

Projektbericht

Hochwasserentstehungsgebiete

Lara Kirn und Markus Weiler

Professur für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Freiburg, März 2019

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen	IV
Zusammenfassung	VI
1 Anlass und Ziel der Untersuchung	1
2 Literaturrecherche HWEG	3
3 Vorgehen Modellierung und Auswertung	9
3.1 Modell RoGeR	9
3.2 Vorgehen Modellierung	10
3.3 Vorgehen Auswertung	12
4 Ergebnisse	15
4.1 Ergebnisse der fünf Einzugsgebiete	15
4.1.1 Acher	16
4.1.2 Brehmbach	17
4.1.3 Brugga	18
4.1.4 Eyach	19
4.1.5 Starzel	20
4.2 Abflussvolumen	21
4.3 „Rain on snow“ Ereignisse	22
4.4 Einflussfaktoren	24
4.4.1 Vorfeuchte	24
4.4.2 Niederschlagsverteilung	25
4.4.3 Skalenabhängigkeit	26
5 Fazit	28
6 Zusammenstellung bestehender Maßnahmen	30
7 Literaturverzeichnis	34
A Anhang	39
A1 Ergebnisse der sechs Ereignisse aller Einzugsgebiete	39
A2 Ergebnisse der beobachteten Ereignisse aller Einzugsgebiete	46
A3 Zusammenschau Regelungen Wasserrückhalt in der Fläche	50

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 3.1	Lage der fünf EZGs in Baden-Württemberg, für die die Untersuchungen durchgeführt wurden.	10
Abbildung 3.2	Links: Bodenübersichtskarte BÜK200 (BGR) der Bodenarten in Deutschland, schwarz markiert die fünf untersuchten EZGs Rechts: rot markiert sind alle Bodenarten, die in den fünf EZGs hauptsächlich vorkommen.	11
Abbildung 3.3	Vorgehen bei der Auswertung. Bsp.: OFA, Zeitraum Abflussspitze: 21 – 25. fz = Fließzeit. Die orangenen Flächen in Schritt 2 zeigen die Flächen an, die im jeweiligen Zeitschritt zur Abflussspitze beitragen.	13
Abbildung 3.4	Relativer Beitrag zur Abflussspitze des OFA (links),ZA (Mitte) und Gesamtabflusses (rechts).	14
Abbildung 3.5	Ergebnisse der Auswertung der sechs Ereignisse und der Mittelwert daraus für das EZG der Acher.	14
Abbildung 4.1	EZG Acher. Oben: Landnutzung. Unten: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze.	16
Abbildung 4.2	EZG Brehmbach. Links: Landnutzung. Rechts: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze.	17
Abbildung 4.3	EZG Brugga. Oben: Landnutzung. Unten: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze.	18
Abbildung 4.4	EZG Eyach. Oben: Landnutzung. Unten: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze.	19
Abbildung 4.5	EZG Starzel. Oben: Landnutzung. Unten: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze.	20
Abbildung 4.6	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zum Abflussereignis. Mittelwert aus allen sechs simulierten Ereignissen für das EZG der Brugga.	21
Abbildung 4.7	Oben: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zum Abflussereignis für ROS I im Dezember 2012. Unten: Räumliche Verteilung des Modellinputs (potentiell für den Abfluss zur Verfügung stehendes Wasser [mm]).	22
Abbildung 4.8	Oben: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zum Abflussereignis für ROS II im Dezember 2012. Unten: Räumliche Verteilung des Modellinputs (potentiell für den Abfluss zur Verfügung stehendes Wasser [mm]).	23
Abbildung 4.9	Relativer Beitrag des Zwischenabflusses (ZA) zur Abflussspitze für das 24h Ereignis unter feuchten (oben) und trockenen (unten) Vorbedingungen.	24
Abbildung 4.10	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 29.7.05 im EZG der Acher. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	25
Abbildung 4.11	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze für das EZG der Acher (links) und ein Teil-EZG der Acher (rechts).	26

Abbildung 4.12	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für das EZG der Brugga (links) und das EZG der Dreisam am Pegel Ebnet (rechts). Für die Modellierungen des EZG am Pegel Ebnet wurde der gleiche Input-Niederschlag wie für die Brugga verwendet.	27
Abbildung A1.1	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Acher.	40
Abbildung A1.2	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Brehmbach.	41
Abbildung A1.3	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Brugga.	42
Abbildung A1.4	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Eyach.	43
Abbildung A1.5	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Starzel.	44
Abbildung A1.6	Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Dreisam.	45
Abbildung A2.1	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 8.8.2007 im EZG des Brehmbachs. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	46
Abbildung A2.2	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 6.6.2011 im EZG des Brehmbachs. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	46
Abbildung A2.3	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 7.9.2006 im EZG der Brugga. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	47
Abbildung A2.4	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 18.9.2006 im EZG der Brugga. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	47
Abbildung A2.5	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 29.7.2005 im EZG der Eyach. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	48
Abbildung A2.6	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 2.10.2006 im EZG der Eyach. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	48
Abbildung A2.7	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 31.5.2008 im EZG der Starzel. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	49
Abbildung A2.8	Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 2.6.2008 im EZG der Starzel. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.	49

Zusammenfassung

Laut § 78d Absatz 2 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) können die Länder Kriterien für das Vorliegen eines Hochwasserentstehungsgebietes (HWEG) festlegen und die HWEGs durch eine Rechtsverordnung festsetzen. „Hochwasserentstehungsgebiete sind Gebiete, in denen bei Starkniederschlägen oder bei Schneeschmelze in kurzer Zeit starke oberirdische Abflüsse entstehen können, die zu einer Hochwassergefahr an oberirdischen Gewässern und damit zu einer erheblichen Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung führen können.“ [§ 78d Absatz 1 WHG].

Zur fachlichen Umsetzung dieser gesetzlichen Definition wurden auf Basis hydrologischer Modelltechnik Abflussbildungsprozesse simuliert. So wurde geprüft, ob es fachlich möglich ist, die Flächen von Einzugsgebieten zu identifizieren, auf denen die schnellen Abflusskomponenten (Oberflächenabfluss und schneller Zwischenabfluss) gebildet werden, die zur Abflussspitze des Hochwasserereignisses beitragen. Zu beachten ist auch, dass HWEGs auf Abflüsse aus Starkregenniederschlägen und Schneeschmelze beschränkt sind, deren Abflüsse eine erhebliche Gefahr für die öffentliche Sicherheit zur Folge haben müssen. Mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell RoGeR wurden für die Untersuchung sowohl beobachtete Niederschlagsereignisse als auch Niederschlagsereignisse einer Jährlichkeit von 50 Jahren sowie verschiedener Dauerstufen (1h, 6h, 24h) und Vorfeuchten in unterschiedlichen meso-skalierten Einzugsgebieten simuliert. Dazu wurden Gebiete in Baden-Württemberg ausgewählt, deren bodenhydrologischen und physiographischen Eigenschaften repräsentativ für viele Einzugsgebiete in Deutschland sind. Die vorliegende Studie zeigt neben der fachlichen Vorgehensweise zur Identifikation entsprechender Gebiete auch auf, ob es fachlich sinnvoll bzw. zielführend ist, diese Gebiete im Sinne der gesetzlichen Definition einzuordnen und ob eine Festsetzung im Sinne des § 78d WHG handhabbar ist bzw. dadurch eine eindeutige Verbesserung des Hochwasserschutzes erzielt werden kann.

In den Ergebnissen zeigt sich, dass die zur Abflussspitze beitragenden Flächen kleinräumig im Einzugsgebiet verteilt sind und je nach betrachtetem Ereignis stark in ihrer räumlichen Lage und Größe variieren. Durch die Untersuchungen wird deutlich, dass die Ausdehnung der HWEGs von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Je nach Vorfeuchte, Niederschlagsintensität und -dauer, der räumlichen Verteilung des Niederschlags und dem definierten Anteil am Hochwasserscheitel ergibt sich eine andere räumliche Verteilung der HWEGs. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Skalenabhängigkeit. Je nachdem für welchen Bezugspunkt (=Siedlungsfläche) im Einzugsgebiet die Flächen bestimmt werden, kommt es zu einer unterschiedlichen Ausdehnung und räumlichen Lage der HWEGs im Gebiet. Die Studie zeigt somit, dass es DAS HWEG in einem Gewässereinzugsgebiet nicht gibt. Generelle HWEGs sind nicht eindeutig ermittelbar, bzw. nur für einzelne spezifische Ereignisse. Letztendlich können sie theoretisch überall im Einzugsgebiet vorkommen.

Folglich ist grundsätzlich eine generelle Erhöhung des Wasserrückhalts in der Fläche die sinnvollere Maßnahme, um die Gefahr durch Hochwasser zu verringern. Eine Zusammenstellung in diesem Bericht zeigt, dass es dazu auf Bundes- als auch auf Landesebene bereits unterschiedliche bestehende gesetzliche Vorschriften gibt. Daraus folgt, dass eine Ausweisung von HWEGs fachlich nicht zielführend ist, HWEGs aufgrund ihres dynamischen Charakters nicht eindeutig abgrenzbar und damit nicht rechtssicher ausweisbar sind, sowie angesichts der vorhandenen Regelungen zum Wasserrückhalt eine Ausweisung auch nicht notwendig ist.

I Anlass und Ziel der Untersuchung

Laut § 78d Absatz 2 des WHG, welcher im Januar 2018 in Kraft getreten ist, kann eine Landesregierung Kriterien für das Vorliegen eines Hochwasserentstehungsgebietes (HWEG) festlegen und HWEGs durch Rechtsverordnung festsetzen. „Hochwasserentstehungsgebiete sind Gebiete, in denen bei Starkniederschlägen oder bei Schneeschmelze in kurzer Zeit starke oberirdische Abflüsse entstehen können, die zu einer Hochwassergefahr an oberirdischen Gewässern und damit zu einer erheblichen Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung führen können.“ [§ 78d Absatz 1 WHG]. Die Arbeitsgruppe Hochwasserschutz und Hydrologie der Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Rhein hat in ihrer Sitzung am 09. November 2017 beschlossen, die Erfordernisse der Ausweisung von HWEGs im deutschen Einzugsgebiet des Rheins gemeinsam zu untersuchen. Ein Expertenworkshop der Landesämter im Rheineinzugsgebiet (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU BY), Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RP)) am 26. Februar 2018 hat gezeigt, dass die notwendigen Grundlagen fehlen, um die Frage zu beantworten, ob es fachlich sinnvoll und notwendig ist, lokal begrenzte HWEGs auszuweisen.

Daher wurde in der 13. Rheinratsitzung am 4. Mai 2018 beschlossen, dass die LUBW, stellvertretend für die FFG Rhein, ein Forschungsprojekt zur Notwendigkeit der Ausweisung von HWEGs im deutschen Teil des Rheineinzugsgebiets bei der Professur für Hydrologie der Universität Freiburg beauftragt. In dem Projekt sollten die fehlenden Grundlagen erarbeitet werden, in dem zum einen in einer Literaturrecherche die vorhandenen wissenschaftlichen Studien zu diesem Thema gesammelt und evaluiert werden. Zum anderen sollte mit Hilfe von Modellrechnungen mit dem prozess-basierten Niederschlags-Abfluss-Modell RoGeR in ausgewählten Einzugsgebieten erörtert werden, ob sich die dominierenden Abflussprozesse über die Zeit und in Abhängigkeit der Ereignisbedingungen (Niederschlagsmenge, Niederschlagsdauer und Vorfeuchte) sowie Gebietseigenschaften ändern und somit die Lage der Gebiete variabel ist, in denen die maßgeblichen Beiträge zu Hochwasserspitzen gebildet werden.

Zudem sollte ausgearbeitet werden inwieweit die bestehenden gesetzlichen Vorschriften zum Wasserrückhalt in der Fläche ausreichend sind und ob die Ausweisung von HWEGs notwendig ist.

2 Literaturrecherche HWEG

Welche Flächen in einem Einzugsgebiet (EZG) Abfluss bilden, hängt von den verschiedenen Mechanismen der Abflussbildung ab (Golmohammadi et al., 2017). Beim Oberflächenabfluss (OFA) kann zwischen Horton'schem Oberflächenabfluss (HOF) und Sättigungsflächenabfluss (SOF) unterschieden werden. HOF entsteht, wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationsrate des Bodens übersteigt (Horton, 1933). HOF tritt meist während Niederschlagsereignissen mit hoher Intensität auf und auf Böden mit geringerer Infiltrationskapazität. Dies kann der natürlichen oder veränderten Bodenstruktur geschuldet sein, Verdichtungsprozessen und/oder der Verschlammung, vor allem in Bereichen mit wenig Vegetation, die den Boden vor dem Aufprall der Regentropfen schützt (Agnew et al., 2006). Außerdem tritt HOF besonders auf versiegelten Flächen auf. SOF entsteht, wenn der Niederschlag aufgrund von oberflächlicher Sättigung des Bodens nicht mehr infiltrieren kann und folglich oberflächlich abfließt. Sättigung tritt besonders auf eher ebenen Böden mit hoher Infiltrationskapazität oder durch hohe Grundwasserspiegel auf (Dunne und Black, 1970).

Betson (1964) erstellte auf der Grundlage von Hortons Beobachtungen das "Partial Area Concept". Er ging davon aus, dass sich HOF nicht einheitlich über die gesamte Fläche, sondern nur in bestimmten Teilen des Einzugsgebiets (verdichtete Böden, anstehendes Gestein, Versiegelung, etc.) bildet und so zum Ereignisabfluss beiträgt. Hewlett & Hibbert (1967) entwickelten aus der Vorstellung des SOF das "Variable Source Area Concept". Dieses besagt, dass sich die Bereiche im EZG, die Ereignisabfluss liefern (Sättigungsflächen), während und zwischen Ereignissen ausdehnen und schrumpfen, sich also in ihrer Ausdehnung dynamisch verändern können und auch die Ausdehnung je nach Ereignistyp und Jahreszeit unterschiedlich ist.

Das Niederschlagswasser, welches nicht oberflächlich abfließt, sondern in den Boden infiltriert, kann je nach Eigenschaften des Bodens und der Geologie, längere Zeit im Boden verbleiben, ins Grundwasser perkolieren (Tiefenperkolation, TP) oder als schneller unterirdischer Abfluss (Zwischenabfluss, ZA) zum Ereignisabfluss beitragen.

Die Ausdehnung der Flächen, die mit ihrem Abfluss zum Ereignis beitragen, hängt von der Niederschlagsdauer und -intensität, der Vorfeuchte, von topographischen Eigenschaften sowie der räumlichen Variation von Oberbodeneigenschaften ab (Betson, 1964; Quinn und Beven, 1993; Schneidermann et al., 2007; Lee und Huang, 2013).

Die Art des Niederschlags (Regen, Schnee, etc.) entscheidet sich über die Lufttemperatur (bzw. ihren Höhengradienten) und damit in den gemäßigten Breiten im Wesentlichen durch die Gebietshöhe und Jahreszeit. In Mitteleuropa kommt es je nach Höhenlage zu sehr unterschiedlichen Jahressummen des Niederschlags. Die Niederschlagsdauer und -intensität nimmt im Mittel mit der Höhe zu. Die Ausprägung dieser Prozesse variiert jedoch je nach Ereignis stark. Tendenziell ist die orographische Wirkung insbesondere bei großskaligen Niederschlägen mittlerer und geringer Intensität am größten (Roe, 2005).

Die Vorfeuchte ist ein zentraler Faktor, der die Größe des Hochwasserereignisses steuert. Ist die Vorfeuchte gering, kann der Boden je nach spezifischen Eigenschaften viel Niederschlagswasser aufnehmen. Ist die Vorfeuchte hoch, so gelangt ein großer Anteil des Niederschlags relativ schnell ins Gerinne. Wie groß der Einfluss der Vorfeuchte ausfällt, hängt von anderen Parametern wie z.B. der nutzbaren Feldkapazität, der Porenkonnektivität und der Niederschlagsintensität ab. Eng mit der Vorfeuchte verbunden ist die Höhe des Basisabflusses. Beide Faktoren spielen eine umso größere Rolle, je länger das betrachtete Ereignis andauert, je größer der Bezugsraum ist und je geringer die Niederschlagsintensität ausfällt (Longobardi et al., 2003). Der Basisabfluss kann einen großen Teil der Abflussganglinie ausmachen (Sklash und Farvolden, 1979).

Bezüglich dem Einfluss der Landnutzung weisen viele Studien darauf hin, dass der Anteil der schnellen Abflusskomponente in der Regel im Wald am geringsten, auf Ackerflächen am höchsten ist und auf Grünland einen mittleren Anteil einnimmt (Wahren et al., 2012; Puhlmann et al., 2013). Die verschiedenen Bearbeitungsformen der Ackerflächen haben ebenfalls einen Einfluss auf das Abflussverhalten. Ein Bewässerungs- bzw. Grabensystem führt zu schnelleren Abflüssen. Die Bodenbearbeitung durch Pflügen hat mehrere gegenläufige Effekte, die sich je nach Bodeneigenschaften hochwasserverstärkend oder -mildernd auswirken können. So führt die zusätzliche Auflockerung unter Umständen zu einer höheren Speicherfähigkeit, andererseits werden lange vertikale Makroporen zerstört und die Ausbildung einer Pflugsohle kann sich negativ auf die Tiefenperkolation auswirken (Moussa et al., 2002). Großflächige Überschwemmungen durch Erosion und Verschlammung können außerdem zu einer zusätzlichen Abnahme der Infiltrationskapazität während eines Ereignisses führen (Holman et al., 2003). Es hat sich gezeigt, dass die Landnutzung besonders auf kleinem Raum, bei geringer Vorfeuchte und hoher Niederschlagsintensität einen Einfluss auf das Abflussverhalten hat (Niehoff et al., 2002; Brown et al., 2005) und dieser Effekt sehr standortspezifisch ist (Nordmann et al., 2009; Robinson et al., 2003). Die Struktur und der Skelettanteil eines Bodens variieren bereits auf kleinem Raum sehr stark. Bei der Bodentextur gibt es zwar teilweise auch großräumige Muster, auch der Effekt auf die Hochwasserentstehung ist relativ eindeutig, allerdings überlagert sich dieser Effekt deutlich mit dem der Vorfeuchte. Je größer der Sandanteil, desto mehr grobe Poren gibt es und desto

geringer ist die Bodenfeuchte, da diese Poren relativ schnell drainieren. Wo hingegen der Anteil der Tonfraktion und damit verbunden der Volumenanteil von Feinporen groß ist, ist auch die Bodenfeuchte entsprechend höher (Amelung et al., 2018).

Die Gebietstopographie ist mit Hinblick auf die Hochwasserentstehung und die Form der Abflussganglinie von großer Bedeutung. Handelt es sich um ein flaches Gebiet mit geringem Gefälle, so werden die Abflussbildung und die Hochwasserwelle verzögert bzw. abgemildert. Handelt es sich um sehr steile Geländeformen, so gelangt das abfließende Wasser schnell ins Gerinne und zum Gebietsauslass. Die Hochwasserwelle ist steiler und der Scheitel höher (Chiffard, 2006).

Je nach betrachteter Skala sind es unterschiedliche Faktoren, die die Abflussbildung kontrollieren (Merz und Plate, 1997; Cerdan et al., 2004). Auf der Plot- und der Hangskala können Unterschiede bei den lokalen Faktoren wie Bodeneigenschaften, Landnutzung, Makroporen und mikrotopographische Strukturen bei gleichen Niederschlagsereignissen zu extrem unterschiedlichen Abflüssen führen. Mit Zunahme der Einzugsgebietsgröße gleichen sich die resultierenden Abflüsse aber immer mehr an (Naef et al., 2007). Auch hinsichtlich des Niederschlagsinputs, der ein Hochwasser auslöst, ist die räumliche und zeitliche Skala relevant. In kleinen EZGs sind es meist kleinräumige konvektive Niederschlagsereignisse mit hohen Intensitäten, die für die Entstehung von einem Hochwasser relevant sind (Kleeberg, 1996). Die Spitzenabflüsse in großen EZGs werden hingegen durch großräumige langandauernde Niederschläge erzeugt (DWA, 2018).

Aufgrund der räumlichen und zeitlichen Variationen der genannten Faktoren unterliegen die abflussbildenden Flächen einer kontinuierlichen Veränderung während eines Niederschlagsereignisses, sowie saisonalen Schwankungen (Dunne und Black, 1970; Hewlett & Hibbert, 1967, Latron und Gallart, 2007; Lee und Huang, 2013; Sen et al., 2010).

Das beschriebene dynamische Verhalten der abflussbildenden Flächen, gestaltet die Bestimmung von HWEGs schwierig. Es gibt in der Literatur eine Vielzahl verschiedener Ansätze um die zeitliche und räumliche Variabilität der Flächen abzubilden. Nachfolgend werden einige Beispiele erläutert.

Beven und Kirkby (1979) arbeiteten in ihrem Modell (TOPMODEL) mit einem topographischen Index $\ln(a/\tan \beta)$ um die dynamische Veränderung der Flächen auf denen SOF entsteht abzubilden. Mit dem Index kann für einen beliebigen Punkt i im EZG die Tendenz zur Wasserakkumulation (durch a) und zur Wasserweiterleitung (durch β) angegeben werden. Dabei repräsentiert der Faktor a den Flächenanteil des EZG, der durch den Punkt i entwässert wird. Faktor $\tan \beta$ beschreibt die Hangneigung, die am Punkt i besteht (Hochschild, 2008). Der Index liefert einen relativ einfachen Parameter um die Verbindung zwischen Topographie und Abflussprozessen widerzuspiegeln. Der Ansatz wurde in verschiedenen Studien angewendet um die räumliche Verteilung der abflusswirksamen Flächen darzustellen (z.B. Campling et al., 2002; Chang und Lee, 2008). Grabs et al. (2009) zeigten, dass dieser Index nicht für flache Gebiete geeignet ist, aufgrund

der eher undefinierten Fließrichtungen, die sich über die Zeit verändern können. Außerdem berücksichtigt der Ansatz nicht abflusswirksame Flächen, die durch HOF initiiert werden.

Die sogenannte ‚Soil Conservation Service curve number‘ (USDA-SCS, 1972) wurde entwickelt um den Direktabfluss für Niederschlagsereignisse zu berechnen und funktioniert unabhängig von den zugrundeliegenden Abflussmechanismen, z.B. HOF oder SOF. Schneidermann et al. (2007) integrierten den topographischen Index aus TOPMODEL in die SCS-CN Methode um die zeitliche und räumliche Variabilität der beitragenden Flächen zu simulieren. Frankenberger et al. (1999) wendeten ein distribuiertes Wasserbilanzmodell an, um Tageswerte für SOF an beliebigen Punkten im EZG zu berechnen und so das räumliche Muster der teilweise beitragenden Flächen zu simulieren. Lee und Chang (2005) entwickelten ein semi-distribuiertes Modell zur Echtzeit-Abflussvorhersage indem sie das Konzept der partiell beitragenden Flächen zusammen mit einem Mechanismus für den Zwischenabfluss in ein geomorphologisches Unit Hydrograph Modell integrierten. Sie nutzten ebenfalls einen topographischen Index um das räumliche Muster der zum Abfluss beitragenden Flächen zu simulieren. Lee und Huang (2013) überarbeiteten das Modell um die zeitliche Variabilität der Flächen zu integrieren. Dazu wurde ein stündlicher aktueller Niederschlagsindex (Smakhtin und Masse, 2000) verwendet, der die kontinuierliche Änderung des Wassergehalts im Boden widerspiegelt. Da die beitragenden Flächen von der Zu- und Abnahme der Bodenfeuchte abhängen, ist der Niederschlagsindex ein gutes Mittel um die zeitliche Variation der abflusswirksamen Flächen widerzuspiegeln. Durch eine exponentielle Funktion wird die Beziehung zwischen Niederschlagsindex und Anteil beitragender Flächen beschrieben. Golmohammadi et al. (2017) nutzten die Methode von Lee und Huang (2013) um zu untersuchen inwiefern das SWAT Modell genutzt werden kann um die zeitlich variierenden abflusswirksamen Flächen abzuschätzen.

Chapi et al. (2015) untersuchten für ein landwirtschaftlich genutztes EZG in Ontario, USA, die dominierenden Abflussprozesse zu verschiedenen Jahreszeiten und die Faktoren, die die räumliche und zeitliche Variabilität der abflussbildenden Flächen in diesem EZG beeinflussen. Nippgen et al. (2015) untersuchten ebenfalls die räumliche und zeitliche Veränderung der zum Abfluss beitragenden Flächen. Sie verwendeten ein distribuiertes Modell, das die laterale Wasserverteilung aufgrund der Topographie miteinbezieht und gemessene Evapotranspirationswerte eines Eddy-Kovarianz-Turms mit Hilfe einer Funktion der Vegetationsstruktur auf das Gebiet verteilt. Durch ihre Modellierungen konnten sie die dynamischen Veränderungen der an das Gewässer angeschlossenen Flächen simulieren. Agnew et al. (2006) wollten eine möglichst einfache Methode entwickeln mit der man die Flächen im EZG bestimmen kann, die potentiell OFA generieren, um diese Methode als Instrument im Wassermanagement einsetzen zu können. Um Verunreinigungen in Gewässern aus diffusen Quellen zu reduzieren ist es wichtig zu wissen woher im EZG das Wasser stammt. Sie testeten einen topographischen Index und die Distanz zum Gewässer als Parameter, um Flächen mit einer großen Tendenz Abfluss zu generieren, vorherzusagen. Die Wahrscheinlichkeit zur Sättigung und damit Abflussgenerierung wurde mit dem Wasserbilanzmodell, das auch Frankenberger et al. (1999) anwendete, bestimmt. Die Studie zeigte einen klaren Zusammenhang zwischen dem topographischen Index und der

Sättigungswahrscheinlichkeit. Rinat et al. (2018) untersuchten in ihrer Studie unter anderem den Zusammenhang zwischen den zum Abfluss beitragenden Flächen und der Höhe der Abflussspitze. Anhand eines Schwellenwerts für den OFA wurden aktive Zellen identifiziert. Aktive Zellen, die eine kontinuierliche räumliche Verbindung zum Gewässer haben, wurden schließlich als beitragende Zellen definiert.

Scherrer und Naef (2003) entwickelten ein Schema um die dominierenden Abflussprozesse in einem Gebiet zu bestimmen, d.h. die Prozesse, die den Abfluss während eines Niederschlagsereignisses dominieren. Der Ansatz beruht auf den Erfahrungen aus Beregnungsexperimenten mit hohen Intensitäten auf 18 Grünlandstandorten in der Schweiz (Naef et al., 1998). Die Struktur des Schemas bezieht sich auf eine Bodensäule mit Vegetationsbedeckung, Oberboden, Unterboden und Grundgestein. Es benötigt Inputdaten über die hydrologischen Eigenschaften der Oberfläche und jedes Bodenhorizonts. Das Schema folgt dem Fluss des Wassers durch das Bodenprofil. In jedem Bodenhorizont kann das Wasser je nach Horizonteigenschaften anders fließen. Am Ende jedes möglichen Pfades steht der dominierende Abflussprozess für diesen Abschnitt. Schmocker-Fackel et al. (2006) verwendeten das Schema von Scherrer und Naef (2003) um die dominierenden Abflussprozesse für ihre Untersuchungsgebiete zu bestimmen und entwickelten gleichzeitig eine vereinfachte Methode um die dominierenden Abflussprozesse nur anhand von Karten des Bodens, der Landnutzung, der Topographie und der Geologie zu bestimmen. Diese Methode wurde in ein Regelwerk überführt um die Methode in einem GIS anwenden zu können und automatisch Karten zu erstellen, die die dominierenden Abflussprozesse darstellen. Die Karten zeigen das Potenzial einer Fläche zum Abfluss beizutragen. Ob diese tatsächlich beiträgt hängt von der Konnektivität der Fläche zum Gewässer ab. Mit dem Verfahren werden also „aktive Flächen“ (Ambroise, 2004) bestimmt, die nicht zwingend auch zum Abfluss beitragende Flächen sind.

In Sachsen wurden bereits HWEGs nach einem zweistufigen Verfahren ausgewiesen. Der erste Schritt ist die Analyse des Abflussverhaltens basierend auf räumlich verfügbaren Daten zu Boden/Geologie, Hangneigung, Landnutzung und Gewässernetz in Form georeferenzierter Rasterdaten. Diese Daten werden miteinander überlagert und anschließend mit dem Expertensystem WBS FLAB (Wissensbasiertes System Flächen gleicher Abflussbildung, Seidler und Merta, 2005) flächendeckend und standortbezogen die dominierenden Abflusskomponenten bestimmt. Zur Bewertung der Daten verfügt WBS FLAB über ein Regelwerk und eine Faktendatenbank. In der Datenbank sind detaillierte Informationen und Parameterlisten zu den Karteninhalten gespeichert, z.B. bodenphysikalische Parameter, Bodenhorizonte und Durchwurzelungstiefe. Das Regelwerk nutzt physikalische Zusammenhänge und Expertenwissen um die Informationen aus der Datenbank zu bewerten. Als Zwischenergebnis aus Schritt 1 entstehen so potenzielle HWEGs auf denen die schnellen Abflusskomponenten Oberflächenabfluss, Sättigungsflächenabfluss und schneller Zwischenabfluss dominieren. Diese Flächen werden in einem zweiten Schritt mit Niederschlagsverbreitungsdaten kombiniert. Dabei werden Gebiete berücksichtigt, in denen hochwasserauslösende Starkniederschläge (> 50 mm pro Tag) mit einer Häufigkeit von $\geq 0,35$ (entspricht 3,5 Mal in 10 Jahren) auftreten. Solche

Niederschläge korrelieren eng mit der Geländehöhe, wodurch in Sachsen nur Mittelgebirgs- und Hügellandschaften als HWEGs definiert wurden (Grafe et al., 2007).

Die Forschungsergebnisse machen deutlich, dass die Abflussprozesse zeitlich und räumlich sehr variabel sein können und komplexe Interaktionen zu beobachten sind. Die hohe zeitliche und räumliche Variabilität der Abflussbildungsprozesse machen es schwierig, die Flächen zu bestimmen, die Abfluss bilden, der zum Hochwasser und besonders zur Hochwasserspitze beiträgt. Es wurden verschiedene Herangehensweisen gezeigt, um die Variabilität der Prozesse in Modellen widerzuspiegeln oder Karten dominierender Abflussprozesse zu erstellen. Im nachfolgenden Kapitel soll die für die vorliegende Untersuchung entwickelte Methode vorgestellt werden. Mit dieser werden zunächst die zum Abfluss und anschließend die zur Abflussspitze beitragenden Flächen identifiziert.

3 Vorgehen Modellierung und Auswertung

Um die Frage zu klären welche Flächen in einem Gebiet zum Hochwasserereignis beitragen, wurden die Abflussprozesse und die daraus resultierenden Abflüsse verschiedener Niederschlagsereignisse modelliert und die Ergebnisse anschließend ausgewertet. Dabei wurde der Fokus auf den Oberflächen- und Zwischenabfluss gelegt, da diese in der Regel die relevanten Komponenten einer Hochwasserganglinie sind. Weiterhin wurde bei den Auswertungen nur die Abflussspitze betrachtet, d.h. auf welchen Flächen im EZG wird der Abfluss generiert, der schließlich zur Abflussspitze beiträgt. Diese ist besonders relevant für die Auswirkungen von Hochwasser. Im Folgenden wird ein Überblick über das verwendete hydrologische Modell RoGeR gegeben, sowie die durchgeführten Simulationen und das Vorgehen bei der Auswertung näher erläutert.

3.1 Modell RoGeR

Das Modell RoGeR (Runoff Generation Research) wurde an der Professur für Hydrologie der Universität Freiburg entwickelt und ist ein generell nicht kalibriertes Niederschlags-Abfluss-Modell. Basierend auf räumlich verfügbaren Daten (Bodenkarten, Hydrogeologie, LIDAR, CORINE-Landnutzung etc.) wird es zur flächendetaillierten Vorhersage der Abflussbildungsprozesse und Abflusskonzentration genutzt. Darauf aufbauend wird die Abflussganglinie im Gerinne und die Hochwassergefährdung auf der Landoberfläche prognostiziert. Das Modell bildet neben der Infiltration und Wasserbewegung in der Bodenmatrix auch die für die Abflussbildung bei Starkregen wichtigen Prozesse wie die Infiltration durch Makroporen und Trockenrisse ab. Es simuliert verschiedene Abflussprozesse: HOF, SOF, ZA und TP. Fließprozesse im Boden werden als langsamer Matrixfluss sowie als schneller Fluss entlang von präferentiellen Fließwegen simuliert. Die für die Modellierungen benötigten räumlich aufgelösten Daten standen in einer Rasterauflösung von 5x5m zur Verfügung.

Das Modell wurde bereits anhand von 36 beobachteten Hochwasserereignissen in 13 meso-skaligen Gebieten in Baden-Württemberg und anhand einer Vielzahl von Großberegnungsversuchen verifiziert. Dabei wurden sieben Beregnungsversuchen (60 m²)

auf fünf verschiedenen Standorten in der Schweiz durchgeführt und modelliert, sowie 138 Berechnungsversuche (100 m²) auf 23 Standorten (13 Wiese, 10 Acker) in Baden-Württemberg.

Weitere Informationen zum Modell RoGeR können den Publikationen Steinbrich et al. (2016a, 2016b) entnommen werden. Im Bericht von Ries et al. (2018) sind die Starkregenversuche in Baden-Württemberg beschrieben, sowie die durchgeführten Modellierungen der Versuche mit dem Modell RoGeR.

3.2 Vorgehen Modellierung

Das Modell wurde in fünf EZGs in Baden-Württemberg angewendet (siehe Abbildung 3.1). Es wurden verschiedene Niederschlagsereignisse simuliert und die Modellierungsergebnisse für den Abfluss anschließend ausgewertet um die beitragenden Flächen im EZG zu identifizieren.

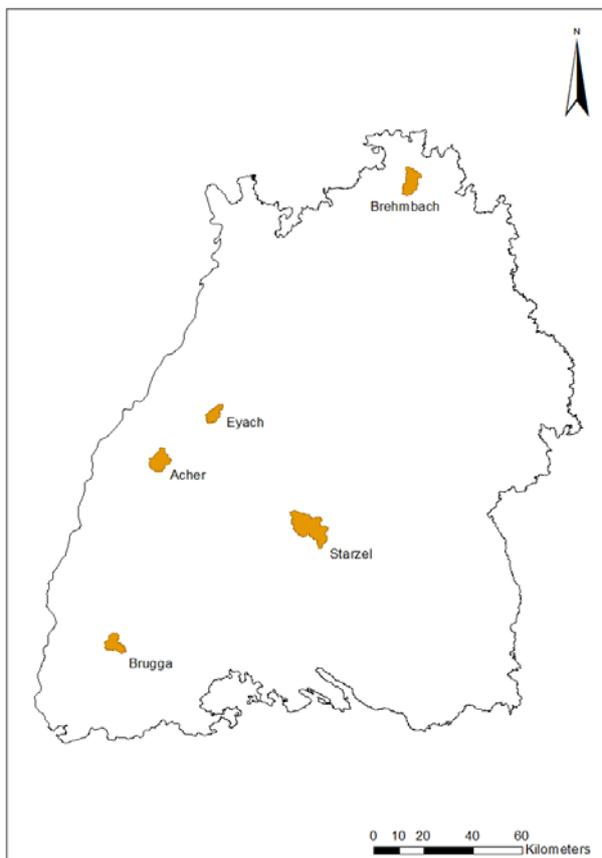


Abbildung 3.1: Lage der fünf EZGs in Baden-Württemberg, für die die Untersuchungen durchgeführt wurden.

In Abbildung 3.2 ist links einer Karte der Bodenarten für Deutschland dargestellt. Außerdem rechts eine weitere Karte in der alle Bodenarten rot markiert wurden, die hauptsächlich in den fünf betrachteten Gebieten vorkommen. Daraus wird ersichtlich, dass die entsprechenden Bodenarten in weiten Teilen Deutschlands anzutreffen sind. Die Bodenart spielt, neben weiteren Faktoren wie dem Gefälle, der Landnutzung oder der Geologie, eine wichtige Rolle in Bezug auf die auftretenden Abflussprozesse. Somit wurden die fünf

Einzugsgebiete in Baden-Württemberg so ausgewählt, dass deren bodenhydrologischen und physiographischen Eigenschaften repräsentativ für viele Einzugsgebiete in Deutschland sind (rote Flächen in Abbildung 3.2 rechts). Die genauen Gegebenheiten wären in anderen Einzugsgebieten zwar unterschiedlich, aber die generellen Schlussfolgerungen können auch in andere Gebiet in Deutschland übertragen werden.

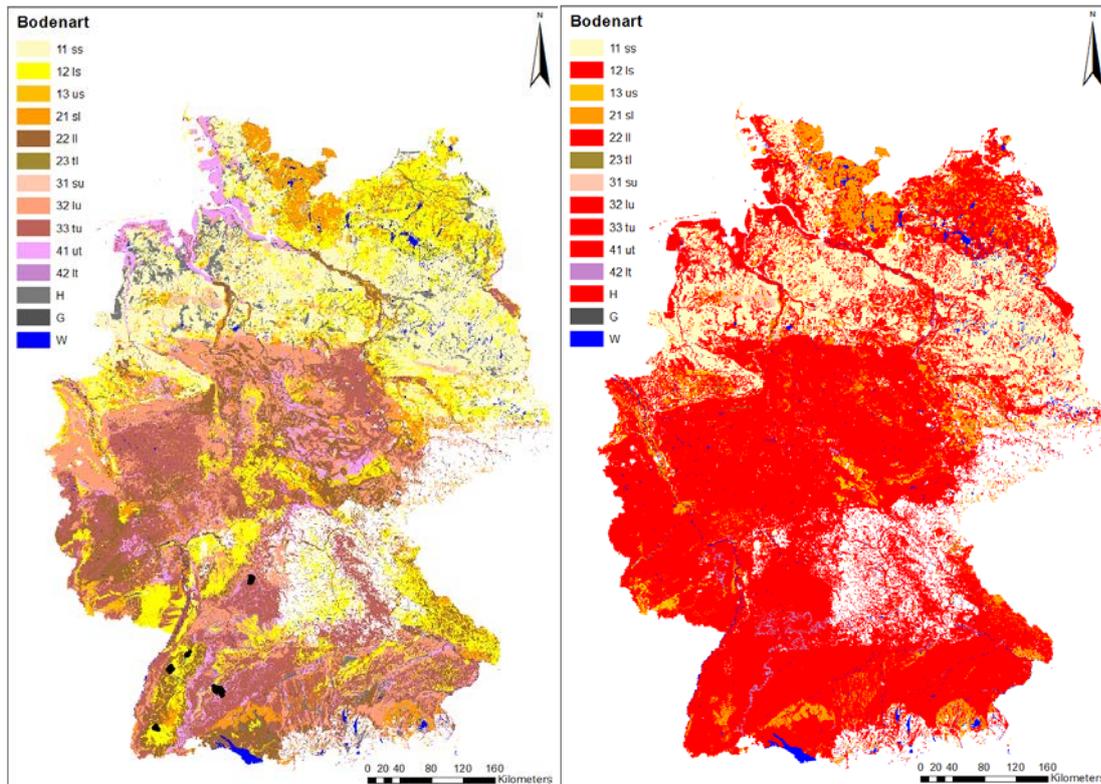


Abbildung 3.2: Links: Bodenübersichtskarte BÜK200 (BGR) der Bodenarten in Deutschland, schwarz markiert die fünf untersuchten EZGs Rechts: rot markiert sind alle Bodenarten, die in den fünf EZGs hauptsächlich vorkommen. Für die weißen Flächen liegen keine Boden-Daten vor.

Neben der Niederschlags-Abfluss-Modellierung für beobachtete Ereignisse, wurde der Abfluss auch für Bemessungsniederschläge simuliert. Die Niederschlagswerte dafür wurden aus den Daten entnommen, die im Rahmen der Erstellung der Oberflächenabflusskennwerte mit RoGeR für Starkregenereignisse erzeugt wurden (Steinbrich et al., 2016b). Es wurden Niederschlagsereignisse mit einer Jährlichkeit von 50 Jahren mit den Dauerstufen 1h, 6h und 24h simuliert. In der Regel standen für jedes EZG die Niederschlagssummen mehrerer in und um das EZG liegender Stationen zur Verfügung. Diese Summen wurden verglichen, ebenso wurde die Stationshöhe mit der mittleren Geländehöhe des EZG verglichen und auch die Länge der zur Verfügung stehenden Zeitreihen wurde betrachtet. Die Station, die am ehesten die mittleren Bedingungen des EZG widerspiegelte oder teilweise die einzige Station, die im EZG lag, wurde für den Niederschlagsinput verwendet. Die Niederschlagssummen wurden mit einer anfangsbetonten Verteilung auf die Zeitschritte verteilt (5 Minuten Schritte für die 1h und 6h Ereignisse) bzw. gleichmäßig auf die Zeitschritte verteilt (1h Schritte für das 24h Ereignis). Weiterhin wurde der Niederschlag

räumlich gleichverteilt über dem EZG angenommen. Außerdem fand die Abflussmodellierung für die Bemessungsniederschläge immer für trockene und feuchte Vorbedingungen (Sommerhalbjahr) statt, d.h. für jedes Gebiet ergaben sich jeweils sechs Ereignisse (1h feucht/trocken, 6h feucht/trocken, 24h feucht/trocken), die simuliert und ausgewertet wurden, zuzüglich den beobachteten Ereignissen. Für diese standen Radardaten des Niederschlags vom DWD zur Verfügung. Die Werte für die Vorfeuchte wurden aus dem Grundwasserneubildungs-Modell GWN-BW (Gudera et al., 2015) für eine Zeitreihe von 1972 bis 2017 mit täglichen Werten abgeleitet. Trocken bzw. feucht sind alle Werte, die an 17 % bzw. 83 % aller Tage unterschritten werden.

Zusätzlich wurden für das Einzugsgebiet der Brugga zwei sogenannte „rain on snow“ Ereignisse (ROS) simuliert, da § 78d WHG ebenfalls Schneeschmelze als relevanten Prozess der Hochwasserbildung einbezieht. Die Daten hierfür wurden aus Garvelmann et al. (2015) entnommen. Aus dem verfügbaren Schneeschmelzwasser, dem flüssigen Niederschlag und dem Retentionsspeicher der Schneedecke berechneten die Autoren das potentiell für den Abfluss zur Verfügung stehende Wasser. Diese räumlich verteilten Werte wurden als Niederschlagsinput für RoGeR genutzt und lagen als stündliche Werte in 50x50m Rastern für zwei „rain on snow“ Ereignisse im Dezember 2012 zur Verfügung. Das erste Ereignis dauerte 4,5 Tage und begann am 14.12.2012. Das zweite Ereignis fand hauptsächlich in der Nacht zwischen dem 22. und 23.12.2012 statt. Die Daten zur Vorfeuchte wurden ebenfalls aus dem GWN-BW Modell für die entsprechenden Tage entnommen.

Bei dem hier beschriebenen Verfahren werden verschiedene Niederschlagsereignisse und Vorfeuchten berücksichtigt. Dadurch werden unterschiedliche Niederschlagsintensitäten und Dauerstufen berücksichtigt, sowie unterschiedlicher Vorfeuchtebedingungen simuliert. Während RoGeR eine räumlich-zeitlich dynamische Abbildung der Abflussbildungsprozesse ermöglicht, werden mit dem System WBS FLAB statische Abflussprozesskarten erzeugt. Weiterhin wird durch die hier durchgeführten Simulationen dem Umstand Rechnung getragen, dass Starkregen prinzipiell überall auftreten kann und nicht auf Mittelgebirgs- und Hügellandschaften beschränkt ist. In den Untersuchungen wird ferner die Betrachtung unterschiedlicher räumlicher Skalen berücksichtigt. Es wird somit untersucht, wie sich die HWEGs verändern wenn diese für verschiedene Punkte im EZG (Pegel, Abflussquerschnitte) berechnet werden (siehe Kapitel 4.4.3).

3.3 Vorgehen Auswertung

Die Auswertung der Modell-Ergebnisse kann in drei Schritte untergliedert werden. Zunächst muss der Zeitraum der Abflussspitze festgelegt werden. Als Abflussspitze wird der Bereich der Abflussganglinie des Gesamtabflusses definiert, der zwischen dem Wert „Scheitelpunkt - 10 %“ vor und nach dem Scheitelpunkt liegt. In einem zweiten Schritt werden die Flächen identifiziert, die von ihren Fließzeiten her in den definierten Zeitraum fallen. Dafür verwendet man die räumliche Information über Fließzeiten, die für die verschiedenen Abflusskomponenten vorliegen und von RoGeR für die Abflusskonzentration genutzt werden. Sie zeigen an wie viele Zeitschritte das Wasser von der jeweiligen Zelle bis zum

Gebietsauslass benötigt. Die Fließzeiten für den Oberflächenabfluss ergeben sich aus der Bodenrauigkeit und dem Gefälle. Beim Zwischenabfluss hängen die Werte vom Gefälle und tiefenabhängigen Fließgeschwindigkeiten ab. Für die Tiefenperkolatation ergeben sich die Werte entsprechend der Leitfähigkeit des geologischen Untergrunds. Für Karstgebiete werden Fließzeiten des Wassers aus der Tiefenperkolatation von 0,012 m/s angesetzt. Dieser Wert stammt aus einem Tracerversuch im Rahmen einer Wasserschutzgebietsausweisung im Schweizer Jura (Pohl, 2000). Die Fließgeschwindigkeit im Gerinne wird konstant mit 3 m/s angenommen. Durch Schritt 2 erhält man die Flächen im EZG, deren Abfluss theoretisch rein zeitlich gesehen zur Abflussspitze beitragen würde. Allerdings wurde nicht zwingend auf diesen Flächen auch Abfluss generiert. Deswegen werden im dritten Schritte die Flächen aus Schritt 2 mit den räumlichen Abflusrastern verschnitten, die das Modell als Ergebnis für jede Abflusskomponente und jeden Zeitschritt ausgibt. Durch die Überschneidung bekommt man schließlich für jeden Zeitschritt den generierten Abfluss, der zur Abflussspitze beigetragen hat. Summiert man dieses Ergebnis für alle Zeitschritte auf, erhält man die Abflusssumme, die für das Ereignis zur Abflussspitze beigetragen hat. In Abbildung 3.3 ist das Vorgehen der Auswertung Schritt für Schritt für ein Beispiel gezeigt.

Das beschriebene Vorgehen wurde für alle Ereignisse und jede Abflusskomponente durchgeführt. Das sind in der Regel Oberflächen- und Zwischenabfluss. In Gebieten mit Karstanteil (Brehmbach und Starzel) hatte bei den 24h-Ereignissen auch die Tiefenperkolatation einen Anteil an der Abflussspitze. Für die betroffenen Ereignisse wurden dementsprechend auch die Ergebnistraster der Tiefenperkolatation ausgewertet.

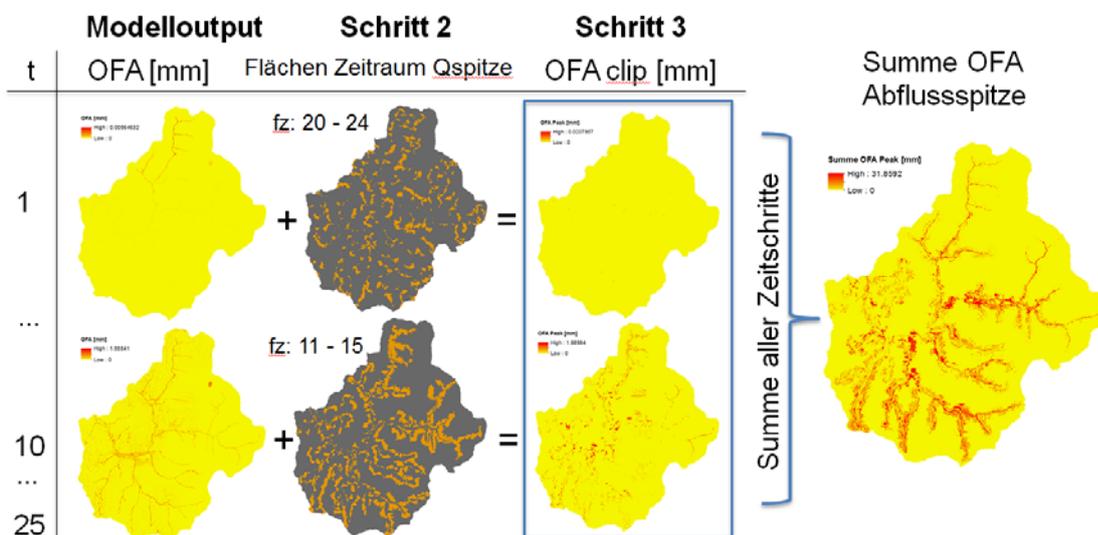


Abbildung 3.3: Vorgehen bei der Auswertung. Bsp.: OFA, Zeitraum Abflussspitze: 21 – 25. fz = Fließzeit. Die orangenen Flächen in Schritt 2 zeigen die Flächen an, die im jeweiligen Zeitschritt zur Abflussspitze beitragen.

Für eine bessere Darstellung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse, wurden die pro Abflusskomponente berechneten Raster der beitragenden Abflusssummen (Abbildung 3.3

ganz rechts) durch die Summe des spezifischen Gesamtabflusses (mm) während der Abflussspitze geteilt. Diese Berechnung wird für alle Abflusskomponenten durchgeführt und aufsummiert. Dadurch erhält man den Beitrag des Gesamtabflusses zur Abflussspitze (Abbildung 3.4). Flächen mit Werten > 1 tragen überproportional viel Abfluss zur Abflussspitze bei, Flächen mit Werten < 1 entsprechend weniger. Hätte jede Rasterzelle im EZG einen Wert von 1, würde das gesamte EZG zu gleichen Teilen zur Abflussspitze beitragen.

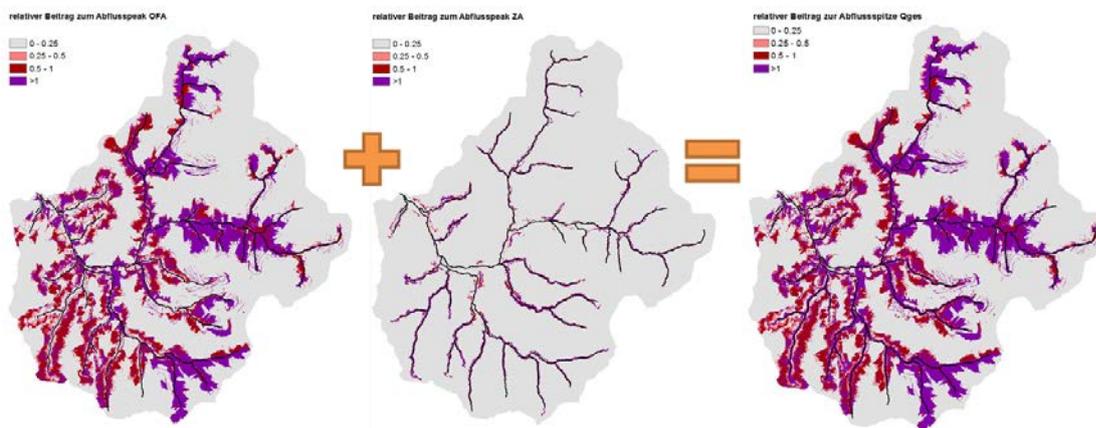


Abbildung 3.4: Relativer Beitrag zur Abflussspitze des OFA (links), ZA (Mitte) und Gesamtabflusses (rechts).

In den Ergebnissen wird nur der Mittelwert aus allen sechs Ereignissen (1h feucht/trocken, 6h feucht/trocken, 24h feucht/trocken) gezeigt (Abbildung 3.5 rechts). Die Auswertungen der beobachteten Ereignisse werden an dieser Stelle nicht aufgeführt, da das Verhalten des Gebiets im Mittel über mehrere Ereignisse von Interesse ist und nicht in Bezug auf einzelne Ereignisse. Alle Daten liegen jedoch vor und könnten weiter analysiert werden.

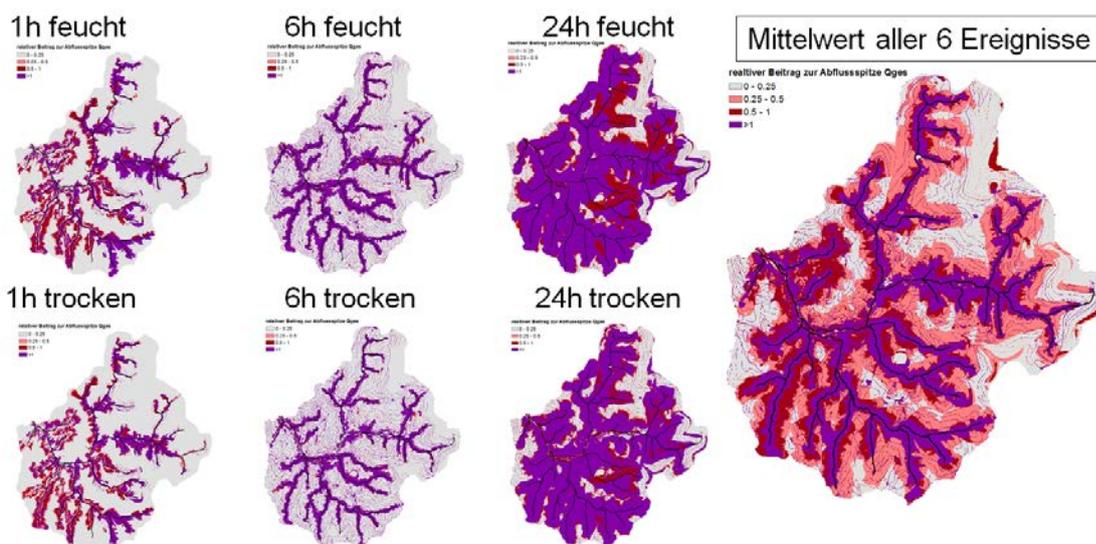


Abbildung 3.5: Ergebnisse der Auswertung der sechs Ereignisse und der Mittelwert daraus für das EZG der Acher.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellierungen beschrieben. Zunächst werden die Resultate für die einzelnen Untersuchungsgebiete gezeigt. Anschließend die Ergebnisse der Auswertung mit Fokus auf das ganze Ereignis statt nur auf die Abflussspitze, sowie die Ergebnisse der „rain on snow“ Ereignisse für das Gebiet der Brugga. Zuletzt wird auf die verschiedenen Faktoren eingegangen, die die Ausdehnung der HWEGs beeinflussen können.

4.1 Ergebnisse der fünf Einzugsgebiete

Insgesamt zeigt sich, dass die zur Abflussspitze beitragenden Flächen kleinräumig im gesamten EZG verteilt sind. Betrachtet man die Ergebnisse einzelner Ereignisse, kann man eine Variabilität in der Ausdehnung der Flächen zwischen den verschiedenen Ereignissen beobachten (siehe Abbildung 3.5 und A1). Im Mittel zeigt sich, dass teilweise große Flächen im Gebiet bedeckt sind. Es wird auch ersichtlich, dass nicht nur die urbanen Gebiete durch ihren Abfluss zu einem Hochwasser beitragen, sondern auch Waldflächen einen großen Abflussbeitrag generieren. Im EZG der Eyach heben sich besonders die Feuchtflächen durch ihren Beitrag zur Abflussspitze hervor. Im EZG des Brehmbachs und der Starzel konnte außerdem bei den 24h Ereignissen ein Beitrag der Tiefenperkolations zur Abflussspitze beobachtet werden. Dies kommt durch die verkarsteten Gebiete in den oberen Teilen der EZGs zustande.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der fünf betrachteten Untersuchungsgebiete dargestellt.

4.1.1 Acher

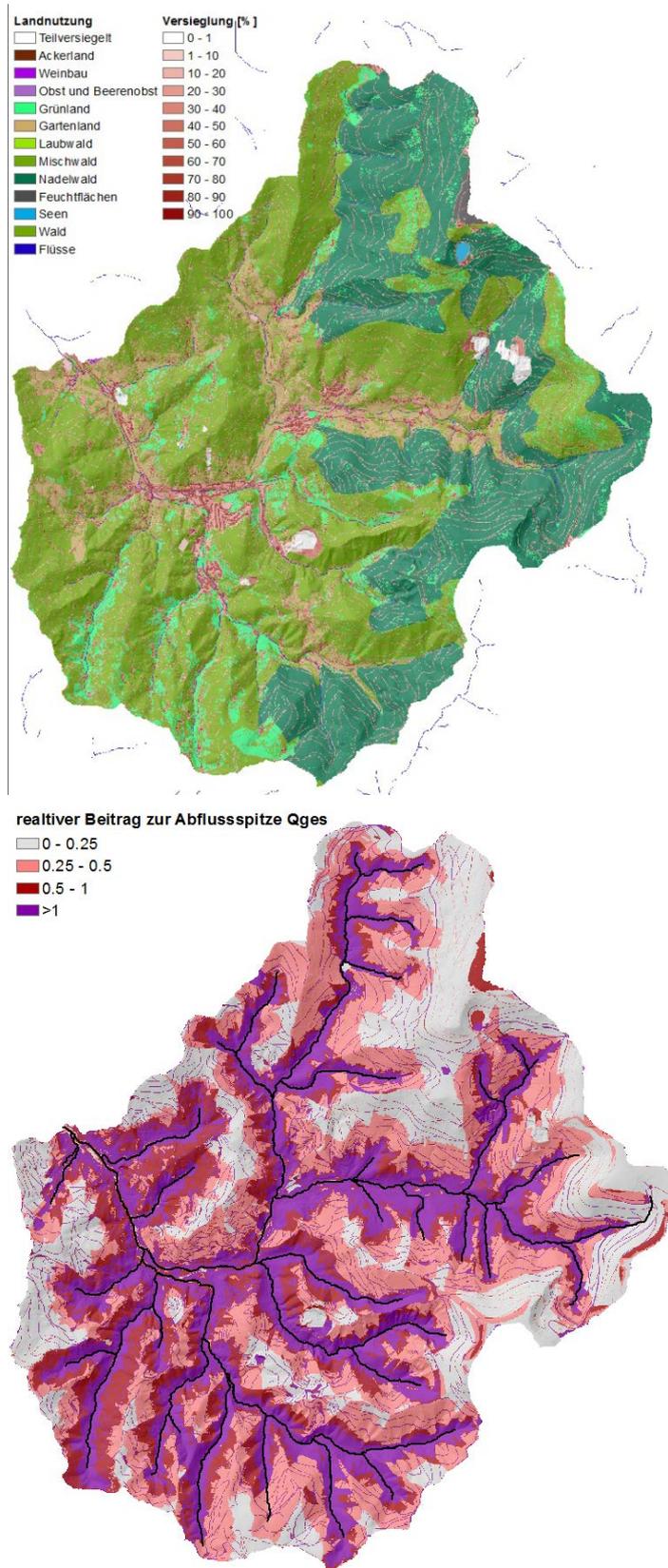


Abbildung 4.1: EZG Acher. Oben: Landnutzung. Unten: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze.

4.1.2 Brehmbach

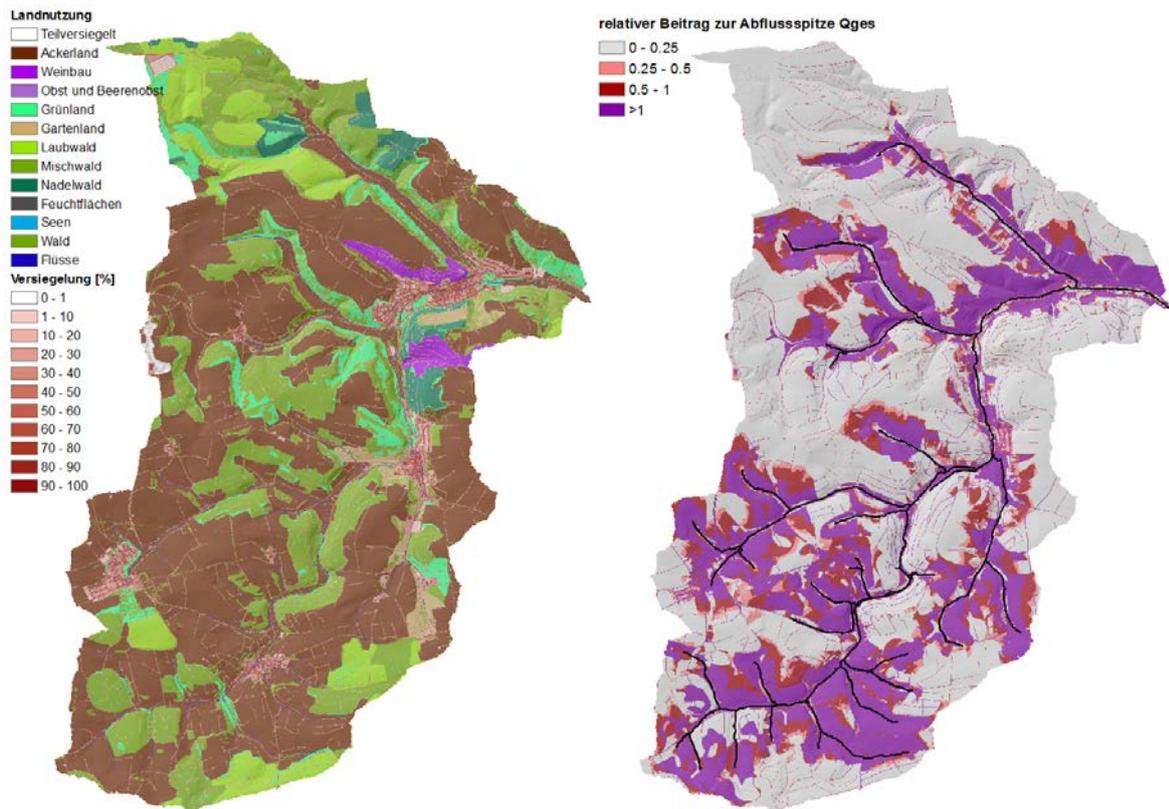


Abbildung 4.2: EZG Brehmbach. Links: Landnutzung. Rechts: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze.

4.1.3 Brugga

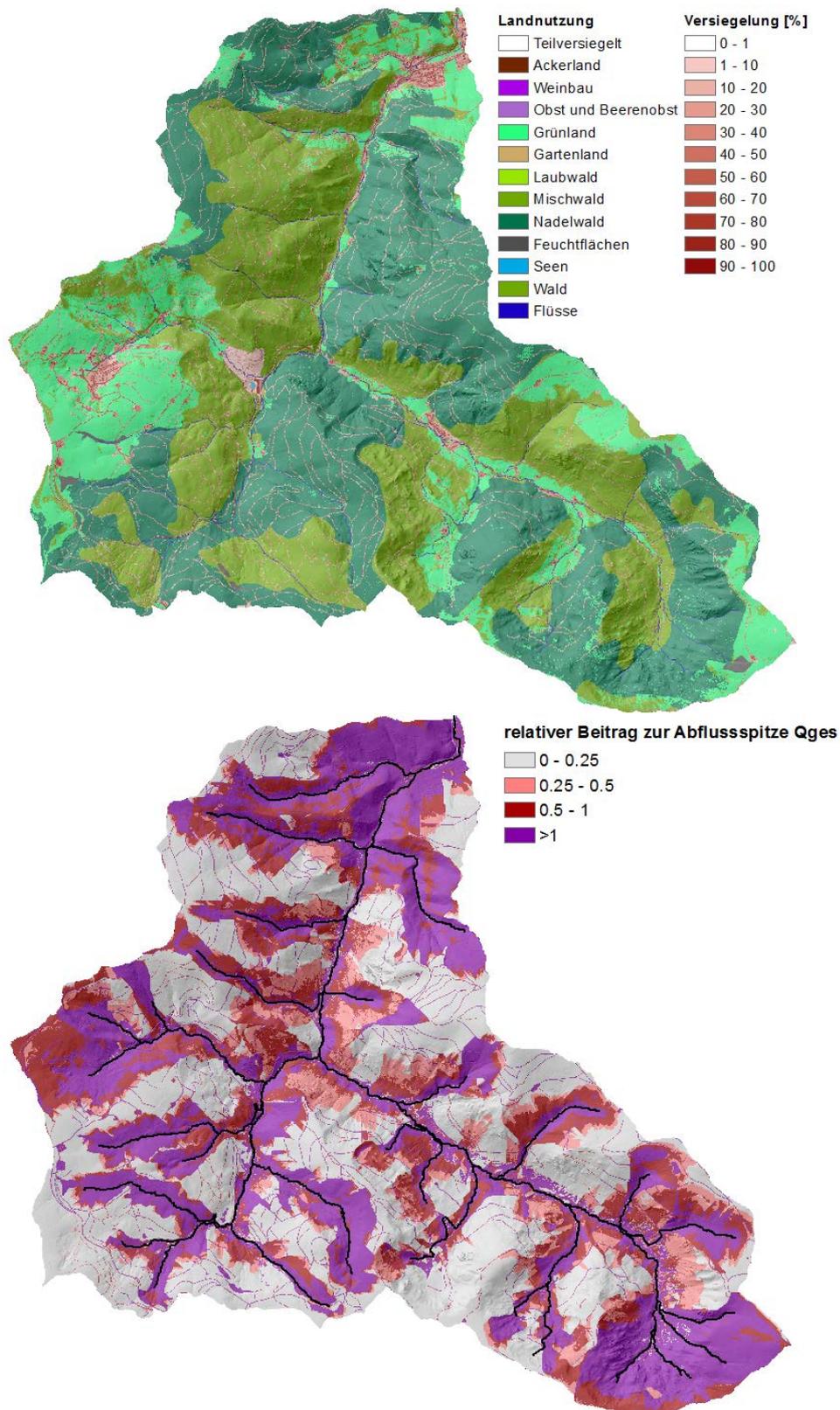


Abbildung 4.3: EZG Brugga. Oben: Landnutzung. Unten: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflusspitze.

4.1.4 Eyach

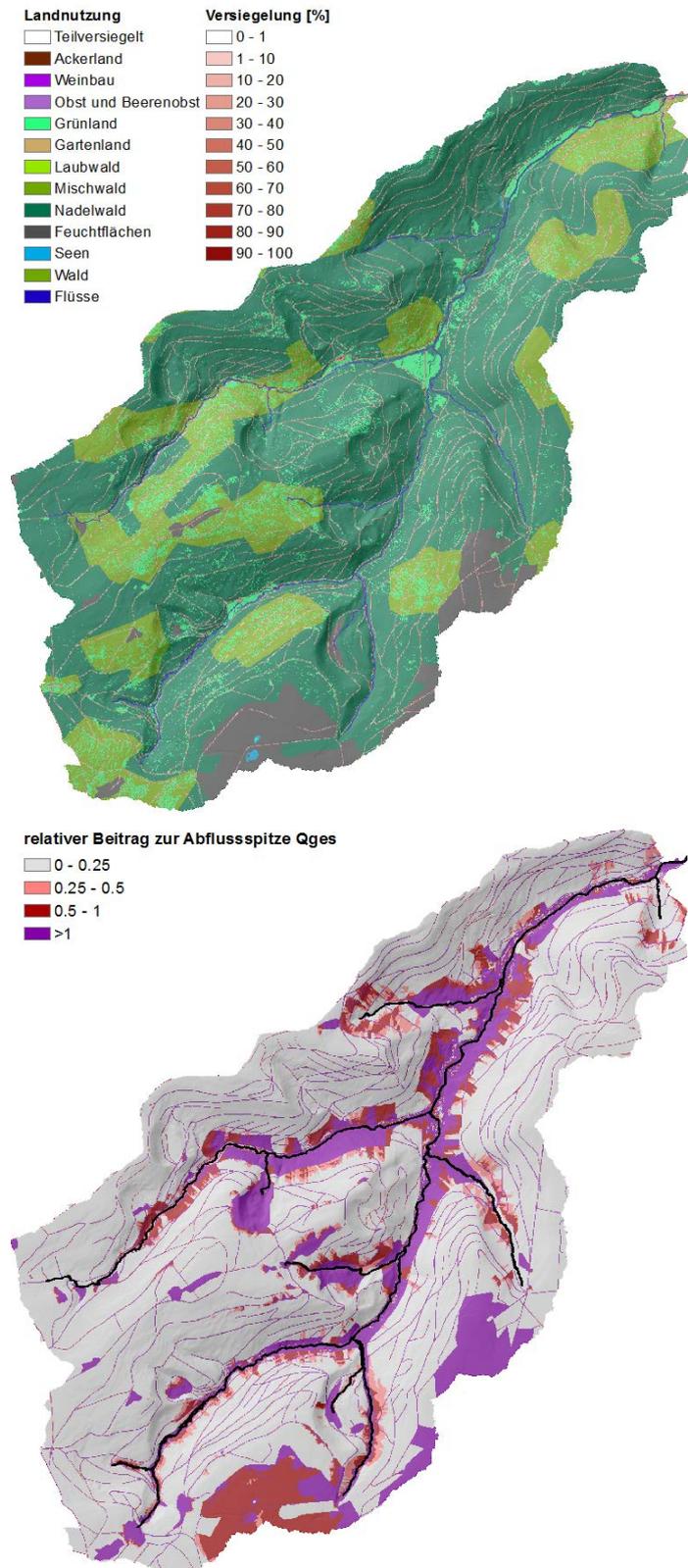


Abbildung 4.4: EZG Eyach. Oben: Landnutzung. Unten: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze.

4.1.5 Starzel

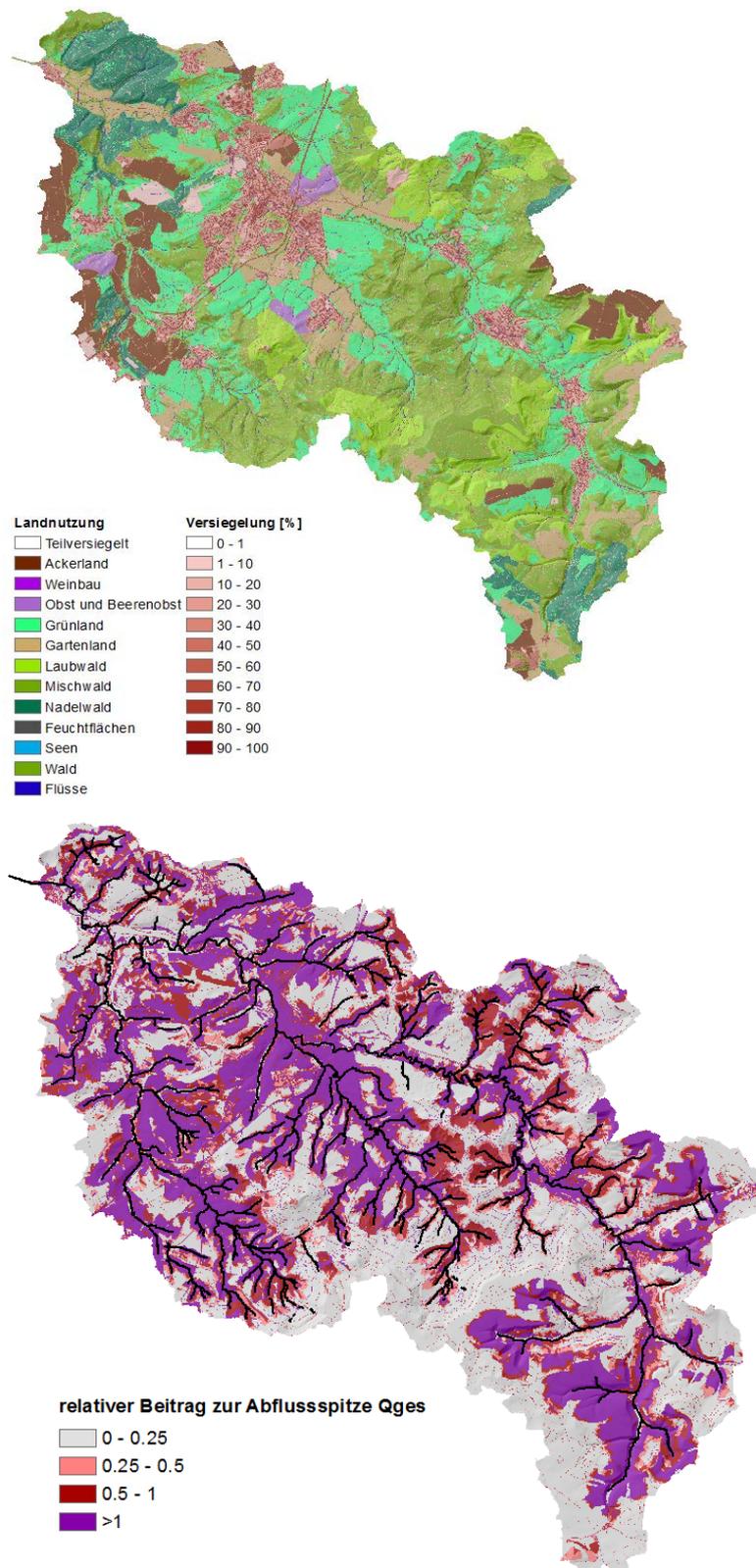


Abbildung 4.5: EZG Starzel. Oben: Landnutzung. Unten: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze.

4.2 Abflussvolumen

Nachfolgende Abbildung zeigt den relativen Beitrag der Flächen zum gesamten Abflussereignis. Im Gegensatz zu den bisherigen Betrachtungen wurde hier bei der Auswertung nicht nur die Abflussspitze betrachtet, d.h. welche Flächen Abfluss generieren, der zur Abflussspitze beiträgt, sondern das gesamte Hochwasserereignis. Dabei wurden auch hier die Abflussereignisse aller sechs Niederschlagsereignisse ausgewertet und in Abbildung 4.6 der Mittelwert der sechs Ereignisse dargestellt. Die Flächen, die einen überproportional hohen Abflussbeitrag zum Abflussereignis haben unterscheiden sich an manchen Stellen sehr von den entsprechenden Flächen bezogen auf die Abflussspitze (Abbildung 4.3). An einigen Stellen gibt es aber auch Überlappungen der Flächen.

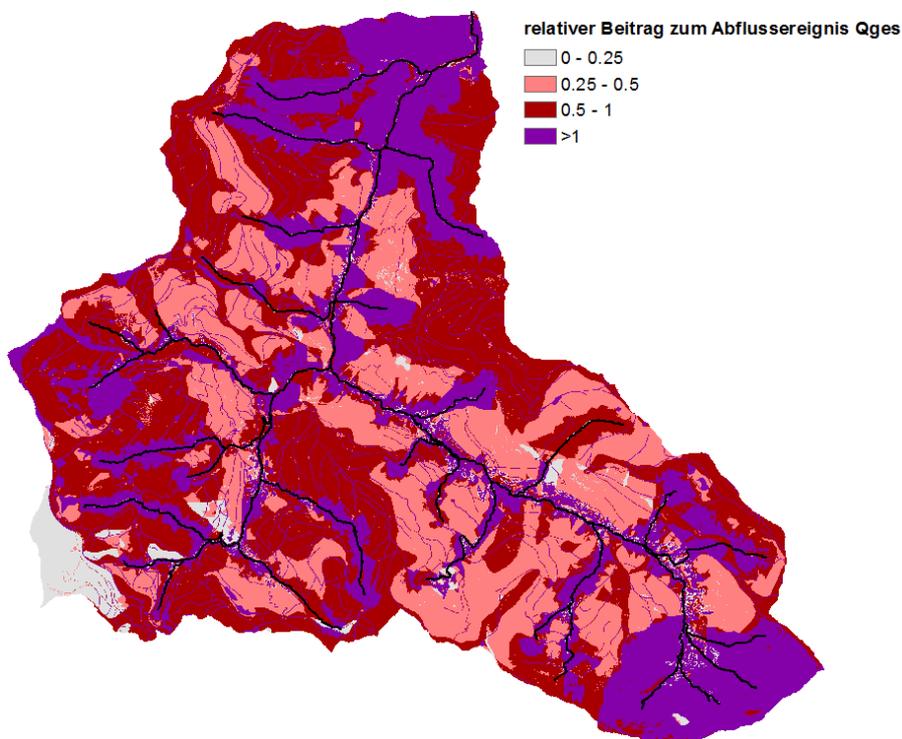


Abbildung 4.6: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zum Abflussereignis. Mittelwert aus allen sechs simulierten Ereignissen für das EZG der Brugga.

4.3 „Rain on snow“ Ereignisse

Abbildung 4.7 und Abbildung 4.8 zeigen im oberen Teil jeweils die Ergebnisse der Auswertung für die zwei ROS Ereignisse. Statt nur der Abflussspitze wurde in der Auswertung hier ebenso das gesamte Abflussereignis betrachtet. Die Ergebnisse zeigen große zusammenhängende Flächen, die überproportional viel zum Ereignis beitragen.

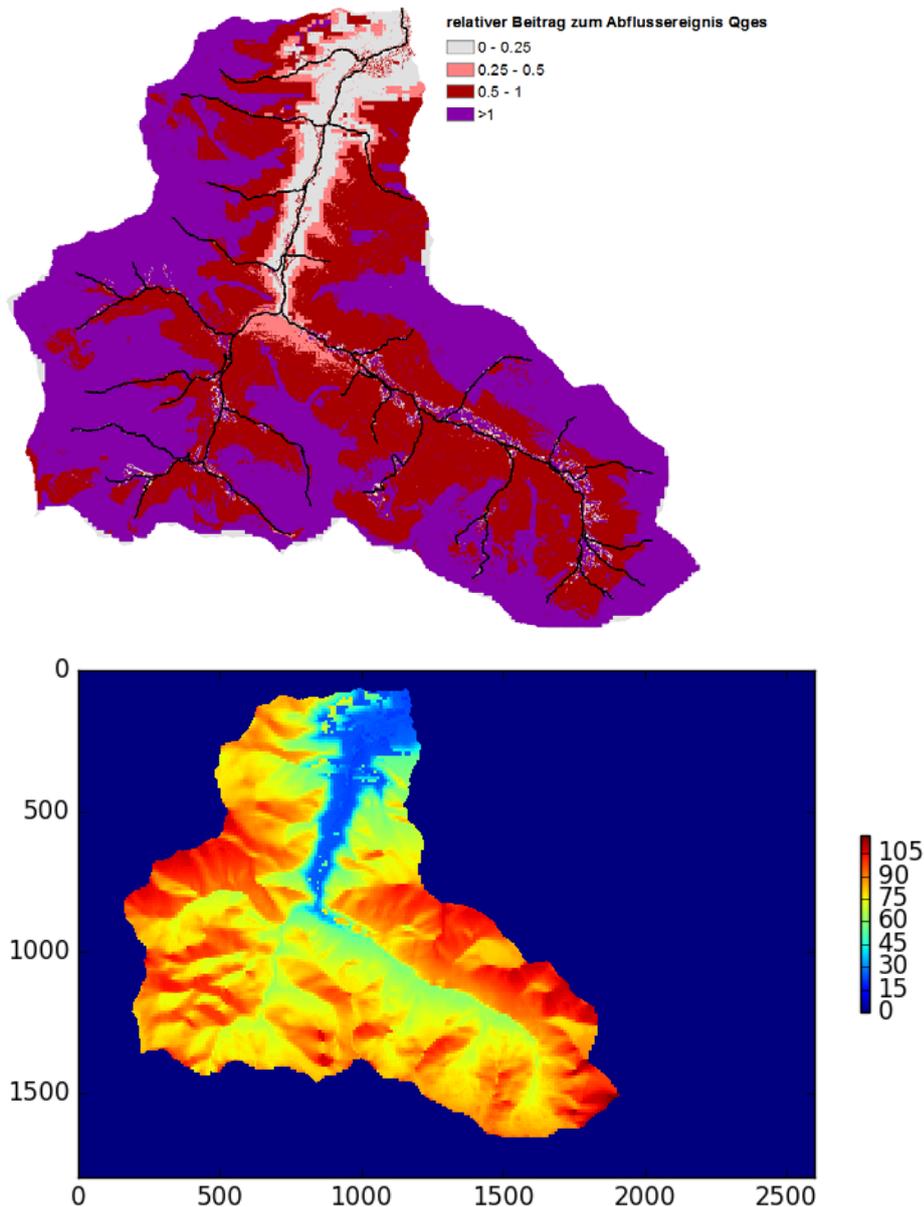


Abbildung 4.7: Oben: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zum Abflussereignis für ROS I im Dezember 2012. Unten: Räumliche Verteilung des Modellinputs (potentiell für den Abfluss zur Verfügung stehendes Wasser [mm]).

Im unteren Teil der Abbildungen ist jeweils die räumliche Verteilung des Modellinputs abgebildet. Dieser stellt das potentiell für den Abfluss zur Verfügung stehende Wasser dar, das sich aus dem verfügbaren Schneeschmelzwasser, dem flüssigen Niederschlag und dem Retentionsspeicher der Schneedecke berechnet hat (siehe Kapitel 3.2). Das räumliche Muster des Modellinputs lässt sich auch in den Ergebnissen der Abflussbeiträge wiedererkennen.

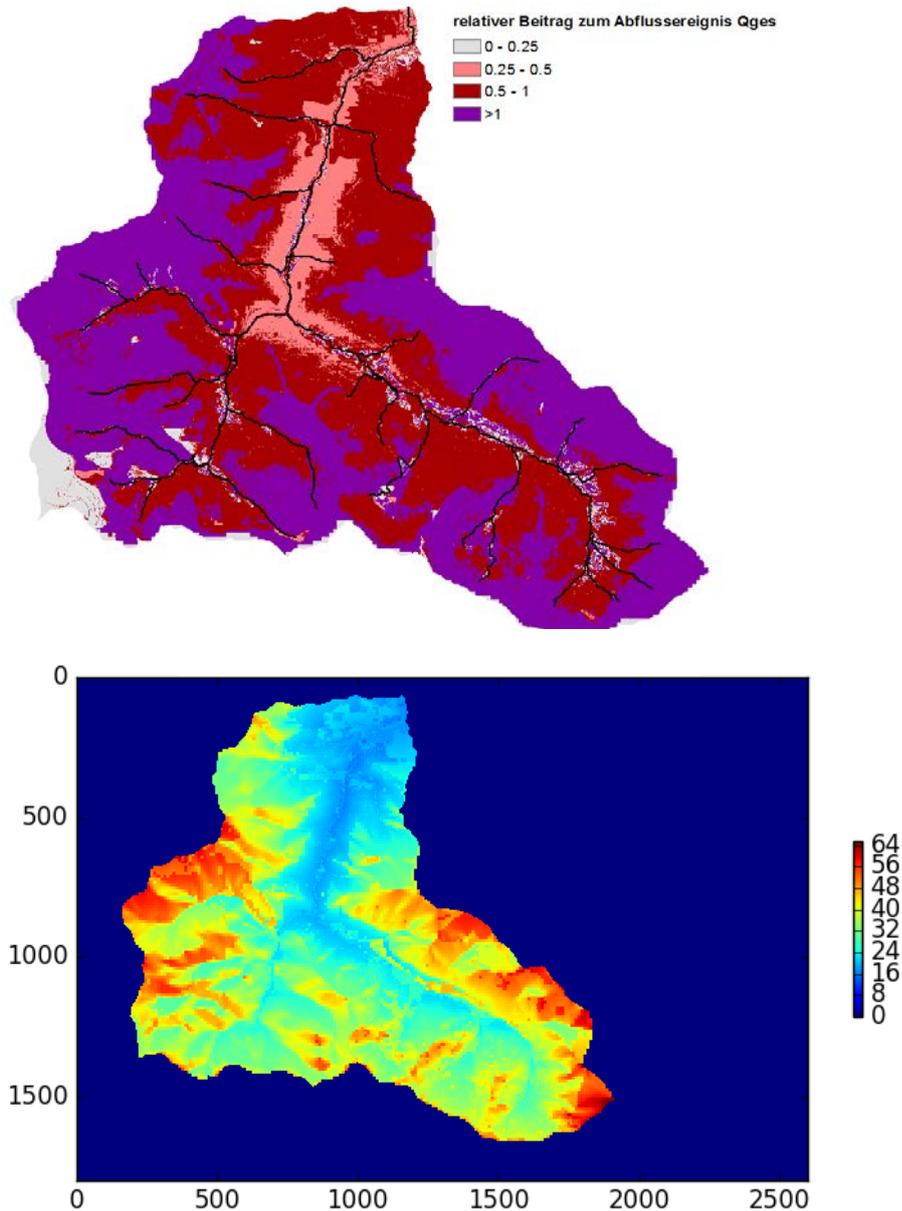


Abbildung 4.8: Oben: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zum Abflussereignis für ROS II im Dezember 2012. Unten: Räumliche Verteilung des Modellinputs (potentiell für den Abfluss zur Verfügung stehendes Wasser [mm]).

4.4 Einflussfaktoren

In den Untersuchungen wurde auch ersichtlich, dass die Ausdehnung der HWEGs von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Im Folgenden wird auf diese Faktoren eingegangen.

4.4.1 Vorfeuchte

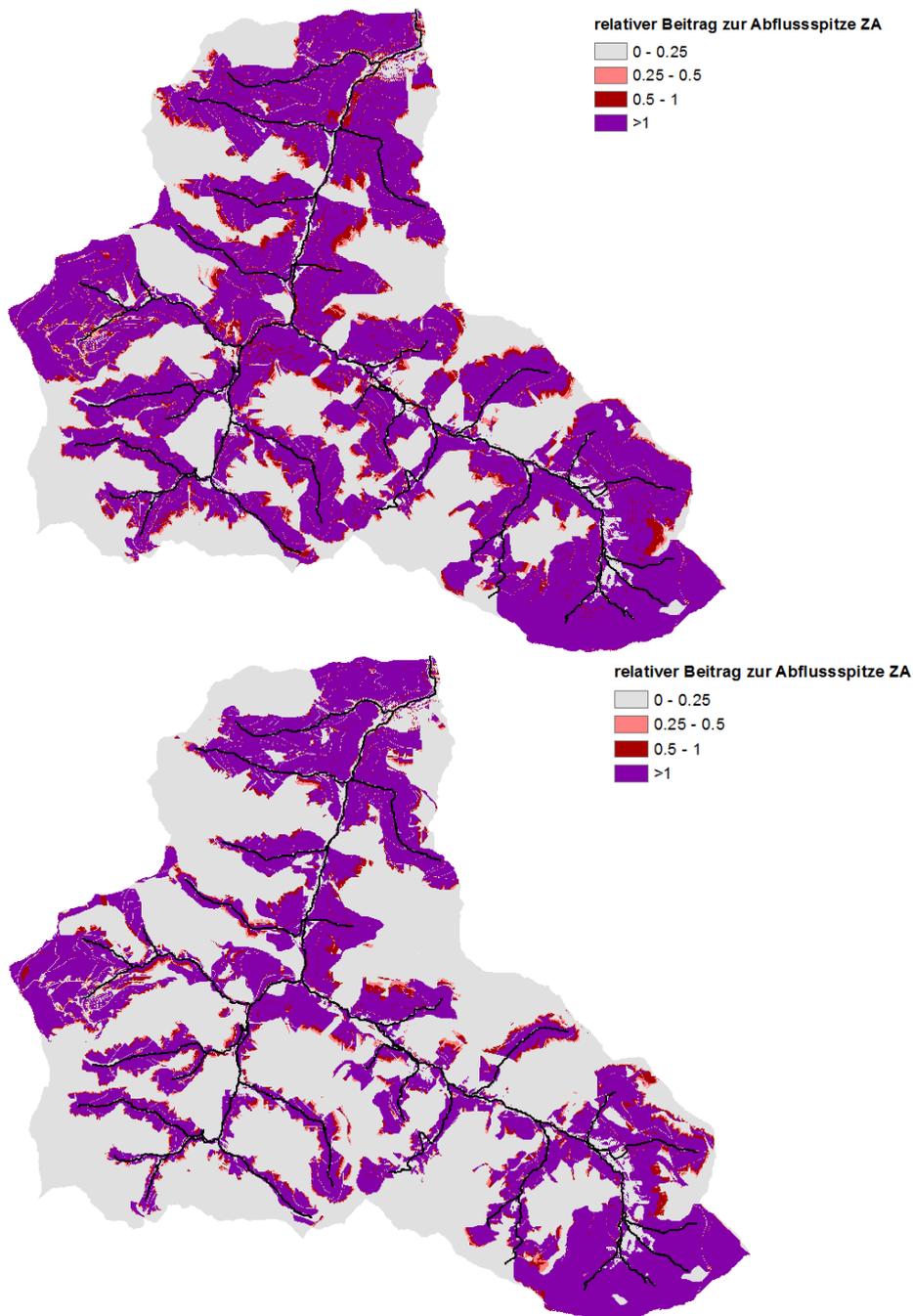


Abbildung 4.9: Relativer Beitrag des Zwischenabflusses (ZA) zur Abflussspitze für das 24h Ereignis unter feuchten (oben) und trockenen (unten) Vorbedingungen.

In Abbildung 4.9 sind als Beispiel für den Einfluss der Vorfeuchte das Resultat der Auswertung für den Zwischenabfluss der 24h Ereignisse unter feuchten und trockenen Vorbedingungen im EZG der Brugga gezeigt. Der Vergleich der Abbildungen zeigt einen klaren Unterschied in der Verteilung der Flächen und macht damit den Einfluss der Vorfeuchtebedingungen auf die Ausdehnung der HWEGs sichtbar.

4.4.2 Niederschlagsverteilung

Für die Simulation der Niederschlagsereignisse mit einer Jährlichkeit von 50 Jahren und verschiedenen Dauerstufen wurde, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, von einer räumlichen Gleichverteilung des Niederschlags ausgegangen. Für beobachtete Ereignisse standen räumliche verteilte Radardaten des Niederschlags zur Verfügung. Aus der Summe der Niederschlagsmengen der einzelnen Zeitschritte ergibt sich das Bild rechts in Abbildung 4.10. Bei dem Vergleich der räumlichen Verteilung der Niederschlagssumme mit dem modellierten relativen Beitrag des Gesamtabflusses zur Abflussspitze in Abbildung 4.10, zeigt sich deutlich der Einfluss der räumlichen Niederschlagsverteilung auf die HWEGs. In Bereichen hoher Niederschlagsintensität ergeben sich folglich auch größere Flächen, die Abfluss generieren und zur Abflussspitze beitragen.

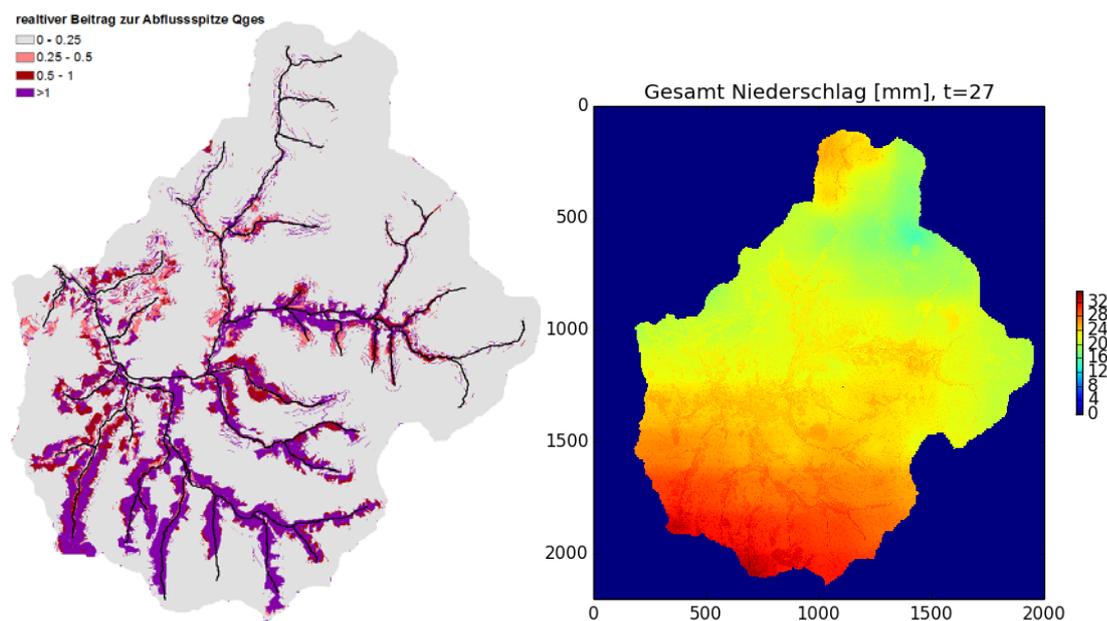


Abbildung 4.10: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 29.7.05 im EZG der Acher. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

Im Anhang A2 sind zusätzlich die Ergebnisse der beobachteten Niederschlagsereignisse der anderen EZGs dargestellt.

4.4.3 Skalenabhängigkeit

In Abbildung 4.11 und Abbildung 4.12 sind zwei Beispiele dargestellt um die Skalenabhängigkeit der HWEGs zu zeigen. Auch in diesen Abbildungen sind die Mittelwerte aus allen sechs simulierten Ereignissen dargestellt. Für beide Beispiele wurden die abflussgenerierenden Flächen für unterschiedliche Bezugspunkte im EZG berechnet. Einmal für das gesamte EZG und zum Vergleich für ein Teil-EZG. Werden die Ergebnisse verglichen, wird ein Unterschied in den Flächen ersichtlich, obwohl jeweils die gleichen Ereignisse simuliert wurden. Dies zeigt, dass auch der betrachtete Bezugspunkt im EZG eine Rolle für die Ausdehnung der HWEGs spielt und somit einen weiteren Einflussfaktor darstellt.

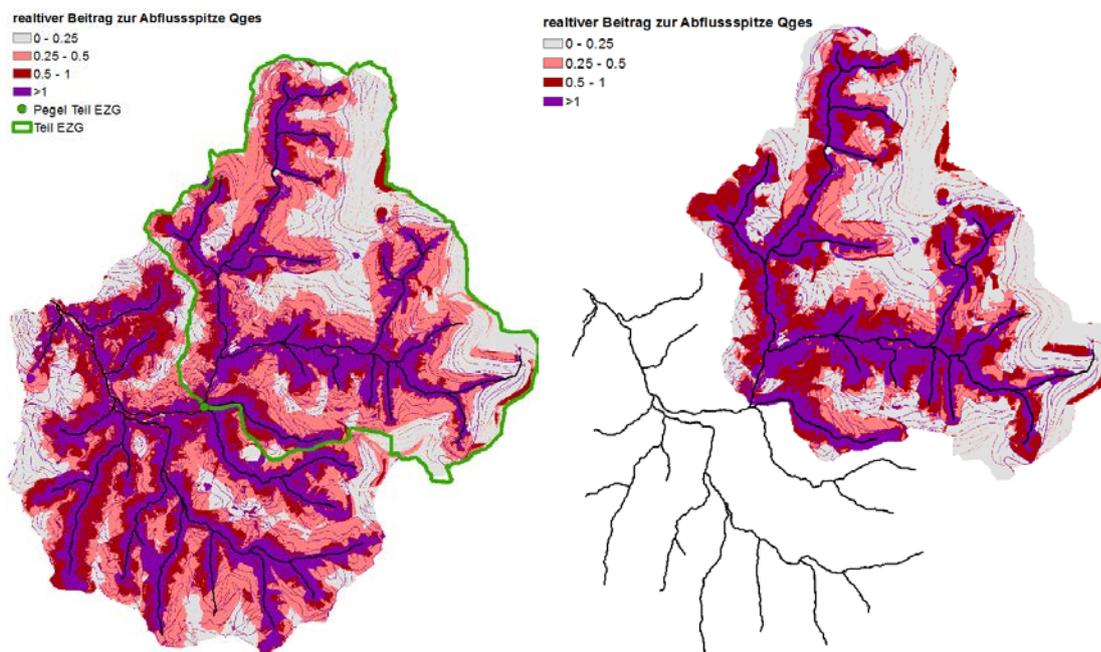


Abbildung 4.11: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für das EZG der Acher (links) und ein Teil-EZG der Acher (rechts).

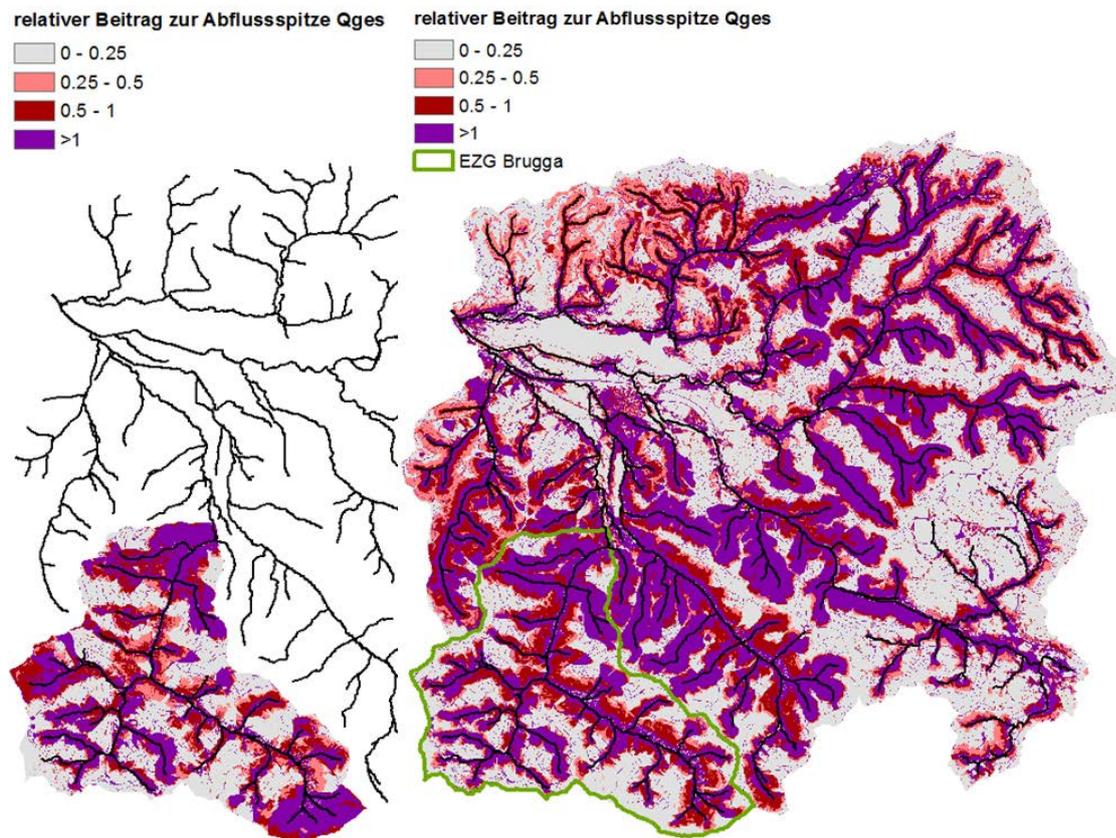


Abbildung 4.12: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für das EZG der Brugga (links) und das EZG der Dreisam am Pegel Ebnet (rechts). Für die Modellierungen des EZG am Pegel Ebnet wurde der gleiche Input-Niederschlag wie für die Brugga verwendet.

5 Fazit

Als Fazit lässt sich festhalten, dass HWEGs nicht eindeutig ermittelbar sind und theoretisch überall im EZG auftreten können. Durch die Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Ausdehnung der HWEGs von verschiedenen Faktoren, wie der Vorfeuchte, der Niederschlagsintensität und –dauer, der räumlichen Verteilung des Niederschlags und dem definierten Anteil am Hochwasserscheitel abhängt. In Folge dessen kann festgehalten werden, dass HWEGs zwar für einzelne Ereignisse ermittelbar wären (auch wenn hier der Modellansatz noch eine weitere Unsicherheit erzeugen würde), sich jedoch in ihrer räumlichen Abgrenzung von Ereignis zu Ereignis aufgrund der genannten Faktoren unterscheiden. Um weiterhin durch Maßnahmen den Abfluss von HWEGs zu reduzieren, müssten HWEG auch vorrangig jene Flächen sein, bei denen potentiell die Abflussbildung signifikant reduziert werden könnte. Da die berechneten HWEG aber auf allen Landnutzungen vorkommen können (auch in Wäldern) und weiterhin eine Beeinflussung der Abflussbildung auf anthropogen gering überprägten Flächen sehr schwierig ist (Naef et al., 2002), ist auch eine gezielte flächenspezifische Beeinflussung durch die Ausweisung von HWEG nicht zielführend.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Skalenabhängigkeit. Je nachdem für welchen Bezugspunkt im EZG die Flächen bestimmt werden, kommt es zu einer unterschiedlichen Verteilung der HWEGs im Gebiet. Mit der Ausweisung von HWEGs entsteht also auch die Frage für welche Skala die Gebiete berechnet werden sollen. Würden die HWEGs für das gesamte Rheineinzugsgebiet bezogen auf einen bestimmten Pegel, oder auf Basis der EZGs der einzelnen Zuflüsse berechnet werden? Je nach betrachteter Skala würden unterschiedliche Ergebnisse entstehen. Zum Teil könnten, je nach Ereignisverlauf, ganze Untereinzugsgebiete nicht beitragen. Es zeigt sich, dass mit der Ausweisung von HWEGs viele unterschiedliche Unsicherheiten und Unwägbarkeiten verbunden sind, sodass eine rechtssichere Ausweisung nicht möglich ist.

Als Schlussfolgerung kann festgehalten werden, dass eine geeignete Maßnahme wäre, den Abfluss dort zurück zu halten wo er entsteht. Dies kann, wie erläutert, prinzipiell überall der Fall sein. Ein wirkungsvolles Instrument für den Hochwasserschutz wäre somit generell den Wasserrückhalt in der Fläche zu verstärken und dies nicht, wie in §78d Absatz 3 WHG

gefordert, auf festgesetzte HWEGs zu beschränken. Je nach Ort kann dies durch unterschiedliche Maßnahmen erreicht werden. In urbanen Gebieten können beispielsweise technische Maßnahmen sinnvoll sein, wie etwa Mulden-Rigolen-Systeme, Gründächer oder teilversiegelte Flächen, die Versickerungs- und Speicherflächen für Regenwasser bereitstellen. Ferner bieten Regenrückhaltebecken die Möglichkeit das Niederschlagswasser temporär zurückzuhalten und verzögert in den Vorfluter zu leiten. Auch Maßnahmen zum Erhalt natürlich Retentionsräume in der Fläche und entlang von Gerinnen tragen zum Wasserrückhalt in der Fläche bei. Außerdem können teilweise angepasste landwirtschaftliche Maßnahmen, z.B. in Bezug auf die Bodenbearbeitung den Wasserrückhalt stärken.

Die bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen bieten unabhängig von §78d WHG bereits verschiedene Möglichkeiten in Bezug auf den Erhalt und die Verstärkung des Wasserrückhalts in der Fläche. In Kapitel 6 wird deswegen ein Überblick über bereits bestehende gesetzliche Regelungen gegeben.

6 Zusammenstellung bestehender Vorschriften

Im Folgenden wird ein Überblick über bereits bestehende Gesetze und Maßnahmen bezüglich des Wasserrückhalts in der Fläche auf Bundesebene und in den verschiedenen Bundesländern der FGG Rhein gegeben.

Im WHG ist im §6 *Allgemeine Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung* Abs. 1 Nr. 6 festgehalten, dass „die Gewässer nachhaltig zu bewirtschaften [sind], insbesondere mit dem Ziel, an oberirdischen Gewässern so weit wie möglich natürliche und schadlose Abflussverhältnisse zu gewährleisten und insbesondere durch **Rückhaltung des Wassers in der Fläche** der Entstehung von nachteiligen Hochwasserfolgen vorzubeugen“. Des Weiteren besagt §37 *Wasserabfluss* Abs.1, dass „der natürliche Ablauf wild abfließenden Wassers auf ein tiefer liegendes Grundstück nicht zum Nachteil eines höher liegenden Grundstücks behindert werden [darf]. Der natürliche Ablauf wild abfließenden Wassers darf nicht zum Nachteil eines tiefer liegenden Grundstücks verstärkt oder auf andere Weise verändert werden.“

Weiterhin regelt §55 *Grundsätze zur Abwasserbeseitigung* Abs. 2, dass „**Niederschlagswasser ortsnah versickert**, verrieselt oder direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden [soll]“.

Im §5 *Inhalt des Flächennutzungsplans* Abs. 2 Nr. 7 des Baugesetzbuchs (BauGB) ist festgehalten, dass „im Flächennutzungsplan [...] die Wasserflächen, Häfen und die für die Wasserwirtschaft vorgesehenen Flächen sowie die Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind [dargestellt werden können]“. Außerdem regelt §9 *Inhalt des Bebauungsplans* Abs. 1 Nr. 14 und 16 des BauGB, dass „Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser, sowie für Ablagerungen“, sowie „die Flächen für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses [und] die Flächen, die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden müssen, um insbesondere Hochwasserschäden, einschließlich Schäden durch Starkregen, vorzubeugen“ festgesetzt werden können.

Um diese allgemeinen Grundsätze umzusetzen gibt es in den Bundesländern verschiedene Regelungen.

Das Wassergesetz BADEN-WÜRTTEMBERG legt in §12 Abs. 3 als Grundsatz fest, dass „das **natürliche Wasserrückhaltevermögen** zu erhalten [ist]. Besteht kein natürliches Wasserrückhaltevermögen oder reicht dieses nicht aus, ist es zu verbessern. Der Wasserabfluss darf nur aus wichtigem Grund, insbesondere zum Schutz von Siedlungsbereichen vor Hochwasser, beschleunigt werden. Des Weiteren ist in §46 die *Verpflichtung zur Abwasserbeseitigung* festgelegt. Abs. 1 besagt, dass „die Abwasserbeseitigung der Gemeinde [obliegt]. Das Abwasser ist von demjenigen, bei dem es anfällt, dem Beseitigungspflichtigen zu überlassen“.

§33 *Wasserversorgungs- und Wasserentsorgungsanlagen, Anlagen für Abfallstoffe und Reststoffe* Abs. 1 der Landesbauverordnung für Baden-Württemberg (LBO BW) regelt, dass „bauliche Anlagen nur errichtet werden [dürfen], wenn die **einwandfreie Beseitigung des Abwassers und des Niederschlagswassers** dauernd gesichert ist. Das Abwasser ist entsprechend den §§55 und 56 des Wasserhaushaltsgesetzes und §46 des Wassergesetzes für Baden-Württemberg zu entsorgen“. Weiterhin ist in §74 *Örtliche Bauvorschriften* Abs. 3 der LBO BW festgelegt, dass „die Gemeinden durch Satzung für das Gemeindegebiet oder genau abgegrenzte Teile des Gemeindegebiets bestimmen [können], dass Anlagen zum Sammeln, Verwenden oder **Versickern von Niederschlagswasser** oder zum Verwenden von Brauchwasser herzustellen sind, um die Abwasseranlagen zu entlasten, Überschwemmungsgefahren zu vermeiden und den Wasserhaushalt zu schonen, soweit gesundheitliche oder wasserwirtschaftliche Belange nicht beeinträchtigt werden.“

Ferner legt der Landesentwicklungsplan Baden-Württemberg durch Nr. 4.3.6 Vorbeugender Hochwasserschutz fest, dass „zur Sicherung und Rückgewinnung natürlicher Überschwemmungsflächen, zur Risikovorsorge in potenziell überflutungsgefährdeten Bereichen sowie zum **Rückhalt des Wassers in seinen Einzugsbereichen in den Regionalplänen Gebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz festzulegen [sind]**“.

In §2 *Anforderungen an die erlaubnisfreie Beseitigung* Abs. 2 in der Verordnung des Umweltministeriums über die dezentrale Beseitigung von Niederschlagswasser (NiedSchlWasBesV BW) ist festgelegt, dass „Niederschlagswasser schadlos beseitigt [wird], wenn es flächenhaft oder in Mulden auf mindestens 30 cm mächtigem bewachsenen Boden in das Grundwasser versickert wird. Niederschlagswasser von Flächen nach Absatz 1 Nr. 1 [Anm. Dachflächen, mit Ausnahme von Dachflächen in Gewerbegebieten und Industriegebieten sowie Sondergebieten mit vergleichbaren Nutzungen] kann auch in Mulden-Rigolen-Elementen gesammelt und versickert werden. **Vor der ortsnahen Einleitung in ein oberirdisches Gewässer sollen die Möglichkeiten zur Rückhaltung des Niederschlagswassers genutzt werden.**

Im BAYERISCHEN Wassergesetz (BayWG) ist in *Art. 43 Besondere Regelungen für bauliche Hochwasserschutzmaßnahmen* Abs. 1 festgehalten, dass „Flächen, die sich zur Hochwasserrückhaltung und -entlastung eignen, vorrangig für diese Zwecke genutzt

werden [sollen]“. Außerdem ist durch Nr. 3.7.13 der Verwaltungsvorschriften zum Vollzug des Wasserrechts in Bezug auf diesen Artikel geregelt, dass „die Schaffung von Flächen für die Hochwasserrückhaltung und -entlastung so hohe Bedeutung [hat], dass dieser Belang nur bei überwiegender Gewichtung anderer Belange des Allgemeinwohls überwunden werden kann. Gesteuerte Flutpolder sind ein besonders wichtiger Baustein im Gesamtkonzept des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Dies ist in der Abwägung im Rahmen der Planfeststellung zu beachten“. *Art. 44 Grundsätze für den Schutz vor Hochwasser und Dürre* Abs. 1 im BayWG legt fest, dass „zur Minderung von Hochwasser- und Dürregefahren Staat und Gemeinden im Rahmen ihrer Aufgaben auf 1. **Erhalt oder Wiederherstellung der Versickerungsfähigkeit** der Böden, 2. **dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser**, 3. Maßnahmen zur **natürlichen Wasserrückhaltung und zur Wasserspeicherung** hinwirken [sollen]. Wasserspeicher sind so zu bewirtschaften, dass Hochwasser- und Dürregefahren gemindert werden.“ In *Art. 49 Verpflichtungen der Anlieger und der Unternehmer von Wasserbenutzungsanlagen* Abs. 2 ist festgelegt, dass „soweit es die Abwehr von Wassergefahr erfordert, die Unternehmer von Wasserbenutzungsanlagen verpflichtet [sind], ihre Anlagen einschließlich der Nachrichtennetze für eine Hochwasserrückhaltung oder eine Niedrigwasseraufhöhung einzusetzen. [...]“.

§28 Ausgleich der Wasserführung Abs. 1 des Landeswassergesetzes RHEINLAND-PFALZ (LWG RP) besagt, dass „bei der Sicherstellung eines geordneten Abflussverhaltens Maßnahmen der **Wasserrückhaltung** Vorrang [haben] vor abflussbeschleunigenden Maßnahmen.“

Ferner legt das Landesentwicklungsprogramm Rheinland-Pfalz (LEP RP) in Z111 fest, dass „**Niederschlagswasser**, wo immer aufgrund der natürlichen, technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und aufgrund einer geringen Verschmutzung möglich, **vor Ort** zu belassen und zu **versickern** [ist].“ Und weiter zu Z111 „Für die Niederschlagsversickerung sind entsprechende Flächen insbesondere im Rahmen der Regional und Bauleitplanung vorzuhalten. Dies trägt auch in Gebieten, die bei lokalen Starkwasserereignissen von einer Abflussverschärfung der Gewässer und einer Überlastung der Kanalisation im Siedlungsbereich betroffen sind, zur Lösung der bestehenden Probleme bei.“

Das Landeswassergesetz NORDRHEIN-WESTFALEN (LWG NW) legt in *§66 Pflicht zum Ausgleich der Wasserführung* Abs. 1 fest: „Soweit die im Bewirtschaftungsplan festgelegten Bewirtschaftungsziele und das Maßnahmenprogramm, die allgemeinen Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung nach §6 des Wasserhaushaltsgesetzes sowie die Vorgaben der §§27 bis 31 des Wasserhaushaltsgesetzes für die Bewirtschaftungsziele es erfordern, nachteilige Veränderungen des Abflusses in fließenden Gewässern zweiter Ordnung oder in sonstigen fließenden Gewässern auszugleichen, obliegt es den Kreisen und kreisfreien Städten, durch geeignete Maßnahmen einen Ausgleich der Wasserführung herbeizuführen und zu sichern. Gleiches gilt, wenn ein solcher Ausgleich der Wasserführung einen weitergehenden Ausbau des Gewässers vermeidet. Erstreckt sich der Bereich, in dem der Anlass zu den Ausgleichsmaßnahmen entstanden ist und in dem die Ausgleichsmaßnahmen

durchzuführen sind, auf das Gebiet mehrerer Kreise und kreisfreier Städte, sind diese verpflichtet, die notwendigen Ausgleichsmaßnahmen gemeinsam durchzuführen; beschränkt er sich auf das Gebiet einer Gemeinde, ist diese dazu verpflichtet. Sofern die Gemeinde zum Ausgleich der Wasserführung verpflichtet ist, gilt §62 Absatz 5“.

Im Landesentwicklungsplan, Teilabschnitt "Umwelt" SAARLAND ist durch Nr. 2.2.5 *Vorranggebiete für Hochwasserschutz (VH)* im Abschnitt 61 festgelegt, dass „[...] Die natürlichen Überschwemmungsflächen der Fließgewässer dem natürlichen Wasserrückhalt und dem schadlosen Wasserabfluss sowie der Minimierung hochwasserbedingter Risiken und Gefahren dienen [sollen].“ Weiterhin ist in Abschnitt 62 erklärt: „Vorranggebiete für Hochwasserschutz (VH) dienen der Erhaltung der Flussniederungen für den Hochwasserrückhalt und den schadlosen Hochwasserabfluss sowie zur Vermeidung von nachteiligen Veränderungen der Flächennutzungen, die die Hochwasserentstehung bzw. -entwicklung begünstigen und beschleunigen. Die in Vorranggebieten für Hochwasserschutz (VH) angestrebte **Sicherung von Retentionsräumen** soll leistungsfähige Querschnitte im Siedlungsbereich und in der freien Landschaft zur Dämpfung und Verzögerung der Hochwasserspitzenabflüsse ermöglichen mit dem Ziel, dass Schäden durch Hochwasser vermindert werden.“

Die Darstellung der bestehenden gesetzlichen Regelungen zeigt, dass es bereits verschiedene Regelungen gibt, die Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Fläche vorsehen bzw. vorgeben. Bereits das WHG gibt vor, dass die Gewässer nachhaltig zu bewirtschaften sind und durch Wasserrückhalt in der Fläche nachteilige Folgen durch Hochwasser vorgebeugt werden sollen. Im WG BW ist explizit festgelegt, dass das natürliche Wasserrückhaltevermögen erhalten oder verbessert werden muss. Außerdem besagt der Landesentwicklungsplan BW, dass im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes in den Regionalplänen Gebiete für den Wasserrückhalt im EZG festgelegt werden sollen. Auch im BayWG wird zur Minderung von Hochwassergefahren explizit auf Erhalt oder Wiederherstellung der Versickerungsfähigkeit der Böden und auf Maßnahmen zur natürlichen Wasserrückhaltung und zur Wasserspeicherung verwiesen. Ebenso im Landesentwicklungsprogramm Rheinland-Pfalz. Darin ist festgelegt, dass in der Regional- und Bauleitplanung Flächen zur Niederschlagsversickerung vorzuhalten sind. Im Saarland werden durch die Vorranggebiete für Hochwasserschutz die Sicherung von Retentionsräumen und damit eine Minderung der Schäden durch Hochwasser angestrebt.

Die Zusammenstellung zeigt, dass es bereits unterschiedliche Regelungen gibt, die die Verbesserung oder den Erhalt des Wasserrückhalts in der Fläche fördern, um dadurch der Gefahr durch Hochwasser vorzubeugen oder diese zu verringern. Aus den durchgeführten Untersuchungen und der Betrachtung der bestehenden gesetzlichen Regelungen lässt sich schließen, dass eine Ausweisung von HWEGs aufgrund des dynamischen Charakters nicht rechtssicher erfolgen kann und ebenfalls nicht notwendig ist. Vielmehr wäre eine geeignete Maßnahme generell den Wasserrückhalt in der Fläche zu verstärken.

7 Literaturverzeichnis

- Agnew, L.J., Lyon, S., Gérard-Marchant, P., Collins, V.B., Lembo, A.J., Steenhuis, T.S. und Walter, M.T. (2006). Identifying hydrologically sensitive areas: bridging science and application *J. Envir. Mgt.*, 78, 64-76.
- Ambroise, B. (2004). Variable “active” versus “contributing” areas or periods: a necessary distinction, *Hydrol. Process.* 18, 1149-1155.
- Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K. und Wilke, B.-M. (2018). Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Spektrum, Berlin, 17. Auflage, 750 S.
- Betson, R. (1964). What is watershed runoff? *Journal of Geophysical Research* 69(8), 1541-1552.
- Beven, K.J. & Kirkby, M.J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 24, 43-69.
- Brown, A.E., Zhang, L., McMahon, T.A., Western, A.W. und Vertessy, R.A. (2005). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology* 310(1-4), 28-61.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK200) Deutschland.
- Campling, P., Gobin, A., Bevene, K. und Feyen, J. (2002). Rainfall-runoff modeling of a humid tropical catchment: the TOPMODEL approach. *Hydrol. Process.* 16, 231-253.
- Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Govers, G., Lecomte, V., van Oost, K., Couturier, A., King, C. und Dubreuil, N. (2004). Scale effect on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. *Journal of Hydrology* 299(1-2), 4-14.
- Chang, C.-H. & Lee, K.T. (2008). Analysis of geomorphologic and hydrological characteristics in watershed saturated areas using topographic-index threshold and geomorphology-based runoff model. *Hydrol. Process.* 22, 802-812.

- Chapi, K., Rudra, R.P., Ahmed, S.I., Khan, A.A., Gharabaghi, B., Dickinson, W.T. und Goel, P.K. (2015). Spatial-Temporal Dynamics of Runoff Generation Areas in a Small Agricultural Watershed in Southern Ontario. *Journal of Water Resource and Protection* 7, 14-40.
- Chiffard, P. (2006). Der Einfluss des Reliefs, der Hangsedimente und der Bodenvorfeuchte auf die Abflussbildung im Mittelgebirge. Experimentelle Prozess-Studien im Sauerland. Dissertation. Geographisches Institut der Ruhr-Universität, Bochum.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. – DWA (2018): Merkblatt DWA-M 922 Bodenhydrologische Kartierung und Modellierung – Entwurf Juni 2018.
- Dunne, T. & Black, R.D. (1970). Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resour. Res.* 6(5), 1296-1311.
- Frankenberger, J.R., Brooks, E.S., Walter, M.T., Walter, M.F. und Steenhuis, T.S. (1999). A GIS-based variable source area hydrology model. *Hydrol. Process.* 13, 805-822.
- Garvelmann, J., Pohl, S. und Weiler, M. (2015). Spatio-temporal controls of snowmelt and runoff generation during rain-on-snow events in a mid-latitude mountain catchment. *Hydrol. Process.* 29, 3649-3664.
- Golmohammadi, R., Rudra, R., Dickinson, T., Goel, P. und Veliz, M. (2017). Predicting the temporal variation of flow contributing areas using SWAT. *Journal of Hydrology* 547, 375-386.
- Grabs, T., Seibert, J., Bishop, K. und Laudon, H. (2009). Modeling spatial patterns of saturated areas: a comparison of the topographic wetness index and a dynamic distributed model. *Journal of Hydrology* 373, 15-23.
- Grafe, M., Seidler, C. und Walther, J. (2007). Entwicklung einer Methodik zur Identifizierung von Hochwasserentstehungsgebieten. *Wasserbaukolloquium 2007: „Fünf Jahr nach der Flut“*. Hochwasserschutzkonzepte – Planung, Berechnung, Realisierung. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 35, 271 ff.
- Gudera, T. & Morhard, A. (2015). Hoch aufgelöste Modellierung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung mit GWN-BW. *HyWa (Hydrologie und Wasserbewirtschaftung)* 59(5), 205-216.
- Hewlett, J. & Hibbert, A. (1967). Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. *Forest Hydrology*, 275-290.
- Hochschild, J. (2008): Hydrologische Charakterisierung des alpinen Einzugsgebietes der Dornbirner Ache. Diplomarbeit, Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br.
- Holman, I.P., Hollis, J.M., Bramley, M.E. und Thompson, T.R.E. (2003). The contribution of soil structural degradation to catchment flooding: a preliminary investigation of the 2000 floods in England and Wales. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 7(5), 755-766.

- Horton, R.E. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions - American Geophysical Union* 14, 446-460.
- Kleeberg, H.-B. & Rother, K.-H. (1996). Hochwasserflächenmanagement in Flusseinzugsgebieten. *Wasser und Boden* 48(2), 24-32.
- Latron, J. & Gallart, F. (2007). Seasonal dynamics of runoff-contributing areas in a small Mediterranean research catchment (Vallcebre, Eastern Pyrenees). *Journal of Hydrology* 335, 194-206.
- Lee, K.T. & Chang, C.H. (2005). Incorporating subsurface-flow mechanism into geomorphology based IUH modeling. *Journal of Hydrology* 311, 91-105.
- Lee, K.T. & Huang, J.-K. (2013). Runoff simulation considering time-varying partial contributing area based on current precipitation index. *Journal of Hydrology* 486, 443-454.
- Longobardi, A., Villani, P., Grayson, R.B. und Western, A.W. (2003). On the relationship between runoff coefficient and catchment initial conditions. *Proceedings of MODSIM2003 Conference in Townsville, Australia, 14–17 July 2003*.
- Merz, B. & Plate, E.J. (1997). An analysis of the effects of spatial variability of soil and soil moisture on runoff. *Water Resour. Res.* 33(12), 2909-2922.
- Moussa, R., Voltz, M. und Andrieux, P. (2002). Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events. *Hydrol. Process.* 16(2), 393-412.
- Naef, F., Scherrer, S. und Faeh, A.O. (1998). Die Auswirkungen des Rückhaltevermögens natürlicher Einzugsgebiete bei extremen Niederschlagsereignissen auf die Größe extremer Hochwasser. *Schlussbericht des Nationalen Forschungsprogramms 31, VDF Hochschulverlag, Eidg. Techn. Hochschule, Zürich, 143*.
- Naef, F., S. Scherrer and M. Weiler (2002). A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change. *Journal of Hydrology* 267, 1-2,
- Naef, P., Margreth, M., Schmockler-Fackel, P. und Scherrer, S. (2007). Automatisch hergeleitete Abflussprozesskarten. ein neues Werkzeug zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen. *Wasser Energie Luft* 99(3), 267-272.
- Niehoff, D., Fritsch, U. und Bronstert, A. (2002). Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. *Journal of Hydrology* 267(1), 80-93.
- Nippgen, F., McGlynn, B.L. und Emanuel, R.E. (2015). The spatial and temporal evolution of contributing areas. *Water Resour. Res.* 51, 4550-4573.
- Nordmann, B., Göttlein, A. und Binder, F. (2009). Einfluss unterschiedlicher Waldbestockung auf die Abflussbildung - ein Beispiel aus einem

- Wassereinzugsgebiet im Frankenwald. HyWa (Hydrologie und Wasserbewirtschaftung) 53(2), 80–95.
- Pohl, B. (2000). Charakterisierung der hydrologischen Systemparameter des Einzugsgebietes einer Trinkwasserquelle im Karst am Beispiel Röschenz (Nordwestschweiz), zur differenzierten Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen. Diplomarbeit am Institut für Hydrologie (unveröffentlicht).
- Puhlmann, H., Wilpert, K.v. und Sucker, C. (2013). Können Wälder sicheren Hochwasserschutz bieten? AFZ, der Wald : allgemeine Forst-Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge 68(13), 9-11.
- Quinn, P.F. & Beven, K.J. (1993). Spatial and temporal predictions of soil moisture dynamics, runoff, variable source area and evapotranspiration for Plynlimon. Mid-Wales. Hydrol. Process. 7(4), 425-448.
- Ries, F., Kirn, L. und Weiler, M. (2018). Validierung von Oberflächenabflüssen nach Starkregen an Hängen in Baden-Württemberg. Abschlussbericht für die LUBW.
- Rinat, Y., Marra, F., Zocatelli, D. und Morin, E. (2018). Controls of flash flood peak discharge in Mediterranean basins and the special role of runoff-contributing areas. Journal of Hydrology 565, 846-860.
- Robinson, M., Cognard-Plancq, A.-L., Cosandey, C., David, J., Durand, P., Führer, H.-W., Hall, R., Hendriques, M.O., Marc, V., McCarthy, R., McDonnell, M., Martin, C., Nisbet, T., O'Dea, P., Rodgers, M. und Zollner, A. (2003). Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective. Forest Ecology and Management 186(1-3), 85-97.
- Roe, G.H. (2005). Orographic Precipitation. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 33, 645-671.
- Scherrer, S. & Naef, F. (2003). A decision scheme to indicate dominant hydrological flow processes on temperate grassland. Hydrol. Process. 17, 391-401.
- Schmocker-Fackel, P., Naef, F. und Scherrer, S. (2006). Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union, 2006, 3(4), 2063-2100.
- Schneiderman, E.M., Steenhuis, T.S., Thongs, D.J., Easton, Z.M., Zion, M.S., Neal, A.L., Mendoza, G.F. und Walter, M.T. (2007). Incorporating variable source area hydrology into the curve number based model. Hydrol. Process. 21(25), 3420-3430.
- Seidler, C. & Merta, M. (2005). Wissensbasiertes System Flächen gleicher Abflussbildung. Prozess- und skalenbezogene Erfassung und Modellierung der Bildung schneller Abflusskomponenten. Abschlussbericht zum DFG-Bündelprojekt „Abflussbildung und Einzugsgebietsmodellierung“. IHI Zittau (unveröffentlicht).
- Sen, S., Srivastava, P., Dane, J.H., Yoo, K.H. und Shaw, J.N. (2010). Spatial-temporal variability and hydrologic connectivity of runoff generation areas in a North

- Alabama pasture—implications for phosphorus transport. *Hydrol. Process.* 24(3), 342-356.
- Sklash, M.G. & Farvolden, R.N. (1979). The role of groundwater in storm runoff. *Journal of Hydrology* 43 (1-4), 45-65.
- Smakhtin, V.Y. & Masse, B. (2000). Continuous daily hydrograph simulation using duration curves of a precipitation index. *Hydrol. Process.* 14, 1083-1100.
- Steinbrich, A., Leistert, H., Weiler, M. (2016a). Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution. *Environmental Earth Sciences* 75:1423.
- Steinbrich, A., Stoelzle, M. und Weiler, M. (2016b). Generierung von konsistenten Grundlagendaten zur Berechnung von Starkregenereignissen für eine Starkregengefahrenkartierung in BW. Abschlussbericht für die LUBW.
- USDA-SCS. (1972). *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology, Section 4, Chapter 10.* Natural Resources Conservation Service, U.S. Department of Agriculture.
- Wahren, A., Frank, S., Walther, P., Schmidt, W. und Feger, K.-H. (2012). Erstellung eines Leitfadens für Ausgleichsmaßnahmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in den Hochwasserentstehungsgebieten Sachsens. *HyWa (Hydrologie und Wasserbewirtschaftung)* 55(3), 155-165.

A Anhang

A1 Ergebnisse der sechs Ereignisse aller Einzugsgebiete

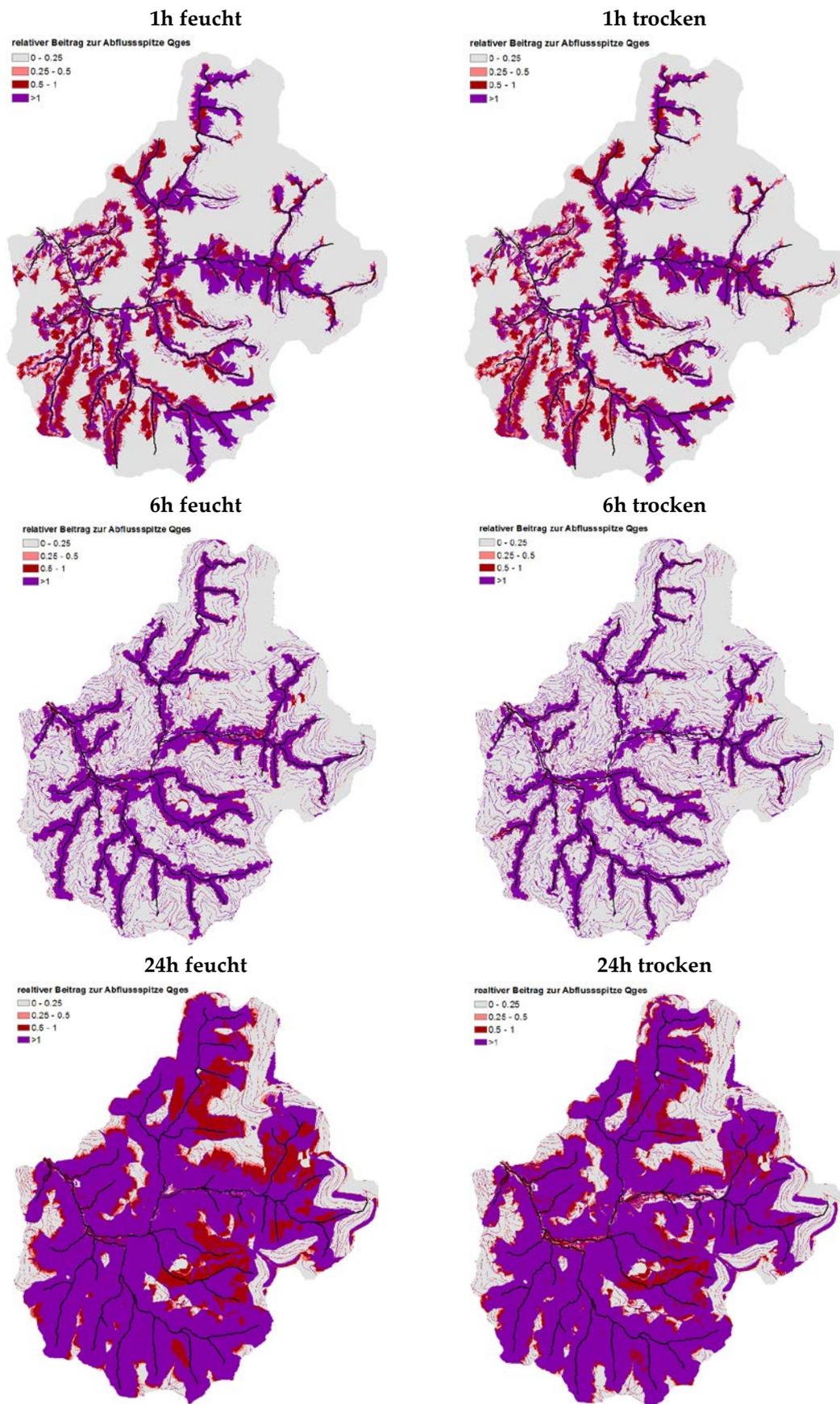


Abbildung A1.1: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Acher.

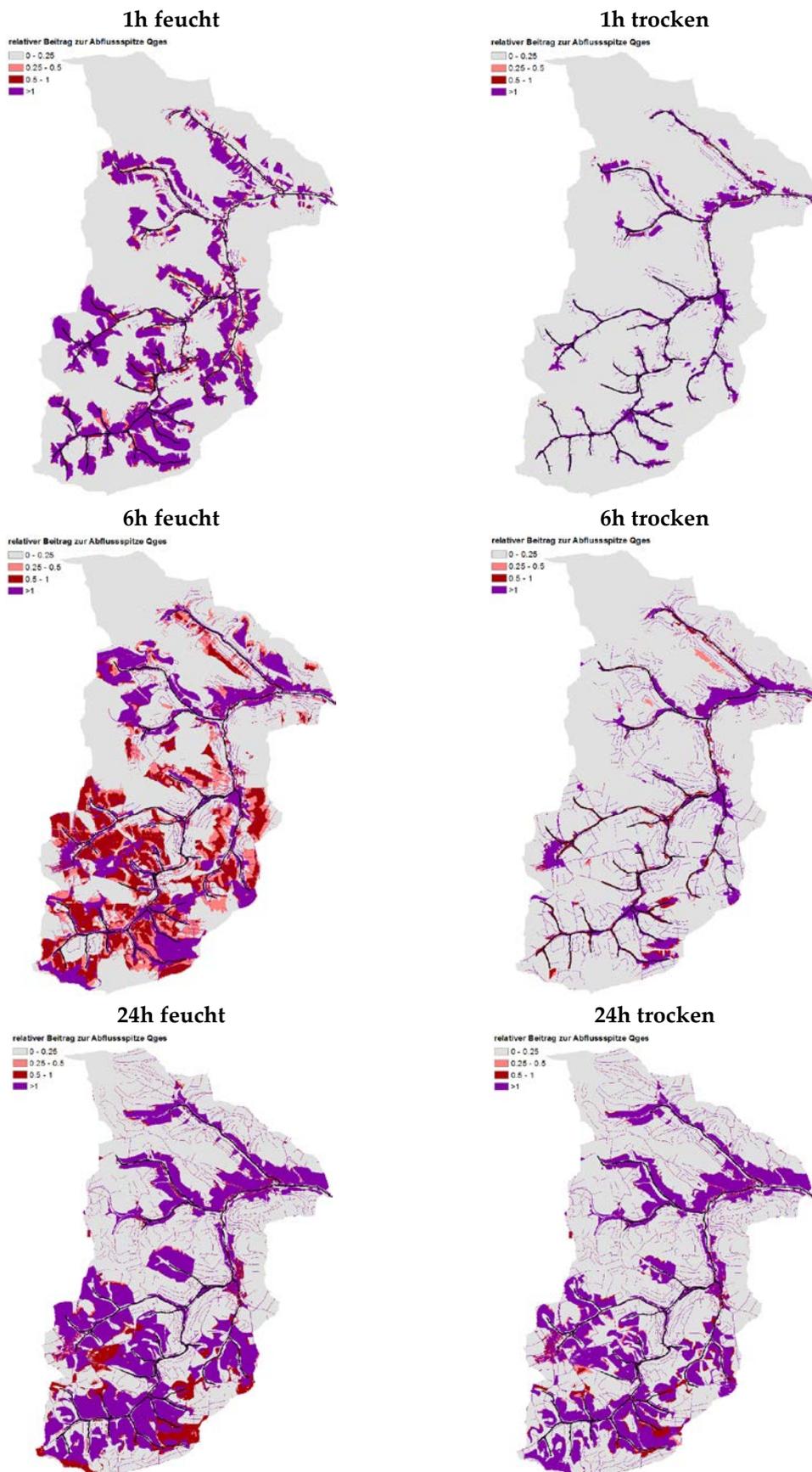


Abbildung A1.2: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG des Brehmbachs.

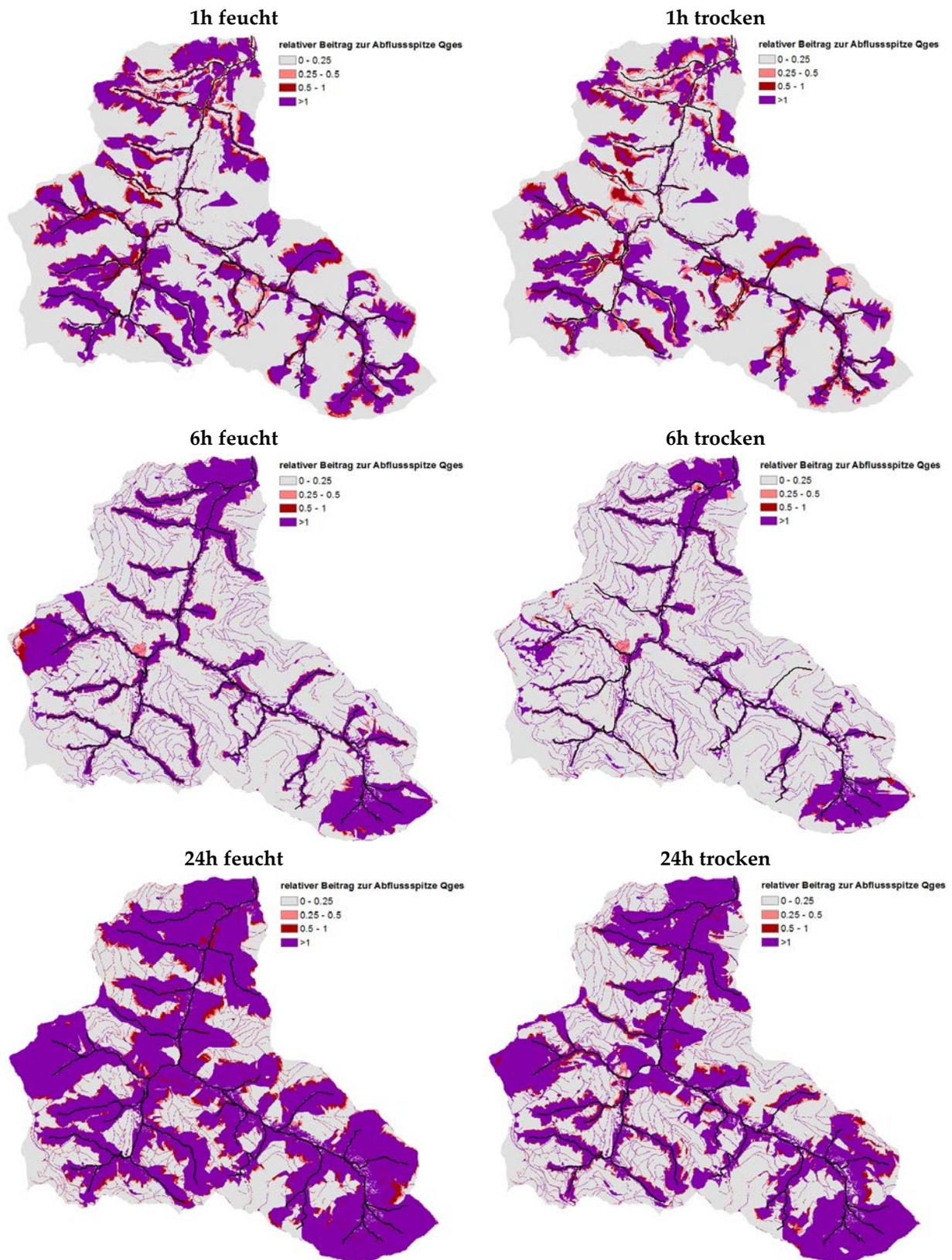


Abbildung A1.3: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Brugga.

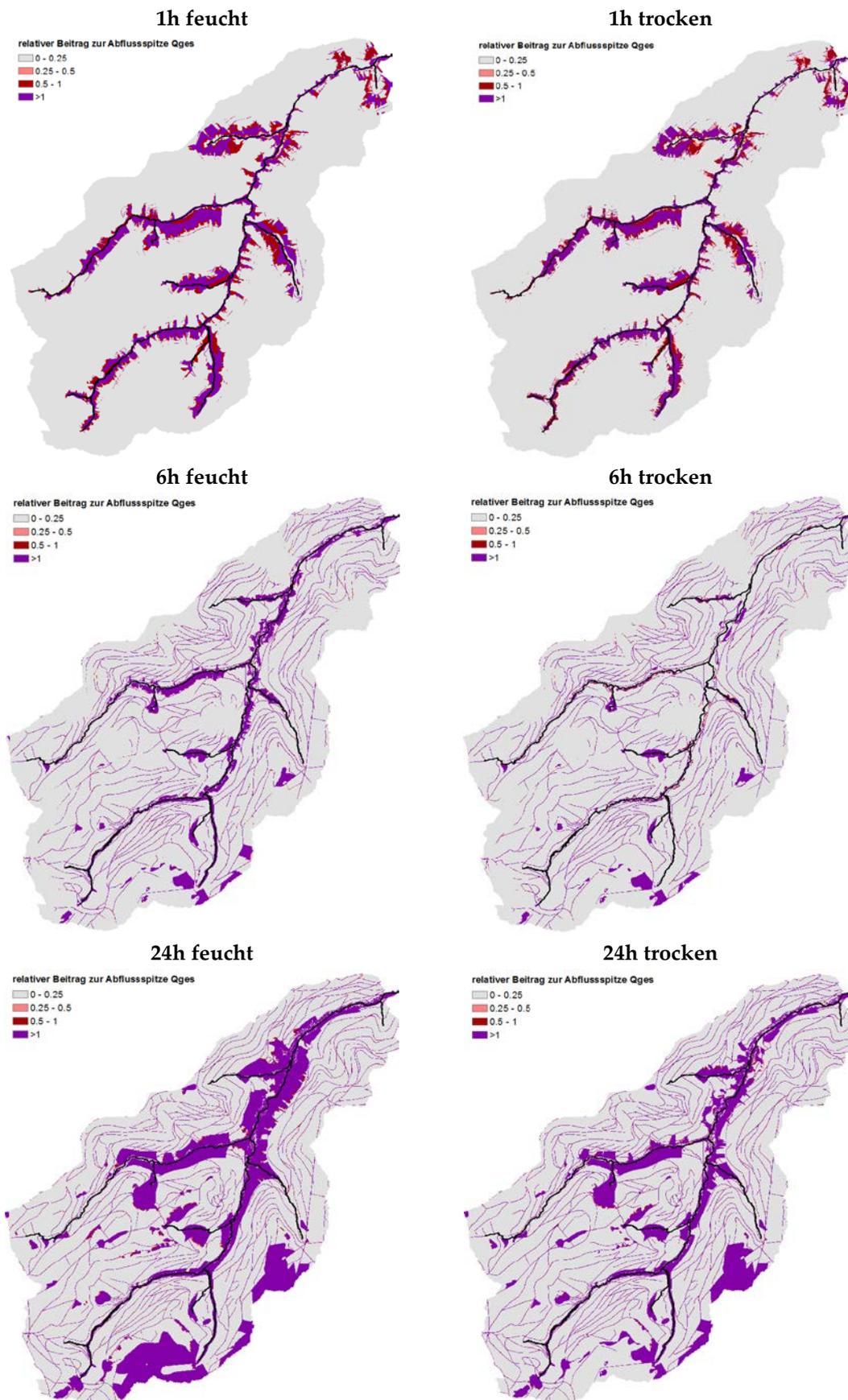


Abbildung A1.4: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Eyach.

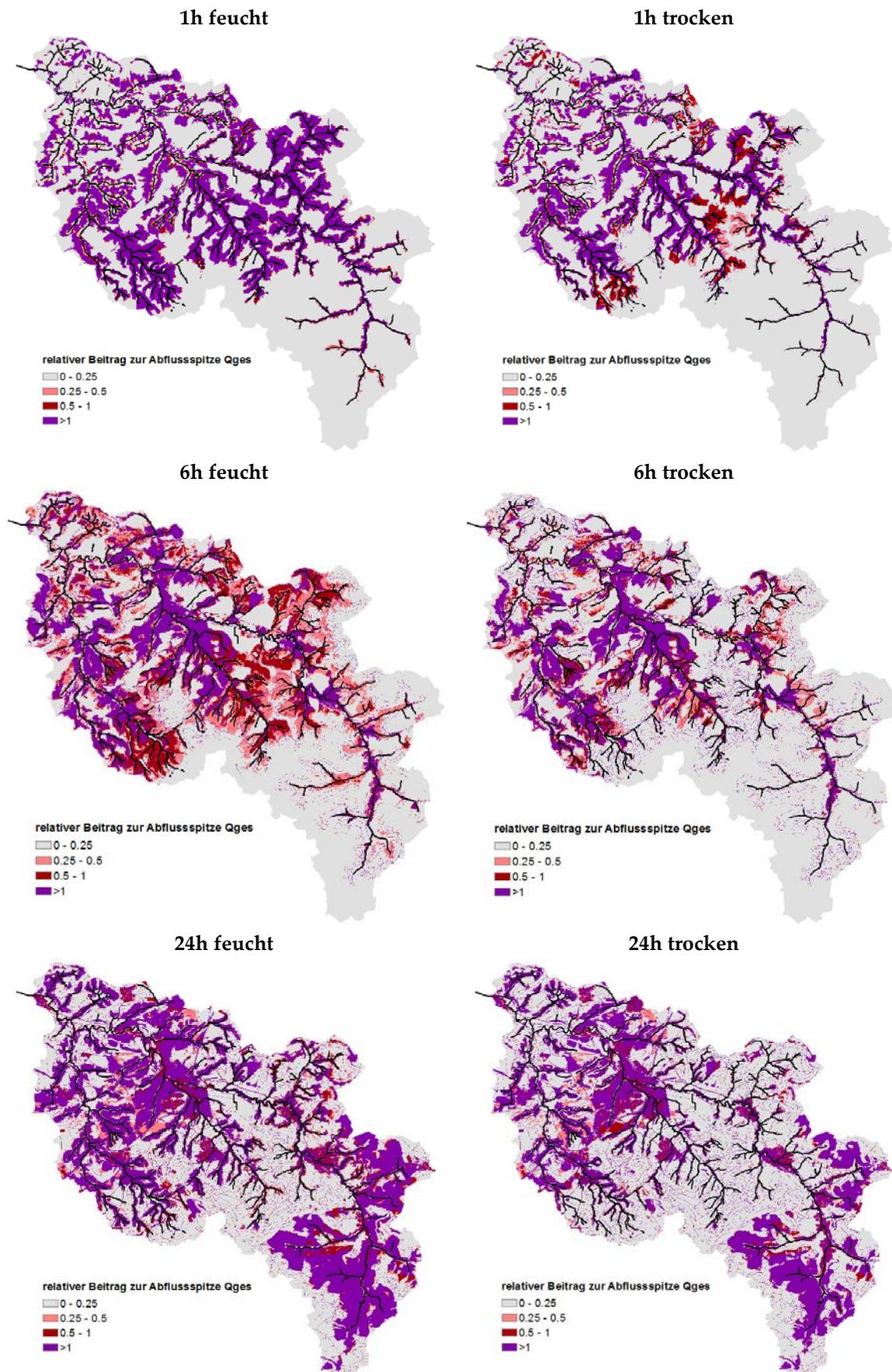


Abbildung A1.5: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Starzel.

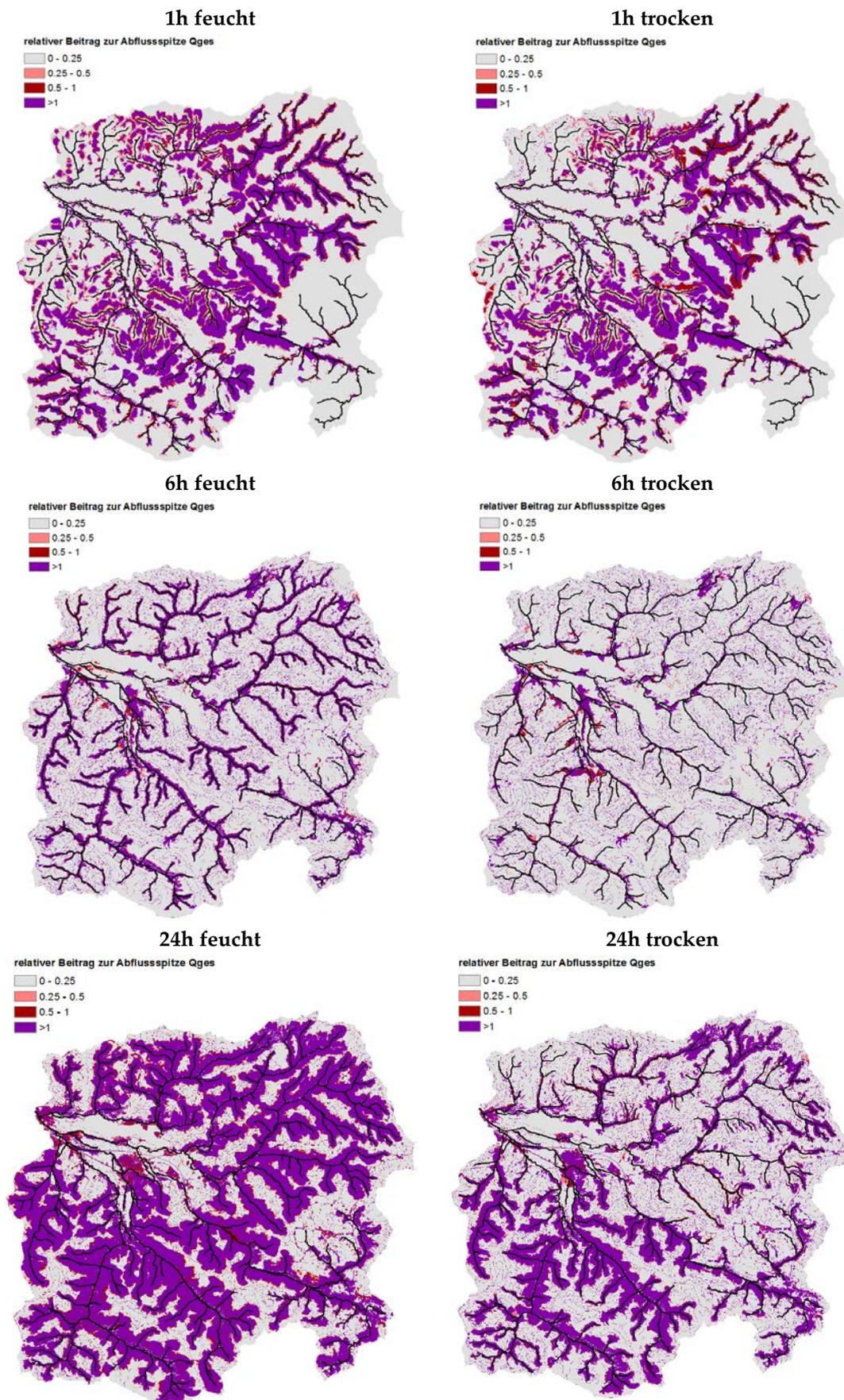


Abbildung A1.6: Relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Qges) zur Abflussspitze für alle 6 Ereignisse im EZG der Dreisam.

A2 Ergebnisse der beobachteten Ereignisse aller Einzugsgebiete

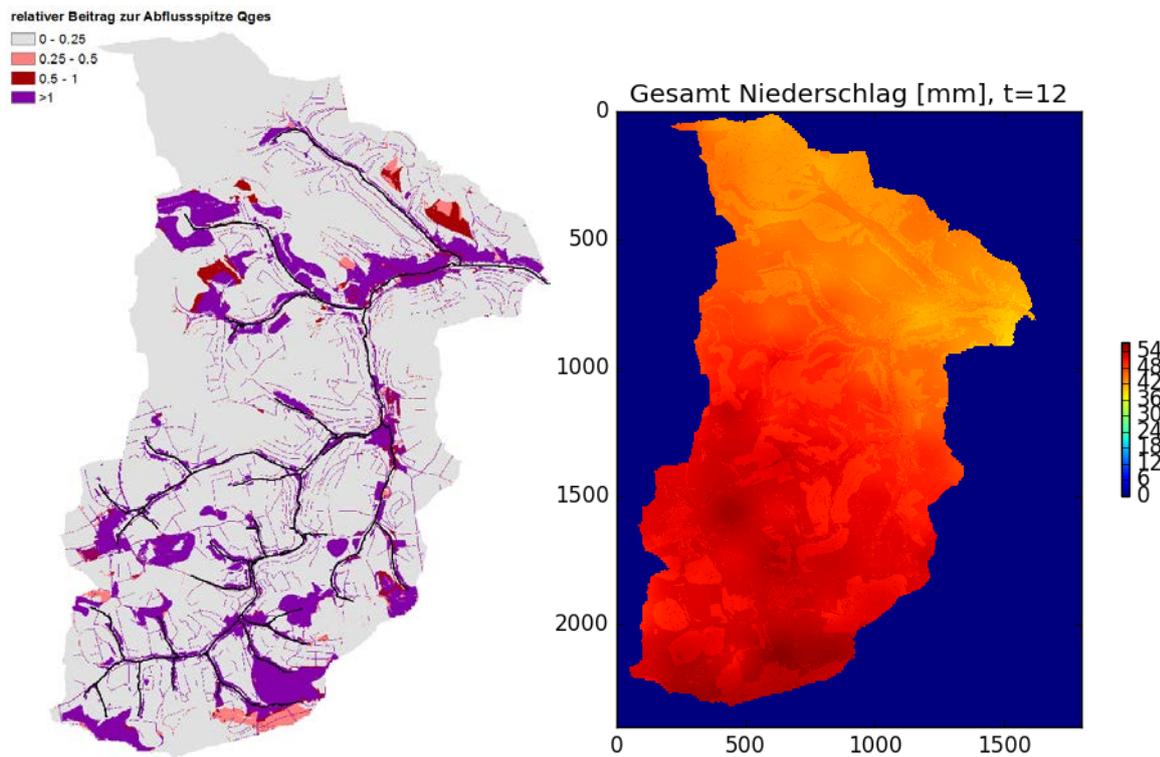


Abbildung A2.1: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 8.8.2007 im EZG des Brehmbachs. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

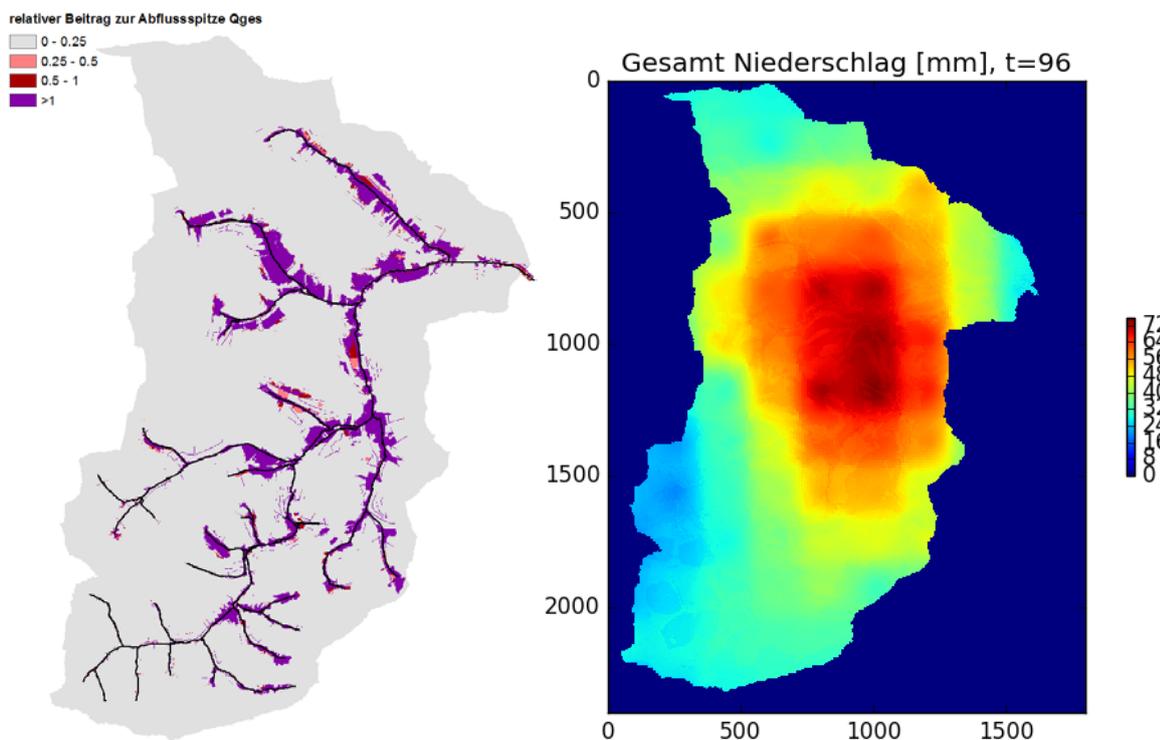


Abbildung A2.2: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 6.6.2011 im EZG des Brehmbachs. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

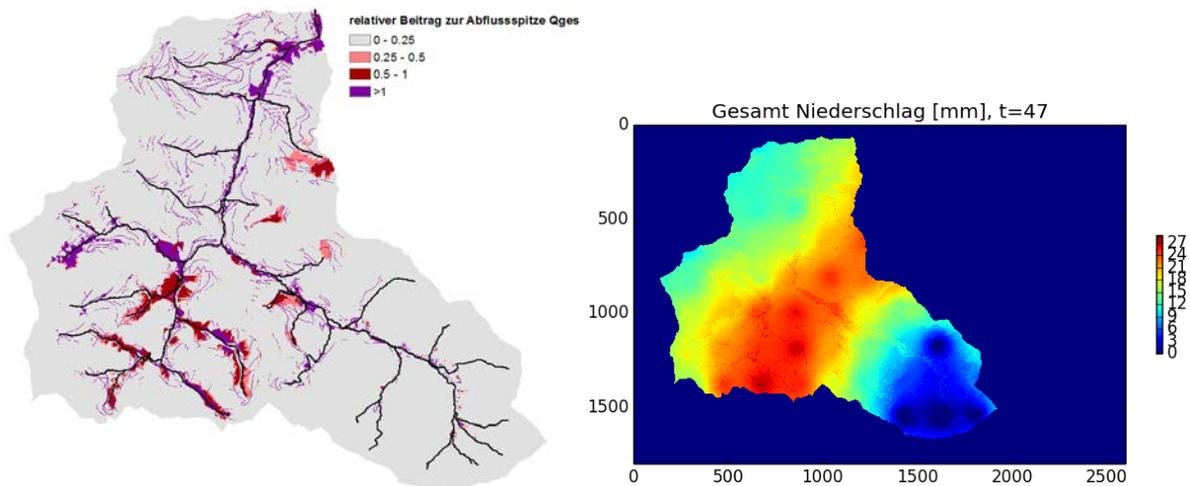


Abbildung A2.3: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 7.9.2006 im EZG der Brugga. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

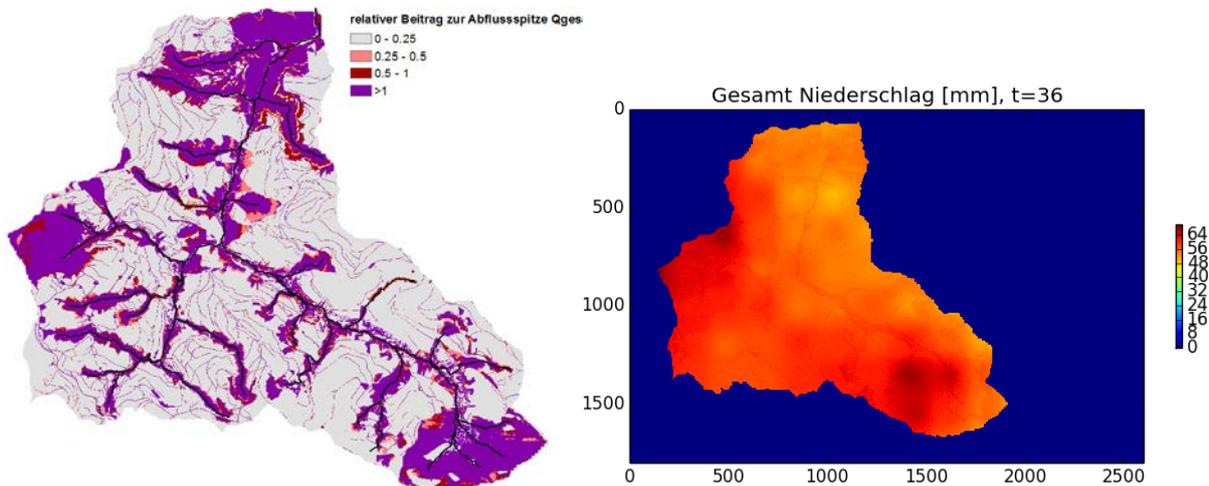


Abbildung A2.4: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 18.9.2006 im EZG der Brugga. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

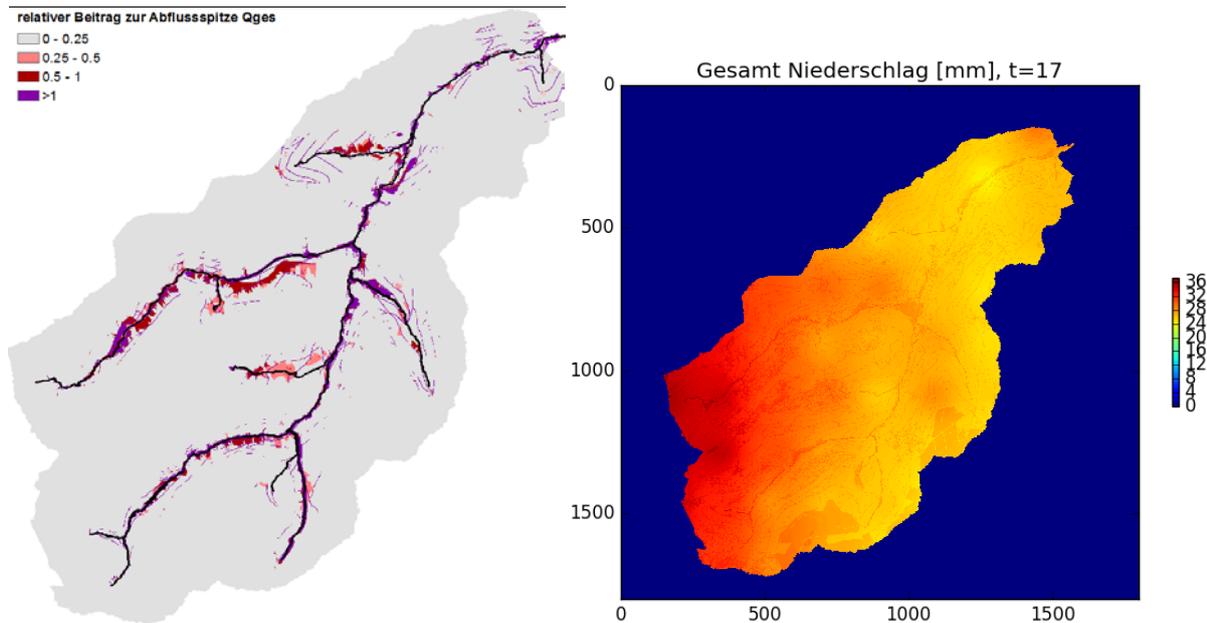


Abbildung A2.5: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 29.7.2005 im EZG der Eyach. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

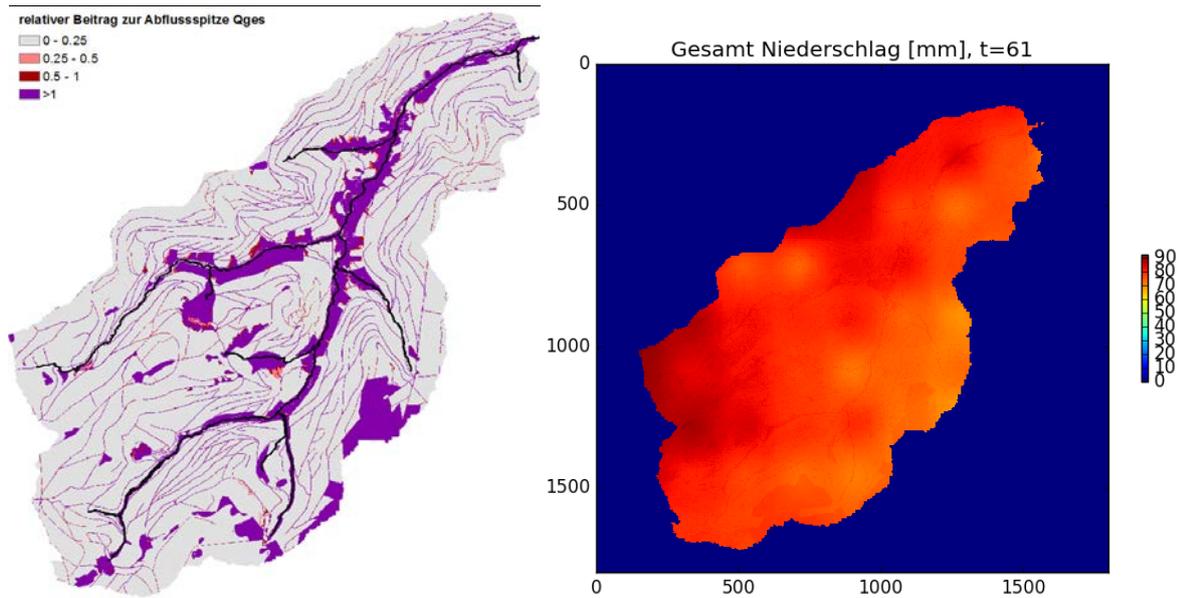


Abbildung A2.6: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 2.10.2006 im EZG der Eyach. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

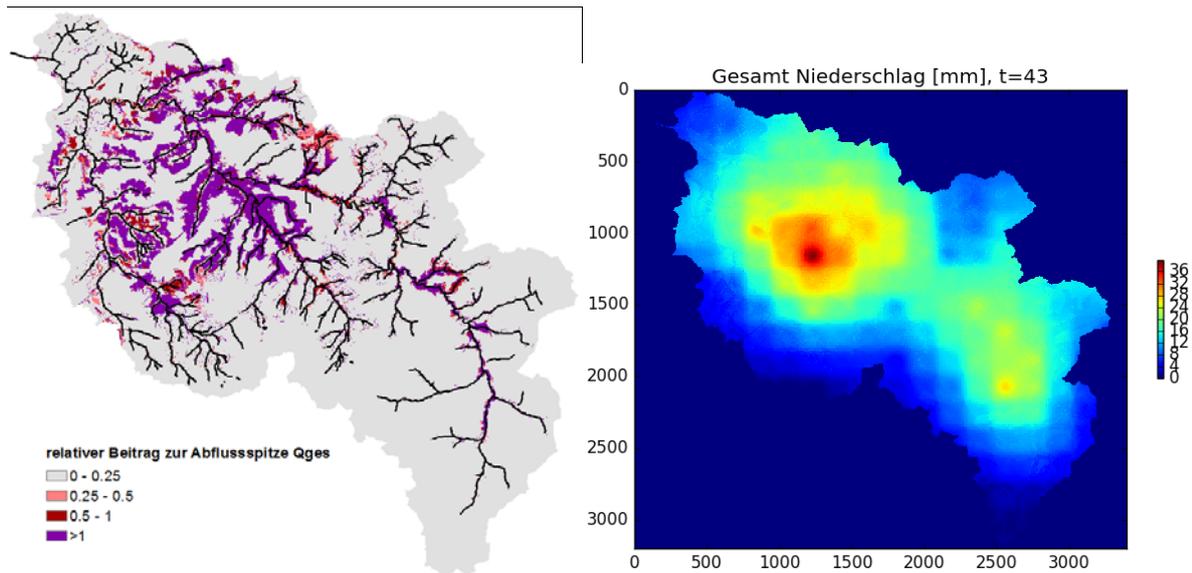


Abbildung A2.7: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 31.5.2008 im EZG der Starzel. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

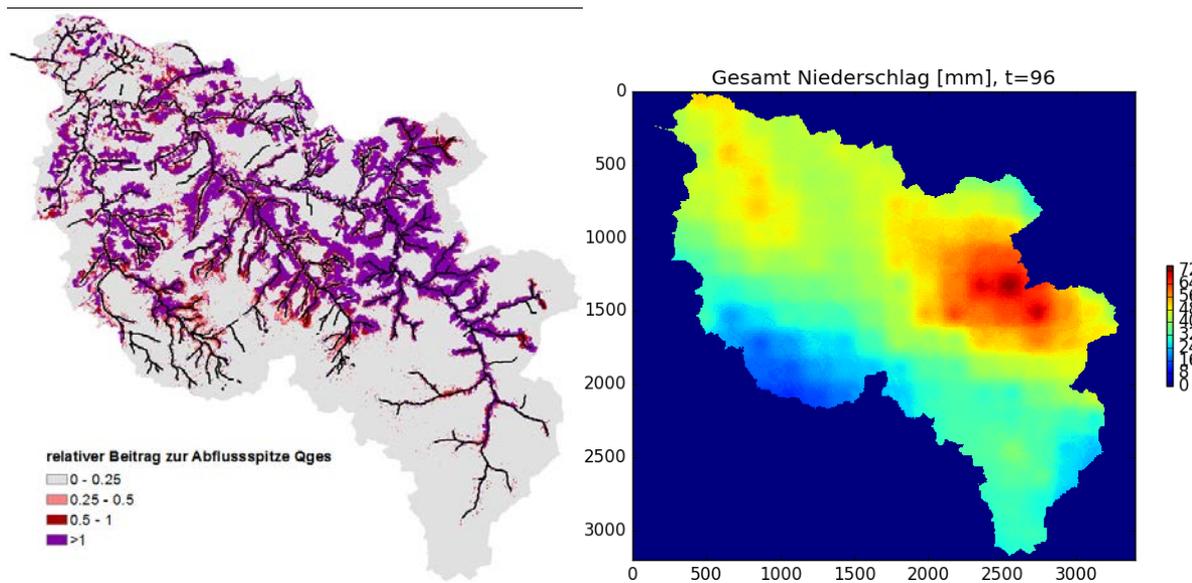


Abbildung A2.8: Links: relativer Beitrag des Gesamtabflusses (Q_{ges}) zur Abflussspitze für ein beobachtetes Ereignis am 2.6.2008 im EZG der Starzel. Rechts: Räumliche Verteilung des Ereignisniederschlags.

A3 Zusammenschau Regelungen Wasserrückhalt in der Fläche

Stand: 12.02.2019

WHG Wasserhaushaltsgesetz

§ 6 [Allgemeine Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung](#)

- Abs. (1) Die Gewässer sind nachhaltig zu bewirtschaften, insbesondere mit dem Ziel,
- Nr. 6 an oberirdischen Gewässern so weit wie möglich natürliche und schadlose Abflussverhältnisse zu gewährleisten und insbesondere durch Rückhaltung des Wassers in der Fläche der Entstehung von nachteiligen Hochwasserfolgen vorzubeugen, Die nachhaltige Gewässerbewirtschaftung hat ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu gewährleisten; dabei sind mögliche Verlagerungen nachteiliger Auswirkungen von einem Schutzgut auf ein anderes sowie die Erfordernisse des Klimaschutzes zu berücksichtigen.

§ 37 [Wasserabfluss](#)

- Abs. (1) Der natürliche Ablauf wild abfließenden Wassers auf ein tiefer liegendes Grundstück darf nicht zum Nachteil eines höher liegenden Grundstücks behindert werden. Der natürliche Ablauf wild abfließenden Wassers darf nicht zum Nachteil eines tiefer liegenden Grundstücks verstärkt oder auf andere Weise verändert werden.
- Abs. (2) Eigentümer oder Nutzungsberechtigte von Grundstücken, auf denen der natürliche Ablauf wild abfließenden Wassers zum Nachteil eines höher liegenden Grundstücks behindert oder zum Nachteil eines tiefer liegenden Grundstücks verstärkt oder auf andere Weise verändert wird, haben die Beseitigung des Hindernisses oder der eingetretenen Veränderung durch die Eigentümer oder Nutzungsberechtigten der benachteiligten Grundstücke zu dulden. Satz 1 gilt nur, soweit die zur Duldung Verpflichteten die Behinderung, Verstärkung oder sonstige Veränderung des Wasserabflusses nicht zu vertreten haben und die Beseitigung vorher angekündigt wurde. Der Eigentümer des Grundstücks, auf dem das Hindernis oder die eingetretene Veränderung entstanden ist, kann das Hindernis oder die eingetretene Veränderung auf seine Kosten auch selbst beseitigen.
- Abs. (3) Aus Gründen des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere der Wasserwirtschaft, der Landeskultur und des öffentlichen Verkehrs, kann die zuständige Behörde Abweichungen von den Absätzen 1 und 2 zulassen. Soweit dadurch das Eigentum unzumutbar beschränkt wird, ist eine Entschädigung zu leisten.
- Abs. (4) Die Absätze 1 bis 3 gelten auch für wild abfließendes Wasser, das nicht aus Quellen stammt.

§ 55 [Grundsätze der Abwasserbeseitigung](#)

- Abs. (2) Niederschlagswasser soll ortsnah versickert, verrieselt oder direkt oder

über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden, soweit dem weder wasserrechtliche noch sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften noch wasserwirtschaftliche Belange entgegenstehen.

BauGB Baugesetzbuch

§ 5 [Inhalt des Flächennutzungsplans](#)

Abs. (2) Im Flächennutzungsplan können insbesondere dargestellt werden:
Nr. 7 die Wasserflächen, Häfen und die für die Wasserwirtschaft vorgesehenen Flächen sowie die Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind;

§ 9 [Inhalt des Bebauungsplans](#)

Abs. (1) Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden:

Nr. 14 die Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser, sowie für Ablagerungen;

Nr. 16

- a) die Wasserflächen und die Flächen für die Wasserwirtschaft,
- b) die Flächen für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses,
- c) Gebiete, in denen bei der Errichtung baulicher Anlagen bestimmte bauliche oder technische Maßnahmen getroffen werden müssen, die der Vermeidung oder Verringerung von Hochwasserschäden einschließlich Schäden durch Starkregen dienen, sowie die Art dieser Maßnahmen,
- d) die Flächen, die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden müssen, um insbesondere Hochwasserschäden, einschließlich Schäden durch Starkregen, vorzubeugen;

WG BW Wassergesetz Baden-Württemberg

§ 12 [Grundsätze](#)

Abs. (3) Das natürliche Wasserrückhaltevermögen ist zu erhalten. Besteht kein natürliches Wasserrückhaltevermögen oder reicht dieses nicht aus, ist es zu verbessern. Der Wasserabfluss darf nur aus wichtigem Grund, insbesondere zum Schutz von Siedlungsbereichen vor Hochwasser, beschleunigt werden.

§ 46 [Verpflichtung zur Abwasserbeseitigung](#)

Abs. (1) Die Abwasserbeseitigung obliegt der Gemeinde. Das Abwasser ist von demjenigen, bei dem es anfällt, dem Beseitigungspflichtigen zu überlassen.

Abs. (2) Die Pflicht der Gemeinde nach Absatz 1 entfällt für

Nr. 1 Straßenoberflächenwasser, das auf Bundes-, Landes- und Kreisstraßen außerhalb der Ortsdurchfahrten anfällt,

Nr. 2 Niederschlagswasser, welches dezentral beseitigt wird, es sei denn die Gemeinde hat den Anschluss an Anlagen der dezentralen Beseitigung oder der öffentlichen Abwasserbeseitigung für nach dem Inkrafttreten dieses Gesetzes bebaute Grundstücke angeordnet,

Nr. 3 das in vor dem Inkrafttreten dieses Gesetzes bestehenden landwirtschaftlichen Betrieben anfallende Abwasser,

Nr. 4 Abwasser, welches nach Absatz 4 von der Beseitigung ausgeschlossen oder für das eine Ausnahme von der Überlassungspflicht zugelassen wurde.

Soweit die Gemeinde nicht zur Beseitigung verpflichtet ist, hat derjenige das Abwasser zu beseitigen, bei dem es anfällt.

LBO BW Landesbauordnung für Baden-Württemberg

§ 33 [Wasserversorgungs- und Wasserentsorgungsanlagen, Anlagen für Abfallstoffe und Reststoffe](#)

Abs. (1) Bauliche Anlagen dürfen nur errichtet werden, wenn die einwandfreie Beseitigung des Abwassers und des Niederschlagswassers dauernd gesichert ist. Das Abwasser ist entsprechend den §§ 55 und 56 des Wasserhaushaltsgesetzes und § 46 des Wassergesetzes für Baden-Württemberg zu entsorgen.

§ 74 [Örtliche Bauvorschriften](#)

Abs. (3) Die Gemeinden können durch Satzung für das Gemeindegebiet oder genau abgegrenzte Teile des Gemeindegebiets bestimmen, dass

Nr. 2 Anlagen zum Sammeln, Verwenden oder Versickern von Niederschlagswasser oder zum Verwenden von Brauchwasser herzustellen sind, um die Abwasseranlagen zu entlasten, Überschwemmungsgefahren zu vermeiden und den Wasserhaushalt zu schonen, soweit gesundheitliche oder wasserwirtschaftliche Belange nicht beeinträchtigt werden.

LEP BW Landesentwicklungsplan Baden-Württemberg

Nr. 4.3.6 Vorbeugender Hochwasserschutz

Zur Sicherung und Rückgewinnung natürlicher Überschwemmungsflächen, zur Risikovorsorge in potenziell überflutungsgefährdeten Bereichen sowie zum Rückhalt des Wassers in seinen Einzugsbereichen sind in den Regionalplänen Gebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz festzulegen.

NiedSc Verordnung des Umweltministeriums über die dezentrale Beseitigung von
hlWasB Niederschlagswasser
esV BW

- § 2 [Anforderungen an die erlaubnisfreie Beseitigung](#)
Abs. (2) Niederschlagswasser wird schadlos beseitigt, wenn es flächenhaft oder in Mulden auf mindestens 30 cm mächtigem bewachsenen Boden in das Grundwasser versickert wird. Niederschlagswasser von Flächen nach Absatz 1 Nr. 1 kann auch in Mulden-Rigolen-Elementen gesammelt und versickert werden. Vor der ortsnahen Einleitung in ein oberirdisches Gewässer sollen die Möglichkeiten zur Rückhaltung des Niederschlagswassers genutzt werden.

BayWG Bayerisches Wassergesetz

- Art. 43 [Besondere Regelungen für bauliche Hochwasserschutzmaßnahmen](#)
Abs. (1) Flächen, die sich zur Hochwasserrückhaltung und -entlastung eignen, sollen vorrangig für diese Zwecke genutzt werden.
- Art. 44 [Grundsätze für den Schutz vor Hochwasser und Dürre](#)
Abs. (1) Zur Minderung von Hochwasser- und Dürregefahren sollen Staat und Gemeinden im Rahmen ihrer Aufgaben auf
1. Erhalt oder Wiederherstellung der Versickerungsfähigkeit der Böden,
 2. dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser,
 3. Maßnahmen zur natürlichen Wasserrückhaltung und zur Wasserspeicherung
- hinwirken. Wasserspeicher sind so zu bewirtschaften, dass Hochwasser- und Dürregefahren gemindert werden.
- Art. 46 [Überschwemmungsgebiete an oberirdischen Gewässern \(Zu § 76, abweichend von § 78 Abs. 5 Satz 1 Nr. 1 Buchst. a und § 78a Abs. 1 Satz 1 Nr. 7 WHG\)](#)
Abs. (2) Für die Ermittlung ist ein Hochwasserereignis zugrunde zu legen, das statistisch einmal in 100 Jahren zu erwarten ist (Bemessungshochwasser); für die Ermittlung des vom Bemessungshochwasser betroffenen Überschwemmungsgebiets kann, soweit eine genauere Ermittlung nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand möglich wäre, der Flächenumfang auch auf Grund geeigneter Höhenangaben und früherer Hochwasserereignisse geschätzt werden. Für Wildbachgefährdungsbereiche ist das Bemessungshochwasser unter Berücksichtigung der wildbachtypischen Eigenschaften auf den Bereich mit signifikantem Hochwasserrisiko zu beziehen. Abweichend von Satz 1 gilt für Gewässer und Gewässerabschnitte im Wirkungsbereich von Stauanlagen, die den Hochwasserabfluss maßgeblich beeinflussen können, für die Ermittlung von Überschwemmungsgebieten jeweils ein gesondertes Bemessungshochwasser, das im Einzelfall auf der Grundlage der allgemein anerkannten Regeln der Technik von den

wasserwirtschaftlichen Fachbehörden festgelegt wird.

Abs. (3) Überschwemmungsgebiete im Sinn des § 76 Abs. 2 WHG und Wildbachgefährdungsbereiche müssen, die sonstigen Überschwemmungsgebiete können durch Rechtsverordnung festgesetzt werden. Nach früherem Recht festgesetzte Überschwemmungsgebiete gelten fort und sind gemäß Abs. 2 zu aktualisieren.

Abs. (7) Ist im Einzelfall bei baulichen Anlagen eine Erfüllung der Ausgleichspflicht für verlorene Rückhalteraum nach § 78 Abs. 5 Satz 1 Nr. 1 Buchst. a WHG nicht möglich, so können die Ausgleichsverpflichteten diese durch Beteiligung an der Maßnahme einer öffentlich-rechtlichen Gebietskörperschaft zur Hochwasserrückhaltung im Gemeindegebiet erfüllen, soweit die öffentlich-rechtliche Gebietskörperschaft zustimmt; § 13 Abs. 2 Nr. 4 WHG gilt entsprechend.

Art. 49 [Verpflichtungen der Anlieger und der Unternehmer von Wasserbenutzungsanlagen](#)

Abs. (2) Soweit es die Abwehr von Wassergefahr erfordert, sind die Unternehmer von Wasserbenutzungsanlagen verpflichtet, ihre Anlagen einschließlich der Nachrichtenmittel für eine Hochwasserrückhaltung oder eine Niedrigwasseraufhöhung einzusetzen. Die Anordnungen über Beginn, Ausmaß und Durchführung der Maßnahmen und über den Nachrichtendienst erlässt das Staatsministerium.

Art. 57a [Vorkaufsrecht \(Zu § 99a WHG\)](#)

Abs. (4) Das Vorkaufsrecht beschränkt sich auf Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes und des natürlichen Rückhalts.

VWWas Verwaltungsvorschriften zum Vollzug des Wasserrechts

Nr. [Zu Art. 43 BayWG - Besondere Regelungen für bauliche](#)

3.7.13 [Hochwasserschutzmaßnahmen](#)

Die Schaffung von Flächen für die Hochwasserrückhaltung und -entlastung hat so hohe Bedeutung, dass dieser Belang nur bei überwiegender Gewichtung anderer Belange des Allgemeinwohls überwunden werden kann.

Gesteuerte Flutpolder sind ein besonders wichtiger Baustein im Gesamtkonzept des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Dies ist in der Abwägung im Rahmen der Planfeststellung zu beachten.

LWG RP Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz

§ 28 [Ausgleich der Wasserführung](#)

Abs. (1) Bei der Sicherstellung eines geordneten Abflussverhaltens haben Maßnahmen der Wasserrückhaltung Vorrang vor abflussbeschleunigenden Maßnahmen.

Abs. (2) Können bei Maßnahmen mit abflussrelevanten Auswirkungen Beeinträchtigungen der Wasserführung weder vermieden noch als nur

unerheblich eingestuft werden, so sind sie im zeitlichen und räumlichen Zusammenhang mit der Durchführung der Maßnahme auszugleichen.

Abs. (3) Die Pflicht zum Ausgleich der Wasserführung obliegt dem, der die Beeinträchtigung verursacht hat.

Abs. (4) Ist eine Beeinträchtigung der Wasserführung nicht nach Absatz 2 ausgleichbar und ist der Ausgleich aus Gründen des Wohls der Allgemeinheit erforderlich, haben die Unterhaltungspflichtigen durch geeignete Maßnahmen den Ausgleich der Wasserführung herbeizuführen und zu sichern. Erstreckt sich der Bereich, in dem die Beeinträchtigung der Wasserführung entstanden oder in dem die Ausgleichsmaßnahme durchzuführen ist, auf das Gebiet mehrerer Unterhaltungspflichtiger, sind diese verpflichtet, die notwendigen Ausgleichsmaßnahmen gemeinsam durchzuführen. § 35 Abs. 2 gilt entsprechend.

LEP RP [Landesentwicklungsprogramm Rheinland-Pfalz](#)

Z111 Niederschlagswasser ist, wo immer aufgrund der natürlichen, technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und aufgrund einer geringen Verschmutzung möglich, vor Ort zu belassen und zu versickern.

zu Z111 Für die Niederschlagsversickerung sind entsprechende Flächen insbesondere im Rahmen der Regional und Bauleitplanung vorzuhalten. Dies trägt auch in Gebieten, die bei lokalen Starkwasserereignissen von einer Abflussverschärfung der Gewässer und einer Überlastung der Kanalisation im Siedlungsbereich betroffen sind, zur Lösung der bestehenden Probleme bei.

LWG NW [Landeswassergesetz Nordrhein-Westfalen](#)

§ 66 Pflicht zum Ausgleich der Wasserführung

Abs. (1) Soweit die im Bewirtschaftungsplan festgelegten Bewirtschaftungsziele und das Maßnahmenprogramm, die allgemeinen Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung nach § 6 des Wasserhaushaltsgesetzes sowie die Vorgaben der §§ 27 bis 31 des Wasserhaushaltsgesetzes für die Bewirtschaftungsziele es erfordern, nachteilige Veränderungen des Abflusses in fließenden Gewässern zweiter Ordnung oder in sonstigen fließenden Gewässern auszugleichen, obliegt es den Kreisen und kreisfreien Städten, durch geeignete Maßnahmen einen Ausgleich der Wasserführung herbeizuführen und zu sichern. Gleiches gilt, wenn ein solcher Ausgleich der Wasserführung einen weitergehenden Ausbau des Gewässers vermeidet. Erstreckt sich der Bereich, in dem der Anlass zu den Ausgleichsmaßnahmen entstanden ist und in dem die Ausgleichsmaßnahmen durchzuführen sind, auf das Gebiet mehrerer Kreise und kreisfreier Städte, sind diese verpflichtet, die notwendigen Ausgleichsmaßnahmen gemeinsam durchzuführen; beschränkt er sich auf das Gebiet einer Gemeinde, ist diese dazu verpflichtet. Sofern die

Gemeinde zum Ausgleich der Wasserführung verpflichtet ist, gilt § 62 Absatz 5.

LEP SL [Landesentwicklungsplan, Teilabschnitt "Umwelt" Saarland](#)

Nr. 2.2.5 Vorranggebiete für Hochwasserschutz (VH)

- 61 [...] Die natürlichen Überschwemmungsflächen der Fließgewässer sollen dem natürlichen Wasserrückhalt und dem schadlosen Wasserabfluss sowie der Minimierung hochwasserbedingter Risiken und Gefahren dienen. Mit der Festlegung von Vorranggebieten für Hochwasserschutz entspricht der Landesentwicklungsplan, Teilabschnitt „Umwelt“, den drei Entschlieungen der Ministerkonferenz für Raumordnung: „Beiträge räumlicher Planungen zum vorbeugenden Hochwasserschutz“ vom 8. März 1995 „Grundsätze und Ziele der Raumordnung und Landesplanung zu einem grenzübergreifenden vorbeugenden Hochwasserschutz“ vom 29. März 1996 und „Handlungsempfehlungen zum vorbeugenden Hochwasserschutz durch die Raumordnung“ vom 14. Juni 2000.
- 62 Vorranggebiete für Hochwasserschutz (VH) dienen der Erhaltung der Flussniederungen für den Hochwasserrückhalt und den schadlosen Hochwasserabfluss sowie zur Vermeidung von nachteiligen Veränderungen der Flächennutzungen, die die Hochwasserentstehung bzw. -entwicklung begünstigen und beschleunigen. Die in Vorranggebieten für Hochwasserschutz (VH) angestrebte Sicherung von Retentionsräumen soll leistungsfähige Querschnitte im Siedlungsbereich und in der freien Landschaft zur Dämpfung und Verzögerung der Hochwasserspitzenabflusse ermöglichen mit dem Ziel, dass Schäden durch Hochwasser vermindert werden.

Rechtsprechung **VHG Baden-Württemberg**

[AZ: 2 S 2938 / 08](#)

- 11.03.2 Zur Erhebung einer nach dem Frischwassermastab berechneten
010 einheitlichen Abwassergebühr für die Schmutz- und Niederschlagswasserentsorgung