

Deutschlandweite



Modellierung der Bodenerosion durch Wasser Anforderungen und Lösungen

Bastian Steinhoff-Knopp

Thünen-Institut | Stabsstelle Klima, Boden, Biodiversität



Hintergrund

Bodenerosion als Umweltproblem | Folgen



Grabenerosion mit Gewässereintrag am Kellersee in Schleswig-Holstein

Quelle: Saggau 2017

Status-Quo (global):

- ca. 40 % der Ackerfläche betroffen
- 50 % der P-Verluste und –Einträge
- 110-200 Mrd. US\$ jährliche Kosten

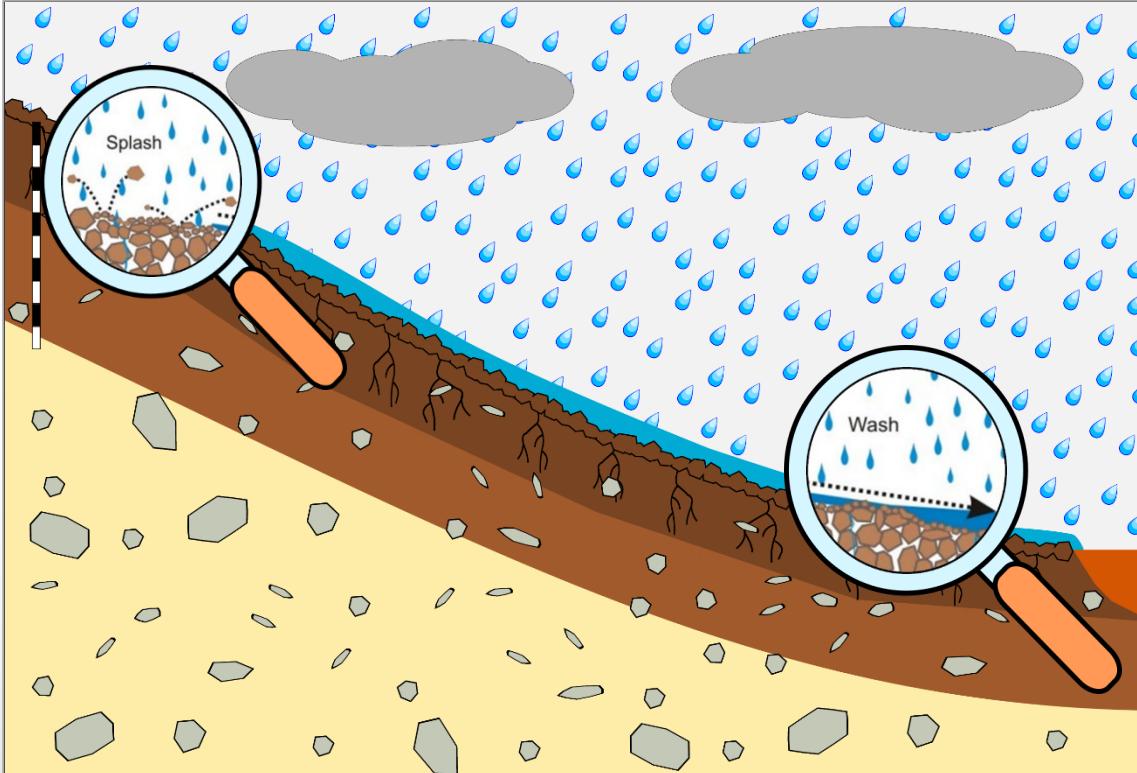
Wassererosion innerhalb Europas bedeutendster Vertreter der Bodenerosion (e.g. Wind-, Ernte-, Bearbeitungserosion)

Prognose: Zunahme der Wassererosionsgefährdung in Europa um 10 % innerhalb des kommenden Jahrzehnts



Hintergrund

Bodenerosion als Umweltproblem | Wassererosion



Folgen:

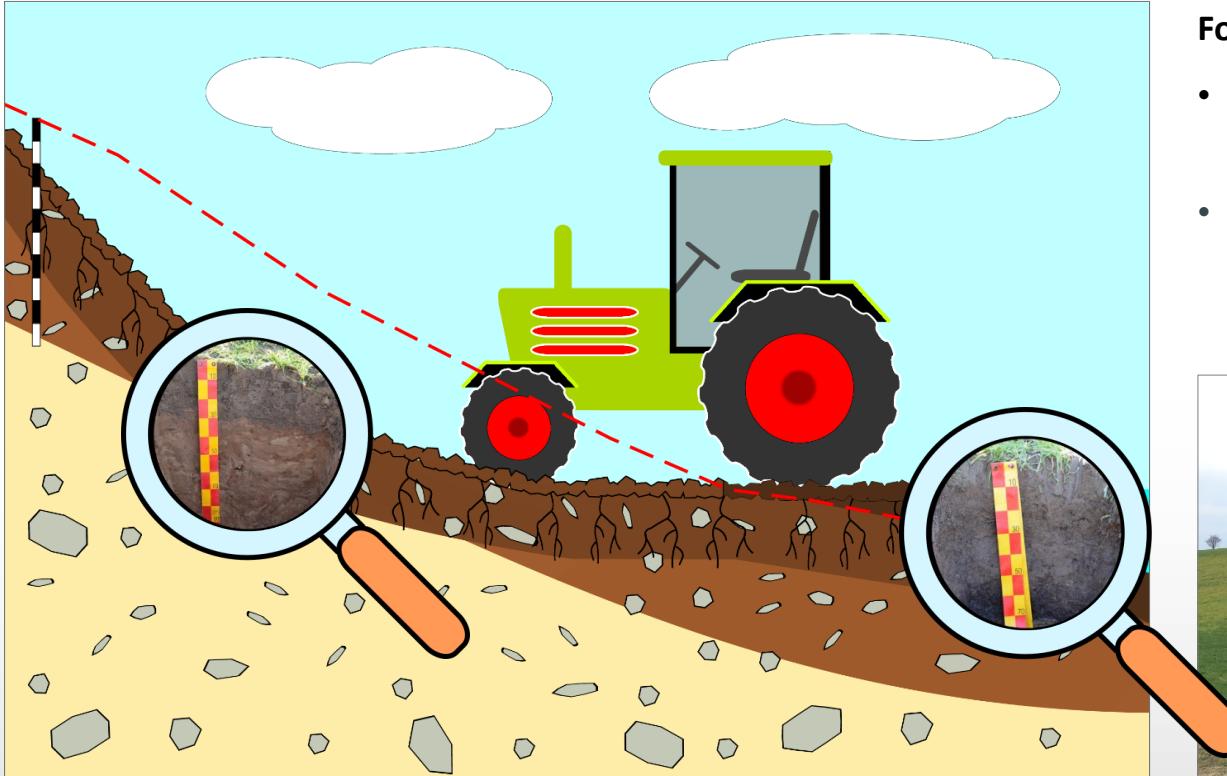
- Beeinträchtigung von Oberflächen-
gewässern



(MOSIMANN 2008)

Hintergrund

Bodenerosion als Umweltproblem | Wassererosion



Folgen:

- Beeinträchtigung von Oberflächen-
gewässern
- reduzierte Bereitstellung boden-
bezogener Ökosystemleistungen
(Boden degradation)



(SAGGAU 2017)

Hintergrund

Bodenerosion als Umweltproblem | Strategien und Politik



Bodenerosionsschutz als wichtige Maßnahme zur Erreichung der Sustainable Development Goals
Quelle: Yin et al. 2022

Bekämpfung der Wassererosion wird zunehmend Teil der internationalen umweltpolitischen Agenda



- Vereinte Nationen: Sustainable Development Goals (SDG)
- Europäische Union: z.B. Gemeinsame Agrarpolitik (GAP), Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), Soil Strategy 2030, Soil Mission for Europe, Soil Monitoring Law
- **Formulierte Ziele:**
 - Sammeln von räumlichen Informationen auf regionaler Skala
 - Umsetzung von angepassten Schutzmaßnahmen (z.B. reduzierte Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau)

Ausgangslage

Bodenerosion | Bestehende deutschlandweite Abschätzungen zu Wassererosion



- Deutschlandweite ABAG-basierte Modellierungen Wassererosion
 - potentieller Bodenabtrag** (Wurbs & Steininger 2011 (UBA); BGR 2014; Panagos et al. 2015 (EU – JRC); Saggau 2017)
 - landnutzungsabhängiger Bodenabtrag** (Wurbs & Steininger 2011 (UBA), Panagos et al. 2015 (EU – JRC); Saggau 2017; [Stoffeinträge MoRE-DE](#) 2022)
 - Klimawandelszenarien** (Wurbs & Steininger 2011 (UBA); Panagos et al. 2021 (EU – JRC))
 - Thünen:** Modellierung in GAPEval: potentieller und landnutzungsabhängiger Bodenabtrag (nur beteiligte BLs; Röder et al. 2019)

Blind-Spot:

- Adäquate Berücksichtigung der Bewirtschaftung
- Jährliche Änderungen in der Bewirtschaftung

Quelle: BGR 2014



Anforderungen

Deutschlandweite Modellierung Bodenerosion durch Wasser

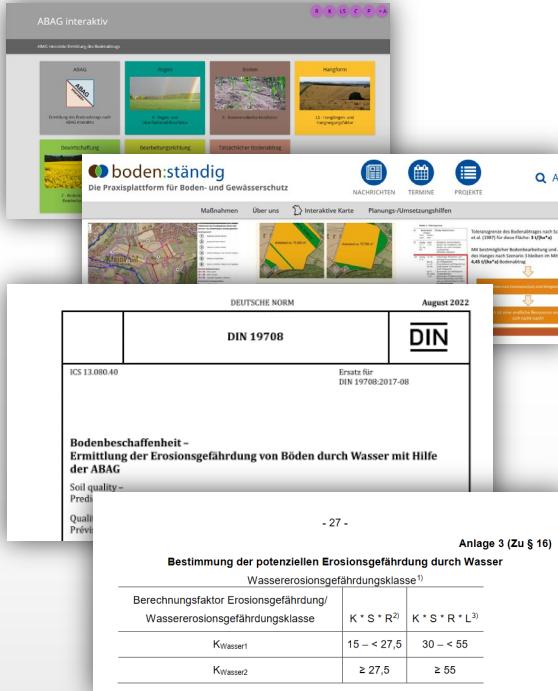


- Ausweisung **Gefährdungsbereiche** (Hot-Spots) mit national einheitlicher Methodik
 - Deutschlandweit harmonisiertes Modell für Ackerschläge
 - Räumlich hohe Auflösung
 - Abbildung der Landnutzung
 - Szenarienfähigkeit (Klima, Bewirtschaftung, Anpassung)
 - Monitoring der Gefährdungsentwicklung (jährlich)

Entwicklung eines **harmonisierten**, ABAG-basierten, sowie **szenarien-fähigem** Modellsystem für die **deutschlandweite landnutzungs-abhängige** Bodenerosionsgefährdung von **Ackerschlägen**

Modellierung der Wassererosionsgefährdung

ABAG | Allgemeine Bodenabtragsgleichung



The image shows two screenshots of agricultural management platforms. The top screenshot is 'ABAG interaktiv' from the Landwirtschaftskammer NRW, featuring a navigation bar with tabs like 'ANALYSE', 'RISIKO', 'LSP', 'CP', and 'AA'. It displays four small images: 'Erneut das Bodenabtrag nach einer Kultivierung', 'Risiko', 'Bodenabtragssimulation', and 'Tatsächlicher Bodenabtrag'. Below this is the 'boden:ständig' platform, which is a Praxisplattform für Boden- und Gewässerschutz. It includes sections for 'Nachrichten', 'Termine', 'Projekte', and 'Interactive Map'. The bottom screenshot is a page from DIN 19708, titled 'DEUTSCHE NORM DIN 19708 August 2022'. It details the 'Bestimmung der potentiellen Erosionsgefährdung durch Wasser' (Determination of potential erosion risk by water) and provides a table for calculating erosion risk based on factors K, S, R, and L.

Berechnungsfaktor Erosionsgefährdung/ Wassererosionsgefährdungsklasse ¹⁾	$K * S * R^2)$	$K * S * R * L^3)$
$K_{\text{Wasser}1}$	15 – < 27,5	30 – < 55
$K_{\text{Wasser}2}$	$\geq 27,5$	≥ 55

- Tool in der Beratung und in der Planung Umsetzung von Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen
- [ABAG interaktiv](#) – LfL, Landwirtschaftskammer NRW
- [boden:ständig](#) – Ländliche Entwicklung in Bayern
- In Deutschland als DIN 19708 umgesetzt
- Grundlage für Ausweisung von Wassererosionsgefährdeten Flächen nach Cross-Compliance- / GAP-Konditionalitäten-Verordnung

Modellierung der Wassererosionsgefährdung

ABAG | Allgemeine Bodenabtragsgleichung

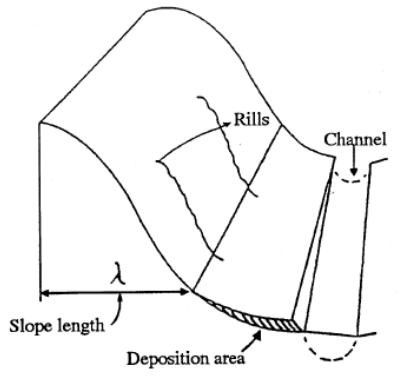


Konzept der ABAG | USLE

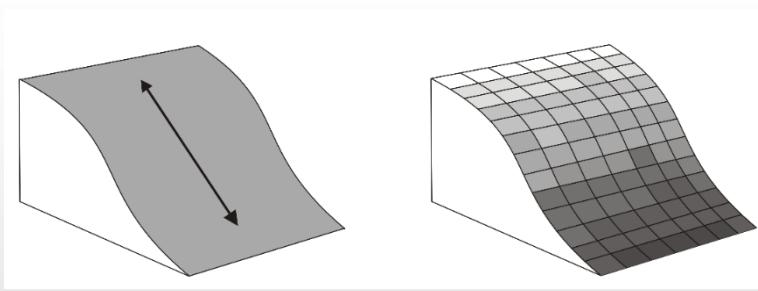
Allgemeine Bodenabtragsgleichung | (Revised) Universal Soil Loss Equation

- Empirisch begründetes Modell
- Bodenabtrags durch Starkniederschläge bzw. Oberflächenabfluss
- Modelliert Flächen- und Rillenerosion
- Langjähriger mittlerer Bodenabtrag in t / (ha · a)
- Parameter in Produktformel abgebildet

Renard et al. (1997)



- Ursprünglich Modell für *eindimensionale* Hänge
- Weiterentwicklungen: flächenhafte Berechnung



Grundlage der ABAG | USLE

Entwicklung in den USA | Übertragung auf bayerische Verhältnisse

USLE (WISCHMEIER & SMITH 1965, 1978)

- Plotmessungen in den USA (> 10.000 Plotjahre bis 1978)
- Bezug aller Messungen auf den *USLE-Einheitshang* (*Unit Plot*: 72,6 Fuß lang (ca. 22 m), 9 % geneigt, Schwarzbrache, in Hangneigungsrichtung gepflügt)
- Ableitung 6 Faktoren ⇒ hinreichend genaue Bestimmung der Abträge

RUSLE (Revised USLE (RENARD ET AL. 1997):

- Weiterentwicklung; physikalische Begründung von Modellteilen

ABAG (SCHWERTMANN ET AL. 1990):

- Übertragung der USLE auf bayerische Verhältnisse
- ca. 1000 Parzellenberechnungen und 500 Parzellenmessjahren
- Aktuell: DIN 19708:2022 – basiert auf Schwertmann et al. (1990) übernimmt Teile der RUSLE und Weiterentwicklung im R-Faktor

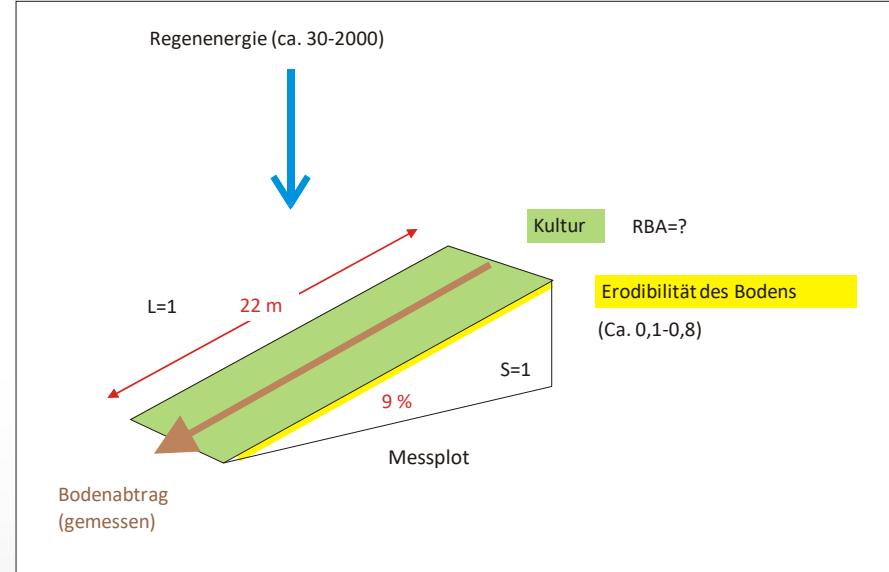
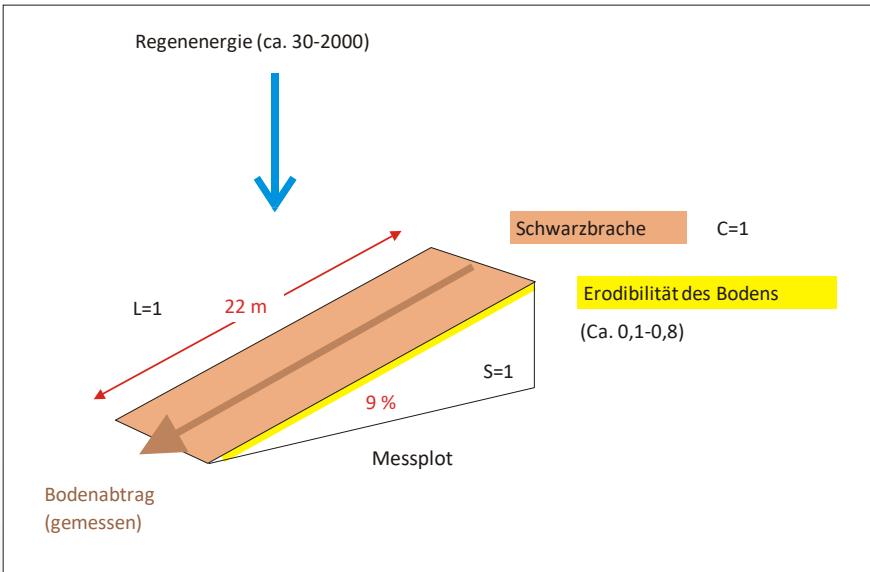


Wischmeier-Plots in Gansu, China



Grundlagen der ABAG | USLE

Ableitung Faktoren der ABAG | (R)USLE



Ermittlung der Bedeutung der einzelnen Erosionsfaktoren aus Feldversuchen auf Standardparzellen auf Grund empirisch-statistischer Zusammenhänge

Mosimann 2012

Grundlagen der ABAG | USLE

Entwicklung der Universal Soil Loss Equation (USLE)



Erosions-Testflächen in Missouri (1950er Jahre)



Regensimulator (1960er Jahre)

USDA 2009

Modellierung der Wassererosionsgefährdung

ABAG | Allgemeine Bodenabtragsgleichung



Modellierung der Wassererosionsgefährdung

ABAG | Allgemeine Bodenabtragsgleichung

A

Bodenabtrag
[t / (ha · a)]

Umsetzung für deutschlandweite Modellierung

- Bezugszeitraum
- Methodik für alle Faktoren
- Datengrundlage

Niederschlagsmenge
Niederschlags-
intensität

Hanglänge
Hangneigung

Bodenart
Humusgehalt
Aggregatstabilität

Fruchtfolge
Bodenbedeckung
Bodenbearbeitung

Schutzmaß-
nahmen
Querbearbeitung

Modellierung der Wassererosionsgefährdung

Jährliche Fortschreibbarkeit | statische und veränderliche Faktoren

2017 > 2018 > 2019 > 2020 > 2021 > 2022 > 2023

Bezugszeitraum | Zentraljahr

2017 > 2018 > **2019** > 2020 > 2021

Bezugszeitraum | Zentraljahr

> 2018 > 2019 > **2020** > 2021 > 2022

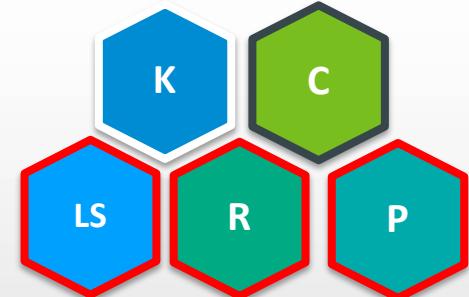
Bezugszeitraum | Zentraljahr

2019 > 2020 > **2021** > 2022 > 2023

Anforderung Fortschreibbarkeit

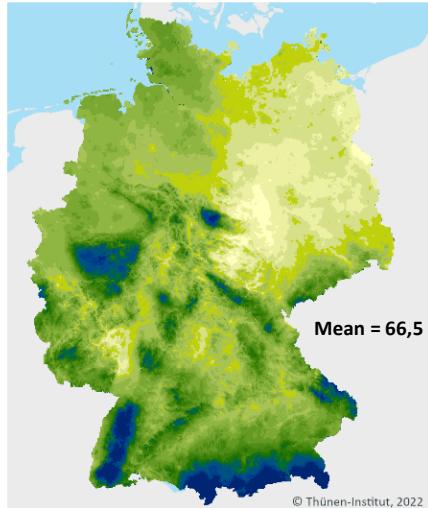
- Abbildung von Fruchtfolgen bzw. Fruchtsequenzen
- Aussagen über mittleren Abtrag für definierten Zeitraum

⇒ Fünfjahreszeitraum



Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

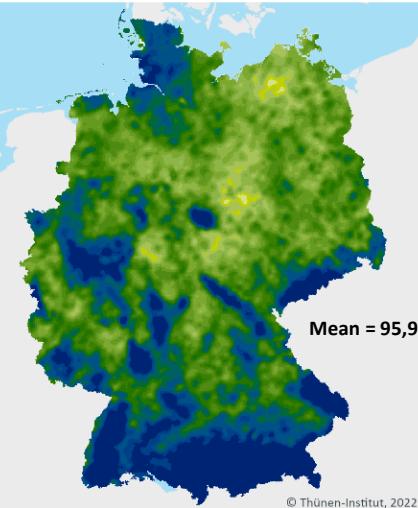
R-Faktor | Erosivität der Niederschläge



R-Faktor Periode 1961 - 1990

[N / (h · a)] Abgeleitet aus mittleren Jahresniederschlägen

<40	45 - <50	55 - <60	65 - <70
40 - <45	50 - <55	60 - <65	70 - <75



R-Faktor Periode 2001 - 2017

[N / (h · a)] Berechnet aus stündlichen Radarniederschlagsdaten

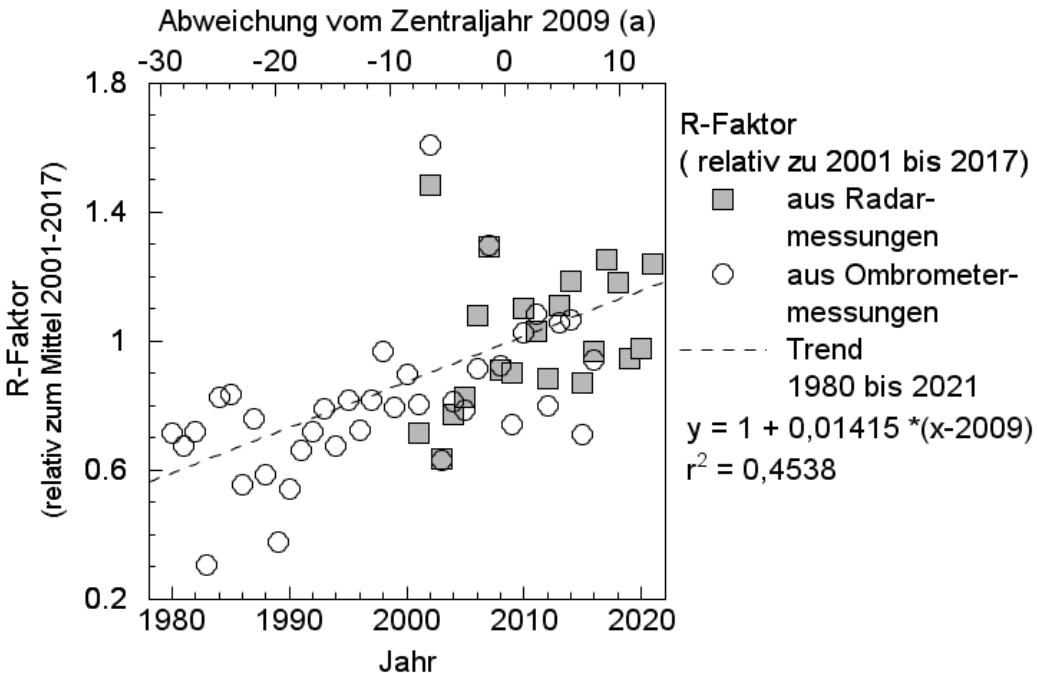
75 - <80	85 - <90	95 - <100	110 - <120
80 - <85	90 - <95	100 - <110	≥ 120

Quellenangaben: BGR (2016); Fischer et al. (2019) (DWD)

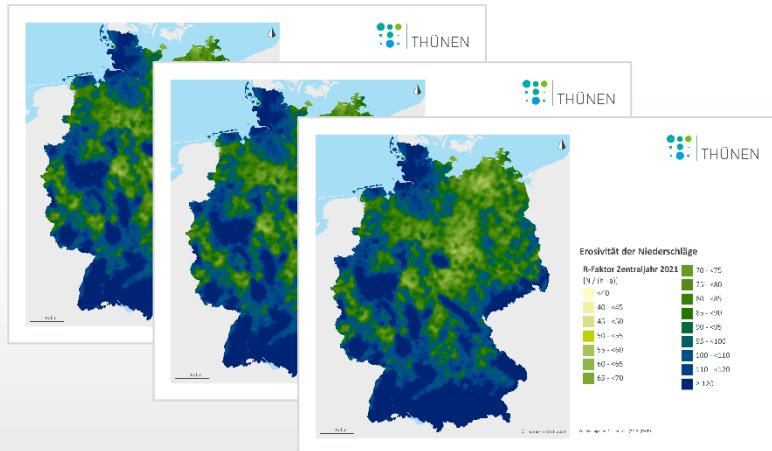
- Erosivität der Niederschläge um 44 % gestiegen durch:
 - Klimatische Veränderung
 - Update Methodik
 - Veränderte Datengrundlage
- Berechnung aus raum-zeitlich hoch aufgelösten Radarniederschlags- statt Regenmesserdaten
- DIN 19708:2022 empfiehlt vom DWD bereitgestellten [R-Faktor-Karten \(RADKLIM\)](#)

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

R-Faktor | Erosivität der Niederschläge

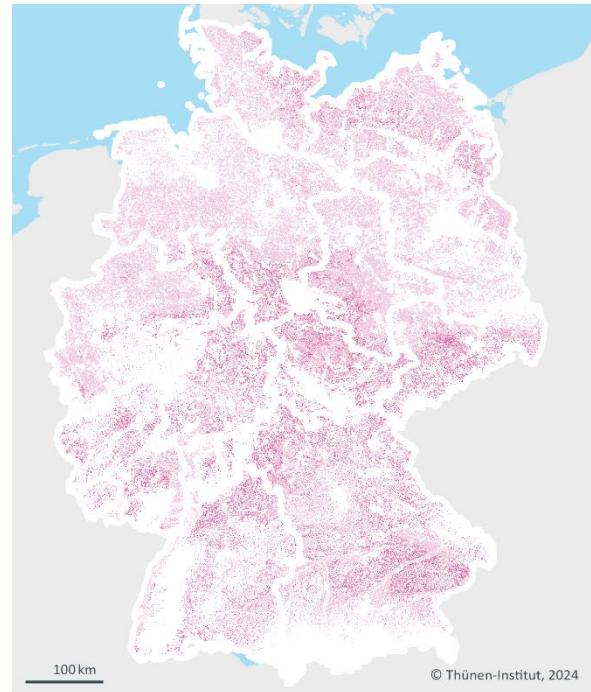


- R-Faktor 2001 bis 2017 an Zentraljahr anpassen
- Berechnung mit linearer Regression
- ⇒ R-Faktorkarten für Zentraljahre 2019 | 2020 | 2021



Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

LS-Faktor | Hanglänge und Hangneigung



ABAG LS-Faktor | Zentraljahr 2019
Ackerland nach ATKIS-Basis-DLM

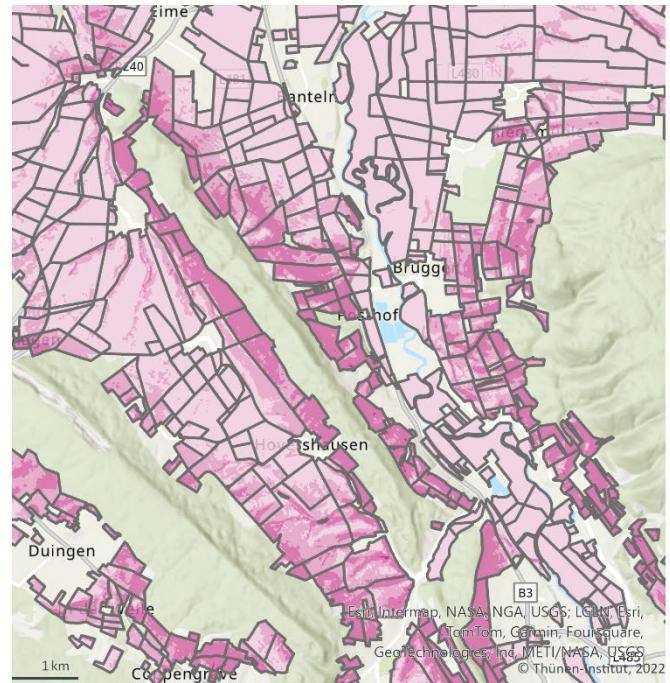
- <0.5
- 0.5 - <1.0
- 1.0 - <5.0
- 5.0 - <15.0
- ≥ 15.0

Quellenangaben: DGM10 und Basis-DLM © GeoBasis-DE / BKG (2017)
Methodik: Berechnung nach Desmet & Govers (1996) in SAGA-GIS für ATKIS-Feldblöcke.

- Abgeleitet aus Höheninformationen (DGM)
- Unterbrechung von Fließwegen relevant
- Umsetzung
 - ATKIS-Feldblöcke als Fließeinheiten
 - DGM10 zur Beschreibung der Topographie
- Berechnung in SAGA-GIS
- Berechnung für Zentraljahre 2019 | 2020 | 2021

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

LS-Faktor | Hanglänge und Hangneigung



ABAG LS-Faktor
Ackerland nach ATKIS-Basis-DLM

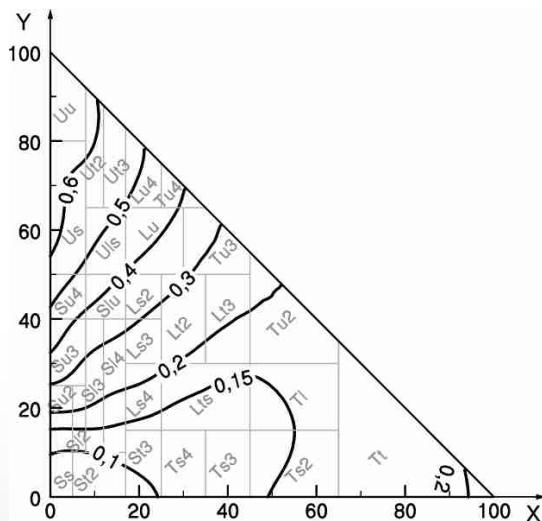
- <0.5
- 0.5 - <1.0
- 1.0 - <5.0
- 5.0 - <15.0
- ≥15.0

Quellenangaben: DGM10 und Basis-DLM © GeoBasis-DE / BKG (2017)
Methodik: Berechnung nach Desmet & Govers (1996) in SAGA-GIS für ATKIS-Feldblöcke.

- Abgeleitet aus Höheninformationen (DGM)
- Unterbrechung von Fließwegen relevant
- Umsetzung
 - ATKIS-Feldblöcke als Fließeinheiten
 - DGM10 zur Beschreibung der Topographie
- Berechnung in SAGA-GIS
- Berechnung für Zentraljahre 2019 | 2020 | 2021

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

K-Faktor | Erodibilität des Oberbodens



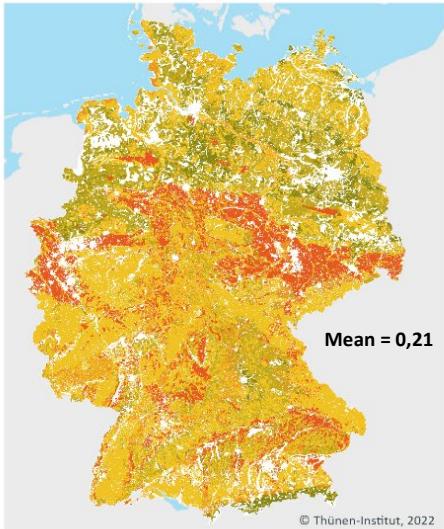
Isolinien des K-Faktors ($t \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot N^{-1}$) im Körnungsdreieck; hinterlegt ist die Einteilung der Bodenarten nach KA5 (DIN 19708:2022)

K-Faktor: Bodenerodierbarkeit (Erodibilität) durch Wasser ($t \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot N^{-1}$)

- Exakte Berechnung (Einzelproben) erfordert Angaben zu
 - **Textur** mit Abtrennung von Feinstsand (0,063 bis 0,1 mm; Abweichung von KA5, in DIN 4220 nicht vorgesehen)
 - organische Substanz
 - Steingehalt
 - Aggregierungsklasse, Permeabilitätsklasse
- Üblich bei Verwendung von Bodenkarten:
 - Standardwerte je Bodenart
 - Bodenschätzung, Bodenkarten der Länder, Bodenübersichtskarten (Länder, BGR in versch. Maßstäben)

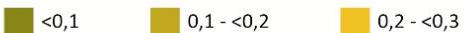
Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

K-Faktor | Erodibilität des Oberbodens | Bodenübersichtskarten

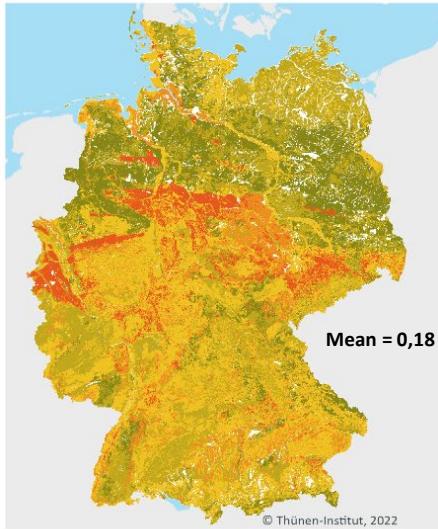


K-Faktor BUEK1000

Erodierbarkeit der Böden durch Wasser in Deutschland nach DIN 19708:2005 auf Grundlage der BUEK1000



Quellenangaben: BUEK1000: KFaktor1000_250_v11 © Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) | BUEK200 © Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

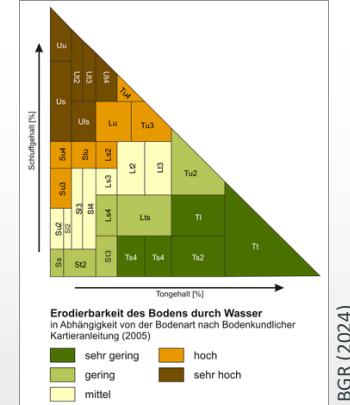


K-Faktor BUEK200

Erodierbarkeit der Böden durch Wasser in Deutschland nach DIN 19708:2022 auf Grundlage der BUEK200



- Verwendung von Bodenkarten im größeren Maßstab (BÜK1000 zu BÜK200)
- Methodik nach DIN 19708:2022



Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

K-Faktor | Erodibilität des Oberbodens | Digital Soil Mapping + Remote Sensing Data

Soil Reflectance Composites

- Satellite time series data
(Landsat 30 m)
- Automatic bare soil detection using FORCE and spectral indices
(NDVI and NBR2)
- Pixel-wise spectral averaging
(2011 – 2023)



Tom Broeg

Thuenen-Institute of Farm Economics
Thuenen Earth Observation (ThEO)
tom.broeg@thuenen.de



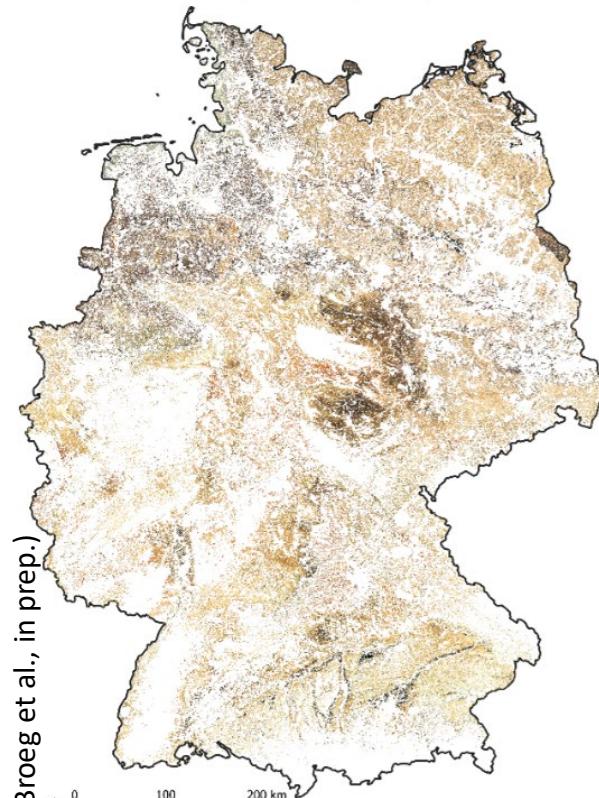
(Broeg et al., in prep.)



0

100

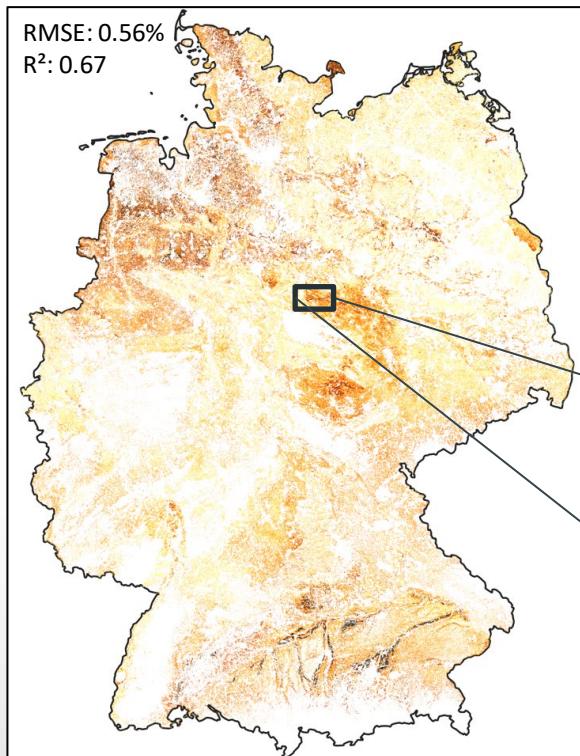
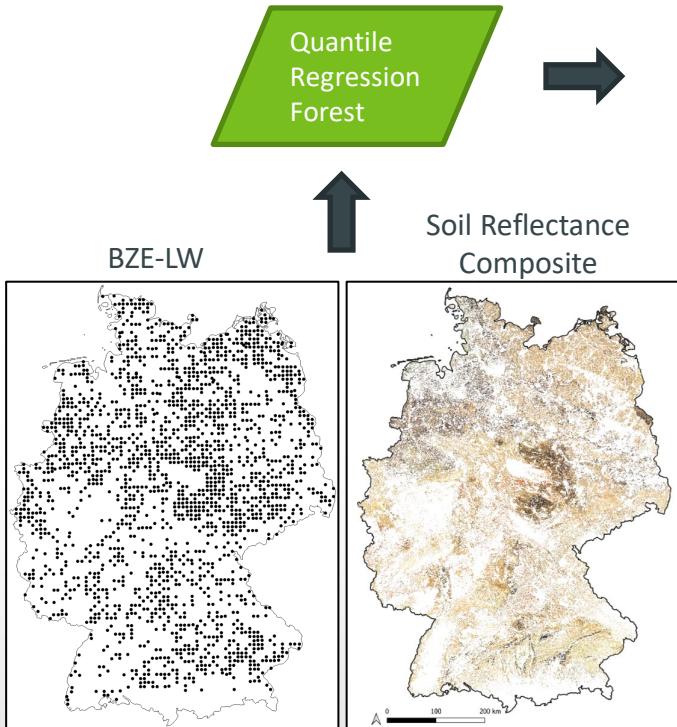
200 km



Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

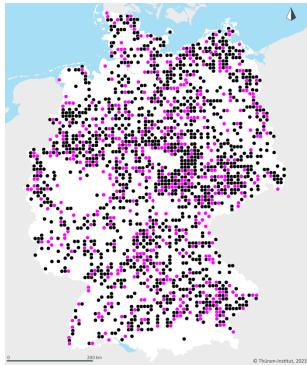
K-Faktor | Erodibilität des Oberbodens | Digital Soil Mapping + Remote Sensing Data

Digital Soil Mapping



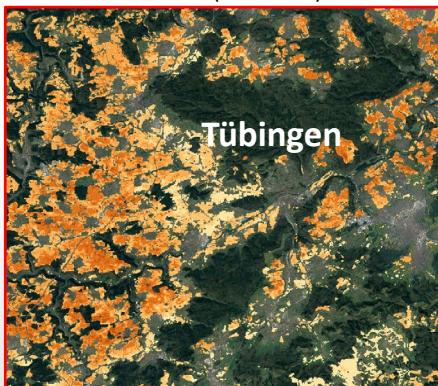
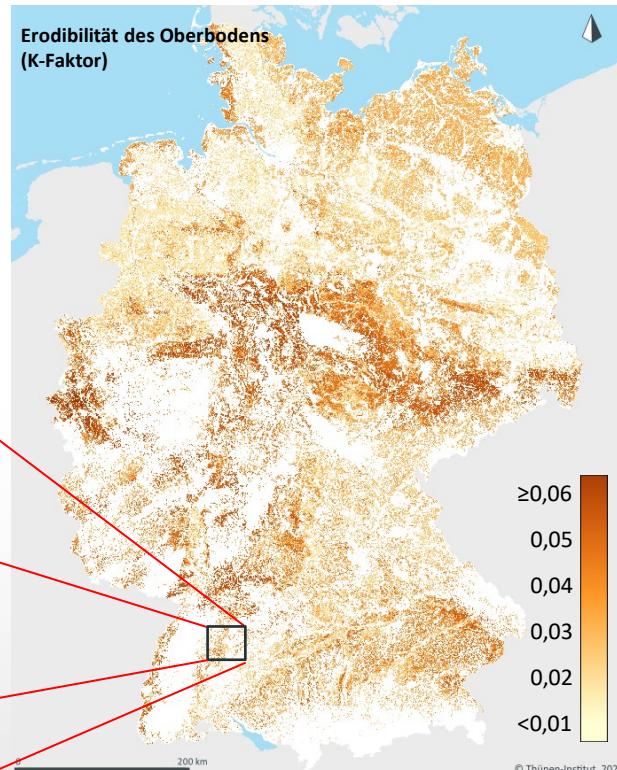
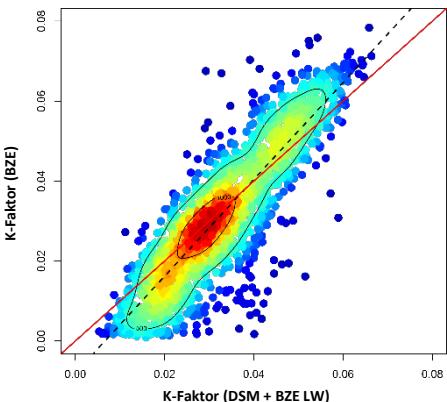
Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

K-Faktor | Erodibilität des Oberbodens | Digital Soil Mapping + Remote Sensing Data



BZE-LW

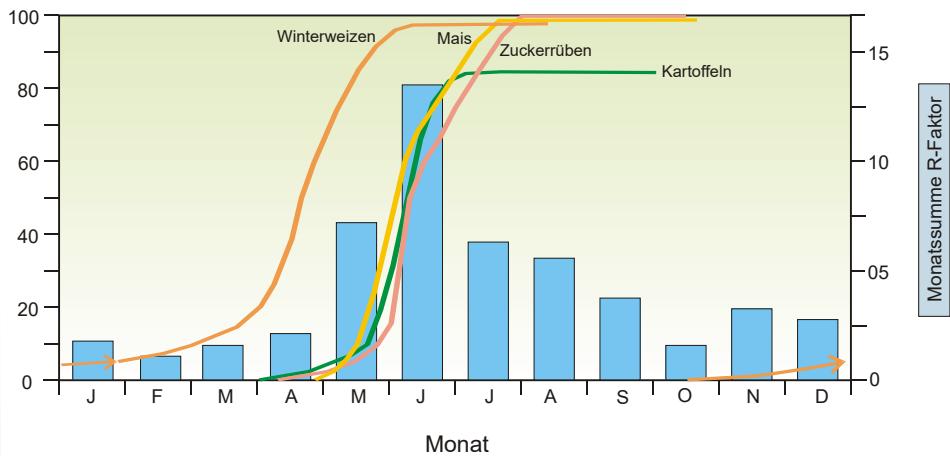
- Trainingsdaten (70%)
- Testdaten (30%)



Data	BÜK 200	BÜK 1000	LUCAS	LUCAS (incl. RF)	BZE-LW (DSM)
R ²	0.41	0.31	0.41	0.42	0.64
RMSE	0.014	0.015	0.014	0.014	0.009
MAE	0.011	0.012	0.011	0.011	0.006
Bias	0.000	-0.004	-0.004	-0.002	-0.000
RPD	41.8	42.8	41.4	40.5	26.8

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

C-Faktor | Bewirtschaftungsfaktor



Bewirtschaftungsfaktor

- Einfluss der angebauten Ackerkulturen und Bearbeitungsmethoden einer **Fruchtfolge** auf den Bodenabtrag
- Überlagerung interannuelle Bodenbedeckung und Erosivität der Niederschläge
- Reduziert *natürlichen Bodenabtrag* (Annahme Schwarzbrache)
 - Dimensionslose Skalierung
 - Übliche Werte: 0.05 bis 0.35

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

C-Faktor | Exakte Berechnung auf Grundlage der Fruchtfolge

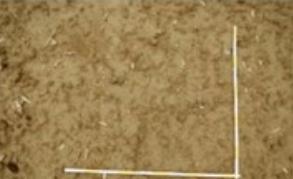


- 1 • Ermittlung der Fruchtfolgeglieder bzw. der angebauten Kulturen des Betrachtungszeitraumes
- 2 • Bestimmung der Kulturperioden
- 3a • Zuordnung der Relativen Bodenabträge (RBA-Werte [%])
- 3b • Zuordnung der R-Faktoranteile (RRA-Werte [%])
- 4 • C-Faktoranteile aller Kulturperioden der Fruchtfolge
- 5 • Aufsummierung der C-Faktoranteile
- 6 • Division durch Anzahl der Jahre der Fruchtfolge bzw. des Betrachtungszeitraumes
- 7 • C-Faktor der Fruchtfolge bzw. des Betrachtungszeitraumes

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

Exakte Berechnung auf Grundlage der Fruchtfolge | Beispiel Winterweizen



Kulturperiode	Vegetationsbedeckung	Relativer Bodenabtrag [%]	Kulturperiode	Vegetationsbedeckung	Relativer Bodenabtrag [%]
KP 1 Bodenbearbeitung bis Saatbett 11.10. - 15.10.		32	KP 4 50% bis 75 % Bodenbedeckung 20.04. - 10.05.		3
KP 2 Saatbett bis 10 % Bodenbedeckung 15.10. - 01.03.		46	KP 5 75 % Bodenbedeckung bis Ernte 10.05. - 10.08.		1
KP 3 10 % bis 50 % Bodenbedeckung 01.03. - 20.04.		38	KP 6 Ernte bis Bodenbearbeitung 10.08. - Beginn der Folgefрут		2

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

Methodik *Summable C-Factors* (Auerswald et al. 2021)



Soil & Tillage Research 213 (2021) 105155
Contents lists available at ScienceDirect
Soil & Tillage Research
journal homepage: www.elsevier.com/locate/starr

Summable C factors for contemporary soil use
Karl Auerswald ^{a,b,*}, Florian Ebertseder ^b, Karin Levin ^b, Ye Levin ^c, Volker Prasuhn ^d,
Nils Ole Plambeck ^{a,d}, Annette Menzel ^e, Max Kainz ^f

^a Technical University of Munich, Aquatic Systems Biology Unit, TUM School of Life Sciences, Mühldorf 22, Freising, 85354, Germany
^b Technical University of Munich, Institute for Soil Science, Mühldorf 22, Freising, 85354, Germany
^c Federal University of Münster, Biometeorology, TUM School of Life Sciences, Herrenzimmerring 192, Düsseldorf, 40464, Germany
^d Agricultural Water Protection and Irrigation Research Institute, Herrenzimmerring 192, Düsseldorf, 40464, Germany
^e Federal Office for Agriculture and Food (BLE), Institute for Soil Science, Herrenzimmerring 192, Düsseldorf, 40464, Germany
^f German Environment Agency (UBA), William-Pieck-Strasse 10, 14513 Berlin, Germany
^{*} Corresponding author at: Technical University of Munich, Aquatic Systems Biology Unit, TUM School of Life Sciences, Mühldorf 22, Freising, 85354, Germany.
E-mail address: auerswald@biow.tum.de (K. Auerswald).

ARTICLE INFO

Keywords:
Crop rotation
Crop establishment
Erosion modeling
Soil erosion
Small grain
Climate change

ABSTRACT

Crop cultivation, crop stage and the seasonal distribution of rainfall intensity are continuously changing in response to changes in climate and socio-economic conditions. Therefore, the crop and cover factor (C factor) of the (Rotated) Universal Soil Loss Equation could also be adjusted continuously. Within the framework of the (R) U.S.L.E., the C factor is derived from the relationship between the risk of soil erosion and the risk of crop damage and erosion on arable land and integral stability schemes for the implementation of soil protection measures. C factors are required that quantify the effect of individual crops and management options on the risk of soil erosion and crop damage. In addition, the C factor must be able to predict the risk of soil erosion for all possible C factors for crop rotations. These summable C factors also account for carry-over effects that influence the risk of soil erosion and crop damage for the next year. Using data from the German Crop Rotation Survey (GCRS) and approximately 3.5 million observations of crop stages, summable C factors were derived for 37 crops and crop management options, including double cropping, which is currently becoming more prevalent in temperate zones. The results show that the C factor for winter wheat was slightly higher than for spring wheat, while the C factor for maize was small and comparable with Swiss data indicated that our summable C factors will also apply in neighboring countries. The results also show that the C factor for maize was slightly higher than for winter wheat due to development that climate change caused some convergence of the summable C factors for different crops, i.e. the C factors for crops where the risk of soil erosion potential had previously been low increased, while for those crops where the risk of soil erosion potential had previously been high decreased. The C factor for maize was still held by far the highest summable C factor, whereas no-tilling crops had again a summable C factor, leading to low C factors for crop rotations. The C factor seems to be largely responsible for the long-term acceleration found in many regions. Farm and field boundaries, where no-tilling occurred for a large share of arable land,

1. Introduction
Soil use is always strongly influenced by local environmental conditions, such as soil properties and the local climate, and by socio-economic constraints including political directives. The remaining decision space is thus used by farmers according to their personal preferences and contexts. All these constraints to soil use, namely climate, soil properties, and economic factors, are changing rapidly. Climate change is particularly rapid, especially in Germany, where the climate has changed extremely quickly compared to the pace of change in previous centuries or millennia. For example, in the climate changes other crops had

and cropping options become feasible. Soyabeans, which were not cultivated at all in Germany only 20 years ago, were ranked 13 in the list of the most important crops in 2019 (Bontje, 2020) (for scientific names of all crops see Table 1 and Fig. 1). Crop-rotation techniques have been used to combat climate change and to support agricultural development (Dose and Menzel, 2006; Menzel et al., 2009) that make it necessary to adjust the timing of agricultural operations such as sowing and harvesting, though the time lag of climate change seems to be delayed (Menzel et al., 2006; Iribarne et al., 2007). The model most often used to predict the long-term annual mean of

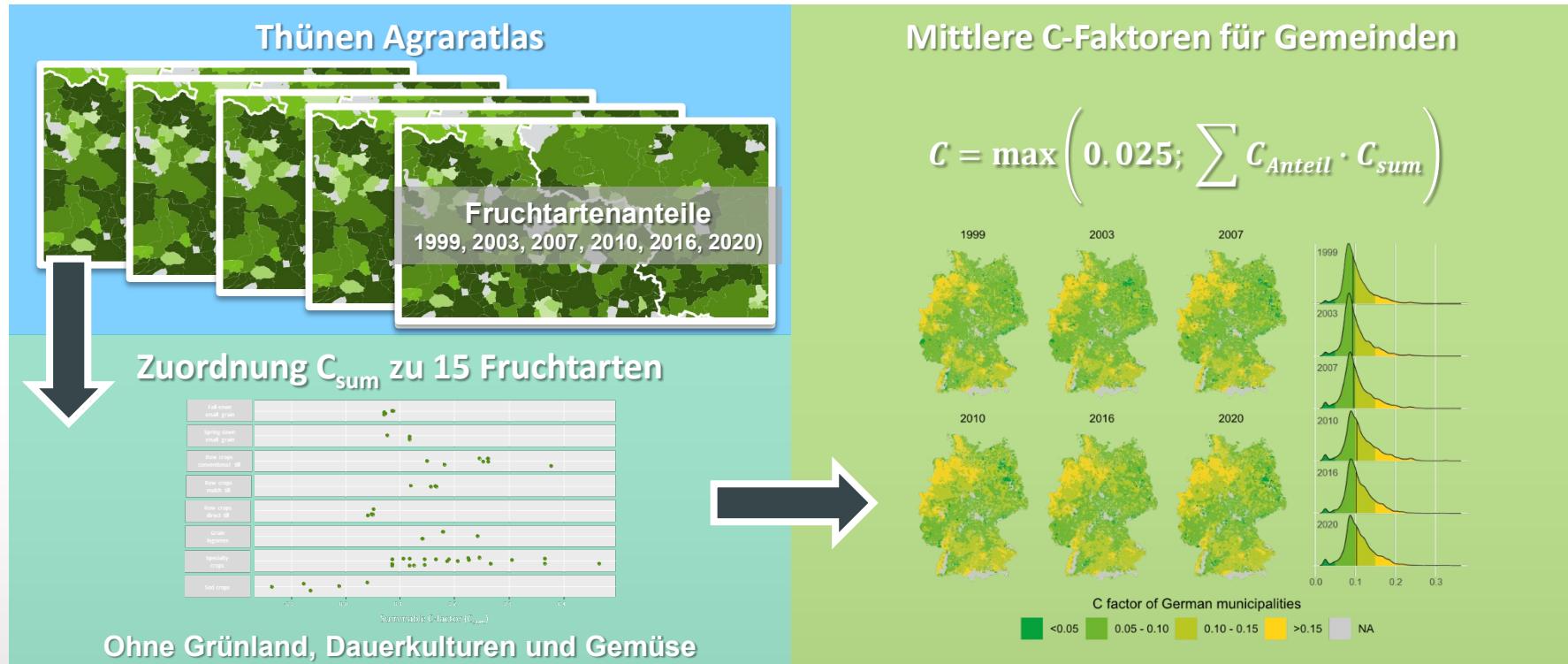
* Corresponding author at: Technical University of Munich, Aquatic Systems Biology Unit, TUM School of Life Sciences, Mühldorf 22, Freising, 85354, Germany.
E-mail address: auerswald@biow.tum.de (K. Auerswald).

<https://doi.org/10.1016/j.starr.2021.105155>
Received 14 April 2021; Received in revised form 1 July 2021; Accepted 16 July 2021
Availability and usage: © 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.
0167-1987/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

- Grundlage: Statistische Auswertung von Fruchtfolgen
- Ableitung *summierbarer* Jahres-C-Faktoren je Kultur ($\gamma \mid \text{Gamma}$) nach Auerswald et al. (2021)
- Gültig für Deutschland und aktuelle klimatische Bedingungen (~2017)
- Anwendbar für konkrete Fruchtfolgen und Fruchtartenverteilungen von Gebietseinheiten (Agrarstatistikdaten)
- Unterscheidung in konventionellen Anbau, Mulchsaat und Direktsaat bei Reihenkulturen möglich

C-Faktor auf der Grundlage der Agrarstatistik

Mittlere C-Faktoren je Gemeinde ab 1999



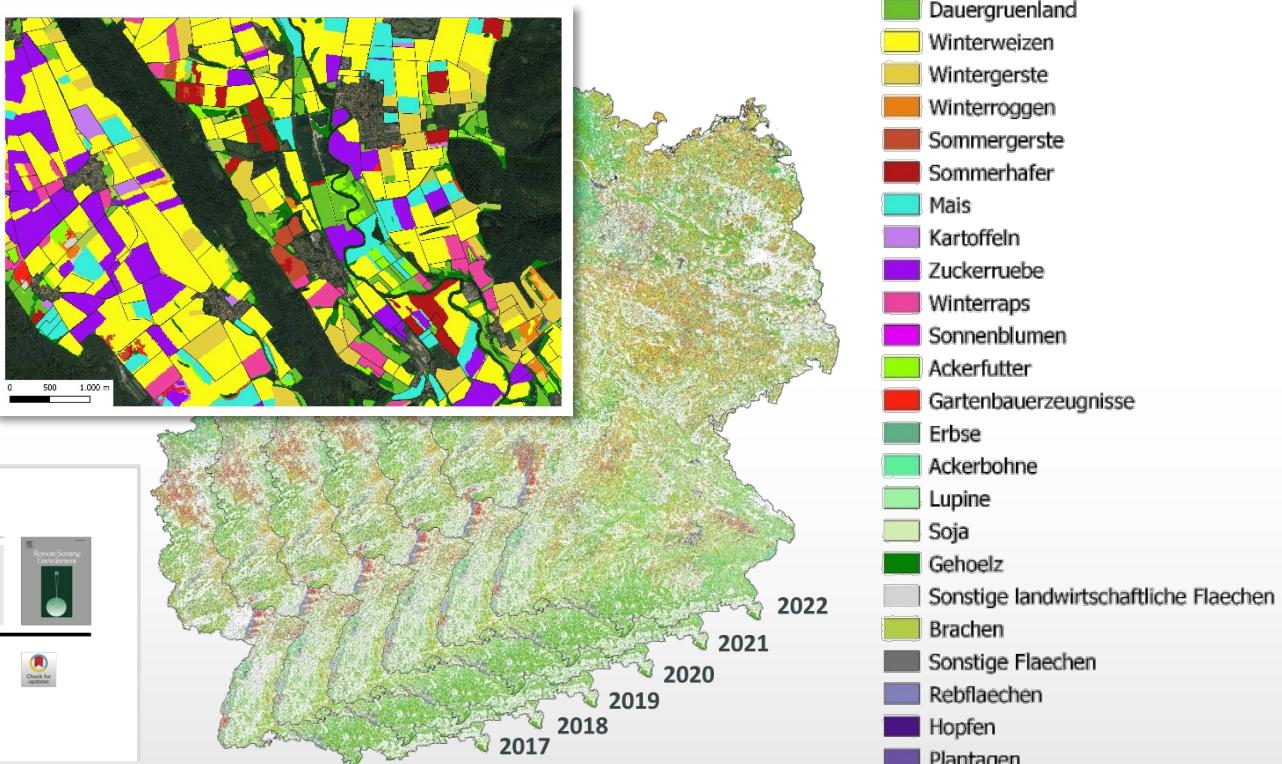
Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

C-Faktor | Bewirtschaftungsfaktor | Ableitung aus Fruchtartenkarten | Daten



Nationale jährliche Karten
der Hauptfruchtarten

- Abgeleitet aus Sentinel- und Landsat- Daten
- Zeitnah verfügbar
- Hohe Übereinstimmung mit Agrarstatistik



Remote Sensing of Environment 269 (2022) 112831

Contents lists available at ScienceDirect



Remote Sensing of Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rse



Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany

Lukas Blickendorfer^{a,b,*}, Marcel Schwieder^{b,c}, Dirk Pflugmacher^b, Claas Nendel^{d,e,f,g},
Stefan Erasmi^e, Patrick Hostert^{b,f}

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

C-Faktor | Bewirtschaftungsfaktor | Ableitung aus Fruchtartenkarten | Methode

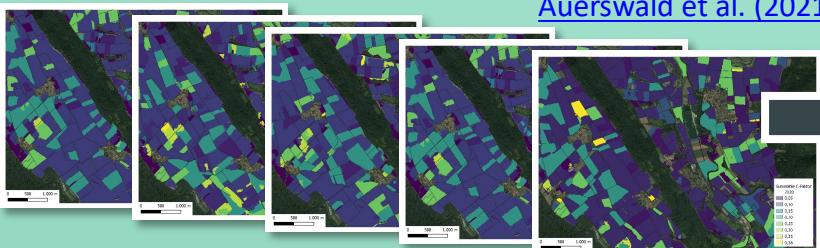
Fruchtarten 2017 - 2021



[Schwieder et al. \(2024\)](#)

Ableitung C-Faktor(anteil) je Anbaujahr

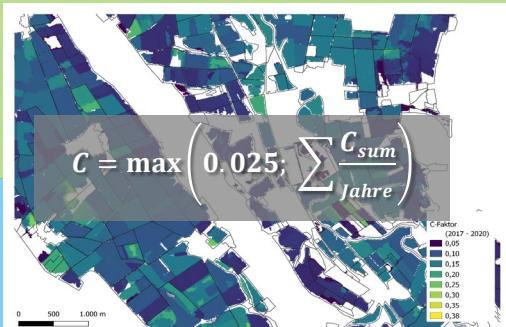
[Auerswald et al. \(2021\)](#)



Bodenbearbeitung gewichtet berücksichtigt (Bundesländer)

C-Faktor-Karte 2017 - 2021

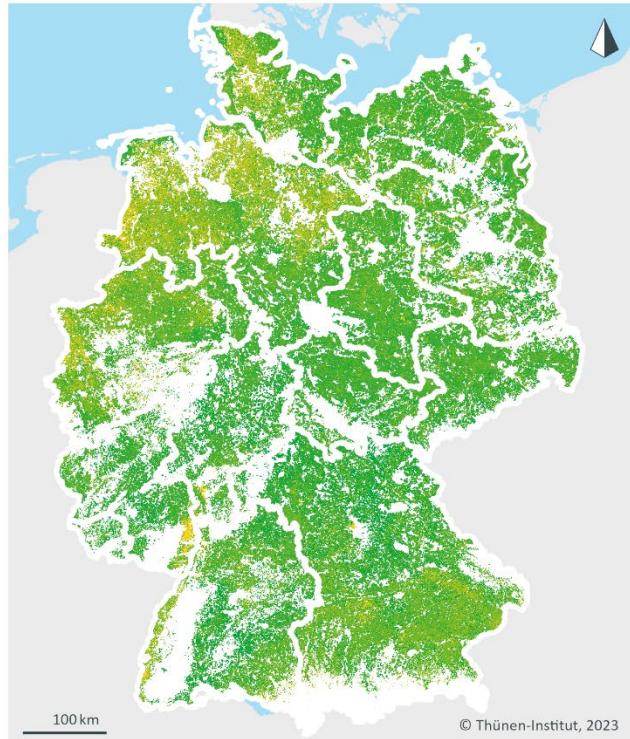
$C_{2017-2021}$ | 10 x 10 m Auflösung



Deutschlandweite C-Faktoren
auf dem ATKIS Feld-Block - Level

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

C-Faktor | Bewirtschaftungsfaktor | Ableitung aus Fruchtartenkarten | Ergebnisse



C-Faktor (2017 - 2021) Ackerkulturen | Bodenbearbeitung

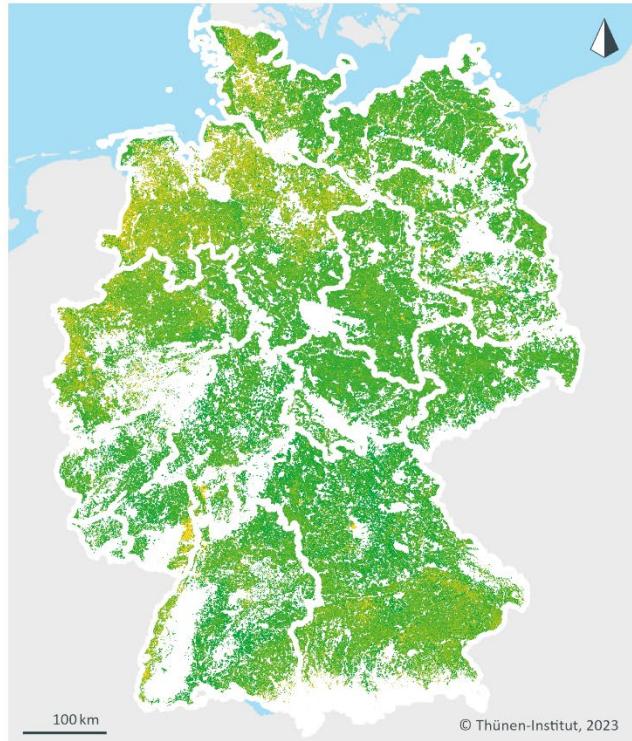
- [...]
 - 0.025 - 0.05
 - 0.05 - 0.10
 - 0.10 - 0.15
 - 0.15 - 0.20
 - 0.20 - 0.25
 - > 0.25

Ø Deutschland: 0,119

Quellenangaben:
Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG
National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

C-Faktor | Bewirtschaftungsfaktor | Ableitung aus Fruchtartenkarten | Ergebnisse



C-Faktor (2018 - 2022) Ackerkulturen | Bodenbearbeitung

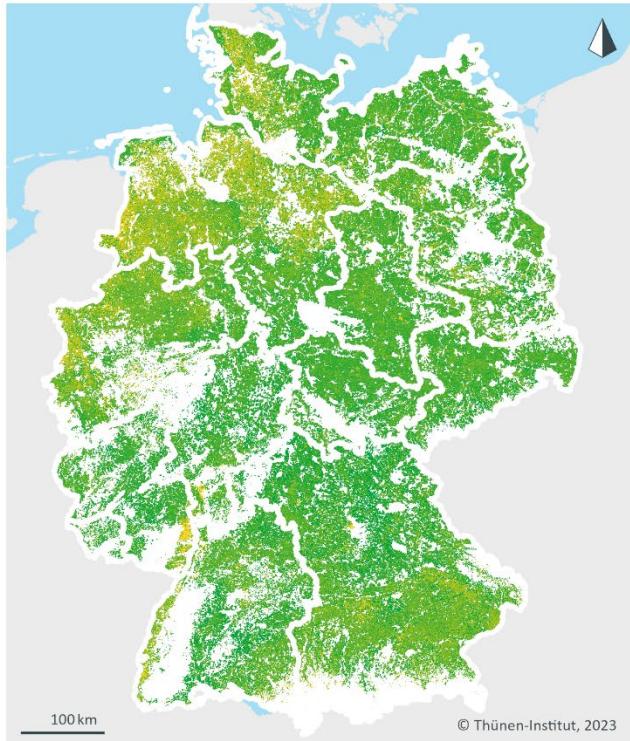
- [...]
 - 0.025 - 0.05
 - 0.05 - 0.10
 - 0.10 - 0.15
 - 0.15 - 0.20
 - 0.20 - 0.25
 - > 0.25

Ø Deutschland: 0,119

Quellenangaben:
Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG
National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

C-Faktor | Bewirtschaftungsfaktor | Ableitung aus Fruchtartenkarten | Ergebnisse



C-Faktor (2019 - 2023) Ackerkulturen | Bodenbearbeitung

[•]

- 0.025 - 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- 0.15 - 0.20
- 0.20 - 0.25
- > 0.25

Ø Deutschland: 0,119

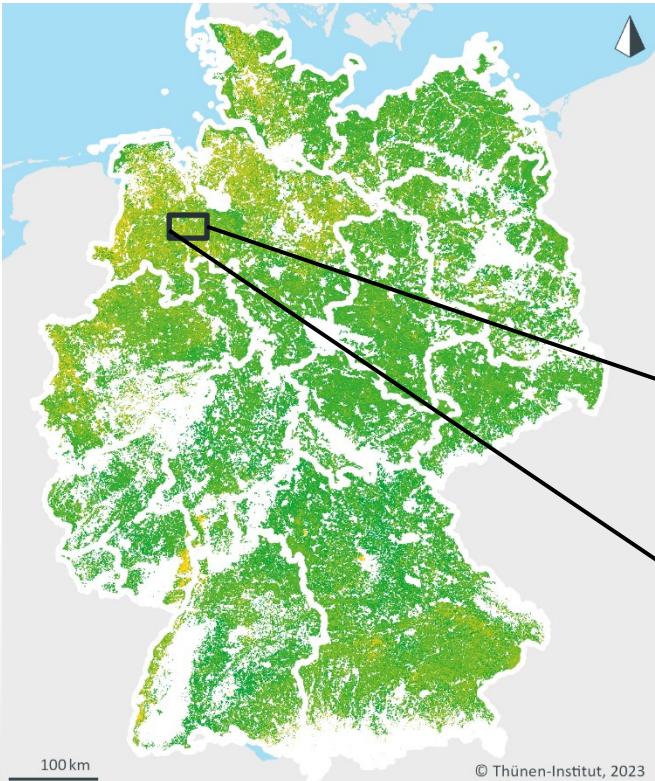
Quellenangaben:

Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG

National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

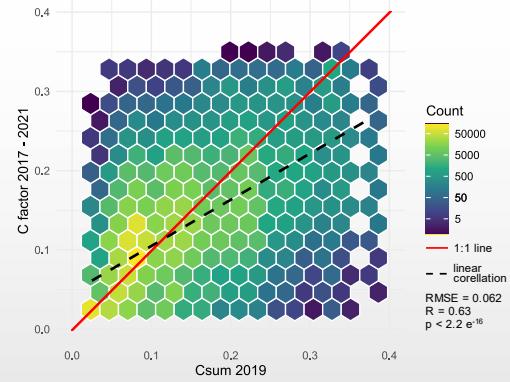
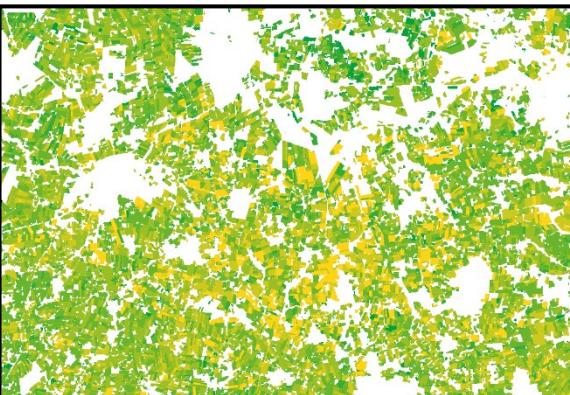
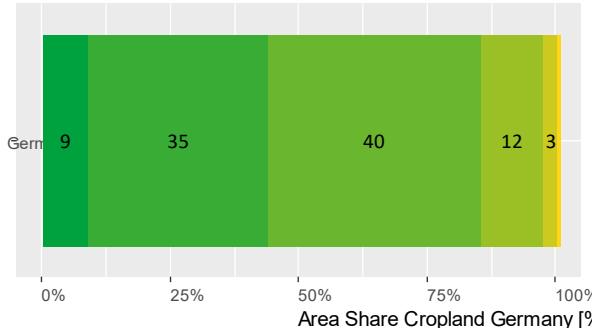
Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

C-Faktor | Bewirtschaftungsfaktor | Ableitung aus Fruchtartenkarten | Ergebnisse



C Faktor [-]

- 0.025 - 0.05 hoher Schutz
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- 0.15 - 0.20
- 0.20 - 0.25
- > 0.25 geringer Schutz



Statische und veränderliche Faktoren der ABAG

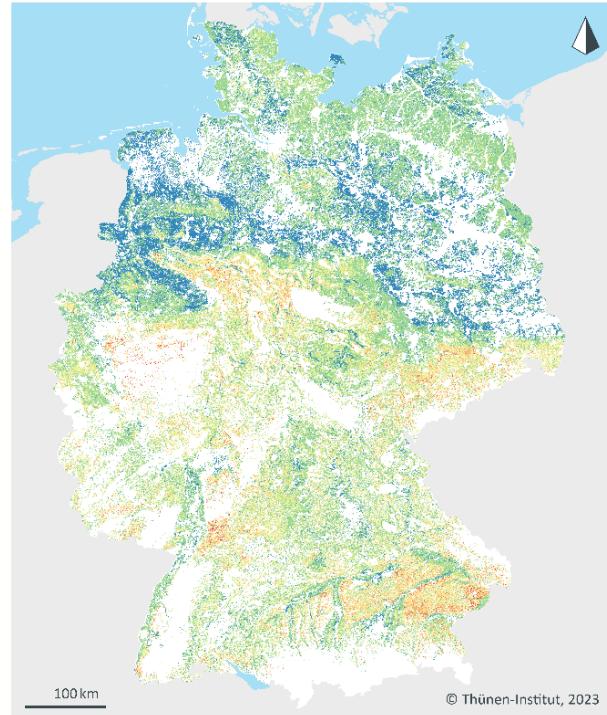
P-Faktor | Schutzmaßnahmen

Bisher statisch: 0.9

Geplant: Berücksichtigung der Hanglänge und Bewirtschaftungsrichtung

Aktuelle Erosionsgefährdung

2017 bis 2021



Aktuelle Erosionsgefährdung (2017 - 2021) ABAG | Ackerfläche | Fruchtfolgeabhängig

Langjähriger mittlerer Bodenabtrag

[t / (ha · a)]

- keine bis sehr geringe Erosionsgefährdung (<0,2)
- sehr geringe Erosionsgefährdung (0,2 bis 1,0)
- geringe Erosionsgefährdung (1,0 bis <2,0)
- mittlere Erosionsgefährdung (2,0 bis <3,0)
- hohe Erosionsgefährdung (3,0 bis <6,0)
- sehr hohe Erosionsgefährdung (6,0 bis <11,0)
- extrem hohe Erosionsgefährdung ($\geq 11,0$)

Anteil in %

- 18.4
- 42.9
- 18.2
- 8.3
- 8.7
- 2.7
- 0.7

\varnothing Deutschland: 1,37 t / (ha · a)

Quellenangaben:

Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG

Digitales Geländemodell 10 © 2017 GeoBasis-DE / BKG

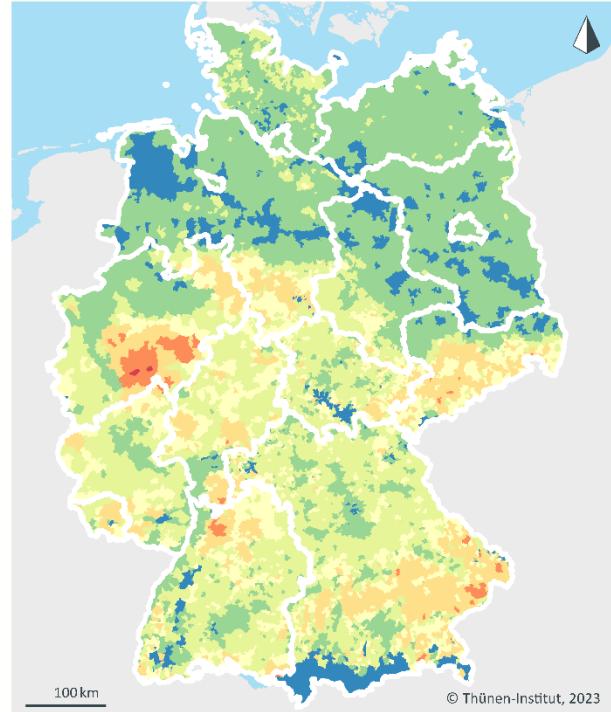
BUEK200 © 2022 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

R_FAKTOR_RADKLIM_v2017_002 © 2019 Fischer et al. (DWD)

National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

Aktuelle Erosionsgefährdung

2017 bis 2021 | Mittelwert Gemeinden



Aktuelle Erosionsgefährdung (2017 - 2021) ABAG | Ackerfläche | Fruchtfolge-abhängig

Langjähriger mittlerer Bodenabtrag
Mittelwert je Gemeinde (Stand 2010, angepasst)

[t / (ha · a)]

- keine bis sehr geringe Erosionsgefährdung (<0,2)
- sehr geringe Erosionsgefährdung (0,2 bis <1,0)
- geringe Erosionsgefährdung (1,0 bis <2,0)
- mittlere Erosionsgefährdung (2,0 bis <3,0)
- hohe Erosionsgefährdung (3,0 bis <6,0)
- sehr hohe Erosionsgefährdung (6,0 bis <11,0)
- extrem hohe Erosionsgefährdung ($\geq 11,0$)

9653 Gebietseinheiten

Quellenangaben:

Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG

Digitales Geländemodell 10 © 2017 GeoBasis-DE / BKG

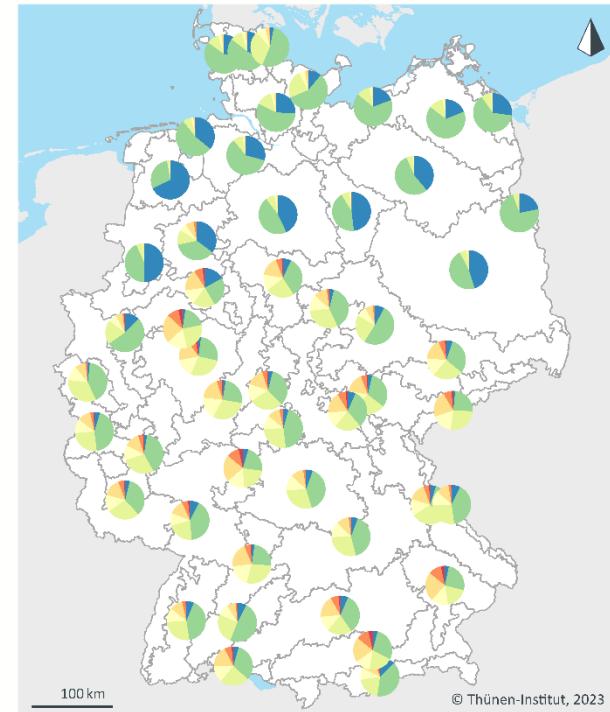
BUEK200 © 2022 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

R_FAKTOR_RADKLIM_v2017_002 © 2019 Fischer et al. (DWD)

National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

Aktuelle Erosionsgefährdung

2017 bis 2021 | Bodenklimarräume | Anteil Erosionsgefährdungsklassen



Aktuelle Erosionsgefährdung (2017 - 2021)

ABAG | Ackerfläche | Fruchtfolge-abhängig

Bodenklimarräume

Anteil Erosionsgefährdungsklassen an Ackerfläche



- keine bis sehr geringe Erosionsgefährdung (<0,2)
- sehr geringe Erosionsgefährdung (0,2 bis <1,0)
- geringe Erosionsgefährdung (1,0 bis <2,0)
- mittlere Erosionsgefährdung (2,0 bis <3,0)
- hohe Erosionsgefährdung (3,0 bis <6,0)
- sehr hohe Erosionsgefährdung (6,0 bis <11,0)
- extrem hohe Erosionsgefährdung ($\geq 11,0$)

Quellenangaben:

Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG

Digitales Geländemodell 10 © 2017 GeoBasis-DE / BKG

BUEK200 © 2022 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

R_FAKTOR_RADKLIM_v2017_002 © 2019 Fischer et al. (DWD)

National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

Grenzwerte zur HotSpot-Abgrenzung

Kriterien zur Bewertung der aktuellen Erosionsgefährdung

EU Soil Monitoring Law Proposal

Kriterium für gesunden Bodenzustand

Erosionsprozesse: Wasser, Wind, Bearbeitung, Ernte

Mosimann & Sanders (2004)

in Abhängigkeit der Gründigkeit

Stufen von 30 bis > 110 cm

DIN 19708:2022

Hohe Erosionsgefährdung

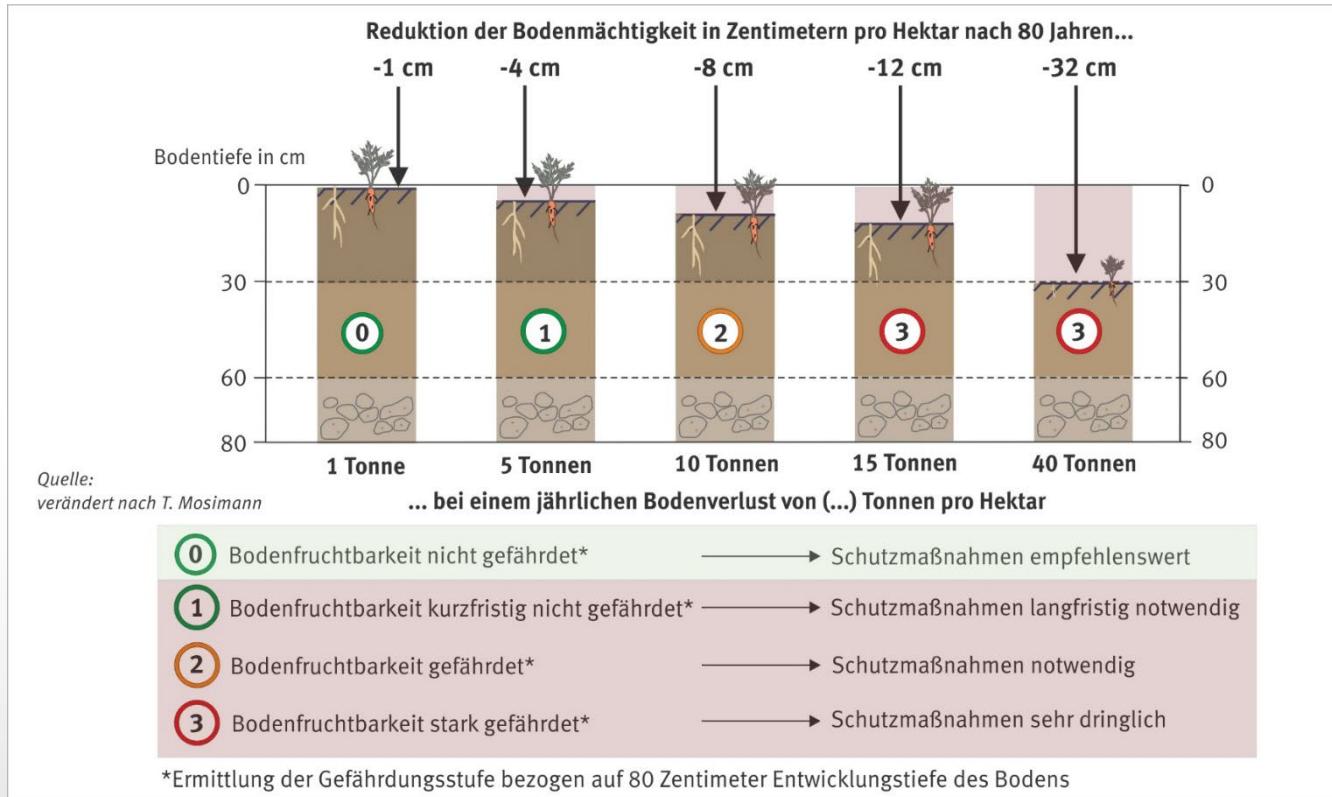
Grenzwerte Schweiz

in Abhängigkeit der Gründigkeit
(< 70 cm) | (\geq 70 cm)



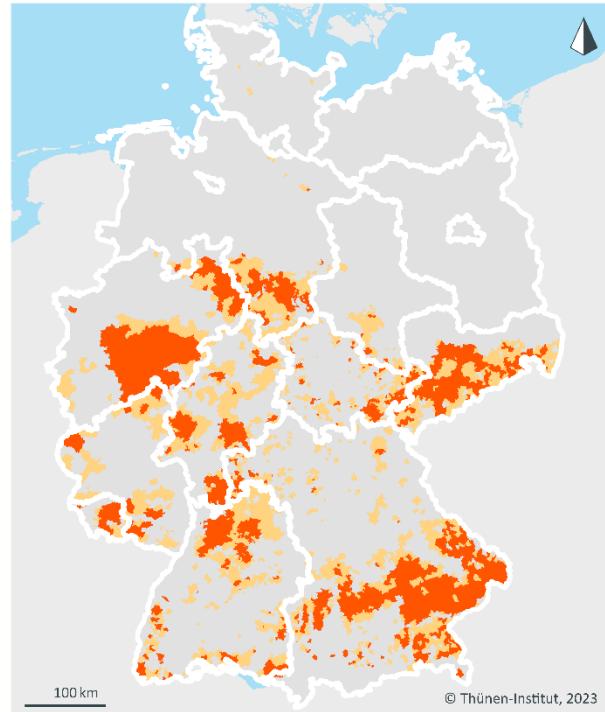
Grenzwerte zur HotSpot-Abgrenzung

Reduktion der Bodenmächtigkeit durch Erosion



Aktuelle Erosionsgefährdung

Gemeinden mit hohen mittleren Abtragsraten



Aktuelle Erosionsgefährdung (2017 - 2021) ABAG | Ackerfläche | Fruchtfolge-abhängig

Langjähriger mittlerer Bodenabtrag

Mittelwert je Gemeinde (Stand 2010, angepasst)

[t / (ha · a)]

<2 t / (ha · a)
7195 Gemeinden

≥2 t / (ha · a) [EU Soil Monitoring Law Proposal]
1309 Gemeinden

≥3 t / (ha · a) [DIN 19708 - Hohe Erosionsgefährdung]
1149 Gemeinden

Ackerfläche in den Gemeinden
[1000 ha]

9238

2786

1284

Quellenangaben:

Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG

Digitales Geländemodell 10 © 2017 GeoBasis-DE / BKG

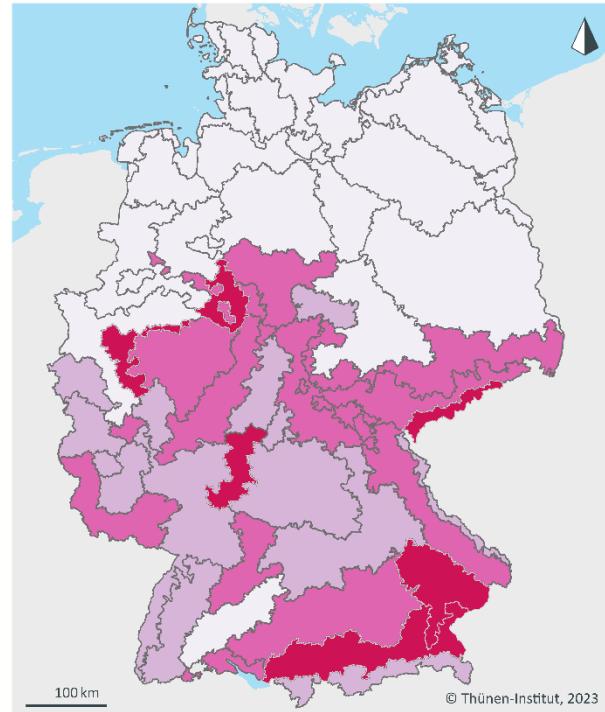
BUEK200 © 2022 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

R_FAKTOR_RADKLIM_v2017_002 © 2019 Fischer et al. (DWD)

National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

Aktuelle Erosionsgefährdung

Bodenklimaräume | Flächenanteile hoher Erosionsgefährdung



Aktuelle Erosionsgefährdung (2017 - 2021)

ABAG | Ackerfläche | Fruchtfolge-abhängig

**Bodenklimaräume | Anteil der Flächen mit
mindestens hoher Erosionsgefährdung**

>3 t / (ha · a)

<10 %

10 bis <20 %

20 bis <30 %

30 bis 38,5 %

Quellenangaben:

Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG

Digitales Geländemodell 10 © 2017 GeoBasis-DE / BKG

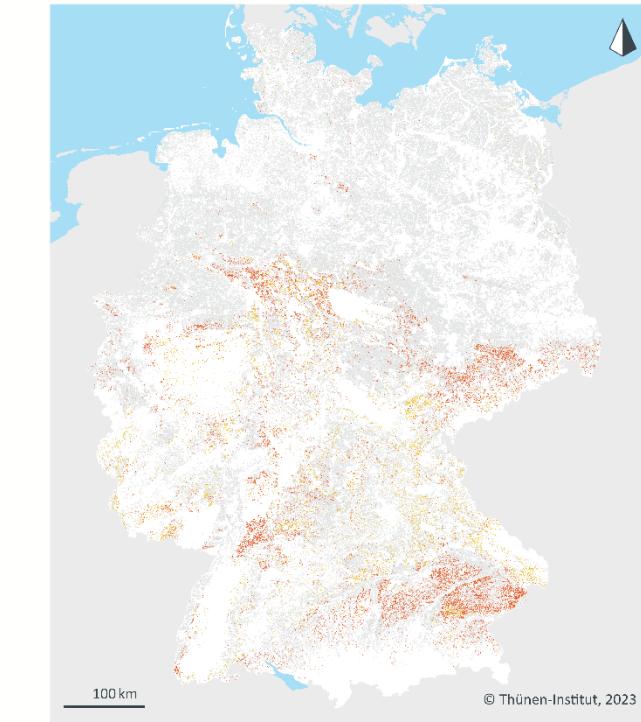
BUEK200 © 2022 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

R_FAKTOR_RADKLIM_v2017_002 © 2019 Fischer et al. (DWD)

National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

Gefährdung in Abhängigkeit der Gründigkeit

Grenzwerte Schweiz | angewendet auf BUEK1000 - Gründigkeitsauswertung



Aktuelle Erosionsgefährdung und Gründigkeit

Grenzwerte Schweiz

- flachgründig (< 70 cm) | Abtrag > 2 t / (ha · a)
3,1 % der Ackerfläche
- tiefgründig (≥ 70 cm) | Abtrag > 4 t / (ha · a)
6,3 % der Ackerfläche
- Grenzwerte nicht überschritten
90,6 % der Ackerfläche

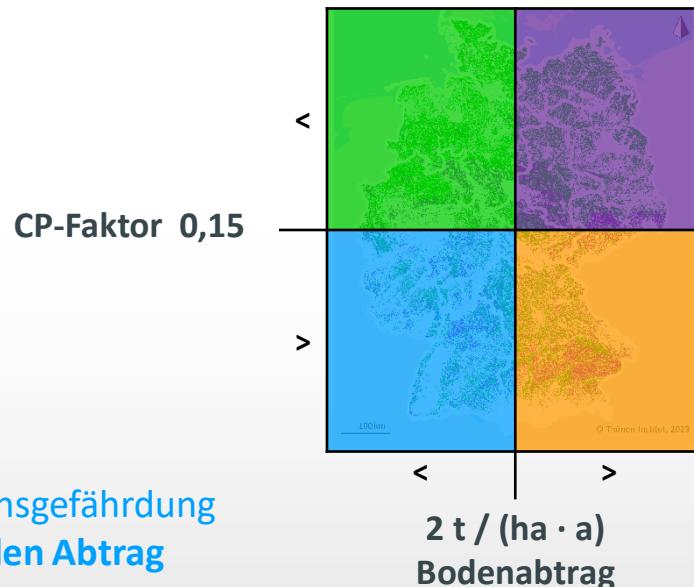
Quellenangaben:

- Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG
Digitales Geländemodell 10 © 2017 GeoBasis-DE / BKG
BUEK200 © 2022 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
R_FAKTOR_RADKLIM_v2017_002 © 2019 Fischer et al. (DWD)
National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.
PhysGru1000_250 © 2015 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Ergebnisse

Erosionsgefährdung und Abtragsreduzierung

Geringe aktuelle Erosionsgefährdung
hoher potentieller Abtrag **erfolgreich reduziert**



Hohe aktuelle Erosionsgefährdung
potentieller Abtrag **bereits stark reduziert**

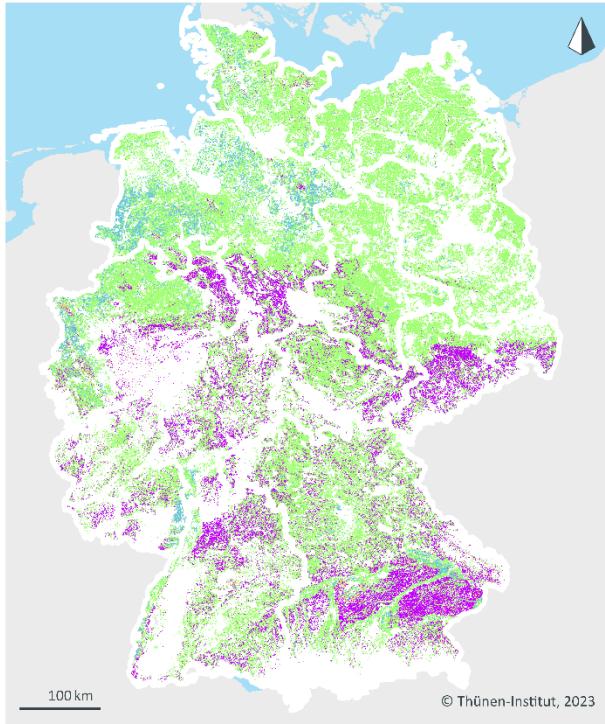
⇒ weitere Schutzmaßnahmen nötig
(Fruchtfolge, Bewirtschaftung,
Begrünung, Schlaganpassung)

Hohe aktuelle Erosionsgefährdung
bei **hohem potentiellen Abtrag**
1,3 % der Ackerfläche

⇒ Anpassung der Bewirtschaftung nötig
(Fruchtfolge, Bewirtschaftung)

Ergebnisse

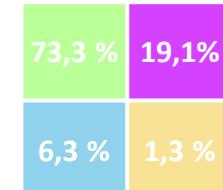
Erosionsgefährdung und Abtragsreduzierung



Aktuelle Erosionsgefährdung und Abtragsreduzierung

- geringe aktuelle Erosionsgefährdung
geringer potentieller Abtrag
- geringe aktuelle Erosionsgefährdung
hoher potentieller Abtrag reduziert
- hohe aktuelle Erosionsgefährdung
hoher potentieller Abtrag nicht ausreichend reduziert
- hohe aktuelle Erosionsgefährdung
potentieller Abtrag bereits stark reduziert

Fläche in 1000 ha



CP-Faktor
0,15

2 t / (ha · a)
Bodenabtrag

Quellenangaben:

Digitales Landschaftsmodell © 2020 GeoBasis-DE / BKG
Digitales Geländemodell 10 © 2017 GeoBasis-DE / BKG
BUEK200 © 2022 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
R_FAKTOR_RADKLIM_v2017_002 © 2019 Fischer et al. (DWD)
National-scale crop type maps for Germany (2017 to 2021) © 2023 by Schwieder et al.

Verhältnis von Abtrag und Reduktion

Wie stark reduziert Bewirtschaftung den potentiellen Bodenabtrag?

Fruchtfolgen				C-Faktor	CP-Faktor
Winterraps	Winterweizen	Winterweizen	Wintergerste	0,082	0,074
Winterraps	Winterweizen	Zuckerrübe (konv.)	Winterweizen	0,110	0,099
Winterweizen	Winterweizen	Zuckerrübe (konv.)		0,117	0,105
Mais (konv.)	Winterweizen	Zuckerrübe (konv.)	Winterweizen	0,150	0,135
Mais (Mulchsaat)				0,161	0,145
Mais (konv.)	Winterraps			0,168	0,151
Kartoffel	Winterweizen	Zuckerrübe (konv.)	Winterweizen	0,182	0,164
Mais (konv.)				0,249	0,224
Kartoffel	Mais (konv.)	Mais (konv.)		0,291	0,262

Zusammenfassung

Key Messages



Deutschlandweite Modellierung möglich | regionale HotSpots identifizierbar



Datengrundlage für Bezugszeiträume notwendig



C-Faktor: Detaillierte Abbildung durch Fruchtartenkarten möglich

Fortschreibbarer (Agrarumwelt)Indikator | Nächster Schritt: Abbildung Zwischenfrüchte



K-Faktor: Mit Digital Soil Mapping und Remote Sensing neue Wege gehen



Grenzwerte: Was ist langfristig tolerierbar? Welchen Zeithorizont nehmen wir an?

Danke für die Aufmerksamkeit!



Projekt HotSpots Erosion @ Thünen



Dr. Bastian Steinhoff-Knopp

Thünen-Institut | Stabsstelle Klima Boden Biodiversität

Bastian.Steinhoff-Knopp@thuenen.de | @BastianKnopp