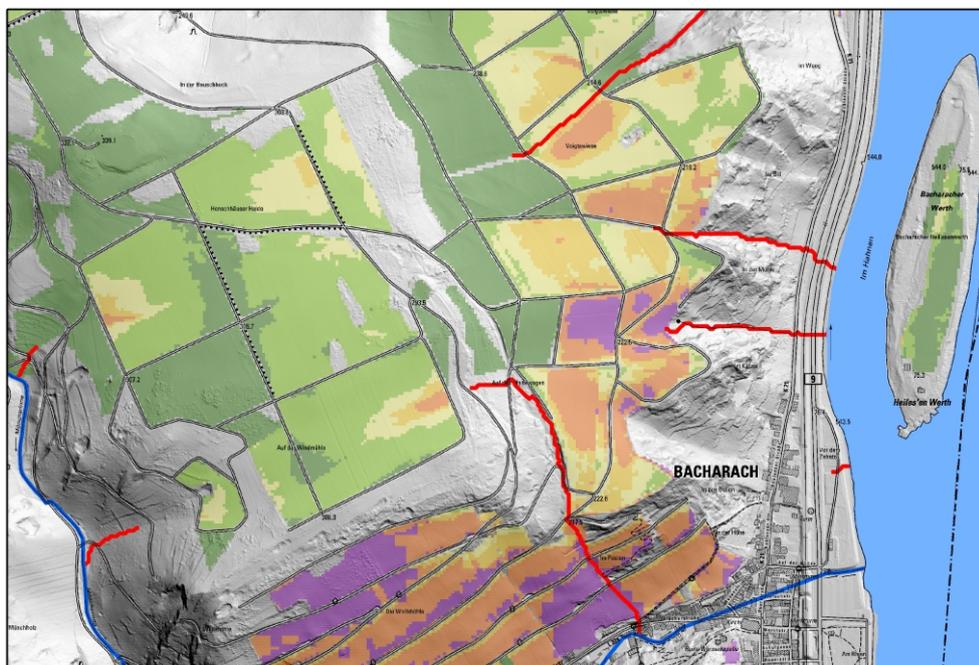




THEMENHEFTE VORSORGENDER BODENSCHUTZ

Materialien zur Bodenerosion durch Wasser in Rheinland-Pfalz





THEMENHEFTE VORSORGENDER BODENSCHUTZ

Materialien zur Bodenerosion durch Wasser in Rheinland-Pfalz

**Teil 1: Aktuelle Erosionsgefährdung landwirtschaftlich
genutzter Flächen**

Teil 2: Erweitertes Gewässernetz

IMPRESSUM

Titel:	Themenhefte Vorsorgender Bodenschutz, Heft 2: Materialien zur Bodenerosion durch Wasser in Rheinland-Pfalz
Herausgeber:	Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB) Emy-Roeder-Straße 5 55129 Mainz
ISSN:	2509-4785
Bearbeitung:	Dr. Stephan Sauer (LGB) Michael Goldschmitt (LGB) Dominik Pecoroni (Ingenieurbüro Schnittstelle Boden) Thomas Wiesner (LGB)
Fotos:	LGB
Titelkarte:	Erosionsgefährdungskarte mit erweitertem Gewässernetz (Gewässer: blau, reliefbedingte Abflussbahnen: rot)
Textsatz, Gestaltung:	Thomas Wiesner (LGB)
Druck:	NINO Druck GmbH, Neustadt an der Weinstraße

© 2017

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

INHALT

	Vorwort.....	5
1	Einleitung.....	6
2	Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen.....	8
2.1	Abgrenzung zu Cross Compliance-Erosionskarten.....	8
2.2	Gebietskulisse.....	9
2.3	Ermittlung von K-, R-, L-, S- und C-Faktoren.....	9
2.3.1	Ermittlung des Bodenerodierbarkeitsfaktors (K-Faktor).....	9
2.3.2	Ermittlung des Regenerositätsfaktors (R-Faktor).....	12
2.3.3	Ermittlung des Hanglängenfaktors (L-Faktor).....	12
2.3.4	Ermittlung des Hangneigungsfaktors (S-Faktor).....	13
2.3.5	Ermittlung des Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktors (C-Faktor).....	14
2.4	Berechnung und Klassifizierung der Erosionsgefährdung.....	15
2.4.1	Szenarien der Vegetationsbedeckung.....	15
2.4.2	Klassifizierung.....	18
2.5	Anwendung in der landwirtschaftlichen Beratung.....	18
2.6	Kartenviewer und Datenbereitstellung.....	19
3	Erweitertes Gewässernetz.....	20
3.1	Vorbemerkung.....	20
3.2	Methodik und Datengrundlage.....	20
3.2.1	Aufbereitung des DGM5 und Berechnung der Tiefenlinien.....	20
3.2.2	Validierung und Überarbeitung der Tiefenlinien.....	22
3.3	Anwendungsmöglichkeiten.....	23
3.4	Kartenviewer und Datenbereitstellung.....	24
4	Verknüpfung von Erosionsgefährdung und Tiefenlinien.....	25
5	Literatur.....	27
	Anhang.....	29

VORWORT

In Rheinland-Pfalz haben außergewöhnliche Starkregenereignisse in den letzten Jahren lokal zu großen Schäden geführt. Bodenmaterial wurde aus überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen abgetragen und in Siedlungsbereiche oder Gewässer eingespült. Aufgrund der prognostizierten Zunahme von Extremwittersituationen mit Fortschreiten des Klimawandels ist davon auszugehen, dass derartige Erosionsereignisse zukünftig häufiger auftreten werden.



Das vorliegende Heft betrachtet dieses Thema aus zwei Blickwinkeln. Einerseits werden die methodischen Grundlagen zur landesweiten Berechnung der Erosionsgefährdung beschrieben und die dazugehörigen großmaßstäbigen Karten vorgestellt. Mit dem erweiterten Gewässernetz wird andererseits ein Datensatz bereitgestellt, der die reliefbedingten Abflussbahnen für Oberflächenwasser enthält.

Die hier vorgestellten Datensätze liefern in Kombination zwei wichtige Informationen: Die Karten zur Erosionsgefährdung weisen auf Flächen hin, auf denen unter bestimmten Bedingungen verstärkt mit Bodenabtrag gerechnet werden kann. Mit Hilfe des erweiterten Gewässernetzes ist es möglich, die dazugehörigen voraussichtlichen Abflusswege zu identifizieren.

Die vorgestellten Daten und Karten bieten eine wichtige Planungs- und Beratungsgrundlage, beispielsweise für die Bodenschutz-, Wasserwirtschafts- und Landwirtschaftsbehörden. Aber auch für die Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung können die Karten wichtige Dienste leisten, beispielsweise zur Festlegung einer erosionsmindernden Fruchtfolge. In diesem Sinne ist zu hoffen, dass die neuen Daten und Karten zur Bodenerosion durch Wasser zukünftig von einem breiten Anwenderkreis nachgefragt werden und so ihren Weg in die Praxis des Boden- und Gewässerschutzes finden.

PROF. DR. GEORG WIEBER
DIREKTOR DES LANDESAMTES FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ

1 EINLEITUNG

Der Schutz des Bodens erfordert eine fundierte Datengrundlage, um die Erosionsgefährdung auf landwirtschaftlichen Flächen sachgerecht einschätzen zu können. Im Rahmen einer gezielten Maßnahmenplanung muss eine Methodik eingesetzt werden, die räumlich genaue Aussagen für große Flächen liefert.

Die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) nach SCHWERTMANN et al. (1990), die auch die fachliche Grundlage für die DIN 19708 ist, bildet hierfür eine solide Grundlage. Die Ansätze der ABAG gehen auf die von WISCHMEIER & SMITH (1978) entwickelte Universal Soil Loss Equation zurück. Das für amerikanische Böden entwickelte Modell wurde durch SCHWERTMANN et al. (1990) für die Standortbedingungen der Bundesrepublik modifiziert. Ziel der ABAG-Modellierung ist es, den mittleren langfristig zu erwartenden Bodenabtrag durch Wasser abzuschätzen. Der Vergleich verschiedener Nutzungsszenarien erlaubt Rückschlüsse auf eine standortangepasste und bodenschutzkonforme Bodenbewirtschaftung. Letztendlich entscheidet aber unter den gegebenen Standortbedingungen (Hangneigung und -länge, Erosivität des Niederschlags, Erosionsanfälligkeit des Bodens) die tatsächliche Bodenbewirtschaftung (erosionswirksame Flächengröße, Fruchtfolge, Bodenbearbeitungssystem, Kulturzustand des Bodens, Erosionsschutzmaßnahmen) darüber, ob Erosion auftritt oder nicht.

Die Methodik zur Berechnung der Erosionsgefährdung mit den berücksichtigten Faktoren Bodenerodierbarkeit, Regenerosivität, Hangneigung, Hanglänge und Vegetationsbedeckung sowie die Vorstellung des entsprechenden Kartenwerkes ist Inhalt des ersten Teils dieser Broschüre.

In den letzten Jahren häuften sich in Rheinland-Pfalz Bodenerosion und Hochwasser auslösende Starkniederschläge. Beispiele sind die Ereignisse im westlichen Donnersbergkreis am 21.09.2014 und im Kreis Bad Neuenahr-Ahrweiler im Mai/Juni 2016. Hohe Niederschlagsintensitäten führten nicht nur auf versiegelten Flächen, sondern auch auf landwirtschaftlich und untergeordnet auf forstwirtschaftlich genutzten Flächen zu starkem Oberflächenabfluss, da die Infiltrationskapazität des Bodens überschritten wurde. Das abfließende Oberflächenwasser folgte reliefbedingten Abflussbahnen, die Anschluss an das Gewässernetz haben.

Die genaue Lage, die räumliche Dichte und das Verteilungsmuster der Abflussbahnen sind von großem Interesse, da in diesen im Erosionsfall auch Bodenmaterial linienhaft transportiert und schließlich an Übertrittspunkten in die Gewässer eingetragen werden kann. Hier lassen sich sowohl Maßnahmen des Gewässerschutzes (z. B. durch die Anlage von Gewässerrandstreifen zur Vermeidung des Pflanzenschutzmittel- und Phosphoreintrages) als auch des dezentralen Hochwasserschutzes (z. B. durch die Anlage dezentraler Retentionsflächen für Niederschläge) planen und umsetzen. Die Eintrittspunkte der Abflussbahnen in Siedlungsbereiche sind ebenfalls von außerordentlicher Bedeutung für die Planung von Schutzmaßnahmen.

Der zweite Teil der Broschüre (Erweitertes Gewässernetz) befasst sich daher mit der Modellierung abflusswirksamer Tiefenlinien und deren Anbindung an das Gewässernetz.

2 EROSIONSGEFÄHRDUNG LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTER FLÄCHEN

2.1 Abgrenzung zu Cross Compliance-Erosionskarten

Bereits im Jahr 2010 wurde die landwirtschaftliche Nutzfläche auf Flurstücksebene durch das LGB nach dem Grad ihrer potenziellen Erosionsgefährdung durch Wasser gemäß der Agrarzah-lungen-Verpflichtungenverordnung klassifiziert. Bei der potenziellen Erosionsgefährdung werden die natürlichen Faktoren, welche die Anfälligkeit des Standortes charakterisieren, berücksichtigt, nicht aber die Auswirkungen durch die Bodenbewirtschaftung. Das entsprechende Kartenwerk ist die Grundlage für Direktzahlungen im Rahmen der EU-Agrarförderung (<http://www.lgb-rlp.de/fachthemen-des-amtes/projekte/projektliste/cross-compliance.html>). Entsprechende Anforderungen – ein Beispiel ist das zeitabhängige Pflugverbot auf Flächen mit einer hohen poten-ziellen Erosionsgefährdung – müssen von der Landwirtschaft erfüllt werden. Diese sind weniger anspruchsvoll als die Anforderungen der guten fachlichen Praxis im Sinne des § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz oder die Maßnahmen der Gefahrenabwehr bei Bodenerosion entsprechend § 8 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung.

Die nun vorliegenden Karten der Erosionsgefährdung bieten aufgrund ihrer hohen räumlichen Auflösung sowie der Berücksichtigung von Hanglänge und Fruchtfolge (Tabelle 1) eine wichtige Arbeitsgrundlage für die landwirtschaftliche Beratung, die Durchführung von Flurbereinigungs-verfahren oder für Maßnahmen zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie.

Tab. 1: Methodische Unterschiede bei der Berechnung der Erosionsgefährdung durch Wasser.

Berücksichtigte Faktoren	Erosionsgefährdung (DIN 19708)	Cross Compliance-Erosionsgefährdung
Bodenerodierbarkeit	5 x 5 m-Raster	20 x 20 m-Raster
Regenerosivität	1 x 1 km-Raster	1 x 1 km-Raster
Hangneigung	DGM5*	DGM20**
Hanglänge	DGM5*	nicht berücksichtigt
Vegetationsbedeckung	InVeKoS***-Fruchtfolge 2013-2016 flurstücksbezogen	nicht berücksichtigt
Klassifizierung	sechsstufig	dreistufig
Kartendarstellung	5 x 5 m-Raster	flurstücksbezogen

* Digitales Geländemodell im 5 x 5 m-Raster

** Digitales Geländemodell im 20 x 20 m-Raster

*** Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem

2.2 Gebietskulisse

Die Erosionsgefährdung durch Wasser wird für alle landwirtschaftlich genutzten Flächen auf Grundlage der Objektart „AX_Landwirtschaft“ des Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems (ALKIS) berechnet. Dazu gehören Ackerland, Streuobstacker, Hopfen, Spargel, Grünland, Streuobstwiese, Gartenland, Baumschule, Weingarten, Obstplantage, Obstbaumplantage, Obststrauchplantage und Brachland.

2.3 Ermittlung von K-, R-, L-, S- und C-Faktoren

Bei der Einschätzung der Erosionsgefährdung durch Wasser sind in Anlehnung an die ABAG die folgenden Faktoren zu berücksichtigen:

- Bodenerodierbarkeit (unter Heranziehung des Bodenerodierbarkeitsfaktors **K**),
- Regenerosivität (unter Heranziehung des Regenerosivitätsfaktors **R**),
- Hanglänge (unter Heranziehung des Hanglängenfaktors **L**),
- Hangneigung (unter Heranziehung des Hangneigungsfaktors **S**) und
- Bodenbedeckung (unter Heranziehung des Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktors **C**).

Die Bestimmung der Erosionsgefährdung durch Wasser ($A = K \cdot R \cdot L \cdot S \cdot C$) erfolgt in Anlehnung an DIN 19708. Während der Drucklegung der vorliegenden Publikation erschien eine aktualisierte Fassung der DIN 19708, die folglich nicht mehr berücksichtigt werden konnte. Eine landesweite Neuberechnung – insbesondere des K-Faktors – wird angestrebt.

2.3.1 Ermittlung des Bodenerodierbarkeitsfaktors (K-Faktor)

Für schlagspezifische Aussagen sind hochauflösende Bodendaten zu bevorzugen. Da es für Rheinland-Pfalz keinen flächendeckenden einheitlichen Datensatz gibt, muss auf verschiedene Datenquellen zurückgegriffen werden. In einem ersten Arbeitsschritt werden alle vorliegenden hochauflösenden (= parzellenscharfen) Bodeninformationen ausgewertet. Das sind

- die im Kartiermaßstab zwischen 1: 500 und 1: 5.000 vorliegenden Daten der Bodenschätzung (Objektart „AX Bodenschätzung“ des ALKIS), die in Rheinland-Pfalz zu rund 95% digital vorliegen und rund 720.000 ha abdecken sowie
- die im Kartiermaßstab zwischen 1: 625 und 1: 10.000 vorliegenden Daten der Weinbergsbodenkarte, die für rund 80.000 ha verfügbar sind.

Bei den Bodenschätzungsdaten wird die Bodenerodibilität für die Acker- und Grünlandflächen aus dem Klassenzeichen der Bodenschätzung abgeleitet, indem jeder Bodenklasse ein K-Faktor zugeordnet wird. Die Erosionsanfälligkeit der Oberböden steigt von einem Sandboden mit einem K-Faktor von 0,10 (Beispiel: S4D) oder einem steinreichen Boden mit einem K-Faktor von 0,15 (Beispiel: SL6Vg) bis zu einem schluffreichen Lößboden mit einem K-Faktor von 0,55 (Beispiel: L4Lö). Die detaillierte Methodik inklusive Zuordnungstabellen ist auf der Homepage des Landesamtes für Geologie und Bergbau beschrieben (http://www.lgb-rlp.de/fileadmin/service/lgb_downloads/boden/bfd5l_methodenbeschriebe/bfd5l_k_faktor.pdf).

Acker- und Grünlandflächen, für die (bisher noch) keine digitalen Bodenschätzungsdaten vorliegen und Flächen an Nutzungsgrenzen, bei denen durch die Bearbeitung im Raster Lücken auftreten können, werden mit einem räumlichen Prognoseansatz bearbeitet: Kleinere Lücken mit einer maximalen Entfernung von 20 Metern zu kartierten Schätzungsflächen (z. B. Lücken an Nutzungsgrenzen oder Flächen in Ortslagen) werden mittels nachbarschaftsanalytischer Verfahren geschlossen. Größere Flächen ohne digitale Bodenschätzungsdaten (z. B. Gemarkungen in Flurbereinigungsverfahren) werden mittels Data-Mining Verfahren prognostiziert (BEHRENS & STEINRÜCKEN 2008).

Für Rebflächen wird der K-Faktor aus der Bodenart des Rigolhorizontes der Weinbergsbodenkarte abgeleitet (http://www.lgb-rlp.de/fileadmin/service/lgb_downloads/boden/bfd5w_methodenbeschriebe/bfd5w_feinbodenart.pdf). Dazu wird die kartierte Bodenart unter Berücksichtigung des Ausgangssubstrates der Bodenbildung in die Bodenart entsprechend der aktuellen Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 2005) übersetzt. Der K-Faktor wird nach DIN 19708 bestimmt, indem zunächst der bodenartabhängige Anteil am K-Faktor (K_b , Tabelle 2) und dann der grobbodenabhängige Anteil am K-Faktor (K_s , Tabelle 3) ermittelt werden. Die Berechnung des K-Faktors erfolgt dann durch:

$$K = K_b \cdot K_s$$

Der humusgehaltsabhängige Anteil am K-Faktor (K_h , Tabelle 4) kann nicht berechnet werden, da der Humusgehalt bei der Weinbergsbodenkartierung nicht erhoben wurde.

Tab. 2: Bodenarten der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005) und bodenartabhängiger Anteil Kb am K-Faktor (DIN 19708).

Bodenart	Kb	Bodenart	Kb	Bodenart	Kb	Bodenart	Kb
Ss	0,13	Uu	0,71	Lt2	0,26	Tu3	0,32
Su2	0,23	Us	0,63	Lt3	0,21	ffS	0,74
Su3	0,35	Uls	0,50	Lts	0,15	fS	0,34
Su4	0,45	Ut2	0,61	Ts2	0,04	fSms	0,25
Slu	0,40	Ut3	0,56	Ts3	0,06	fSgs	0,25
Sl2	0,21	Ut4	0,53	Ts4	0,08	mS	0,07
Sl3	0,26	Ls2	0,35	Tl	0,09	mSfs	0,16
Sl4	0,24	Ls3	0,28	Tt	0,02	mSgs	0,07
St2	0,11	Ls4	0,19	Tu4	0,45	gS	0,07
St3	0,10	Lu	0,41	Tu2	0,14	-	-

Tab. 3: Grobbodenanteil des Oberbodens und grobbodenabhängiger Anteil Ks am K-Faktor (DIN 19708).

Grobbodenanteil in Vol.-%	Ks
< 2	1,00
2 bis < 10	0,87
10 bis < 25	0,64
25 bis < 50	0,39
50 bis < 75	0,19
>= 75	0,10

Tab. 4: Humusgehalt des Oberbodens und humusgehaltsbedingter Anteil Kh am K-Faktor (DIN 19708).

Humusgehalt in Masse-%	Kh
< 1	1,15
1 bis < 2	1,05
2 bis < 4	0,90
4 bis < 15	0,80

In einem zweiten Arbeitsschritt wird der K-Faktor für Flächen, für die keine hochauflösenden Bodendaten verfügbar sind und die nicht durch die Prognose abgedeckt werden, aus den Bodenflächendaten im Maßstab 1: 200.000 (<http://www.lgb-rlp.de/karten-und-produkte/online-karten/online-bodenkarten/bfd200.html>) abgeleitet. Der K-Faktor wird entsprechend Tabelle 2 und Tabelle 3 berechnet. Zusätzlich wird der Humusgehalt der Oberböden entsprechend Tabelle 4 berücksichtigt. Die Berechnung des K-Faktors erfolgt somit durch:

$$K = K_b \cdot K_s \cdot K_h$$

Für den größten Teil der potenziell erosionswirksamen, landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen somit die aus den Bodenschätzungsdaten und der Weinbergsbodenkarte abgeleiteten K-Faktoren vor. Alle abgeleiteten K-Faktoren werden in einem 5 m-Raster dargestellt.

2.3.2 Ermittlung des Regenerositätsfaktors (R-Faktor)

Der Regenerositätsfaktor R stellt ein Maß für die Erosivität der Niederschläge dar, die einerseits durch die Aufprallenergie, andererseits durch den Oberflächenabfluss zum Bodenabtrag beitragen. Entscheidend sind hier die Niederschlagsmenge und die Niederschlagsintensität. Die Berechnung erfolgt in Anlehnung an DIN 19708 nach der bundesweit gültigen Regressionsgleichung:

$$R = 0,0788 \cdot \text{mittlerer Jahresniederschlag (in mm)} - 2,82$$

Datengrundlage sind die für die Zeitreihe von 1971 bis 2000 mit der Interpolationssoftware INTERMET aufgearbeiteten Niederschlagsdaten. Der R-Faktor liegt im 1 x 1 km-Raster vor und schwankt in Rheinland-Pfalz zwischen 37 (Rheinhessen) und 97 (Westerwald).

2.3.3 Ermittlung des Hanglängenfaktors (L-Faktor)

Der L-Faktor drückt den Einfluss der Hanglänge auf das Erosionsgeschehen aus. Mit größerer Hanglänge steigt das Erosionsrisiko, während kurze und stark gegliederte Hänge weniger erosionsgefährdet sind. Bei längeren Hängen, die nicht durch Abflussbarrieren unterteilt werden, nimmt der Oberflächenabfluss im Hangverlauf stark zu (SCHWERTMANN et al. 1990). Die Abflussmenge und die Abflussgeschwindigkeit, die auch über die Hangneigung beeinflusst werden, steuern maßgeblich die Transportkapazität des Oberflächenabflusses. Die Transportkapazität wirkt

sich direkt auf die Menge des potenziell transportierbaren Bodenmaterials aus und entscheidet über Erosion und Deposition.

Für die Berechnung des L-Faktors wird ein einzugsgebietsbasierter Ansatz nach MOORE & BURCH (1986) bzw. MOORE & WILSON (1992) gewählt. Die von den genannten Autoren entwickelte Formel schließt die Berechnung des S-Faktors mit ein, indem ein LS-Faktor berechnet wird. Es wird allerdings nur der Hanglängen bzw. Einzugsgebiet abhängige Teil der Berechnungsformel mit dem spezifischen Einzugsgebiet (A_s) einer Rasterzelle und dem Hanglängenexponenten $m = 0,4$ verwendet:

$$L = (A_s / 22,13)^m$$

Dieser Wert wird auch für den Bodenerosionsatlas in Hessen (HLUG 2013) verwendet und von MOORE & BURCH (1986) empfohlen. Der von MOORE & WILSON (1992) vorgeschlagene Wert m von 0,6 führte nach WOLF (2006) zu einer Überschätzung des L-Faktors bei Hangneigungen unter 10 Grad. Das betraf über 80 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche von Rheinland-Pfalz.

Die Berechnung erfolgt auf Grundlage des DGM5 (vgl. Fußnote Tabelle 1) nur für die landwirtschaftliche Nutzfläche, die die Kulisse für die ABAG-Berechnung bildet. Grünland wird hier nicht als Fließbarriere angesehen, sondern gehört zur Kulissenfläche. Dies macht den L-Faktor im Sinne von WOLF (2006) ungenauer, hat aber den Vorteil, dass für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche eine Aussage getroffen werden kann.

2.3.4 Ermittlung des Hangneigungsfaktors (S-Faktor)

Der S-Faktor beschreibt den Einfluss der Hangneigung auf den Bodenabtrag. Steigt die Hangneigung, setzt Oberflächenabfluss schneller ein und die Abflussgeschwindigkeit erhöht sich (SCHWERTMANN et al. 1990). Dementsprechend nimmt die Transportkapazität zu. Somit sind steilere Hänge stärker erosionsgefährdet als flachere Hangbereiche. Auf Grundlage des DGM5 wird gemäß DIN 19708 jeder Rasterzelle anhand ihrer Hangneigung über die Formel

$$S = -1,5 + \{17 / (1 + e^{2,3 - 6,1 \sin \alpha})\}$$

ein S-Faktor zugeordnet, der mit zunehmender Hangneigung steigt (Tabelle 1 im Anhang).

2.3.5 Ermittlung des Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktors (C-Faktor)

Der Bodenbedeckungsfaktor C beschreibt die erosionsmindernde Wirkung einer Vegetationsbedeckung gegenüber einer Schwarzbrache (C-Faktor = 1). Pflanzenbewuchs stabilisiert das Bodengefüge und schwächt die Aufprallenergie des Niederschlages ab (SCHWERTMANN et al. 1990, AUERSWALD 1998).

Die Zuweisung der fruchtartentypischen C-Faktoren (Tabelle 2 im Anhang) erfolgt auf Grundlage der jährlichen Erhebungen im Rahmen des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS). Die Aussage beschränkt sich auf die Hauptfrucht. Zwischenfrüchte oder Brachezeiten können nicht berücksichtigt werden. Die C-Faktoren werden den entsprechenden Frucht- und Kulturarten in Anlehnung an AUERSWALD & KAINZ (1998), AUERSWALD & SCHWAB (1999), STUMPF & AUERSWALD (2006), TLL (2007) und LWK NRW (2012) zugeordnet.

Da keine flächenbezogenen Informationen zur Bodenbearbeitungstechnik (z. B. mit Pflug, Mulch- oder Direktsaat) der Flächenbewirtschaftung vorliegen, wird von einer konventionellen Bearbeitung mit Pflug ausgegangen. In einigen Regionen von Rheinland-Pfalz, z. B. dem Rheinhessischen Tafel- und Hügelland, erfolgt die Bewirtschaftung vieler Ackerflächen bereits konservierend (Mulch- oder Direktsaat). Werden die Flächen dauerhaft konservierend bewirtschaftet, können die Bodenabträge gegenüber einer konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Pflug um 65 bis 85 % reduziert werden (SLULG 2016a).

Für die Rebflächen von Rheinland-Pfalz wird in Anlehnung an AUERSWALD & SCHWAB (1999) ein C-Faktor von 0,31 angenommen, das entspricht einer realistischen Dauerbegrünung in jeder zweiten Gasse. Für Ertragsanlagen ohne Schutzmaßnahmen wäre ein C-Faktor von 0,59 und für solche mit Dauerbegrünung ein C-Faktor von 0,03 realistisch. Es wird darauf hingewiesen, dass insbesondere Neuanlagen ohne Schutzmaßnahmen sehr erosionsanfällig sind (Abbildung 1).

Für jedes Flurstück wird ein C-Faktor durch Mittelwertbildung der C-Faktoren der InVeKoS-Fruchtarten der Jahre 2013 bis 2016 berechnet, um eine längerfristige Aussage zu ermöglichen. Vergleichbare Annahmen wurden in Hessen (HLUG 2013) und Bayern (LfL 2013) getroffen. Es ist beabsichtigt, den C-Faktor in unregelmäßigen Abständen zu aktualisieren.



Abb. 1: Bodenerosion in der Neuanlage eines Weinberges.

2.4 Berechnung und Klassifizierung der Erosionsgefährdung

2.4.1 Szenarien der Vegetationsbedeckung

Die Berechnung der Erosionsgefährdung für Rheinland-Pfalz erfolgt unter Annahme verschiedener Vegetationsbedeckungen auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche (Objektart „AX_Landwirtschaft“ des ALKIS).

Das erste Szenario beschreibt den potenziellen, langjährigen, mittleren Bodenabtrag unter Verwendung des C-Faktor-Mittelwertes. Der **Mittelwert der kulturspezifischen C-Faktoren 2013 bis 2016** stellt eine repräsentative Fruchtfolge dar:

$$A = K \cdot R \cdot L \cdot S \cdot C\text{-Fruchtfolge}$$

Abgesehen davon sind für die landwirtschaftliche Erosionsberatung Szenarien hilfreich, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftung einzuschätzen. Der Faktor, welcher sich unmittelbar durch die Flächenbewirtschaftung verändern lässt und gleichzeitig hinsichtlich der Erosionsgefährdung sehr sensibel reagiert, ist der C-Faktor (Abbildung 2).

Das zweite Szenario nimmt den flächendeckenden Anbau einer **Kulturart mit geringem Bodenbedeckungsgrad im Frühjahr** (z. B. Mais oder Sonnenblume, C-Faktor = 0,35) an. So begünstigt beispielsweise Maisanbau in Hanglage ohne Erosionsschutzmaßnahmen (z. B. Mulchsaat, Untersaat, Anlage temporärer Grünstreifen) in der Regel den Bodenabtrag (VOGEL et al. 2013, LfL 2013, LfL 2017). Ein reiner Maisanbau ohne erosionshemmende Maßnahmen stellt somit, abgesehen von der Schwarzbrache, ein Worst-Case-Szenario dar:

$$A = K \cdot R \cdot L \cdot S \cdot 0,35$$

Dieses Szenario wird abgeschwächt, wenn eine **Kulturart mit geringem Bodenbedeckungsgrad im Frühjahr**, z. B. nach einer Zwischenfrucht und mit einer Mulchbedeckung von 30 %, pfluglos bewirtschaftet wird:

$$A = K \cdot R \cdot L \cdot S \cdot 0,14$$

Eine hinsichtlich der Bodenbedeckung weniger problematische Kultur ist der **Winterweizen** (C-Faktor 0,12), der flächenmäßig weit verbreitet angebaut wird. Ein Anbau von Winterweizen gegenüber Maisanbau ist, abgesehen von Dauergrünland, ein Best-Case-Szenario. Die Fruchtart steht stellvertretend für Wintergetreide:

$$A = K \cdot R \cdot L \cdot S \cdot 0,12$$

Um die Szenarien zu vervollständigen, wurde zusätzlich eine Variante berechnet, die von einer **Schwarzbrache** ausgeht. Dies stellt den Extremfall dar und ist unter normalen ackerbaulichen Bedingungen nur in seltenen Fällen bzw. nur vorübergehend zu erwarten:

$$A = K \cdot R \cdot L \cdot S \cdot 1,00$$

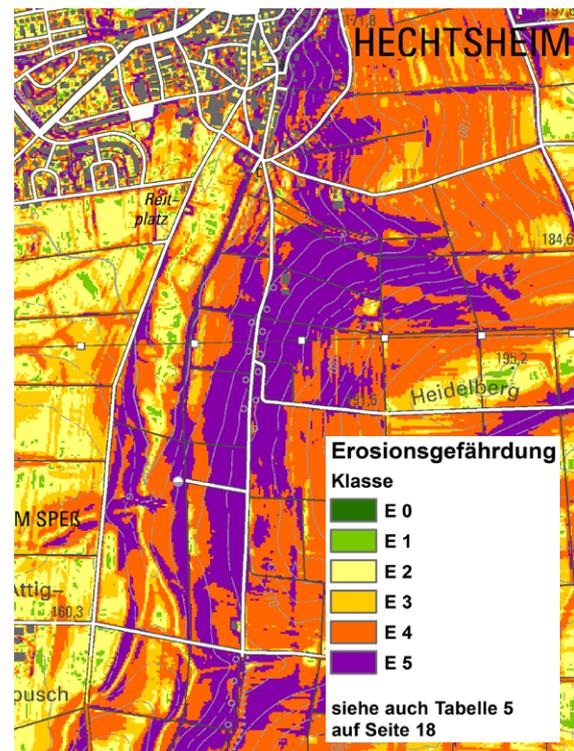
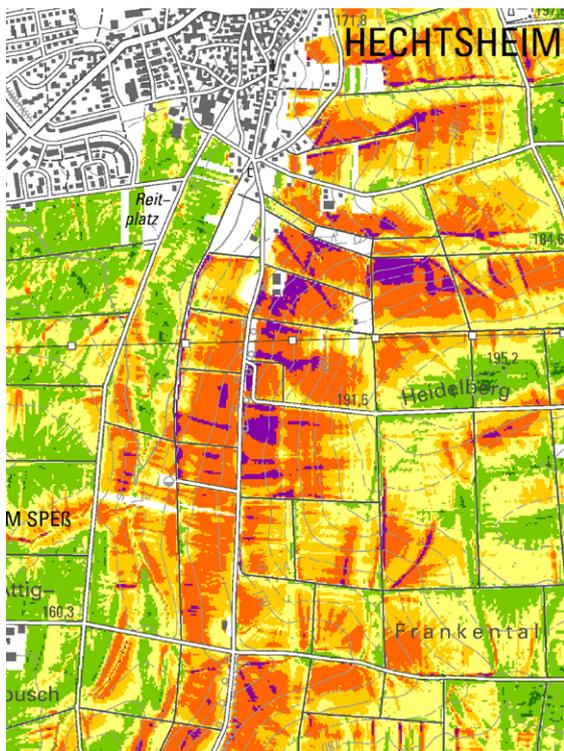
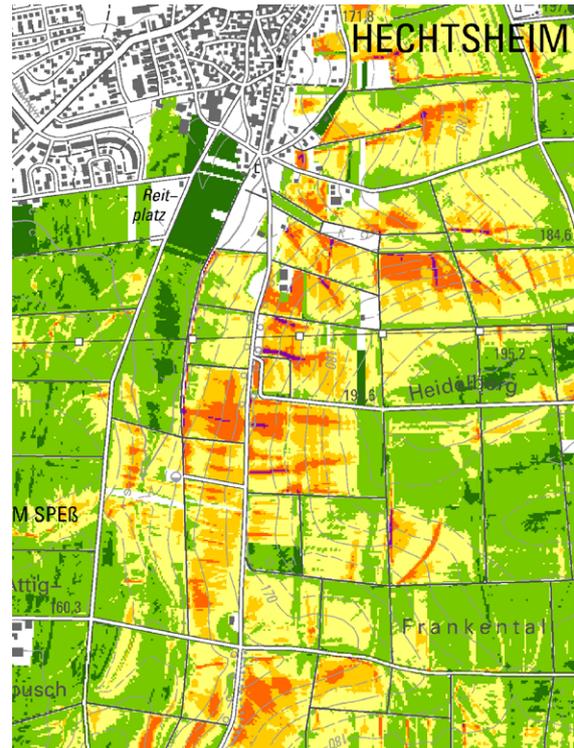


Abb. 2: Vier Szenarien im Beispiel (oben links: Winterweizen, oben rechts: Mittelwert der kulturspezifischen C-Faktoren 2013 bis 2016, unten links: Kulturart mit geringem Bodenbedeckungsgrad im Frühjahr, unten rechts: Schwarzbrache).

2.4.2 Klassifizierung

Die Darstellung und Bewertung des Bodenabtrags erfolgt in Bodenabtragsgefährdungsklassen. Die DIN 19708 beinhaltet mit den Klassengrenzen 0,2 / 1,0 / 2,0 / 3,0 und 6,0 einen Vorschlag zur Einteilung in Stufen der Erosionsgefährdung (Tabelle 5). Eine Übertragbarkeit scheitert an der im bundesweiten Vergleich sehr großen Bandbreite der geomorphologischen Gegebenheiten in Rheinland-Pfalz. Die Mittelgebirge weisen große, sehr stark gegliederte Flächen auf, während der Oberrheingraben nur sehr wenig reliefiert ist. Insbesondere die stark reliefierten Bereiche lassen sich mit der vorgegebenen Einteilung für das Szenario „C-Faktor-Fruchtfolge“ nicht gut darstellen und differenzieren. Aus diesem Grund wird die in Tabelle 5 aufgeführte Klasseneinteilung genutzt. Die Anwendung dieser Klassengrenzen auf Rheinland-Pfalz ergibt ein deutlich schlüssigeres Bild mit räumlich differenzierten Gefährdungsstufen. Die Überprüfung in verschiedenen Naturräumen auf der Basis zurückliegender Erosionsereignisse bestätigt die Validität dieser Erosionsgefährdungsklassen. **Die berechneten Werte sollten für einen relativen Vergleich und nicht als absolute Abtragsgröße in t/ha herangezogen werden.**

Tab. 5: Einstufung der Erosionsgefährdung durch Wasser in Rheinland-Pfalz und nach DIN 19708.

Stufe	Benennung	Rheinland-Pfalz $K \cdot R \cdot L \cdot S \cdot C =$	DIN 19708 $K \cdot R \cdot L \cdot S \cdot C =$
E 0	keine bis sehr geringe Bodenerosionsgefährdung	< 0,5	< 0,2
E 1	sehr geringe Bodenerosionsgefährdung	0,5 bis <2,5	0,2 bis < 1,0
E 2	geringe Bodenerosionsgefährdung	2,5 bis < 5,0	1,0 bis < 2,0
E 3	mittlere Bodenerosionsgefährdung	5,0 bis < 7,5	2,0 bis < 3,0
E 4	hohe Bodenerosionsgefährdung	7,5 bis < 15	3,0 bis < 6,0
E 5	sehr hohe Bodenerosionsgefährdung	≥ 15	$\geq 6,0$

2.5 Anwendung in der landwirtschaftlichen Beratung

Der Vergleich verschiedener Nutzungsszenarien (Abbildung 2) gibt Hinweise auf die Fruchtart, die unter dem Gesichtspunkt des Erosionsschutzes zu favorisieren ist. So kann auf stark erosionsgefährdeten Schlägen gezeigt werden, was der Anbau einer weniger erosionsgefährdenden Kultur bewirken würde. Auch kann beispielsweise abgeschätzt werden, wie sich ein Grünlandumbruch

(Abbildung 3) auf die Erosionsgefährdung einer Fläche auswirkt. Damit sind die Erosionskarten ein wichtiger Baustein der landwirtschaftlichen Beratung im Rahmen der guten fachlichen Praxis entsprechend § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und der Ziele des Bodenschutzes nach § 2 Landes-Bodenschutzgesetz (LBodSchG).

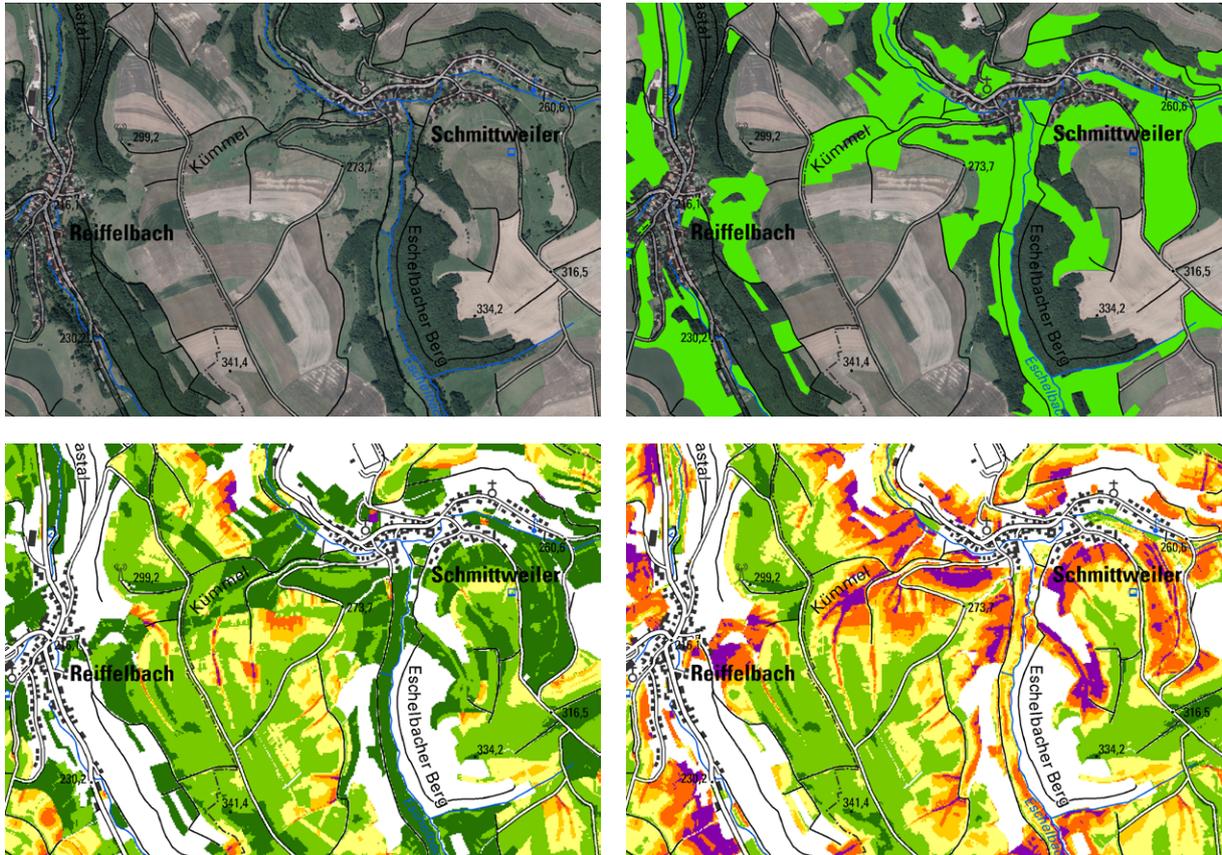


Abb. 3: Auswirkung eines fiktiven großflächigen Grünlandumbruchs auf die Erosionsgefährdung (oben: Luftbild - rechts mit Grünlandflächen, unten links: Erosionsgefährdung aus Mittelwert C-Faktor (2013-2016), unten rechts: Erosionsgefährdung bei ackerbaulicher Nutzung (C-Faktor: 0.12).

2.6 Kartenviewer und Datenbereitstellung

Im Kartenviewer des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (<http://www.lgb-rlp.de/karten-und-produkte/online-karten/online-bodenkarten.html>) werden aktuell die Daten der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wasser (BFD50/200, Stand 2005) und die Wassererosionsgefährdung nach Cross Compliance visualisiert (vgl. Kapitel 2.1).

Die in diesem Heft beschriebenen großmaßstäbigen Karten der Erosionsgefährdung werden in naher Zukunft auf dem Kartenviewer des Landesamtes für Geologie und Bergbau veröffentlicht.

3 ERWEITERTES GEWÄSSERNETZ

3.1 Vorbemerkung

Für verschiedene Fragestellungen, speziell im Hinblick auf Maßnahmen des dezentralen Hochwasserschutzes oder im Hinblick auf Stoffeinträge in Gewässer, sind detaillierte Informationen zu Gewässern und Abflusswegen notwendig. Eine ausschließliche Betrachtung bestehender, digitaler Gewässerdaten (wie ATKIS Basis-DLM 25 oder Gewässerlayer des Landesamtes für Umwelt) reicht hierfür nicht aus. Für eine Beurteilung des Abflussgeschehens, der Fließwege und des Gewässeranschlusses von Flächen muss die bestehende Datengrundlage erweitert werden. Das Grundgerüst des vorliegenden erweiterten Gewässernetzes besteht aus den vorhandenen Gewässerlinien, die das Landesamt für Umwelt (LfU) bereitstellt. Dieses wird um abflusswirksame Tiefenlinien auf Basis des digitalen Geländemodells (DGM5) ergänzt. Eine Tiefenlinie wird in Anlehnung an O'CALLAGHAN & MARK (1984) als Linie in der Landschaft definiert, in der sich nach Niederschlagsereignissen der Oberflächenabfluss temporär konzentriert.

3.2 Methodik und Datengrundlage

Zur Erstellung des erweiterten Gewässernetzes Rheinland-Pfalz werden folgende Daten verwendet:

- Aktuelles Gewässernetz des Landesamtes für Umwelt (LfU-Gewässernetz 27150 mit 27150 Linien)
- Digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 5 x 5 m (DGM5) des Landesamtes für Vermessung und Geobasisinformation (LVerGeo)
- Vektordaten der Verkehrswege aus ALKIS (LVerGeo)
- Vektordaten der Siedlungsflächen aus ATKIS (LVerGeo)

3.2.1 Aufbereitung des DGM5 und Berechnung der Tiefenlinien

Das DGM5 muss für die Ableitung abflusswirksamer Tiefenlinien in einem mehrstufigen Verfahren aufbereitet werden (PECORONI 2013). Das LfU-Gewässernetz wird zunächst in das DGM5 eingetieft (Abbildung 4). Anschließend werden Kreuzungsbereiche von Verkehrswegen mit den Gewässern nochmals separat eingeschnitten, um gezielt Barrieren (z. B. Brücken) zu beseitigen. Abflusslose Senken können mit einer automatisierten hydrologischen Bereinigung des DGM5

entfernt werden. Das so überarbeitete DGM5 bildet die Berechnungsgrundlage für die Modellierung der Tiefenlinien.

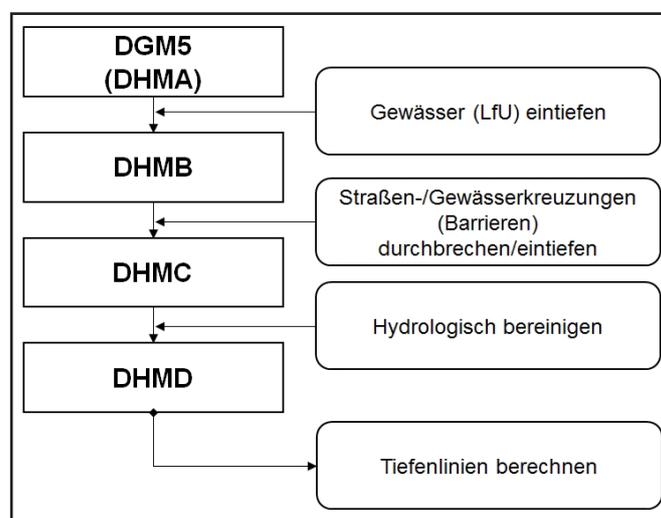


Abb. 4: Schema der Aufbereitung des DGM5.

Für die Ausweisung von Tiefenlinien erfolgt zunächst die Berechnung der Einzugsgebiete der Rasterzellen (Fließakkumulation). Dabei kommt eine Kombination aus zwei Abflussalgorithmen zum Einsatz. Bis zu einer Einzugsgebietsgröße von 5 ha errechnet sich das Fließakkumulationsraster mit dem Deterministic-Infinity-Algorithmus (TARBOTON 1997), ab 5 ha Einzugsgebiet einer Rasterzelle wird der Deterministic-8-Algorithmus (O'CALLAGHAN & MARK 1984) verwendet. Voruntersuchungen mit Validierung im Gelände dienten zur Findung eines geeigneten Startkriteriums für die Tiefenlinien. Plausible Ergebnisse und für verschiedene Verwendungszwecke einsetzbare Tiefenlinien liefert die Modellierung bei einem Mindesteinzugsgebiet der Tiefenlinien von 5 ha (= Startkriterium), d.h. eine Tiefenlinie wird erst dann erzeugt, wenn das beitragende Einzugsgebiet mindestens 5 ha beträgt. Für bestimmte Fragestellungen oder kleinere Untersuchungsgebiete kann eine weitere Differenzierung der Tiefenlinien notwendig sein. Aus diesem Grund werden ebenfalls Tiefenlinien mit einer Einzugsgebietsgröße von 1 ha berechnet.

Die Tiefenlinien liegen als Liniendaten vor und werden in einem weiteren Schritt mit den bestehenden Gewässerlinien verknüpft (Abbildung 5). Mittels Netzwerkanalyse können die Tiefenliniensegmente identifiziert werden, welche die Startpunkte der Tiefenlinien mit der nächstgelegenen Linie des LfU-Gewässernetzes verbinden. Tiefenliniensegmente, die entlang bereits vorhandener Gewässerlinien verlaufen, werden somit verworfen.

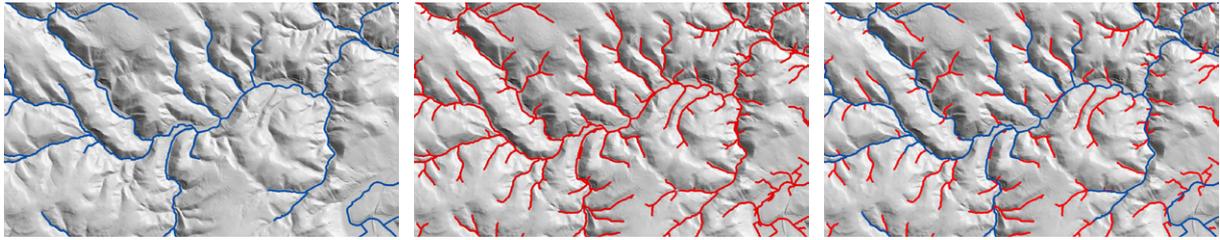


Abb. 5: LfU-Gewässernetz 27150 (links), Tiefenlinien (Mitte) und erweitertes Gewässernetz (rechts).

3.2.2 Validierung und Überarbeitung der Tiefenlinien

Das Ergebnis der ersten Berechnung der Tiefenlinien und die darauf folgenden Geländebegehungen im Saar-Nahe-Bergland und im Rhein Hessischen Tafel- und Hügelland ergaben einen weiteren Überarbeitungsbedarf des Tiefenliniennetzes, der sich insbesondere auf drei Aspekte bezog.

An Stellen, an denen sich Gewässer und Verkehrswege kreuzen, treten Ungenauigkeiten im Verlauf der berechneten Tiefenlinien auf. Brückenbauwerke sind an einigen Stellen rechnerisch aus dem DGM5 beseitigt, jedoch sind sie an vielen Stellen noch als Barrieren im DGM5 vorhanden. Diese Problematik tritt auch bei verrohrten Gewässerstücken auf. Obwohl in der Realität das Gewässer oder eine Tiefenlinie den Verkehrsweg kreuzt (z. B. unter einer Brücke oder durch eine Verrohrung), ohne davon in seiner Fließrichtung beeinflusst zu werden, wird bei einem nicht bereinigten DGM5 die berechnete Fließrichtung beeinflusst. Dies äußert sich im Extremfall darin, dass die modellierten Tiefenlinien über lange Strecken entlang von Verkehrswegen verlaufen oder sogar in eine ganz andere Richtung abgelenkt werden.

Der zweite Aspekt thematisiert Bereiche mit großräumig geringen Hangneigungen, die aus einer Kombination von Reliefklassifikation und naturräumlicher Gliederung abgeleitet werden (Abbildung 6). Insbesondere im Bereich des Rheintales, des Oberrheingrabens und des Landstuhler Bruchs ist das Modellierungsergebnis an vielen Stellen nicht plausibel. Die Tiefenlinien bilden hier die vorhandenen Gewässer nicht gut ab und verlaufen im Gegensatz zur Realität teilweise stark mäandrierend. Dort, wo künstliche Entwässerungsgräben vorhanden sind, ist das Ergebnis in der Regel besonders schlecht, obwohl zur Modellierung der Tiefenlinien die vorhandenen Gewässer in das DGM eingetieft wurden. Für die in Abbildung 6 dargestellten ebenen Tiefenbereiche wird aus diesem Grund ausschließlich das aktuelle LfU-Gewässernetz dargestellt.

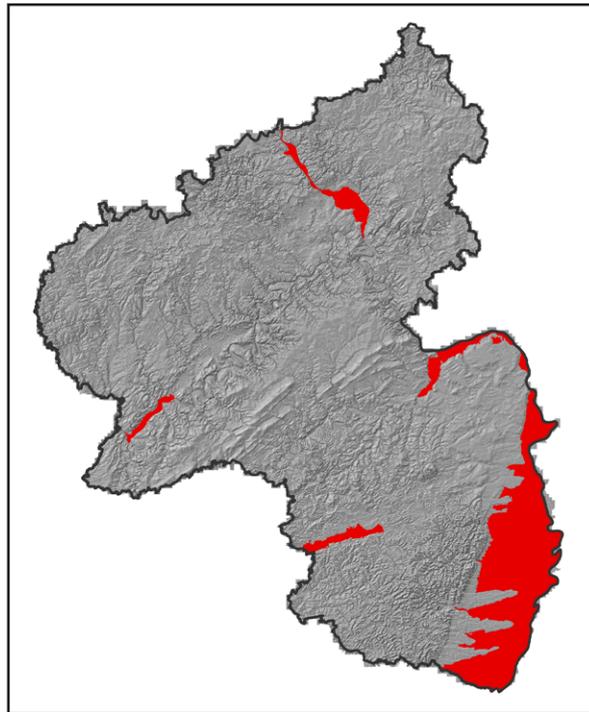


Abb. 6: Maske (rote Markierung) zur Kennzeichnung der Tiefenlinien in Bereichen mit großflächig geringer Hangneigung.

Der letzte Aspekt behandelt Siedlungsgebiete. Die Modellierung der Tiefenlinien wird auf dem gesamten DGM ausgeführt. Siedlungsflächen sind somit in der Berechnung eingeschlossen. Innerhalb der Siedlungsgebiete ist der Verlauf der Tiefenlinien jedoch ungenau, da die reale Abflusssituation durch unterirdische Abflusswege geprägt ist (Abbildung 7). Aus diesem Grund sind die Tiefenlinien in den Siedlungsflächen entsprechend gekennzeichnet.

3.3 Anwendungsmöglichkeiten

Das erweiterte Gewässernetz stellt für diverse Fragestellungen eine gute und detaillierte Datengrundlage der Abflusswege und Gewässer dar. Anwendungsmöglichkeiten bieten sich beispielsweise in der Stoffeintragsmodellierung (Phosphor, Pflanzenschutzmittel) über Flächen mit Gewässer- bzw. Tiefenlinienanschluss oder bei der Identifizierung von möglichen Abflussbahnen für Oberflächenwasser und Erosionsmaterial.

Die reliefbedingten Abflussbahnen kennzeichnen prioritäre Flächen für Maßnahmen des dezentralen und vorbeugenden Hochwasserschutzes mit dem Ziel der Abflussverzögerung (SLULG 2016b). So vermag die Etablierung einer Dauerbegrünung oder die Anlage von dezentralen Rück-

haltemulden/Verwallungen im Bereich der Tiefenlinien Oberflächenwasser zurückzuhalten und Stoffeinträge in Gewässer zu reduzieren.

In Siedlungsflächen sind insbesondere die Eintrittspunkte der Abflussbahnen in den besiedelten Bereich von Bedeutung für die Planung von Schutzmaßnahmen (Abbildung 8). Tiefenlinien sollten bereits im Vorfeld einer potenziellen Bebauung bei der Planung berücksichtigt werden.



Abb. 7 (links): Einlaufschacht mit Rechen zur Fassung von Oberflächenwasser im Siedlungsbereich.

Abb. 8 (rechts): Einlaufschacht zur Fassung von Oberflächenwasser, das bei Starkniederschlägen aus einer landwirtschaftlichen Fläche über eine Tiefenlinie in den Siedlungsbereich strömt.

3.4 Kartenviewer und Datenbereitstellung

Die reliefbedingten Abflussbahnen für Oberflächenwasser (Tiefenlinien) werden gemeinsam mit den Daten der aktuellen Erosionsgefährdung im Kartenviewer des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (<http://www.lgb-rlp.de/karten-und-produkte/online-karten/online-bodenkarten.html>) dargestellt. Der Kartendienst wird nach der endgültigen Abstimmung der zu visualisierenden Szenarien aktiviert. Schon jetzt können die nach Landesbodenschutzgesetz zuständigen Behörden diese Daten bei Bedarf anfordern und weiteren Verfahrensbeteiligten zur Verfügung stellen.

4 Verknüpfung von Erosionsgefährdung und Tiefenlinien

Ein wesentlicher Einsatzzweck der vorgestellten Karten ist die Identifizierung erosionsgefährdeter landwirtschaftlicher Nutzflächen, die gleichzeitig an das erweiterte Gewässernetz angeschlossen sind (Abbildung 9).

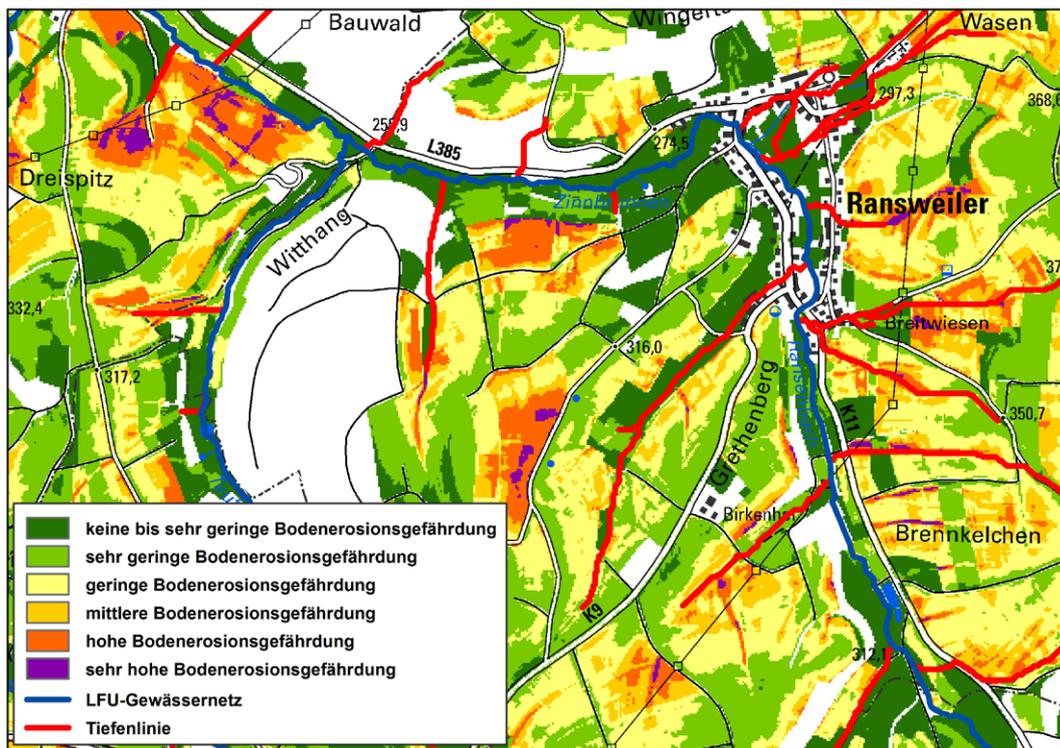


Abb. 9: Anschluss erosionsgefährdeter Flächen an das erweiterte Gewässernetz.

Diese Flächen weisen ein besonderes Gefährdungspotenzial hinsichtlich des Eintrags von Boden und somit auch von Phosphor und Pflanzenschutzmitteln in Gewässer auf (Abbildungen 10 & 11). Somit sind diese Gebiete prioritäre Maßnahmegebiete, in denen z. B. eine gezielte gewässer- und bodenschutzkonforme landwirtschaftliche Beratung angeboten werden kann.

Die Kombination der unterschiedlichen Informationsebenen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse bilden für zahlreiche Fragestellungen eine wichtige Planungs- und Beratungsgrundlage. Desgleichen bieten Sie aber auch den Bodenbewirtschaftenden ein Werkzeug, Problemstellen



Abb. 10: Erosive Abflussbahn mit Gewässeranschluss (siehe Abb. 11).



Abb. 11: Transport von Bodenmaterial in das Gewässer (siehe Abb. 10).

auf ihren Bewirtschaftungseinheiten zu finden und durch gezielte Maßnahmen zu beheben. Aufgrund des Klimawandels mit regional erhöhten Niederschlagsintensitäten (SAUER & BÖHM 2015) werden die vorgestellten Karten an Bedeutung gewinnen.

5 LITERATUR

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., 232 S., Hannover.
- AUERSWALD, K. (1998): Bodenerosion durch Wasser. In: RICHTER, G. (HRSG.): Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems, S. 33-42, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- AUERSWALD, K. & KAINZ, M. (1998): Erosionsgefährdung (C-Faktor) durch Sonderkulturen. Bodenschutz 3, S. 98-102, Berlin, Erich Schmidt Verlag.
- AUERSWALD, K. & SCHWAB, A. (1999): Erosionsgefährdung (C-Faktor) unterschiedlich bewirtschafteter Weinbauflächen. Vitic. Enol. Sci. 54, S. 54-60, Mainz, Fraund Verlag.
- BBodSchG – Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Artikel 101 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).
- BEHRENS, TH. & STEINRÜCKEN, U. (2008): Die Prognose des K-Faktors für Rheinland-Pfalz. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 19 S., Mainz.
- DIN 19708 (2005): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. DIN Deutsches Institut für Normierung e.V., Februar 2005, Berlin, Beuth.
- DIN 19708 (2017): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. DIN Deutsches Institut für Normierung e.V., August 2017, Berlin, Beuth.
- HLUg (2013): Bodenerosionsatlas Hessen, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, <http://www.hlug.de/?id=8569>.
- LBodSchG – Landesbodenschutzgesetz Rheinland-Pfalz vom 25. Juli 2005.
- LfL (2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen – Ergebnisse einer Feldstudie. Schriftenr. Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft Bd. 2013/8, Freising-Weihenstephan.
- LfL (2017): Starkregen, Bodenerosion, Sturzfluten – Beobachtungen und Analysen im Mai/Juni 2016. Schriftenr. Bayer. Landesanstalt f. Landwirtschaft Bd. 2017/2, Freising-Weihenstephan.
- LWK NRW (2012): C-Faktoren in Nordrhein-Westfalen, Excel-Anwendung zur Berechnung der C-Faktoren der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/boden/c-faktoren.htm>.
- MOORE, I. D. & BURCH, G. J. (1986): Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science of America Journal, 50, S. 1294-1298.

- MOORE, I. D. & WILSON, J. P. (1992): Length-Slope factors for the Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47, S. 423-428.
- O'CALLAGHAN, J. F. & MARK, D. M. (1984): The extraction of drainage networks from digital elevation data. In: *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Bd. 28, S. 323-344.
- PECORONI, D. (2013): Auswertungen zu Phosphorgehalten aus Bodenbestandsdaten in Hessen und Vergleich methodischer Ansätze zur Modellierung des erosionsbedingten P-Eintrags in Fließgewässer, Gießen (Diplomarbeit Universität Gießen).
- SAUER, T. & BÖHM, P. (2015): Klimawandel in Rheinland-Pfalz – Themenheft Boden. Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (Hrsg.), 27 S., Trippstadt.
- SAUERBORN, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. *Bonner Bodenkdl. Abh.*, 13, 189 S., Bonn (Dissertation Universität Bonn).
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & KAINZ, M. (1990²): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag.
- SLULG (2016a): Gefahrenabwehr bei Bodenerosion – Arbeitshilfe. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), 25 S., Dresden.
- SLULG (2016b): Dezentraler Hochwasserschutz im ländlichen Raum. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), 42. S., Dresden.
- STUMPF, F. & AUERSWALD, K. (2006): Hochoaufgelöste Erosionsprognosekarten von Bayern. *Wasserwirtschaft* 7-8, S. 70–74.
- TARBOTON, D. G. (1997): A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research* 33 (2), S. 309-319.
- TLL (2007): VERSTOLA Modellprojekt „Verminderung der Stoffaustragsgefahr durch Wassererosion von landwirtschaftlich genutzten Flächen“ der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.tll.de/verstola/content/verstola/methodik/dabag/c-faktor/c-tabelle.html>.
- VOGEL, E., DEUMLICH, D. & KAUPENJOHANN, M. (2013): Bodenerosion durch Energiemais – Evaluierung von Erosionsschutzkonzepten mit Erosion-3D. *Ber. Dtsch. Bdkl. Ges.*, <http://eprints.dbges.de/874/>.
- WISCHMEYER, W. H. & SMITH, D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. In: U.S. Department of Agriculture (Hrsg.): *Agricultural Handbook* Bd. 537, Washington.
- WOLF, S. (2006): Bodenerosion als Funktion veränderter Landnutzungsstruktur – Modellierung der Entwicklung am Beispiel der Nationalparkregion Sächsische Schweiz, Dresden (Diplomarbeit TU Dresden).

ANHANG

Anhangtab. 1: S-Faktoren in Abhängigkeit von der Hangneigung.

Neigung in Prozent	Neigung in Grad	S-Faktor
1	0,5	0,1
2	1,1	0,2
3	1,7	0,3
4	2,3	0,4
5	2,9	0,5
6	3,4	0,6
7	4,0	0,8
8	4,6	0,9
9	5,1	1,0
10	5,7	1,1
11	6,3	1,3
12	6,8	1,4
13	7,4	1,6
14	8,0	1,7
15	8,5	1,9
16	9,1	2,0
17	9,6	2,2
18	10,2	2,4
19	10,8	2,6
20	11,3	2,7
21	11,9	2,9
22	12,4	3,1
23	13,0	3,3
24	13,5	3,5
25	14,0	3,7
26	14,6	3,9
27	15,1	4,1
28	15,6	4,3
29	16,2	4,5
30	16,7	4,7
40	21,8	6,9
50	26,5	8,8

Anhangtab. 2: C-Faktoren ausgewählter InVeKoS-Fruchtarten*.

Fruchtart	fruchtartenspezifischer C-Faktor
Dinkel	0,12
Winterweizen	0,12
Sommerweizen	0,14
Roggen	0,08
Dinkel	0,12
Winterroggen	0,08
Sommerroggen	0,14
Wintermenggetreide	0,10
Wintergerste	0,07
Sommergerste	0,15
Winterhafer	0,12
Sommerhafer	0,15
Sommernenggetreide	0,14
Wintertriticale	0,12
Sommertriticale	0,14
Mais	0,35
Sorghumhirse	0,35
Buchweizen	0,15
Alle anderen Getreidearten	0,13
Erbsen	0,20
Acker-, Puff- und Pferdebohnen	0,30
Süßlupinen	0,30
Linsen	0,20
Winterraps und Winterrübsen	0,10
Sommerraps und Sommerrübsen	0,15
Sonnenblumen	0,35
Sojabohnen	0,30
Öllein/Faserflachs	0,22
andere Ölfrüchte (z. B. Körnersenf)	0,10
Silomais	0,35
Klee	0,03
Luzerne	0,03
Klee	0,03
Kleegras	0,03
Luzerne	0,03
Feldgras	0,03

Fruchtart	fruchtartenspezifischer C-Faktor
Klee-Luzerne-Gemisch	0,03
Rohrglanzgras	0,004
Wiese	0,004
Mähweide	0,004
Weide	0,004
Hutung	0,004
Grünland	0,004
Streuobst mit Grünlandnutzung	0,004
Stilllegung, vorübergehende Ackerbrache	0,03
Streuobstwiese	0,004
Ackerrandstreifen	0,10
Kartoffeln	0,29
Zuckerrüben	0,32
Futterrübe	0,32
Topinambur	0,29
Gemüse (Freiland)	0,20
Spargel	0,35
Blumen (Freiland)	0,20
Erdbeeren (Freiland)	0,21
Hopfen	0,49
Tabak	0,32
Heil- und Gewürzpflanzen	0,20
Küchenkräuter	0,20
Faserhanf	0,26
Kern- und Steinobst	0,03
Streuobst	0,004
Sonstige Obstanlagen	0,03
Beerenobst	0,03
Haselnüsse	0,03
Walnüsse	0,03
sonstige Schalenfrüchte (Mandeln, Esskastanien)	0,03
Weihnachtsbäume	0,13
Sonstige Forstflächen	0,10
Rebland (Standard, jede 2. Zeile begrünt)	0,31
Rebland (jede Zeile begrünt)	0,03
Rebland (unbegrünt)	0,59
Rebland (Neuanlage ohne Schutzmaßnahme)	0,80

Fruchtart	fruchtartenspezifischer C-Faktor
Weinbergsbrache	0,10
Rhabarber	0,40
Chinaschilf (Miscanthus)	0,13
Grassamenvermehrung	0,03
Blühflächen und Ackerrandstreifen	0,10
Haus- und Nutzgärten	0,40
Saum- und Bandstrukturen	0,10
Dämme und Deiche (Grünland unterstellt)	0,004
Sudangras	0,35
Abbau-/ Öd-/ Un-/ Geringstland	0,004
Unbefestigte Mieten Grünland	0,20
Unbefestigte Mieten Ackerland	0,40
Ziergärten, Park- und Grünanlagen, Golfplätze	0,004

* Die Gesamtliste kann beim LGB angefordert werden.



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU

Emy-Roeder-Straße 5
55129 Mainz

office@lgb.rlp.de
www.lgb-rlp.de

ISSN 2509-4785