

Identifikation kleinräumiger Risikogebiete zur Reduzierung der diffusen Phosphateinträge in Oberflächengewässer



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>

Bearbeiter: Dr. Frank Waldmann & Dr. Werner Weinzierl

Bearbeitungsstand: November 2015

© Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Titelbild: Nährstoffeintrag in einen Vorfluter durch Bodenabtrag und Oberflächenabfluss.

Identifikation kleinräumiger Risikogebiete zur Reduzierung der diffusen Phosphateinträge in Oberflächengewässer

Bearbeiter:

Dr. Frank Waldmann und Dr. Werner Weinzierl

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

Gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Ernährung und
Ländlichen Raum Baden-Württemberg (MLR)

LGRB-Fachbericht	2015/3	37 S.	27 Abb.	13 Tab.	Freiburg i. Br., November 2015
------------------	---------------	-------	---------	---------	-----------------------------------

Inhalt	Seite
1 Einleitung	3
2 Datengrundlagen	4
3 Methodik	4
4 Zwischenergebnisse	8
4.1 Bodenabtrag	8
4.2 Abflussbahnen	11
4.3 Aufteilung der Vorflutermessdaten in einen diffusen und einen punktförmigen P-Anteil	17
5 Ermittlung der Risikogebiete	22
5.1 Diskussion	26
Literatur	29
Anhang	31

1 Einleitung

Phosphat bestimmt maßgeblich das Eutrophierungspotenzial der Oberflächengewässer. Für die im Rahmen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) geforderte Maßnahmenplanung wurde in 2008 ein Zielwert von 0,2 mg/l Ortho-Phosphat-Phosphor ($\text{o-PO}_4\text{-P}$) im Jahresmittel vorgegeben. Dies entspricht dem damaligen zweifachen LAWA-Orientierungswert. Da der staugeregelte Neckar eine besondere Empfindlichkeit aufweist, wurde hier ein niedrigerer Maßnahmen auslösender Wert von 0,1 mg/l $\text{o-PO}_4\text{-P}$ festgelegt (Regierungspräsidium Stuttgart 2009). Im Rahmen der zwischen dem Bund und den Bundesländern abgestimmten Konzeption Monitoring Teil B Arbeitspapier II „Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL“ wurden u. a. an Gewässertypen angepasste Nährstofforientierungswerte entwickelt (LAWA-AO 2015). Als Orientierungswert für P_{ges} gilt landesweit ein Wert von 0,1 mg/l. Für $\text{o-PO}_4\text{-P}$ liegt der aktuelle Orientierungswert im Alpenvorland bei 0,05 mg/l und in den übrigen Gebieten Baden-Württembergs bei 0,07 mg/l.

Die Festlegung eines Handlungsbedarfs zur Nährstoffreduzierung in den einzelnen WRRL-Wasserkörpern basiert in Baden-Württemberg ab 2014 ausschließlich auf der biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten und Phytobenthos“.

Die Bilanzierung der Nährstoffeinträge von N_{ges} , P_{ges} und o-PO_4 in die Oberflächengewässer Baden-Württembergs wurde für 159 bzw. 164 WRRL-Wasserkörper in 2008 mit dem Modell MONERIS (Model of Nutrient Emissions in River Systems) und in 2013 mit dem Modell MoRE-BW (Modelling Regionalized Emissions – Baden-Württemberg) durch das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT) durchgeführt (LUBW 2007b, 2008a, 2008b, 2013). In den Modellen werden die verschiedenen Eintragspfade separat abgebildet. In den Modellen können aktuell jedoch unterschiedliche ackerbauliche Bewirtschaftungsweisen (z. B. verschiedene Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau und pfluglose Bewirtschaftung) nicht berücksichtigt werden.

Die biologischen und chemischen Untersuchungen und Auswertungen sowie die Modellierungen und Maßnahmenplanungen orientieren sich an den WRRL-Wasserkörpern. Eine stärkere räumliche Differenzierung wurde bisher noch nicht vorgenommen. Für eine gezielte und optimierte landwirtschaftliche Maßnahmenplanung, -umsetzung und -förderung ist eine hoch aufgelöste Flächeninformation notwendig. Hierfür sind in Baden-Württemberg erfahrungsgemäß nur Informationen geeignet, die Flurstücken oder Gemarkungen zugewiesen werden können.

2 Datengrundlagen

Neben allgemein verfügbaren Unterlagen wurden von verschiedenen Landesbehörden weitere Daten zur Verfügung gestellt (Tab. 1).

Das Informatikzentrum Landesverwaltung BW (IZLBW) hat die übermittelten landwirtschaftlichen Daten vor dem Hintergrund eines besonderen Datenschutzes bereits auf die Gemarkungsebene aggregiert.

Tab. 1: Datengrundlagen

Quelle	Daten
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung BW (LGL)	- Digitales Geländemodell (DGM5) - Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) und Automatisiertes Liegenschaftsbuch (ALB) (Stand 2010) - Landnutzung - Gewässernetz
Informatikzentrum Landesverwaltung BW (IZLBW)	- Mulchsaat- und Zwischenfruchtflächen aus Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA 2010) - Flächengröße der Ackerschläge (GA 2010) - Erosionskataster BW (Stand 2010)
Statistisches Landesamt BW (STALA)	- Bodennutzungshaupterhebung (2007)
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)	- Pcal Oberboden (2001-2009)
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz BW (LUBW)	- Phosphat-Messwerte Vorfluter (2003 - 2008) - Einzugsgebiete - Wasserschutzgebiete - Stoffbilanzierungen der WRRL-Wasserkörper (MONERIS 2008, 2010, MoRE-BW 2013)
Umweltministerium Baden-Württemberg	- Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (2007 und 2012)

3 Methodik

Die Zielgröße der hier durchgeführten Flächendifferenzierung ist die Gemarkung. Die fachliche Bearbeitung erfolgt jedoch innerhalb von Wassereinzugsgebieten. Nur hiermit ist ein Abgleich mit den Phosphat-Messwerten der Vorflutern möglich. Die Einzugsgebietsergebnisse werden anschließend auf die Gemarkungen übertragen.

Die räumliche Bezugsebene bilden 5462 Einzugsgebiete (Abb. 1). Diese Einzugsgebiete werden, da zahlreiche der verwendeten Daten nur für Baden-Württemberg vorliegen, auf das Landesgebiet beschränkt. Das Landesgebiet stimmt in weiten

Teilen gut mit den Wassereinzugsgebietsgrenzen überein. Nur im äußersten SW sowie im N und NO liegt ein Teil der Einzugsgebiete in Bayern und in Österreich. Diese „Randeffekte“ sind bei der Interpretation der Daten zu beachten.

Eine seit 2009 vorliegende feinere Einzugsgebietsgliederung der LUBW mit über 9000 Teileinzugsgebieten wurde geprüft, jedoch nicht weiterverwendet. Da die Einzugsgebiete nur eine Hilfsgröße für die thematische Bearbeitung sind, die Risikogebietsabgrenzung sich jedoch an Verwaltungseinheiten (Gemarkungen) ausrichtet, sind die 5462 Einzugsgebiete von der Anzahl, Fläche und Lage ausreichend und i. d. R. gut mit den Gemarkungsgrenzen zu korrelieren. Die über 9000 Teileinzugsgebiete stellen für die Auswertung eine zu feingliedrige Unterteilung dar, die erst wieder eine Aggregation benötigen, um sie auf Gemarkungen übertragen zu können.

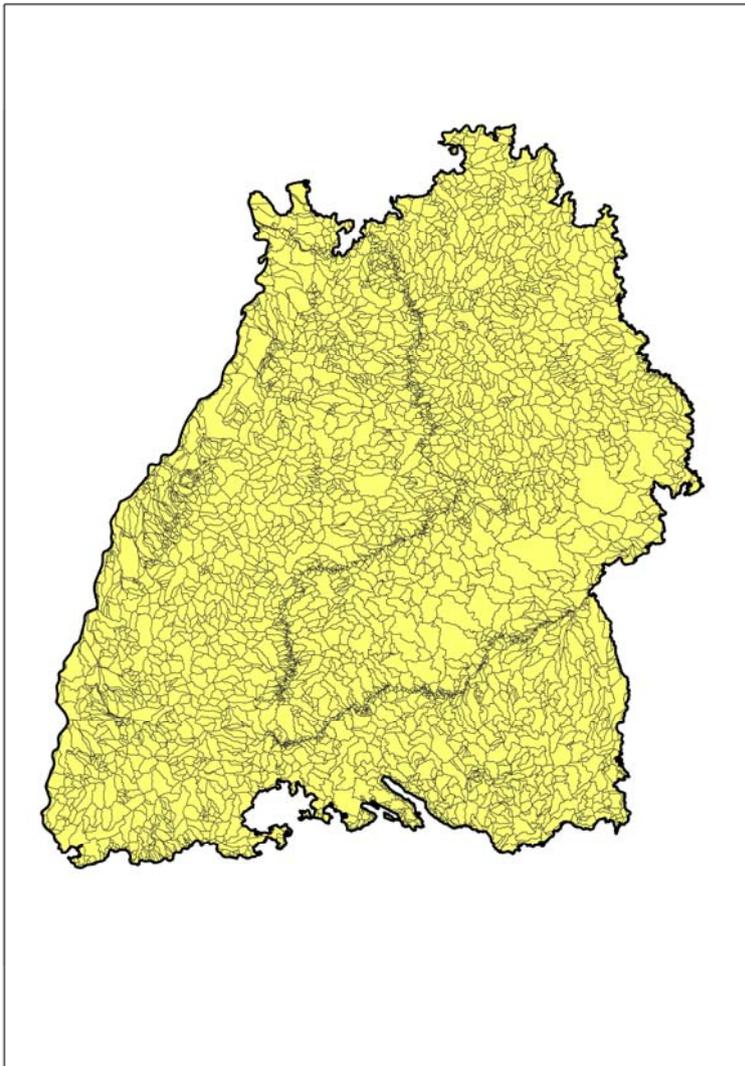


Abb. 1: Wassereinzugsgebiete innerhalb Baden-Württembergs [n=5462] (verändert nach Umweltministerium Baden-Württemberg 2007).



3.1 Datenaufbereitung

Die zentrale Bearbeitungsgröße ist das Einzugsgebiet (EZG). Alle Parameter und Einzelthemen werden auf diese Bezugsebene ausgerichtet. Datentechnisch wurden Schnittstellen zwischen Einzugsgebieten, Gemarkungen und Flurstücken angelegt. Jedes Flurstück ist nach dem Kriterium des größten Flächenanteils genau einem Einzugsgebiet zugeordnet. Jedes Einzugsgebiet ist entsprechend einer Gemarkung zugewiesen. Unter dem Begriff „bezugsfreie Geometrien“ (Abb. 2) sind alle Daten zusammengefasst, die keinen direkten Bezug zu Flurstücken oder Gemarkungen aufweisen (z. B. Klimadaten).

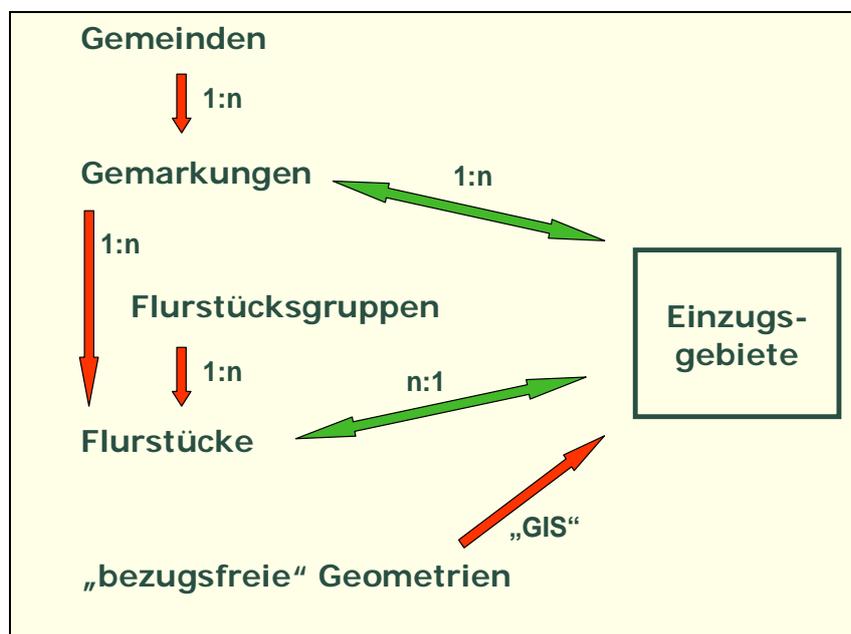


Abb. 2: Datenaufbereitung.



Tab. 2: Vorliegende und neu berechnete (in fett) Eingangsdaten

Räumliche Bezugsebene	Inhalt	Datenformat
Gemeinde	- Ackerkulturen - Großvieheinheiten	Vektor
Gemarkung	- Mulchsaat - Zwischenfrucht - Ackerschläge - C-Faktor - Pcal Oberboden	Vektor
Flurstücksgruppe	- L-Faktor	Vektor
Flurstück	- ALK - „Nettofläche“ (landwirtschaftlich genutzter Teil eines Flurstücks ohne Landschaftselemente) - K-Faktor - S-Faktor (für Flurstücke mit Ackernutzung <75% neu berechnet, sonst Übernahme aus Erosionskataster) - Bodenabtrag nach ABAG	Vektor
„freie“ Geometrie	- DGM5	Raster
	- Abflussbahnen	Raster und Vektor
	- R-Faktor - Landnutzung - Gewässer - Oberflächenabfluss	Vektor
	- Phosphat-Messwerte Vorfluter	
Einzugsgebiete	- Bodenabtrag nach ABAG - Ackerschlagverteilung - Landnutzung - Landnutzung im Umfeld (10m, 30m, 100m) der Vorfluter - Gewässernetzdichte - Abflussbahndichte - Landnutzung im Umfeld (10m, 30m, 100m) der Abflussbahnen	Vektor



Einzelne Parameter und deren Kombinationen mit verschiedenen Landnutzungen ergeben insgesamt 59 Gebietskenngrößen, die möglicherweise einen Einfluss auf den Nährstoffaustrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen ausweisen (Tab. 3).

Tab. 3: Übersicht der für die 5462 Einzugsgebiete erhobenen Gebietskenngrößen

Gebietskenngröße	Anzahl Parameter	Gebietskenngröße	Anzahl Parameter
Vorfluterdichte	1	Kombination	9
Landnutzung	8		
Abflussbahnen	-	Kombination	9
Abflussbahndichte	5		
Bodenabtrag	4		3
Ackerschläge	3		
Phosphatgehalt Oberboden	3		
Großvieheinheit	1		
Oberflächenabfluss	1	Kombination	12
Landnutzung	-		
Summe	26		33 59

4 Zwischenergebnisse

Als Ergebnis der statistischen Auswertung ist festzustellen, dass nur 3 der 59 Gebietskenngrößen für die Erklärung der P-Gehalte in den Vorflutern aus diffusen Quellen benötigt werden (Kap. 5). Deshalb werden folgend zwei dieser Prädiktoren näher erläutert.

4.1 Bodenabtrag

Die Ermittlung des langjährigen, mittleren Bodenabtrags erfolgte mit der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (SCHWERTMANN et al. 1990, WISCHMEIER & SMITH 1978). Die Berechnungen und Ableitungen der einzelnen Faktoren R, K, L, S, C und P sind im Anhang dokumentiert. Die für die Berechnung der einzelnen C-Faktoren verwendeten Ackerkulturen, Mulchsaat- und Zwischenfruchtdate sind in den Tabellen 4 und 5 zusammengestellt.

Die Einzelfaktoren der Bodenabtragsberechnung wurden für alle Acker-, Garten- sowie Rebflurstücke ermittelt (Anhang Tab. A4) und anschließend auf die Einzugsgebiete hoch aggregiert.



Tab. 4: Zusammenfassung und Klassenbildung der Ackerkulturen der Bodennutzungshaupterhebung zur Ableitung des Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C-Faktor) der ABAG

Ackerkulturen	Anteil [%] an Ackerfläche je Gemeinde	Verhältnis Winter- zu Sommergetreide
Getreide	<10, 10-25, 25-40, 40-60, >60	>=5:1, 4:1 & 3:1, <=2:1
Raps	5-15, 15-25	
Mais und Hackfrüchte (incl. Silomais)	<10, 10-25, 25-40, 40-60, >60	
Handelsgewächse (ohne Raps)	10-25, 25-40, 40-60, >60	
Gartenbauerzeugnisse	10-25, 25-50, >50	
Feldfutter (ohne Silomais)	10-25, 25-40, 40-60, >60	

Tab. 5: Zusammenfassung der Mulchsaat- und Zwischenfruchtflächen zur Ableitung des Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C-Faktor) der ABAG

Bewirtschaftung	Anteil [%] an Ackerfläche je Gemarkung
Mulchsaat *	<10, 10-25, 25-50, 50-75, >75
Zwischenfrucht **	<25, 25-50, >50

* MEKA-Code: MC78 und MC79

** MEKA-Code: MC72, (incl. MC76 - Brachebegrünung)

Die Angaben der Bodennutzungshaupterhebung sind in der Abbildung 3 beispielhaft für den Getreideanbau im Land dargestellt. C-Faktoren einzelner Ackerkulturen und Bewirtschaftungsweisen sowie C-Faktoren von Fruchtfolgen sind in zahlreichen Publikationen aufgeführt. Sie mussten jedoch an die hier verwendeten Datengrundlagen und die jeweiligen Klasseneinteilungen angepasst werden (Tab. 4 u. 5). Den aus den Ackerkulturen der Bodennutzungshaupterhebung abgeleiteten C-Faktoren wird eine wendende Bodenbearbeitung ohne Zwischenfruchtanbau unterstellt (Anhang Abb. A3). Mulchsaat- und Zwischenfruchtflächen wurden separat ermittelt. Hierfür wurden die MEKA-Daten verwendet (Tab. 5). Bei bestimmten Fruchtfolgen innerhalb der als Problem- und Sanierungsgebiete eingestuften Wasserschutzgebiete sind nach der Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung (SchALVO) Mulchsaat bzw. Zwischenfruchtanbau vorgeschrieben. Damit sind diese Maßnahmen nicht MEKA-fähig und somit auch nicht im MEKA-Datensatz enthalten. Für die Problem- und Sanierungsgebiete erfolgte deshalb eine Abschätzung der Mulchsaat- und Zwischenfruchtanbauflächen. In Abbildung A4 ist der aktuelle C-Faktor, d. h. incl. Mulchsaat und Zwischenfrucht, dargestellt.

Für beide Varianten (C-Faktoren konventionell und aktuell) wurde der mittlere Bodenabtrag nach ABAG je Flurstück berechnet. Aus allen Flurstücksabtragswerten wird der Einzugsgebietsabtrag (in t/a) ermittelt. Um landesweit vergleichbare Bodenabtragswerte zu erhalten, werden die Einzugsgebietswerte nur auf die Acker-, Garten- und Reblandfläche und separat auf die gesamte Einzugsgebietsfläche (Abb. 4 u. 5) bezogen.

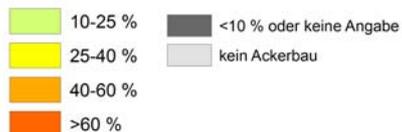
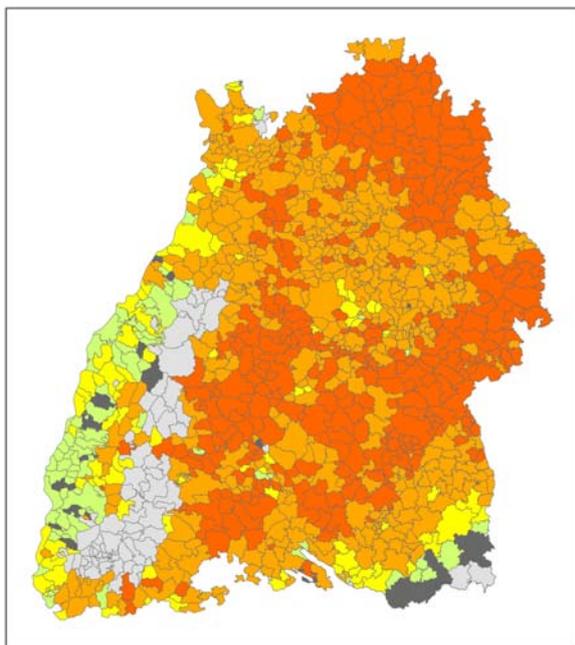


Abb. 3: Getreideanteil der Ackerfläche auf Gemeindeebene
(Quelle: Bodennutzungshaupterhebung 2007).

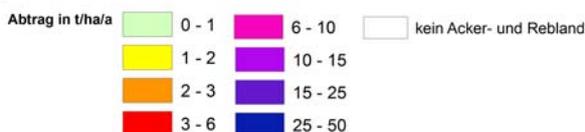
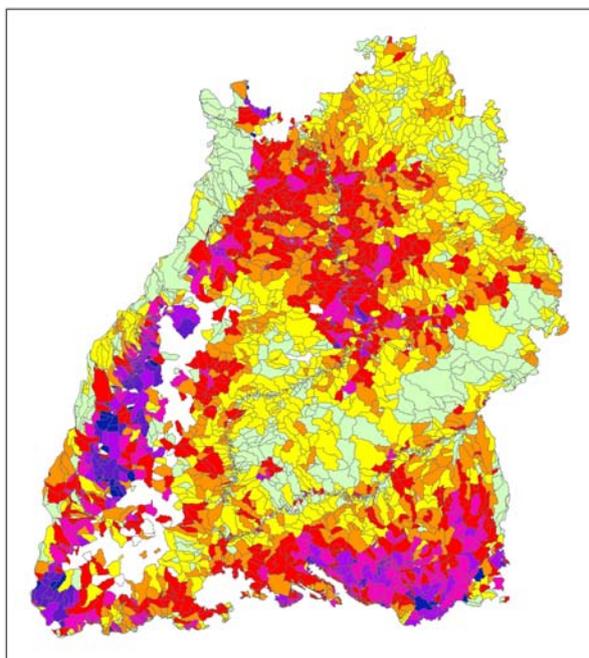


Abb. 4: Langjähriger mittlerer Bodenabtrag der Acker-, Garten- und Reblandflächen in den 5462 Einzugsgebieten [d.h. t/ha Acker-, Garten & Rebland und Jahr]
Methode: ABAG, Ackerkulturen der Bodennutzungshaupterhebung 2007 mit Mulchsaat und Zwischenfrucht aus MEKA 2010 (incl. Problem- und Sanierungsgebietsabschätzung).

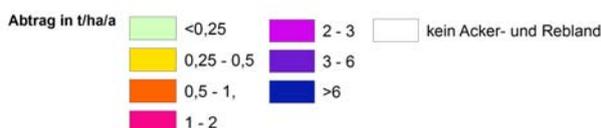
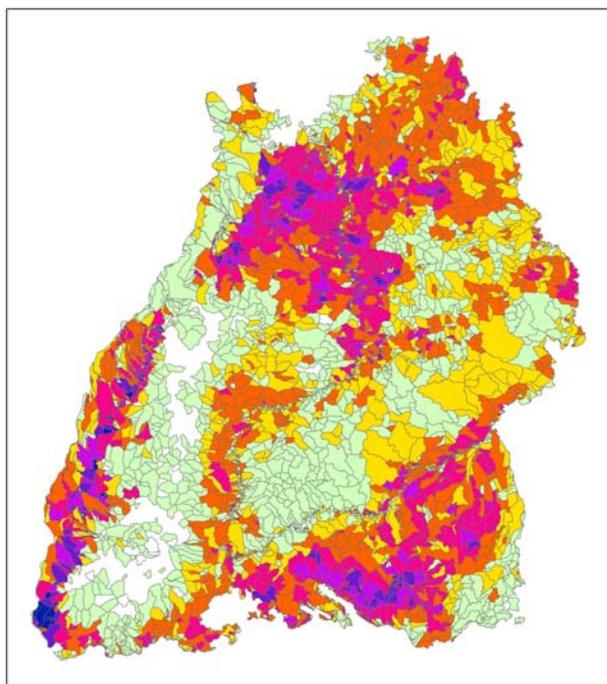


Abb. 5: Langjähriger mittlerer Bodenabtrag innerhalb der 5462 Einzugsgebiete, bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet [d.h. t/ha Einzugsgebiet und Jahr] Methode: ABAG, Ackerkulturen der Bodennutzungshaupterhebung 2007 und der Mulchsaat- und Zwischenfruchtflächen aus MEKA 2010 (incl. Problem- und Sanierungsgebietsabschätzung).

4.2 Abflussbahnen

Bodenabtrag und Stofftransport in Oberflächengewässer ist v. a. das Ergebnis von Einzelereignissen (d. h. Starkniederschlägen). Tabelle 6 zeigt, dass in einer Versuchsfläche mit einem Tagesereignis ca. 2/3 des gesamten Bodenabtrags einer 4-jährigen Messzeit erodiert wurde. Bei solch extremen Ereignissen gibt es keinen gleichmäßigen Bodenabtrag über die gesamte Fläche. Der Oberflächenabfluss und der Bodenabtrag, und somit auch der Stoffeintrag in die Vorfluter, konzentrieren sich in kleinen und großen Abflussbahnen, die den Tiefenlinien folgen.

Tab. 6: Bodenabtrag Versuchsfläche LANUV NRW in Ratingen, 1997-2001 (HAIDER 2010)

Datum	Anteil am Gesamtabtrag [%]	Kumul. Anteil am Gesamtabtrag [%]
11.06.1997	63,3	63,3
03.06.2000	6,4	69,7
02.07.2000	6,3	76,0
06.09.1999	6,0	82,0
30.06.1997	3,5	85,5
13.07.1999	2,6	88,1
27.06.1997	2,5	90,6

Auf Basis des DGM5 wurden landesweit alle Abflussbahnen im 5 x 5 m Raster



berechnet (Abb. 6). Sie beginnen ab einer Einzugsgebietsgröße von 0,5 ha und enden an den Vorflutern oder an den Siedlungsgrenzen. Um zu verdeutlichen, dass es sich dabei um reale Abflussbahnen handelt, sind in den Abbildungen 7 bis 9 drei anschauliche Beispiele dargestellt. In den Luftbildern sind Teile der Abflussbahnen bereits gut erkennbar. Sichtbare Effekte im Luftbild können auftreten durch

- tiefe Rinnen und Gräben,
- Bodendegradationen (z.B. geringerer Humusgehalt),
- Aufwuchsstörungen,
- umgelegter Pflanzenbestand.

Die Daten der Abflussbahnen incl. der Eintrittsstellen in die Vorfluter liefern zunächst nur eine visuelle Darstellung. Für die Risikogebietsermittlung müssen sie in eine numerische Größe überführt werden. In Analogie zur Vorfluterdichte wurde die Abflussbahndichte je Einzugsgebiet (in km/km^2) berechnet und zusätzlich mit den Ackerflächen im direkten Umfeld der Abflussbahnen in Verbindung gebracht. Dafür wurden ein 10 m, ein 30 m und ein 100 m Streifen entlang der Abflussbahnen verwendet. Je höher die Abflussbahndichte und je größer die Ackerflächen im direkten Umfeld, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Feststoffe und gelöste Stoffe bis in die Vorfluter transportiert werden.

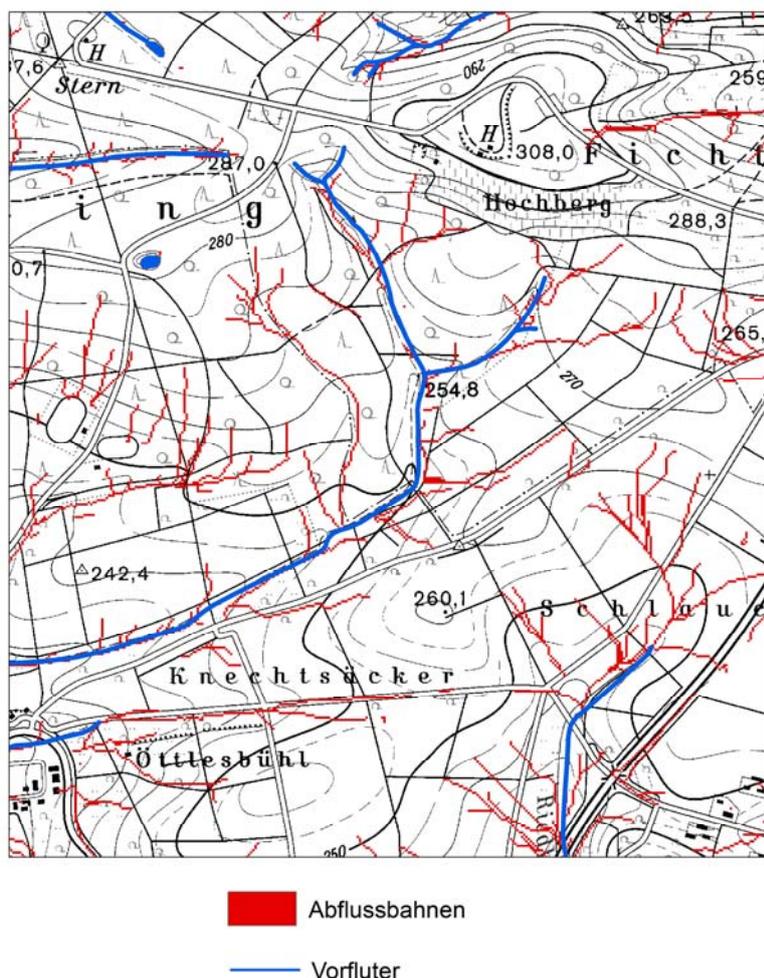
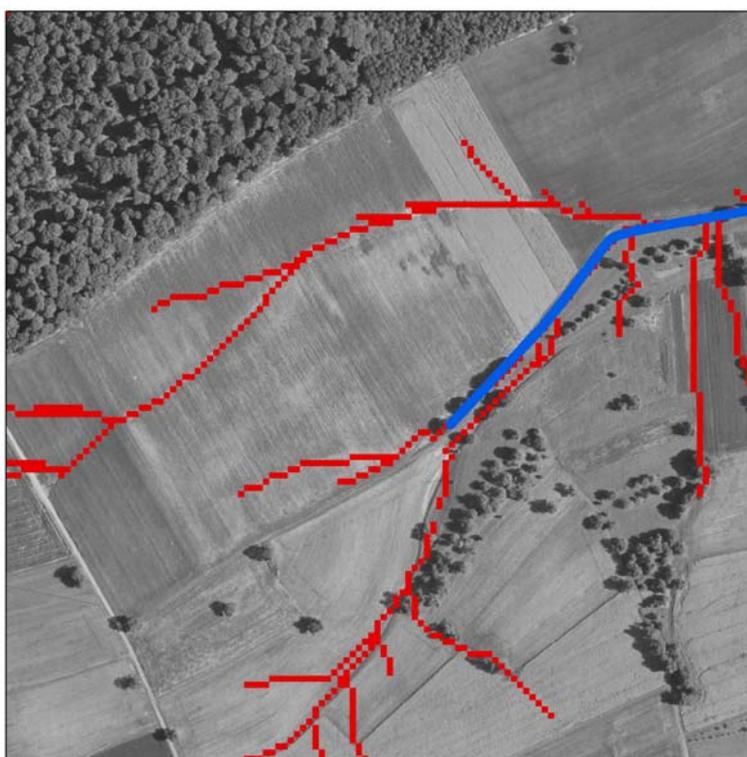
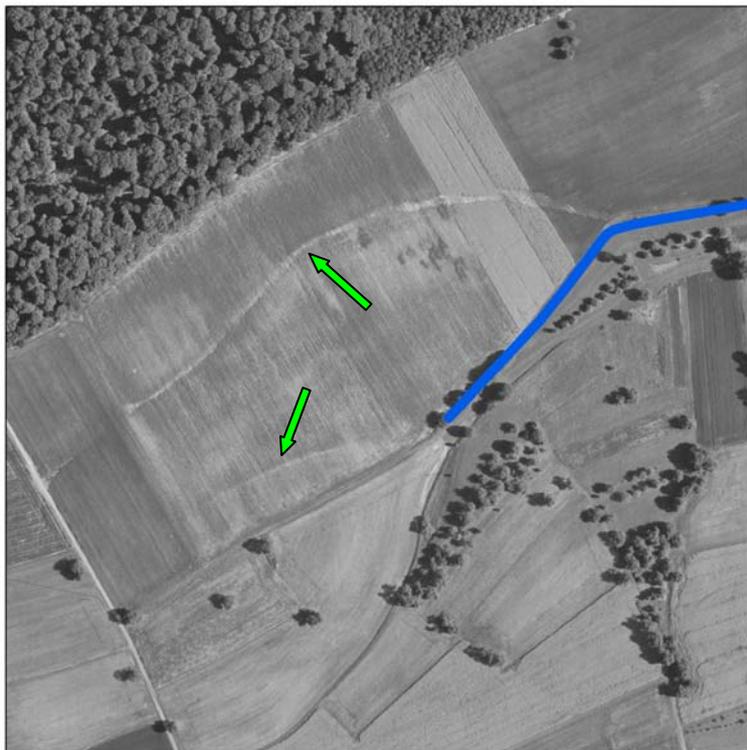


Abb. 6: Beispiel - Abflussbahnen im 5 x 5 m Raster (Vorfluter überzeichnet).



-  Vorfluter
-  Abflussbahnen

Abb. 7: Abflussbahnen - Beispiel 1.



-  Vorfluter
-  Abflussbahnen

Abb. 8: Abflussbahnen - Beispiel 2.



 **Abflussbahnen**

Abb. 9: *Abflussbahnen - Beispiel 3.*

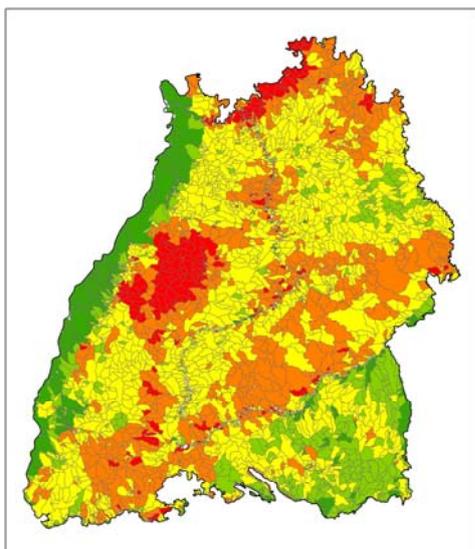


Abb. 10a: Abflussbahndichte (Tiefenlinien ab einer Einzugsgebietsgröße von 0,5 ha bis zum Eintritt in die Vorfluter oder bis zum Siedlungsrand).

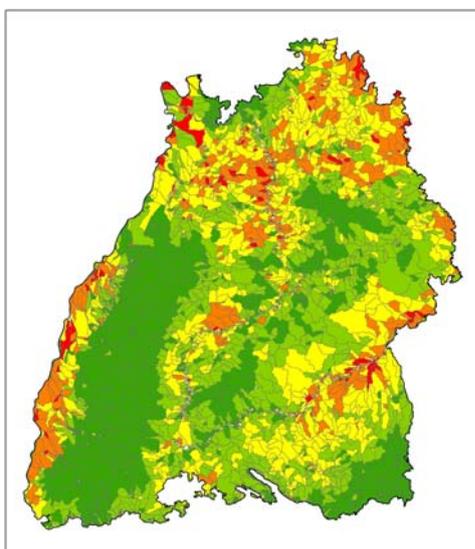


Abb. 10b: Acker- und Reblandanteil im Umfeld der Abflussbahnen (100 m Puffer).

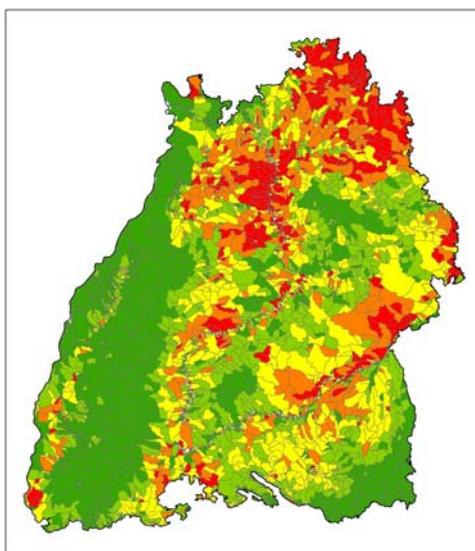


Abb. 10c: Produkt aus den Inhalten der Abbildungen 2a und 2b.

Bsp.: $2 \text{ km/km}^2 \times 8 \% = 16$
(Dimension wird nicht benötigt und wird nicht geführt).





Die Abflussbahndichte ohne Nutzungsdifferenzierung mit den höchsten Werten im Nordschwarzwald und im Odenwald wird im Wesentlichen von der Reliefenergie gesteuert. Sie stellt, isoliert betrachtet, keine verwendbare Gebietskenngröße dar (Abb. 10a). Ebenso ist nur die alleinige Betrachtung der Acker- und Reblandflächen in einer definierten Umgebung zu den Abflussbahnen nicht Ziel führend (Abb. 10b). Gebiete am Oberrhein weisen so z. B. ähnliche Werte wie im Kraichgau auf. Erst die Kombination beider Parameter (Abb. 10c) liefert inhaltlich und räumlich eine Größe, die für die Erklärung der unterschiedlichen Phosphatkonzentrationen in den Vorflutern verwendet werden kann (Kap. 5).

4.3 Aufteilung der Vorflutermessdaten in einen diffusen und einen punktförmigen Anteil

Aus den von der LUBW zur Verfügung gestellten o-Phosphat-Phosphor Messwerten (Mittelwerte der Jahre 2003-2008) wurden die Pegeldata der Nebenflüsse von Rhein, Neckar, Donau und Main ausgewählt (Abb. 12). Damit „P-Messwerte“ für möglichst kleine Teileinzugsgebiete (Unter-, Mittel-, Oberlauf) zur Verfügung stehen, wurden die Daten entsprechend den Angaben in Abbildung 11 und den Gleichungen Gl. 1-3 weiter in aufbereitet.

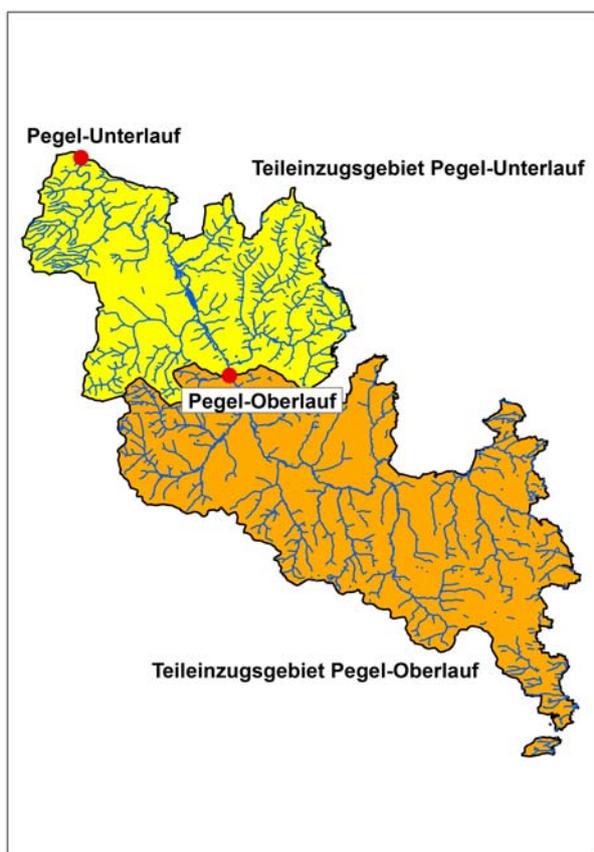


Abb. 11: Beispiel für die Aufteilung von Messwerten in Teileinzugsgebiete (siehe Gl. 1 - 3).



$$\text{Fracht Pegel}_{\text{Oberlauf}} = \text{mittl. Stoffkonz. Pegel}_{\text{Oberlauf}} \times \text{mittl. Abfluss TEZG}_{\text{Oberlauf}} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$\text{Fracht Pegel}_{\text{Unterlauf}} = \text{mittl. Stoffkonz. Pegel}_{\text{Unterlauf}} \times (\text{mittl. Abfluss TEZG}_{\text{Unterlauf}} + \text{mittl. Abfluss TEZG}_{\text{Oberlauf}}) \quad (\text{Gl. 2})$$

$$\text{berechnete mittl. Stoffkonz. am Pegel}_{\text{Unterlauf}} \text{ nur für TEZG}_{\text{Unterlauf}} = (\text{Fracht Pegel}_{\text{Unterlauf}} - \text{Fracht Pegel}_{\text{Oberlauf}}) / \text{mittl. Abfluss TEZG}_{\text{Unterlauf}} \quad (\text{Gl. 3})$$

[TEZG = Teileinzugsgebiet]

Die Abflussdaten der 102 Teileinzugsgebiete (Abb. 12) wurden aus dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (UM 2012) abgeleitet. Die Berechnung mittlerer P-Konzentrationen für Teileinzugsgebiete ist mit den verfügbaren Daten nur vereinfachend durchzuführen (Gl. 1 bis 3). Für die Beprobungszeitpunkte der Wasseranalysen liegen keine Abflussdaten vor. Somit können keine P-Frachten zum Messzeitpunkt ermittelt und daraus keine mittlere P-Frachten berechnet werden. Es liegen nur langjährige mittlere P-Konzentrationen vor, die multipliziert mit einem mittleren Abfluss zur mittleren P-Fracht führen.

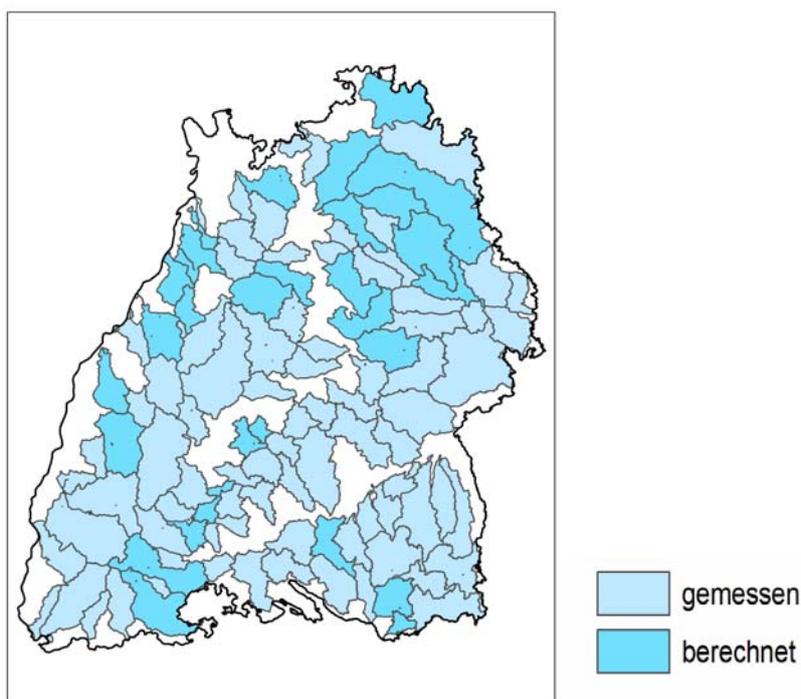


Abb. 12: 102 Teileinzugsgebiete deren Hauptvorfluter eine gemessene oder nach den Gleichungen Gl.1-3 berechnete P-Konzentration aufweisen (Mittelwert 2003-2008).

Die gemessenen bzw. berechneten mittleren P-Konzentrationen der Vorfluter setzen sich aus diffusen und aus meist punktförmigen Stoffeinträgen zusammen. Beim diffusen Stoffeintrag spielen v. a. die landwirtschaftlich genutzten Flächen eine große Rolle. Die Abtrennung des diffusen Anteils vom P-Messwert kann mit den



vorliegenden Daten nicht messtechnisch, sondern nur über den Einsatz von Modellen erfolgen. Hierfür wurde auf die Ergebnisse der MONERIS-Modellierung für die WRRRL-Wasserkörper (LUBW 2008a und b) zurückgegriffen. Die MONERIS-Eintragspfade „Grundwasser“, „Drainagen“, „Erosion“, „Abschwemmung“ und „Atmosphärische Deposition“ werden zusammenfassend mit dem Begriff „diffuse Quellen“ bezeichnet. Die Eintragspfade „Urbane Flächen“, „Kommunale Sammelkläranlagen“, „Dezentrale Abwasserbehandlung“ und „Industrielle Einleiter“ werden unter dem Begriff „punktförmige Quellen“ geführt.

Die Reduzierung der P-Messwerte auf ihren diffusen Anteil wird im folgenden Text und in den Abbildungen mit dem Begriff „modifizierte Messwerte“ gekennzeichnet. Hier kommen somit keine „echten“, sondern durch ein Modell veränderte Messwerte zum Einsatz (Tab. 7, Abb. 13).

In den Abbildungen 14 und 15 sind diese beiden Betrachtungsebenen gegenübergestellt – gemessene bzw. berechnete o-Phosphat-Phosphor Konzentrationen und modifizierte Messwerte. Die höchsten P-Konzentrationen (Gesamtwerte) treten im mittleren Neckarbecken auf. Betrachtet man nur die P-Konzentrationen aus diffusen Quellen (= modifizierte Messwerte), verschieben sich die Schwerpunkte zu den von Ackerbau dominierten Gebieten Nordwürttembergs und Nordbadens. Diese P-Werte wären in den Vorflutern zu erwarten, wenn es keinen P-Eintrag aus Punktquellen gäbe.

Tab. 7: Erläuterung der verwendeten Begriffe

Begriffe	Inhalt
Messwert	o-Phosphat-Phosphor, Mittelwerte der Jahre 2003-2008
berechneter Messwert	Umrechnung der Messwerte für Teileinzugsgebiete (Gl. 1 bis 3)
modifizierter Messwert	Reduzierung der Messwerte und der berechneten Messwerte auf den Anteil aus „diffusen Quellen“

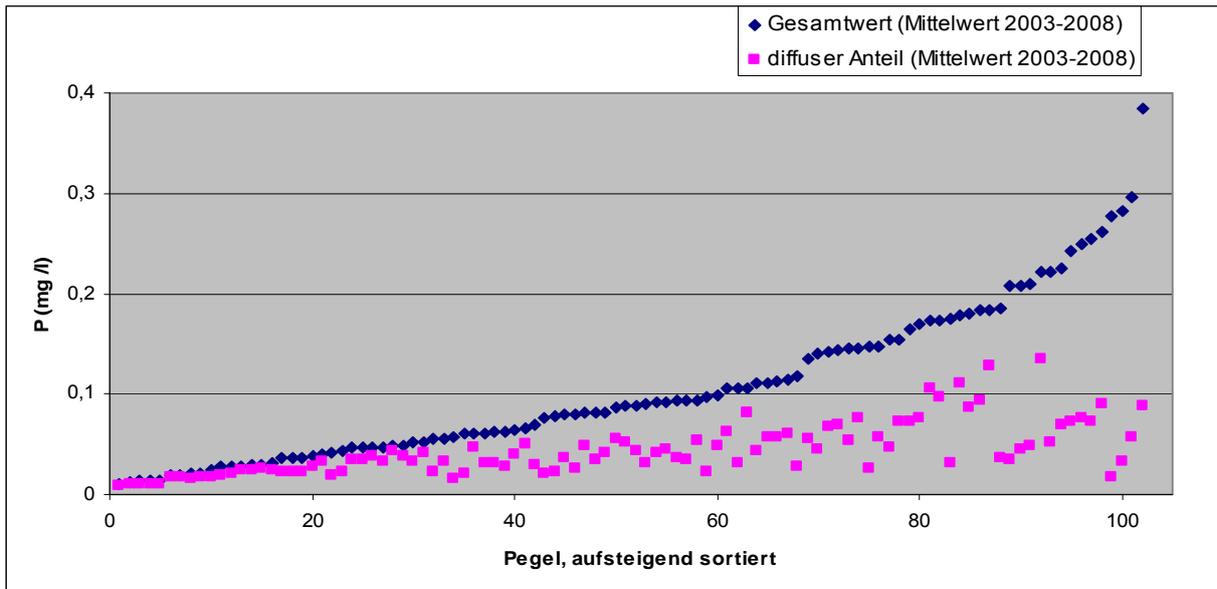


Abb. 13: o-Phosphat-Phosphor Konzentrationen der Vorfluter in den Wassereinzugsgebieten aus Abb. 12 (n=102).

blaue Raute: gemessene bzw. berechnete Werte (siehe Tab. 7)

violette Quadrate: Anteil aus diffusen Quellen („modifizierter Messwert“) entsprechend der prozentualen Aufteilung in diffuse und punktförmige Quellen nach dem Modell MONERIS (siehe Tab. 7)

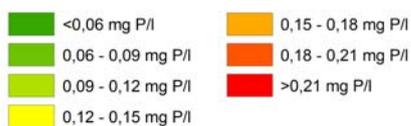
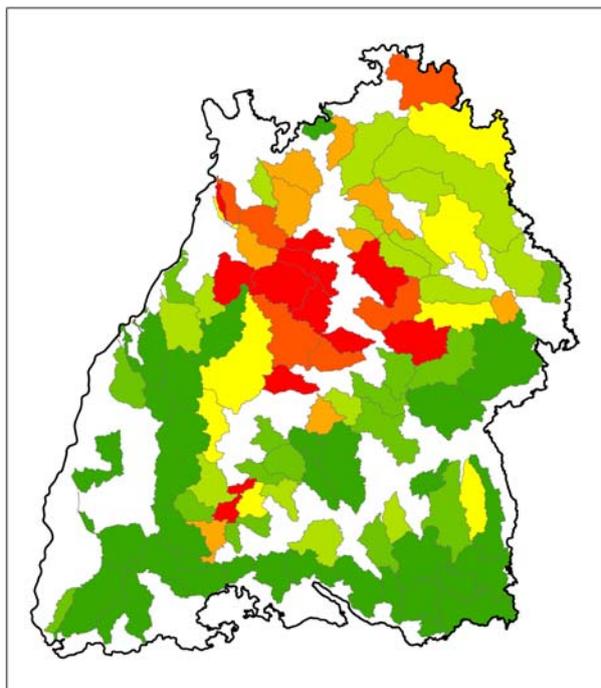


Abb. 14: Gemessene und berechnete o-Phosphat-Phosphor Werte an 102 Vorflutermessstellen.

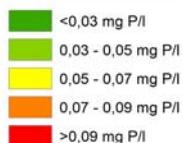
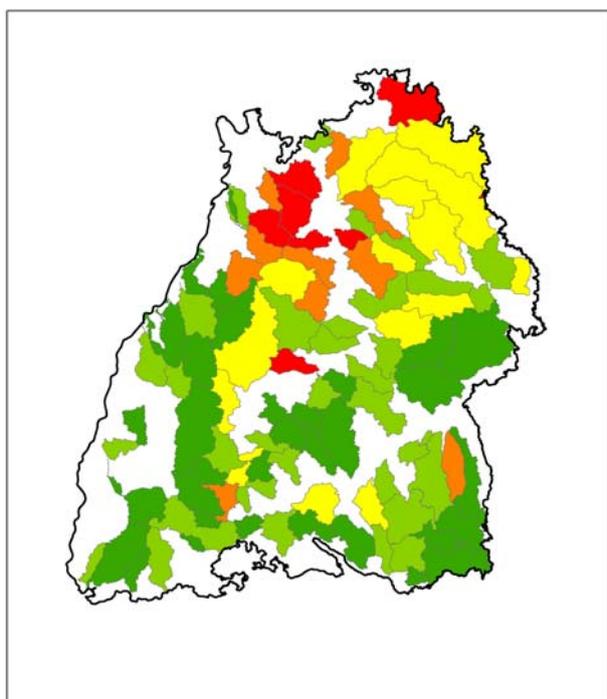


Abb. 15: o-Phosphat-Phosphor Konzentrationen in den Vorflutern aus diffusen Quellen (Modifizierter Messwert).

Abgeleitet aus:
Gemessenen bzw. berechneten o-Phosphat-Phosphor Werten an 102 Messstellen und der prozentualen Aufteilung in diffuse Quellen nach dem Modell MONERIS für die WRRL-Wasserkörper (LUBW 2008a und b).

5 Ermittlung der Risikogebiete

Mit einer multiplen linearen Regression wurde ermittelt, ob bzw. mit welchen der insgesamt 59 Gebietskenngrößen (Tab. 3) sich die modifizierten P-Messwerte der Vorfluter erklären lassen.

Dafür werden zuerst die kleinräumig vorliegenden 59 Parameter der 5462 Einzugsgebiete auf die Geometrien der 102 Teileinzugsgebiete der Vorflutermessstellen (Abb. 1) aggregiert. Sie decken 76 % der Landesfläche ab. Die Auswertungen basieren somit auf

- einer breiten Datengrundlage,
- einer stark unterschiedlichen Ausgangssituationen,
- einer guten räumlichen Differenziertheit.

Insgesamt werden nur 3 der 59 Prädiktoren benötigt (Tab. 3), um den P-Anteil aus diffusen Quellen in den Vorflutern („modifizierten P-Messwerte“) abzubilden.

Die multiple lineare Regression lautet:

$$y = 0,0399 + (0,000164 \times A) + (0,00568 \times B) - (0,000636 \times C) \quad (\text{Gl. 4})$$

$$R^2 = 0,58 ; n = 102$$

mit

y: (berechnetes) o-Phosphat-Phosphor im Vorfluter aus diffusen Quellen
(Konzentration in mg/l)

A: Acker- & Reblandanteil im Umfeld (100 m Puffer) der Abflussbahnen x Abflussbahndichte

B: mittlerer jährlicher Bodenabtrag in t je ha Einzugsgebiet

C: Grünlandanteil [%] im Umfeld (10 m Puffer) der Vorfluter

In Abbildung 16 sind die mit der Regression berechneten P-Werten den „modifizierten P-Messwerten“ der Vorfluter gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die berechneten Werte bei niedrigen Messwerten eher etwas höher und bei hohen Messwerten tendenziell niedriger liegen. Damit findet bei der Berechnung insgesamt eine leichte Nivellierung statt.

In Abbildung 17 sind die Verfahrensschritte von der multiplen linearen Regression bis zum Endergebnis dargestellt. Im Einzelnen:

- a) Mit der Regression wird für jedes der 5642 Einzugsgebiete eine P-Konzentration als Eintragswert in die Vorfluter aus diffusen Quellen errechnet.
- b) Die P-Konzentrationen der Einzugsgebiete werden nach dem Dominanzprinzip auf die 3380 Gemarkungen übertragen. Der Wert des Einzugsgebiets mit dem größten Flächenanteil wird der Gemarkung zugewiesen.
- c) Klasseneinteilung bzw. Ranking der Gemarkungswerte

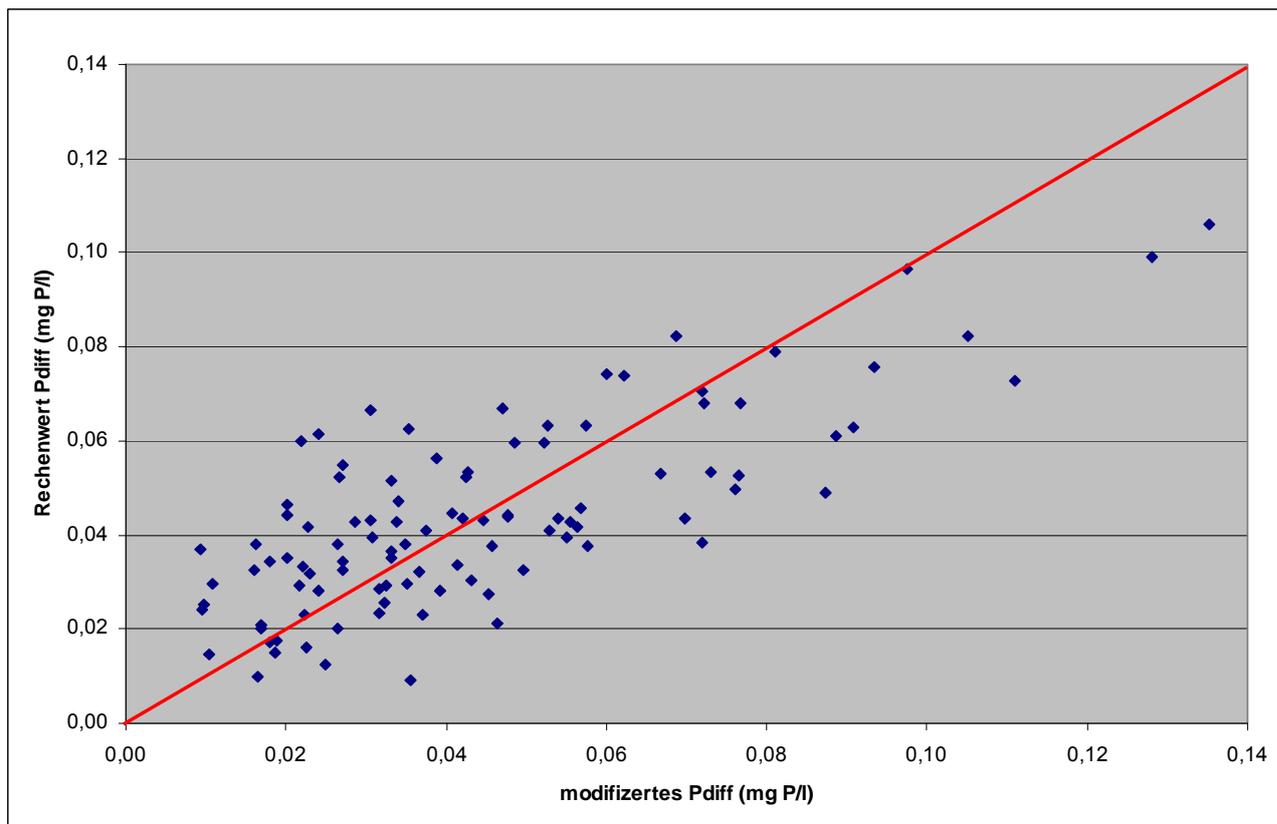


Abb. 16: Beziehung zwischen den modifizierten o-Phosphat-Phosphor-Messwerten in den Vorflutern (Anteil aus diffusen Quellen, Mittelwerte 2003-2008, siehe Tab. 7) und den mit der multiplen linearen Regression (Gl. 4) berechneten o-PO₄-P-Konzentrationen aus diffusen Quellen in den Vorflutern; rote Linie: Winkelhalbierende.

Für eine Beurteilung und Klasseneinteilung von P-Werten aus diffusen Quellen gibt es keine eigenständigen Grenzwerte. In Anlehnung an die WRRL-Werte für P_{gesamt} werden für die Kartendarstellung (Abb. 18) Klassengrenzen von 0,1, 0,075 und 0,03 mg P/l verwendet. In Abbildung 19 sind alle gemarkungsbezogenen Rechenwerte aufsteigend sortiert und entsprechend ihrem Rang dargestellt. Dieses Ergebnis spiegelt einerseits die räumliche Verteilung der in Abbildung 15 dokumentierten landesweiten o-PO₄-P-Messwerte in den Vorflutern aus diffusen Quellen gut wieder. Andererseits ist, v. a. innerhalb der WRRL-Einzugsgebiete, die mittels der Indikatoren Makrophyten und Phytobenthos sowie der chemischen Vorfluterdaten eine Nährstoffbelastung anzeigen, eine starke räumliche Differenzierung in Gemarkungen möglich, die in unterschiedlichem Umfang zur Nährstoffbelastung der Gewässer beitragen.

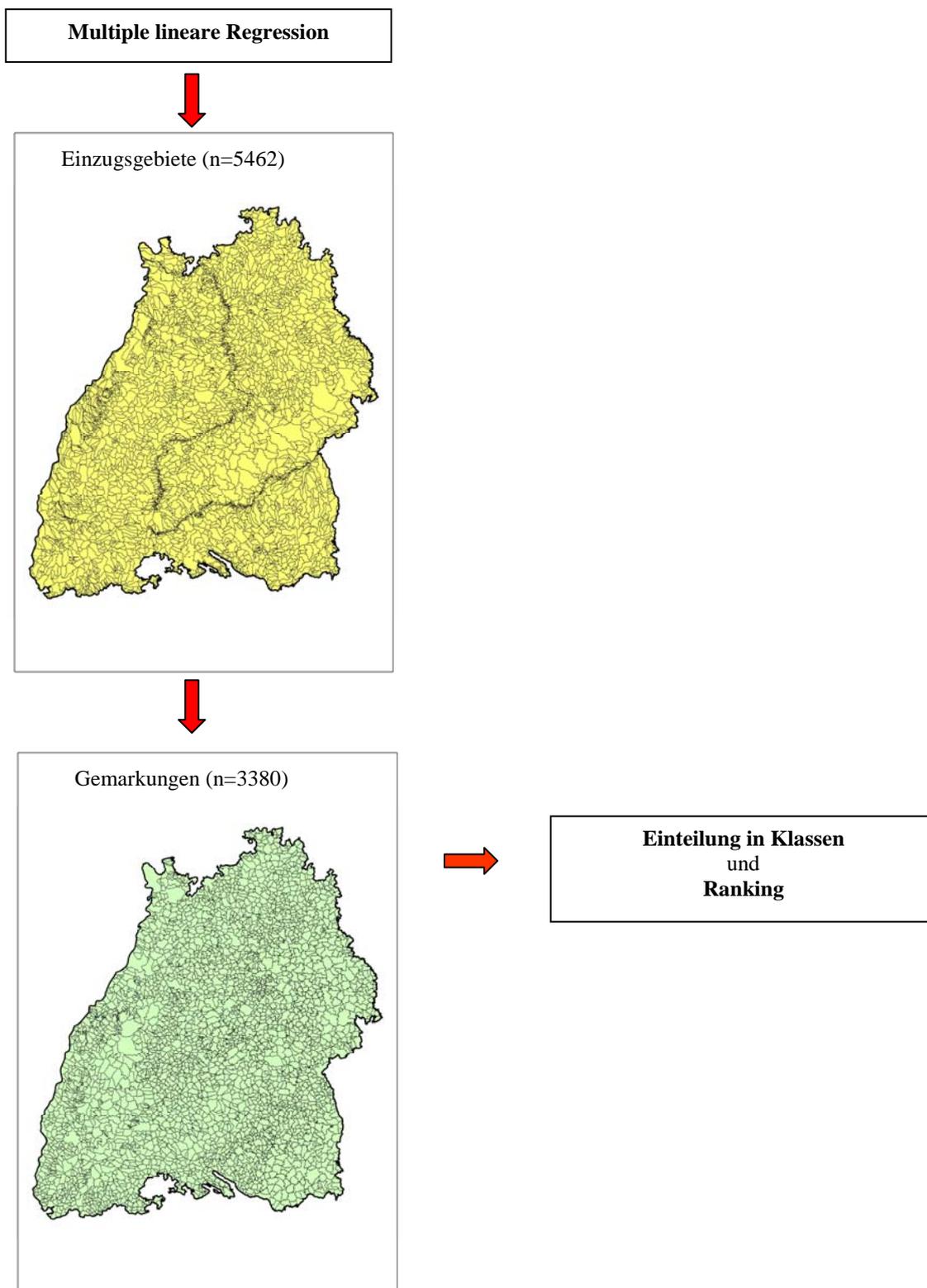


Abb. 17: Verfahrensablauf zur Ermittlung der gemarkungsbezogenen Risikogebiete.

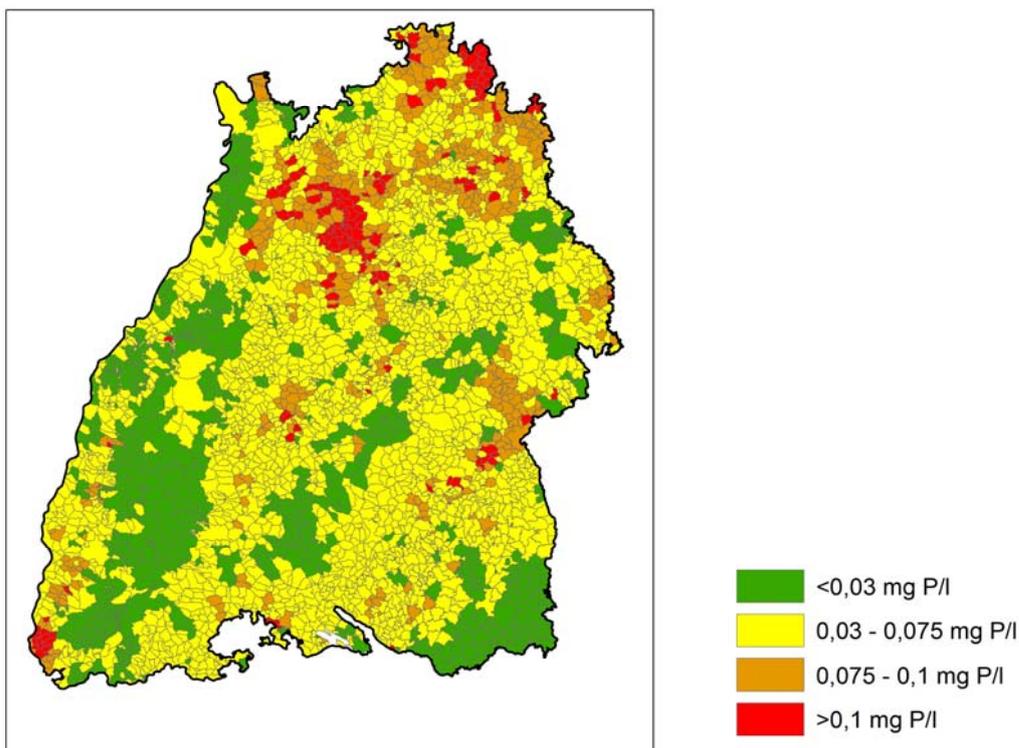


Abb. 18: Berechnete diffuse o-Phosphat-Phosphor Einträge in die Vorfluter (Bezugsgeometrie: Gemarkungen).

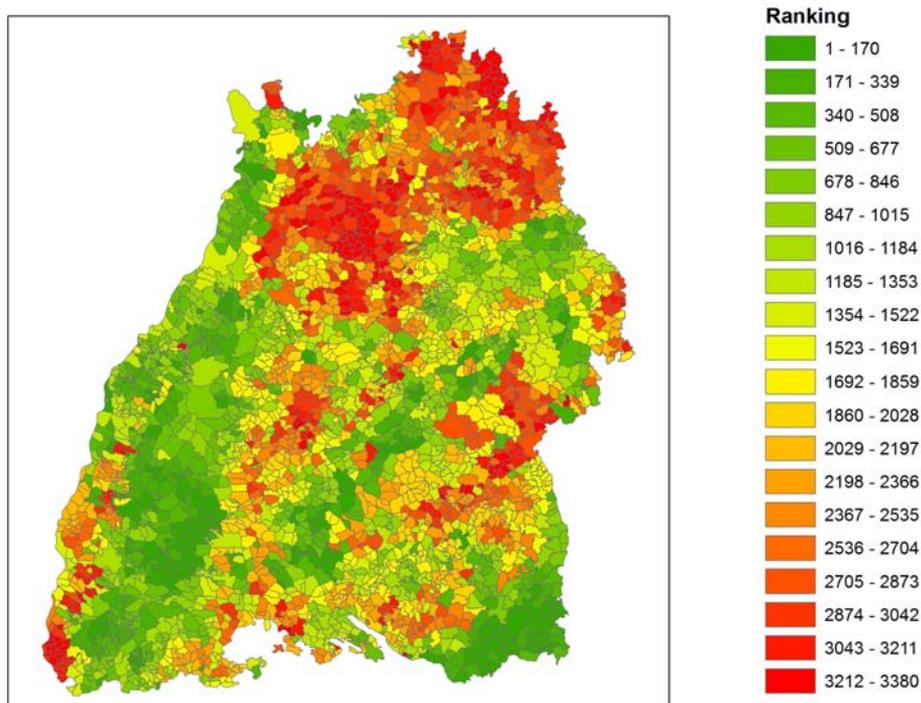


Abb. 19: Berechnete diffuse o-Phosphat-Phosphor Einträge in die Vorfluter – Ranking der Gemarkungswerte (1 = Gemarkung mit dem geringsten Eintragswert, 3380 = Gemarkung mit dem höchsten Eintragswert).



5.1 Diskussion

Die Gemarkungen am westlichen Schwarzwaldrand mit einem größeren Anteil an landwirtschaftlichen Nutzflächen weisen einen mittleren bis hohen diffusen o-PO₄-P Eintrag in die Gewässer auf. Die große Wassermenge der Vorfluter aus dem Schwarzwald mit geringen P-Gehalten führen allerdings zu einer starken Verdünnung.

Für den P-Eintrag in Gewässer aus diffusen Quellen ist sowohl bei MONERIS als auch bei Weiterentwicklung MoRE-BW der Pfad Abschwemmung besonders wichtig. Hierfür wird die Fracht aus dem Produkt der beiden Größen „Menge Oberflächenabfluss“ und (gelöste) „P-Konzentration im Oberflächenabfluss“ berechnet. Die gelöste P-Konzentration wird aus dem pflanzenverfügbaren Phosphat im Oberboden (Pcal) abgeleitet.

Die mittleren pflanzenverfügbaren Phosphatgehalte der Ackeroberböden (Pcal) liegen in weiten Landesteilen mit Werten zwischen 16 und 25 mg P₂O₅/100 g Boden in einer relativ engen Spanne und nur wenige Gebiete weisen großräumig höhere Gehalte auf (z. B. Ostalb). In den Grünlandgebieten liegen die Werte zwischen 6 und 15 mg P₂O₅/100 g Boden. In Oberschwaben, im Tauberland und im Ulmer Raum erreichen die Grünlandwerte auch bis zu ca. 20 mg (Tab. 8, Abb. 20 und 21). Diese relativ gleichmäßige Verteilung kann auch in Kombination mit dem Oberabfluss, nicht für die Erklärung der räumlich stark differenzierten P-Gehalte aus diffusen Quellen in den Vorflutern (Abb. 15) herangezogen werden. Die pflanzenverfügbaren Phosphatgehalte treten deshalb bei der hier erstellten Regression, wie zahlreiche weitere Parameter, nicht in Erscheinung.

Möglicherweise wird die gelöste P-Fracht bei so gleichmäßig verteilten Pcal-Werten über die in die Regression einfließenden Größen „Bodenabtrag“ und „Abflussbahnen plus Landnutzung“ indirekt mit berücksichtigt.

Da die pflanzenverfügbaren Bodenphosphate für die P-Berechnung mit der Regression nicht explizit benötigt werden, kann und darf daraus jedoch nicht geschlossen werden, dass Maßnahmen die hier ansetzen, keinen Beitrag zur Phosphatreduktion in den Vorflutern leisten. Eine langfristige und auf größerer Fläche praktizierte Reduzierung der pflanzenverfügbaren Phosphate liefern einen Beitrag zur Phosphatreduktion in den Vorflutern, v. a. in den Gebieten, in denen ein überproportionaler hoher diffuser Phosphataustrag stattfindet.

Tab. 8: Pflanzenverfügbares Phosphat - Mittelwerte für Baden-Württemberg
[Quelle: LTZ Augustenberg]

Nutzung	mg P ₂ O ₅ /100 g Boden (Pcal)			Probenanzahl		
	2001-2003	2004-2006	2007-2009	2001-2003	2004-2006	2007-2009
Acker	21	21	21	159.425	185.987	126.139
Grünland	14	14	13	85.813	96.047	57.653
Rebland	36	38	37	16.340	15.419	15.232

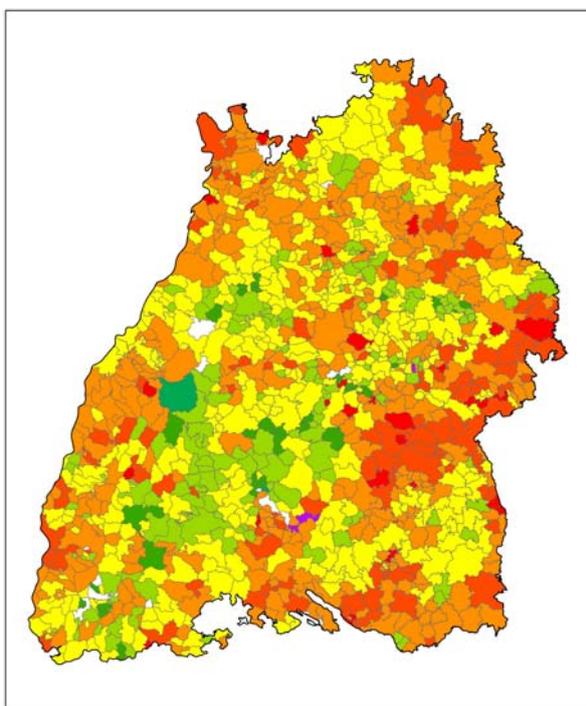


Abb. 20: Pflanzenverfügbares Phosphat der Ackerflächen [mg P₂O₅/ 100 g Boden], Gemeindemittelwerte 2001 - 2009 (Quelle: LTZ Augustenberg).

Hinweis: Bei wenigen Gemeinden mit einer Probenanzahl <16 wurde der Landkreismittelwert verwendet.

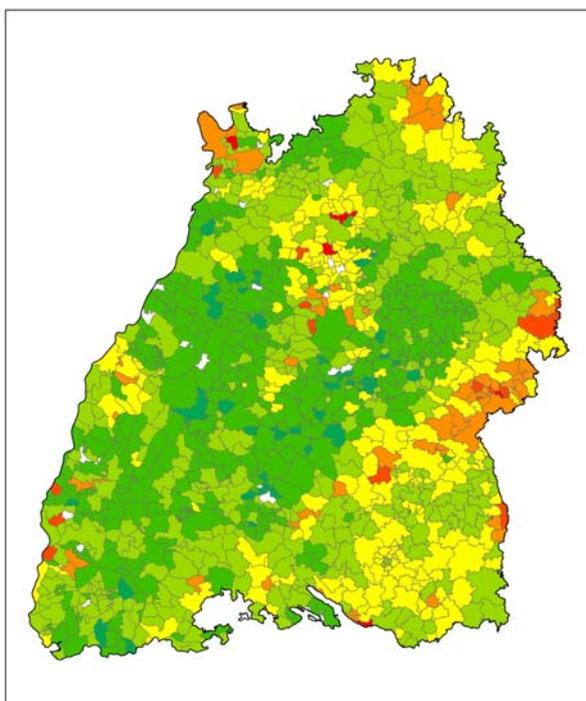


Abb. 21: Pflanzenverfügbares Phosphat der Grünlandflächen [mg P₂O₅/ 100 g Boden], Gemeindemittelwerte 2001 - 2009 (Quelle: LTZ Augustenberg).

Hinweis: Bei wenigen Gemeinden mit einer Probenanzahl <16 wurde der Landkreismittelwert verwendet.



Mit den Modellergebnissen von MONERIS bzw. MoRE-BW und der hier vorgestellten Regression stehen zwei unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung der $\text{o-PO}_4\text{-P}$ Einträge aus diffusen Quellen in die Vorfluter zur Verfügung.

In Abbildung 22 sind beide gegenübergestellt. Für einen Vergleich müssen die aus einer prozessorientierten Frachtmodellierung ermittelten Gewässerkonzentrationen, um den Einfluss eines „P-Abbaus im Vorfluter“ (Adsorption, Retention, Einbau in die Nahrungskette etc.) korrigiert werden. Hierfür werden die MoRE-BW-Daten um 25 % reduziert. Diese Effekte spielen bei der Regressionsermittlung keine Rolle, die Regression wird direkt Vorfluter-Messdaten angepasst. Beide Verfahren führen in weiten Landesteilen zu ähnlichen Ergebnissen. In ca. 30 % der Landesfläche liegen nahezu identische Werte vor (Differenz: $\pm 0,01$ mg/l). In weiteren 40 % des Landes liegen die Unterschiede zwischen $-0,01$ und $-0,03$ bzw. $0,01$ und $0,03$ mg/l. Vor allem im Jagst- und Taubereinzugsgebiet sowie im südlichen Baden-Württemberg zwischen Waldshut und dem Allgäu treten größere Unterschiede auf. Hier liegen die MoRE-BW Werte systematisch und deutlich über den LGRB-Regressionsdaten. Die etwas höheren pflanzenverfügbaren Phosphate im Oberboden führen möglicherweise bei MoRE-BW über den Eintragspad „Abschwemmung“ zu höheren P-Frachten und damit auch zu höheren P-Konzentrationen in den Vorflutern. Dies spiegelt sich jedoch in den verfügbaren Analysedaten der Vorflutermessstellen nicht wieder.

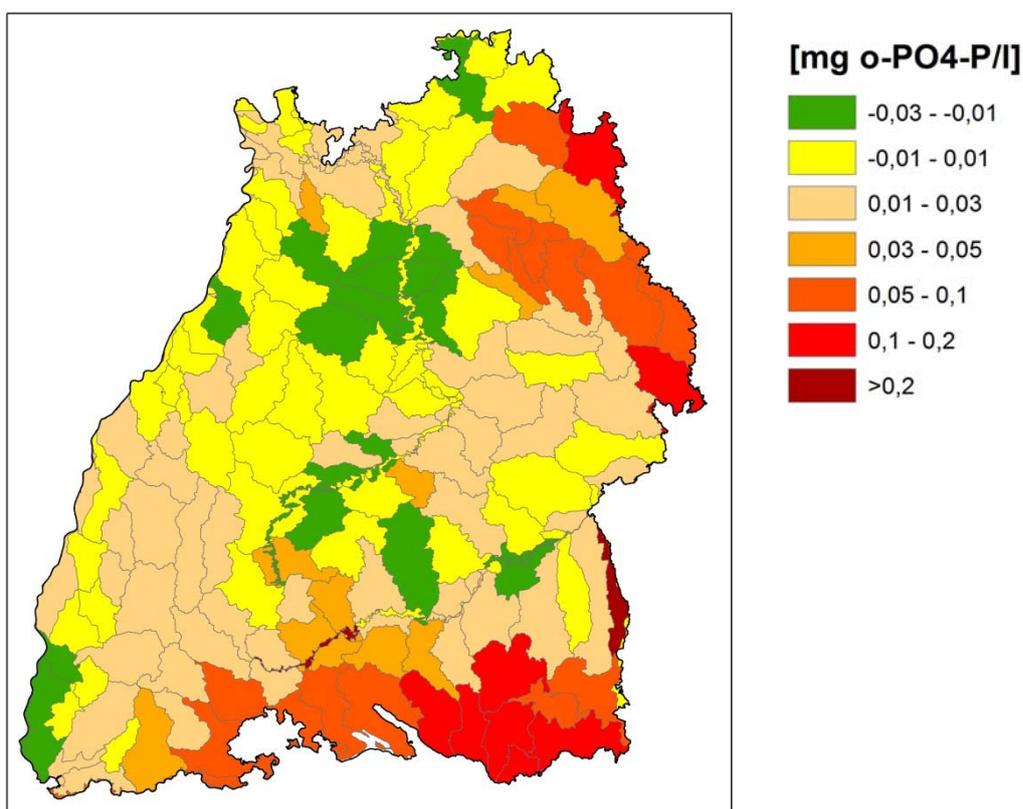


Abb. 22: Vergleich der beiden Verfahren MoRE-BW und LGRB-Regression zur Berechnung einer $\text{oPO}_4\text{-P}$ Konzentrationen aus diffusen Quellen in den Vorflutern, („Werte aus MoRE-BW 2013“ $\times 0,75$) minus „Werte aus LGRB-Regression“.

Literatur

- AUERSWALD & SCHWAB (1999): Erosionsgefährdung (C-Faktor) unterschiedlich bewirtschafteter Weinbauflächen. *Vitic. Enol. Sci.* **54**: 54-60.
- Europäisches Parlament und Rat (EU) (2008): Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlamentes und Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG.
- FUCHS, S., SCHERER, U., WANDER, R., BEHRENDT, H., VENOHR, M., OPITZ, D., HILLENBRAND, TH., MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F., GÖTZ, TH. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS, Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, UBA-Texte 45/2010, Dessau.
- FUCHS, S., WANDER, R., WEBER, W., HILGERT, S., DIMITROVA, S., KITTLAUS, S. (2013): Modeling of Regionalized Emissions (MoRE). – Handbuch für die Benutzeroberflächen MoRE Developer und MoRE Visualizer; Karlsruhe.
- HAIDER, J. (2010): Ursachen und Mechanismen des erosionsbedingten Stoffeintrags in Fließgewässer. – DWA Seminar – Bodenerosion als Ursache für die Belastung von Fließgewässer; Bergheim.
- Landesanstalt für Pflanzenbau (2005): Der heimliche Verlust der Bodenfruchtbarkeit durch Wassererosion. – Arbeitshilfen für die umweltgerechte Landbewirtschaftung; Rheinstetten.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2007a): Maßnahmenplanung im Hinblick auf die Phosphorbelastung der Fließgewässer Baden-Württembergs – Teil I: Immissionssituation und Maßnahmen-Zielwerte; Karlsruhe.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2007b): Maßnahmenplanung im Hinblick auf die Phosphorbelastung der Fließgewässer - Teil I: Maßnahmen-Zielwerte und Überwachungsergebnisse; Karlsruhe.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2008a): Maßnahmenplanung im Hinblick auf die Phosphorbelastung der Fließgewässer, Teil II: Pfadspezifische Emissionsbetrachtung - MONERIS-BW; Karlsruhe.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2008b): Maßnahmenplanung im Hinblick auf die Phosphorbelastung der Fließgewässer, Teil II: Ergänzungen, Pfadspezifische Emissionsbetrachtung - MONERIS-BW; Karlsruhe.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2012): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Baden-Württemberg – Zwischenbericht 2012; Karlsruhe.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2013): Bilanzierung Nährstoffeinträge 2013 – Bilanzierung der Stickstoff und Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer Baden-Württembergs; Karlsruhe.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2014): Dokumentation zur Bewertung der chemischen und physikalisch-chemischen Fließgewässer-Beschaffenheit; Karlsruhe.
- LAWA-Rahmenkonzeption [RaKon, Teil B] (2007): Arbeitspapier II "Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Komponenten".
- LAWA-AO (2015): Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL, Rahmenkonzeption Monitoring Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen, Arbeitspapier II, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“, Stand 09.01.2015.
- Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (2011): Die EG-Wasserrahmenrichtlinie – Ziele, Problembereiche und Maßnahmen. – Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung, Nr. **30**, Karlsruhe.
- Regierungspräsidium Stuttgart (2009): Bewirtschaftungsplan Bearbeitungsgebiet Neckar gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie – Stand: 26. November 2009.

SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & KAINZ, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. – 2. Aufl.; Stuttgart (Ulmer).

Umweltministerium Baden-Württemberg (2007): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, 3. Auflage; Stuttgart.

Umweltministerium Baden-Württemberg (2012): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg, 4. Auflage; Stuttgart.

WISCHMEIER, W. L. & SMITH, D. D. (1978): Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. – USDA Agr. Handbook **537**; Washington.



ANHANG – Berechnung Bodenabtrag

Die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) lautet:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

A: Langjähriger, mittlerer jährlicher Bodenabtrag

R: Regen- und Oberflächenabflussfaktor

K: Bodenerodierbarkeitsfaktor

L: Hanglängenfaktor

S: Hangneigungsfaktor

C: Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

P: Erosionsschutzfaktor

1 Datengrundlagen

Tab. A1: Datengrundlagen zur Berechnung der einzelnen ABAG-Faktoren

Faktor	Daten	Quelle
R	Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg	Umweltministerium Baden-Württemberg 2012
K	Digitale Bodenschätzungsdaten auf Basis des Automatisierten Liegenschaftsbuches (ALB) in Verbindung mit der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) (Stand 2010)	Grunddaten: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung BW (LGL), Auswertung Bodenschätzung: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
	Geofachdaten Baden-Württemberg – Bodenkarte (Stand 2010), Bodenübersichtskarte Baden-Württemberg 1 : 350 000 (1997)	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
L und S	Digitales Geländemodell DGM5 (abgeleitet aus DGM1)	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung BW (LGL)
	Flurstücksgruppen (Stand 2010)	Informatikzentrum Landesverwaltung Baden-Württemberg (IZLBW)
C	Bodennutzungshaupterhebung 2007	Statistische Landesamt Baden-Württemberg (STALA)
	Mulchsaat- und Zwischenfruchtflächen (Stand 2010 – Gemarkungsmittelwerte aus MEKA-Daten), landwirtschaftlich genutzte Flächen	Informatikzentrum Landesverwaltung Baden-Württemberg (IZLBW)



2 Einzelfaktoren und Bodenabtrag

2.1 Niederschläge (R-Faktor)

Die Regenfaktoren wurden aus dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (Umweltministerium Baden-Württemberg 2012) übernommen.

Räumliche Auflösung: 500 m Raster

2.2 Boden (K-Faktor)

Die K-Faktoren der Ackerflächen wurden entsprechend der DIN 19708 aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung abgeleitet. Dafür wurde das vorherrschende Klassenzeichen je Flurstück aus dem ALB verwendet. Die DIN-Angaben liefern in Baden-Württemberg bei schluffreichen Lössböden und in Karstgebieten unrealistische Werte, deshalb wurden hier die K-Faktoren etwas verändert (Tab. A2)

Tab. A2: K-Faktoren der Klassenzeichen der Ackerbeschriebe der Bodenschätzung mit gegenüber der DIN 19708 veränderten Angaben

Bodenart	Entsteh.	Zustandsstufen	
		1 - 7	5 - 7 *
IS	Lo	0,60	
SL	Lo	0,55	
sL	V		0,20
	Vg, Dg, Alg		0,15
L	V		0,25
	Vg, Dg, Alg		0,15
LT	V		0,15
	Vg, Dg, Alg		0,10
T	V		0,15
	Vg, Dg, Alg		0,10

* nur innerhalb der Karstgebiete

Die Karstgebiete wurden aus der Bodenübersichtskarte 1 : 350 000 abgeleitet.

Für ca. 15 % der Acker- und Grünlandflurstücke liegen aktuell keine digitalen Bodenschätzungsdaten vor. Diese Flurstücke wurden mit dem Gemarkungsmittelwert belegt.

Die K-Faktoren der Böden unter Rebland wurden aus der Bodenkarte von Baden-Württemberg (BK-BW) übernommen.

Räumliche Auflösung: Flurstück



2.3 Hangneigung (S-Faktor)

Als „mittlere“ Hangneigung je Flurstück wird der Median der Hangneigungswerte der 5 x 5 m Raster (DGM5) des landwirtschaftlich genutzten Flurstückteils verwendet. Um Böschungseffekte zu minimieren, werden zusätzlich bei der Berechnung nur 5 m-Raster mit einem Hangneigungswert <25% verwendet.

Die Hangneigung wurde nach Gleichung A1 in S-Faktoren umgerechnet.

$$S\text{-Faktor} = -1,5 + (17 / (1 + e^{2,3-6,1 \sin \alpha})) \quad \text{Gl. A1}$$

Liegen alle Rasterneigungswerte eines Flurstücks über 25 %, lassen sich entsprechend keine Mittelwerte und damit keine S-Faktoren berechnen. Diese Flurstücke wurden nachträglich mit einem einheitlichen S-Faktor von 4,0 belegt.

Räumliche Auflösung: Flurstück

2.4 Hanglänge (L-Faktor)

Die Hanglänge wird aus den DGM5-Höhenwerten und -Hangneigungen der Flurstücksgruppen ermittelt (Gl. A2). Eine Flurstücksgruppe besteht aus direkt nebeneinander angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen. Sie werden i. d. R. vom Wege-, Schienen- und Gewässernetz, von Siedlungen, von Wald und von Rohstoffabbauflächen begrenzt.

$$\text{Hanglänge} = ([\text{maximale Höhe NN}] - [\text{minimale Höhe NN}]) / \sin[\text{mittlere Hangneigung}] \quad \text{Gl. A2}$$

Da in einer Flurstücksgruppe sowohl Acker- als auch Grünlandflächen vorkommen, wurde zusätzlich folgender Korrekturfaktor eingefügt (Tab. A3). Bei Rebland wurde kein Korrekturfaktor benötigt.

Tab. A3: Faktor zur Korrektur der Hanglänge in Abhängigkeit vom Acker- und Gartenanteil innerhalb einer Flurstücksgruppe

Acker- und Gartenanteil je Flurstücksgruppe	Korrekturfaktor*
>66 %	0,8
33 – 66 %	0,55
<33 %	0,3

* Da die erosive i.d.R. kleiner als die berechnete Hanglänge ist, wird auch bei hohem Ackeranteil bereits ein kleiner Korrekturfaktor angesetzt.

Räumliche Auflösung: Flurstückstücksgruppe

2.5 Landnutzung (C-Faktor)

Aus den Gemeindeangaben der Ackerkulturen der Bodennutzungshaupterhebung von 2007 wurden (vorläufige) C-Faktoren abgeleitet. Diese wurden unter Berücksichtigung der Mulchsaat- und Zwischenfruchtanteile innerhalb der Gemarkungen in (endgültige) C-Faktoren umgerechnet (Abb. A1 bis A4).

Bei Rebland wurde ein konstanter Wert von 0,1 angesetzt.

Räumliche Auflösung: Gemarkung

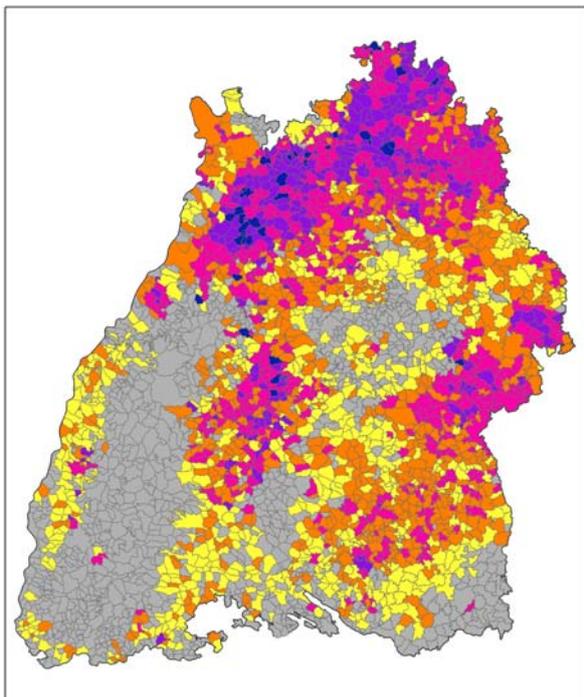


Abb. A1: Anteil Mulchsaatflächen bei Ackernutzung je Gemarkung (MEKA 2010 incl. Abschätzung für Problem- und Sanierungs-WSG).

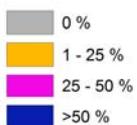
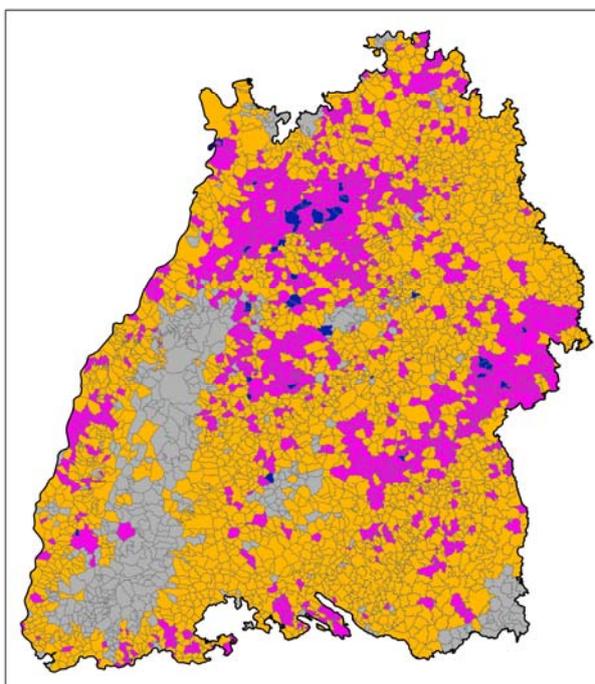


Abb. A2: Anteil der Zwischenfrucht auf Ackerflächen je Gemarkung (MEKA 2010 incl. Abschätzung für Problem- und Sanierungs-WSG).

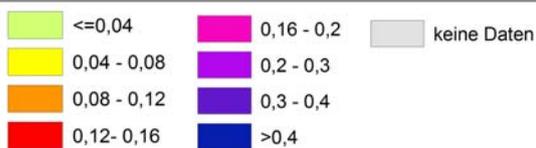
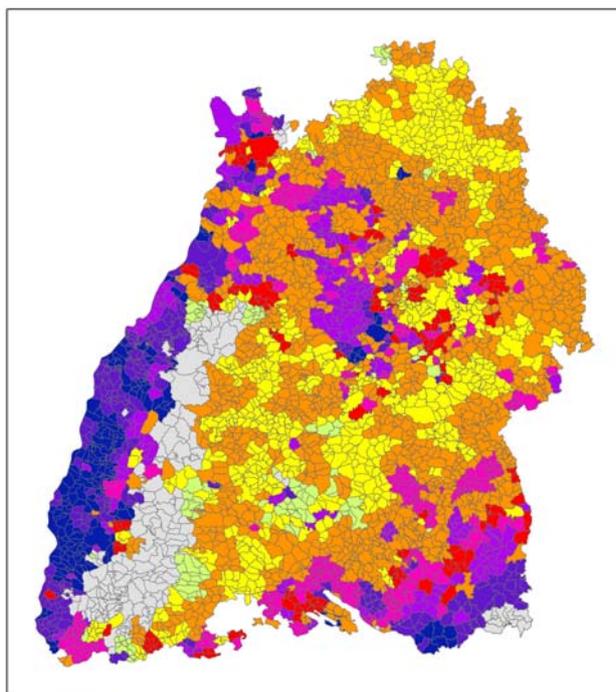


Abb. A3: C-Faktoren auf Grundlage der Ackerkulturen der Bodennutzungshaupterhebung 2007 (STALA)
Hinweis: ohne Mulchsaat und Zwischenfrucht.

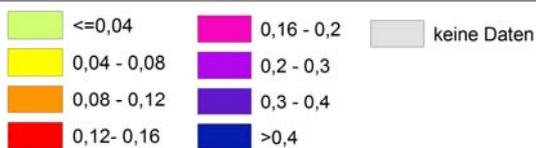
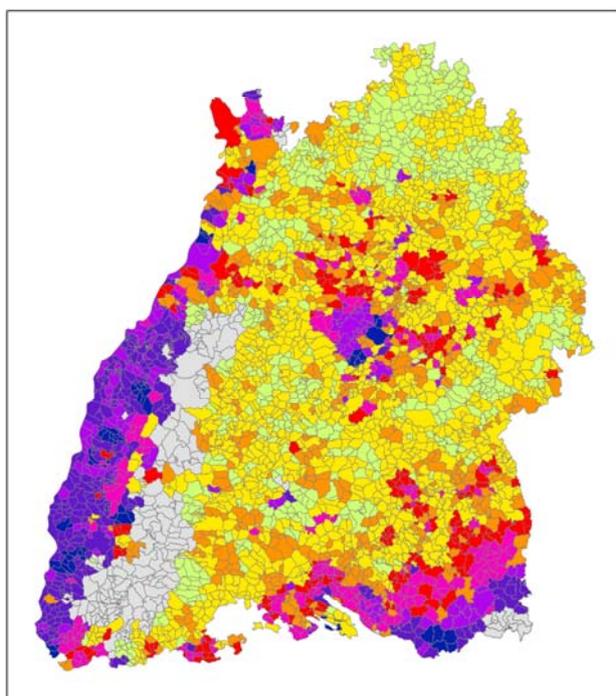


Abb. A4: C-Faktoren auf Grundlage der Ackerkulturen der Bodennutzungshaupterhebung 2007 und der Mulchsaat- und Zwischenfruchtflächen aus MEKA 2010 (incl. Problem- und Sanierungsgebietsabschätzung).



3 Bezugsgröße

Alle ABAG-Faktoren wurden unabhängig ihrer ursprünglichen räumlichen Auflösung auf die Flurstücke übertragen. Bei Flurstücken mit einem Acker- und Gartenanteil größer 75 % wurden die Bodenerosionsdaten dem gesamten Flurstück zugewiesen. Bei einem Acker- und Gartenanteil zwischen 10 und 75 % wurde die Bodenabtragsberechnung nur für den acker- und gartenbaulich genutzten Flurstücksteil durchgeführt (Tab. A4).

Tab. A4: Ableitungsverfahren bei unterschiedlichen Landnutzungen innerhalb eines Flurstücks

Flächenanteil Acker- und Gartennutzung im Flurstück	Bodenabtragberechnung nach ABAG
>75 %	für das gesamte Flurstück
10 - 75 %	nur für den Acker- und Gartenlandanteil
<10 %	keine Berechnung

4 Bodenabtrag nach ABAG

Berechnung und Bezeichnung der Bodenerosionsgefährdung durch Wasser mit der ABAG nach DIN 19708. Dazu wurde ein konstanter P-Faktor von 0,75 verwendet.

Tab. A5: Langjähriger mittlerer Bodenabtrag in Baden-Württemberg (Stand 2010)

Acker- und Rebfläche 2010	Mulchsaat & Zwischenfrucht* 2010	Bodenabtrag Acker- und Rebland (nach ABAG)		Abtragsreduzierung durch Mulchsaat und Zwischenfrucht*	
		ohne Mulchsaat und Zwischenfrucht	mit Mulchsaat und Zwischenfrucht	BW	pro ha „MEKA-Fläche“ **
863.300 ha	347.400 ha	3.317.500 t/a	2.394.400 t/a	923.100 t/a (28 %)	2,7 t/ha/a

* MEKA gefördert

** bezogen nur auf die Mulchsaat- und Zwischenfruchtflächen

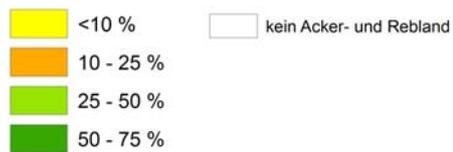
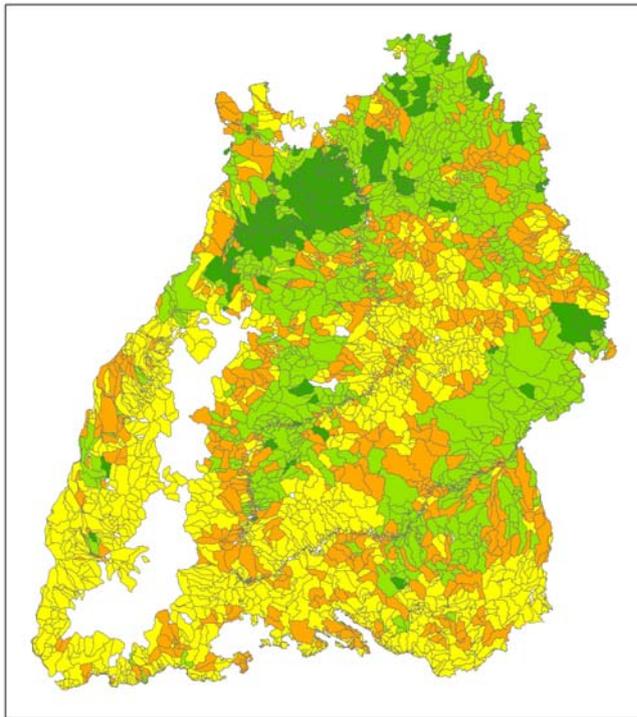


Abb. A5: Verringerung des langjährigen mittleren Bodenabtrags der Acker-, Garten- und Reblandflächen unter Berücksichtigung von Mulchsaat und Zwischenfrucht (Stand 2010).

LGRB – Fachberichte

6/2006	(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., Abb. 37, 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 Höhennivellements; 113 S., 122 Abb., 27 Tab.	*

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. Abschlussbericht des Pilotgebiets Bodensee-Allgäu. – in Druck	

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>