

Bodenhydrologische Karte Baden-Württemberg

FRANK WALDMANN



Impressum

Herausgeber: Regierungspräsidium Freiburg
Abt. 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br.
Telefon: (0761) 208-3000 (Zentrale) bzw. -3022 (Vertrieb),
Fax Poststelle: (0761) 208-3029
E-Mail: abteilung9@rpf.bwl.de bzw. vertrieb-lgrb@rpf.bwl.de
<http://www.lgrb-bw.de> bzw. <http://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/Abt9>

Bearbeiter: FRANK WALDMANN

Bearbeitungsstand: Juni 2017

© Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Titelbild: Zwischenabfluss (SSF) in präferenziellen Fließwegen – Beregnungsversuch auf Tonböden (Pelosole) am Hang unter Wald (Schönbuch bei Herrenberg).



Bodenhydrologische Karte Baden-Württemberg

Bearbeiter:

Dr. FRANK WALDMANN

Regierungspräsidium Freiburg – Abteilung 9:
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RPF-LGRB)

LGRB-Fachbericht	2017/2	25 S. + 9 S. im Anhang	9 Abb. + 16 Abb. im Anhang	5 Tab.	Freiburg i. Br., Juni 2017
------------------	---------------	------------------------------	----------------------------------	--------	-------------------------------



Inhalt		Seite
1	Einleitung	3
2	Datengrundlagen und Methoden	4
3	Ergebnisse	8
4	Plausibilisierung	16
4.1	Vergleiche mit Basisabfluss aus WaBoA	18
4.2	Vergleiche mit schnellen Abflusskomponenten aus WaBoA	19
4.3	Vergleiche mit Abflusskomponenten nach LARSIM	22
5	Zusammenfassung	24
	Literatur	25
	Anhang	26



1 Einleitung

Hydrologische Abflussprozesse können im Gelände unter Berücksichtigung der Abfluss prägenden Faktoren Boden, Relief und Landnutzung mit Hilfe von Bestimmungsschlüsseln beschrieben und in Abflusstypen eingeteilt werden (SCHERRER 1997, NAEF et al. 2000). Die in den letzten Jahren erzielten Fortschritte bei der Identifikation und Kartierung der bei Hochwasser dominanten Abflussentstehungsprozesse wurden u. a. in Rheinland-Pfalz systematisch weiterentwickelt, dort landesweit erhoben und in Hochwasservorhersagemodelle integriert (LUWG 2006, 2010a, 2010b, 2013, HAAG et al. 2015). Im Fachausschuss „Quantitative Hydrologie“ der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) wird aktuell ein Leitfaden zur Bodenhydrologischen Kartierung erarbeitet.

Die einzelnen Abflussprozesstypen sind durch eine charakteristische Abflussreaktion in den Vorflutern gekennzeichnet, welche bei intensiven, ergiebigen Niederschlägen auftritt. Dabei ist zu beachten, dass auf Flächen mit einem dominanten Abflussprozesstyp auch andere untergeordnete Abflussreaktionen stattfinden und je nach Niederschlagsintensität und -mengen unterschiedliche Abflussprozesstypen auftreten können. Bei geringen Niederschlagsintensitäten und -mengen verschiebt sich das Abflussgeschehen in Richtung Tiefensickerung und langsamer Zwischenabfluss, während bei Starkregen generell der Anteil an Direktabfluss zunimmt und bei Extremereignissen dominiert. Aber auch bei lang anhaltenden Niederschlägen geringerer Intensität, die über die Gesamtdauer hohe Niederschlagsmengen beisteuern, können zur Bodensättigung und damit zum Sättigungs- und Zwischenabfluss führen.



Abb. 1: Zwischenabfluss (SSF) in präferenziellen Fließwegen – Beregnungsversuch auf Tonböden (Pelosole) am Hang unter Wald (Schönbuch bei Herrenberg).

Aus der Ermittlung der jeweils dominierenden Abflussprozesse kann eine entsprechende Abflussprozesskarte abgeleitet und auf die Fläche mithilfe eines expertengestützten Verfahrens unter Nutzung von Boden-, Relief- und Landnutzungsdaten übertragen werden (LUWG 2006, 2010a).

In Analogie zur Vorgehensweise in Rheinland-Pfalz wird der für Baden-Württemberg erstellte Datensatz „Bodenhydrologische Karte“ und die dort aufgeführten Elemente „Bodenhydrologische Einheiten“ (BHE) genannt. Die verwendeten Begriffe und Kürzel lehnen sich an die Abflussprozesstypen von SCHERRER (1997) und NAEF et al. (2000) an.

Für großräumige Gebietscharakterisierungen wurde auf Basis von Geologie, Boden und Relief in Baden-Württemberg bereits 2006 ein Landschaftsfaktor ermittelt. Diese inhaltlich und räumlich stark generalisierte, empirische Kenngröße umfasst sämtliche regionalen, landschaftsräumlichen Einflüsse (LfU 2006). Sie erklärt über 80 % der Streuung der Hochwasserabflusskennwerte und ist die zweitwichtigste Größe im Regionalisierungsmodell der Niedrigwasserabflussspenden (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2012 – WaBoA Themen 3.7 & 3.8).

Der Verfügbarkeit hochauflösender, geowissenschaftlicher, digitaler Kartenwerke kommt im Forschungs- und Anwendungsbereich eine stetig wachsende Bedeutung zu. Die Bodenhydrologische Karte ist ein Baustein für die Hochwasserschutz- und die Umweltplanung. Sie kann zur Verbesserung hydrologischer Modelle und besonders, in Ergänzung numerischer Modellergebnisse, zum Prozessverständnis und zur Lokalisierung von Hochwasserentstehungsgebieten beitragen. Sie erleichtert die Auswahl und die Einrichtung von Messstellen sowie die Ausgestaltung von Messprogrammen z. B. bei Untersuchungen zu Stoffflüssen auf Landschaftsebene.

2 Datengrundlagen und Methoden

Die Datengrundlagen der drei Themenbereiche Boden, Relief und Landnutzung liegen in unterschiedlichen Formaten (Raster und Vektor) und verschiedenen räumlichen Auflösungen vor (Tab. 1). Die Bodendaten (BK50) sind für den Maßstabsbereich 1 : 25 000 bis 1 : 50 000 konzipiert. Die Relieffdaten gehen auf das hoch aufgelöste Digitale Geländemodell DGM1 zurück und wurden in einem 10 x 10 m Raster ausgewertet (sciLands 2014). Die verwendeten einzelnen Reliefparameter wurden in Klassen zusammengefasst (Tab. 3), so dass sich auch hier größere Raumeinheiten ergaben. Die Landnutzungsdaten haben einen Auflösungsbereich von ca. 500 x 500 m.

Die Daten zu Boden, Relief und Landnutzung werden im Vektorformat miteinander verknüpft, Kleinstflächen <1 ha gelöscht und anschließend in ein 10 x 10 m Raster überführt.



Tab. 1: Datengrundlagen

Thema	Quelle
Landnutzung	CORINE Land Cover (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2012)
Boden und Untergrund	Bodenkarte von Baden-Württemberg BK50 (LGRB 2016)
Relief	Reliefparameter im 10 m Raster (sciLands 2014) abgeleitet aus dem Digitalen Geländemodell DGM1 (LGL)

Der Bestimmungsschlüssel zur Ermittlung von Abflussprozessstypen mit zahlreichen Einzelparametern war ursprünglich für die Erhebung und Beurteilung von Einzelstandorten und kleinen Einzugsgebieten konzipiert. Für die Übertragung auf größere Einzugsgebiete muss die Verfahrensweise vereinfacht und an die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen angepasst werden (LUWG 2010a). Die verwendete Methodik um Bodenhydrologische Einheiten (BHE) aus den Angaben zu Boden, Untergrund, Relief und Landnutzung abzuleiten, ist in den Tabellen 3 und 5 ausführlich, vollständig und transparent dokumentiert. Die BHE sind somit jederzeit reproduzierbar und gegebenenfalls auch außerhalb von Baden-Württemberg einsetzbar.

Eine Wasserbewegung im Boden findet verbreitet auf präferenziellen Fließwegen statt (Abb. 1). Diese werden i. d. R. nicht mit den üblichen Bodenwasserhaushaltsgrößen nutzbare Feldkapazität (nFK), Luftkapazität (LK) und Wasserdurchlässigkeit (kf) erfasst und werden somit auch bei Abflussmodellierungen kaum berücksichtigt. Sie können jedoch in Bestimmungsschlüsseln integriert werden (Tab. 4).

Tab. 2: Bodenhydrologische Einheiten (BHE) in Anlehnung an die Abflussprozessstypen nach SCHERRER (1997) und NAEF et al. (2000)

Kürzel		Erläuterung	Abflussintensität, Reaktionszeit
HOF	DA	Horton'scher Oberflächenabfluss (Hortonian overland flow)	Direkt-abfluss
SOF		Gesättigter Oberflächenabfluss (Saturated overland flow)	
SSF	Zwischenabfluss (Subsurface flow)		
DP	Tiefensickerung (Deep percolation)		
DP _{Karst}	Tiefensickerung im Karst		
DP=	Stark verlangsamte und reduzierte Tiefensickerung		
...			
...1			sofort, rasch
...2			verzögert
...3			stark verzögert



Tab. 3: Merkmale zur Standortsabgrenzung der Bodenhydrologischen Einheiten

Thema	Merkmal	Hinweis
Landnutzung		drei Klassen: Acker, Grünland und Wald
Relief	Form	vier Klassen: Kulminationsbereiche, Tiefenbereiche & Verebnungen, abflusslose Hohlformen, Hänge
	Hangneigung	vier Klassen: <6 %, 6–18 %, 18–30 %, >30 %
	Entfernung Tiefenlinie	horizontale Entfernung zwei Klassen: <100 m und >100 m
Boden	Wasserdurchlässigkeit	vier Klassen
	Wasserspeichervermögen und mechanische Gründigkeit	zwei Klassen: nFK <50 mm mit Gründigkeit <30 cm, „alle anderen“
	Verschlämmungsneigung	zwei Klassen
	Bodentyp	neun Klassen
Untergrund	Aufbau	drei Klassen: Lockergestein, Festgestein (kein Karst), Festgestein (Karst)
	Wasserdurchlässigkeit	drei Klassen

Die Abgrenzung der benötigten Reliefeinheiten (Tab. 3 und 5) erfolgt automatisiert mit folgenden Festlegungen und teilweiser manueller Anpassung:

- Zur Festlegung der Kulminationsbereiche wurde ein Scheitelbereichsindex von 0,25 sowohl für das Bergland als auch für das Flachland verwendet.
- Großräumige abflusslose Hohlformen (Subrosionssenken im Gipskeuper) wurden auf Grundlage der BK50 und des DGM5 manuell abgegrenzt. Abflusslose Hohlformen im Karst (Dolinen) wurden nicht übernommen, da die Karstgebiete i. d. R. insgesamt nur einer Bodenhydrologischen Einheit zugewiesen wurden.
- Flächen mit einer Hangneigung <3 % wurden mit Hilfe der Beschreibungen der dort vorkommenden Böden in die beiden Reliefeinheiten „Tiefenbereiche & Verebnungen“ oder „Hänge <6 % Neigung“ aufgeteilt.
- Kolluvien, Auenböden und Moorböden wurden ohne weitere Reliefunterteilung aus der BK50 übernommen.

Die Sonderflächen der BK50 (Siedlungen, Rohstoffabbauflächen, Auffüllungen, Abgrabungen und größere Gewässer) werden keiner Bodenhydrologischen Einheit zugewiesen und werden im Datensatz mit „keine Angaben“ geführt.

Das Abflussgeschehen wird, neben den Niederschlägen, wesentlich vom Boden und seiner Lage im Relief bestimmt. Dabei ist die Wasserdurchlässigkeit für das Kompartiment Boden und Untergrund die wichtigste Steuergröße.

Horton'scher Oberflächenabfluss (HOF) tritt auf, wenn die Niederschlagsintensität das Infiltrationsvermögen der Bodenoberfläche übersteigt. Dies tritt vor allem bei

verschlämmtem Oberboden unter Ackernutzung auf geneigten Flächen auf. Er hängt somit auch von der Bodenbedeckung (Pflanzenbewuchs, Mulch) und der Zeitdauer seit der letzten Bodenbearbeitung ab. Je länger die letzte Bodenbearbeitung zurückliegt und je häufiger Niederschläge bereits zu einer Oberbodenverschlammung führten, desto schneller und intensiver tritt HOF auf. Andererseits behindert eine häufige, intensive Bodenbearbeitung die Regenwurmaktivitäten, zerstört die Regenwurmgänge und reduziert somit die Wasserdurchlässigkeit und das Infiltrationsvermögen im Oberboden.

Sind die Poren im Oberboden wassergesättigt, führt weiterer Niederschlag zu Gesättigtem Oberflächenabfluss (SOF). Die Ursachen für die Wassersättigung sind, neben den Niederschlägen, ein sehr geringes Wasserspeichervermögen, eine geringe Wasserdurchlässigkeit im gesamten Bodenprofil oder auch nur in einzelnen Bodenhorizonten (z. B. Stauhorizonte, Pflugsohle) sowie ein geringer Grundwasserflurabstand. Ferner tritt SOF auf, wenn Zwischenabfluss, z. B. am Unterhang, wieder an der Bodenoberfläche austritt.

Die Relevanz der Einzelfaktoren, z. B. Verschlammung und/oder Pflugsohle, und damit die Festlegung ob HOF oder SOF als dominanter Abflusstyp auftritt, ist oft nicht eindeutig festzulegen. Deshalb wird an Hängen und bei Kolluvien nicht zwischen HOF und SOF unterschieden. Somit wird auch die Anzahl der verschiedenen Bodenhydrologischen Einheiten begrenzt (Tab. 5). HOF und SOF werden undifferenziert als Direktabfluss (DA) gekennzeichnet (Tab. 2 und 4). In Tiefenbereichen und Verebnungen werden Flächen mit SOF separat ausgewiesen. Hier handelt es sich bevorzugt um Grund- und Stauwasserböden.

Der Begriff Zwischenabfluss (SSF) umfasst laterale Wasserbewegungen im Boden und im Untergrund oberhalb des Grundwassers. Wird die vertikale Sickerwasserbewegung durch gering durchlässige Schichten im Boden, in der Verwitterungszone oder im Untergrund behindert, findet bei entsprechender Hangneigung ein lateraler Wasserfluss statt. Entwässerte Moore werden hier als Sonderfall in die Kategorie SSF3 eingruppiert. Drainagen und Gräben entwässern die Moorflächen kontinuierlich und langsam.

Bei allen Standorten mit mäßiger bis hoher Wasserdurchlässigkeit oder mit geringer Reliefenergie dominiert die Tiefensickerung (DP). Zwei Sonderfälle werden zusätzlich unterschieden.

- Bereiche, die nicht signifikant zu Hochwasserereignissen beitragen, jedoch keine ausgeprägte Tiefenversickerung oder laterale Wasserbewegung aufweisen ($DP=$). Hierbei handelt es sich um nicht drainierte und entwässerte Moorflächen. Ein zusätzliches Wasserdargebot wird durch steigende Wasserstände mit einer horizontalen Ausdehnung der gesättigten Flächen aufgefangen. Sowie um weit von der Tiefenlinie entfernte, flache Kulminationsbereiche mit gering wasserdurchlässigen Böden. Hier findet nur eine sehr langsame vertikale und/oder auch sehr langsame laterale Wasserbewegung statt.
- Karstbereiche werden ebenfalls separat gekennzeichnet (DP_{Karst}). Hier findet eine ausgeprägte Tiefensickerung statt. Der Grundwasserabfluss im Karst vollzieht sich teilweise mit extrem hohen Fließgeschwindigkeiten, womit die schnellen Abflussanteile im Vorfluter nur untergeordnet auf Direktabflüsse zurückzuführen sind. Bei einer Aufteilung der Abflussganglinien im Karst treten



erhebliche schnelle Abflussanteile auf, die vom Prozess grundwasserbürtigen Abfluss darstellen.

Die Bodenhydrologischen Einheiten (BHE) repräsentieren landesweit weitgehend einen dominanten Abflussprozesstyp. In einigen Fällen wäre eine derart starke Vereinfachung nur unter in Kaufnahme von deutlichen Informationsverlusten möglich. Hier wurden BHE gebildet, die sich aus zwei Abflussprozesstypen zusammensetzen (Tab. 4 und 5).

Tab. 4: Weitere Ausdifferenzierung einzelner Bodenhydrologischer Einheiten, die sich aus mehreren Abflussprozesstypen zusammensetzen (Kürzel der BHE siehe Tab. 2)

Bodenhydrologische Einheit (BHE)	Niederschlagstyp		
	Landregen	Starkregen	
		Acker	Grünland, Wald
DA1	SOF1	HOF1	SOF1
DA2	SOF2	HOF2	SOF2
DA3	DP	HOF3	SOF3
DPDA2	DP	HOF2	SOF2
DPDA3	DP	HOF3	SOF3
DPSSF2	DP	SSF2	SSF2
DASSF3	SSF3	HOF3	SOF3

3 Ergebnisse

Zur Festlegung und Abgrenzung der BHE werden 29 verschiedene Boden-Untergrund-Kombinationen sowie 10 Relief- und 3 Landnutzungsdifferenzierungen verwendet. Dies ergibt landesweit insgesamt 519 Untergrund-Boden-Relief-Landnutzungs-Kombinationen, die mit neun unterschiedlichen BHE belegt werden. Bezieht man die Differenzierung der Reaktionszeiten mit ein, ergeben sich insgesamt 16 verschiedene BHE (Tab. 2 und 5).

Die hier ausgewiesenen BHE dienen zu einer allgemeinen Standorts- und Gebietskategorisierung. Abflussprozesse sind in der Realität keine statischen Größen. Sie können im selben Einzugsgebiet in Abhängigkeit von Niederschlagsintensität und -menge sowie Bodenvorfeuchte variieren (STEINBRICH et al. 2016). Kleinräumig, auf Flurstück- und Schlagebene, spielt zusätzlich die Bodenbedeckung und Bodenbewirtschaftung eine große Rolle.

Abbildung 2 vermittelt einen Eindruck über die Verteilung der BHE in Baden-Württemberg. Bei der hier notwendigen verkleinerten Darstellung sind kleinräumige Differenzierungen nicht mehr erkennbar. Mit relativ einheitlicher BHE treten die Schwäbische Alb (DP_{Karst}), der Schwarzwald (SSF1) und die Oberrheinebene (DP) hervor. Im Albvorland und im Keuperbergland sind noch deutlich Flächen mit Zwischenabfluss (SSF2, SSF3) erkennbar. In Oberschwaben, im Kraichgau und in Hohenlohe kommen unterschiedliche, mitunter kleinräumig wechselnde BHE vor.



Die mit der hier praktizierten Vorgehensweise erzielbaren inhaltlichen und räumlichen Differenzierungen sind in Kartenausschnitten beispielhaft für den Kraichgau, Hohenlohe, Keuperbergland, Albvorland, Bodenseegebiet und Schwarzwald dokumentiert (Abb. 3a bis f).

Im Kraichgau (Abb. 3a) treten in den Lössgebieten vor allem vier verschiedenen BHE auf:

- Tiefensickerung (DP) unter Wald und soweit vorhanden auf flacheren Kulminationsbereichen
- Kombination aus Tiefensickerung und verzögertem Oberflächenabfluss (DPDA2) an Hängen unter Ackernutzung
- rascher Oberflächenabfluss (DA1) in Mulden
- verzögerter und stark verzögerter gesättigter Oberflächenabfluss (SOF2, SOF3) in den Talauen
- Bei den Auf- und Durchragungen der Keupergesteine dominiert der Zwischenabfluss (SSF1, SSF2).

In Hohenlohe (Abb. 3b) bestimmt der Untergrund die Grobstruktur. Die Talhänge und -schultern im Oberen Muschelkalk gehören einheitlich zu der BHE-Kategorie Tiefensickerung (DP_{Karst}). Das Verbreitungsgebiet des Unterkeupers ist je nach Ausprägung von Relief und Boden feiner unterteilt. Auf Kulminationsbereichen dominiert Tiefensickerung (DP) und auf den meist ackerbaulich genutzten flacheren Hängen stark verzögerter Oberflächenabfluss (DA3). Staunasse Flächen bilden sich im Kartenbild als stark verzögerter gesättigter Oberflächenabfluss (SSF3) und Mulden als rascher Oberflächenabfluss (DA1) ab.

Abbildung 3c stellt einen Ausschnitt aus dem Übergang zum Keuperbergland südlich von Ilshofen dar. Der Untergrund besteht weitestgehend aus Gesteinen der Grabfeld-Formation (Gipskeuper), der im südlichen Teil lokal von der Löwenstein-Formation (Stubensandstein) überlagert wird. Die breiten flachen Kulminationsbereiche sind, wie im gesamten Land, einheitlich der BHE-Tiefensickerung (DP) zugewiesen. Die geringer durchlässigen Böden (i. d. R. Pelosole) und Gesteinsschichten begünstigen den Zwischenabfluss (SSF), wobei die steileren Hänge mit SSF1 und die weniger steilen Hänge mit SSF2 belegt sind. Die Stauwasserböden sind an der BHE stark verzögerter Oberflächenabfluss (SOF3) und die Grundwasserböden an verzögertem gesättigtem Oberflächenabfluss (SOF2) erkennbar. Das Rohstoffabbaugebiet im zentralen Teil des Kartenausschnitts ist nicht bewertet („keine Angabe“).

Im Kartenbeispiel Albvorland (Abb. 3d) sind im Südwesten noch kleine Flächen der Schwäbischen Alb an der BHE Tiefensickerung-Karst (DP_{Karst}) erkennbar. Die Kulminationsbereiche im Albvorland weisen eine Tiefensickerung (DP), die steileren Hänge verzögerten (SSF2) und die flacheren Hänge stark verzögerten Zwischenabfluss (SSF3) auf. Bei landwirtschaftlicher Nutzung kommt zusätzlich Direktabfluss (DASSF2) hinzu, der dann in Mulden dominiert (DA2).



Tab. 5: Ableitungsschema zur Standortabgrenzung der Bodenhydrologischen Einheiten (BHE)

Untergrund		Bodenpotenzial				Reliefpotenzial													
		Boden				Hänge				Tiefenlinien nah				Tiefenlinien fern				Tiefenlinien nah	
		Wasser- durch- lässigkeit	Boden- typ	Wasser- speicher- vermögen, Gründigkeit	Verschläm- ungs- neigung	flache Kulmina- tions- bereiche	Tiefen- bereiche und Vererbnungen	Ablfluss- lose Höhl- formen	<6 %				6-18%						
					gering hoch	A	G	W	A	G	W	A	G	W	A	G	W		
Lockergestein und Festgestein mit mächtiger Überdeckung	hoch	alle	außer K und G		x	DPDA2	DP	DP	DP	DP	DP	DPDA2	DP	DP	DPDA2	DP	DP		
	mittel				x	DPDA3	DP	DP	DP	DP	DP	DPDA2	DP	DP	DPDA2	DPDA3	DP		
	mäßig				x	DPDA2	DP	DP	DP	DPDA2	DPDA2	DPDA2	DPDA2	DPDA2	DPDA2	DPDA2	DPDA2	DPSSSF3	
Lockergestein und mäßig durchlässiges Festgestein	gering		alle außer K, S und G	gering und flach	x	DA3	SOF3	DP	DA3	DA2	SSSF3	DA2	SSSF3	DA2	DA2	DA2SSSF2	SSSF2		
	durchlässiges Festgestein	gering			x	DA2	SOF2	DP	DA2	DA1	DA2	DA2	DA2	DA1	DA1	DA1	DA1		
"alle"		S			x	DA3	SOF3	DP	DA3	DA2	SSSF3	DA2	SSSF3	DA2	DA2	DA2SSSF2	SSSF2		
mäßig durchlässiges Festgestein	mäßig bis hoch	alle	außer K und G	gering und flach	x	SOF3	SOF3	DP	DP	DP	DP	SOF3	DP	DP	DPDA3	DPDA2	DPSSSF3		
	gering durchlässiges Festgestein	mäßig bis hoch	alle	gering und flach	x	DPDA2	SOF2	DP	DPDA2	DA2	DA2	DA2	DA2	DA2	DA1	DA1	DA1	DA1	
Karst	gering durchlässiges Festgestein	mäßig bis hoch	alle außer K und G	gering und flach	x	SSSF2	SOF3	DP	SSSF2	DA2	SSSF3	DA2	SSSF3	SSSF3	SSSF3	SSSF3	SSSF1		
	Karst				x	SSSF3	SOF2	DP	SSSF3	DA1	SSSF3	DA2	SSSF3	DA2	DA2	DA2	DA1		
[kolluvien außerhalb Karst, Auenböden, Gleye und Moore]		K				DA1	DA2	DP	DA1	DA2	DP	DA1	DA2	DP	DA1	DA1	DA1		
		X-G				SOF3		DP	SOF3		DP	DA2		DP	DA1	DA1	DA1		
		G,AS				SOF2		DP	SOF2		DP	DA2		DP	DA1	DA1	DA1		
		A				DP		DP	DP		DP	DA2		DP	DA1	DA1	DA1		
		NG,OG, GN,GA,				SOF1		DP	SOF1		DP	DA2		DP	DA1	DA1	DA1		
		HN (tr.)				SSSF3		DP	SSSF3		DP	DA2		DP	DA1	DA1	DA1		
		HN,HH (nass)				DP=		DP	DP=		DP	DA2		DP	DA1	DA1	DA1		



Bodenpotenzial		Reliefpotenzial																		
		Hänge																		
Untergrund	Boden		6-18 %			18-30 %			>30 %											
	Wasser- durch- lässigkeit	Boden- typ	Wasser- speicher- vermögen, Gründigkeit	Verschläm- mungs- neigung	A	G	W	G	W	G	W									
Lockergestein und Festgestein mit mächtiger Überdeckung	hoch	alle außer K und G		gering	hoch	A	G	W	G	W	G	W								
	mittel			DPDA2									DP	DP	DP	DP				
	mäßig			DPDA3									DP	DP	DP	DP	DP			
Lockergestein und mäßig durchlässiges Festgestein	gering	alle außer K, S und G		x	hoch	DPDA2	DPDA3	DPDA2	DPDA2	DPDA2	DPDA3	DPSSSF3	DA3	DA2	DA3	SSSF2	SSSF3	SSSF2	SSSF2	
				gering und flach		DA3	DA2	DA2	DA2	DA3	DA2									
gering durchlässiges Festgestein				x		DA3	DA2													
"alle"		S		x		DA3	DA2													
mäßig durchlässiges Festgestein	mäßig bis hoch	alle außer K und G		x	hoch	DPSSSF3														
				gering und flach		DA2														
gering durchlässiges Festgestein	mäßig bis hoch	alle außer K und G		x	hoch	DA3	DA2													
				gering und flach		DA2														
Karst																				

Bodentyp: A=Auenboden, G=Gley, HN=Niedermoor, HH=Hochmoor, K=Kolluvium, S=Pseudogley, X="Platzhalter"; Landnutzung: A=Acker, G=Grünland, W=Wald, tr.=trocken bzw. entwässert, Kürzel der Bodenhydrologischen Einheiten siehe Tab. 2 und 4); Hinweis: Sonderflächen (Siedlungen, Rohstoffabbaufächen, Auffüllungen, Abgrabungen und größere Gewässer werden keinem Abflussprozessyp zugeordnet und werden im Datensatz mit „kA“ belegt.



Im Alpenvorland tritt Tiefensickerung (DP) bevorzugt auf durchlässigen, grundwasserfernen Böden in Niederungen und Verebnungen (z. B. Schotterfluren) auf. Auf den Moränenflächen spiegelt sich im Bodenseegebiet (Abb. 3e) die Landnutzung wieder. Neben einem Tiefensickerungsanteil tritt unter Wald zusätzlich ein Zwischenabflussanteil (DPSSF) auf, während unter landwirtschaftlicher Nutzung Direktabflussanteile hinzukommen (DPDA). Die Talauen mit Grundwasser beeinflussten Böden gehören zur BHE verzögerter gesättigter Oberflächenabfluss (SOF2).

Der Gesteinsuntergrund und das Relief bestimmen die BHE-Verteilung im Schwarzwald. Das steile Relief, durchlässige Böden und Schuttdecken sowie geringer durchlässige tiefere Unterböden und/oder Gesteinsschichten im kristallinen Schwarzwald begünstigen den Zwischenabfluss (SSF1, SSF2). Auf den flachen Buntsandstein-Rücken im Osten dominiert Tiefensickerung (DP), die an den Buntsandstein-Hängen durch einen stark verzögerten Zwischenabfluss (DPSSF3) ergänzt wird. In den Grundwasser beeinflussten Auenstandorten tritt gesättigter Oberflächenabfluss (SOF1, SOF2) auf.

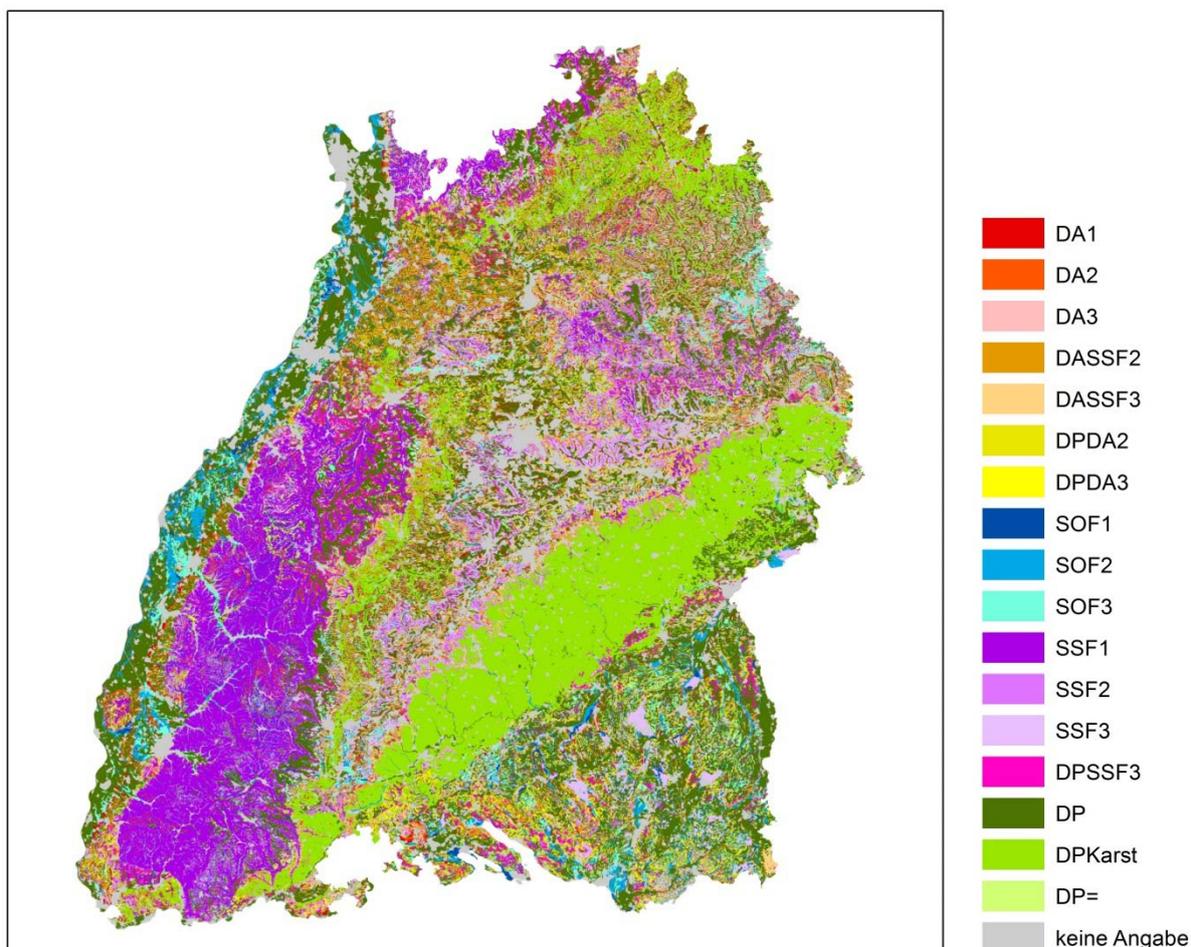


Abb. 2: Bodenhydrologische Einheiten in Baden-Württemberg (Kürzel s. Tab. 2 u. 4) [http://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_bhk/].

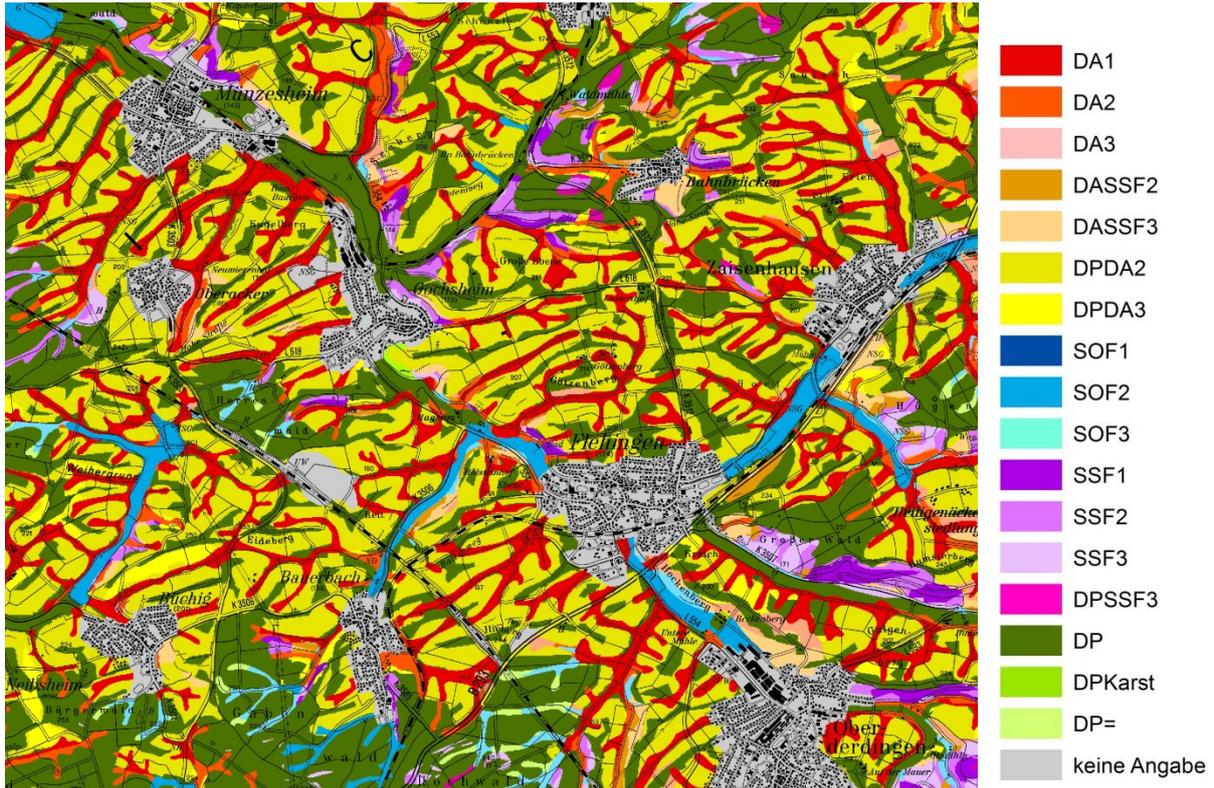


Abb. 3a: Auszug aus der Bodenhydrologischen Karte Baden-Württemberg - Kraichgau (bei Flehingen, TK 6918); (Kürzel s. Tab. 2 und 4).

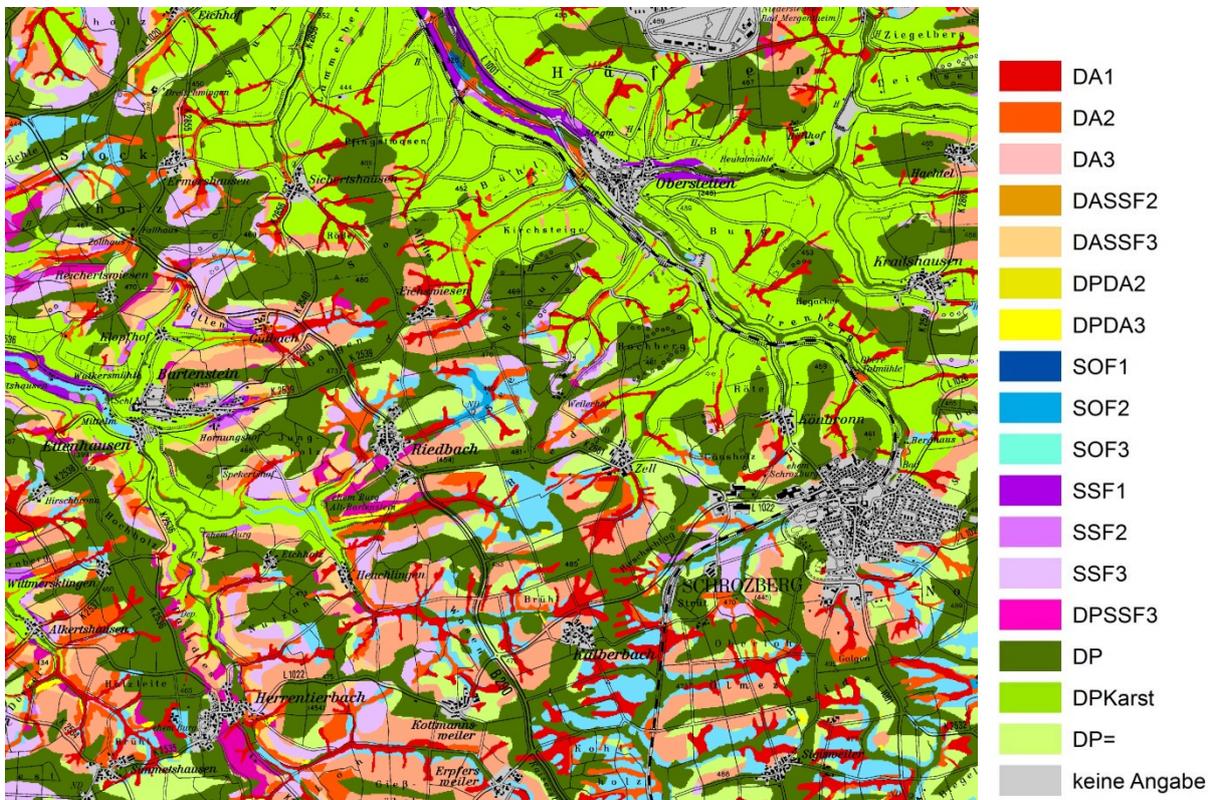


Abb. 3b: Auszug aus der Bodenhydrologischen Karte Baden-Württemberg - Hohenlohe (bei Schrozberg, TK 6724); (Kürzel s. Tab. 2 und 4).

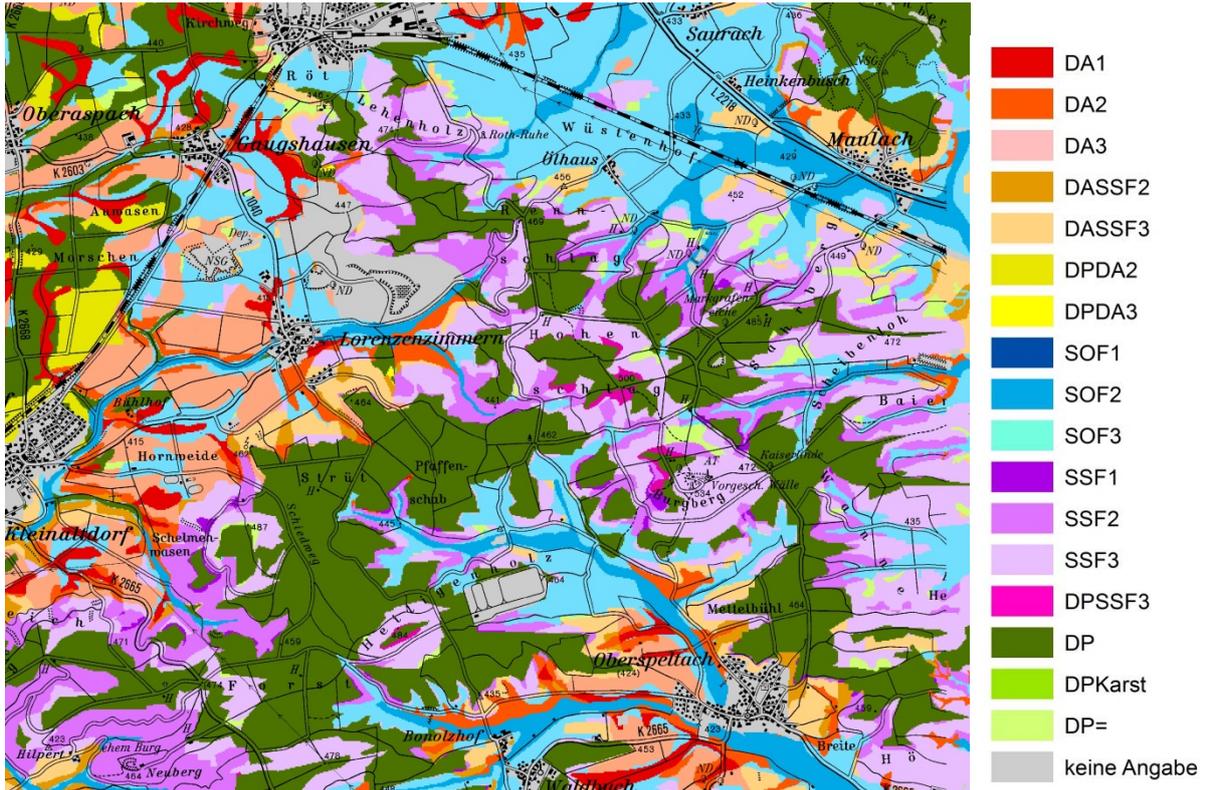


Abb. 3c: Auszug aus der Bodenhydrologischen Karte Baden-Württemberg - Übergang Hohenlohe – Keuperbergland (südöstl. Ilshofen, TK 6924); (Kürzel s. Tab. 2 und 4).

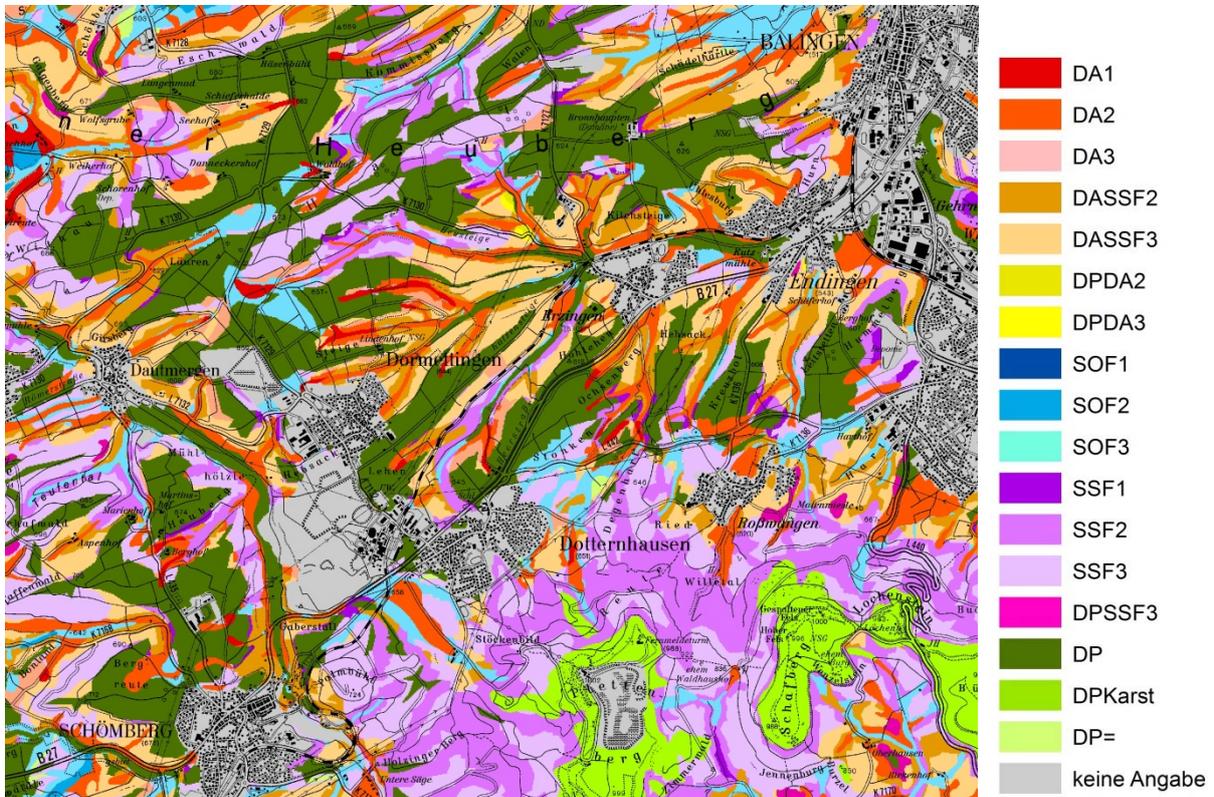


Abb. 3d: Auszug aus der Bodenhydrologischen Karte Baden-Württemberg - Albvorland (südwestlich Balingen, TK 7718); (Kürzel s. Tab. 2 und 4).

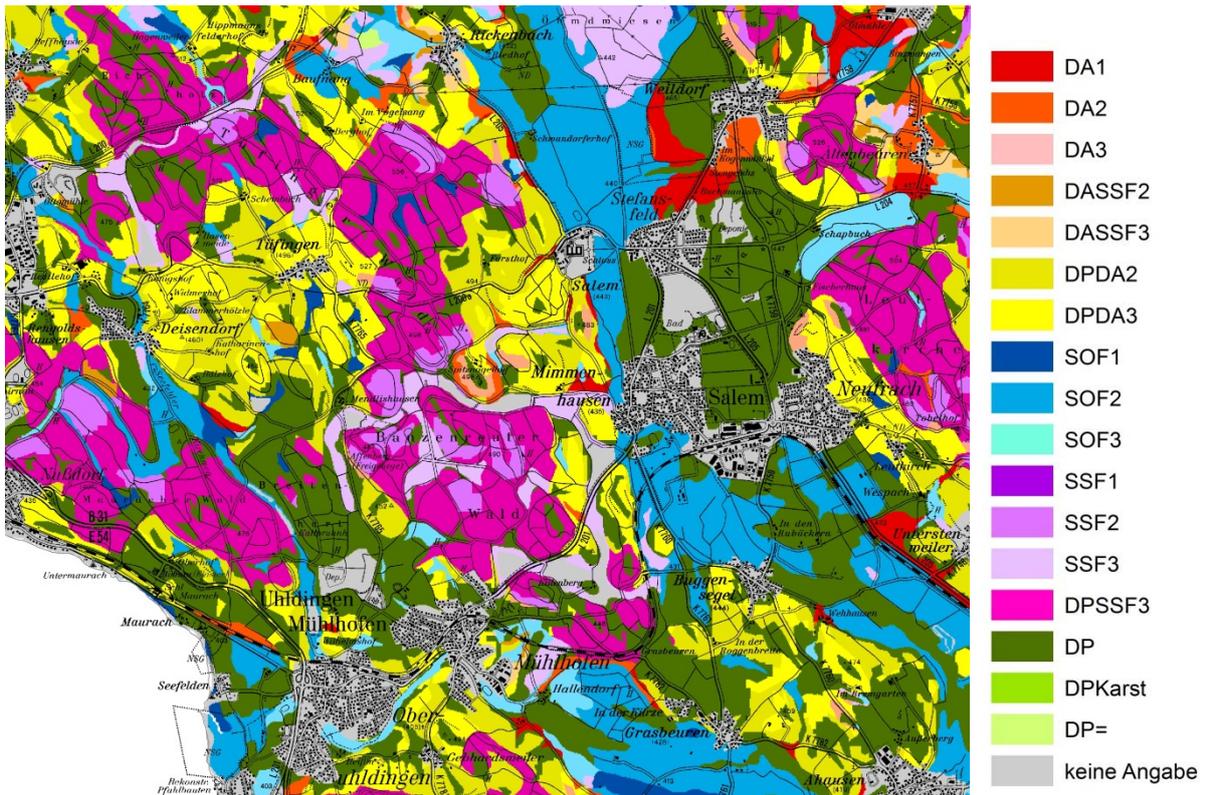


Abb. 3e: Auszug aus der Bodenhydrologischen Karte Baden-Württemberg - Bodenseegebiet (bei Salem, TK 8320); (Kürzel s. Tab. 2 und 4).

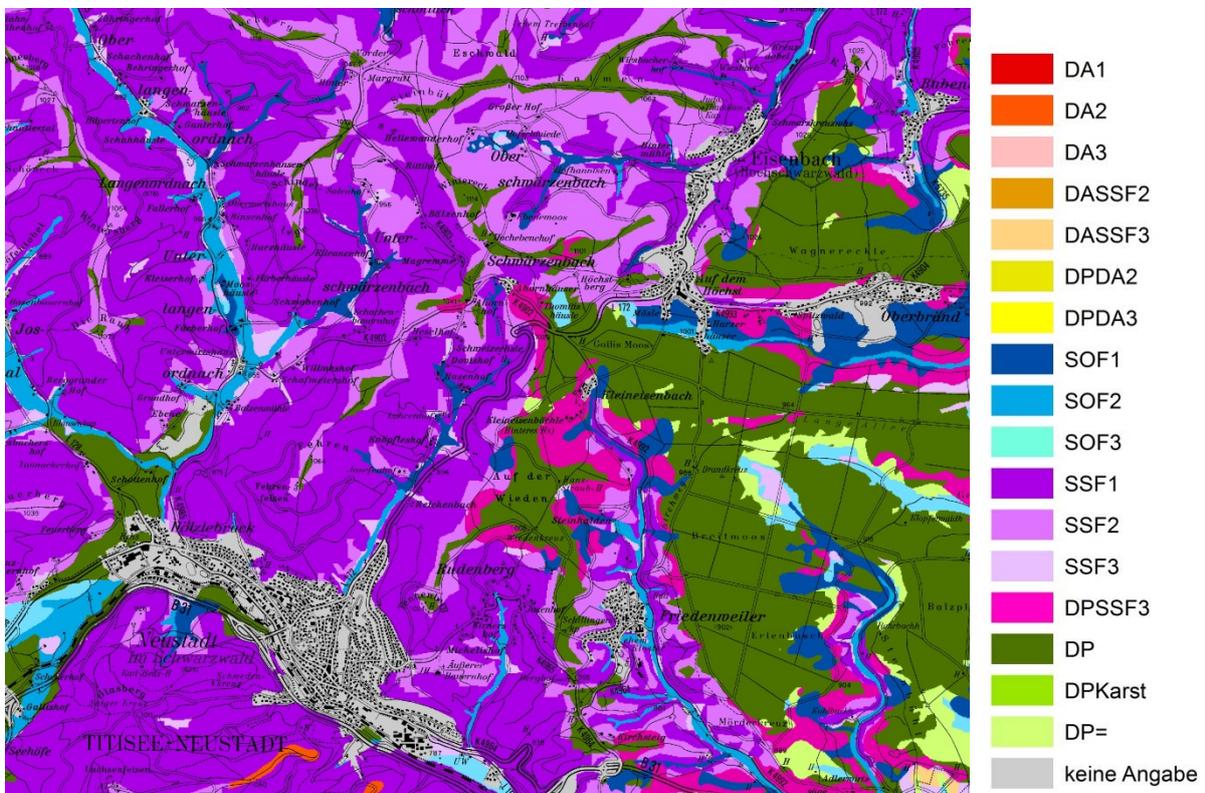


Abb. 3f: Auszug aus der Bodenhydrologischen Karte Baden-Württemberg - Schwarzwald (bei Titisee-Neustadt, TK 8114); (Kürzel s. Tab. 2 und 4); (Kürzel s. Tab. 2 und 4).



Die Daten aller Einzugsgebiete, die einzelnen Landschaftsräumen zugewiesen werden können, werden für die Plausibilisierung verwendet (Kap. 4, Abb. 5). Die Flächenanteile ihrer einzelnen BHE-Gruppen sind in Abbildung 4 zusammengestellt. Im Schwarzwald und Odenwald dominieren schnellere Zwischenabflüsse sowie im Tauberland und auf der Schwäbischen Alb die Tiefensickerung. Ansonsten weisen viele Landschaftsräume eine breite, aber durchaus typische Mischung unterschiedlicher BHE auf.

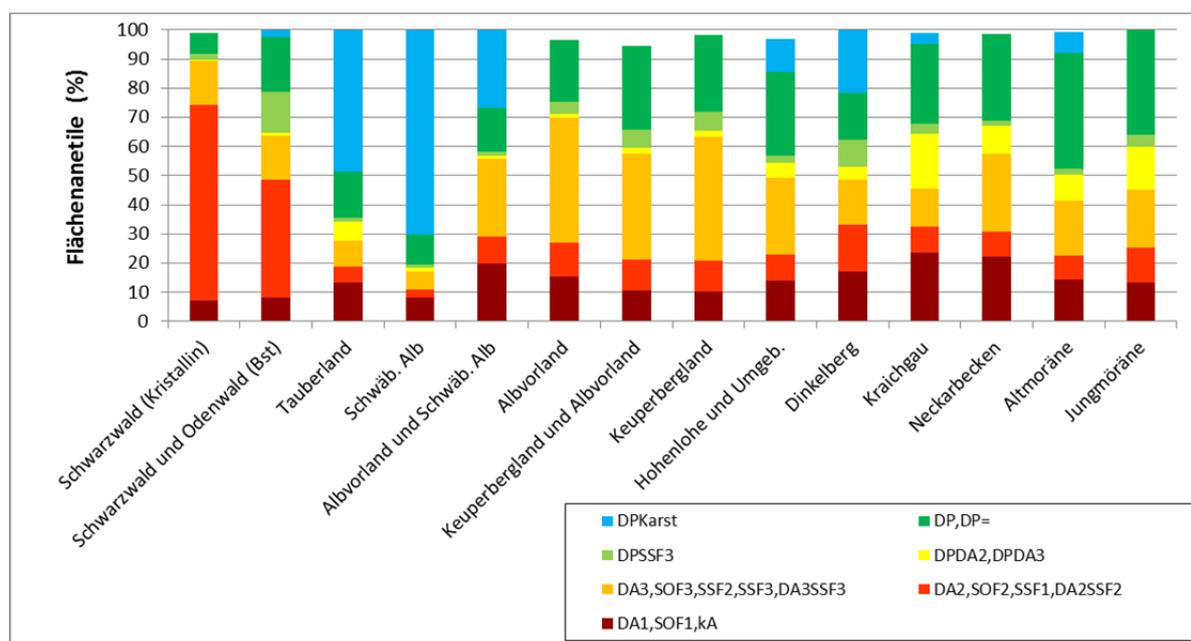


Abb. 4: Flächenanteile Bodenhydrologischer Einheiten (BHE) in den Einzugsgebieten (siehe Abb. 5) einzelner Landschaftsräume (Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4).

Die landesweiten Daten liefern grundsätzlich keine Grundlage für parzellenscharfe Beurteilungen und konkrete Handlungsempfehlungen, z. B. zum Hochwasserschutz. Hierfür sind zusätzliche Erhebungen vor Ort notwendig.

4 Plausibilisierung

Bodenhydrologische Einheiten (BHE) bilden i. d. R. nur den dominanten Abflusstyp ab. Dies macht es grundsätzlich schwierig, die BHE-Angaben mit Ergebnissen aus Abflussmodellierungen zu vergleichen. Zudem werden die realen Verhältnisse durch Modelldaten nur bedingt, entsprechend den Modellrestriktionen und -qualitäten, abgebildet. Trotzdem sind für Plausibilisierungen landesweite Modelldaten besser als Pegelauswertungen einzelner Niederschlag-Abfluss-Ereignisse geeignet. Modelle verwenden standardisierte Niederschlagsereignisse oder generieren langfristige Mittelwerte und beschreiben somit auch eine Einzugsgebietscharakteristik.

Die einzelnen BHE werden in Gruppen zusammengefasst und deren Flächenanteile einzelner Einzugsgebiete Modellergebnissen gegenüber gestellt. Hierfür werden der mittlere Basisabfluss und die schnelleren Abflusskomponenten einzelner Szenarien verwendet (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg



2012 – WaBoA-Themen 6.1, 6.5, 6.6). Als räumliche Bezugsgröße dienen 78 Einzugsgebiete, die jeweils einem relativ einheitlichen Landschaftsraum zugeordnet werden können (Abb. 5). Zusätzlich stehen für drei Einzugsgebiete Angaben zu mittleren Abflusskomponenten zur Verfügung, die mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM berechnet wurden (KRUMM et al. 2016). Das Modell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) wurde von BREMICKER (2000) entwickelt.

Die Plausibilisierung der BHE-Verteilung in Baden-Württemberg ist trotz der jeweils unterschiedlichen Rahmenbedingungen, Bezugsgrößen und Dimensionen grundsätzlich möglich.

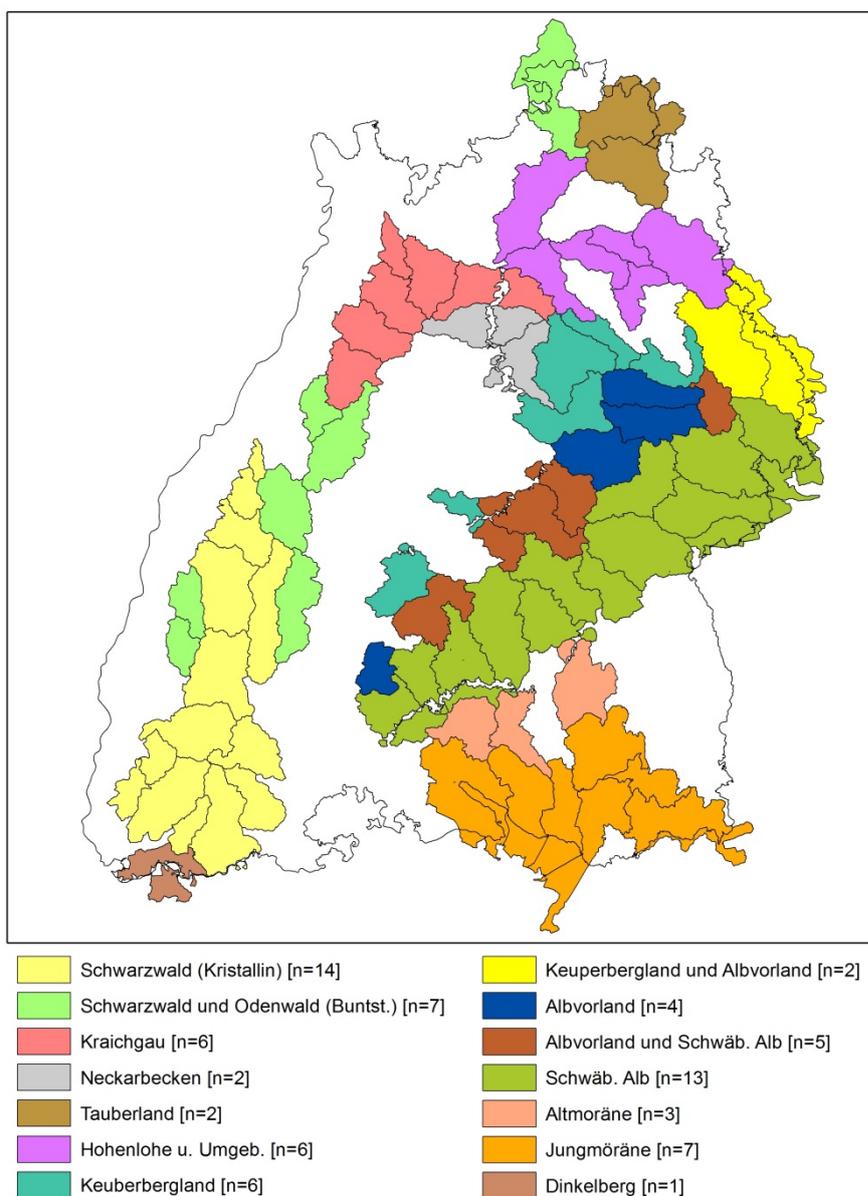


Abb. 5: Zur Plausibilisierung verwendete Einzugsgebiete mit Zuordnung zu Landschaftsräumen [E: Elsenz, P: Prim, S: Seefelder Aach].

4.1 Vergleiche mit Basisabfluss aus WaBoA „Thema 6.1“

In Abbildung 6 sind die Flächenanteile aller BHE mit „Tiefensickerung ohne Karst“ dem Anteil des Basisabflusses gegenübergestellt. Trotz der unterschiedlichen Dimensionen sind die Verteilungsmuster ähnlich und die Absolutwerte erstrecken sich meist parallel zur 1:1-Linie. Nahezu alle Einzugsgebiete und besonders die im Schwarzwald liegen oberhalb der 1:1-Linie. Der mittlere Basisabflussanteil liegt systematisch oberhalb der ausgewiesenen Flächen mit Tiefensickerung als dominanten Abflussprozesstyp. Dies ist auch so zu erwarten, da bei allen anderen BHE auch meist eine Tiefensickerung im geringen Umfang mit stattfindet und bei weniger intensiven Niederschlagsereignissen sich das Verhältnis von schnelleren Abflusskomponenten in Richtung Tiefensickerung verschiebt. Da im Kristallin-Schwarzwald nahezu flächendeckend BHE mit Zwischenabfluss (als dominanten Abflussprozess) ausgewiesen sind, ergibt sich bei dieser Art der Gegenüberstellung der große Unterschied zum Basisabflussanteil.

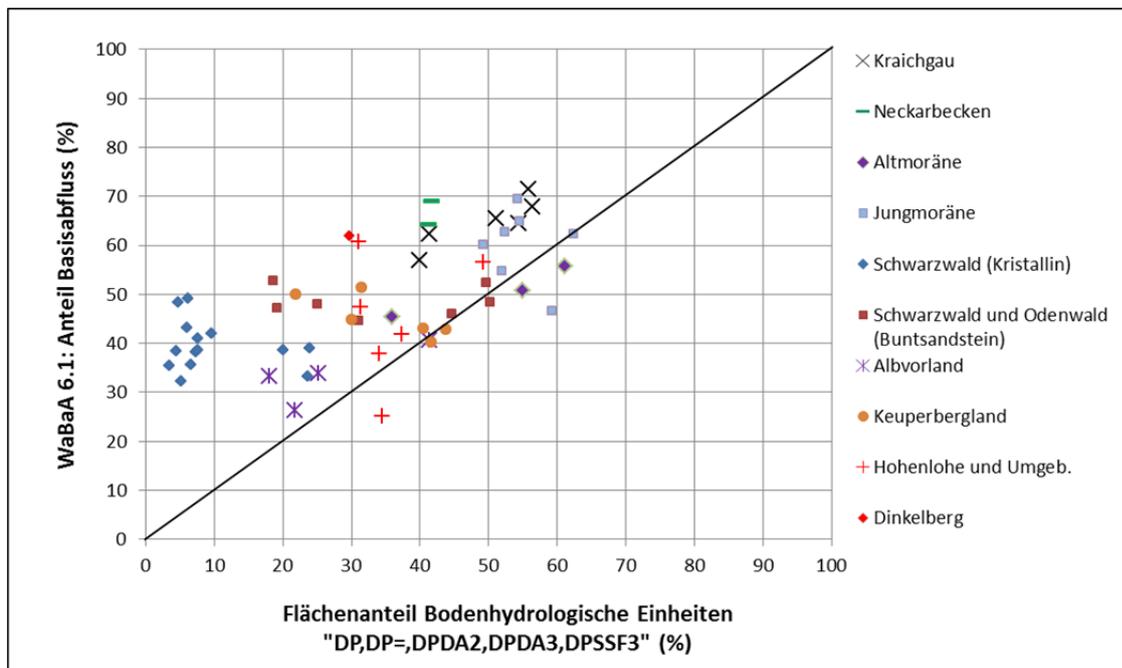


Abb. 6: Gegenüberstellung der Abflusskomponente mittlerer Basisabfluss [in % vom Gesamtabfluss] (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2012 – Thema 6.1) und der Flächenanteile der Bodenhydrologischen Einheiten (BHE) mit vorherrschender Tiefensickerung je Einzugsgebiet (siehe Abb. 5, BHE-Kürzel siehe Tab. 2 und 4).

Eine gegenläufige Ausprägung liegt in der Regel in den Karstgebieten vor (Abb. 7). Die mittleren Basisabflussanteile liegen verbreitet unterhalb den Flächenanteilen mit Tiefensickerung. Der Basisabfluss in den Vorflutern im Karst repräsentiert, aufgrund der teilweise sehr schnellen Grundwasserabflüsse, nur einen Teil der gesamten grundwasserbürtigen Abflüsse.

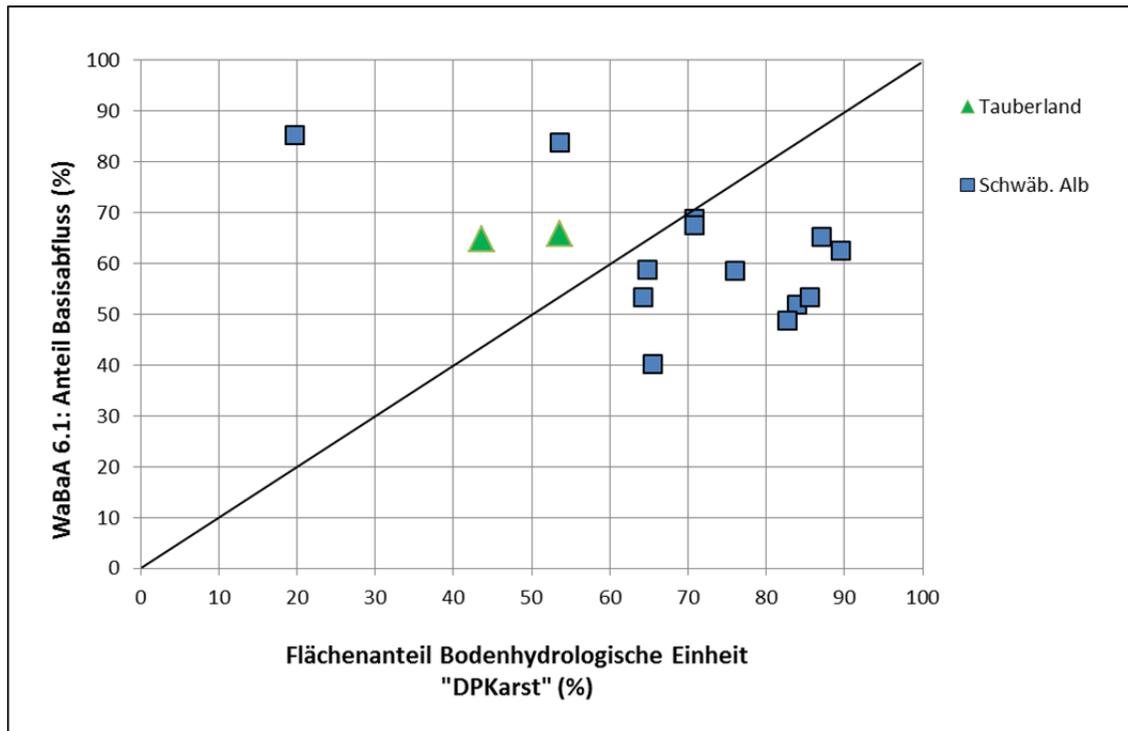


Abb. 7: Gegenüberstellung der Abflusskomponente mittlerer Basisabfluss [in % vom Gesamtabfluss] (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2012 – Thema 6.1) und der Flächenanteile der Bodenhydrologischen Einheiten (BHE) mit vorherrschender Tiefensickerung in den Einzugsgebieten im Karst (siehe Abb. 5, Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4)

Die Summe der Flächenanteile aller BHE mit Tiefensickerung weisen ein räumliches Muster wie die WaBoA-Modellierungen „Basisabfluss“ auf. Die Abweichungen im Schwarzwald und in den Karstgebieten sind systembedingt erklärbar.

4.2 Vergleiche mit schnellen Abflusskomponenten aus WaBoA

Eine Reduzierung der Absolut- auf Relativwerte erleichtert die Vergleichbarkeit, Lesbarkeit und Interpretierbarkeit der Abbildungen. Diese Abbildungen sind im Anhang zusammengestellt. Dort werden für die verschiedenen Parameter auf beiden Abbildungsachsen jeweils die relativen Abweichungen je Einzugsgebiet zum Mittelwert aller Einzugsgebiete aufgetragen. In allen Abbildungen sind zusätzlich vier Quadranten eingezeichnet. Im unteren linken Quadranten liegen die Einzugsgebiete (EZG) mit unterdurchschnittlichem und im oberen rechten Quadranten die mit überdurchschnittlichem Anteil an den auf beiden Achsen aufgeführten Parametern. In den beiden anderen Quadranten ist jeweils ein Parameter überdurchschnittlich und einer unterdurchschnittlich ausgeprägt.

Beispiel Anhang A5:

Fast alle Einzugsgebiete im Kristallin-Schwarzwald weisen einen Flächenanteil der aufgeführten BHE auf, die um den Faktor 0,5 größer sind als der Mittelwert aller Einzugsgebiete. Die schnelleren Abflusskomponenten dieser Einzugsgebiete im



Schwarzwald liegen bei hoher Bodenvorfeuchte ebenfalls (+/-) um den Faktor 0,5 über dem Mittelwert der schnelleren Abflusskomponenten aller Einzugsgebiete. Alle Punkte der Kristallin-Schwarzwald-EZG liegen im oberen rechten Quadranten. Die relativen Abweichungen zwischen den BHE-Flächenanteilen (X-Achse) und den schnelleren Abflusskomponenten (Y-Achse) sind nahezu identisch. Sie liegen auf bzw. nahe an der 1:1-Linie.

4.2.1 Summe der schnellen Abflusskomponenten (WaBoA-Thema 6.6)

Im WaBoA (Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg) werden für vier verschiedene Varianten die Abflusskomponenten HOF, SOF und SSF modelliert. Die vier Varianten bilden einen Niederschlag von 40 mm in 1 h und von 70 mm in 24 h bei einer Bodenvorfeuchte von 30 % nFK und von 90 % nFK ab. Die in den Abbildungen im Anhang aufgeführten WaBoA-Daten setzen sich immer aus zwei dieser einzelnen WaBoA-Varianten zusammen:

- a) Typ „Starkregen“: Mittelwert aus 40 mm N in 1 h bei beiden Bodenvorfeuchten
- b) Typ „Landregen“: Mittelwert aus 70 mm N in 24 h bei beiden Bodenvorfeuchten
- c) Typ „geringe Bodenvorfeuchte“: Mittelwert aus beiden Niederschlagsvarianten bei Bodenvorfeuchte 30 % nFK
- d) Typ „hohe Bodenvorfeuchte“: Mittelwert aus beiden Niederschlagsvarianten bei Bodenvorfeuchte 90 % nFK

In den Abbildungen im Anhang A1–A4 sind nur die Ergebnisse der WaBoA-Daten aufgeführt, um die Modelleinflüsse zwischen den verschiedenen Varianten und ihre räumlichen Auswirkungen abzubilden. In den Abbildungen A5–A7 werden die WaBoA-Daten mit der Verbreitung und den Flächenanteilen der BHE verglichen.

Bei den vier verschiedenen Typen a) bis d) (Starkregen, Landregen, geringe Bodenvorfeuchte, hohe Bodenvorfeuchte) verhalten sich die Entwicklungen der schnellen Abflussanteile zwischen Landregen und hoher Bodenvorfeuchte (Abb. A3) sowie zwischen Starkregen und geringer Bodenvorfeuchte (Abb. 10) nahezu proportional. Alle Werte liegen fast auf der 1:1-Linie. Es treten in den einzelnen Gebieten jedoch unterschiedliche Ausprägungen auf, je nachdem welche Abflussprozesse beteiligt sind. Bei der Gegenüberstellung von Landregen und hohe Bodenfeuchte (Abb. A3) liegen die besonders durch Zwischenabfluss geprägten Gebiete im oberen rechten Quadranten. Dieser Abflussprozess wird sowohl durch Landregen als auch durch eine hohe Bodenvorfeuchte gefördert. Gebiete mit geringer durchlässigen (Ober)Böden weisen bei Starkniederschlägen und bei geringen Bodenvorfeuchten einen überproportionalen schnellen Abfluss auf (Abb. A4). Alle Punkte liegen ebenfalls im oberen rechten Quadranten. Entsprechende Verteilungsmuster treten bei den beiden Kombinationen Starkregen / Landregen (Abb. A1) und geringe / hohe Bodenvorfeuchte (Abb. A2) auf. Die Einzugsgebiete im Kristallin-Schwarzwald weisen bei Landregen oder hoher Bodenvorfeuchte ebenso wie die Einzugsgebiete im Kraichau, im Neckarbecken, im Altmoränengebiet und in Hohenlohe bei Starkregen oder geringer Bodenvorfeuchte einen überproportionalen Anteil an schnellen Abflusskomponenten auf.

Während zur Plausibilisierung in den Abbildungen 6 und 7 mittlere (Basis-)Abflüsse den BHE-Flächenanteilen gegenübergestellt werden, wird die Interpretation und Vergleichbarkeit mit der Verwendung von Ergebnissen einzelner Szenarien

grundsätzlich schwieriger (Abb. A5–A7). Die BHE beschreiben eine Standortcharakteristik bei **nicht näher definierten intensiven, ergiebigen Niederschlägen**, während bei den Einzelszenarien Modellrechnungen mit bestimmten Niederschlagsintensitäten, -dauer und Bodenvorfeuchten durchgeführt wurden.

Trotzdem zeigen die Abbildungen A5 und A6, mit Ausnahme für den Buntsandstein-Schwarzwald und -Odenwald sowie für das Keuperbergland, eine für diese Abstraktionsebene gute Übereinstimmung zwischen Abflussszenarien und BHE-Flächenanteilen. Ferner ist grundsätzlich immer zu beachten, dass die BHE nur dominante Abflussprozesstypen abbilden. Buntsandstein-Schwarzwald, -Odenwald und Keuperbergland weisen geringere Anteile an schnelleren Abflusskomponenten auf. Bei einem Vergleich mit dem WaBoA-Modell und den verwendeten Parametrisierungen mit einzelnen Niederschlag-Abflussmessungen in verschiedenen kleineren Einzugsgebieten in Baden-Württemberg zeigte sich, dass beim WaBoA der Zwischenabfluss im Buntsandstein-Schwarzwald und im Keuperbergland teilweise deutlich unterschätzt wurde (STEINBRICH et al. 2016).

Bei der WaBoA-Variante Starkregen lässt sich keine Korrelation mit Bodenhydrologischen Einheiten herstellen (Abb. A7).

Die Summe der Flächenanteile aller BHE, die schnellere Abflusskomponenten abbilden, weisen ein räumliches Muster wie die entsprechenden WaBoA-Modellierungen bei Landregen sowie bei hoher Bodenvorfeuchte auf.

4.2.2 Zwischenabfluss (WaBoA-Thema 6.5)

In den Abbildungen im Anhang A9–A12 sind nur die Ergebnisse der WaBoA-Daten dokumentiert, um die Modelleinflüsse zwischen den verschiedenen Varianten und ihre räumlichen Auswirkungen abzubilden. In den Abbildungen im Anhang A13–A16 werden die WaBoA-Daten mit den Verbreitungen und Flächenanteilen der BHE verglichen.

Bei den vier verschiedenen Typen a) bis d) (Starkregen, Landregen, geringe Bodenvorfeuchte, hohe Bodenvorfeuchte) verhalten sich die Entwicklungen der Zwischenabflüsse zwischen Stark- und Landregen, zwischen Starkregen und hoher Bodenvorfeuchte sowie zwischen Landregen und hoher Bodenvorfeuchte sehr ähnlich und liegen auf oder sehr nahe an der 1:1-Linie (Abb. A8–A10). Landregen und hohe Bodenvorfeuchte begünstigen grundsätzlich den Zwischenabfluss. Die dafür affinen Gebiete reagieren dementsprechend überproportional und die Punkte liegen somit im oberen rechten Quadranten. Während sich alle anderen Gebiete mit relativ geringeren Zwischenabflussanteilen im unteren linken Quadranten versammeln.

Bei geringer Bodenvorfeuchte ist keine Korrelation, weder mit hoher Bodenvorfeuchte noch mit Starkregen feststellbar (Abb. A11–A12). Im Schwarzwald kann bei Starkregen aufgrund der gut durchlässigen Böden relativ schnell viel Wasser infiltrieren und damit auch bei geringer Bodenvorfeuchte Zwischenabfluss ausbilden. Zusätzlich kommt bei diesen Kombinationen zum Ausdruck, dass im Modell i. d. R. vor dem Auftreten von Zwischenabfluss erst der Bodenspeicher aufgefüllt werden muss. Der Bodenspeicher ist regional unterschiedlich groß, sodass zur Füllung unterschiedliche Wassermengen benötigt werden.

Beim Vergleich der Zwischenabflussdaten aus WaBoA werden einmal die Flächenanteile aller BHE mit Zwischenabfluss (Abb. A15–A16) und einmal nur die ohne stark verzögerte Abflussreaktion (Abb. A13–A14) verwendet. Die Übereinstimmung mit den WaBoA-Modellierungen bei „hoher Bodenvorfeuchte“ ist für beide BHE-Gruppen gegeben (Abb. A13 und A15). Wie bereits im Kapitel 4.2.1 ausgeführt, wird im WaBoA der Zwischenabfluss im Buntsandstein-Schwarzwald, -Odenwald und im Keuperbergland unterschätzt, während sie bei den BHE enthalten sind. Entsprechend liegen die Punkte dieser Einzugsgebiete hier unterhalb der 1:1-Linie.

Die Modelldaten der Starkregen korrelieren besser mit den BHE mit rascher und verzögerter Abflussreaktion (Abb. A14) und die bei Landregen mit allen BHE (Abb. A16).

Die Summe der Flächenanteile der BHE, die Zwischenabfluss abbilden, weisen ein räumliches Muster wie die entsprechenden WaBoA-Modellierungen bei hoher Bodenvorfeuchte sowie bei Stark- und bei Landregen auf. Bei Starkregen ist die Korrelation der BHE mit rascher und verzögerter sowie bei Landregen mit rascher, verzögerter und stark verzögerter Abflussreaktion besser.

4.3 Vergleiche mit Abflusskomponenten nach LARSIM

Zur weiteren Plausibilisierung stehen für die drei Einzugsgebiete Elsenz, Prim und Seefelder Aach (Abb. 5) Daten des Modells LARSIM zur Verfügung (KRUMM et al. 2016). Es handelt sich dabei um mittlere Bilanzgrößen einzelner Abflusskomponenten in % vom Gesamtabfluss (Abb. 8–9). Bei den Gegenüberstellungen werden neben den BHE zusätzlich auch die WaBoA-Daten mit aufgeführt.

Die mittleren Basisabflüsse nach LARSIM und WaBoA sowie die Flächenanteile der BHE mit Tiefensickerung liegen für die drei Einzugsgebiete Elsenz, Prim und Seefelder Aach jeweils sehr nah beieinander (Abb. 8). Die Einzelwerte unterscheiden sich um maximal 10 %.

Bei den schnelleren Abflusskomponenten werden folgend, wie im Kapitel 4.2, nur die relativen Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert aller drei Einzugsgebiete betrachtet (Abb. 9). Auch hier weichen die Werte nach LARSIM und WaBoA sowie die Flächenanteile der entsprechenden BHE für die drei Einzugsgebiete Elsenz, Prim und Seefelder Aach kaum voneinander ab. Sie liegen auf bzw. nahe an der 1:1-Linie. Im Einzugsgebiet der Prim liegen die Direkt- und Zwischenabflüsse aller drei Methoden jeweils ca. 50 % über und bei Elsenz und Seefelder Aach ca. 10–30 % unterhalb vom Mittelwert der drei Einzugsgebiete.

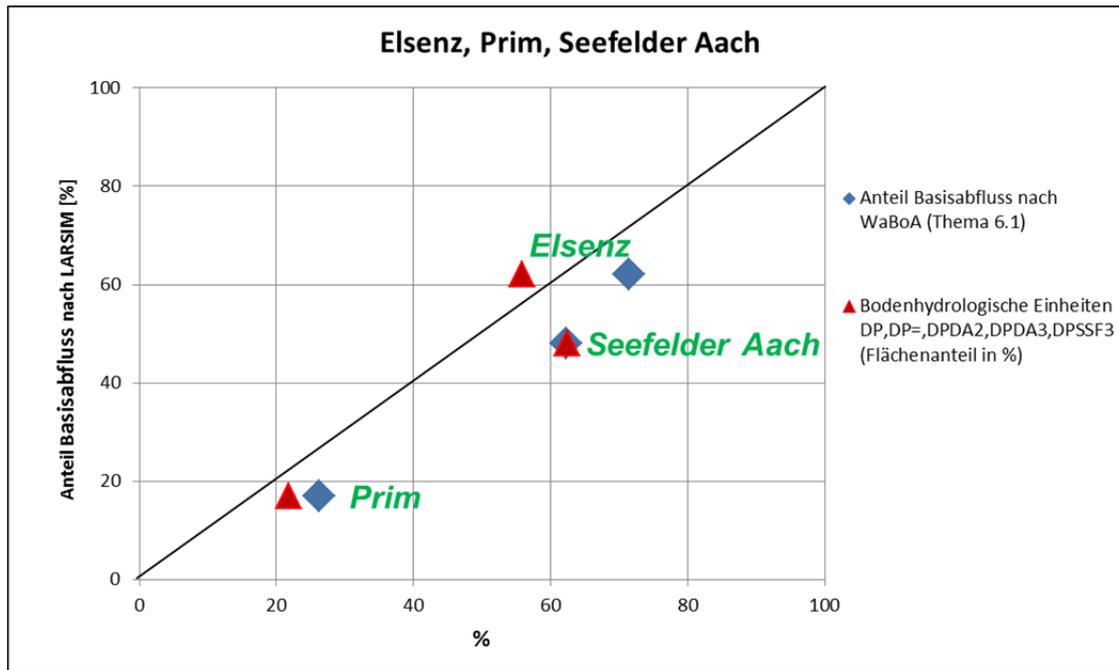


Abb. 8: Gegenüberstellung der Abflusskomponenten unterschiedlicher Ableitungen für die Einzugsgebiete Elsenz, Prim und Seefelder Aach.

y-Achse: Mittlerer Basisabfluss in % vom Gesamtabfluss nach Modell LARSIM (KRUMM et al. 2016)
x-Achse: Mittlerer Basisabfluss in % vom Gesamtabfluss nach WaBoA – Thema 6.1 und Summe der Flächenanteile in % im Einzugsgebiet der Bodenhydrologischen Einheiten (BHE) mit Tiefensickerung („DP, DP=, DPDA2, DPDA3 und DPSSF3“, Kürzel siehe Tab. 2 und 4).

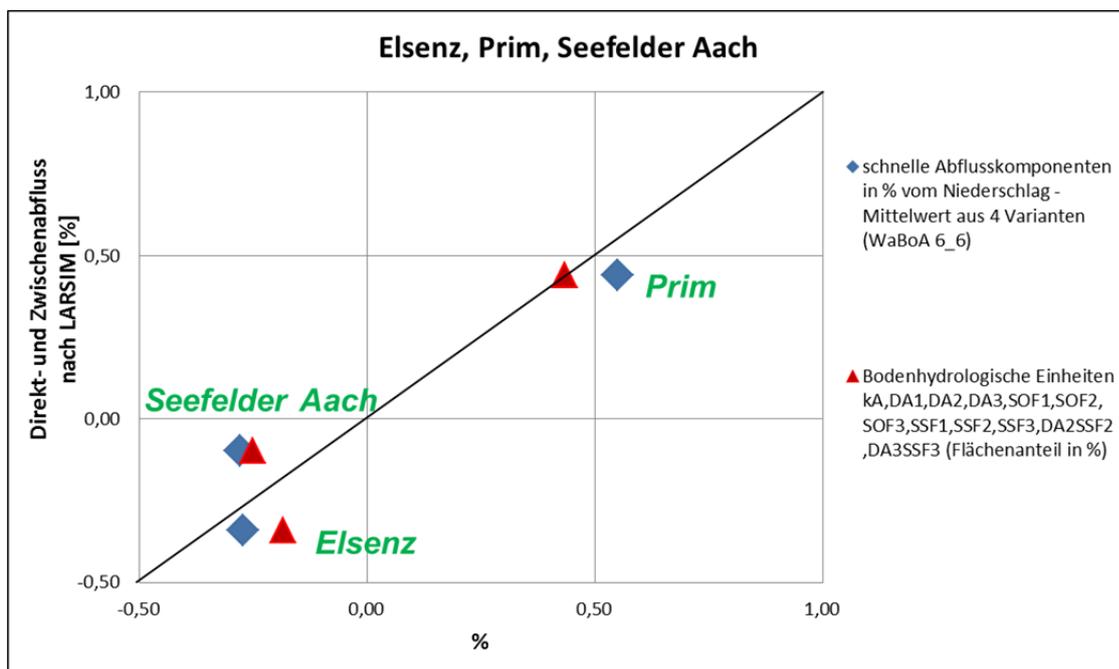


Abb. 9: Gegenüberstellung der Abflusskomponenten unterschiedlicher Ableitungen für die Einzugsgebiete Elsenz, Prim und Seefelder Aach – jeweils relative Abweichung je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller drei Einzugsgebiete.

y-Achse: Mittlere Direkt- und Zwischenabflüsse nach Modell LARSIM (KRUMM et al. 2016)
x-Achse: Schnelle Abflusskomponenten (HOF, SOF, SSF) nach WaBoA – Thema 6.6 [Mittelwert aus vier Szenarien mit Niederschlag von 40 mm in 1 h und von 70 mm in 24 h mit Bodenvorfeuchten von 30 % und von 90 % der nFK] und Flächenanteile der Bodenhydrologischen Einheiten (BHE) mit vorherrschendem Direkt- und Zwischenabfluss (Kürzel siehe Tab. 2 und 4).

5 Zusammenfassung

Ein landesweiter, räumlich hoch aufgelöster Datensatz „Bodenhydrologische Karte“ wurde erstellt und ist im LGRB-Kartenviewer sowie als WMS-Dienst verfügbar [http://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_bhk].

Die Bodenhydrologische Karte ist eine auf Grundlage der Faktoren Untergrund, Boden, Relief und Landnutzung erstellte expertenbasierte Beschreibung von dominanten Abflussprozessen, mit denen bei ausreichenden Niederschlägen zu rechnen ist.

Bestehende Kartierschlüssel für Abflussprozesse und zur Erstellung Bodenhydrologischer Karten wurden für die Verhältnisse und für die verfügbaren Datengrundlagen in Baden-Württemberg angepasst.

Zur Plausibilisierung der Bodenhydrologischen Karte wird die Verbreitung der Bodenhydrologischen Einheiten mit Ergebnissen numerischer Abflussmodellierungen (WaBoA und LARSIM) verglichen.

Die Bodenhydrologische Karte ist ein Baustein für die Hochwasserschutz- und die Umweltplanung. Sie trägt vor allem zum Prozessverständnis und zur Lokalisierung von Hochwasserentstehungsgebieten bei.

Die angewandte Methodik ersetzt keine qualitativ hochwertigen Feldkartierungen. Die landesweiten Daten liefern keine Grundlage für parzellenscharfe konkrete Handlungsempfehlungen. Hierfür sind zusätzliche Erhebungen vor Ort notwendig.

Literatur

HAAG, I., LUCE, A., HENN, N. & DEMUTH, N. (2015): Berücksichtigung räumlich differenzierter Abflussprozesskarten im Wasserhaushaltsmodell LARSIM. – Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft **36.15**.

BREMICKER, M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band **11**.

KRUMM, J., HAAG, I., AIGNER, D. & BÖHM, M. (2016): Pilotstudie zur verbesserten Kopplung von LARSIM und MONERIS im Hinblick auf die Phosphorbilanzierung, S. 96, [Auftraggeber LUBW] (unveröffentlicht).

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg (LGRB) (2016): Bodenkarte von Baden-Württemberg 1 : 50 000.

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) (2006): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen – Bericht **18/2006** [Scherrer AG im Auftrag der LUWG].

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) (2010a): Bodenhydrologische Karte Nahe / Rheinland-Pfalz Südwest. – Bericht **6/2010** des LUWG [Soilution GbR im Auftrag des LUWG].

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) (2010b): Integration des Abflusspotenzials in das LARSIM-Bodenmodul mit erweiterten Parametern. [HYDRON Ingenieurgesellschaft im Auftrag des LUWG] (unveröffentlicht).

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) (2013): Kalibrierung des LARSIM-Wasserhaushaltsmodells mit erweitertem Boden- und Infiltrationsmodul für das Einzugsgebiet der Nahe. [HYDRON Ingenieurgesellschaft im Auftrag des LUWG] (unveröffentlicht).

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (2006): Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg. – Reihe Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie **69**.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2012): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA), vierte erweiterte Ausgabe.

NAEF, F., SCHERRER, S., THOMA, C., WEILER, W. & FACKEL, P. (2000): Die Beurteilung von Einzugsgebieten und ihren Teilflächen nach der Abflussbereitschaft unter Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Nutzung aufgezeigt an drei Einzugsgebieten in Rheinland-Pfalz. – IHW Bericht **B 003** (im Auftrag des Landesamts für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz).

SCHERRER, S. (1997): Abflussbildung bei Starkniederschlägen: Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. – Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. **147**.

SCHERRER, S. & NAEF, F. (2003): A decision scheme to indicate dominant hydrological flow processes on temperate grassland. – Hydrological Processes, **17**: 391–401.

sciLands (2014): Dokumentation DGM10 aus Laserhöhenmessungen und Reliefanalyse Baden-Württemberg (unveröffentlicht).

STEINBRICH, A., LEISTERT, H. & WEILER, M. (2016): Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution. – Environmental Earth Sciences (2016) **75**: 1423. doi:10.1007/s12665-016-6234-9



ANHANG

Abbildungen zu Kapitel 4.2 „Vergleiche mit schnellen Abflusskomponenten aus WaBoA“

Im WaBoA (Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg) werden für vier verschiedene Varianten die Abflusskomponenten HOF, SOF und SSF modelliert. Die vier Varianten bilden einen Niederschlag von 40 mm in 1 h und von 70 mm in 24 h bei einer Bodenvorfeuchte von 30 % nFK und von 90 % nFK ab. Die in den folgenden Abbildungen aufgeführten WaBoA-Daten setzen sich immer aus zwei dieser WaBoA-Varianten zusammen:

- Typ „Starkregen“: Mittelwert aus 40 mm N in 1 h bei beiden Bodenvorfeuchten
- Typ „Landregen“: Mittelwert aus 70 mm N in 24 h bei beiden Bodenvorfeuchten
- Typ „geringe Bodenvorfeuchte“: Mittelwert aus beiden Niederschlagsvarianten bei Bodenvorfeuchte 30 % nFK
- Typ „hohe Bodenvorfeuchte“: Mittelwert beider Niederschlagsvarianten bei Bodenvorfeuchte 90 % nFK

In den Abbildungen werden Relativwerte dargestellt, d. h. die relative Abweichung je Parameter und Einzugsgebiet zum Mittelwert aller Einzugsgebiete. In allen Abbildungen sind vier Quadranten eingezeichnet. Im unteren linken Quadranten liegen die Einzugsgebiete (EZG) mit unterdurchschnittlichem und im oberen rechten Quadranten die mit überdurchschnittlichem Anteil an den auf beiden Achsen aufgeführten Parametern. In den beiden anderen Quadranten ist jeweils ein Parameter überdurchschnittlich und einer unterdurchschnittlich ausgeprägt.

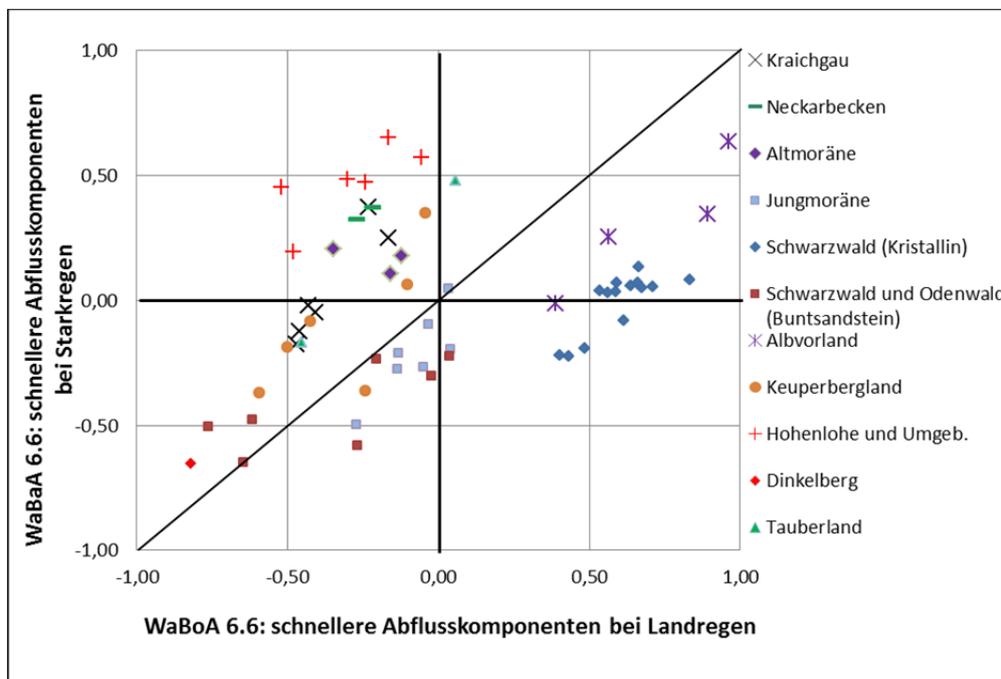


Abb. A1: Relative Abweichung der schnellen Abflusskomponenten (HOF, SOF und SSF – WaBoA Thema 6.6) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei Stark- und bei Landregen [Starkregen: 40 mm in 1 h, Landregen: 70 mm in 24 h, jeweils bei Bodenvorfeuchte von 30 % und bei 90 % der nFK].

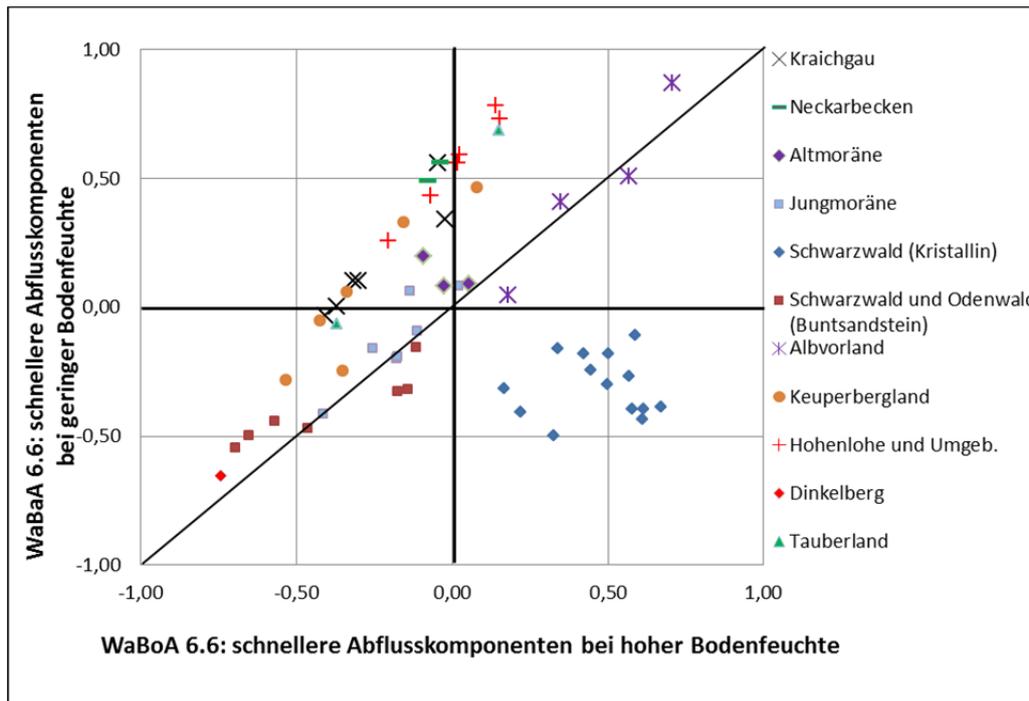


Abb. A2: Relative Abweichung der schnellen Abflusskomponenten (HOF, SOF und SSF – WaBaA Thema 6.6) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei geringer und bei hoher Bodenvorfeuchte [geringe Bodenvorfeuchte: 30 % nFK, hohe Bodenvorfeuchte: 90 % nFK, jeweils bei Stark- und bei Landregen].

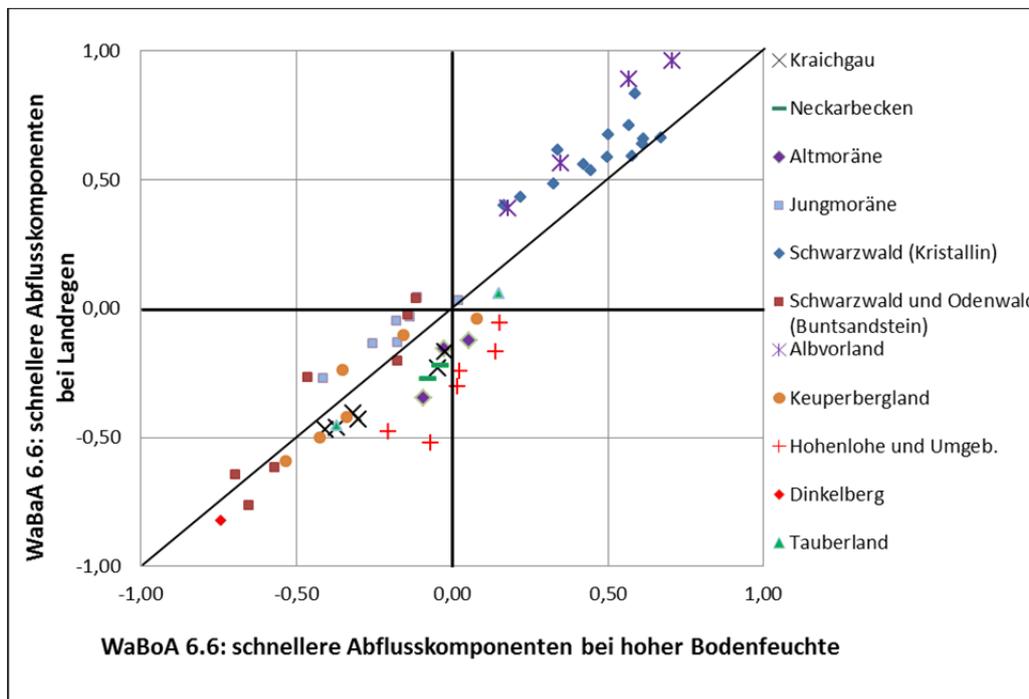


Abb. A3: Relative Abweichung der schnellen Abflusskomponenten (HOF, SOF und SSF – WaBaA Thema 6.6) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei Landregen und bei hoher Bodenvorfeuchte [Landregen: 70 mm in 24 h bei geringer und hoher Bodenvorfeuchte; hohe Bodenvorfeuchte: 90 % nFK bei Stark- und bei Landregen].

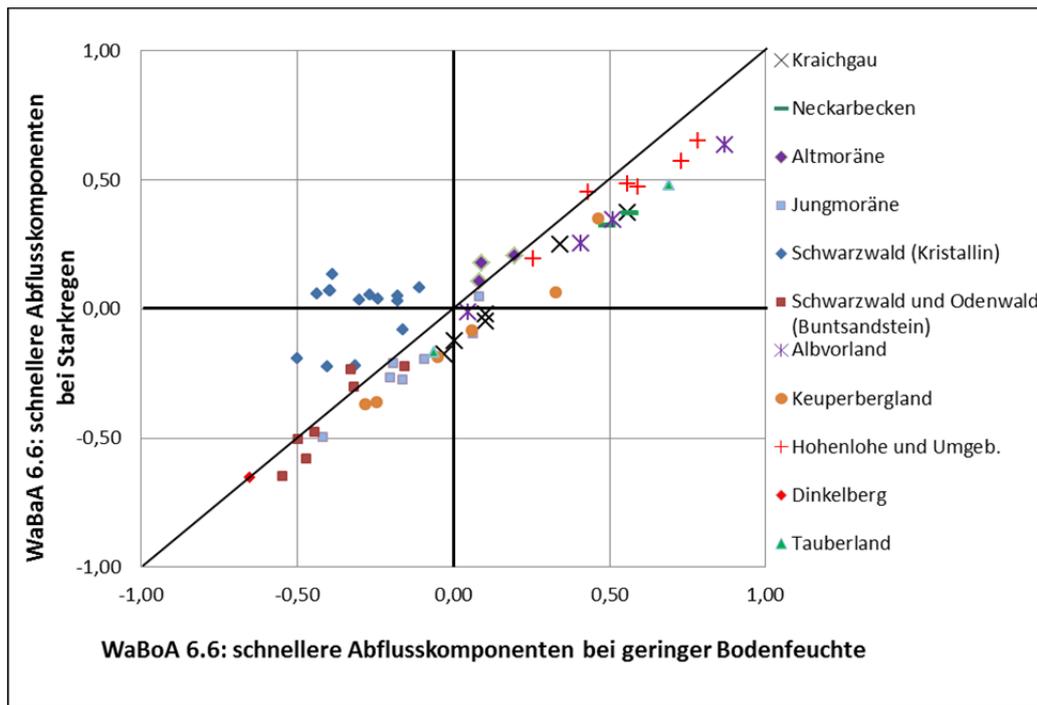


Abb. A4: Relative Abweichung der schnellen Abflusskomponenten (HOF, SOF und SSF – WaBoA Thema 6.6) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei Starkregen und bei geringer Bodenvorfeuchte [Starkregen: 40 mm in 1 h bei geringer und hoher Bodenvorfeuchte; geringe Bodenvorfeuchte: 30 % nFK bei Stark- und bei Landregen].

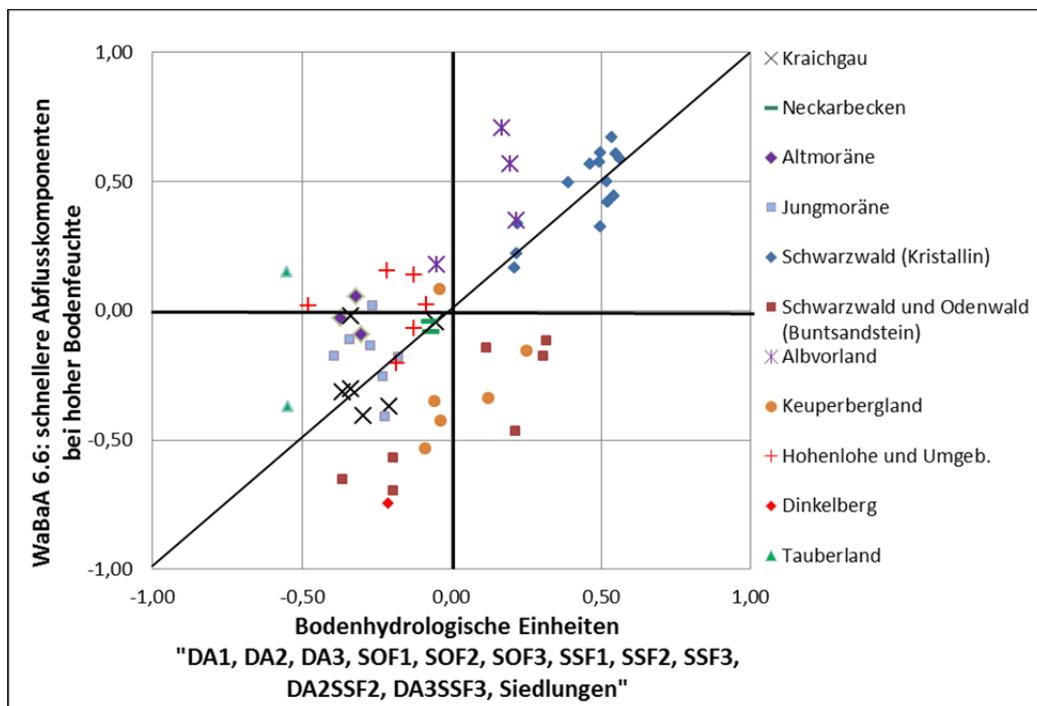


Abb. A5: Gegenüberstellung der schnellen Abflusskomponenten (Summe aus HOF, SOF und SSF in % vom Niederschlag – WaBoA Thema 6.6) und der Verbreitung der Bodenhydrologischen Einheiten ohne Tiefensickerung (Flächenanteile in %) – jeweils relative Abweichung je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) [hohe Bodenvorfeuchte: 90 % nFK bei Stark- und bei Landregen, Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4].

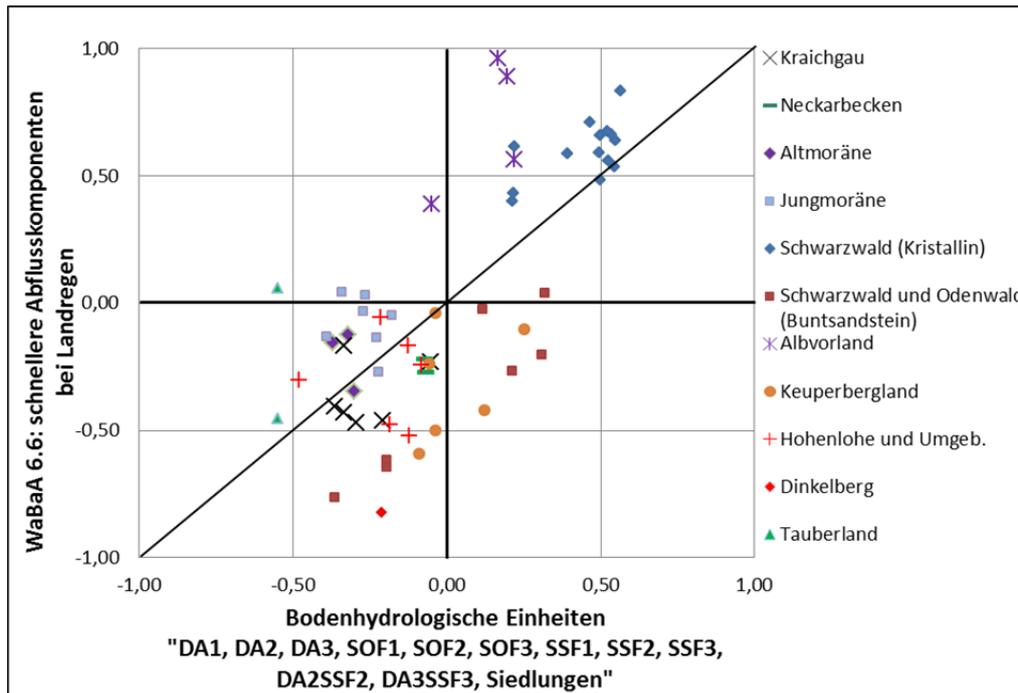


Abb. A6: Gegenüberstellung der schnellen Abflusskomponenten (Summe aus HOF, SOF und SSF in % vom Niederschlag – WaBoA Thema 6.6) und der Verbreitung der Bodenhydrologischen Einheiten ohne Tiefensickerung (Flächenanteile in %) – jeweils relative Abweichung je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) [Landregen: 70 mm in 24 h bei geringer und hoher Bodenvorfeuchte, Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4].

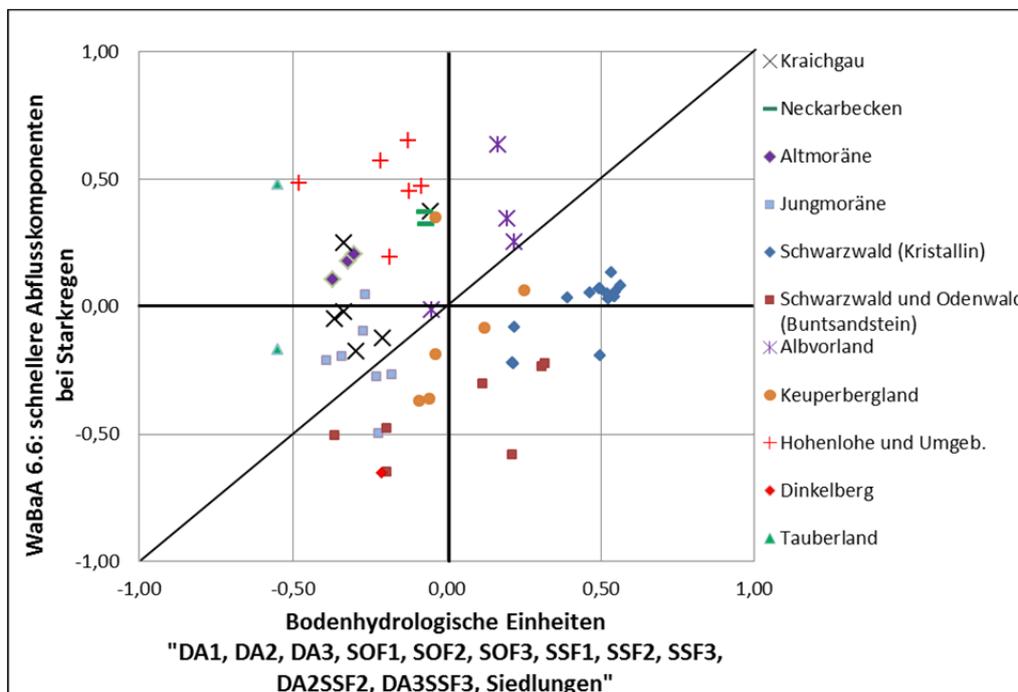


Abb. A7: Gegenüberstellung der schnellen Abflusskomponenten (Summe aus HOF, SOF und SSF in % vom Niederschlag – WaBoA Thema 6.6) und der Verbreitung der Bodenhydrologischen Einheiten ohne Tiefensickerung (Flächenanteile in %) – jeweils relative Abweichung je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) [Starkregen: 40 mm in 1 h bei geringer und hoher Bodenvorfeuchte, Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4].

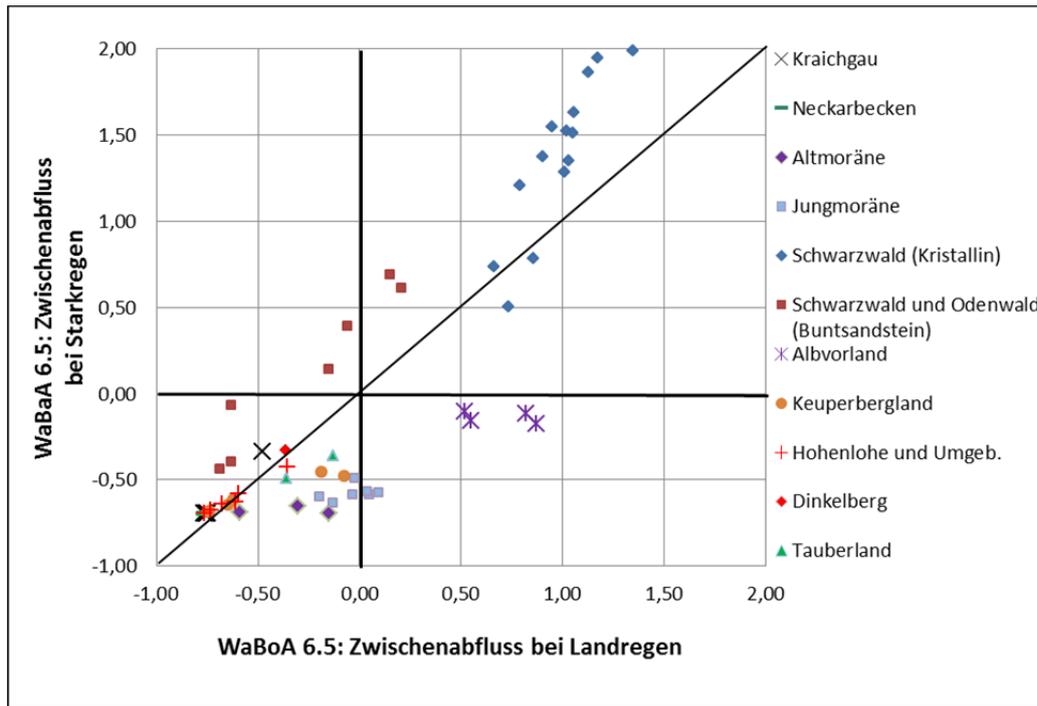


Abb. A8: Relative Abweichung des Zwischenabflusses (SSF – WaBoA Thema 6.5) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei Stark- und bei Landregen [Starkregen: 40 mm in 1 h, Landregen: 70 mm in 24 h, jeweils bei Bodenvorfeuchte von 30 % und bei 90 % der nFK].

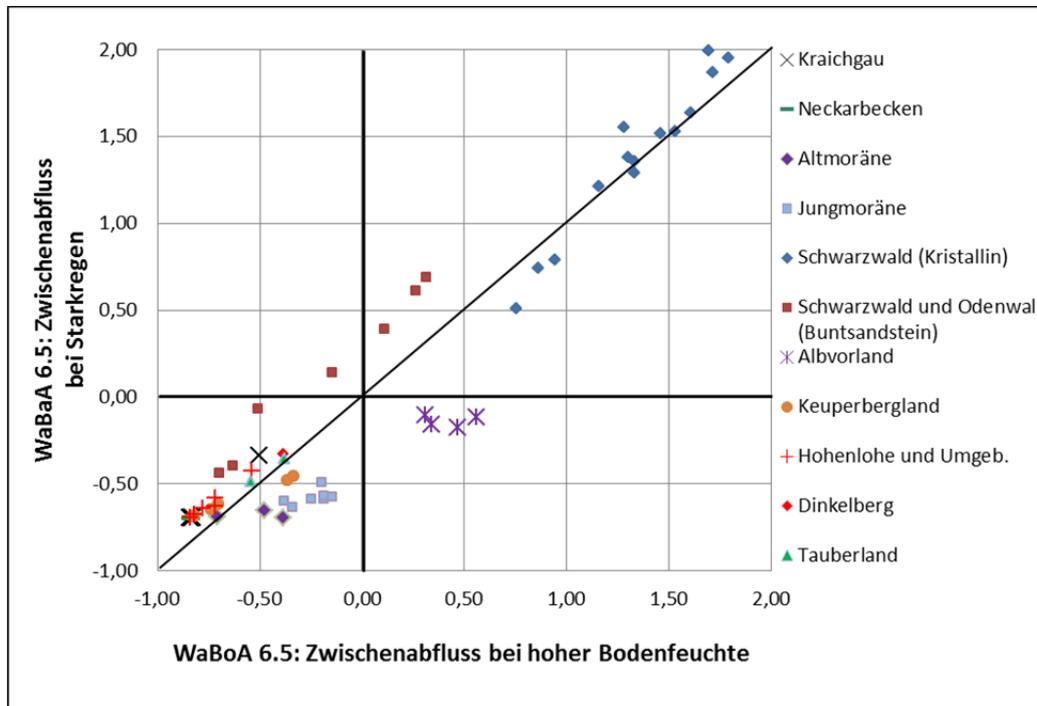


Abb. A9: Relative Abweichung des Zwischenabflusses (SSF – WaBoA Thema 6.5) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei Starkregen und bei hoher Bodenvorfeuchte [Starkregen: 40 mm in 1 h bei Bodenvorfeuchte von 30 % und bei 90 % der nFK, hohe Bodenvorfeuchte: 90 % nFK bei Stark- und bei Landregen].

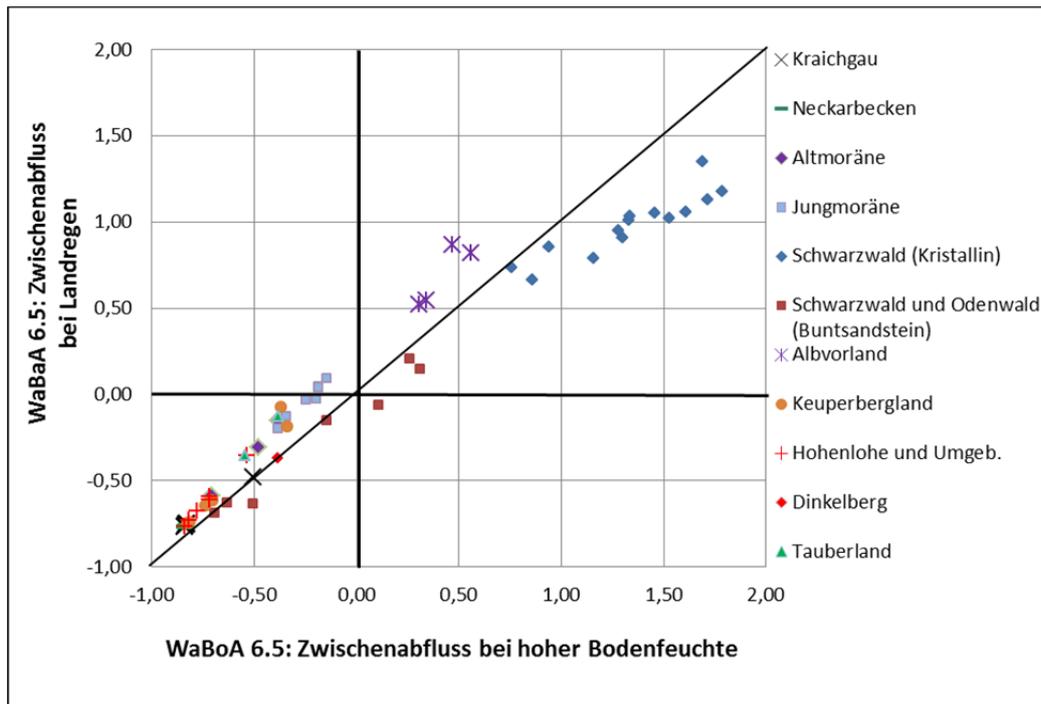


Abb. A10: Relative Abweichung des Zwischenabflusses (SSF – WaBoA Thema 6.5) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei Landregen und bei hoher Bodenvorfeuchte [Landregen: 70 mm in 24 h bei geringer und hoher Bodenvorfeuchte; hohe Bodenvorfeuchte: 90 % nFK bei Stark- und bei Landregen].

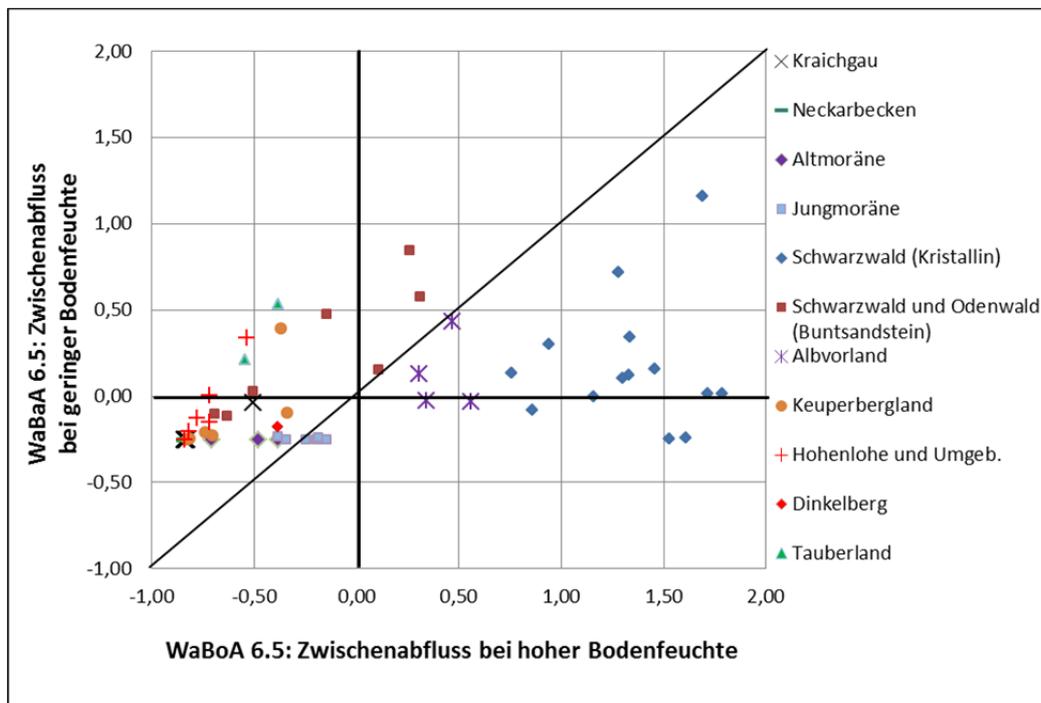


Abb. A11: Relative Abweichung des Zwischenabflusses (SSF – WaBoA Thema 6.5) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei geringer und bei hoher Bodenvorfeuchte [geringe Bodenvorfeuchte: 30 % nFK, hohe Bodenvorfeuchte: 90 % nFK, jeweils bei Stark- und bei Landregen].

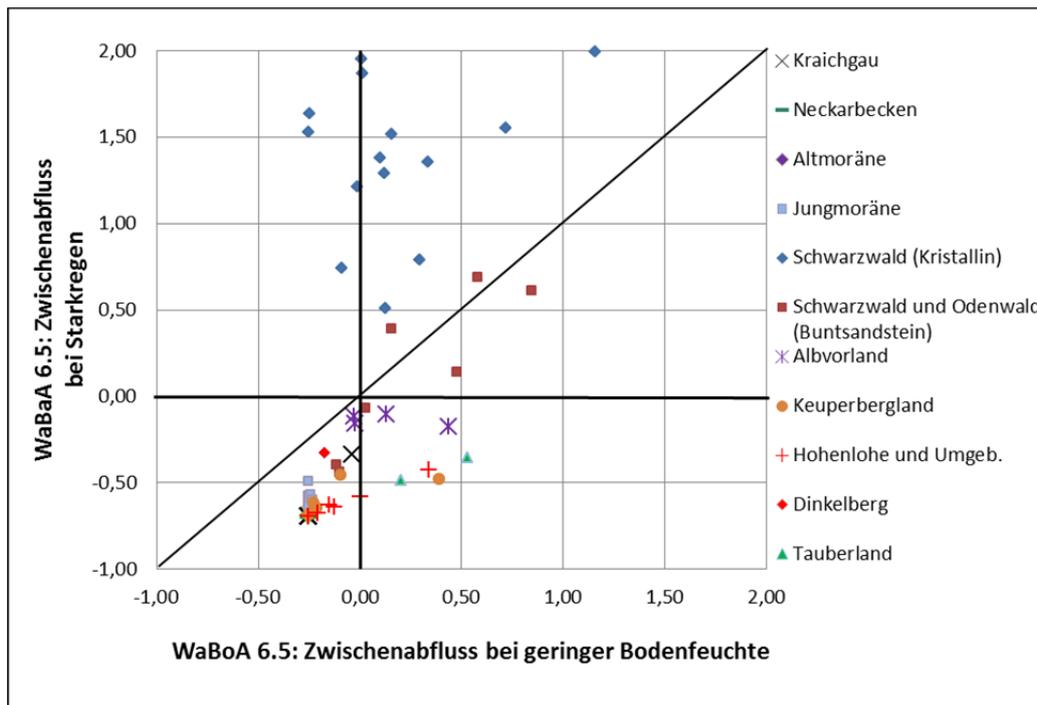


Abb. A12: Relative Abweichung des Zwischenabflusses (SSF – WaBoA Thema 6.5) je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) bei Starkregen und bei geringer Bodenvorfeuchte [Starkregen: 40 mm in 1 h bei geringer und hoher Bodenvorfeuchte; geringe Bodenvorfeuchte: 30 % nFK bei Stark- und bei Landregen].

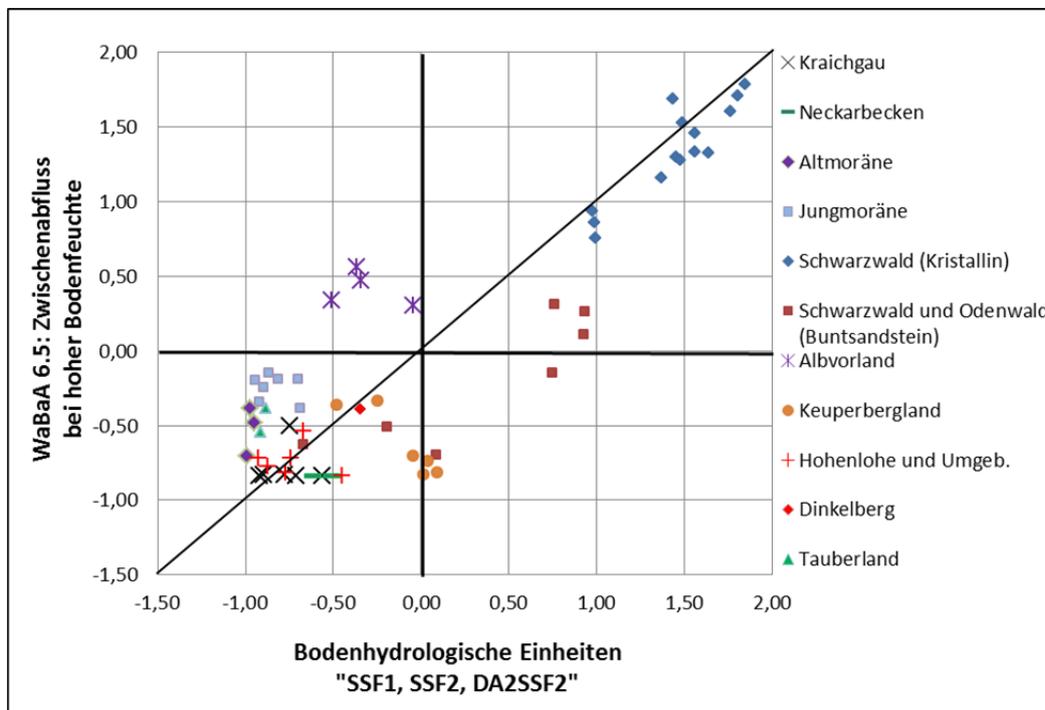


Abb. A13: Gegenüberstellung Zwischenabfluss (SSF in % vom Niederschlag – WaBoA Thema 6.5) und der Verbreitung der Bodenhydrologischen Einheiten mit Zwischenabfluss rascher und verzögerter Reaktionszeit (Flächenanteile in %) – jeweils relative Abweichung je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) [hohe Bodenvorfeuchte: 90 % nFK bei Stark- und bei Landregen, Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4].

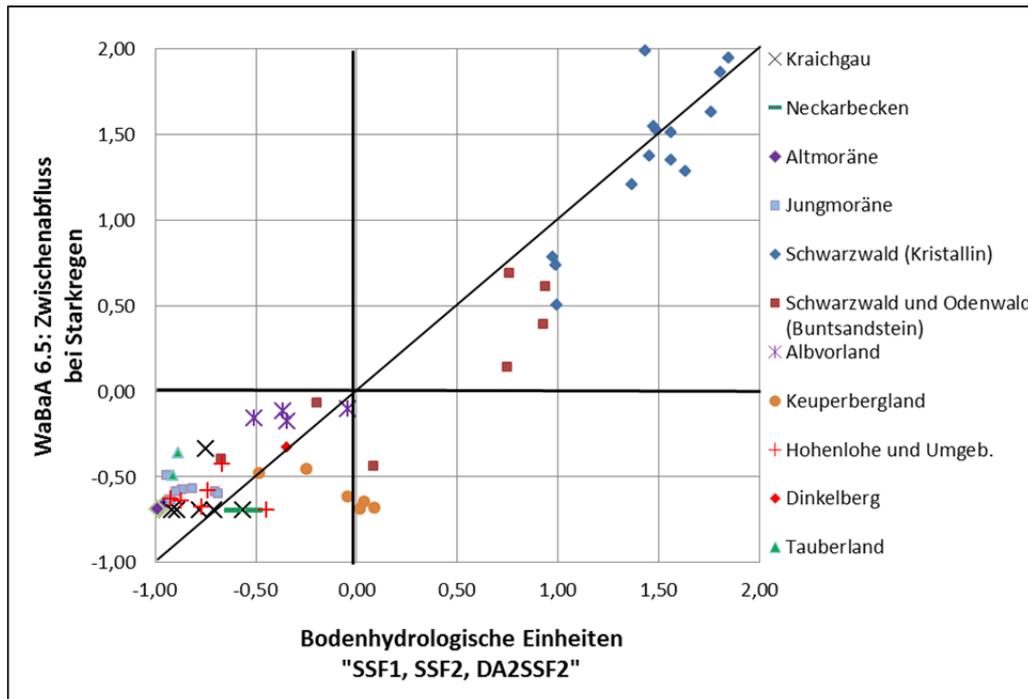


Abb. A14: Gegenüberstellung Zwischenabfluss (SSF in % vom Niederschlag – WaBoA Thema 6.5) und der Verbreitung der Bodenhydrologischen Einheiten mit Zwischenabfluss rascher und verzögerter Reaktionszeit (Flächenanteile in %) – jeweils relative Abweichung je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) [Starkregen: 40 mm in 1 h bei geringer und bei hoher Bodenvorfeuchte, Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4].

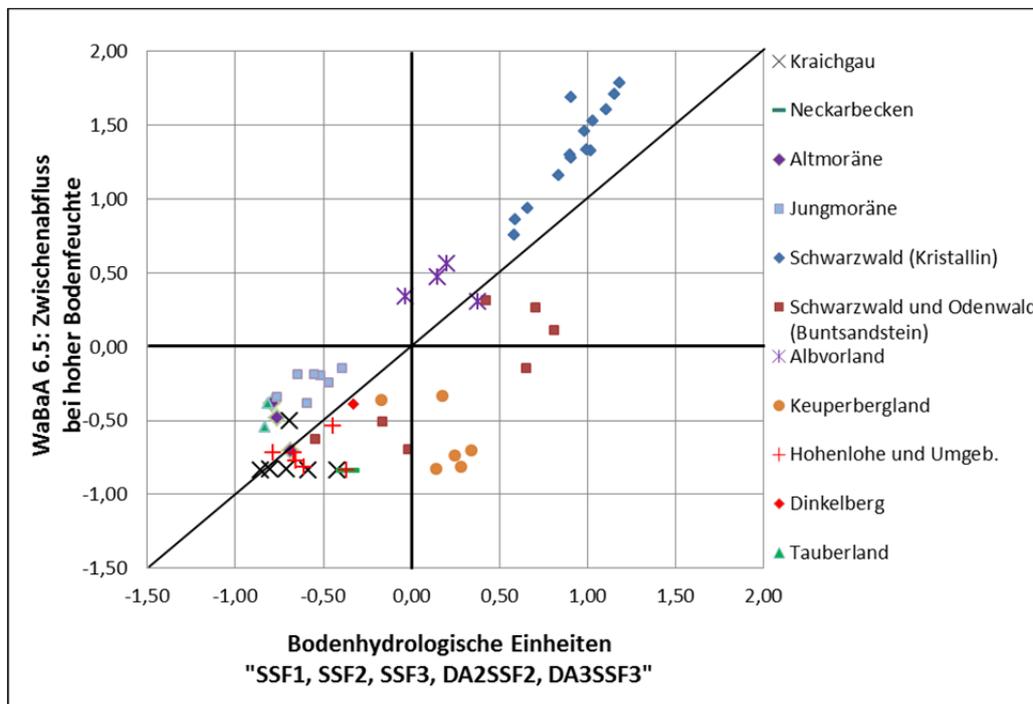


Abb. A15: Gegenüberstellung Zwischenabfluss (SSF in % vom Niederschlag – WaBoA Thema 6.5) und der Verbreitung aller Bodenhydrologischen Einheiten mit Zwischenabfluss (Flächenanteile in %) – jeweils relative Abweichung je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) [hohe Bodenvorfeuchte: 90 % nFK bei Stark- und bei Landregen, Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4].

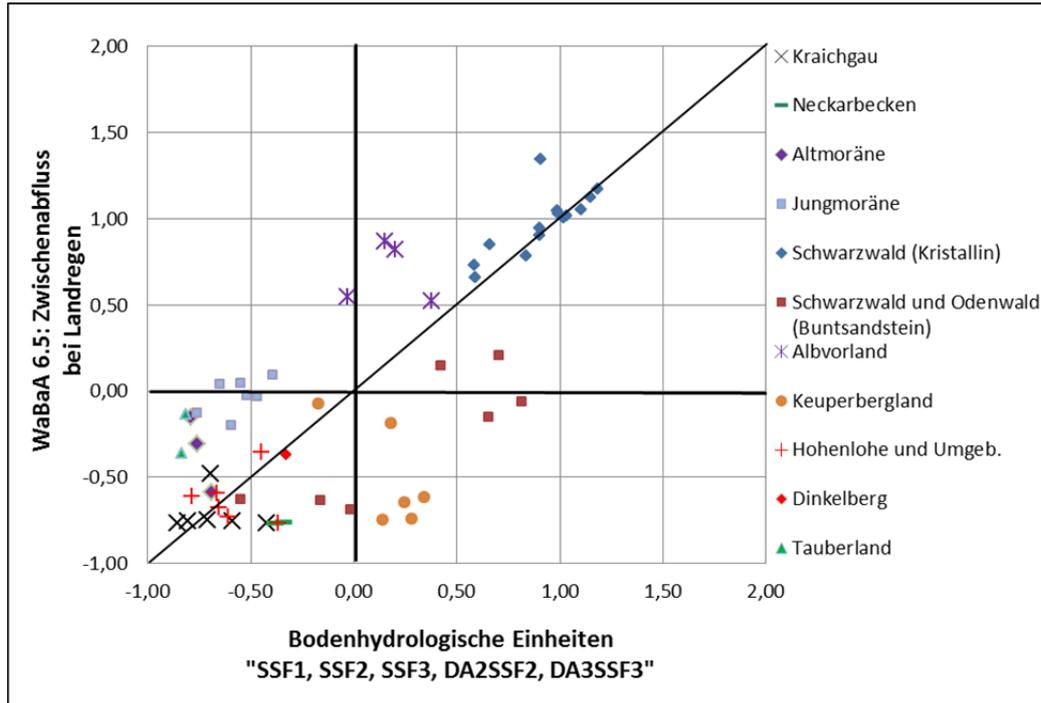


Abb. A16: Gegenüberstellung Zwischenabfluss (SSF in % vom Niederschlag – WaBoA Thema 6.5) und der Verbreitung aller Bodenhydrologischen Einheiten mit Zwischenabfluss (Flächenanteile in %) – jeweils relative Abweichung je Einzugsgebiet vom Mittelwert aller Einzugsgebiete (n=58) [Landregen: 70 mm in 24 h bei geringer und bei hohe Boden- voreuchte, Kürzel der BHE siehe Tab. 2 und 4].

1/2006	(2006)	Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg (1. Ausg. 03-2002/überarb. Ausg. 06-2006); 20 S., 1 Abb., 1 Tab., 1 Kt.	10,- €
1/2006	(2006)	Hydrogeologische Untersuchungen zur Beurteilung von Tiefbaggerungen durch den Oberen Zwischenhorizont in der Rheinniederung nördlich von Karlsruhe; 66 S., 37 Abb., 7 Tab.	10,- €
1/2007	(2007)	Hochauflösende Reflexionsseismik auf dem Rhein und dem Rheinseitenkanal zwischen Mannheim und Rheinfelden; 60 S., 32 Abb., 7 Tab., 1 CD-ROM	18,- €
1/2008	(2008)	Verweilzeiten des Grundwassers in oberflächennahen Grundwasserleitern in Baden-Württemberg; 31 S., 4 Abb., 5 Tab.	10,- €
2/2008	(2008)	Untergrundtemperaturen in Baden-Württemberg; 28 S., 14 Abb., 2 Tab.	10,- €
2015/1	(2015)	Organische Kohlenstoffvorräte der Böden in Baden-Württemberg; 64 S., 28 Abb., 17 Tab.	*
2015/2	(2015)	Ermittlung langjähriger CO ₂ -Emissionen und Beurteilung der Moore Oberschwabens auf Basis historischer und aktueller Höhengivellements; 44 (+69) S., 15 (+107) Abb., 24 (+3) Tab. (Angaben zum Anhang in Klammern)	*
2015/3	(2015)	Identifikation kleinräumiger Risikogebiete zur Reduzierung der diffusen Phosphateinträge in Oberflächengewässer; 37 S., 27 Abb., 13 Tab.	*
2015/4	(2015)	Lithostratigraphische Entwicklung des baden-württembergischen Rheingletschergebiets: Übertiefe Becken- und Moränenlandschaft; 86 (+19) S., 0 (+16) Abb., 4 Tab. (Angaben zum Abbildungsteil in Klammern)	*
2016/1	(2016)	Paläoböden in quartärgeologischen Sequenzen und als Bestandteil des Solumns rezenter Oberflächenböden (... Schichtstufenlandschaft und Alpenvorland ...); 63 S., 19 Abb., 16 Fot., 6 Tab. [Exkursionsführer 35. Jahrestagung AG Paläopedologie]	*
2017/1	(2017)	Periglaziäre Lagen – Ansprache und Gliederung in der feldbodenkundlichen Praxis und ihre Bedeutung für die Bodenbildung; 78 S., 11 Abb., 35 Fot., 22 Tab. [Exkursionsführer zum Geländeworkshop der DBG]	*

 LGRB – Informationen

...	
Heft 18	(2006)	Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006 – Gewinnung, Verbrauch und Sicherung von mineralischen Rohstoffen; 202 S., 209+12 Abb., 15 Tab., 1 Kt.	*
Heft 19	(2007)	Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg); 130 S., 118 Abb., 12 Tab.	10,- €
Heft 20	(2008)	Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg; 106 S., 79 Abb., 21 Tab., 1 Kt.	15,- €
Heft 21	(2008)	Das Geologische Landesmodell von Baden-Württemberg: Datengrundlagen, technische Umsetzung und erste geologische Ergebnisse; 82 S., 36 Abb., 3 Tab. im Anh., 10 Beilage.	15,- €
Heft 22	(2009)	Beiträge zur Lithostratigraphie in Baden-Württemberg; 146 S., 53 Abb., 5 Tab.	15,- €
Heft 23	(2009)	Natürliche Geogene Grundwasserbeschaffenheit in den hydrogeochemischen Einheiten von Baden-Württemberg; 192 S., 43 Abb., 55 Tab., 48 Kt.	15,- €
Heft 24	(2009)	Geogene Grundgehalte (Hintergrundwerte) in den petrogeochemischen Einheiten von Baden-Württemberg; 98 S., 62 Abb., 22 Tab., 40 Kt.	15,- €
Heft 25	(2010)	Beiträge zur Geologie und Bodenkunde in Baden-Württemberg; 142 S., 78 Abb., 17 Tab., 1 Beil.	15,- €
Heft 26	(2012)	Die Forschungsbohrung Heidelberg und Beiträge zum Quartär in Baden-Württemberg; 216 S., 107 Abb., 35 Tab., 1 Beil.	20,- €
Heft 27	(2013)	Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012/2013 Bedarf, Gewinnung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen – Dritter Landesrohstoffbericht; 204 S., 228 Abb., 7 Tab.	10,- €
Heft 28	(2013)	Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben – Fachlich-Technischer Abschlussbericht des INTERREG-Projektes GeORG; 103 S., 49 Abb., 7 Tab.	10,- €
Heft 29	(2014)	Geologische Ergebnisse der Geothermiebohrungen Urach 1, Urach 3 und Urach 4; 152 S., 38 Abb., 3 Tab., 2 Anh.	15,- €
Heft 30	(2015)	GeoMol LCA Projektteam (2015): GeoMol – Geopotenziale für die nachhaltige Nutzung des tieferen Untergrundes in den alpinen Vorlandbecken; 142 S., 78 Abb., 22 Tab.	10,- €

Alle oben aufgeführten Schriften sind im LGRB-Online-Shop käuflich zu erwerben. Preise zuzüglich Versandkosten. Nicht aufgeführte Titel sind zurzeit vergriffen.

* = diese Produkte sind kostenlos downloadbar unter <https://produkte.lgrb-bw.de/schriftensuche>