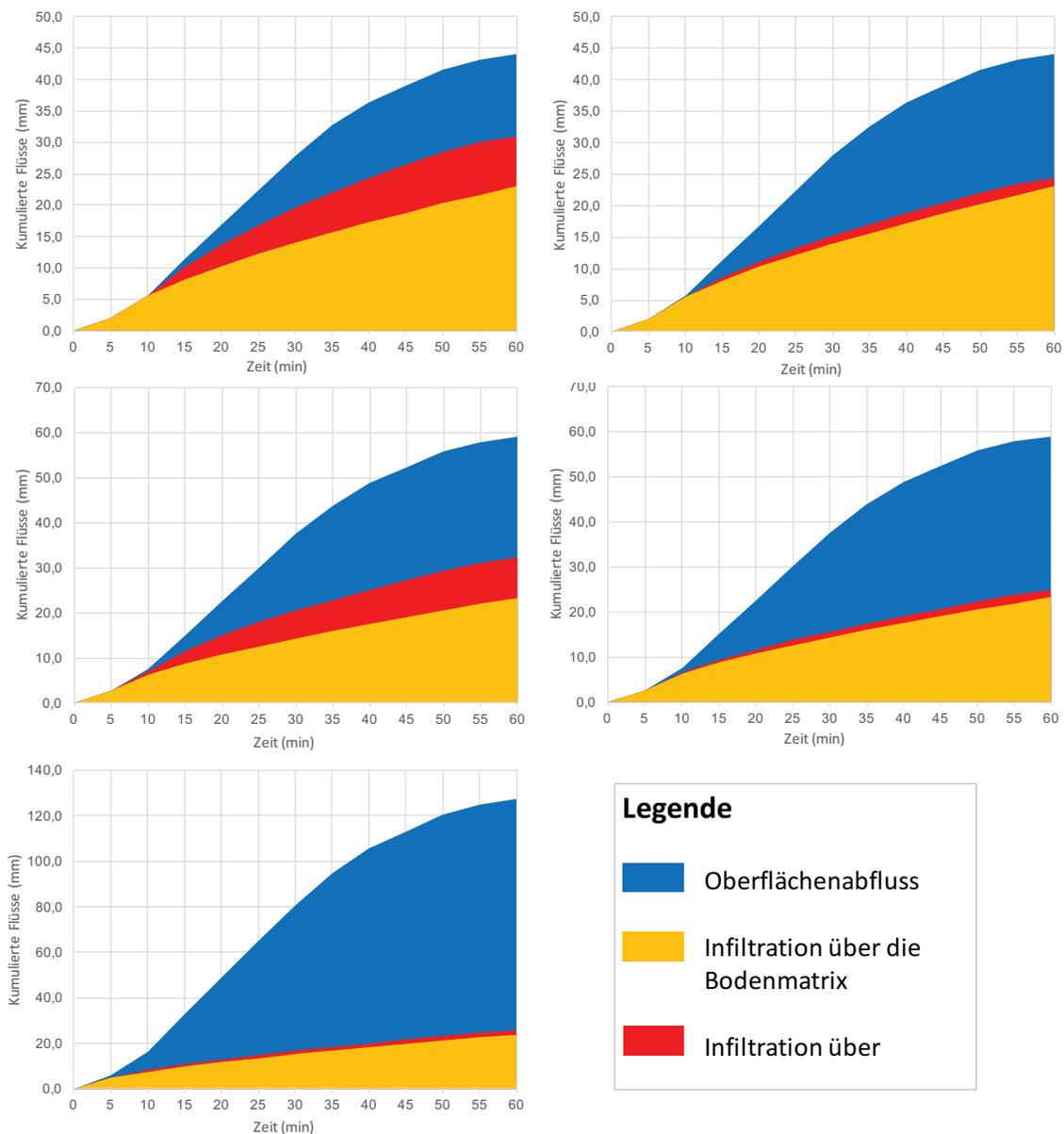


Abbildung 5 Anhang: Kumulierte Ganglinien von Niederschlag, Infiltration (Matrix und Makroporen) und Oberflächenabfluss am Beispiel eines Ackerstandortes auf Lössboden (Tabelle 1 Anhang).

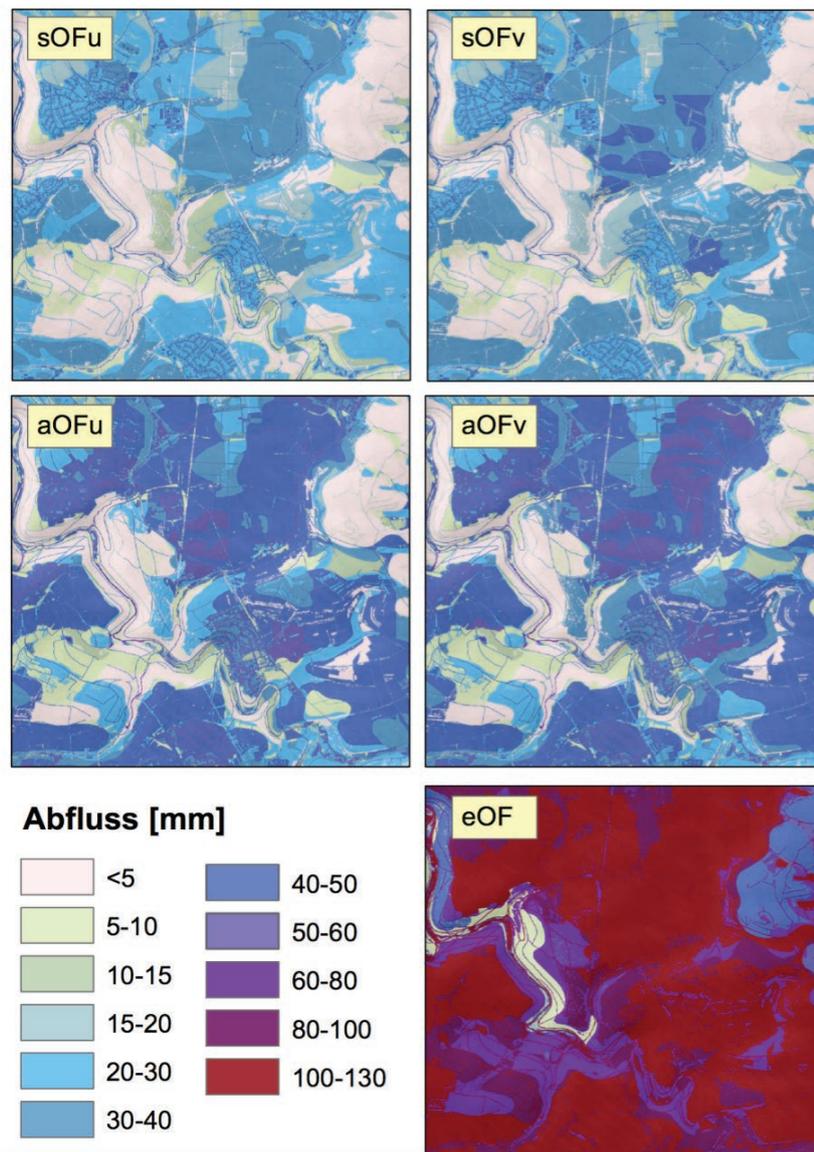


Abbildung 6 Anhang: Summe der Oberflächenabflüsse (mm) für ein Gebiet im Kraichgau für die fünf Szenarien: sOFu (oben links), sOFv (oben rechts), aOFu (mittel links), aOFv (mitte rechts), eOF (unten rechts).

## 2.5 Literatur

ATV (1985): Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer. ATV-Regelwerk Abwasser und Abfall, Arbeitsblatt A 121.

Gudera, T. & Morhard, A. (2015): Hoch aufgelöste Modellierung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung mit GWN-BW. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 59. Jahrgang, Heft 5, 205-216

Steinbrich, A., Weiler M. (2012) Abflussbildung und Abflusskomponenten (Atlafafel 6.5) Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart (2001): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, 4. Lieferung 2012.

Steinbrich, A., Weiler, M., Leistert, H. (2015): Alles RoGeR? Modellierung von Sturzfluten aufgrund von Starkniederschlägen. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Heft 35.15, Aktuelle Herausforderungen im Flussgebiets- und Hochwassermanagement, Beiträge zum Tag der Hydrologie am 19./20. März 2015 an der Universität Bonn, S. 115-125. Mariele Evers Weiler und Bernd Dieckrüger (Herausgeber) DWA-Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften, Bonn 2015

Steinbrich, A., Leistert, H., Weiler, M. (2016): Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution. Environmental Earth Sciences Thematic Issue Water Resources and Research in Germany. (akzeptiert)

## Anhang 4: Glossar „Kommunales Starkregenrisikomanagement“

**Abflussvolumen:** Summe der in einem bestimmten Zeitraum abgeflossenen Wassermenge.

**Abflusswirksamer Niederschlag:** auch Effektivniederschlag – Teil des Niederschlags, der als Direktabfluss wirksam wird.

**Advektiver Niederschlag:** Niederschlagstyp, der an horizontale Luftbewegungen gebunden ist und häufig als Dauerregen auftritt.

**Ausbaugrad:** Bezeichnung für die Leistungsfähigkeit eines Gewässers oder einer Anlage in Bezug auf das abführbare Hochwasserereignis.

**Auslassbauwerk:** Bauliche Einrichtung, um den geregelten Austritt von Wasser aus Kanälen, Abwasserleitungen und Abwasserdruckleitungen zu ermöglichen.

**Baugesetzbuch:** Mit dem Baugesetzbuch (BauGB) werden die rechtlichen Grundlagen des Städtebaues, soweit sie zur Gesetzgebungskompetenz des Bundes gehören, in einem einheitlichen Gesetzeswerk zusammengefasst. Während das BauGB mehr die planungsrechtliche Seite des Bauens betrifft (ob, wo, wie), regeln die Bauordnungen der Länder mehr die technische und gestalterische Seite sowie das bauaufsichtliche Verfahren (Baugenehmigung).

**Bebauungsplan:** Der Bebauungsplan (B-Plan) enthält als verbindlicher Bauleitplan die rechtsverbindlichen Festsetzungen für die städtebauliche Ordnung. Der von der Gemeinde als Satzung zu beschließende Bebauungsplan bildet die Grundlage für weitere zum Vollzug des Baugesetzbuches erforderliche Maßnahmen und hält Regelungen für die Zulässigkeit der einzelnen Bauvorhaben fest.

**Bemessungsabfluss / Bemessungswassermenge:** (Hochwasser-)Abflussmenge (in  $\text{m}^3/\text{s}$  oder  $\text{l/s}$ ) zur Bemessung von Hochwasserschutzanlagen unter Berücksichtigung eines evtl. vorhandenen Freibords.

**Bemessungsereignis:** Hochwasserereignis mit einer bestimmten Jährlichkeit zur Bemessung von Hochwasserschutzanlagen.

**Bemessungsgrenze:** Maximal zulässige Belastung einer Anlage entsprechend ihrer Bemessung (z.B. Hochwasserschutzanlage).

**Direktabfluss:** Schnell wirksamer Teil des Abflusses, Summe aus Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss.

**Effektivniederschlag:** Auch abflusswirksamer Niederschlag, Teil des Gebietsniederschlags, der als Direktabfluss wirksam wird.

**Einstautiefe:** Höhe des Wassers über Gelände (in m) in überfluteten Gebieten.

**Einzugsgebiet:** Teil der Erdoberfläche, der zum Wasserabfluss an einem bestimmten Gewässerquerschnitt beiträgt.

**Einstauvolumen:** Im betrachteten Zeitraum einem Überflutungsgebiet zufließende Wassermenge.

**Erosion/Bodenerosion:** Abtragung lockerer Bodenteile der Erdoberfläche durch Wasser oder Wind. Ob und in welcher Höhe es zu Erosion durch Wasserabspülung kommt, hängt von äußeren Faktoren wie Art und Menge des Niederschlags, der Geländeform, der Vegetationsart, der Vegetationsdichte und der Landnutzung sowie den Bodeneigenschaften ab.

**Flächennutzungsplan:** Der Flächennutzungsplan (F-Plan) ist ein vorbereitender Bauleitplan. Im F-Plan ist für das gesamte Gemeindegebiet die beabsichtigte Art der Bodennutzung nach den voraussehbaren Bedürfnissen der Gemeinde in den Grundzügen darzustellen. Er setzt den Rahmen für die B-Pläne einer Gemeinde.

**Flutmulden:** Kleine Mulden zur Rückhaltung von Hochwasser.

**Freibord:** Senkrechter Abstand zwischen Wasserspiegel beim Bemessungsereignis und Deich- bzw. Dammkrone als Reserve für Windstau, Wellenschlag, Eisgang und evtl. als Sicherheitszuschlag (vgl. DIN 19712, Flussdeiche und DIN 19700, Stauanlagen).

**Gebietsniederschlag:** Niederschlagshöhe, gemittelt über ein bestimmtes Gebiet.

**Gefährdung:** nach Art, Ausdehnung, Eintrittswahrscheinlichkeit und Intensität bestimmte Gefahr.

**Gefährdungsanalyse:** systematisches Verfahren zur Untersuchung der Ursachen einer Gefährdung z.B. durch Starkregenereignisse.

**Gerinne:** Fließgebiet einer Strömung mit freiem Wasserspiegel.

**Gewässerpflege:** Teil der Gewässerunterhaltung mit landschaftsökologischem Schwerpunkt.

**Gewässerunterhaltung:** Erhaltung des wasserwirtschaftlich und landespflegerisch ordnungsgemäßen Zustandes des Gewässers, vor allem für den Wasserabfluss und als Lebensraum.

**Hangabfluss:** Niederschlagswasser, das nicht in der Fläche zurückgehalten wird, sondern aus den Hanglagen (wild) dem Gefälle folgend flächig abfließt.

**Hochwasser:** Gewässerzustand, bei dem der Wasserstand deutlich über dem normalen Pegelstand liegt und zu Überflutungen führen kann.

**Hochwasserrisikomanagement:** Mit dem „Hochwasserrisikomanagement“ hat die Europäische Union einen neuen Begriff verbindlich eingeführt. Ziel ist, durch Hochwasser bedingte Risiken nachhaltig zu minimieren. Dafür sollen auf regionaler Ebene verschiedene Disziplinen wie Wasserwirtschaft, Raumplanung, Bauleitplanung, Ver- und Entsorgung, Denkmalschutz, Katastrophenschutz und Wirtschaft in einem kontinuierlichen, zyklischen Prozess enger zusammenarbeiten und gemeinsam ein Maßnahmenpaket schnüren – den sogenannten Hochwasserrisi-

komanagementplan. Grundlage dieser Maßnahmen sind Hochwassergefahrenkarten, in denen die Flächen markiert werden, die bei Hochwasserereignissen an Gewässern überflutet werden können. Überflutungsrisiken infolge von Starkregen sind in Deutschland nicht in den Hochwassergefahrenkarten vermerkt.

**Hochwasserrückhaltebecken:** Stauanlage, deren Hauptzweck die Zwischenspeicherung und Regulierung der Abflussmenge eines Fließgewässers bei Hochwasser ist.

**Hochwasserschutz:** Schutz von Bevölkerung und Sachwerten vor Überschwemmungen durch Hochwasser. Für den Hochwasserschutz werden technische Maßnahmen wie Deiche, Rückhaltebecken oder Retentionszonen sowie eine organisatorische Infrastruktur eingesetzt.

**Jährlichkeit:** Das statistische Wiederkehrintervall eines Ereignisses (berechnet aus Überschreitungswahrscheinlichkeiten bestimmter Grenzwerte). Ein 100-jährliches Ereignis tritt im statistischen Mittel alle 100 Jahre wieder auf, was, wie bei allen statistischen Werten, nicht ausschließt, dass es sich auch in zwei aufeinanderfolgenden Jahren ereignen kann.

**Kanalisation:** Anlagen zur Sammlung und Ableitung von Abwasser, Regen- und Schmelzwasser durch unterirdische Kanäle.

**Konvektiver Niederschlag:** Niederschlagstyp, der an vertikale (aufsteigende) Luftbewegungen gebunden ist und sich häufig in Form von Schauerregen darstellt.

**KOSTRA-Atlas:** Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierungs – Auswertung des Deutschen Wetterdienstes (DWD). In Abhängigkeit von verschiedenen Niederschlagsdauern (5 min bis 72 h) und verschiedenen Wiederkehrzeiten (bis 100 a) werden maximale Niederschlagshöhen (in mm) und –spenden (in l/s x ha) berechnet und auf ein deutschlandweites Raster mit einer Maschenweite von 8,5 km x 8,5 km übertragen.

**Maßnahmenplanung:** Ermittlung und Auswahl risikovermindernder Maßnahmen aufgrund des erkannten Regulationsbedarfs.

**Niederschlagsdauer:** Zeitspanne zwischen Niederschlagsbeginn und -ende; auch unter Einschluss von Niederschlagsunterbrechungen.

**Niederschlagshöhe:** Auch Niederschlagssumme – Niederschlag an einem bestimmten Ort, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in einer Betrachtungszeitspanne (in mm oder l/m<sup>2</sup>).

**Niederschlagsintensität:** Quotient aus Niederschlagshöhe und Niederschlagsdauer.

**Oberflächenabfluss:** Teil des Abflusses, der dem Vorfluter als Reaktion auf ein auslösendes Ereignis (Niederschlag oder Schneeschmelze) über die Bodenoberfläche unmittelbar zufließt.

**Regenwasserversickerung:** Im Gegensatz zur Ableitung in einen Kanal versickert Regenwasser hier im Boden und trägt zur Grundwasserneubildung bei.

**Retention:** Stoff- oder Wasserrückhalt durch natürliche Gegebenheiten oder künstliche Maßnahmen.

**Retentionsräume:** Flächen, die bei Hochwasser ohne Gefährdung der Bevölkerung oder erhebliche Sachschäden überflutet werden können. Die Rückhaltung großer Wassermengen kann die Scheitelhöhe eines Hochwassers verringern.

**Risiko:** Qualitative oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit des Eintreffens und der Tragweite der Schadenswirkungen. Wird im Allgemeinen als Kombination von Gefahrenpotenzial oder Eintrittswahrscheinlichkeit und Verletzbarkeit (Vulnerabilität) oder Schadenspotenzial verstanden.

**Risikoakzeptanz:** Persönliche oder kollektive Bereitschaft, das subjektiv erkannte Risiko eines Zustands oder einer Handlung zu tolerieren.

**Risikoanalyse:** Systematische Verfahren, um ein Risiko hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens und des Ausmaßes der Folgen zu charakterisieren und wenn möglich zu quantifizieren.

**Risikobewertung:** Verfahren, um die aus der Risikoanalyse gewonnenen Erkenntnisse mit Hilfe persönlicher oder kollektiver Kriterien auf ihre Akzeptabilität hin zu beurteilen.

**Risikokommunikation:** Interaktiver Prozess des Austauschs von Informationen und Meinungen über Risiken zwischen Betroffenen, Behörden und Experten, zur gleichberechtigten Auswahl von Optionen.

**Rückbau:** Im wasserbaulichen Sinne bedeutet Rückbau die Renaturierung oder Revitalisierung von Gewässern.

**Rückstau:** Höhe, unter der innerhalb der Grundstücksentwässerung besondere Maßnahmen gegen Rückstau zu treffen sind. Die maßgebende Rückstauhöhe wird von der örtlichen Behörde (Ortssatzung) festgelegt. Sofern von der zuständigen Behörde die Rückstauhöhe nicht festgelegt worden ist, gilt als Rückstauhöhe die Höhe der Straßenoberkante an der Anschlussstelle.

**Rückstauklappe:** Klappenverschluss, der verhindert, dass Wasser in ein Rohr eindringt. Der Verschluss schließt sich selbsttätig bei einem Rückstau.

**Schaden:** Negativ bewertete Konsequenz eines Ereignisses oder einer Handlung, z.B. der durch ein Starkregenereignis auftretende Wertverlust an Gebäuden, Infrastruktureinrichtungen und Flächen (abhängig von Siedlungsdichte, Nutzung, Einstautiefe und Fließgeschwindigkeit).

**Schadenspotenzial:** Summe der möglicherweise geschädigten Werte im gefährdeten Bereich. Das Schadenspotenzial ist nicht gleichzusetzen mit dem tatsächlichen Schadensumfang infolge eines Ereignisses, es dient vielmehr der Abschätzung des maximalen Ausmaßes, in dem Schutzgüter von Schaden betroffen sein können.

**Schutzgrad:** Ähnlich Ausbaugrad, aber mit Bezug auf zu schützende Güter hinter Hochwasserschutzanlagen.

**Starkregen:** Seltene, meist lokal begrenzte Regenereignisse mit großer Niederschlagsmenge, die wegen ihrer Intensität ein schwer zu kalkulierendes Überschwemmungsrisiko darstellen. Die verursachenden Niederschläge sind meist von sehr geringer räumlicher Ausdehnung und kurzer Dau-

er (konvektive Niederschlagsereignisse). Laut Definition handelt es sich ab einer Menge von 5 mm innerhalb von 5 Minuten bzw. ab 20 mm in einer Stunde um Starkregen. Der Deutsche Wetterdienst warnt in 2 Stufen vor Starkregen: 1) Markante Wetterwarnung (Regenmengen  $\geq 10$  mm / 1 Std. oder  $\geq 20$  mm / 6 Std) und 2) Unwetterwarnung (Regenmengen  $\geq 25$  mm / 1 Std. oder  $\geq 35$  mm / 6 Std).

**Starkregenrisiko:** Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Oberflächenabflusses nach einem Starkregenereignis und der überflutungsbedingten potenziellen nachteiligen Folgen bzw. Schäden (Gefahr für Leib und Leben, Schäden an Objekten und Infrastruktur).

**Sturzflut:** Von einer Sturzflut spricht man, wenn innerhalb von sechs Stunden nach einem starken Regenereignis oder einem Dambruch bzw. Durchbruch einer anderen Barriere plötzlich große Wassermengen über ein Gebiet hereinbrechen (nach NOAA)

**Treibsel, Treibgut:** Schwimmfähiges Material, das besonders bei Hochwasser angetrieben wird.

**Überflutung:** Zustand, bei dem Schmutz- und/oder Regenwasser aus einem Entwässerungssystem entweichen, nicht in dieses eintreten können, auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen.

**Überschwemmung:** Austritt von Wasser und mitgeführten Feststoffen aus hochwasserführenden Gewässern in die Umgebung mit meist langsamer Anstiegsgeschwindigkeit.

**Überschwemmungsgebiete:** Flächen, die nach dem Ausufern von hochwasserführenden Gewässern bei einem Abfluss mit einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren überflutet sein können.

**Überstau:** Zustand, bei dem der Wasserstand die Geländeoberkante erreicht oder Wasser aus dem Kanalnetz auszutreten beginnt bzw. zufließendes Wasser nicht vom Kanalnetz aufgenommen werden kann.

**Unwetter/Extremwetterereignis/Wetteranomalie:** Sammelbegriffe für extreme Wetterereignisse. Diese Wetterereignisse bewirken oft hohe Sachschäden, Katastrophen und Lebensgefahr für viele Menschen. Der Deutsche Wetterdienst definiert folgende Ereignisse als Unwetter, wenn die genannten Schwellen überschritten werden:

Bezeichnung	Kriterien
<b>Gewitter</b>	mit Hagel (Körner größer als 1,5 cm) oder mit Starkregen oder mit Sturm oder Orkan
<b>Sturm</b>	Orkanartige Böen von 11 Bft. (in 10 m Höhe gemessen)
<b>Orkan</b>	mind. 12 Bft. (in 10 m Höhe gemessen)
<b>Starkregen</b>	mehr als 20 l/m <sup>2</sup> in 1 Stunde oder mehr als 35 l/m <sup>2</sup> in 6 Stunden
<b>Dauerregen</b>	mehr als 40 l/m <sup>2</sup> in 12 Stunden oder mehr als 50 l/m <sup>2</sup> in 24 Stunden oder mehr als 60 l/m <sup>2</sup> in 48 Stunden

**Urbane Fließgewässer:** Fließgewässer, die urbane Bereiche durchfließen oder von urbanen Auswirkungen geprägt bzw. beeinflusst werden.

**Verkläusung:** Ansammlung von Treibgut in oder am Gewässer, was zu einer Erhöhung des Wasserspiegels führen kann.

**Versiegelungsgrad:** Anteil der bebauten Flächen innerhalb eines Gebietes, auf denen durch Gebäude, Verkehrsflächen etc. keine natürliche Versickerung von Regenwasser stattfinden kann.

**Vorflut:** Möglichkeit des Wassers und Abwassers, mit natürlichem Gefälle oder durch künstliche Hebung abzufließen (natürliche und künstliche Vorflut).

**Vorfluter:** der Vorflut dienendes Gewässer.

**Vulnerabilität:** Im Bereich der Naturrisiken beschreibt die Vulnerabilität die Verletzbarkeit und die möglichen Schäden im Ereignisfall. Damit bezieht sich die Vulnerabilität vorrangig auf den Menschen und seine Errungenschaften (Mensch-Natur-Verhältnis) und nicht auf die Störung von Naturzusammenhängen.

**Zwischenabfluss:** Teil des Abflusses, der dem Vorfluter als Reaktion auf ein auslösendes Ereignis (Niederschlag oder Schneeschmelze) aus den oberflächennahen Bodenschichten zugeflossen ist.

## **Anhang 5: Weitere Quellen zur Bewusstseinsbildung und Einschätzung der Gefahrenlage**

- Broschüre „Starkregen - Was können Kommunen tun“ , herausgegeben vom Informations- und Beratungszentrum Hochwasservorsorge Rheinland-Pfalz und der WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH (WBWF)
- Hochwasserpapp des Hochwasser-Kompetenz-Centrums (HKC)
- Broschüre „Mobile Hochwasserschutzsysteme“ des HKC und der VdS Schadenverhütung
- Hochwasserschutzfibel des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- DWA - Themenheft T1/2013 „Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge“ (kostenpflichtig, ca. 55 €), DWA/BWK
- DWA - Merkblatt M 119 „Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge - Analyse von Überflutungsgefährdungen und Schadenspotenzialen zur Bewertung von Überflutungsrisiken“ (Entwurf vom Juli 2015, kostenpflichtig, ca. 48 €)



