

TEXTE

48/2025

**Abschlussbericht**

# Erheblichkeit von erosivem Bodenabtrag – Entwicklung eines methodischen Bewertungsansatzes

**von:**

Michael Gebel, Stephan Bürger  
VisDat geodatentechnologie GmbH (VisDat), Dresden

Katharina Brecht, Stephan Fuchs  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) / Institut für Wasser und Umwelt (IWU) / Fachbereich  
Wassergütewirtschaft, Karlsruhe

Daniel Wurbs  
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) / Abteilung Zentrum für Acker- und  
Pflanzenbau / Dezernat Agrarökologie, Bernburg

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt



TEXTE 48/2025

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für  
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und  
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3718 72 211 0  
FB001620

Abschlussbericht

## **Erheblichkeit von erosivem Bodenabtrag – Entwicklung eines methodischen Bewertungsansatzes**

von

Michael Gebel, Stephan Bürger  
VisDat geodatentechnologie GmbH (VisDat), Dresden

Katharina Brecht, Stephan Fuchs  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) / Institut für Wasser  
und Umwelt (IWU) / Fachbereich Wassergütwirtschaft,  
Karlsruhe

Daniel Wurbs  
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) /  
Abteilung Zentrum für Acker- und Pflanzenbau /  
Dezernat Agrarökologie, Bernburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### Durchführung der Studie:

VisDat geodatentechnologie GmbH  
Am Ende 14  
01277 Dresden

### Abschlussdatum:

Oktober 2024

### Redaktion:

Fachgebiet II 2.4 Binnengewässer  
Antje Ullrich

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7587>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

### **Kurzbeschreibung: Erheblichkeit von erosivem Bodenabtrag – Entwicklung eines methodischen Bewertungsansatzes**

Nach Bundesbodenschutzgesetz sind Einwirkungen auf den Boden, die schädliche Bodenveränderungen hervorrufen können, zu verhindern. Bei drohenden schädlichen Bodenveränderungen sind Maßnahmen zu deren Abwehr zu ergreifen (§ 4 BBodSchG). Neben anderen Belastungen kann erosiv verursachter Bodenabtrag zu schädlichen (erheblichen) Bodenveränderungen durch Beeinträchtigung der Bodenfunktionen führen. Da es bisher national keine einheitlichen Kriterien zur Bewertung der Erheblichkeit von erosiven Bodenabträgen gibt, wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes ein skalenübergreifend anwendbarer methodischer Ansatz zur Ausweisung der Erheblichkeit von erosiven Bodenabträgen anhand geeigneter Bodenkennwerte entwickelt. Dieser berücksichtigt die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Böden. Als Bodenkennwerte, die auch in der Bodenfunktionsbewertung eine wichtige Rolle spielen, wurden die physiologische Gründigkeit und die nutzbare Feldkapazität ausgewählt und zu einem integrierten Bodenkennwert zusammengeführt: der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp).

Für die Erheblichkeit hinsichtlich der Gefahrenabwehr schädlicher Bodenveränderungen wurde ein Schwellenwert, basierend auf allgemein akzeptierten Literaturquellen und der gängigen Praxis in den Bundesländern, festgelegt. Dieser Schwellenwert bezieht sich auf einen Zeitraum von 300 Jahren und eine maximale Profilverkürzung beziehungsweise eine Reduzierung der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone von 30 %. Mit diesem Ansatz kann für jeden Standort die Erheblichkeit bezogen auf den erheblichen Bodenabtrag sowohl für den langjährigen mittleren Bodenabtrag (modelliert) als auch für Einzelereignisse ausgewiesen werden.

### **Abstract: Assessment of the significance of soil loss for the prevention of soil degradation (erosion)**

According to the German Federal Soil Protection Act, influences on the soil that can cause harmful soil changes must be prevented. In case of impending harmful soil changes, hazard prevention measures must be implemented (§ 4 BBodSchG). Among other influences, soil erosion can lead to harmful (significant) changes by negatively affecting soil functions. Since there are currently no uniform national criteria for assessing the significance of soil losses caused by erosion, a scale-independent, harmonized approach based on suitable soil parameters has been developed in the frame of this research project. The approach addresses the impairment of soil functionality. Soil parameters playing an important role in soil functions are, the physiological rooting depth and the usable field capacity. These two factors were selected and combined into an integrated soil parameter: “sum of usable field capacity in the root zone” (nFKWp).

For the assessment of the significance of soil degradation, a threshold value has been set based on generally accepted literature and common practice in the federal states of Germany. This threshold value refers to a period of 300 years and a profile reduction or a reduction of the sum of usable field capacity in the root zone by 30 %. Based on this, the threshold value of significance of soil loss can now be calculated site-specific for both the long-term average soil erosion (modelled) and for individual soil loss events.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	10
Gleichungsverzeichnis.....	10
Abkürzungsverzeichnis.....	11
Zusammenfassung.....	13
Summary.....	19
1 Einführung und Zielsetzung.....	24
2 Bestehende Ansätze zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wassererosion.....	27
2.1 Erheblichkeit bezogen auf den langjährigen mittleren Bodenabtrag.....	27
2.2 Erheblichkeit bezogen auf Einzelereignisse.....	30
2.3 Zusammenfassung.....	31
3 Bodenkennwerte zur Feststellung der Erheblichkeit.....	32
3.1 Auswahl der Bodenkennwerte.....	32
3.2 Gründigkeit (Durchwurzelbarkeit).....	33
3.3 Nutzbare Feldkapazität.....	34
3.4 Summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone.....	34
4 Ausweisung von Schwellenwerten.....	37
4.1 Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle für nFKWp.....	37
4.2 Maximal erlaubter Bodenabtrag.....	40
4.3 Ausweisung weiterer Maßnahmenschwellen (Vorsorge).....	40
5 Ermittlung des erheblichen Bodenabtrags für den Schwellenwert nFKWp70.....	42
5.1 Vorbemerkungen.....	42
5.2 Umsetzung des Bewertungsansatzes für einzelne geschichtete Bodenprofile.....	44
5.2.1 Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70) und des maximalen Verlustwertes (nFKWp30).....	46
5.2.2 Ableitung der maximalen Verlustwerte der Profil-Mächtigkeit.....	47
5.2.3 Berechnung des erheblichen Bodenabtrags.....	50
5.3 Vergesellschaftete geschichtete Bodenprofile.....	53
5.4 Zusammenfassung.....	57
6 Ergebnisse der Ableitung der Erheblichkeit von Bodenabträgen für den langjährigen mittleren Bodenabtrag für Deutschland auf Grundlage der BÜK 200.....	58
6.1 Aufbereitung der Eingangsdaten und Workflow.....	58

6.2	Überführung der Ergebnisse auf das 10 m x 10 m Raster .....	59
6.3	Ergebnisse .....	60
6.4	Einordnung der Ergebnisse .....	70
7	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	72
8	Danksagung .....	75
9	Quellenverzeichnis .....	76
A	Anhang: Tabellen.....	79
A.1	Status Quo der Bundesländer zur Erheblichkeit von langjährigen mittleren Bodenabträgen .....	79
B	Anhang: Workflow (deutschlandweite Betrachtung der Erheblichkeit) .....	82
B.1	Workflow zur Ableitung der Bodenkennwerte aus der BÜK 200 .....	82
C	Anhang: Leitfaden zur Bewertung der Erheblichkeit von Bodenabtrag für die Gefahrenabwehr schädlicher Bodenveränderungen .....	88
	Abbildungsverzeichnis.....	2
I.	Einführung.....	5
II.	Bodenkennwert zur Feststellung der Erheblichkeit .....	7
III.	Bewertung der Erheblichkeit – Allgemeine Methodenbeschreibung .....	10
IV.	Bewertung der Erheblichkeit – Methodenbeschreibung in Beispielen .....	13
IV-1	Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70) und des maximalen Verlustwertes (nFKWp30) .....	13
IV-2	Ableitung der maximalen Verlustwerte der Profil-Mächtigkeit .....	14
IV-3	Berechnung des erheblichen Bodenabtrag.....	17
V.	Möglichkeit der Ausweisung weiterer Maßnahmenswellen (Vorsorge).....	21
VI.	Literatur .....	23

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Status Quo der Bundesländer zur Bewertung der Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wassererosion.....	29
Abbildung 2:	Schema zur Ableitung des integrierten Parameters summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) und Einordnung in den Kontext der Bodenfunktionsbewertung und dem gemäß BBodSchG definierten Schutz der Bodenfunktionen vor erheblichen Beeinträchtigungen .....	36
Abbildung 3:	Ableitung der Erheblichkeitsschwelle (orange) für die summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) in mm (beispielhaft) .....	39
Abbildung 4:	Verringerung der Bodenmächtigkeit in 300 Jahren in Abhängigkeit von den Maßnahmeschwellen auf Grundlage der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp).....	41
Abbildung 5:	Ableitung der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) für Einzelprofile .....	43
Abbildung 6:	Ableitung der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) für vergesellschaftete Profile .....	43
Abbildung 7:	Verkürzung eines Bodenprofils und Verringerung der Gründigkeit (Wp) und nutzbaren Feldkapazität (nFK) in der gründigen Zone durch Bodenerosion.....	45
Abbildung 8:	Allgemeines Ablaufschema zur Ermittlung der Erheblichkeitsschwellenwerte.....	46
Abbildung 9:	Ableitung der nFKWp, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 1 und 2).....	47
Abbildung 10:	Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 und des maximalen Verlustwertes nFKWp30, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 3).....	47
Abbildung 11:	Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 und des maximalen Verlustwertes nFKWp30, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 4).....	49
Abbildung 12:	Berechnung des Schwellenwertes für den Verlust an Profil-Mächtigkeit (cm), exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 5).....	50
Abbildung 13:	Berechnung des Schwellenwertes des erheblichen Bodenabtrags, exemplarisch für ein Bodenprofil (Schritt 6)....	52
Abbildung 14:	Workflow und Rechenbeispiel zur Ableitung der Erheblichkeitsschwelle für den langjährigen mittleren Bodenabtrag für das 70 %-Niveau bei vergesellschafteten geschichteten Profilen.....	56



Abbildung 15:	Schema zur Ableitung des erheblichen Bodenabtrages in Abhängigkeit von der Datengrundlage für Einzelereignisse und den langjährigen mittleren Bodenabtrag .....	57
Abbildung 16:	Tiefe der gründigen Zone des Bodens bis maximal 1 m Tiefe (Wp) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	60
Abbildung 17:	Mittlere nutzbare Feldkapazität (nFK) in der gründigen Zone (Wp) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	61
Abbildung 18:	Summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	62
Abbildung 19:	Erheblichkeitsschwelle 70% der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp70) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	63
Abbildung 20:	Erheblichkeitsschwelle für die gründige Zone Wp70_korr in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	64
Abbildung 21:	Profilverkürzung $\Delta Wp$ bei der Erheblichkeitsschwelle (Wp70_korr) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	65
Abbildung 22:	Mittlere Lagerungsdichte (LD) in dem durch Bodenabtrag über den Zeitraum von 300 Jahren abgetragenen Profilabschnitt $\Delta Wp$ (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	66
Abbildung 23:	Schwellenwert nFKWp70 für den erheblichen mittleren jährlichen Bodenabtrag in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	67
Abbildung 24:	Schwellenwert nFKWp80 für den mittleren jährlichen Bodenabtrag in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	68
Abbildung 25:	Schwellenwert nFKWp90 für den mittleren jährlichen Bodenabtrag in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) .....	69
Abbildung 26:	Flächenanteile (%) je Schwellenwertklasse u. a. für die Überschreitung der Schwellenwerte für Erheblichkeit auf Acker, Weingarten und Obstplantage .....	70
Abbildung 27:	Flächenanteil (%), auf denen der langjährige mittlere Bodenabtrag u. a. den Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag überschreitet .....	71

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Toleranzgrenzen für den erheblichen Bodenabtrag nach Schwertmann et al. (1990) .....	27
Tabelle 2:	Summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) in mm für Bodenprofile unterschiedlicher Gründigkeit (Wp) .....	35
Tabelle 3:	Abgestufte Maßnahmenschwellen auf Grundlage der nFKWp	41
Tabelle 4:	Nutzungskategorien aus der BÜK 200 und zugeordnete rasterbasierte Nutzungen auf Basis von ATKIS-DLM .....	59

## Gleichungsverzeichnis

Gleichung 1:	Ableitung der nFKWp auf Grundlage der horizontspezifischen nFK-Werte .....	46
Gleichung 2:	Berechnung des maximalen Verlustwertes (nFKWp30) .....	47
Gleichung 3:	Berechnung des horizontspezifischen maximalen Verlustwertes .....	48
Gleichung 4:	Berechnung des horizontspezifischen (h1) maximalen Verlustwertes, Beispiel .....	48
Gleichung 5:	Berechnung des horizontspezifischen (h2) maximalen Verlustwertes .....	48
Gleichung 6:	Berechnung des horizontspezifischen (h2) maximalen Verlustwertes, Beispiel .....	49
Gleichung 7:	Berechnung der horizontspezifischen korrespondierenden maximalen Profilverkürzung .....	49
Gleichung 8:	Berechnung der horizontspezifischen (h1) korrespondierenden maximalen Profilverkürzung, Beispiel .....	49
Gleichung 9:	Berechnung der korrespondierenden maximalen Profilverkürzung, Beispiel .....	50
Gleichung 10:	Berechnung des Bodenabtrags pro Flächeneinheit .....	51
Gleichung 11:	Berechnung des erheblichen Bodenabtrags pro Flächeneinheit, Beispiel .....	51
Gleichung 12:	Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (tatsächlicher mittlerer langjähriger Bodenabtrag), Beispiel .....	51
Gleichung 13:	Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (Einzelereignis), Beispiel .....	51

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
<b>A</b>	Bodenabtrag
<b>ABAG</b>	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
<b>AG</b>	Arbeitsgruppe
<b>AK</b>	Arbeitskreis
<b>BBodSchG</b>	Bundesbodenschutzgesetz
<b>BBoVSchV</b>	Bundesbodenschutzverordnung
<b>BOVA</b>	Ständiger Ausschuss "Vorsorgender Bodenschutz"
<b>BÜK 200</b>	Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000
<b>BZ</b>	Bodenzahl
<b>FKWe</b>	Feldkapazität im effektiven Wurzelraum
<b>H</b>	Horizont
<b>h1</b>	erster Bodenhorizont
<b>h2</b>	zweiter Bodenhorizont
<b>LABO</b>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
<b>LAWA</b>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
<b>LD</b>	Lagerungsdichte
<b>LFU</b>	Bayerisches Landesamt für Umwelt
<b>LfULG</b>	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
<b>LLG</b>	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
<b>LUBW</b>	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
<b>LWK</b>	Landwirtschaftskammer Niedersachsen
<b>MKLLU MV</b>	Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern
<b>nFK</b>	nutzbare Feldkapazität
<b>nFK</b>	nutzbare Feldkapazität
<b>nFK_Rest</b>	nFK-Wert, der nach Ermittlung des nFK-Verlustes eines Horizontes für die Berechnung des anteiligen nFK-Verlustes des tiefer gelegenen Horizontes verbleibt
<b>nFK70_E</b>	für das Restprofil (Wp70) neu ermittelte nFK
<b>nFK<sub>h1</sub></b>	nutzbare Feldkapazität des ersten Horizontes
<b>nFK<sub>h2</sub></b>	nutzbare Feldkapazität des zweiten Horizontes
<b>nFKWe</b>	nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum
<b>nFKWp</b>	summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone des Bodens (mm)

Abkürzung	Erläuterung
<b>nFKWp_Rest</b>	nFKWp-Wert, der nach Ermittlung des nFKWp-Verlustes eines Horizontes für die Berechnung des anteiligen nFKWp-Verlustes des tiefer gelegenen Horizontes verbleibt
<b>nFKWp30</b>	Schwellenwert (maximaler Verlustwert) – entspricht 30 % der nFKWp des ursprünglichen Bodenprofils
<b>nFKWp70</b>	Schwellenwert (Erheblichkeitsschwelle) – entspricht 70 % der nFKWp des ursprünglichen Bodenprofils
<b>nFKWp70_E</b>	tatsächliche nFKWp nach 300 Jahren für durch Bodenabtrag reduziertes Profil
<b>nFKWp80</b>	Schwellenwert – entspricht 80 %-Verbleib der nFKWp des ursprünglichen Bodenprofils
<b>nFKWp90</b>	Schwellenwert – entspricht 90 %-Verbleib der nFKWp des ursprünglichen Bodenprofils
<b>P</b>	Profil
<b>SV</b>	Substanzvolumen
<b>TRD</b>	Trockenrohdichte
<b>VDLUFA</b>	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.
<b>We</b>	effektive Durchwurzelungstiefe
<b>Wp</b>	physiologische Gründigkeit des Bodens (dm)
<b>Wp70</b>	auf 70 % reduzierte Gründigkeit Wp
<b>Wp70_korr</b>	Mächtigkeit der gründigen Zone, die bei Berücksichtigung des langjährigen mittleren Bodenabtrages nach 300 Jahren nicht unterschritten werden darf
<b>Wpfl</b>	pflanzenverfügbares Bodenwasser
<b><math>\Delta</math>nFKWp70</b>	Differenz von nFKWp70 und nFKWp70_E
<b><math>\Delta</math>Wp</b>	korrigierte Profilverkürzung, gebildet aus der Differenz von Wp und Wp70_korr
<b><math>\Delta</math>Wp70</b>	Quotient aus $\Delta$ nFKWp70 und nFK70_E

## Zusammenfassung

### Hintergrund

Nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) sind Einwirkungen auf den Boden, die schädliche Bodenveränderungen hervorrufen können, zu verhindern. Bei drohenden schädlichen Bodenveränderungen sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu ergreifen (§ 4 BBodSchG). Neben anderen Belastungen kann erosiv verursachter Bodenabtrag zu schädlichen (erheblichen) Bodenveränderungen führen. Für die Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser oder Wind (§9 BBodSchV, n.F.) gilt, dass von einer schädlichen Bodenveränderung insbesondere dann auszugehen ist, „...wenn erhebliche Mengen Bodenmaterial von einer Erosionsfläche durch Oberflächenabfluss oder Abwehung abgetragen wurden und weitere erhebliche Bodenabträge zu erwarten sind.“

Für die Feststellung der Erheblichkeit sind allerdings keine bundesweit verbindlichen harmonisierten Kriterien festgelegt. Die bisher fehlende Konkretisierung (z. B. in der BBodSchV) zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen hat dazu geführt, dass in den Bundesländern z. T. eigene spezifische Kriterien festgelegt bzw. unterschiedliche Verfahren entwickelt wurden und angewendet werden, um die Erheblichkeit von erosiven Bodenabträgen zu definieren und eine Bewertung mit Blick auf Vorsorge und Gefahrenabwehr vornehmen zu können.

Ziel des Projektes ist es, einen skalenübergreifend anwendbaren methodischen Ansatz für die Feststellung der **Erheblichkeit von erosiven Bodenabträgen** zu entwickeln. Dieser Ansatz soll mit Blick auf die rechtlichen Anforderungen (BBodSchG) die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Böden berücksichtigen. Im Fokus der Betrachtung stehen hierbei die **natürlichen Bodenfunktionen** (Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen; Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen; Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers) sowie die **Nutzungsfunktion/Ertragsfunktion** (Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung).

### Grundlagen und Methoden

Für den fachlichen Austausch mit den Ländern und Experten wurde ein Projektbegleitkreis eingerichtet, in dem die erarbeiteten, fachlichen Grundlagen und deren Umsetzbarkeit diskutiert und abgestimmt wurden.

In einem ersten Schritt wurde zusammengestellt, wie bisher die Erheblichkeit von Bodenabträgen in den Bundesländern ermittelt und bewertet wird (Kapitel 2). Diese Ansätze wurden bei der Methodenentwicklung berücksichtigt.

In einem zweiten Schritt wurden Bodenkennwerte ausgewählt, die für die Feststellung der Erheblichkeit herangezogen werden können. Dabei wurden folgende Anforderungen an die Kennwerte gestellt:

- ▶ Sie sollen die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Böden berücksichtigen.
- ▶ Ihre Ausprägung soll in einem ursächlichen Zusammenhang zur Bodenerosion stehen und auf den Verlust an Boden direkt reagieren.

- ▶ Die Veränderungen eines Kennwertes durch Bodenerosion sollen gleichgerichtet sein, d.h., dass aus einem höheren Bodenabtrag eine stärkere Verschlechterung des Kennwertes resultiert.
- ▶ Mit Blick auf die skalunenabhängige Anwendbarkeit der Methode sollen die Kennwerte gleichermaßen aus Geländebefunden, aus großmaßstäbigen sowie aus kleinmaßstäbigen Kartenwerken (Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 - BÜK200) ableitbar bzw. erfassbar sein.
- ▶ Die Kennwerte sollen (abgeleitet) metrisch skalierbar sein.
- ▶ Die Kennwerte sollen für die Feststellung der Erheblichkeit sowohl für langjährige mittlere Bodenabträge (modelliert, z. B. ABAG, vgl. Schwertmann et al. 1990) als auch für Einzelereignisse anwendbar sein.

Entsprechend der oben genannten Kriterien wurden die Gründigkeit (Wp) und die nutzbare Feldkapazität (nFK) als Kennwerte ausgewählt. Beide Kennwerte spielen auch in der Bodenfunktionsbewertung eine Rolle.

Unter **Gründigkeit** wird die Mächtigkeit des Lockermaterials verstanden, in das Pflanzenwurzeln ohne Schwierigkeiten eindringen können. Die durchwurzeltbare Tiefe eines Bodens ist von zentraler Bedeutung für die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Pflanzen (Ad-hoc-AG Boden, 2005). Erosion greift an der Bodenoberfläche an und verringert durch den Abtrag von Boden die durchwurzeltbare Tiefe eines Bodens und damit die Gründigkeit und dementsprechend das Nährstoff- und Wasserspeichervermögen des Bodens. Die Gründigkeit eines Bodens hat Einfluss auf die natürlichen Bodenteilfunktionen: Wasserbindung, Wasserrückhalt, Speichervermögen/Rückhalt für Nährstoffe, Filterwirkung/Rückhalt für Schadstoffe und Klimafunktionen.

Die **nutzbare Feldkapazität** ist als Kennwert für die gegen die Schwerkraft rückhaltbare und von Pflanzen nutzbare Wassermenge sowie für die Fähigkeit, im Bodenwasser gelöste Stoffe (Nähr- und Schadstoffe) zu halten, relevant. Damit ist die nFK u. a. von ökologischer Bedeutung für den Wasserhaushalt, die Wasserversorgung von Pflanzen, die Nährstoffbindung und den Schadstoffrückhalt von Böden (DWA 2016, 2018, Ad-hoc-AG Boden 2005). Der Kennwert nFK steht in Verbindung mit allen im BBodSchG genannten natürlichen Bodenfunktionen sowie der Nutzungsfunktion als Standort für die Land- und Forstwirtschaft.

Um den Informationsgehalt der Kennwerte Gründigkeit und nutzbare Feldkapazität zu verknüpfen, wurden beide Kennwerte zu dem integrierten Bodenkennwert **summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp)** zusammengeführt. Die nFKWp integriert damit zahlreiche Kennwerte (Humusgehalt, Lagerungsdichte, Gründigkeit, Feinbodenart, Grobbodenanteil), die in der bodenfunktionalen Bewertung eine zentrale Rolle einnehmen. Die gründige Zone wird, um den Verlust des meist fruchtbaren Oberbodens stärker zu gewichten, in der Betrachtung auf 1 m begrenzt. Mit diesem Parameter kann die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Böden durch Bodenabtrag über den Verlust an nFKWp adäquat berücksichtigt werden.

Für die Feststellung der Erheblichkeit ist es notwendig, einen Schwellenwert abzuleiten, ab dem angenommen wird, dass die natürlichen Bodenfunktionen und das Ertragspotenzial entscheidend geschwächt werden (Kapitel 4.1). Die Festlegung des Schwellenwertes orientiert sich an allgemein akzeptierten Literaturquellen und der gängigen Praxis in den Bundesländern (Kapitel 2).

Als grundlegende Erheblichkeitsschwelle wird ein Wert von **nFKWp70** vorgeschlagen. Dieser Vorschlag folgt dem Grundansatz, dass nach einem Betrachtungszeitraum von 300 Jahren noch 70 % des Profils beziehungsweise 70 % der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp70) des Bodenprofils erhalten sein müssen, damit die natürlichen Bodenfunktionen und das Ertragspotenzial nicht entscheidend geschwächt werden. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass ab einer erosiv bedingten Profilverkürzung von 30 % beziehungsweise einem maximalen Verlust von 30 % der nFKWp (**nFKWp30**) der Bodenabtrag als erheblich einzustufen ist. Ausgehend von diesem Schwellenwert (**nFKWp70**) kann dann standortspezifisch der erhebliche Bodenabtrag sowohl bezogen auf einen mittleren langjährigen Bodenabtrag (modelliert) als auch bezogen auf Einzelereignisse (im Gelände erhoben) berechnet werden.

In der bisherigen Vorgehensweise der Länder wird die Erheblichkeitsschwelle für Einzelereignisse als doppelt so hoch wie für den langjährigen mittleren Bodenabtrag angesetzt. Dieser Ansatz hat sich in der praktischen Anwendung für die Gefahrenabwehr auf Ebene der Bundesländer bisher bewährt und wird daher aufgegriffen und auch hier empfohlen.

Insbesondere zum Schutz tiefgründiger Böden wurden, gemäß der bereits vorliegenden Bewertungsansätze der Länder und mit Bezug zur abgeleiteten Erheblichkeitsschwelle, **Höchstgrenzen für die Feststellung des erheblichen Bodenabtrags** vorgeschlagen:

- ▶ Höchstgrenze für langjährigen mittleren Bodenabtrag (Modellierung): 13 t/ha\*a<sup>-1</sup> und
- ▶ Höchstgrenze für Einzelereignisse: 25 t/ha.

Für Einzelereignisse wird ein entsprechend höherer Wert angenommen, da Einzelereignisse mit vergleichsweise höheren Erosionsraten in geringerer Frequenz einhergehen (Kapitel 4.2).

Ausgehend von der empfohlenen Erheblichkeitsschwelle für die Gefahrenabwehr (nFKWp70), können bei Bedarf für die Vorsorge weitere abgestufte Maßnahmenschwellen ausgewiesen werden (Kapitel 4.3). Vorgeschlagen werden nFKWp80 und nFKWp90.

#### **Ermittlung des erheblichen Bodenabtrags**

Bodenprofile sind in der Regel geschichtet. Bei geschichteten Bodenprofilen führt der Bodenabtrag (Bodenerosion) zu einer Veränderung der Gründigkeit und damit der nutzbaren Feldkapazität und entsprechend der nFKWp im verbleibenden Profil nach Bodenabtrag. Für geschichtete Profile muss deshalb die Gründigkeit für die nFKWp70 neu abgeleitet werden.

Für die Ableitung der spezifischen Erheblichkeitsschwellen (nFKWp70) bzw. der spezifischen maximalen Verlustwerte (nFKWp30) ist in Abhängigkeit von den vorliegenden Datengrundlagen zu unterscheiden, ob dabei:

- ▶ ein geschichtetes Profil mit bekannten Horizontmächtigkeiten und ableitbarer nFK je Horizont oder
- ▶ mehrere geschichtete Profile (vergesellschafteter Bodenformen auf Grundlage einer Bodenübersichtskarte) mit jeweils bekannten Horizontmächtigkeiten und ableitbarer nFK je Horizont

betrachtet werden.

Informationen für einzelne, geschichtete Profile werden z. B. aus Geländeaufnahmen oder Legendeneinheiten groß- bis mittelmaßstäbiger Bodenkarten (> 1:200.000), deren Flächeneinheiten durch Standardprofile beschrieben sind, bezogen. Diese Datengrundlagen kommen sowohl für die standortspezifische Beurteilung der Erheblichkeit nach Einzelereignissen als auch die Beurteilung der Erheblichkeit von langjährigen mittleren Bodenabträgen (z. B. modelliert auf Basis der ABAG) zur Anwendung (Kapitel 5.2).

Nach der Bestimmung von Horizontmächtigkeiten und der nutzbaren Feldkapazität für jeden Horizont wird die nFKWp ausgewiesen sowie der Schwellenwert nFKWp70 bestimmt. Anschließend erfolgt eine horizontweise Prüfung, ob durch die durch erosiven Bodenabtrag bedingte Profilverkürzung der Schwellenwert (nFKWp70) zur Feststellung der Erheblichkeit überschritten ist oder nicht. Aus dem sich so ergebenden maximalen Verlust an Mächtigkeit des Bodenprofils und der jeweiligen Lagerungsdichte kann dann der Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag als Menge an Bodenabtrag ermittelt werden. Eine ausführliche Erläuterung hierzu liefert Kapitel 5.2.

Die Notwendigkeit der Betrachtung vergesellschafteter Profile kann sich in der überregionalen Betrachtung ergeben, wenn z. B. in kleinmaßstäbigen Karten wie der BÜK 200 Bodeninformationen mehrerer Bodenprofile pro Bodeneinheit hinterlegt sind, die unterschiedlichen Landnutzungen zugeordnet werden können. Dementsprechend müssen für eine Bodeneinheit gewichtete Mittelwerte für die nFKWp aus mehreren vergesellschafteten Profilen ermittelt werden. In aufeinander aufbauenden Bearbeitungsschritten wurde deshalb zunächst festgelegt, welche Bodenprofile mit welchen mineralischen Horizonten und welcher vorhandenen Spezifizierung im Feld Kultur (siehe hierzu KA5, S. 72 (Ad-hoc-AG Boden 2005)) zu welcher Nutzungskategorie (Acker, Grünland, Wald, Sonderkultur (Obst, Wein)) zugeordnet werden sollen. Daran schlossen sich aufeinanderfolgende Schritte zur Ableitung der Bodenkennwerte bis hin zur Ausweisung der Schwellenwerte für den erheblichen Bodenabtrag je Nutzungskategorie an. Bei der Ausweisung der Bodenkennwerte mussten die mittleren nFK für eine Bezugseinheit flächen- und tiefengewichtet ermittelt werden, da mehrere Profile mit jeweils unterschiedlichen Horizontmächtigkeiten, nFK, etc. berücksichtigt werden müssen. Der Sachverhalt einer sich verändernden mittleren nFK vom Ursprungsprofil zum verbleibenden Profil nach Bodenabtrag wurde durch eine iterative Neuberechnung der Verringerung der gründigen Zone für den Wert nFKWp70 berücksichtigt (Kapitel 5.3).

### **Ergebnisse und Ausblick**

Im Ergebnis des Vorhabens wurde ein methodischer Ansatz zur Bewertung der Erheblichkeit von erosiven Bodenabträgen entwickelt, der skalenübergreifend anwendbar ist.

Für den Vollzug bietet der entwickelte Ansatz die Möglichkeit, entsprechend der Anforderungen in der nationalen Gesetzgebung, sowohl Einzelereignisse als auch für einen grundsätzlichen Überblick mittlere, jährliche Bodenabträge unter Berücksichtigung bodenfunktionaler Gesichtspunkte, zu beurteilen und deren Erheblichkeit festzustellen. Für die Anwendung in der Praxis wurde im Rahmen des Vorhabens und in Zusammenarbeit mit dem AK „Einzelereignisbewertung“ der Bodenspezialisten der Länder ein Leitfaden entwickelt (Anhang C). Eine Empfehlung zur bundesweiten Verwendung des Ansatzes wäre wünschenswert, um national zu einem transparenten, einheitlichen und damit vergleichbaren Vorgehen bei der Bewertung der Erheblichkeit von Bodenabträgen zu kommen.

Zur Ableitung der Erheblichkeit für den langjährigen mittleren Bodenabtrag für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland wird auf die bundesweit vorliegende BÜK 200 zurückgegriffen, da



sie die höchst aufgelöste, harmonisierte und deutschlandweit verfügbare Bodenkarte darstellt. Bei den nationalen Betrachtungen ist darauf hinzuweisen, dass diese nicht vollzugsrelevant sind, sondern lediglich dem nationalen Überblick dienen. Es soll angezeigt werden, wie die Risiken des Auftretens von erheblichem Bodenabtrag regional differenziert ausfallen und wo Hotspotgebiete zu erwarten sind.

Die Generierung und Aufbereitung der Eingangsdaten für die Modellierung der erheblichen Bodenabträge erfolgt über einen zuvor programmierten Workflow in eine PostgreSQL-Umgebung.

Die Ergebnisse für die mittlere nFK in der gründigen Zone (bis max. 1 m Tiefe), die gründige Zone Wp (bis max. 1 m Tiefe), die sich daraus ableitende nFKWp, die Schwellenwerte für nFKWp (70 %-, 80 %-, 90 %-Niveau) sowie die Schwellenwerte für den Bodenabtrag werden für die vier Nutzungen Acker, Grünland, Sonderkulturen und Wald auf ein 10 m x 10 m Raster disaggregiert. Hierbei wird eine im Rahmen vorangegangener Arbeiten (Fuchs et al. 2022) aufgebaute Datengrundlage genutzt.

Die vier erzeugten Rasterdatensätze je Nutzungskategorie (BÜK 200) werden in einem letzten Schritt unter Beachtung der vorliegenden rasterbezogenen Nutzungsverteilung (abgeleitet und abstrahiert auf Basis von ATKIS-DLM) auf die jeweils zugehörige Nutzung übertragen.

Im Ergebnis der bundesweiten Betrachtung ist bezogen auf den mittleren, langjährigen Bodenabtrag die Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 am häufigsten in der Schwellenwertklasse  $\geq 12 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  überschritten. Flächen mit Bodenabträgen  $> 13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  sind hier mit enthalten, da der Bodenabtrag auf maximal  $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  begrenzt wurde.

Eine Gegenüberstellung der auf Bundesebene modellierten langjährigen, mittleren Bodenabträge und der erheblichen Bodenabträge zeigt Überschreitungen des erheblichen Bodenabtrags insbesondere auf den Weinbauflächen (37 %), gefolgt von den Obstanbauflächen (13 %) und mit deutlichem Abstand den Ackerflächen (2 %). Die anderen Nutzungen weisen hier nur marginale Flächenanteile auf. Eine Überschreitung des möglichen Schwellenwertes für die Vorsorge (nFKWp80), wird rechnerisch für 49 % der Weinbauflächen, 20 % der Obstanbauflächen und 4 % der Ackerflächen ausgewiesen. Die Schwellenwerte für nFKWp90 werden auf 71 % der Weinbauflächen, 36 % der Obstanbauflächen und 12 % der Ackerflächen überschritten. Auf die Grenzen der Aussagefähigkeit der Ergebnisse bei Verwendung der ABAG für die Modellierung des mittleren langjährigen Bodenabtrags wird hierbei explizit hingewiesen. Es gibt eine Reihe von skalenbedingten Unschärfen der jeweiligen Eingangsdaten. So wurden zur Ableitung des C-Faktors für Ackerflächen Fruchtartenspektren auf Kreisebene verwendet (Bach et al. 2023). Fruchtarten mit erhöhtem Erosionsrisiko (z. B. Mais) sind in diesen Fruchtartenspektren anteilig enthalten und wirken sich somit sowohl auf den abgeleiteten mittleren C-Faktor als auch den modellierten mittleren Bodenabtrag erhöhend aus. Durch die Mittelwertbildung verringern sich aber die Anteile von Flächen mit höherem Bodenabtrag (z. B. unter Mais) und niedrigerem Bodenabtrag (Wintergetreide) relativ gesehen zugunsten der Flächen mit einem mittleren Bodenabtrag. Alle Bodeninformationen wurden aus der kleinmaßstäbigen BÜK 200 (unter Nutzung der dort abgelegten nutzungsbezogenen Profilvergesellschaftungen) abgeleitet. Die R-Faktoren wurden aus einem  $1 \text{ km}^2$ -Raster disaggregiert (Fuchs et al. 2022). Zudem bildet die ABAG lediglich den flächenhaft auftretenden Bodenabtrag ab.

Eine Veröffentlichung der bundesweiten Ergebnisse erfolgt in der webbasierten MoRE-Toolbox (<https://stoffeintraege-more.de/>). Neben den rasterbasierten Ergebnisdatensätzen werden im Karten- und Statistikmodul der MoRE-Toolbox im Rahmen umfangreicher Postprocessing-

Routinen, Aggregationen von der Rasterebene auf weitere Auswertungsgeometrieebenen vorgenommen (z. B. Kreise, Flussgebiete, etc.).

## Summary

### Background

According to the Federal Soil Protection Act (BBodSchG), impacts on the soil that could cause harmful changes to the soil must be prevented. In the event of imminent harmful soil changes, hazard prevention measures must be taken (§ 4 BBodSchG). In addition to other pressures, soil erosion can lead to harmful (significant) soil changes. For hazard prevention of harmful soil changes due to soil erosion by water or wind (§9 BBodSchV, new version), harmful soil changes are to be assumed in particular ‘...if significant amounts of soil material have been removed from an erosion area by surface runoff or wind erosion and further significant soil erosion is to be expected.’

However, no nationally binding harmonised criteria have been defined for determining significance. The lack of concretisation (e.g. in the BBodSchV) for assessing the significance of soil erosion has led to the fact that the federal states have in some cases defined their own specific criteria or developed and applied different procedures to be able to carry out an assessment with a view to precaution and hazard prevention.

The aim of the project is to develop a methodological approach for determining the **significance of soil erosion** that can be applied across scales. With regard to the legal requirements (BBodSchG), this approach should take into account the impairment of the functional capacity of soils. The focus here is on the **natural soil functions** (basis of life and habitat for humans, animals, plants and soil organisms; component of the natural balance, in particular with its water and nutrient cycles; decomposition, equalisation and build-up medium for material impacts due to its filter, buffer and material conversion properties, in particular also for the protection of groundwater) as well as the **utilization function/yield function** (location for agricultural and forestry use).

### Principles and methods

A project support group was set up for technical dialogue with the federal states and experts, in which the technical principles were developed and their feasibility were discussed and agreed.

The first step was to compile how the significance of soil erosion has been determined and assessed in the federal states up to date (Chapter 2). These approaches were considered when developing the methods.

In a second step, soil parameters were selected that can be used to determine significance. The following requirements were placed on the parameters:

- ▶ They should consider the impairment of soil functionality.
- ▶ Their characteristics should be causally related to soil erosion and react directly to the loss of soil.
- ▶ The changes in a characteristic value due to soil erosion should be in the same direction, i.e. an increase in soil erosion should result in a greater deterioration of the characteristic value.
- ▶ With a view to the scale-independent applicability of the method, it should be possible to derive or record the characteristic values equally from field findings, from large-scale and from small-scale maps (soil overview map at a scale of 1:200,000 - BÜK200).
- ▶ The characteristic values should be (derived) metrically scalable.

- The characteristic values should be applicable for determining the significance for the long-term average soil erosion (modelled, e.g. ABAG, cf. Schwertmann et al. 1990) and individual events.

According to the above-mentioned criteria, the physiological rooting depth (**Wp**) and the **usable field capacity** (nFK) are selected as characteristic values. Both parameters also play a role in soil function assessment.

The term '**physiological rooting depth**' refers to the thickness of the loose material into which plant roots can penetrate without difficulty. The rooting depth of a soil is of central importance for the water and nutrient uptake of plants (Ad-hoc-AG Boden, 2005). Erosion affects the soil surface by removing soil, reducing the rootable depth of a soil and thus the soil's depth and, accordingly, its nutrient and water storage capacity. Soil depth has an influence on the natural soil functions: Water retention, storage capacity/retention for nutrients, filter effect/retention for pollutants and climate functions.

The **usable field capacity** is relevant as a parameter for the amount of water that can be retained against gravity and utilised by plants, as well as for the ability to retain dissolved substances (nutrients and pollutants) in the soil water. The nFK is therefore of ecological importance for the water balance, the water supply of plants, nutrient retention and the retention of pollutants in soils (DWA 2016, 2018, Ad-hoc-AG Boden 2005). The nFK is linked to all natural soil functions listed in the BBodSchG as well as the utilization function for agriculture and forestry.

In order to link the information content of the characteristic values of the physiological rooting depth and the usable field capacity, both characteristic values were combined to form the integrated soil characteristic value of the **sum of usable field capacity in the root zone (nFKWp)**. The nFKWp thus integrates numerous characteristic values (humus content, storage density, depth, fine soil type, coarse soil content), which play a central role in soil functional evaluation. In order to give greater weighting to the loss of the usually fertile topsoil, the soil depth considered is limited to 1 metre. With this parameter, the impairment of soil functionality due to soil erosion can be adequately taken into account via the loss of nFKWp.

To determine significance, it is necessary to derive a threshold value above which it is assumed that the natural soil functions and yield potential are significantly weakened (Chapter 4.1). The determination of the threshold value is based on generally accepted literature sources and common practice in the federal states (Chapter 2).

A value of **nFKWp70** is proposed as the basic significance threshold. This proposal follows the basic approach that 70 % of the profile or 70 % of the total usable field capacity in the root zone (nFKWp70) of the soil profile must still be preserved after an observation period of 300 years so that the natural soil functions and yield potential are not significantly weakened. Conversely, this means that soil erosion must be categorised as significant from an erosion-related profile shortening of 30 % or a maximum loss of 30 % of the nFKWp (**nFKWp30**). Based on this threshold value (**nFKWp70**), the significant soil erosion can then be calculated on a site-specific basis, both in relation to an average long-term soil erosion (modelled) and in relation to individual events (recorded in the field).

In the previous approach of the federal states, the significance threshold for individual events is set at twice as high as for the long-term average soil erosion. This approach has proven itself in practical application for hazard prevention at the federal state level and is therefore adopted and recommended here as well.

In particular, for the protection of deep soils, **maximum limits for the determination of significant soil erosion** were proposed in accordance with the existing assessment approaches in the federal states and with reference to the derived significance threshold:

- ▶ Maximum limit **for long-term average soil loss (modelled): 13 t/ha\*a-1** and
- ▶ Maximum limit for **individual events: 25 t/ha**.

A correspondingly higher value is assumed for single events, as these are associated with comparatively higher erosion rates at a lower frequency (Chapter 4.2).

Based on the recommended significance threshold for hazard prevention (nFKWp70), further graduated thresholds for precautionary measures can be identified if necessary (Chapter 4.3). The proposed thresholds are nFKWp80 and nFKWp90.

#### **Determination of significant soil erosion**

Soil profiles are usually stratified. In the case of layered soil profiles, soil erosion leads to a change in the soil depth and thus the usable field capacity and, the nFKWp in the remaining profile after soil erosion. For stratified profiles the soil tilth for the nFKWp70 must be therefore derived anew.

For the derivation of the specific thresholds (nFKWp70) or the specific maximum loss values (nFKWp30), a distinction must be made depending on the available data basis as to whether:

- ▶ a stratified profile with known horizon thicknesses and derivable nFK per horizon or
- ▶ several stratified profiles (of associated soil forms based on a soil overview map), each with known horizon thicknesses and derivable nFK per horizon

can be considered.

Information for individual layered profiles is obtained, for example, from field surveys or legend units of large- to medium-scale soil maps (> 1:200,000) where area units are described by standard profiles. These data bases are used both for the site-specific assessment of the significance of single events and for the assessment of the significance of long-term average soil erosion (e.g. modelled on the basis of ABAG) (Chapter 5.2).

After determining the horizon thickness and the usable field capacity for each horizon, the nFKWp is shown and the threshold value nFKWp70 is determined. A horizon-by-horizon check is then carried out to determine whether or not the threshold value (nFKWp70) for determining significance has been exceeded due to the profile shortening caused by soil erosion. The resulting maximum loss of the soil profile thickness and the respective storage density can then be used to determine the threshold value for significant soil erosion as the amount of soil loss. Chapter 5.2 provides a detailed explanation of this.

It may be necessary to consider associated profiles in the supra-regional analysis if, for example, small-scale maps such as the BÜK 200 contain soil information for several soil profiles per soil unit that can be assigned to different land uses. Accordingly, weighted mean values for the nFKWp from several associated profiles must be determined for a soil unit. In successive processing steps, it was therefore first determined which soil profiles with which mineral horizons and which existing specifications in the crop field (see KA5, p. 72 (Ad-hoc-AG Boden 2005)) should be assigned to which land use category (arable land, grassland, forest, special

crops (fruit, wine)). This was followed by successive steps to derive the soil parameters up to the designation of the threshold values for significant soil erosion for each utilisation category. When determining the soil parameters, the mean nFK for a reference unit had to be determined on an area- and depth-weighted basis, as several profiles each with different horizon thicknesses, nFK, etc. had to be taken into account. The situation of a changing mean nFK from the original profile to the remaining profile after soil erosion was taken into account by an iterative recalculation of the reduction of the soil zone for the value nFKWp70. A detailed description of the procedure in the case of associated profiles can be found in Chapter 5.3.

## Results and outlook

As a result of the project, a methodological approach for assessing the significance of soil erosion was developed that can be applied across scales.

For enforcement purposes, the approach developed offers the possibility of assessing both single events and, for a general overview, average annual soil erosion, taking into account soil functional aspects, and determining their significance in accordance with the requirements of national legislation. For practical application, a guideline was developed as part of the project in cooperation with the 'Single Event Assessment' working group of the soil specialists of the federal states (Annex C). A recommendation for the nationwide use of the approach would be desirable in order to achieve a transparent, standardised and thus comparable procedure for assessing the significance of soil erosion.

The BÜK 200, which is available nationwide, is used to derive the significance of long-term average soil erosion for the territory of the Federal Republic of Germany, as it represents the highest-resolution harmonised soil map available throughout Germany. It should be noted that the national considerations are not relevant to enforcement, but merely serve to provide a national overview. The aim is to show how the risks of the occurrence of significant soil erosion vary from region to region and where hotspot areas are to be expected.

The generation and preparation of the input data for the modelling of significant soil erosion is carried out via a previously programmed workflow in a PostgreSQL environment.

The results for the mean nFK in the physiological rooting depth (up to max. 1 m depth), the resulting nFKWp, the threshold values for nFKWp (70 %, 80 %, 90 % level) and the threshold values for soil erosion are disaggregated to a 10 m x 10 m grid for the four land uses arable land, grassland, special crops and forest. A data basis established as part of previous work (Fuchs et al. 2022) is used for this purpose.

In a final step, the four raster datasets generated for each utilisation category (BÜK 200) are transferred to the respective utilisation, taking into account the existing raster-related utilisation distribution (derived and abstracted on the basis of ATKIS-DLM).

As a result of the nationwide analysis, the significance threshold nFKWp70 is most frequently exceeded in the threshold value class  $\geq 12 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  in relation to the average long-term soil erosion. Areas with soil erosion  $> 13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  are included here, as soil erosion was limited to a maximum of  $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$ .

A comparison of the long-term average soil loss modelled at federal level and the significant soil loss shows that the significant soil loss is in particular exceeded on vineyards (37 %), followed by fruit-growing areas (13 %) and, at a considerable distance, arable land (2 %). The other land uses only account for a marginal proportion of the total area.

An exceedance of the possible precautionary threshold (nFKWp80) is calculated for 49 % of the vineyards, 20 % of the orchards and 4 % of the arable land. The threshold values for nFKWp90 are exceeded on 71 % of the vineyards, 36 % of the orchards and 12 % of the arable land. Explicit reference is made here to the limits of the informative value of the results when using ABAG for modelling the average long-term soil erosion. There are a number of scale-related uncertainties in the respective input data. For example, crop type spectra at district level were used to derive the C-factor for arable land (Bach et al. 2023). Crop types with an increased erosion risk (e.g. maize) are included proportionally in these crop type spectra and thus have an increasing effect on both the derived mean C-factor and the mean modelled soil erosion. However, averaging reduces the proportion of areas with higher soil erosion (e.g. under maize) and lower soil erosion (winter cereals) in relative terms in favour of areas with average soil erosion. All soil information was derived from the small-scale BÜK 200 (using the use-related profile associations stored there). The R-factors were disaggregated from a 1 km<sup>2</sup> grid (Fuchs et al. 2022). In addition, the ABAG only maps the soil erosion that occurs over a wide area.

The nationwide results are published in the web-based MoRE Toolbox (<https://stoffeintraege-more.de/>). In addition to the raster-based results, aggregations from the raster level to other evaluation geometry levels (e.g. districts, river basins, etc.) are carried out in the map and statistics module of the MoRE Toolbox as part of extensive post-processing routines.

## 1 Einführung und Zielsetzung

Der Abtrag von Boden durch Wasser und Wind (Bodenerosion) ist prinzipiell ein natürlich auftretender Prozess. Wichtige natürliche Faktoren, die das Auftreten von Bodenerosion beeinflussen sind:

- ▶ die natürliche Erosionsanfälligkeit der Böden (ausgehend von ihrer Beschaffenheit und Zusammensetzung),
- ▶ das Gelände (Gefälle und Hanglänge) und
- ▶ Niederschlag (Dauer und Intensität) und Wind (Geschwindigkeit und Richtung).

Bei natürlich ausgebildeter ganzjähriger Vegetationsbedeckung ist der Bodenabtrag aufgrund von Bodenerosion in der Regel sehr gering. Die anthropogene Nutzung der Böden, u. a. für die landwirtschaftliche Produktion, kann Bodenerosion erheblich verstärken. Wichtige bewirtschaftungsbedingte Einflussfaktoren sind:

- ▶ die Struktur der Landschaft und
- ▶ die Art der Bewirtschaftung wie
  - Bodenbedeckung (Grad und Dauer) u. a. bedingt durch die Kulturarten und die Fruchtfolgen und
  - Bodenbearbeitung.

Darüber hinaus wird angenommen, dass durch die zu erwartenden klimatischen Veränderungen, wie zunehmende Starkregenereignisse, das Risiko für Bodenerosion steigen wird (Auerswald et al. 2019).

Unmittelbare Folge von Bodenerosion auf den betroffenen Flächen ist ein Verlust fruchtbaren Oberbodens. Damit geht auch eine Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen, wie das Wasser- und Nährstoffspeichervermögen sowie die Fähigkeit, Schadstoffe zu filtern und abzubauen, einher. Geht fruchtbarer Boden schneller verloren als er neu entstehen kann, gefährdet dies langfristig die Ernährungssicherheit und generell die Funktionsfähigkeit der Böden.

Darüber hinaus kann das abgetragene Bodenmaterial sowohl benachbarte Ackerflächen als auch benachbarte Land- und Gewässerökosysteme, beispielsweise durch zusätzlichen Nähr- und Schadstoffeintrag, schädigen. Auch bei Infrastrukturen wie Siedlungs- und Verkehrsflächen, Kanalisationen und Stauhaltungen können durch die Ablagerung von Bodenmaterial hohe Sachschäden verursacht werden.

Zusammen genommen erfordert dies einen effizienten und umfassenden Erosionsschutz. Im deutschen Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) ist verankert, dass Einwirkungen auf den Boden, die schädliche Bodenveränderungen hervorrufen können, zu verhindern sind. Schädliche Bodenveränderungen sind dabei wie folgt definiert: „Schädliche Bodenveränderungen im Sinne dieses Gesetzes sind Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen“ (§ 2 Abs. 3 BBodSchG).

Die Vorsorgepflicht zur Verhinderung schädlicher Bodenveränderungen ist in § 7 BBodSchG geregelt. Für die Erfüllung der Vorsorgepflicht für landwirtschaftlich genutzte Flächen gelten die Vorgaben zur guten fachlichen Praxis nach § 17 BBodSchG. Für den Bereich Erosion gilt, dass



„...Bodenabträge durch eine standortangepasste Nutzung, insbesondere durch Berücksichtigung der Hangneigung, der Wasser- und Windverhältnisse sowie der Bodenbedeckung, möglichst vermieden werden...“ (§ 17 Absatz 2 (4) BBodSchG).

Bei drohenden schädlichen Bodenveränderungen sind Maßnahmen zu deren Abwehr (Gefahrenabwehr) zu ergreifen (§ 4 BBodSchG). Bezogen auf die Bodenerosion gilt nach § 9 BBodSchV, dass von einer schädlichen Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser oder Wind insbesondere dann auszugehen ist, „...wenn erhebliche Mengen Bodenmaterial von einer Erosionsfläche durch Oberflächenabfluss oder Abwehung abgetragen wurden und weitere erhebliche Bodenabträge zu erwarten sind.“ „Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser oder Wind ergeben sich insbesondere, wenn sich auf einer Fläche Erosionsformen oder -schäden in erheblichem Ausmaß zeigen oder außerhalb einer möglichen Erosionsfläche gelegene Bereiche durch erhebliche Mengen abgetragenen Bodenmaterials befrachtet wurden.“ (§ 9 Abs. 2 BBodSchV n.F.).

Allerdings sind für die Feststellung der Erheblichkeit erosiver Bodenabträge national derzeit keine verbindlichen Kriterien festgelegt. Dies wird auch in einem gemeinsamen Positionspapier von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) und der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) beschrieben (LABO/LAWA 2021). Die fehlende Konkretisierung (u. a. in der BBodSchV) hat dazu geführt, dass in den Bundesländern z. T. eigene Kriterien festgelegt und unterschiedliche Verfahren entwickelt und angewendet werden, um die Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wasser und Wind zu definieren und eine Bewertung mit Blick auf Vorsorge und Gefahrenabwehr gegen schädliche Bodenveränderungen vornehmen zu können. Vor diesem Hintergrund fordern LABO und LAWA in ihrem Positionspapier zur Stärkung des Vollzugs die Ableitung bundeseinheitlicher Kriterien und Normen zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen (LABO/LAWA 2021). Mit Blick auf dieses Defizit hat die LABO<sup>1</sup> den Ständigen Ausschuss "Vorsorgender Bodenschutz" (BOVA) gebeten, sich gemeinsam mit dem UBA der Frage der Konkretisierung der Erheblichkeit von Bodenerosion verstärkt zu widmen.

Darüber hinaus werden Vorgaben zu maximal tolerierbaren Bodenabträgen mit Blick auf die „Bodengesundheit“ auch auf EU-Ebene im Zusammenhang mit dem geplanten EU Soil Monitoring Law diskutiert. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, sich dieser Fragestellung nicht nur lokal auf der Vollzugsebene, sondern auch im nationalen Maßstab anzunehmen, um Aussagen treffen zu können. Hierfür ist nicht zuletzt die Verfügbarkeit harmonisierter Daten und Informationen eine wichtige Grundlage. Als harmonisierte Datengrundlage, die bundesweit flächendeckend verfügbar ist, liegt die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1: 200.000 (BÜK 200) vor. Mittel- bis langfristig könnten entsprechende Aussagen auch zur Konkretisierung der in der BBodSchV verankerten materiellen Anforderungen herangezogen werden.

Die Ergebnisse zur Beurteilung der Erheblichkeit auf den unterschiedlichen Betrachtungsebenen sollten Hand in Hand gehen und sich nicht widersprechen. Ziel dieses Projektes ist es, einen skalenübergreifend anwendbaren, harmonisierten methodischen Ansatz zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabtrag, insbesondere für die Gefahrenabwehr schädlicher Bodenveränderungen, zu entwickeln. Dieser Ansatz soll sowohl im Vollzug als auch auf Bundesebene anwendbar sein. Negative Effekte des Bodenverlustes sollen in Bezug auf die Nutzbarkeit ackerbaulicher Flächen Berücksichtigung finden. Die Kennwerte für die Einschätzung/Bewertung der Erheblichkeit des erosiven Bodenabtrags sollten mit Blick auf die

<sup>1</sup> 60. Sitzung (22./23. September 2021); TOP G3, Beschluss-Punkt 3: „Die LABO bittet den BOVA, sich gemeinsam mit dem UBA weiter mit der Konkretisierung der Kriterien zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen zu befassen.“

Anforderungen im BBodSchG die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Böden berücksichtigen. Im Fokus der Betrachtung stehen die natürlichen Bodenfunktionen

- ▶ Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- ▶ Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
- ▶ Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers

sowie die Nutzungsfunktion (Ertragsfunktion)

- ▶ Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung.

Maßzahlen zur Bewertung einer erheblichen Beeinträchtigung der genannten Bodenfunktionen im Sinne einer Operationalisierung fehlen bisher.

Für den Austausch und die Diskussion der fachlichen Grundlagen und deren Umsetzbarkeit wurde ein Projektbegleitkreis eingerichtet. Die Diskussionsergebnisse wurden regelmäßig im BOVA vorgestellt.

Im Ergebnis der Arbeiten soll ein harmonisierter methodischer Ansatz für die Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen vorliegen, der gleichermaßen im Vollzug und für übergreifende Fragestellungen, z. B. im Kontext des European Green Deals und des Soil Monitoring Law, nutzbar sein soll.

Für die bundesweite Betrachtung sollen die Ergebnisse in einen bestehenden, öffentlich verfügbaren, Kartenviewer ([MoRE-DE Toolbox \(stoffeintraege-more.de\)](https://more-de-toolbox.stoffeintraege-more.de)) integriert werden.

## 2 Bestehende Ansätze zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wassererosion

### 2.1 Erheblichkeit bezogen auf den langjährigen mittleren Bodenabtrag

Viele der aktuell in den Bundesländern entwickelten und umgesetzten Ansätze zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wassererosion orientieren sich an den Arbeiten von Schwertmann et al. (1990), basierend auf der Bodenzahl (BZ) der Bodenschätzung<sup>2</sup>.

Schwertmann et al. (1990) definieren sogenannte Toleranzgrenzen für den langjährigen mittleren Bodenabtrag ( $t/ha \cdot a^{-1}$ ) bei deren Einhaltung das natürliche Ertragspotenzial nicht entscheidend geschwächt wird. Sie gehen dabei von einem Betrachtungszeitraum von 300-500 Jahren aus. Die Toleranzgrenze ist die Schwelle, ab der Maßnahmen zur Minderung von Bodenerosion notwendig werden. Je nach Bodencharakteristik werden unter Berücksichtigung der Gründigkeit (max. bis 100 cm), der Zustandsstufe, der Bodenzahl aus Daten der Bodenschätzung (Zustandsstufe und Acker- bzw. Grünlandzahl) sowie der Bodenart insgesamt vier Toleranzgrenzen-Stufen ausgewiesen. Der von Schwertmann et al. (1990) definierte Bewertungsrahmen reicht von  $1 t/ha \cdot a^{-1}$  Bodenabtrag für flachgründige Standorte bis zu  $10 t/ha \cdot a^{-1}$  Bodenabtrag für Standorte mit einer Gründigkeit  $> 1 m$  (Tabelle 1). Schwertmann et al. (1990) ermitteln anhand der linearen Korrelation der Gründigkeit und den vier definierten Toleranzgrenzen (anhand von 893 Profilbeschreibungen in Bayern) eine Beziehung zwischen Toleranzgrenze und Ertragsmesszahl (Acker- bzw. Grünlandzahl), die zur stufenlosen Bestimmung der Toleranzgrenze aus der durch acht („8“) geteilten Acker- bzw. Grünlandzahl führt.

**Tabelle 1: Toleranzgrenzen für den erheblichen Bodenabtrag nach Schwertmann et al. (1990)**

Toleranzgrenze $t/ha \cdot a^{-1}$	Gründigkeit	Tiefe in cm	Zustandsstufe Bodenschätz. (Acker)	Bodenzahl Bodenschätz. (Acker)	Häufige Bodenformen
1	flach	< 30	Häufig 6-7 (V, Vg, D)	meist < 35	Rendzinen, Pararendzinen, Ranker aus Festgestein und Ranker aus stark steinigem Lockergestein (Moränen, Schotter)
3	mittel	30-60	Häufig 5-4	35-50 bei sL, L, LT bis 60 bei S, SL auch < 35	Tiefgründige Rendzinen, tiefgründige Pararendzinen, Ranker aus Festgestein; Pararendzinen und Regosole aus feinkörnigem Lockergestein (Löss, Flugsand); Braunerden, Parabraunerden, Pelosol-Braunerden und Pelosole aus Deckschichten in Ober- bis Mittelhanglage
7	tief	60-100	4-2	bei SL, L, LT > 60	Braunerden, Parabraunerden, Regosol-Braunerden aus gering-mächtigen

<sup>2</sup> Die Bodenzahlen für Acker verdeutlichen die durch Bodenbeschaffenheit (Bodenarten, geologische Herkunft, Zustandsstufen) bedingten Ertragsunterschiede. Die Ackerzahlen werden durch Zu- oder Abschläge von der Bodenzahl nach dem Einfluss von Klima, Geländegestaltung u. a. auf die Ertragsbedingungen ausgewiesen. Die Grünlandgrundzahl wird nach den Kriterien Bodenart, Zustandsstufe (Bodenstufe), Klima- und Wasserstufe festgelegt und letztlich wird durch Zu- oder Abschläge die Grünlandzahl ermittelt. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/boden100er.html>

Toleranzgrenze t/ha*a <sup>-1</sup>	Gründigkeit	Tiefe in cm	Zustandsstufe Bodenschätz. (Acker)	Bodenzahl Bodenschätz. (Acker)	Häufige Bodenformen
				Bei IS, SL > 50	Deckschichten in Mittel- bis Unterhanglage; Braunerden, Parabraunerden aus mächtigeren Deckschichten (Löss, Lösslehm, Fließerden)
10	sehr tief	> 100	3-1 (4)	bei sL, L, LT > 60  bei IS, SL > 50	Braunerden, Parabraunerden aus mächtigeren Deckschichten (Löss, Lösslehm, Fließerden) in Unter- bis Mittelhanglage sowie auf weitflächigen, örtlich schwach geneigten Verebnungen

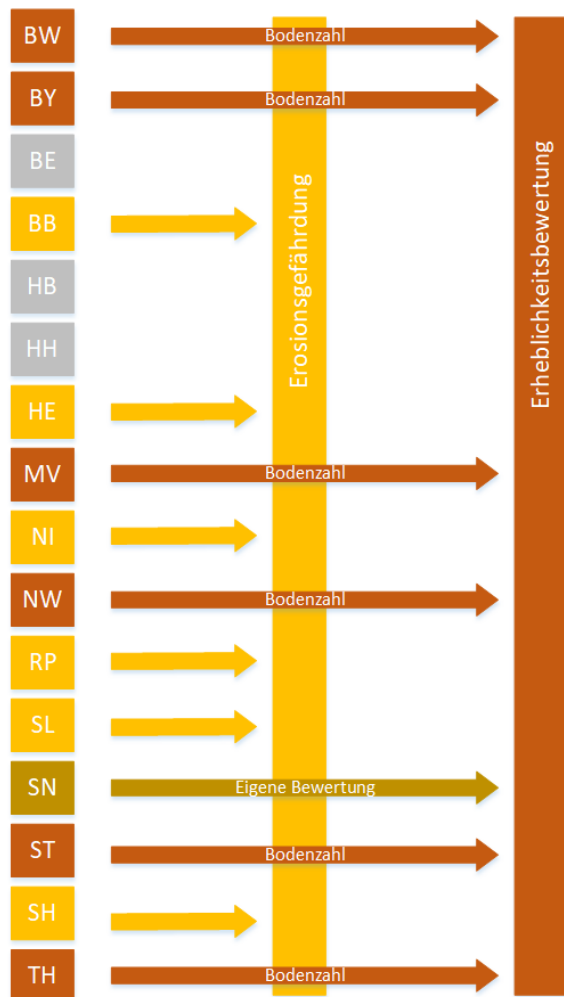
V= Verwitterungsböden; Vg= Verwitterungsböden mit hohem Gehalt an Kies, Grus oder Steinen; D= Diluvialböden; S= Sand; Sl= anlehmiger Sand; IS= lehmiger Sand; SL= stark lehmiger Sand; sL= sandiger Lehm; L= Lehm; LT= schwerer Lehm

Im Folgenden findet sich eine Zusammenfassung der in den unterschiedlichen Bundesländern entwickelten und umgesetzten methodischen Ansätze zur Bewertung der Erheblichkeit von Bodenabträgen (Status Quo; Abbildung 1).

Einige Bundesländer wie Brandenburg (MLUR 2002), Hessen (LLH 2006), Schleswig-Holstein (LfU 2022), Saarland (Landesregierung Saarland 2011), Rheinland-Pfalz (LGB 2017) und Niedersachsen (LBEG 2017) leiten lediglich die Wassererosionsgefährdung anhand der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) nach DIN 19708 (2005) ab und haben darüber hinaus keine Ansätze zur Beurteilung des erheblichen Bodenabtrags (Abbildung 1 und Anhang A.1, Tabelle A-1 1). Für die Bundesländer Berlin, Bremen und Hamburg konnten keine Angaben zur Beurteilung des erheblichen Bodenabtrags oder zur Ableitung der Erosionsgefährdung gefunden werden.

Andere Bundesländer verwenden den Ansatz von Schwertmann et al. (1990) (BZ/8), um aus dem langjährigen mittleren Bodenabtrag den Handlungsbedarf für das Schutzgut Boden abzuleiten und zu beurteilen (Anhang A.1, Tabelle A-1 2). Hierzu gehören die Bundesländer Baden-Württemberg (LUBW 2011), Nordrhein-Westfalen (LWK 2007), Mecklenburg-Vorpommern (MKLLU MV 2016), Sachsen-Anhalt (LLG 2018), Bayern (LfL und LfU 2012) und Thüringen (Schindewolf 2019). Die Bodenzahl wird als Maß für die Gründigkeit des Bodens angesehen. Je tiefgründiger ein Boden, desto geringer sind die Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen und der Produktionsfunktion durch Bodenabtrag (LUBW 2011). Baden-Württemberg (LUBW 2011) und Mecklenburg-Vorpommern (MKLLU MV 2016) verwenden das gleiche Bewertungsschema. Für den langjährigen mittleren Bodenabtrag nach der ABAG gilt ein Bodenabtrag > BZ/4 als erheblich. Es wird ein maximal erlaubter Abtrag von 13 t/ha\*a<sup>-1</sup> festgesetzt und die Wiederkehrwahrscheinlichkeit berücksichtigt (LUBW 2011, MKLLU MV 2016). Nordrhein-Westfalen (LWK 2007), Sachsen-Anhalt (LLG 2018) und der Bundesverband Boden (BVB 2004) definieren den Schwellenwert für den langjährigen mittleren Bodenabtrag, ab dem Maßnahmen der Gefahrenabwehr sofort notwendig sind, bei > BZ/2. Gegebenenfalls können aber bereits bei einem Bodenabtrag zwischen > BZ/4 und < BZ/2 bei Gefahrenverdacht Maßnahmen der Gefahrenabwehr notwendig sein.

**Abbildung 1: Status Quo der Bundesländer zur Bewertung der Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wassererosion**



Quelle: eigene Darstellung, KIT

Mosimann et al. (1991) ermitteln Richtwerte zur Bestimmung der Dringlichkeit von Maßnahmen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit für verschiedene jährliche Bodenabtragsraten, bezogen auf den Zeitraum von 80 Jahren. Eine Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit, die Schutzmaßnahmen nötig macht, wird dabei für mittlere jährliche Bodenabträge in einer Größenordnung von 5 bis 10 t/ha als gegeben angesehen.

Eine Anpassung der in Mosimann et al. (1991) diskutierten Schwellenwerte wurde von LLG (o.J.) aufgegriffen. Als Rahmen wird beispielhaft eine Tiefe der gründigen Zone von 80 cm, eine Lagerungsdichte von  $1,4 \text{ g/cm}^3$  und ein Betrachtungszeitraum von 100 Jahren angenommen. In Abhängigkeit vom Bodenverlust in cm und einem definierten Zeitraum können Schwellenwerte des mittleren jährlichen Bodenabtrags für die Bewertungsstufen von Maßnahmen zur Vorsorge und zur Gefahrenabwehr abgeleitet werden. Aus dieser Einstufung leitet sich mit zunehmendem Bodenverlust eine zunehmende Anforderung an die Gefahrenabwehr ab (Meesenburg et al. (2020)). In Sachsen-Anhalt wird dieser Ansatz anhand der Bodenzahl und unter der Angabe einer sogenannten Kappungsgrenze (zu verstehen als maximal erlaubter Abtrag) operationalisiert, um den Handlungsbedarf für Vorsorge und Gefahrenabwehr zu formulieren (LLG 2018):

- ▶ keine Maßnahmen erforderlich:  $< BZ/8$ ; Kappungsgrenze  $7 \text{ t/ha}^* \text{a}^{-1}$ ,
- ▶ Vorsorgemaßnahmen sind empfehlenswert:  $> BZ/8$  und  $< BZ/4$ ; Kappungsgrenze  $13 \text{ t/ha}^* \text{a}^{-1}$ ,
- ▶ Vorsorgemaßnahmen sind notwendig; bei Gefahrenverdacht ggf. Maßnahmen zur Gefahrenabwehr:  $> BZ/4$ ; Kappungsgrenze  $13 \text{ t/ha}^* \text{a}^{-1}$  und
- ▶ Maßnahmen zur Gefahrenabwehr sind sofort notwendig:  $> BZ/2$ .

Sachsen (LfULG 2013) entwickelte ein eigenes Bewertungssystem (Anhang A.1, Tabelle A-1 3), da Sachsen die Verwendung der Bodenzahl zur Bewertung des erheblichen Bodenabtrags und somit den Schwertmann-Ansatz kritisiert. Der Bodenabtrag sollte bei der Beurteilung im Mittelpunkt stehen und nicht die vor Ort anzutreffende Bodenzahl, denn auf großen Ackerschlägen kann die Bodenzahl erheblich variieren. Dann ist kaum eine Zuordnung von Teilmengen des Abtrags zu Teilflächen mit unterschiedlichen Bodenzahlen möglich. Zudem sollte nicht nur die Beeinträchtigung der Produktionsfunktion berücksichtigt werden, sondern die Beeinträchtigung aller Bodenfunktionen. Sachsen verwendet folgendes Bewertungssystem für mittlere langjährige Bodenabträge nach ABAG:

- ▶ in der Regel keine besonderen Maßnahmen erforderlich:  $< 2 \text{ t/ha}^* \text{a}^{-1}$ ,
- ▶ Vorsorgemaßnahmen gegen Bodenerosion notwendig:  $2-13 \text{ t/ha}^* \text{a}^{-1}$ ,
- ▶ Maßnahmen zur Gefahrenabwehr notwendig:  $> 13 \text{ t/ha}^* \text{a}^{-1}$ .

Nordrhein-Westfalen (LWK 2007) definiert ebenfalls nicht nur die Grenze des erheblichen Bodenabtrags zur Gefahrenabwehr, sondern leitet daraus auch ein Bewertungsschema für den langjährigen mittleren Bodenabtrag ab:

- ▶ in der Regel kein Handlungsbedarf:  $< BZ/8$ ,
- ▶ Beratung im Sinne der Vorsorge empfehlenswert:  $> BZ/8$  und  $< BZ/4$ ,
- ▶ Beratung im Sinne der Vorsorge dringend notwendig:  $> BZ/4$  und  $< BZ/2$ ,
- ▶ Gefahrenverdacht ist in der Regel begründet:  $> BZ/2$ .

Sobald in einer Stufe ein Gefahrenverdacht besteht, sind weitere Untersuchungen und ggf. Maßnahmen zur Gefahrenabwehr notwendig.

In allen hier betrachteten Ansätzen ist die Gründigkeit und deren Minderung durch Bodenverlust der wesentliche Parameter zur Ableitung von Schwellenwerten zur Umsetzung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr für das Schutzgut Boden.

Es wird deutlich, dass die Schwelle von Schwertmann et al. (1990) ( $BZ/8$ ) in allen Bundesländern lediglich zur Empfehlung von Vorsorgemaßnahmen verwendet wird. Die Schwelle für die Gefahrenabwehr wird erst bei deutlich höheren Bodenabträgen erreicht.

## 2.2 Erheblichkeit bezogen auf Einzelereignisse

Mit Blick auf den Vollzug und die Gefahrenabwehr steht die Bewertung von Einzelereignissen im Fokus. Auch in diesem Fall stützen sich die bestehenden Vorgehensweisen häufig auf die Arbeit von Schwertmann et al. (1990).

Die Bundesländer Baden-Württemberg (LUBW 2011) und Mecklenburg-Vorpommern (MKLLU MV 2016) bewerten einen Bodenabtrag für Einzelereignisse sowohl aus flächenhafter Erosion als auch aus Erosionsrinnen und Grabenerosion als erheblich, wenn dieser  $> BZ/2$  ist (Anhang A.1, Tabelle A-1 2).

Bayern (LfL und LfU 2012) bewertet ebenfalls Einzelereignisse mit  $BZ/2$  als erheblich, wenn auf einer Fläche von mindestens 0,5 ha eine flächige Erosion mit Rillen- und Rinnenbildung stattfindet oder eine Grabenerosion bis in den Unterboden auf über 50 m Länge vorhanden ist (Anhang A.1, Tabelle A-1 2).

In Sachsen (LfULG 2013) wird die Erheblichkeit von Einzelereignissen ab einem Schwellenwert von  $> 25$  t/ha definiert (Anhang A.1, Tabelle A-1 3). Die Feststellung erfolgt auf Basis von Geländeaufnahmen oder durch Modellierung des Bodenabtrags aus Erosionsrillen und Erosionsrinnen (Schrödter 2013).

### 2.3 Zusammenfassung

Die aktuell in einigen Bundesländern entwickelten und umgesetzten Ansätze zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wassererosion orientieren sich vielfach an den Arbeiten von Schwertmann et al. (1990). Im Detail ist die Vorgehensweise nicht einheitlich und die Verfahren weichen mehr oder weniger deutlich voneinander ab. In anderen Bundesländern ist keine einheitliche Verfahrensweise zur Beurteilung der Erheblichkeit beschrieben. Gemäß BBodSchG leitet sich die Notwendigkeit zur Vermeidung von Bodenerosion im Sinne der Gefahrenabwehr aus dem Schutz der Bodenfunktionen bzw. der Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Böden ab. Der Ansatz von Schwertmann et al. (1990) orientiert sich hauptsächlich an dem Bodenkennwert der Gründigkeit. Zur Beschreibung sowohl der natürlichen Bodenfunktionen als auch der Nutzungsfunktion bzw. ihrer Beeinträchtigung durch erosiven Bodenabtrag, empfiehlt es sich, weitere die Bodenfunktionen beschreibende Bodenkennwerte in die Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenerosion, einzubeziehen. Die von einigen Ländern über die Gefahrenabwehr hinaus angewendete Einteilung in verschiedene Maßnahmenstufen zur Vorsorge erscheint ebenfalls sinnvoll. Auch die Berücksichtigung von Schwellenwerten für einen maximal erlaubten Abtrag (sogenannte Kappungsgrenze) soll sich im hier entwickelten harmonisierten Ansatz in geeigneter Weise wiederfinden (siehe z. B. LMS Agrarberatung GmbH 2014, LfULG 2013, LUBW 2011).

### 3 Bodenkennwerte zur Feststellung der Erheblichkeit

Ob ein erosiver Bodenabtrag als erheblich anzusehen ist, hängt von den Bodeneigenschaften am Standort ab und ist daher standortbezogen zu ermitteln. Erosiver Bodenabtrag beeinträchtigt letztlich alle im BBodSchG genannten natürlichen Bodenfunktionen und die Funktion als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung (Ertragsfunktion). Ziel muss es sein, für die Feststellung der Erheblichkeit des erosiven Bodenabtrags Bodenkennwerte auszuwählen, welche auch in der Bodenfunktionsbewertung eine wichtige Rolle spielen, da ihre Veränderungen die Funktionalität unmittelbar beeinflussen.

#### 3.1 Auswahl der Bodenkennwerte

Um die Bodenkennwerte für die Feststellung der Erheblichkeit von erosiven Bodenabträgen auszuwählen, wurden die folgenden Auswahlkriterien diskutiert und festgelegt:

- ▶ Die Kennwerte sollen für die Feststellung der Erheblichkeit sowohl für Einzelereignisse als auch für langjährige mittlere Bodenabträge (ABAG) anwendbar sein.
- ▶ Die Kennwerte sollen die Auswirkung des Bodenabtrags auf die natürlichen Bodenfunktionen und die Funktion als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung berücksichtigen.
- ▶ Die Kennwerte sollen in ihrer Ausprägung in einem ursächlichen Zusammenhang zum Bodenabtrag stehen und auf den Verlust an Boden direkt reagieren.
- ▶ Die Veränderung eines Kennwertes durch Bodenabtrag soll gleichgerichtet sein, d. h., dass aus einem höheren Bodenabtrag eine stärkere Verschlechterung des Kennwertes resultiert.
- ▶ Die Kennwerte sollen mit Blick auf die skalunenabhängige Anwendbarkeit der Methode gleichermaßen aus Geländebefunden, aus großmaßstäbigeren sowie aus kleinmaßstäbigen Kartenwerken (z. B. Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 – BÜK 200) ableitbar bzw. erfassbar sein.
- ▶ Die Kennwerte sollen (abgeleitet) metrisch skalierbar sein.

Auf Basis der genannten Kriterien wurden zwei originär ableitbare Bodenkennwerte ausgewählt:

- ▶ Gründigkeit ( $W_p$ ) und
- ▶ nutzbare Feldkapazität ( $n_{FK}$ ),

die anschließend zu einem integrierten, funktionalen Bodenkennwert, der **summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone**, zusammengeführt wurden.

Auf eine separate Bewertung einzelner Bodenkennwerte und eine anschließende gewichtete Zusammenführung der Einzelbewertungen zu einer Gesamtbewertung kann somit verzichtet werden. Die nicht zu vermeidende Subjektivität einer gewichteten Betrachtung wird somit umgangen. Ein solches Vorgehen wäre auch problematisch, weil zu wenige Informationen vorliegen, um eine valide, begründbare Gewichtung der einzelnen Kennwerte zu ermöglichen. Eine Operationalisierung der Bodenfunktionen liegt bisher nicht vor. Darüber hinaus sind viele der einzelnen Bodenkennwerte eng miteinander verbunden bzw. voneinander abhängig und verknüpft mit den gleichen bzw. mehreren Bodenteilfunktionen. Das erschwert es einerseits,



Doppelnennungen und besonders eine Übergewichtung einzelner Bodenkennwerte zu vermeiden. Andererseits können die einzelnen Kennwerte nur parallel betrachtet werden, sodass nur Teilmengen von Bodenfunktionen bewertet werden können. Das wiederum schwächt die Transparenz und die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Dies ist insbesondere aber mit Blick auf eine mögliche Nutzung im Sinne von Vollzugsaufgaben und die daraus resultierende notwendige Rechtssicherheit des methodischen Vorgehens sehr wichtig.

Die Ableitung eines integrierten Bodenkennwertes ist hingegen transparent und im Sinne der Herstellung von Rechtssicherheit durch die funktionale Ableitung aus den beiden einzelnen Bodenkennwerten eindeutig nachvollziehbar. Sowohl die beiden Bodenkennwerte als auch der abgeleitete integrierte Kennwert werden im Folgenden kurz beschrieben, insbesondere auch hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Bodenfunktionen.

### 3.2 Gründigkeit (Durchwurzelbarkeit)

Unter der physiologischen Gründigkeit ( $W_p$ ) wird nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5) der Ad-hoc-AG Boden (2005) die Mächtigkeit des Lockermaterials eines Bodens verstanden, in das Pflanzenwurzeln ohne Schwierigkeiten eindringen können. Die Gründigkeit wird gemäß Bug et al. (2020) und Ad-hoc-AG Boden (2005) begrenzt durch den terrestrischen Untergrund (unverwittertes Locker- oder Festgestein; Cn-Horizont), stark und sehr stark verfestigte Horizonte (Verfestigungsgrad Vf4 (fest) oder Vf5 (sehr fest)), stark grundwasserbeeinflusste oder organische Horizonte (Gr- und Hr-Horizonte) sowie Horizonte mit einem Grobbodenanteil von 75 Vol.-% und mehr. Die Gründigkeit eines Bodens wird beispielsweise in dm angegeben.

Die Gründigkeit bzw. durchwurzelbare Tiefe eines Bodens ist ein Bodenkennwert von zentraler Bedeutung für die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Pflanzen (Ad-hoc-AG Boden 2005). Die Gründigkeit wird durch erosiven Bodenabtrag unmittelbar beeinträchtigt. Erosion greift an der Bodenoberfläche an und verringert durch den Abtrag von Boden die durchwurzelbare Tiefe eines Bodens und damit seine Gründigkeit und beeinträchtigt die genannten Bodenfunktionen. Je geringer die gegebene Gründigkeit eines Bodens ist, desto weniger erosiver Bodenabtrag darf zum Schutz des Bodens und seiner Funktionen erfolgen.

Die Gründigkeit steht in engem Zusammenhang mit den folgenden wichtigen Bodenkenngrößen:

- ▶ effektive Durchwurzelungstiefe ( $W_e$ ),
- ▶ Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKWe),
- ▶ nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) und
- ▶ pflanzenverfügbares Bodenwasser ( $W_{pfl}$ ).

Damit hat die Gründigkeit Einfluss auf die folgenden natürlichen Bodenteilfunktionen:

- ▶ Wasserbindung und Wasserrückhalt,
- ▶ Speichervermögen/Rückhalt für Nährstoffe,
- ▶ Filterwirkung/Rückhalt für Schadstoffe und
- ▶ Klimafunktionen (z. B.  $CO_2$ -Bindung).

Der bei der nachfolgenden Beschreibung des methodischen Ansatzes verwendete Begriff „gründige Zone“ ist gleichzusetzen mit der physiologischen Gründigkeit.

### 3.3 Nutzbare Feldkapazität

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) ist ein Kennwert für die gegen die Schwerkraft rückhaltbare und von Pflanzen nutzbare Wassermenge sowie für die Fähigkeit, im Bodenwasser gelöste Stoffe (Nähr- und Schadstoffe) zu halten. Damit ist die nFK u. a. von ökologischer Bedeutung für den Wasserhaushalt, die Wasserversorgung von Pflanzen, die Nährstoffbindung und den Schadstoffrückhalt von Böden (DWA 2016, Ad-hoc-AG Boden 2005). Die nFK wird angegeben in mm/dm oder Volumen-%.

Die nFK von Mineralböden ist abhängig von den folgenden, für ihre Ableitung herangezogenen Bodenkennwerten:

- ▶ Feinbodenart,
- ▶ Grobbodengehalt,
- ▶ Lagerungsdichte und
- ▶ Humusgehalt.

Für alle Feinbodenarten zeigt sich ein Anstieg der nFK mit zunehmender Humusstufe (DWA 2016) und eine Abnahme der nFK mit zunehmender Lagerungsdichte.

Die nFK wird durch erosiven Bodenabtrag ebenfalls unmittelbar beeinträchtigt, da verstärkt humoser Feinboden (Oberboden) verloren geht und damit i. d. R. ein Absinken der nFK einhergeht.

Die nFK geht in die folgenden Boden-Kenngrößen ein:

- ▶ nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) und
- ▶ pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl).

Sie beeinflusst auch die Sickerwasserrate, die Grundwasserneubildung, die Filterwirkung des Bodens und letztlich die Bodenfruchtbarkeit. Damit hat die nFK Einfluss auf die folgenden natürlichen Bodenteilfunktionen:

- ▶ Abflussregulierung und allgemeine Wasserhaushaltsverhältnisse, insbesondere die Wasserbindung,
- ▶ Speichervermögen/Rückhalt für Nährstoffe und,
- ▶ Filterwirkung/Rückhalt für Schadstoffe.

Der Kennwert nFK steht in Verbindung mit allen im BBodSchG genannten natürlichen Bodenfunktionen sowie der Nutzungsfunktion als Standort für die Land- und Forstwirtschaft.

### 3.4 Summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone

Um den Informationsgehalt der beiden Bodenkennwerte „Gründigkeit“ und „nutzbare Feldkapazität“ zu verknüpfen, wird in einem integrierenden Schritt die **summarische nutzbare**

**Feldkapazität in der gründigen Zone (mm)** abgeleitet. Dieser Parameter soll als Beurteilungsgrundlage für die Erheblichkeit von erosivem Bodenabtrag dienen. Im vorliegenden Dokument wird für diesen Parameter die Abkürzung **nFKWp** verwendet. Die nFKWp integriert zahlreiche Kennwerte, die in der bodenfunktionalen Bewertung eine zentrale Rolle einnehmen.

Die schematische Ableitung von nFKWp sowie deren Einordnung in den Kontext der Bodenfunktionsbewertung und dem gemäß BBodSchG definierten Schutz der Bodenfunktionen vor erheblichen Beeinträchtigungen vermittelt Abbildung 2.

Zur Ableitung der nFKWp wird in einem ersten Schritt für den Tiefenbereich der gründigen Zone anhand der Vorgaben der KA5 (Tabelle 74 (Ad-hoc-AG Boden 2005)) die nFK für jeden einzelnen Bodenhorizont (bis zum Erreichen der Untergrenze der gründigen Zone) bestimmt. Grundlage bilden die Bodendaten zu Feinbodenart, Lagerungsdichte, Humusgehalt und Grobbodengehalt. Die Mächtigkeit des untersten Horizontes wird dabei durch die Tiefe der gründigen Zone begrenzt. Um die oberen Bodenhorizonte (insbesondere auch den Oberboden), deren Funktionalität besonders stark durch Bodenabtrag gemindert wird, stärker berücksichtigen zu können, wird vorgeschlagen, die maximal betrachtete gründige Zone auf 1 Meter Tiefe zu beschränken.

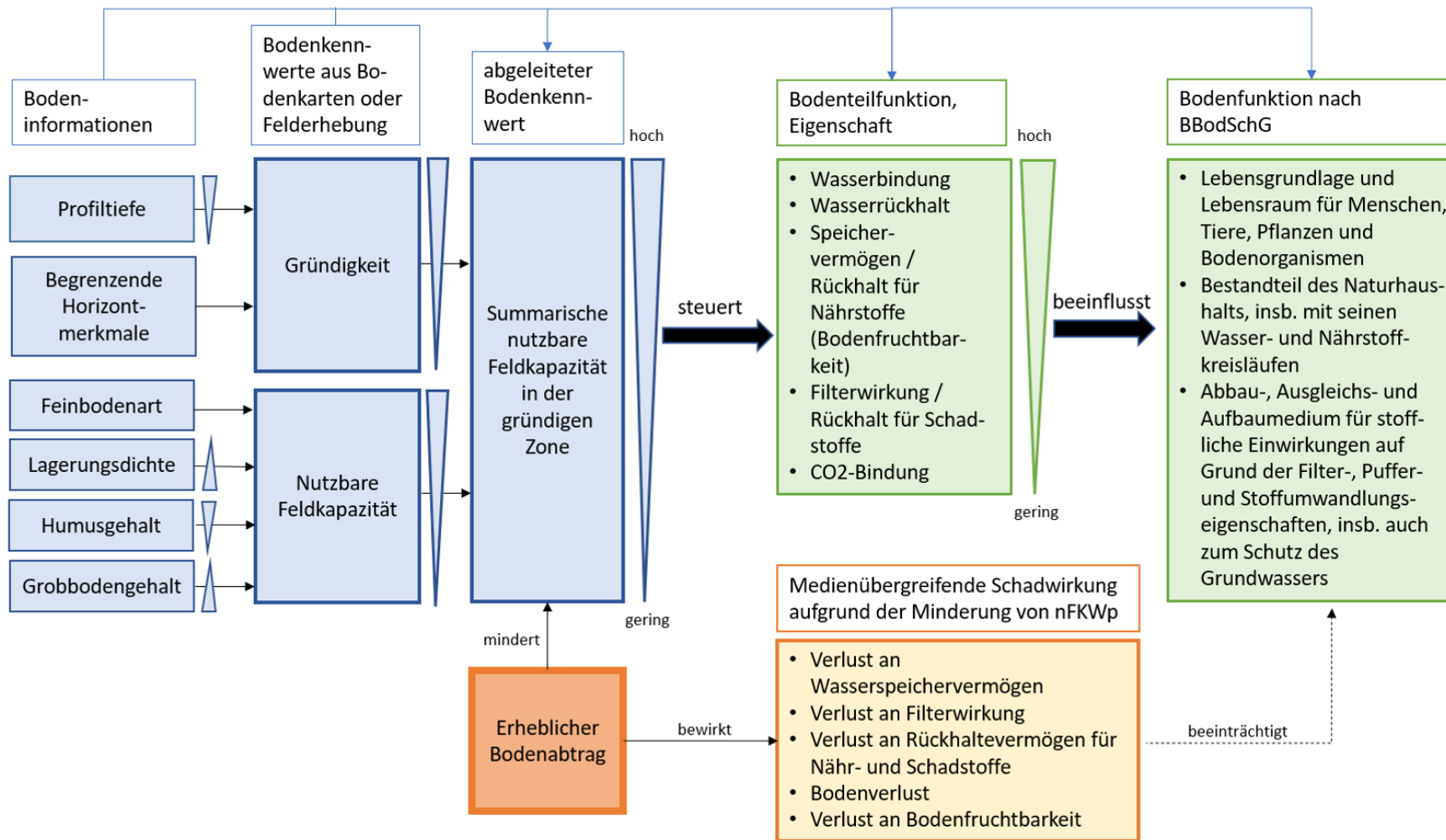
In einem zweiten Schritt wird aus den horizontbezogenen nFK-Werten die nFK über die gründige Zone unter Berücksichtigung der jeweiligen Horizontmächtigkeiten abgeleitet.

Die nFKWp variiert in Abhängigkeit von der Tiefe der gründigen Zone und der jeweils vorliegenden mittleren nFK der gründigen Zone, wie Tabelle 2 beispielhaft für die vier Klassengrenzen der nFK (siehe KA5, Tabelle 74 (Ad-hoc-AG Boden 2005)) sowie angenommenen Werten der Wp von 30 bis 100 cm zeigt.

**Tabelle 2: Summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) in mm für Bodenprofile unterschiedlicher Gründigkeit (Wp)**

nFK in mm/dm	Wp 30 cm	Wp 60 cm	Wp 100 cm
6	18	36	60
14	42	84	140
22	66	132	220
30	90	180	300

**Abbildung 2: Schema zur Ableitung des integrierten Parameters summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) und Einordnung in den Kontext der Bodenfunktionsbewertung und dem gemäß BBodSchG definierten Schutz der Bodenfunktionen vor erheblichen Beeinträchtigungen**



Quelle: eigene Darstellung, VisDat und KIT.

## 4 Ausweisung von Schwellenwerten

In einem nächsten Schritt ist für die Beurteilung der Erheblichkeit auf Grundlage des Kennwertes summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) ein grundsätzlicher Schwellenwert festzulegen (Verlust nFKWp) ab dem der erosive Bodenabtrag als erheblich einzuschätzen ist. Dieser Schwellenwert sollte repräsentieren, bis zu welchem Verlustwert an nFKWp die natürlichen Bodenfunktionen und das Ertragspotenzial nicht entscheidend geschwächt werden. Die Herleitung dieser grundsätzlichen Erheblichkeitsschwelle wird im Folgenden beschrieben. Darüber hinaus wird empfohlen, Höchstgrenzen des erheblichen Bodenabtrags festzulegen, um insbesondere sehr tiefgründige Böden vor zu starken Bodenabträgen zu schützen.

### 4.1 Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle für nFKWp

Das Vorgehen zur Herleitung der Erheblichkeitsschwelle orientiert sich an den in einzelnen Bundesländern bereits angewendeten Ansätzen. Ausgangspunkt ist der in einigen Ländern festgelegte Wert des maximal erlaubten Bodenabtrags (bezogen auf den langjährigen mittleren Bodenabtrag) von  $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$ . Dieser Wert wurde basierend auf den folgenden Annahmen abgeleitet:

- ▶ Betrachtungszeitraum von 300 Jahren (Schwertmann et al. 1990 legen in ihren Betrachtungen einen Zeitraum von 300-500 Jahren zu Grunde) und
- ▶ einer moderaten Lagerungsdichte (LD) von  $1,3 \text{ g/cm}^3$  (Untergrenze von LD2 nach Ad-hoc-AG Boden 2005, Tabelle 20, S. 125).

Daraus resultiert bei einer jährlichen Abtragsrate von 1 t Boden pro ha eine Profilverkürzung von 0,08 mm/a und damit in 300 Jahren eine Reduzierung der Gründigkeit (Profilverkürzung) um insgesamt 2,3 cm. In Abbildung 3 wurden diese Annahmen exemplarisch für drei Profile mit unterschiedlicher Gründigkeit (30 cm, 60 cm und 100 cm) dargestellt.

Gemäß diesen Annahmen führt somit der Abtrag von  $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  in 300 Jahren zu einer Profilreduzierung von 30 cm. Wird die Reduzierung der nFKWp mit zunehmendem Bodenabtrag analog zum Rückgang der Gründigkeit ermittelt, ergibt sich eine Reduzierung von nFKWp, die prozentual dem Verlust an Gründigkeit entspricht (Abbildung 3, rechte Spalte). Beide Kennwerte werden demzufolge gleichermaßen bewertet. Das bedeutet, 70 % der nFKWp wären noch vorhanden.

Auf Grundlage dieser Annahmen wird als grundsätzlicher **Schwellenwert für die Erheblichkeit der Wert nFKWp70** vorgeschlagen. Das entspricht einer maximalen Profilverkürzung von 30 cm bzw. der maximalen Reduzierung der nFKWp um 30 %. Das bedeutet, ab einem erosiven Verlust von  $> 30 \%$  der nFKWp (nFKWp30, maximaler Verlustwert) ist der Bodenabtrag als erheblich einzustufen. Dieser Wert repräsentiert somit die Erheblichkeitsschwelle bei deren Überschreitung durch den Bodenabtrag eines erosiven Ereignisses sofort Maßnahmen zur Gefahrenabwehr einzuleiten sind. Im Umkehrschluss folgt diese Annahme dem Grundansatz, dass mindestens 70 % der nFKWp (nFKWp70) des Bodenprofils erhalten bleiben müssen, damit die natürlichen Bodenfunktionen und das Ertragspotenzial nicht entscheidend geschwächt werden.

Diese Schwellenwerte nFKWp70 bzw. der maximale Verlustwert nFKWp30 bilden die Grundlage für die Ableitung der standortspezifischen Erheblichkeitsschwellen für die Bewertung.

**Abbildung 3: Ableitung der Erheblichkeitsschwelle (orange) für die summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) in mm (beispielhaft)**

Dauer (Jahre)	Jährliche Abtragsrate bei Ld 1,3		Gesamt- abtrag cm	Gründigkeit nach 300 Jahren in cm			Gründigkeit nach 300 Jahren in %			nFKWp nach 300 Jahren in %		
	t/ha/a	mm		Aktuelle Gründigkeit in cm			Aktuelle Gründigkeit in cm			Aktuelle Gründigkeit in cm		
				30	60	100	30	60	100	30	60	100
300	1	0,08	2,3	28	58	98	92	96	98	92	96	98
300	2	0,15	4,6	25	55	95	85	92	95	85	92	95
300	3	0,23	6,9	23	53	93	77	88	93	77	88	93
300	4	0,31	9,2	21	51	91	69	85	91	69	85	91
300	5	0,38	11,5	18	48	88	62	81	88	62	81	88
300	6	0,46	13,8	16	46	86	54	77	86	54	77	86
300	7	0,54	16,2	14	44	84	46	73	84	46	73	84
300	8	0,62	18,5	12	42	82	38	69	82	38	69	82
300	9	0,69	20,8	9	39	79	31	65	79	31	65	79
300	10	0,77	23,1	7	37	77	23	62	77	23	62	77
300	11	0,85	25,4	5	35	75	15	58	75	15	58	75
300	12	0,92	27,7	2	32	72	8	54	72	8	54	72
300	13	1,00	30,0	0	30	70	0	50	70	0	50	70
300	14	1,08	32,3	0	28	68	0	46	68	0	46	68
300	15	1,15	34,6	0	25	65	0	42	65	0	42	65
300	16	1,23	36,9	0	23	63	0	38	63	0	38	63

Quelle: eigene Darstellung VisDat und KIT

## 4.2 Maximal erlaubter Bodenabtrag

In einigen Bundesländern wird zur weiteren Eingrenzung der erosiven Bodenabträge ein maximal erlaubter Abtrag definiert (z. B. 13 t/ha\*a<sup>-1</sup> (LUBW 2011, MKLLU MV 2016, LLG 2018, Schrödter 2013)).

Die Einführung einer zusätzlichen Höchstgrenze in der Beurteilung der Erheblichkeit wird auch hier empfohlen, um den Bodenschutz weiter zu stärken und die erosiven Bodenabträge insbesondere für Standorte mit sehr tiefgründigen Böden oder Böden mit sehr hoher Lagerungsdichte zu begrenzen.

Gemäß den bereits vorliegenden Bewertungsansätzen in den Ländern und mit Bezug zur abgeleiteten Erheblichkeitsschwelle werden für Einzelereignisse und langjährige mittlere Bodenabträge die folgenden Höchstgrenzen des erheblichen Bodenabtrags empfohlen:

- ▶ Einzelereignisse: 25 t/ha und
- ▶ langjähriger mittlerer Bodenabtrag: 13 t/ha\*a<sup>-1</sup>.

Für Einzelereignisse wird ein höherer Wert angenommen, da Einzelereignisse mit vergleichsweise höheren Bodenabtragsraten in geringerer Frequenz einhergehen (Kapitel 5.2).

Die Bewertung des mittleren Bodenabtrages durch ABAG-Modellierung ist gemäß DIN 19708 (2022) unter Einbeziehung der ABAG-Faktoren R, K, S, L und C vorzunehmen, da eine Einschätzung der aktuellen Situation die Berücksichtigung der erosionswirksamen Hanglänge (L-Faktor) und der Bodenbedeckung und Bodenbearbeitung (C-Faktor) erforderlich macht.

Entsprechend dieser Empfehlungen gelten auch erosive Bodenabträge bei Einzelereignissen > 25 t/ha und langjährige mittlere Bodenabträge > 13 t/ha\*a<sup>-1</sup> als erheblich. Für Einzelereignisse leitet sich bei Feststellung der Erheblichkeit die Notwendigkeit der Umsetzung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ab.

Die nachfolgend beschriebene Methodik bezieht sich ausschließlich auf die Bewertung der Erheblichkeit des Bodenabtrages auf der Fläche (On-Site).

## 4.3 Ausweisung weiterer Maßnahmenschwellen (Vorsorge)

Ausgehend von einer Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 für die Gefahrenabwehr bei Einzelereignissen, können bei Bedarf für die Vorsorge weitere abgestufte Maßnahmenschwellen ausgewiesen werden (Tabelle 3).

Ein zweiter Schwellenwert, bei dessen Überschreitung „Vorsorgemaßnahmen erforderlich“ sind könnte bei 20 % festgelegt werden. Eine 10 %-Schwelle könnte definieren, dass bei Überschreitung „Vorsorgemaßnahmen empfehlenswert“ sind. Unterhalb dieser 10 %-Schwelle sind „keine Maßnahmen erforderlich“.

Dieses gestufte Vorgehen greift den bisher in einzelnen Bundesländern praktizierten Ansatz auf (LLG 2018, LfULG 2012).

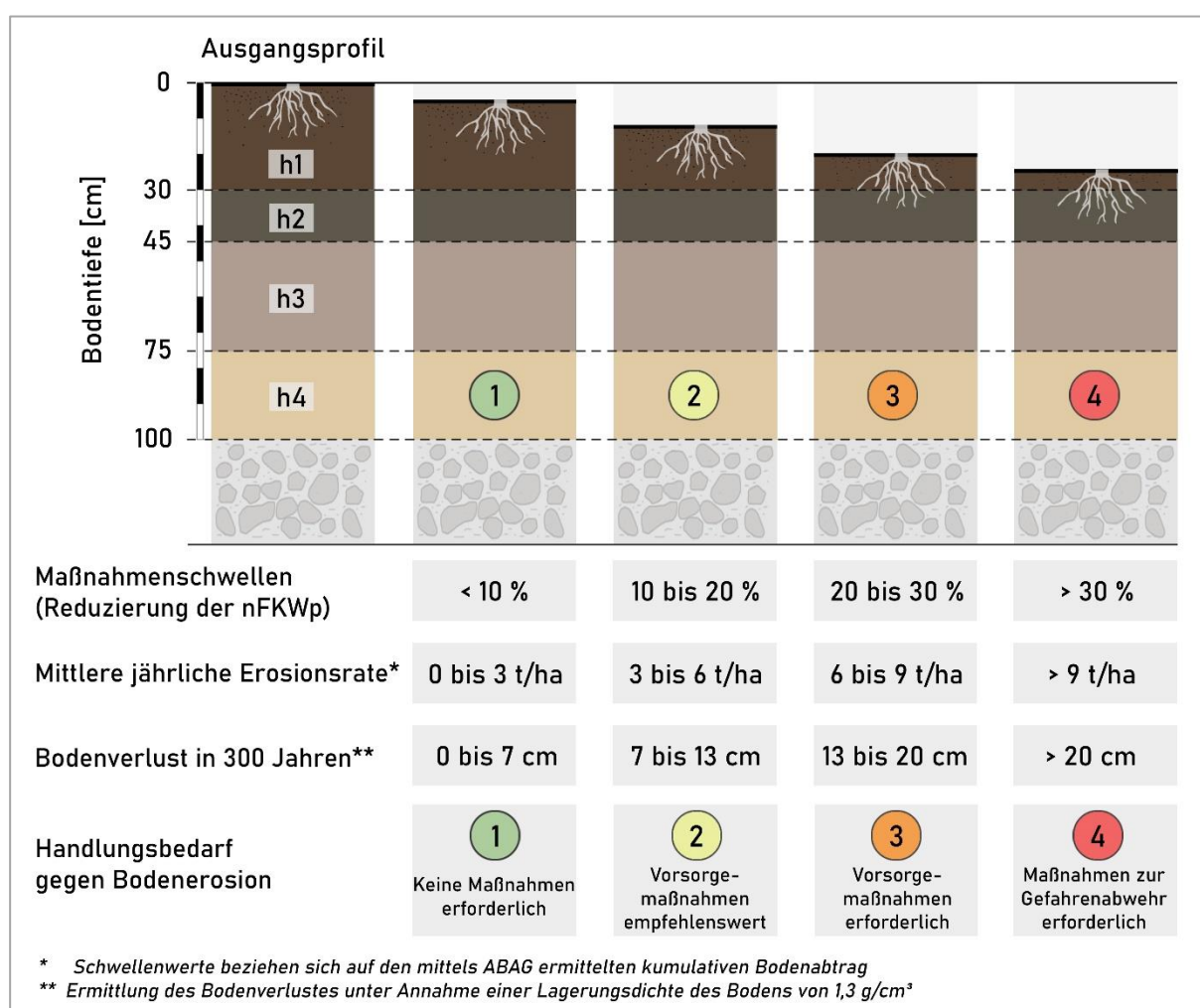


**Tabelle 3: Abgestufte Maßnahmenschwellen auf Grundlage der nFKWp**

Maßnahmenschwellen (Reduzierung der nFKWp in %)	Maßnahmenumsetzung gegen Bodenerosion
< 10	keine Maßnahmen erforderlich
≥ 10 bis 20	Vorsorgemaßnahmen empfehlenswert
> 20 bis 30	Vorsorgemaßnahmen erforderlich
> 30	Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich

Abbildung 4 veranschaulicht die Bodenverluste in 300 Jahren in Abhängigkeit von den in Tabelle 3 aufgeführten Schwellenwerten für die Umsetzung von Maßnahmen. Exemplarisch wurde für dieses Beispiel eine nFKWp von 110 mm bei einer Gründigkeit von 100 cm angenommen. Die Abbildung orientiert sich an der bereits durch Mosimann et al. (1991) veröffentlichten Darstellung des Ackerkrumenverlustes in einem Menschenalter.

**Abbildung 4: Verringerung der Bodenmächtigkeit in 300 Jahren in Abhängigkeit von den Maßnahmeschwellen auf Grundlage der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs (verändert nach Mosimann et al. (1991))

## 5 Ermittlung des erheblichen Bodenabtrags für den Schwellenwert nFKWp70

### 5.1 Vorbemerkungen

Bei der Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 wurde angenommen, dass die prozentuale Verringerung der nFKWp 1:1 an die prozentuale Verringerung der Gründigkeit gekoppelt ist. Es wurden somit homogene Bedingungen in der gesamten gründigen Zone unterstellt. Tatsache ist aber, dass bei geschichteten Bodenprofilen der erosive Bodenabtrag zu einer Verkürzung des Bodenprofils und zur Verringerung der Gründigkeit führt. Damit verbunden ist ebenfalls eine Verringerung der nutzbaren Feldkapazität in den vom Bodenabtrag betroffenen Bodenhorizonten sowie einer Veränderung der nFKWp.

Für geschichtete Profile muss deshalb die Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 bzw. der maximale Verlustwert nFKWp30 unter Berücksichtigung der spezifischen Mächtigkeit und nFK-Werte der einzelnen Bodenhorizonte abgeleitet werden, um über die resultierende erosiv bedingte Profilverkürzung den Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag(t/ha bzw. t/ha\*a<sup>-1</sup>) zu ermitteln.

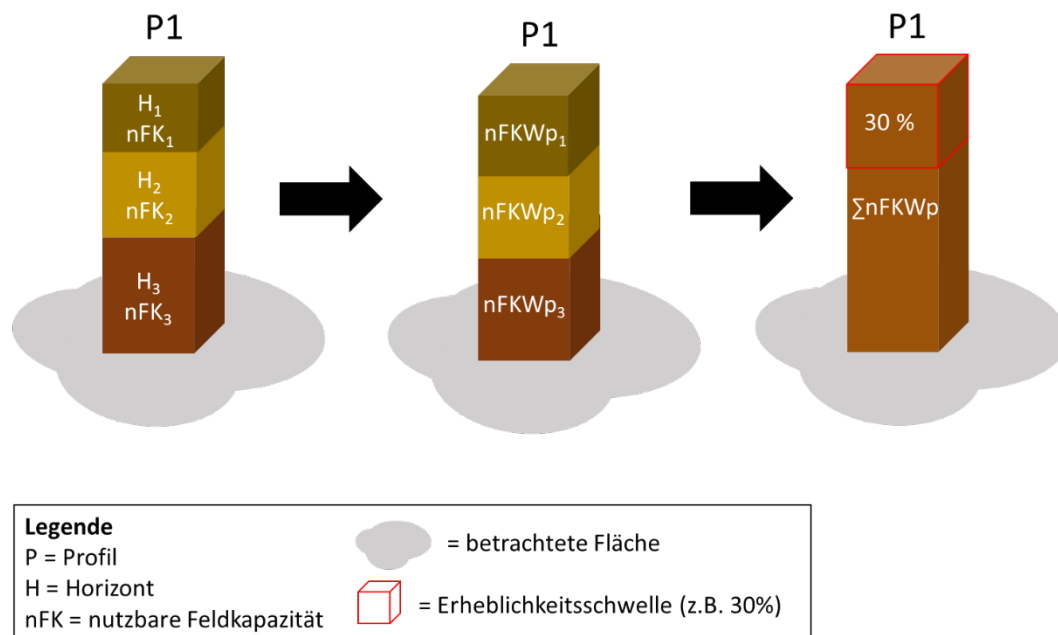
Hierbei ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob dabei:

- ▶ ein geschichtetes Profil mit bekannten Horizontmächtigkeiten und ableitbarer nFK je Horizont (Abbildung 5) oder
- ▶ mehrere geschichtete Profile (vergesellschafteter Bodenformen auf Grundlage einer Bodenübersichtskarte) mit jeweils bekannten Horizontmächtigkeiten und ableitbarer nFK je Horizont (Abbildung 6)

betrachtet werden.

Informationen für einzelne geschichtete Profile werden z. B. aus Geländeaufnahmen oder Legendeneinheiten groß- bis mittelmaßstäbiger Bodenkarten (> 1:200.000), deren Flächeneinheiten durch Standardprofile beschrieben sind, bezogen. Diese Datengrundlagen kommen sowohl für die standortspezifische Beurteilung der Erheblichkeit nach Einzelereignissen als auch die Beurteilung der Erheblichkeit von langjährigen mittleren Bodenabtrags (z. B. modelliert auf Basis der ABAG) zur Anwendung (Kapitel 5.2).

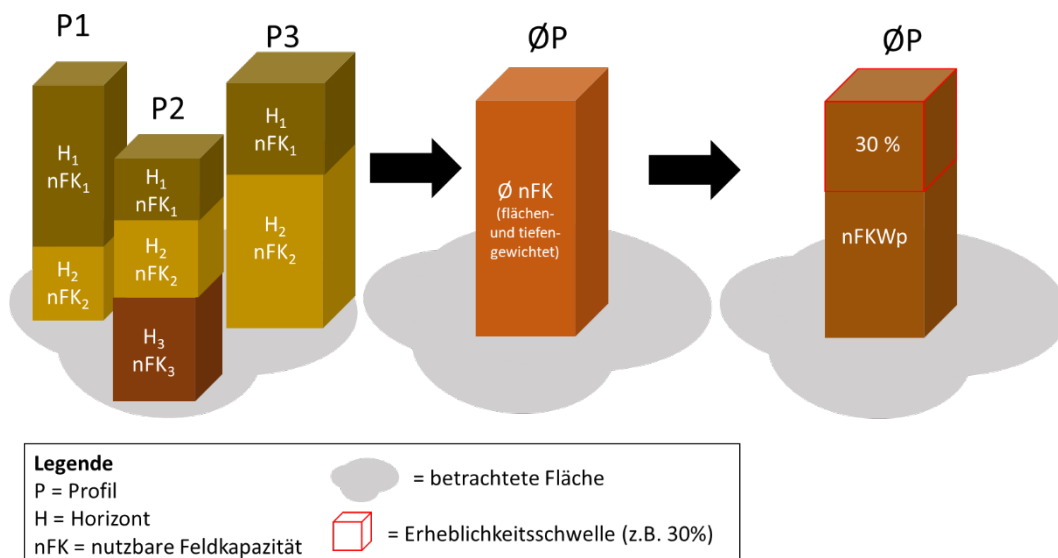
**Abbildung 5: Ableitung der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) für Einzelprofile**



Quelle: eigene Darstellung, KIT und VisDat.

Die Notwendigkeit der Betrachtung vergesellschafteter Profile kann sich ergeben, wenn z. B. in kleinmaßstäbigen Karten wie der BÜK 200 Bodeninformationen mehrerer Bodenprofile pro Bodeneinheit hinterlegt sind. Dann müssen für eine Bodeneinheit gewichtete Mittelwerte für die nFKWp aus mehreren vergesellschafteten Profilen ermittelt werden (Kapitel 5.3).

**Abbildung 6: Ableitung der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) für vergesellschaftete Profile**



Quelle: eigene Darstellung, KIT und VisDat.

## 5.2 Umsetzung des Bewertungsansatzes für einzelne geschichtete Bodenprofile

Die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise wurde unter Beteiligung der Fachexpertise des Arbeitskreises (AK) „Einzelereignisbewertung“ aus der fachlichen Unterarbeitsgruppe der Arbeitsgruppe (AG) „Bodenspezialisten der Bundesländer“ erarbeitet. Diese ist angegliedert an die Fachgruppe I „Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz“ des VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.).

Maßgeblich für die Bewertung der Erheblichkeit ist der mit dem Erosionsereignis einhergehende Bodenabtrag (t/ha) bzw. die Tonnage an Bodenverlust je Hektar und Zeiteinheit. Daher ist zwischen dem Kennwert nFKWp beziehungsweise den daraus abgeleiteten Schwellenwerten nFKWp70 und nFKWp30 ein Bezug herzustellen zu der mit diesen Werten korrespondierenden Profilverkürzung bzw. der Menge an erodiertem Boden, ausgewiesen als Erheblichkeitsschwelle.

Die nachfolgend beschriebene Methodik bezieht sich ausschließlich auf die Bewertung der Erheblichkeit des Bodenabtrages auf der Fläche (On-Site).

Bezogen auf das ursprüngliche Bodenprofil (vgl. Abbildung 7, Profil: Ausgangssituation vor dem Erosionsereignis), sind grundsätzlich für die Bewertung der Erheblichkeit die folgenden Arbeitsschritte notwendig:

- Schritt 1: Ermittlung der Mächtigkeit (cm) und nFK (mm) der einzelnen Bodenhorizonte des Bodenprofils in der gründigen Zone (Wp) bis maximal 1 m Tiefe (Kapitel 5.2.1, Abbildung 9),
- Schritt 2: Ableitung der nFKWp (mm) als Grundlage (Kapitel 5.2.1, Abbildung 9) zur
- Schritt 3: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 (mm) bzw. des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (mm) (Kapitel 5.2.1, Abbildung 10).

Ausgehend von dem ermittelten Profil-spezifischen maximalen Verlustwert (nFKWp30, mm und %) wird der damit korrespondierende maximale Verlust an Profilmächtigkeit ermittelt (cm). Mittels des Mächtigkeitsverlustes und der jeweiligen Lagerungsdichte wird dann der Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag (t/ha bzw. t/ha\*a<sup>-1</sup>) abgeleitet.

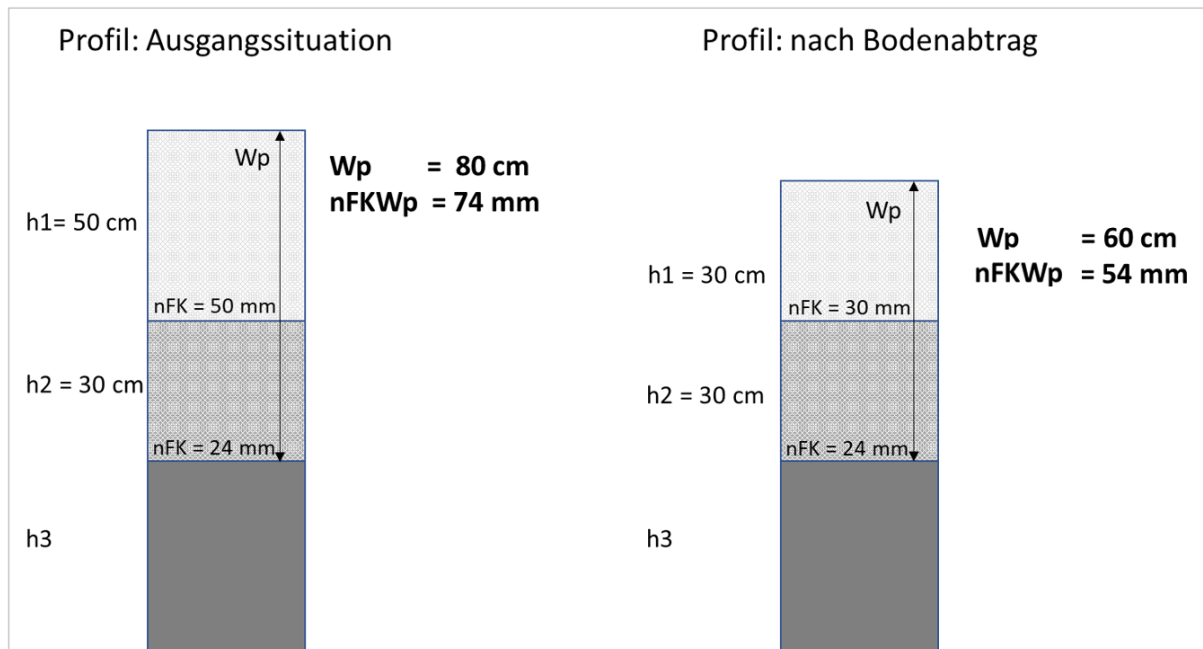
Da die Horizontmächtigkeit und die nFK-Werte in den unterschiedlichen Bodenhorizonten in der Regel variieren, ist für geschichtete Profile grundsätzlich ein horizontweises Vorgehen notwendig. Dabei ist insbesondere für den Arbeitsschritt 4 und 5 schrittweise vorzugehen, beginnend mit dem obersten Bodenhorizont:

- Schritt 4: Berechnung des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (%)
  - a) Ist die nFK des 1. Horizontes  $\geq$  dem für das Ausgangsprofil ermittelten maximalen Verlustwert (nFKWp30; Arbeitsschritt 3) erfolgt unmittelbar der nachfolgende Bearbeitungsschritt 5 (Kapitel 5.2.2, Abbildung 10).
  - b) Ist die nFK des 1. Horizontes  $<$  dem maximalen Verlustwert (nFKWp30) ist der Bearbeitungsschritt 4a) für den nachfolgenden bzw. die nachfolgenden Bodenhorizonte zu wiederholen bis zum Erreichen des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (Kapitel 5.2.2, Abbildung 10).
- Schritt 5: Berechnung des Schwellenwertes für den Verlust an Profil-Mächtigkeit (cm)

Dabei ist die maximale Profilverkürzung gedeckelt auf 30 % der  $W_p$  des Ausgangsprofils (Kapitel 5.2.2, Abbildung 11).

**Schritt 6:** Berechnung des erheblichen Bodenabtrages bezogen auf Einzelereignisse ( $t/ha$ ) bzw. den mittleren jährlichen Bodenabtrag ( $t/ha \cdot a^{-1}$ ) (Kapitel 5.2.3, Abbildung 13).

**Abbildung 7: Verkürzung eines Bodenprofils und Verringerung der Gründigkeit ( $W_p$ ) und nutzbaren Feldkapazität ( $nFK$ ) in der gründigen Zone durch Bodenerosion**

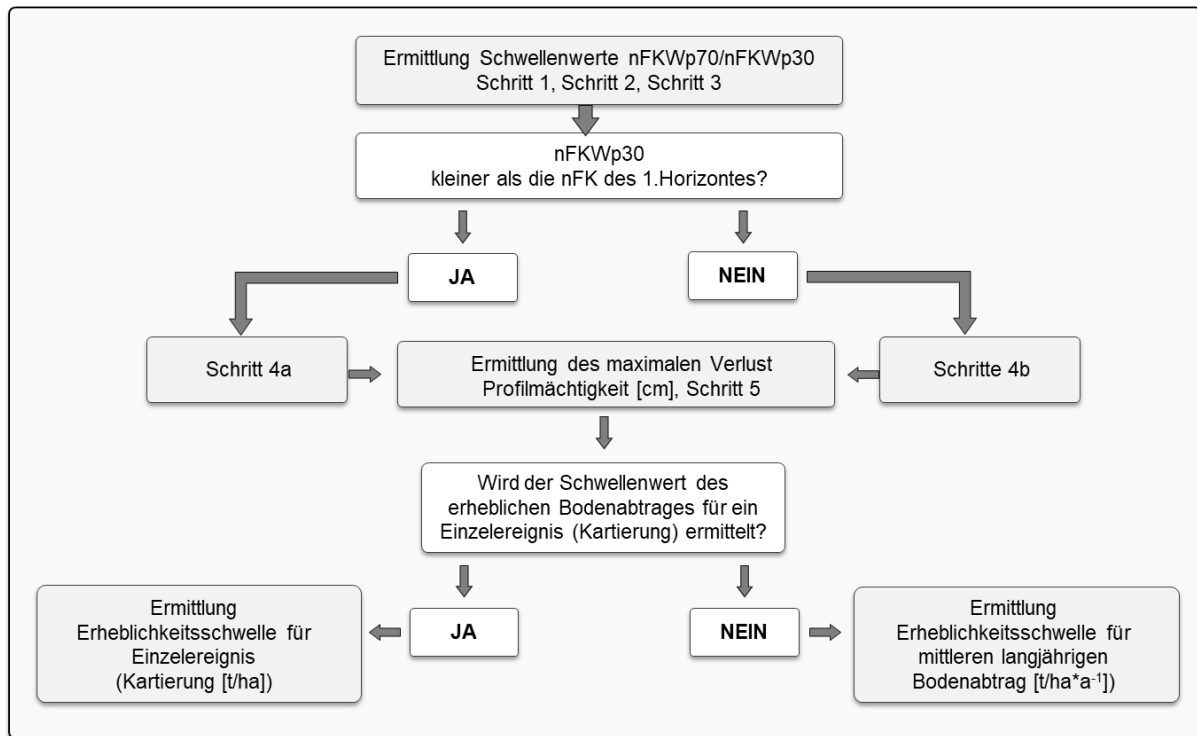


Quelle: eigene Darstellung VisDat

Die so ermittelten Erheblichkeitsschwellen sind für jedes Bodenprofil bzw. jede Legendeneinheit einer Bodenkarte (groß- bis kleinmaßstäbig) ableitbar und bilden, bestimmt durch den Verlust an  $nFK_{Wp}$  (vgl. Abbildung 2, Profil: nach Bodenabtrag), die Grundlage für die Beurteilung der Erheblichkeit entweder eines Erosionsereignisses oder des langjährigen mittleren Bodenabtrags.

Abbildung 8 zeigt den generellen Ablauf und die wichtigsten Arbeitsschritte zur Ableitung spezifischer Erheblichkeitsschwellen.

**Abbildung 8: Allgemeines Ablaufschema zur Ermittlung der Erheblichkeitsschwellenwerte**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

### 5.2.1 Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70) und des maximalen Verlustwertes (nFKWp30)

Eine detailliertere Beschreibung des Vorgehens zur Ausweisung der Erheblichkeitsschwellen wird exemplarisch an zwei Bodenprofilen gezeigt.

#### Schritt 1 und 2: Ableitung der nFKWp (mm)

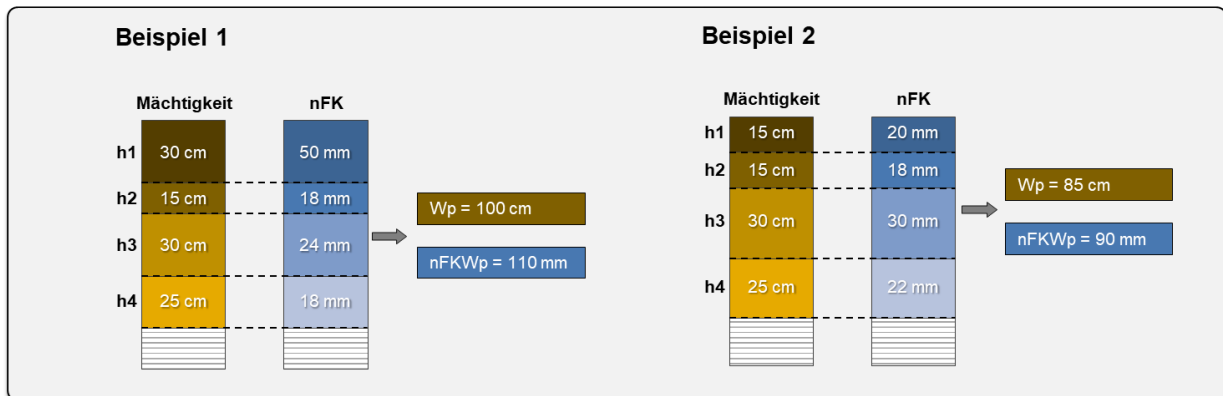
Ausgehend von vorliegenden Bodenkarten oder eigenen Erhebungen werden die Mächtigkeiten der einzelnen Bodenhorizonte (h) ermittelt und daraus die gründige Zone (Wp) bis maximal 1 m Tiefe abgeleitet. Anschließend wird ebenfalls für die einzelnen Bodenhorizonte die nFK abgeleitet (Gleichung 1).

Aus Horizontmächtigkeit (cm) und nFK (mm) der einzelnen Horizonte (nach Ad-hoc AG Boden 2005) wird der integrierte Kennwert nFKWp (mm) für das betrachtete Bodenprofil abgeleitet durch Aufsummieren der nFK-Werte der einzelnen Horizonte in der gesamten gründigen Zone (Abbildung 9: in den Beispielen ist nFKWp = 110 mm und 90 mm):

#### Gleichung 1: Ableitung der nFKWp auf Grundlage der horizontspezifischen nFK-Werte

$$nFKWp (mm) = nFK_{h1}(mm) + nFK_{h2}(mm) + nFK_{h3}(mm) + nFK_{h4}(mm)$$

**Abbildung 9: Ableitung der nFKWp, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 1 und 2)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

**Schritt 3: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 (mm) bzw. des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (mm)**

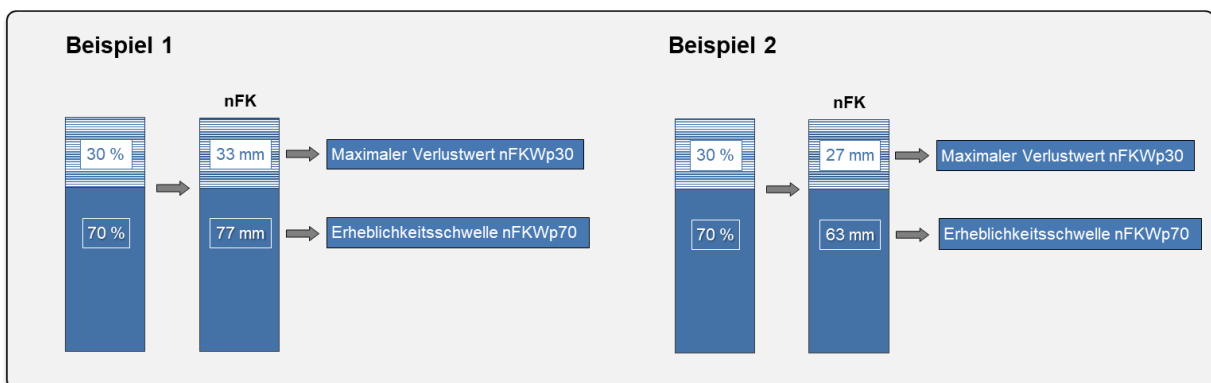
Die Ableitung der Erheblichkeitsschwelle und des maximalen Verlustwertes (Gleichung 2) erfolgt prozentual, ausgehend von der abgeleiteten nFKWp (Abbildung 10).

**Gleichung 2: Berechnung des maximalen Verlustwertes (nFKWp30)**

$$nFKWp30 (mm) = \frac{30 * nFKWp (mm)}{100}$$

In den Rechenbeispielen liegt der maximale Verlustwert (nFKWp30), der nicht überschritten werden darf, bei 33 mm (Abbildung 10, Beispiel 1) bzw. 27 mm (Abbildung 10, Beispiel 2).

**Abbildung 10: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 und des maximalen Verlustwertes nFKWp30, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 3)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

**5.2.2 Ableitung der maximalen Verlustwerte der Profil-Mächtigkeit**

**Schritt 4: Berechnung des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (%)**

In diesem Arbeitsschritt werden der für das Ausgangsprofil ermittelte maximale Verlustwert (nFKWp30) und die nFK, beginnend im obersten Bodenhorizont, ins Verhältnis zueinander gesetzt (Gleichung 3).

Dabei ist die maximale Profilverkürzung gedeckelt auf 30 % der Wp des Ausgangsprofils.

**Gleichung 3: Berechnung des horizontspezifischen maximalen Verlustwertes**

---

$$\frac{nFKWp30 (mm)}{nFK_{hn}(mm)} = nFK_{hn} \text{Verlust} (\%)$$

Dabei gilt:

- a) Wenn die nFK im obersten Bodenhorizont ( $nFK_{h1}$ ) gleich oder größer ist als der maximale Verlustwert ( $nFKWp30$ ) des Ausgangsprofils,

$$nFK_{h1}(mm) \geq nFKWp30 (mm)$$

bezieht sich der maximale Verlust ( $nFKWp30$ ) ausschließlich auf den obersten Bodenhorizont. Die korrespondierende Profilverkürzung (Schritt 5) kann in diesem Fall unmittelbar aus dem Wert  $nFK_{h1}$ Verlust berechnet werden (Abbildung 11, Beispiel 1).

In dem in Abbildung 6 gezeigten Beispiel 1 wird die Erheblichkeitsschwelle bei einem Verlustwert im obersten Bodenhorizont ( $nFK_{h1}$ ) von 66 % erreicht (Gleichung 4). Das bedeutet, der maximale Verlustwert  $nFKWp30$  liegt für das betrachtete Bodenprofil bei 66 % der Mächtigkeit des obersten Bodenhorizontes ( $h1$ ).

**Gleichung 4: Berechnung des horizontspezifischen ( $h1$ ) maximalen Verlustwertes, Beispiel**

---

$$\frac{nFKWp30 (50 mm)}{nFK_{h1}(33 mm)} = nFK_{h1} \text{Verlust} (0,66 = 66 \%)$$

- b) Wenn die nFK im obersten Bodenhorizont ( $nFK_{h1}$ ) kleiner ist als der maximale Verlustwert ( $nFKWp30$ ) des Ausgangsprofils,

$$nFK_{h1}(mm) < nFKWp30 (mm)$$

wird bis zum Erreichen des maximalen Verlustwertes ( $nFKWp30$ ) der 1. Horizont des ursprünglichen Bodenprofils vollständig gekappt. Für die Ableitung der Erheblichkeitsschwelle ist es erforderlich, den oder die nächsttieferen Horizonte in die Betrachtung einzubeziehen (Abbildung 11, Beispiel 2 und Gleichung 5).

**Gleichung 5: Berechnung des horizontspezifischen ( $h2$ ) maximalen Verlustwertes**

---

$$\frac{(nFKWp30 (mm) - nFK_{h1} \text{Verlust} (mm))}{nFK_{h2}(mm)} = nFK_{h2} \text{Verlust} (\%)$$

Ist der maximale Verlustwert kleiner als die Summe aus  $nFK_{h1}$  und  $nFK_{h2}$  muss die beschriebene Vorgehensweise auch für den 3. und ggf. 4. Horizont angewendet werden, bis der Wert für  $nFKWp30$  erreicht ist.

In dem in Abbildung 11 gezeigten Beispiel 2 wird die Erheblichkeitsschwelle bei einem Verlustwert im obersten Bodenhorizont ( $nFK_{h1}$ ) von 100 % plus im zweiten Bodenhorizont

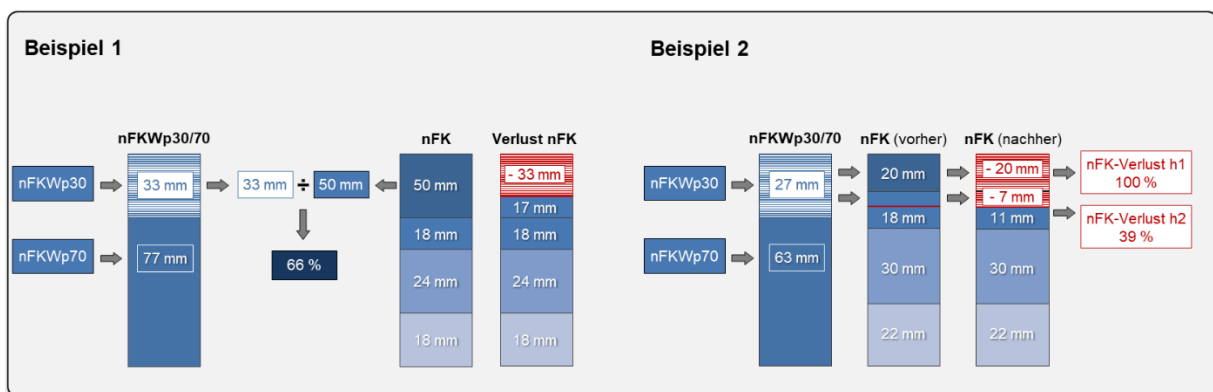


( $nFK_{h2}$ ) von 39 % erreicht. Das bedeutet, der maximale Verlustwert  $nFKWp30$  wird für das betrachtete Bodenprofil erst erreicht, wenn die  $nFK$  im obersten Bodenhorizont ( $h1$ ) komplett und im zweiten Bodenhorizont ( $h2$ ) zu 39 % (7 mm) verloren geht (Gleichung 6).

**Gleichung 6: Berechnung des horizontspezifischen ( $h2$ ) maximalen Verlustwertes, Beispiel**

$$\frac{(nFKWp30 (27 \text{ mm}) - nFK_{h1} \text{Verlust} (20 \text{ mm}))}{nFK_{h2}(18 \text{ mm})} = nFK_{h2} \text{Verlust} (0,39 = 39 \%)$$

**Abbildung 11: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle  $nFKWp70$  und des maximalen Verlustwertes  $nFKWp30$ , exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 4)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

**Schritt 5: Berechnung des Schwellenwertes für den Verlust an Profil-Mächtigkeit (cm)**

Der in Schritt 4 ermittelte prozentuale Verlustwert wird nun gleichermaßen für jeden der Bodenhorizonte auf die Horizontmächtigkeit angewendet, um die korrespondierende Profilverkürzung zu bestimmen (Abbildung 12, Gleichung 7).

**Gleichung 7: Berechnung der horizontspezifischen korrespondierenden maximalen Profilverkürzung**

$$\text{Profilverkürzung (cm)} = \frac{\text{Horizonttiefe}_{hn}(\text{cm}) * nFK_{hn} \text{Verlust} (\%)}{100}$$

Im Beispiel 1 (Abbildung 12,  $nFK_{h1} > nFKWp30$ ) ergibt sich für das Ausgangsprofil aus der Mächtigkeit des 1. Horizontes (30 cm) und einem Verlustwert von 66 % eine korrespondierende maximale (erhebliche) Profilverkürzung von 20 cm (maximaler Verlustwert für 300 Jahre) (Gleichung 8). Mindestens 10 cm des 1. Horizontes des Bodenprofils müssen erhalten bleiben, damit die Erheblichkeitsschwelle für die  $nFKWp$  nicht überschritten wird.

**Gleichung 8: Berechnung der horizontspezifischen ( $h1$ ) korrespondierenden maximalen Profilverkürzung, Beispiel**

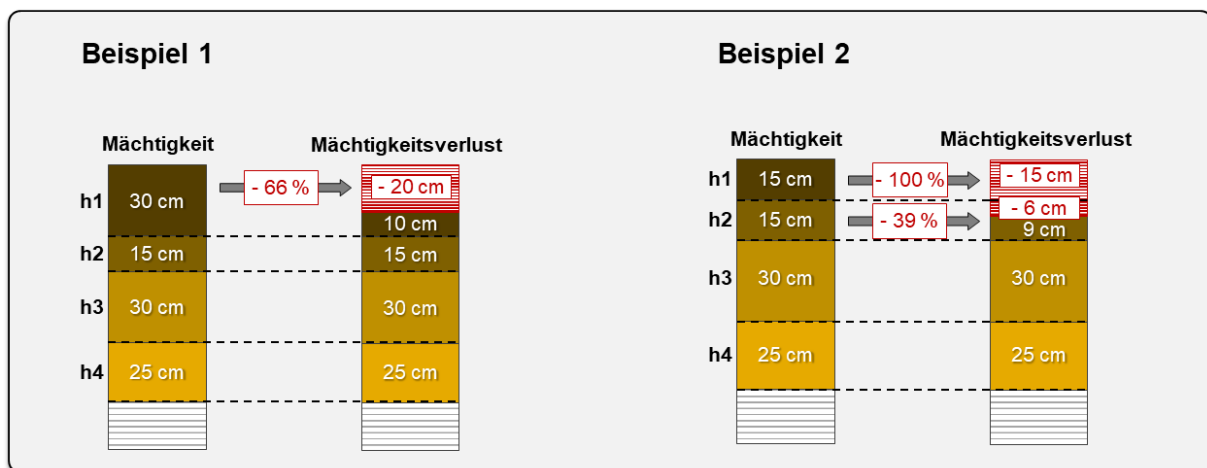
$$\text{Profilverkürzung (20 cm)} = \frac{\text{Horizonttiefe}_{h1} (30 \text{ cm}) * nFK_{h1} \text{Verlust} (66 \%)}{100}$$

Für das Beispiel 2 (Abbildung 12,  $nFK_{h1} < nFK_{Wp30}$ ) sind die Verlustwerte für die einzelnen Bodenhorizonte zu berücksichtigen. Damit ergibt sich für das Ausgangsprofil aus der Mächtigkeit des 1. Horizontes (15 cm) und einem Verlustwert von 100 % sowie aus der Mächtigkeit des 2. Horizontes (15 cm) und einem Verlustwert von 39 % (entspricht 6 cm) eine korrespondierende maximale (erhebliche) Profilverkürzung von 21 cm (maximaler Verlustwert für 300 Jahre) (Gleichung 9).

**Gleichung 9: Berechnung der korrespondierenden maximalen Profilverkürzung, Beispiel**

$$\begin{aligned}
 & \text{Profilverkürzung (21 cm)} \\
 &= \left( \frac{\text{Horizonttiefe } h_1 \text{ (15 cm)} * nFK_{h1} \text{ Verlust (100 \%)}}{100} \right) \\
 &+ \left( \frac{\text{Horizonttiefe } h_2 \text{ (15 cm)} * nFK_{h2} \text{ Verlust (39 \%)}}{100} \right)
 \end{aligned}$$

**Abbildung 12: Berechnung des Schwellenwertes für den Verlust an Profil-Mächtigkeit (cm), exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 5)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

**5.2.3 Berechnung des erheblichen Bodenabtrags**

Im Rahmen von Gefahrenabwehr aber auch für die Vorsorge ist insbesondere die Bewertung von Einzelereignissen relevant. Parallel zur notwendigen Bewertung von Einzelereignissen im Eintrittsfall können die zuständigen Behörden als Anhaltspunkt für eine erste Einschätzung des Gefährdungspotentials eine Bewertung modellierter mittlerer Bodenabträge (z. B. ABAG-Ergebnisse) vornehmen.

In der bisher in den Bundesländern praktizierten Vorgehensweise dient die Bodenzahl (BZ) als Beurteilungsmaßstab für die Prüfung der Erheblichkeit. Dabei gilt die Bodenzahl als Maß für die Gründigkeit (LUBW 2011). Je tiefgründiger ein Boden, desto geringer ist bei entsprechendem Bodenabtrag die Beeinträchtigung seiner Bodenfunktionen. Die Erheblichkeitsschwellen werden für die Modellierung des langjährigen mittleren Bodenabtrages ( $t/ha \cdot a^{-1}$ ) durch die Formel  $BZ/4$  mit einer Obergrenze (Kappung) von  $13 t/ha \cdot a^{-1}$  ermittelt. Für Einzelereignisse gilt die Formel  $BZ/2$  ( $t/ha$ ). Der Schwellenwert ist demzufolge nahezu doppelt so hoch wie für den langjährigen Bodenabtrag mit einer Obergrenze (Kappung) von  $25 t/ha$ .

Dieser Ansatz hat sich in der praktischen Anwendung für die Gefahrenabwehr auf Ebene der Bundesländer bisher bewährt, da bei der Betrachtung von Einzelereignissen im Vergleich zum langjährig mittleren Bodenabtrag zwar deutlich höhere Bodenabträge auftreten können, diese aber je nach Ereignistyp auch mit deutlich geringerer Frequenz auftreten (LUBW 2011, MKLLU MV 2016, LLG 2018, LfL und LfULG 2012).

Der Verdoppelungsansatz für die Bewertung von Einzelereignissen wird hier aufgegriffen.

Sowohl für die Bewertung von Einzelereignissen als auch für die Bewertung des Gefahrenpotentials kann ausgehend vom ermittelten korrespondierenden maximalen Verlustwert für die Profilmächtigkeit über die vorliegende Lagerungsdichte (LD) des Bodens der Schwellenwert für den Bodenabtrag bestimmt werden (Gleichung 10). In einem ersten Schritt erfolgt die Umrechnung des maximalen (erheblichen) Verlustes der Horizontmächtigkeit (cm) in Bodenabtrag je Flächeneinheit ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte (LD).

---

**Gleichung 10: Berechnung des Bodenabtrags pro Flächeneinheit**

---

$$\text{Horizontmächtigkeit (m)} * \text{LD} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \text{Bodenabtrag pro Flächeneinheit} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

Im Beispiel 1 (Abbildung 13) wird eine Erheblichkeitsschwelle (als maximaler Verlustwert für die Profil-Mächtigkeit für 300 Jahre) von 20 cm (0,2 m) abgeleitet. Bei einer angenommenen Lagerungsdichte in dem betroffenen Horizont (h1) von  $1,3 \text{ g}/\text{cm}^3$  ( $1.300 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) ergibt sich, bezogen auf eine Bodenfläche von  $1 \text{ m}^2$  ein Bodenabtrag von  $260 \text{ kg}/\text{m}^2$  ( $2.600 \text{ t}/\text{ha}$ ) (Gleichung 11):

---

**Gleichung 11: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags pro Flächeneinheit, Beispiel**

---

$$0,2 \text{ m} * 1.300 \text{ kg}/\text{m}^3 = 260 \text{ kg}/\text{m}^2$$

Für den Zeitraum von 300 Jahren (a) ergibt sich damit eine Erheblichkeitsschwelle für den Bodenabtrag von  $8,7 \text{ t}/\text{ha} * \text{a}^{-1}$  (Gleichung 12):

---

**Gleichung 12: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (tatsächlicher mittlerer langjähriger Bodenabtrag), Beispiel**

---

$$\frac{2.600 \text{ t}/\text{ha}}{300 \text{ a}} = 8,7 \frac{\text{t}}{\text{ha}} * \text{a}$$

Dem oben beschriebenen Verdoppelungsansatz für Einzelereignisse folgend, läge die **Erheblichkeitsschwelle für den Bodenabtrag für Einzelereignisse** für das betrachtete Profil bei  **$17,4 \text{ t}/\text{ha}$**  (Gleichung 13).

---

**Gleichung 13: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (Einzelereignis), Beispiel**

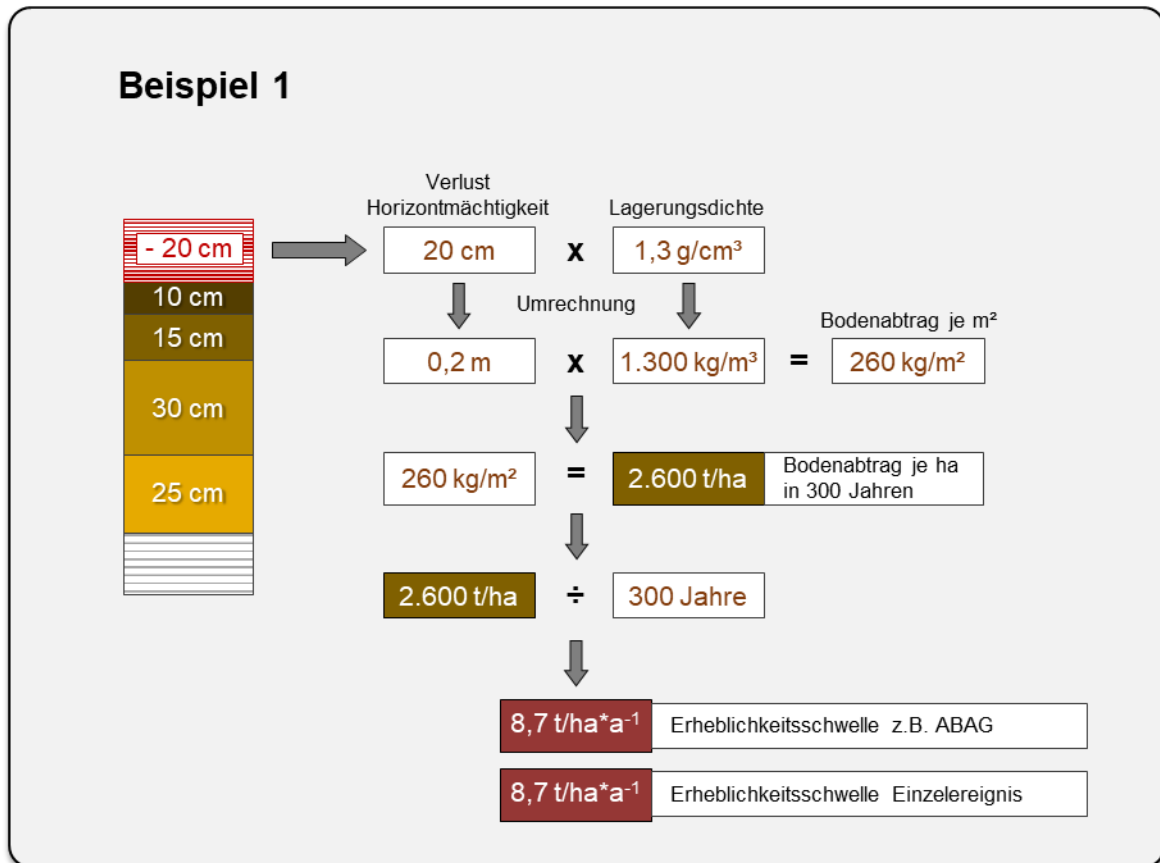
---

$$8,7 \frac{\text{t}}{\text{ha}} * 2 = 17,4 \text{ t}/\text{ha}$$

Das bedeutet in der Bewertung: Für das betrachtete Bodenprofil sind

- ▶ Einzelereignisse mit Bodenabträgen > 17,4 t/ha als erheblich einzuschätzen und Maßnahmen zur Gefahrenabwehr einzuleiten.
- ▶ Mittlere jährliche Bodenabträge > 8,7 t/ha\*a<sup>-1</sup> potenziell als erheblich einzuschätzen.

**Abbildung 13: Berechnung des Schwellenwertes des erheblichen Bodenabtrags, exemplarisch für ein Bodenprofil (Schritt 6)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

Für Profile, bei denen mindestens 2 Horizonte einzubeziehen sind, wird der Bodenabtrag schrittweise für die einzelnen Horizonte mit den spezifischen Lagerungsdichten berechnet und anschließend aufsummiert.

Um sehr tiefgründige Böden vor zu starken Bodenabträgen zu schützen, wird die Anwendung nachfolgender Höchstgrenzen des erheblichen Bodenabtrags empfohlen:

- ▶ **Bewertung des langjährigen mittleren Bodenabtrages (ABAG-Modellierung):**  
13 t/ha\*a<sup>-1</sup>
- ▶ **Bewertung von Einzelereignissen (z. B. Kartierung):** 25 t/ha.

Bezugsfläche für die Bewertung des langjährigen mittleren Bodenabtrages (ABAG-Modellierung) und für die Bewertung von Einzelereignissen ist die (kartierte) Erosionsfläche in ha. Die Betrachtung einer abgegrenzten Erosionsfläche ermöglicht auch die Bewertung der Erheblichkeit linienhafter Bodenabträge, unabhängig von der Größe des betroffenen Ackerschlag.

Die Bewertung der Erheblichkeit für Einzelereignisse auf Grundlage des Kennwertes nFKWp setzt voraus, dass mittel- bis großmaßstäbige Bodenkarten  $\geq 1:50.000$  mit den erforderlichen horizontbezogenen Parametern vorliegen. Dies ist aktuell nicht in allen Bundesländern der Fall. Die Verwendung kleinmaßstäbiger Bodenkarten (z.B. BÜK 200) ist für die standortbezogene Einzelfallbewertung aufgrund der hohen Aggregationsebene nicht zu empfehlen. In solchen Fällen sollte dem bisherigen Ansatz, die Erheblichkeitsschwelle anhand der Bodenzahlen aus Daten der Bodenschätzung ermitteln zu können, gefolgt werden. Durch den hier dargestellten Grundansatz, sich auch unter Verwendung eines Bodenfunktionsparameters (nFKWp) an den bisherigen Vorgehensweisen der Bundesländer zu orientieren, wäre die Konsistenz beider Verfahren weiterhin gewährleistet.

### 5.3 Vergesellschaftete geschichtete Bodenprofile

Eine Betrachtung der Erheblichkeit unter Nutzung von Daten aus kleinmaßstäbigen Kartenwerken mit Angaben zu vergesellschafteten Bodenprofilen, kann nur auf die Bewertung der Erheblichkeit von langjährigen mittleren Bodenabträgen im regionalen Maßstab abzielen. Eine Bewertung von Einzelereignissen im Hinblick auf die Gefahrenabwehr ist auf Grundlage dieser aggregierten und generalisierten Daten nicht möglich.

Für vergesellschaftete Profile (mehrerer Bodenprofile je Bodeneinheit) müssen zunächst die mittleren nFK für eine Bezugseinheit flächen- und tiefengewichtet ermittelt werden, um einen gewichteten Mittelwert für die nFKWp abzuleiten (Abbildung 6). Das bedeutet, die Flächenanteile der jeweiligen Profile und die Mächtigkeit der jeweiligen Horizonte einzelner Profile müssen in allen Algorithmen berücksichtigt werden. Der für einzelne Bodenprofile generierte Workflow kann hier nicht zum Einsatz kommen, da mehrere Profile mit jeweils unterschiedlichen Horizontmächtigkeiten, nFK, etc. berücksichtigt werden müssen.

Der Sachverhalt einer sich verändernden mittleren nFK vom Ursprungsprofil zum verbleibenden Profil nach Erosion kann anschließend durch eine iterative Neuberechnung der Verringerung der gründigen Zone bis zur Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70) berücksichtigt werden.

Der für vergesellschaftete Profile vorgeschlagene Workflow für die Ermittlung der Profilverkürzung bei nFKWp70 wird im Folgenden schrittweise beschrieben (Abbildung 14). Dass es sich dabei um gemittelte Werte (flächengewichtet über alle einbezogenen Profile und tiefengewichtet über die jeweilige Horizontmächtigkeit) handelt, wird aus Gründen der Übersichtlichkeit und im Sinne einer besseren Nachvollziehbarkeit hier nicht explizit erwähnt.

#### a) Berechnung der nFKWp (Schritt 1-3)

In den zu betrachtenden vergesellschafteten Bodenprofilen werden die Tiefe der gründigen Zone **Wp** (Schritt 1) und die mittlere nutzbare Feldkapazität **nFK** (Schritt 2) ermittelt. Dabei wird die gründige Zone bis maximal 1 m Tiefe berücksichtigt. Aus diesen Kennwerten wird der summarische Parameter für eine integrierte Bewertung berechnet: die summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone **nFKWp** (Schritt 3).

#### b) Berechnung der Ziel-nFKWp70 (Schritt 4-5.1)

Der Wert der nFKWp wird berechnet (nFKWp70, Schritt 4). Da die nFKWp und die gründige Zone gleichermaßen reagieren (siehe Abbildung 14), mindert sich die gründige Zone ebenfalls um 30 % auf 70 % (Wp70, Schritt 5.1).

**c) Berechnung der tatsächlichen nFKWp (nFKWp70\_E) nach 300 Jahren (Schritt 5.2 – 5.6)**

Für die Berechnung der mittleren nFK (Restprofil/e, von der Untergrenze der gründigen Zone bis zur Obergrenze) wird die tatsächliche nFKWp (nFK70\_E) neu bestimmt (Schritt 5.2). Die nFKWp70\_E wird mit der neu ermittelten nFK70\_E berechnet (Schritt 5.3).

Die ermittelte nFK70\_E nach 300 Jahren wird mit der im Schritt 2 ermittelten nFK abgeglichen, hierbei können zwei Fälle auftreten:

- i. nFK70\_E (aus Schritt 5.2) ist niedriger als die im Schritt 2 ermittelte nFK,
- ii. nFK70\_E (aus Schritt 5.2) ist gleich oder höher als die im Schritt 2 ermittelte nFK.

Für Fall i.) wird die nFKWp70\_E mit der neu ermittelten nFK70\_E berechnet (Schritt 5.3). Anschließend wird im nächsten Schritt die Differenz  $\Delta nFKWp70$  zwischen nFKWp70 und der tatsächlichen nFKWp70\_E gebildet (Schritt 5.4).  $\Delta nFKWp70$  wird durch die nFK70\_E im Restprofil geteilt, um den Zuwachs für die gründige Zone (bzw. die Minderung der tolerierbaren Profilverkürzung) zu ermitteln (Schritt 5.5). Diese wird dann zur Korrektur der gründigen Zone Wp70 aus Schritt 5.1 herangezogen und das Ergebnis als Wp70\_korr abgelegt (Schritt 5.6). Die erlaubte Profilverkürzung fällt somit niedriger aus. Mit der jeweils neu berechneten durch die Profilverkürzung geminderten gründigen Zone wird Schritt 5.2 (Wp70 wird jeweils durch Wp70\_korr ersetzt) bis 5.6 iterativ 150 x durchgeführt. Aus den beiden zuletzt ermittelten Wp70\_korr wird dann ein Mittelwert gebildet, der in Schritt 6 weiterverarbeitet wird. Durch die Anzahl der durchgeführten Iterationen wird gewährleistet, dass das final erzielte Ergebnis von Wp70\_korr (dm) von der vorletzten zur letzten Iteration sich in allen Fällen um weniger als 1 % unterscheidet.<sup>3</sup>

Für den Fall ii.) entfallen die Berechnungsschritte 5.3 bis 5.5, da die erlaubte Profilverkürzung dadurch gleichbleibe oder größer würde. Die erlaubte Profilverkürzung wird hier grundsätzlich im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes auf 30 % der in die Bewertung einbezogenen gründigen Zone begrenzt. Der im Bearbeitungsschritt 1 ermittelte Wert für Wp70 entspricht somit Wp70\_korr.

**d) Berechnung der Profilverkürzung (Schritt 6-7)**

Die Profilverkürzung der betrachteten Fläche kann anhand der in die Bewertung einbezogenen gründigen Zone der Ausgangssituation Wp und der korrigierten gründigen Zone des Mindestkriteriums Wp70\_korr berechnet werden (Schritt 6).

Für die sich ergebende Profilverkürzung wird die mittlere Lagerungsdichte ermittelt (Schritt 7).

**e) Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (Schritt 8)**

<sup>3</sup> Bei sehr stark absinkender nFK von der oberen 30%-Zone zur unteren 70%-Zone (Abnahme  $>30/70 \cdot 100$ ) kann der Algorithmus rechen technisch nicht mehr gelöst werden. In solchen Fällen wird die korrigierte gründige Zone des Mindestkriteriums Wp70\_korr (70%) direkt aus dem Mittelwert der gründigen Zone Wp (Schritt 1) und Wp70 (Schritt 5.1) ermittelt.

Im letzten Schritt (Schritt 8) wird anhand der Profilverkürzung, der Lagerungsdichte und des Betrachtungszeitraums (hier 300 Jahre) der Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag berechnet, der grundsätzlich nicht größer als  $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  sein darf (Höchstgrenze des erheblichen Bodenabtrags). Ergeben sich bei der Ausführung des oben dargestellten Verfahrens höhere Bodenabträge, so werden diese auf  $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  begrenzt.

Wird die Erheblichkeitsschwelle nach der oben beschriebenen Methode für ein einzelnes geschichtetes Profil iterativ abgeleitet, so führt das Verfahren zu einem identischen Ergebnis wie die Vorgehensweise gemäß Kapitel 5.2.

**Abbildung 14: Workflow und Rechenbeispiel zur Ableitung der Erheblichkeitsschwelle für den langjährigen mittleren Bodenabtrag für das 70 %-Niveau bei vergesellschafteten geschichteten Profilen**

Schritt	Beschreibung	Rechenbeispiel	
1.	Ermittlung der Tiefe der gründigen Zone <b>Wp</b>	8 dm	<p>Werte für Beschreibung Ausgangszustand                      Werte für Mindestkriterium                      neu abgeleitete Werte für Mindestkriterium nach Erosionsereignis                      Profilverkürzung</p> <p>Angenommener Schwellenwert: 70%. Es ist zu ermitteln, bei welcher Profilreduzierung 168 mm nFKWp übrig bleiben.</p> <p>Ist nFK über das Profil gleichverteilt, so wären die 168 mm in dem 5,6 dm starken Restprofil mit nFK = 30 mm/dm gerade enthalten.</p> <p>Die für das Restprofil neu ermittelte nFK liegt nur bei 25 mm, da nFK nicht gleichverteilt ist.</p> <p>Bei der nFK von 25 mm und der angenommenen Profiltiefe von 5,6 dm liegt nFKWp bei 140 mm.</p> <p>nFKWp wäre dann nur 140 mm, also 28 mm niedriger als die Bewertungsgrundlage von 168 mm.</p> <p>Die nFKWp von 168 mm wird bei einer nFK von 25 mm mit einer Profiltiefe von 5,6+1,12 dm erreicht.</p> <p>Die Profiltiefe von 5,6 mm wird auf 6,72 dm korrigiert, um nFKWp von 168 mm zu erreichen. (5.2 bis 5.6 iterativ wiederholen bis Wp70_korr ausreichend stabil, s. Texterläuterung).</p> <p>Die Profilverkürzung beträgt damit 1,28 dm.</p> <p>Anhand von Profilverkürzung und Lagerungsdichte wird Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag von 5,12 t/ha errechnet, der mit modelliertem Bodenabtrag abgeglichen werden kann.</p>
2.	Ermittlung der mittleren nFK für <b>Wp</b>	30 mm/dm	
3.	Ermittlung von nFKWp aus nFK und <b>Wp</b>	8 dm x 30 mm/dm = 240 mm	
4.	nFKWp auf 70% setzen als nFKWp70	240 mm x 0,7 = 168 mm	
5.1.	<b>Wp</b> auf 70% setzen als <b>Wp70</b> , weil nFKWp und <b>Wp</b> den gleichen Zusammenhang zeigen → Verkürzung der Gründigkeit	8 dm * 0,7 = 5,6 dm	
5.2.	nFK70_E aus Bodeninformationen analog zu Schritt 2 für <b>Wp70</b> neu ermitteln ab Untergrenze <b>Wp</b> bis Obergrenze ( <b>Wp</b> – <b>Wp70</b> )	25 mm/dm, ermittelt für Profilmereich von -8 dm bis -2,4 dm	
5.3.	Ermittlung von nFKWp70_E für nFK70_E und <b>Wp70</b>	25 mm/dm * 5,6 dm = 140 mm	
5.4.	Bildung der Differenz von nFKWp70 und nFKWp70_E als ΔnFKWp70	168 mm – 140 mm = 28 mm	
5.5.	Bildung des Quotienten aus ΔnFKWp70 und nFK70_E als ΔWp70	28 mm / 25 mm/dm = 1,12 dm	
5.6.	Addition von <b>Wp70</b> und ΔWp70 als <b>Wp70_korr</b>	5,6 dm + 1,12 dm = 6,72 dm	
6.	Berechnung der korrigierten Profilverkürzung ΔWp aus der Differenz von <b>Wp</b> und <b>Wp70_korr</b>	8 dm – 6,72 dm = 1,28 dm	
7.	Ermittlung von mittlerer <b>LD</b> für ΔWp	1,2 g/cm <sup>3</sup>	
8.	Ermittlung des erheblichen Bodenabtrags <b>A</b> bei Unterschreitung der 70%-Schwelle von nFKWp aus ΔWp und <b>LD</b> für den Zeitraum 300 a	(1,28 dm * 1000 cm <sup>2</sup> * 1,2 g/cm <sup>3</sup> ) / 300 a = 5,12 t/ha*a	

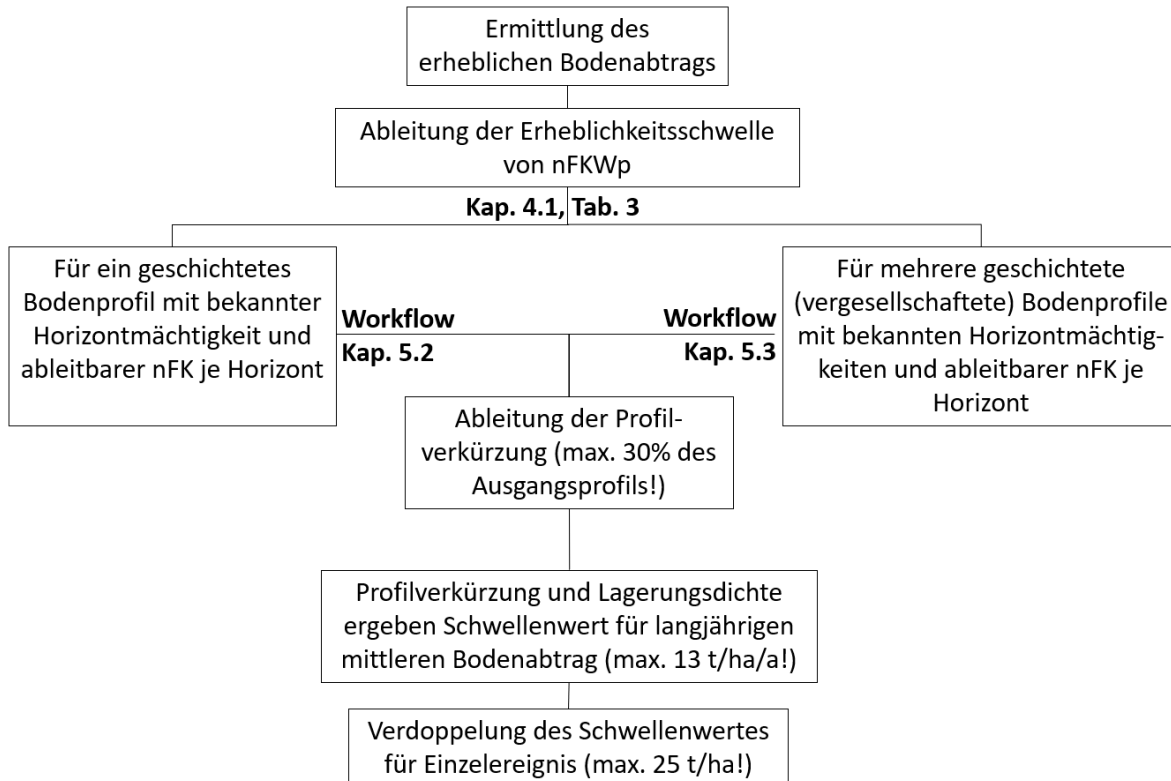
Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs



## 5.4 Zusammenfassung

Eine zusammenfassende Übersicht über die methodische Ableitung des erheblichen Bodenabtrags, zeigt Abbildung 15 in Abhängigkeit von den jeweils für die Bewertung zur Verfügung stehenden Datengrundlagen (einzelne Bodenprofile, vergesellschaftete Profile).

**Abbildung 15: Schema zur Ableitung des erheblichen Bodenabtrages in Abhängigkeit von der Datengrundlage für Einzelereignisse und den langjährigen mittleren Bodenabtrag**



Quelle: eigene Darstellung, VisDat.

## 6 Ergebnisse der Ableitung der Erheblichkeit von Bodenabträgen für den langjährigen mittleren Bodenabtrag für Deutschland auf Grundlage der BÜK 200

Die Ableitung der Erheblichkeit von Bodenabträgen im bundesweiten Maßstab basiert auf der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp, Kapitel 5.3).

Datenbasis ist die bundesweit vorliegenden BÜK 200, da sie die höchst aufgelöste, harmonisierte und deutschlandweit verfügbare Bodenkarte darstellt. Auf Grundlage der BÜK 200 kann die nFKWp harmonisiert für Deutschland auf Grundlage des vorgestellten methodischen Ansatzes abgeleitet werden.

Die BÜK 200 definiert für abgegrenzte Raumeinheiten miteinander vergesellschaftete Bodenformen mit Profilen bis zu einer maximalen Tiefe/Gründigkeit von 2 m. In dem entwickelten methodischen Ansatz wurde empfohlen, die Gründigkeit auf maximal 1 m Tiefe zu beschränken. Dies hat bei tiefgründigeren Böden folgende Konsequenzen:

- ▶ Oberflächennahe Horizonte werden stärker gewichtet da deren Funktionalität besonders stark durch Bodenerosion gemindert wird.
- ▶ Die nFK ist vergleichsweise höher, die Abnahme von nFK mit der Profiltiefe ist geringer,
- ▶ nFKWp ist geringer, da die Verringerung von Wp stärker wirkt als die Erhöhung von nFK,
- ▶ es ergeben sich geringere erlaubte Profilverkürzungen (cm),
- ▶ eine Überschreitung der empfohlenen Höchstgrenzen der Erheblichkeit wird deutlich seltener.

Da die Profile der BÜK 200 im Regelfall einer Landnutzungs-kategorie zugeordnet werden können (z. B. Acker) erfolgt die Ableitung von nFK nutzungs-differenziert. Stehen mehrere Profile je BÜK 200-Polygon und Nutzung zur Auswahl, so werden diese bei der Ableitung von nFK flächengewichtet berücksichtigt.

Nach der Aufbereitung der Eingangsdaten der BÜK 200 (Kapitel 6.1) werden die Ergebnisse für die vier Nutzungsklassen Acker, Grünland, Sonderkulturen und Wald auf ein vorliegendes auf Basis von ATKIS-DLM (Datenquelle: GeoBasis-DE / BKG 2019) projiziertes Nutzungsraster mit einer Auflösung von 10 m x 10 m disaggregiert und dargestellt.

### 6.1 Aufbereitung der Eingangsdaten und Workflow

Die Generierung und Aufbereitung der Eingangsdaten für die Modellierung der erheblichen Bodenabträge erfolgt aus der BÜK 200-Sachdatenbank (V 0.7) über einen zuvor programmierten Workflow in einer PostgreSQL-Umgebung.

Für jedes BÜK 200-Polygon werden vergesellschaftete Profile vorgehalten, die unterschiedlichen Nutzungsklassen zugeordnet werden können. In aufeinander aufbauenden Bearbeitungsschritten wird deshalb zunächst festgelegt, welche Bodenprofile mit welchen mineralischen Horizonten (semisubhydrische, subhydrische und organische Horizonte werden ausgeklammert) und welcher vorhandenen Spezifizierung im Feld „Kultur“ (siehe hierzu KA5, S. 72 (Ad-hoc-AG Boden 2005)) zu welcher Nutzungskategorie (Acker, Grünland, Wald,

Sonderkultur (Obst, Wein)) zugeordnet werden sollen. In einzelnen Fällen fehlt die Angabe der Nutzung (Kultur) in der BÜK 200. In den Fällen erfolgte die Nutzungszuordnung über die Horizontierung der Bodenprofile.

In anschließenden Arbeitsschritten werden die Bodenkennwerte  $W_p$ ,  $nFK$  und  $nFKW_p$  abgeleitet als Grundlage für die sich anschließende Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle  $nFKW_p70$ . Zusätzlich werden die vorgeschlagenen Schwellenwerte für die Vorsorge ( $nFKW_p80$  und  $nFKW_p90$ ) ausgewiesen.

Eine ausführliche Dokumentation des Workflows findet sich im Anhang B.1.

## 6.2 Überführung der Ergebnisse auf das 10 m x 10 m Raster

Die Ergebnisse für die mittlere  $nFK$  in der gründigen Zone (bis max. 1 m Tiefe), die gründige Zone  $W_p$  (bis max. 1 m Tiefe), die sich daraus ableitende  $nFKW_p$ , die  $nFKW_p70$  werden für die vier Nutzungen Acker, Grünland, Sonderkulturen und Wald auf die auf ein 10 m x 10 m Raster projizierten Nutzungen auf Basis von ATKIS-DLM (Datenquelle: GeoBasis-DE / BKG 2019) disaggregiert. Hierbei wird die im Rahmen vorangegangener Arbeiten aufgebaute Datengrundlage genutzt, die in der MoRE-Toolbox (stoffeintraege-more.de) webbasiert vorgehalten wird.

Die Übertragung der polygonbezogenen Informationen aus der BÜK 200 je Nutzung auf das 10 m x 10 m Raster erfolgt über teilautomatisierte Routinen, so dass zunächst für jede der vier Nutzungen ein Rasterdatensatz (HDF5) erzeugt wird. Datenlücken werden geostatistisch unter Nutzung einer Nearest neighbour-Methode geschlossen, so dass der Rasterdatensatz vollständig gefüllt ist. Hierbei handelt es sich um eine Arbeitsgrundlage, die im Wesentlichen dazu dient, etwaige maßstabsbedingte Geometrieinkonsistenzen zwischen ATKIS-DLM und BÜK 200 zu überbrücken. Liegt z. B. eine aus ATKIS-DLM generierte Rasterzelle mit Waldnutzung am Rand eines BÜK 200-Polygons ohne Bodenprofil für Wald, kann die Informationslücke aus dem benachbarten BÜK 200-Profil mit einem Bodenprofil für Wald geschlossen werden.

Die vier erzeugten Rasterdatensätze je Nutzungskategorie werden in einem letzten Schritt unter Beachtung der vorliegenden rasterbezogenen Nutzungsverteilung (abgeleitet und abstrahiert auf Basis von ATKIS-DLM) auf die jeweils zugehörige Nutzung übertragen (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Nutzungskategorien aus der BÜK 200 und zugeordnete rasterbasierte Nutzungen auf Basis von ATKIS-DLM**

Nutzungskategorie BÜK 200	Rasterbasierte Nutzung auf Basis von ATKIS-DLM
Acker	Ackerland
Grünland	Grünland
Sonderkulturen	Obstplantage, Weingarten
Wald	Nadelwald, Mischwald, Laubwald, natürlich bedeckte Fläche

Somit wird für jedes erzeugte Thema (Ergebnis) auch nur ein Rasterdatensatz erzeugt. Für alle weiteren vorliegenden rasterbasierten Nutzungen (Wasserfläche, Feuchtfläche, Siedlungsfläche, Tagebau, offene Fläche) werden keine Ergebnisse für den erheblichen Bodenabtrag und die vorgelagerten Zwischenschritte berechnet.

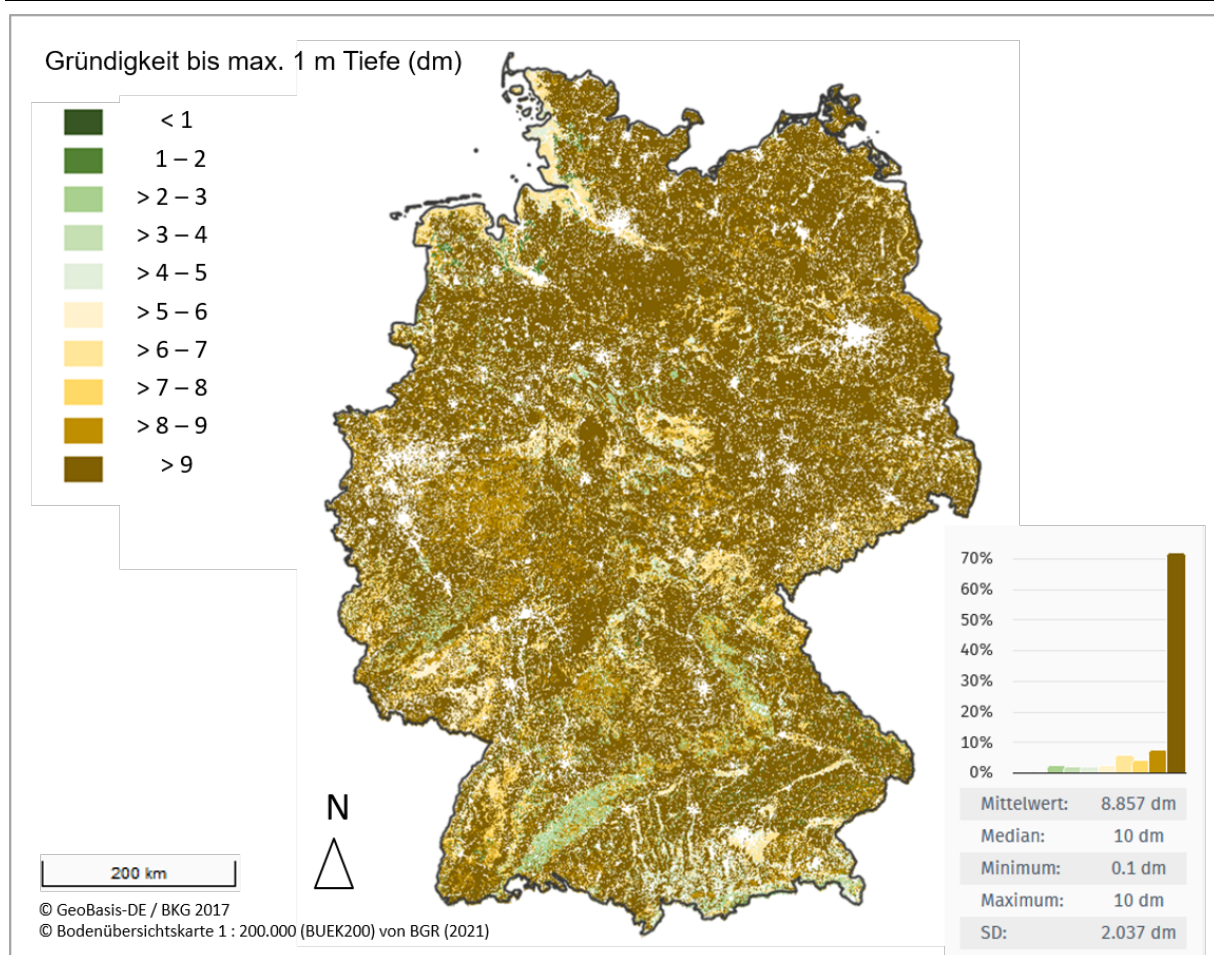
Eine Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt in der webbasierten MoRE-Toolbox. Neben den rasterbasierten Ergebnisdatensätzen werden im Karten- und Statistikmodul der MoRE-Toolbox im Rahmen umfangreicher Postprocessing-Routinen Aggregationen von der Rasterebene auf weitere Auswertungsgeometrieebenen vorgenommen (z. B. Kreise, Flussgebiete, etc.).

### 6.3 Ergebnisse

Nachfolgend werden die bundesweit auf Basis der BÜK 200 abgeleiteten Ergebnisse dargestellt.

Abbildung 16 zeigt die Tiefe der gründigen Zone (Wp) bis maximal 1 m. Auffällig niedrige Werte beschränken sich im Wesentlichen auf einige hoch- bzw. mittelgebirgsgeprägte Lagen. Hier wird in der BÜK 200 vielfach nur der Ap-Horizont in die Berechnung der Gründigkeit einbezogen, da bereits der darunter gelegene Horizont einen zu hohen Grobbodenanteil aufweist (Regosole). Im Diagramm in der Karte (rechts) wird die grundsätzliche Werteverteilung gezeigt. Die meisten Böden sind tiefgründiger als 9 dm.

**Abbildung 16: Tiefe der gründigen Zone des Bodens bis maximal 1 m Tiefe (Wp) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**

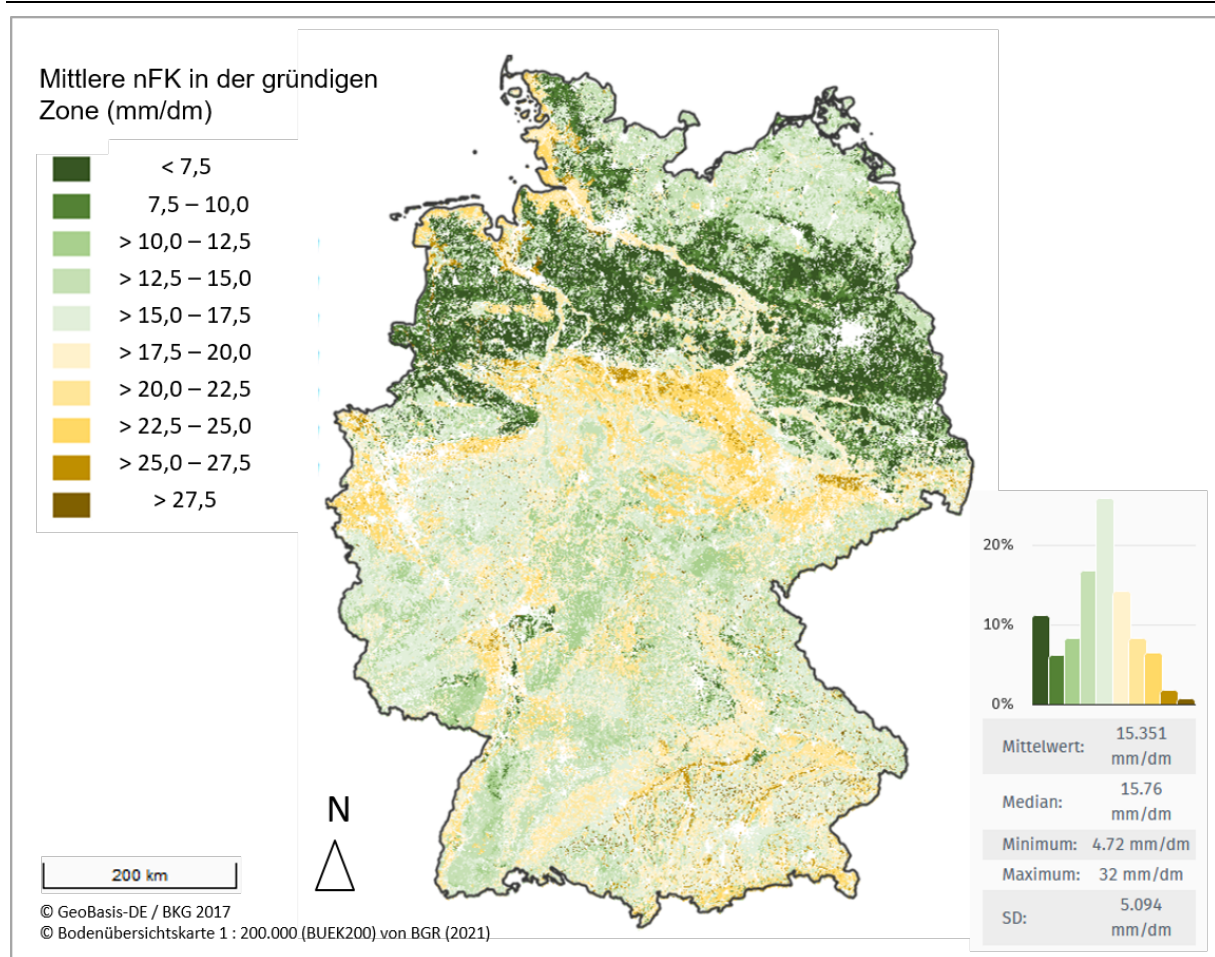


Quelle: eigene Darstellung, VisDat

Abbildung 17 gibt die Verteilung der mittleren nutzbaren Feldkapazität (mittlere nFK) in der gründigen Zone für alle berücksichtigten Nutzungen wieder. Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß deutliche Unterschiede je nach Lockergesteins- bzw. Festgesteinsbereich, Jung- und Altmoränengebiet sowie dem Grad der Lössbeeinflussung.

Die niedrigsten Werte < 7 mm/dm finden sich in sandigen Böden des norddeutschen Tieflands.

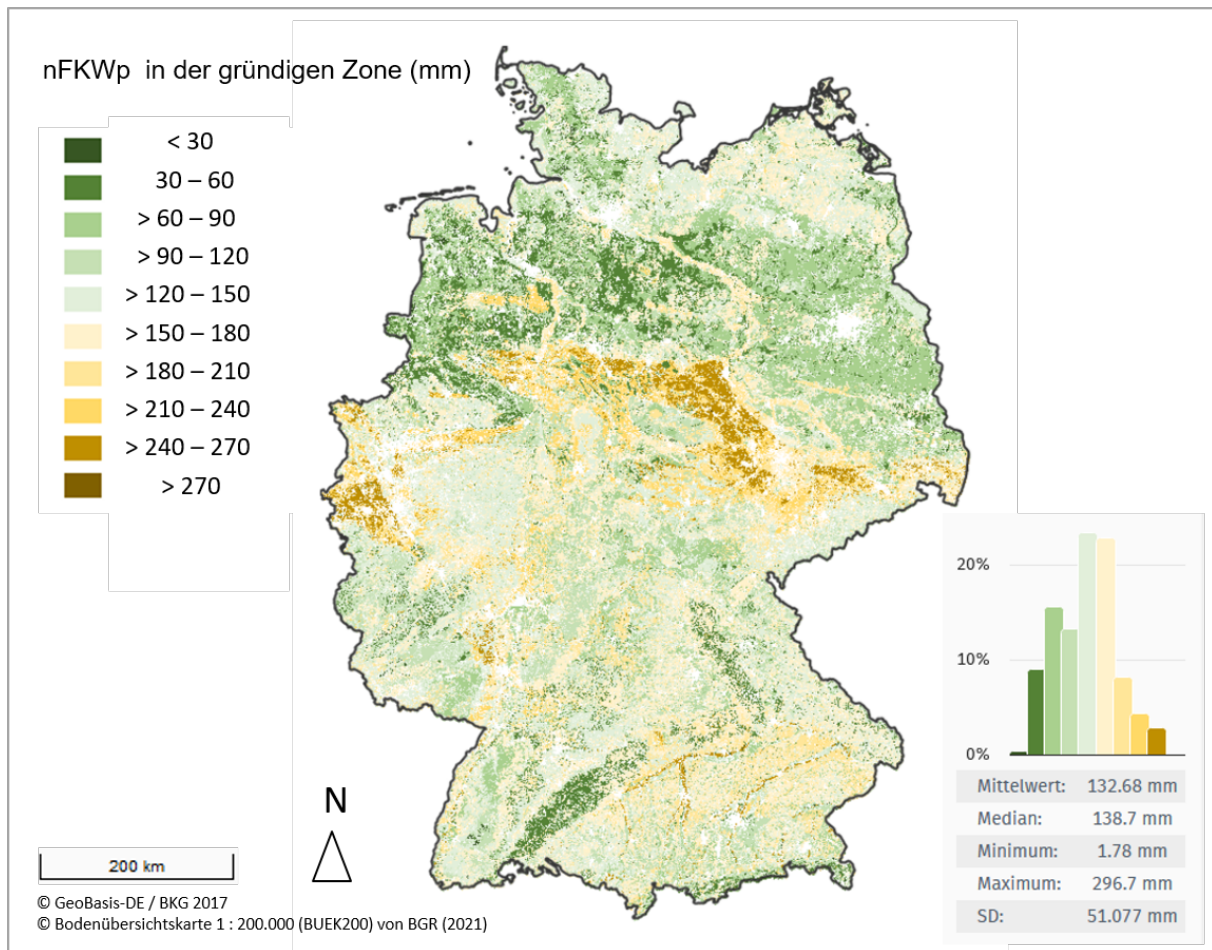
**Abbildung 17: Mittlere nutzbare Feldkapazität (nFK) in der gründigen Zone (Wp) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**



Quelle: eigene Darstellung, VisDat

Aus den beiden vorgenannten Bodenkennwerten wird die nFK<sub>Wp</sub> abgeleitet (Abbildung 18). Da die Gründigkeit in der bundesweiten überregionalen Betrachtung deutlich geringere Spannbreiten aufweist als die nutzbare Feldkapazität, spiegelt sich das Ergebnis der Verteilung der mittleren nFK-Werte (Abbildung 17) optisch stark wider.

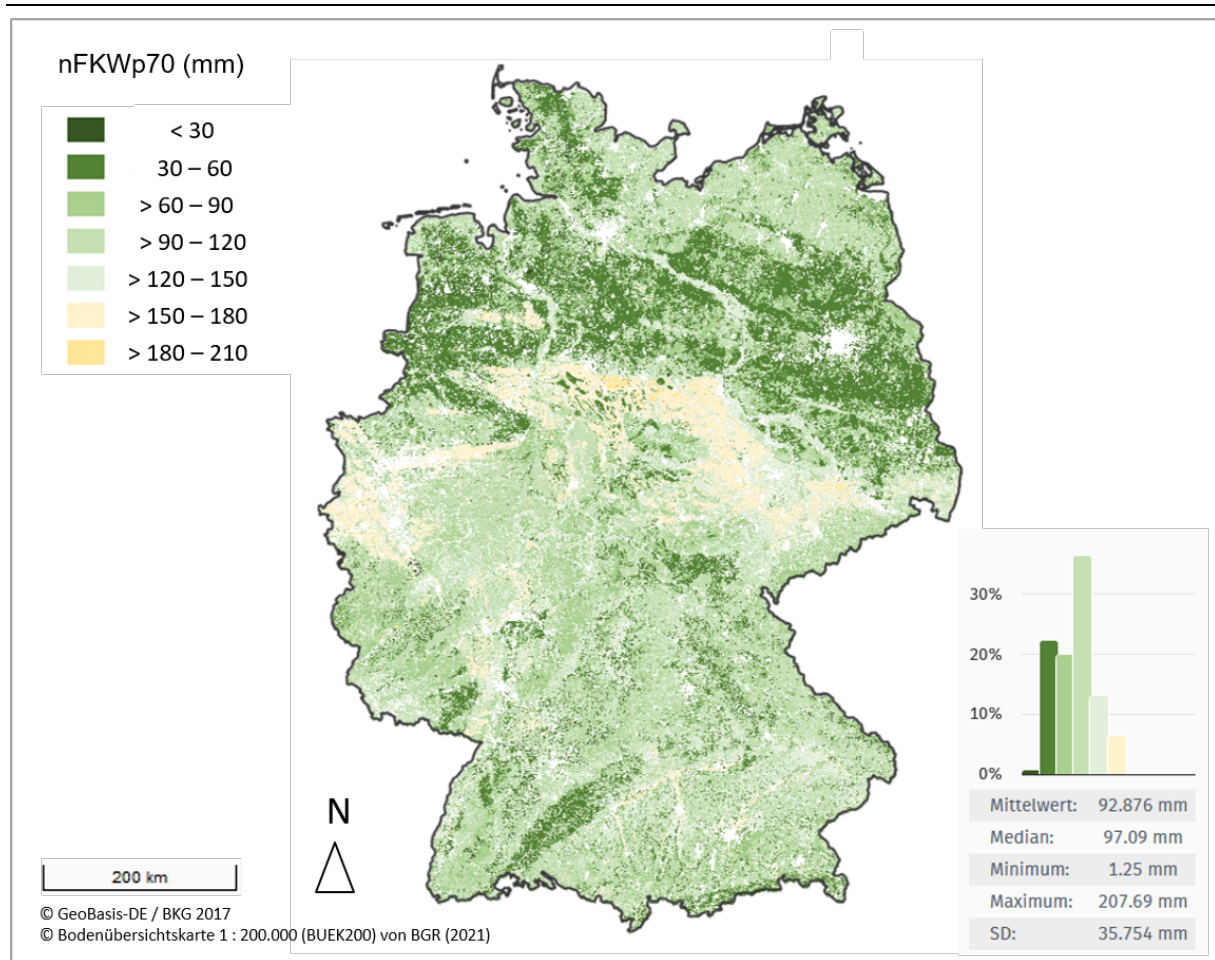
**Abbildung 18: Summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**



Quelle: eigene Darstellung, VisDat

Abbildung 19 zeigt den Schwellenwert der nFKWp70. Die Wertespanne liegt zwischen knapp > 1 bis ca. 208 mm und somit bezogen auf die Maximalwerte ca. 90 mm niedriger als die Werte der nFKWp (Abbildung 18).

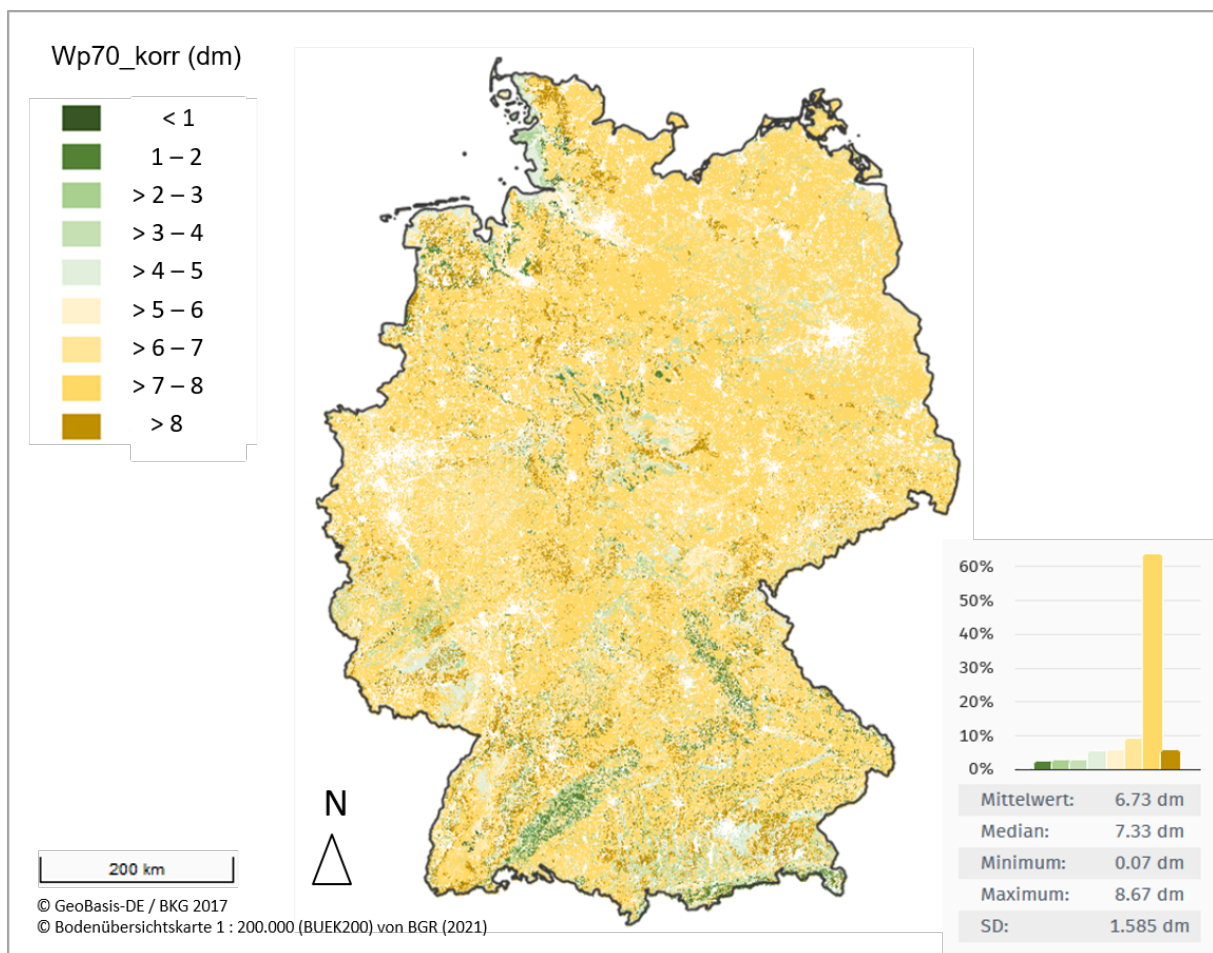
**Abbildung 19: Erheblichkeitsschwelle 70% der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp70) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**



Quelle: eigene Darstellung, KIT / VisDat

Die sich ergebende Mindestmächtigkeit der gründigen Zone  $Wp_{70\_korr}$ , die über den Zeitraum von 300 Jahren unter Annahme des langjährigen mittleren Bodenabtrags nicht unterschritten werden darf, dokumentiert Abbildung 20. Diese Mindestmächtigkeit ergibt sich in der Mehrzahl der Fälle aus dem Wert für nFKWp70 und der jeweiligen Ausprägung der nFK über die iterativ vorgenommene Berechnung (Kapitel 5.3).

**Abbildung 20: Erheblichkeitsschwelle für die gründige Zone Wp70\_korr in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**

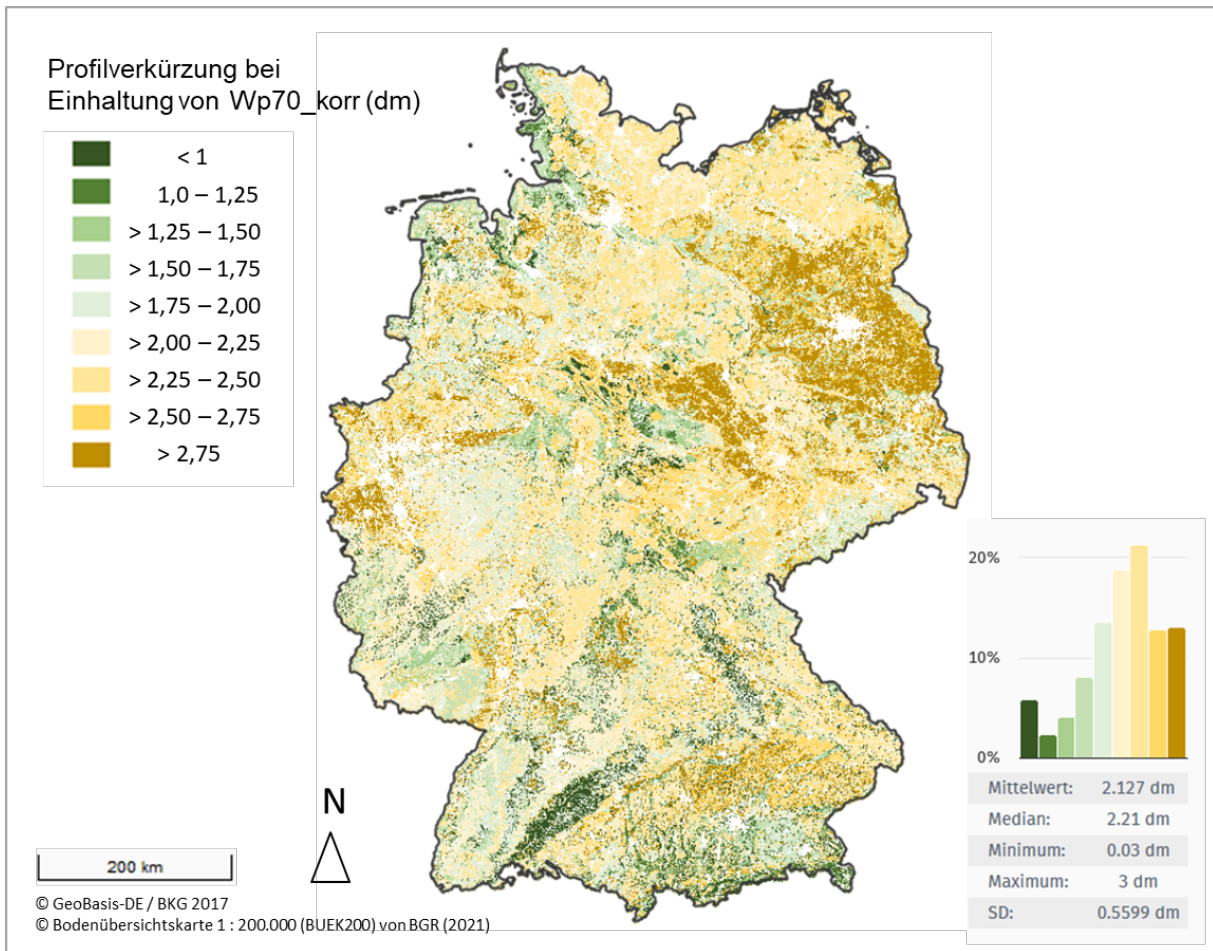


Quelle: eigene Darstellung, VisDat

Abbildung 21 veranschaulicht die Erheblichkeitsschwelle bezogen auf die Profilverkürzung  $\Delta W_p$ . Dieser Wert ergibt in Summe mit dem jeweiligen Wert für Wp70\_korr die Tiefe der gründigen Zone Wp (bis maximal 1 m Tiefe).



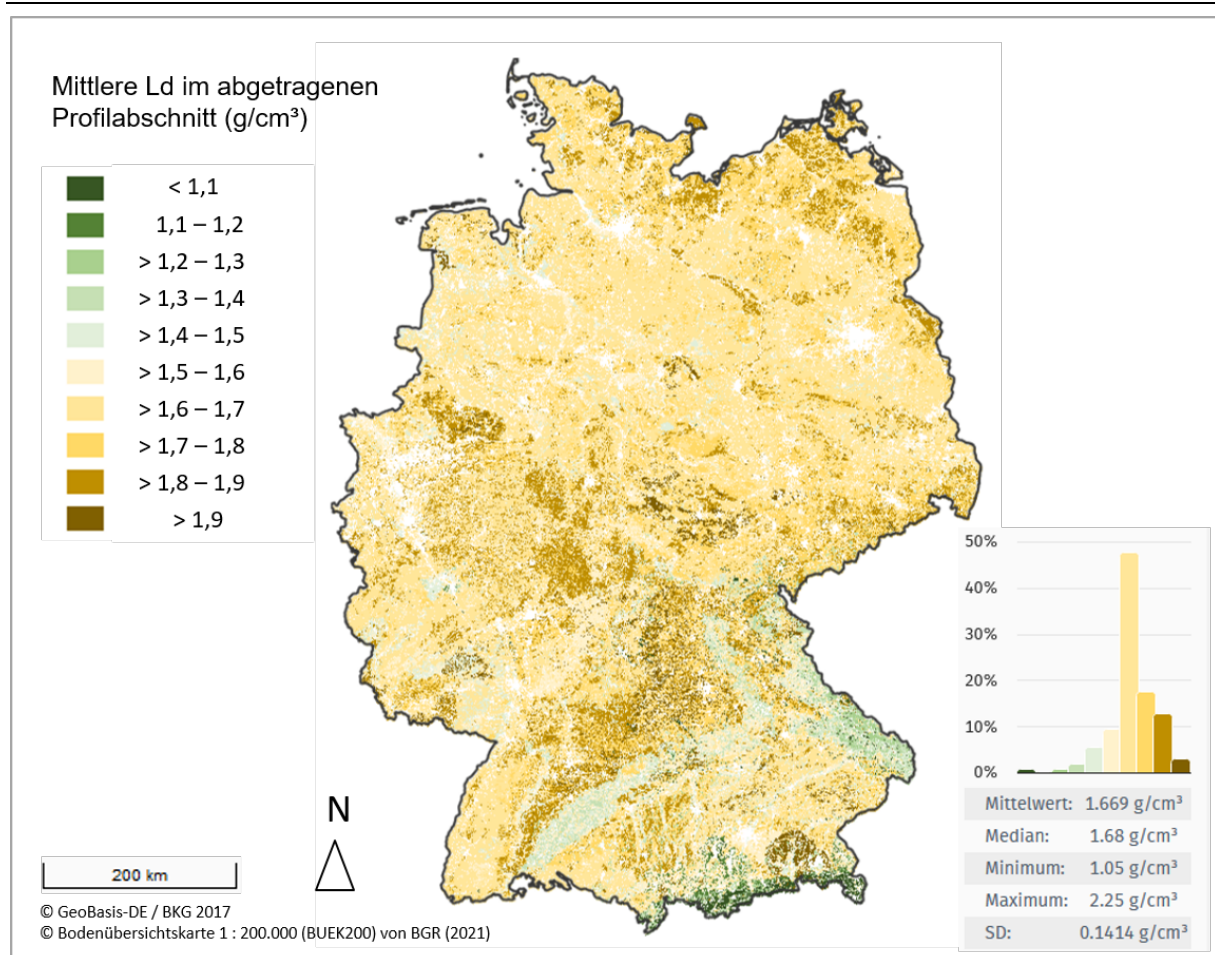
**Abbildung 21: Profilverkürzung  $\Delta W_p$  bei der Erheblichkeitsschwelle ( $W_{p70\_korr}$ ) in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**



Quelle: eigene Darstellung, VisDat

Für die Erheblichkeitsschwelle bezogen auf die Profilverkürzung  $\Delta W_p$  wird im nächsten Schritt die Lagerungsdichte (Abbildung 22) ermittelt. Auch hier werden die für eine gegebene Nutzung relevanten Profile (flächengewichtet) und ihre jeweiligen einzubeziehenden Horizonte und Horizontmächtigkeiten (tiefigewichtet) berücksichtigt.

**Abbildung 22: Mittlere Lagerungsdichte (LD) in dem durch Bodenabtrag über den Zeitraum von 300 Jahren abgetragenen Profilabschnitt  $\Delta W_p$  (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**

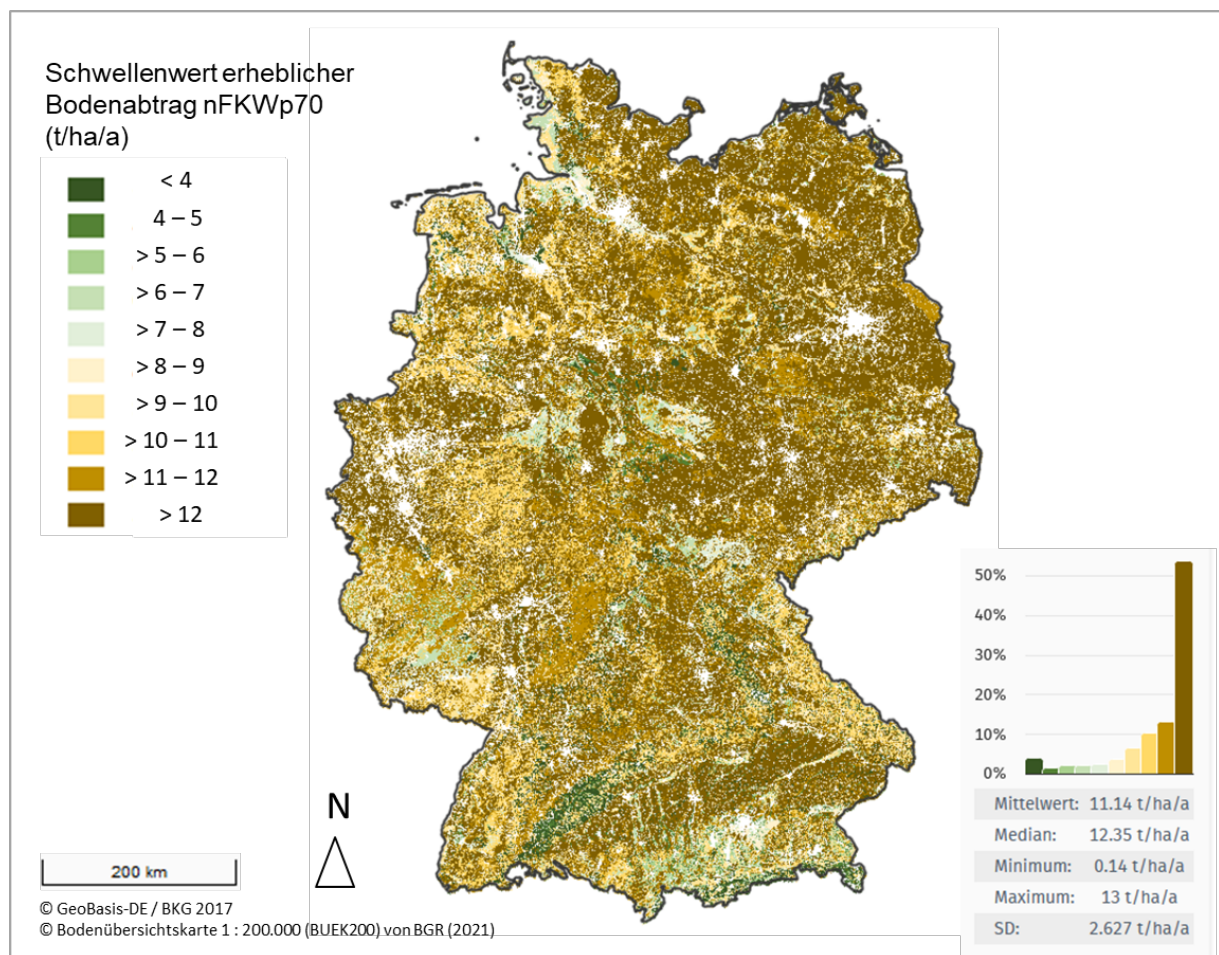


Quelle: eigene Darstellung, VisDat

Anhand der Lagerungsdichte und der Erheblichkeitsschwelle der Profilverkürzung werden die Schwellenwerte für den erheblichen jährlichen Bodenabtrag abgeleitet (Abbildung 23). In mehr als 50 % der Fälle muss der ermittelte Schwellenwert auf den Höchstwert der Erheblichkeitsschwelle des Bodenabtrags ( $13 \text{ t}/\text{ha} \cdot \text{a}^{-1}$ ) begrenzt werden. Im Mittel liegt der Schwellenwert bei knapp über  $11 \text{ t}/\text{ha} \cdot \text{a}^{-1}$ .

Sehr niedrige Schwellenwerte werden insbesondere dann berechnet, wenn ein starker Abfall von nFK im Verlauf des Bodenprofils von oben nach unten vorliegt. Das Mindestkriterium nFKWp70 wird dann im Rahmen der iterativen Berechnung nur bei einer sehr hohen Restgründigkeit bzw. einer sehr geringen Profilverkürzung eingehalten.

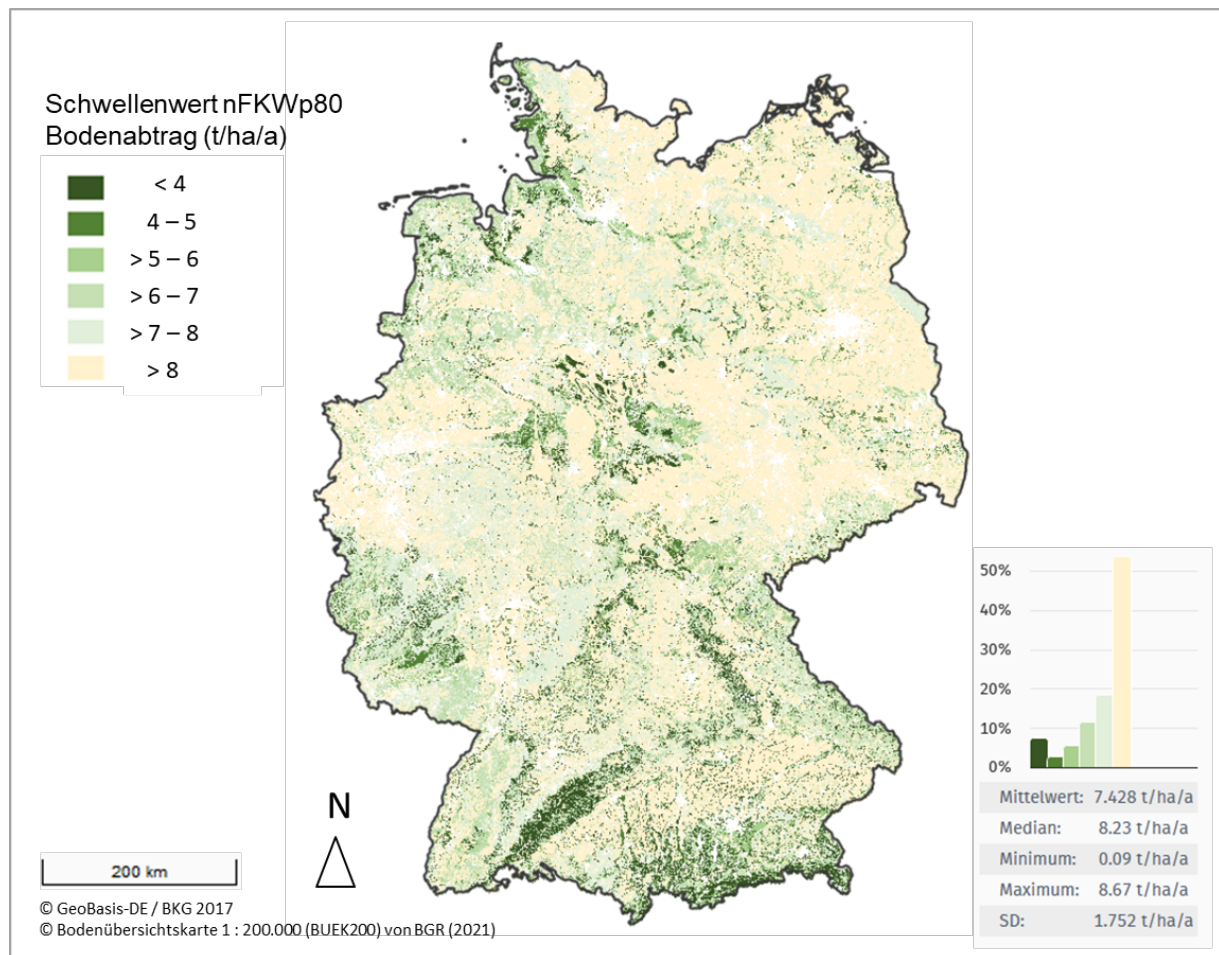
**Abbildung 23: Schwellenwert nFKWp70 für den erheblichen mittleren jährlichen Bodenabtrag in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**



Quelle: eigene Darstellung, VisDat

Abbildung 24 zeigt den Schwellenwert nFKWp80 für den jährlichen Bodenabtrag. Die Ableitung erfolgt direkt aus dem 70 %-Schwellenwert (Abbildung 23), indem das Ergebnis für den erheblichen Bodenabtrag für das 30 %-Kriterium auf das 20 %-Kriterium linear umgerechnet wird (siehe Anhang B.1, 35)). Auch hier wurde die Legendeneinteilung aus der vorhergehenden Abbildung übernommen, um einen Vergleich bezogen auf die Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70, Abbildung 23) besser nachvollziehen zu können. Im Mittel verringert sich der Schwellenwert für den langjährigen mittleren Bodenabtrag von nFKWp70 von knapp über 11 t/ha\*a<sup>-1</sup> auf 7,4 t/ha\*a<sup>-1</sup>. Das Maximum liegt bei ca. 8,7 t/ha\*a<sup>-1</sup>.

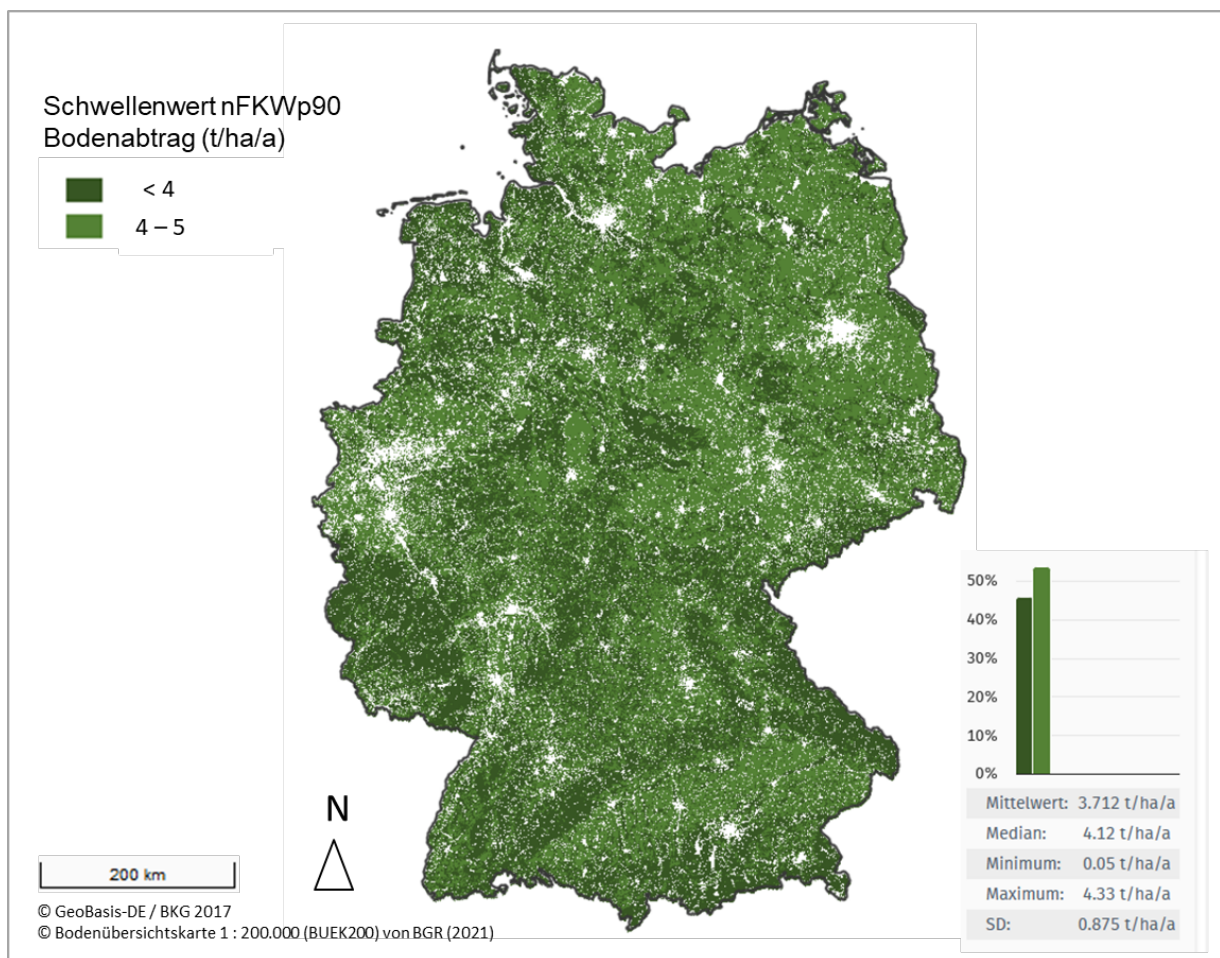
**Abbildung 24: Schwellenwert nFKWp80 für den mittleren jährlichen Bodenabtrag in Deutschland(rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**



Quelle: eigene Darstellung, VisDAT

Die Ableitung der rasterbasierten Schwellenwerte nFKWp90 für den jährlichen Bodenabtrag (Abbildung 25) erfolgt ebenfalls direkt aus der Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70), indem das Ergebnis für den erheblichen Bodenabtrag für das 30%-Kriterium auf das 10 %-Kriterium linear übertragen wird (Anhang B.1, 35)). Auch hier wurde die Legendeneinteilung aus den beiden vorhergehenden Abbildungen übernommen, um den weiteren Rückgang der Schwellenwerte transparenter zu machen. Im Mittel verringert sich der Schwellenwert des mittleren jährlichen Bodenabtrags von 7,4 t/ha\*a<sup>-1</sup> auf 3,7 t/ha\*a<sup>-1</sup> (Maximum bei ca. 4,3 t/ha\*a<sup>-1</sup>).

**Abbildung 25: Schwellenwert nFKWp90 für den mittleren jährlichen Bodenabtrag in Deutschland (rasterbasiert); Grundlage Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200)**

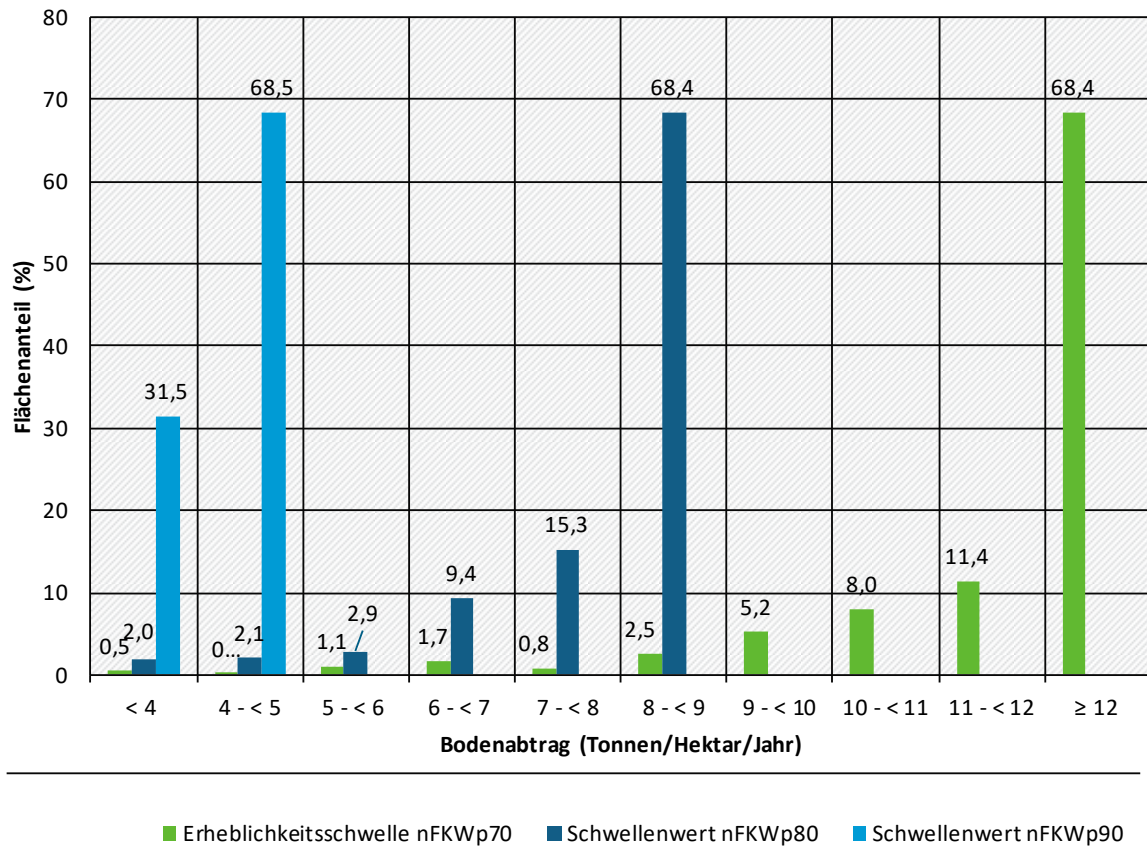


Quelle: eigene Darstellung, VisDat

Entscheidend mit Blick auf die Schwellenwertüberschreitungen sind insbesondere die landwirtschaftlich genutzten Flächen (Acker, Weinbau- und Obstanbau), da hier bedingt durch die Bodenbearbeitung und die fehlende ganzjährige Bodenbedeckung auch die höchsten erosiven Bodenabträge auftreten. Eine Auswertung für die landwirtschaftlich genutzten Flächen zeigt Abbildung 26. Die Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70) wird demzufolge mit Blick auf den langjährigen mittleren Bodenabtrag am häufigsten in der Schwellenwertklasse  $\geq 12 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  überschritten. Flächen mit Bodenabträgen  $> 13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  sind hier mit enthalten, da der Höchstwert der Erheblichkeit des Bodenabtrags auf  $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  begrenzt wurde.

In Bezug auf die nFKWp80 bzw. nFKWp90-Schwellen liegen die höchsten Anteile der Überschreitungen in den Bodenabtragsklassen  $8 - < 9 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  bzw.  $4 - < 5 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$ .

**Abbildung 26: Flächenanteile (%) je Schwellenwertklasse u. a. für die Überschreitung der Schwellenwerte für Erheblichkeit auf Acker, Weingarten und Obstplantage**



Quelle: eigene Darstellung, VisDat

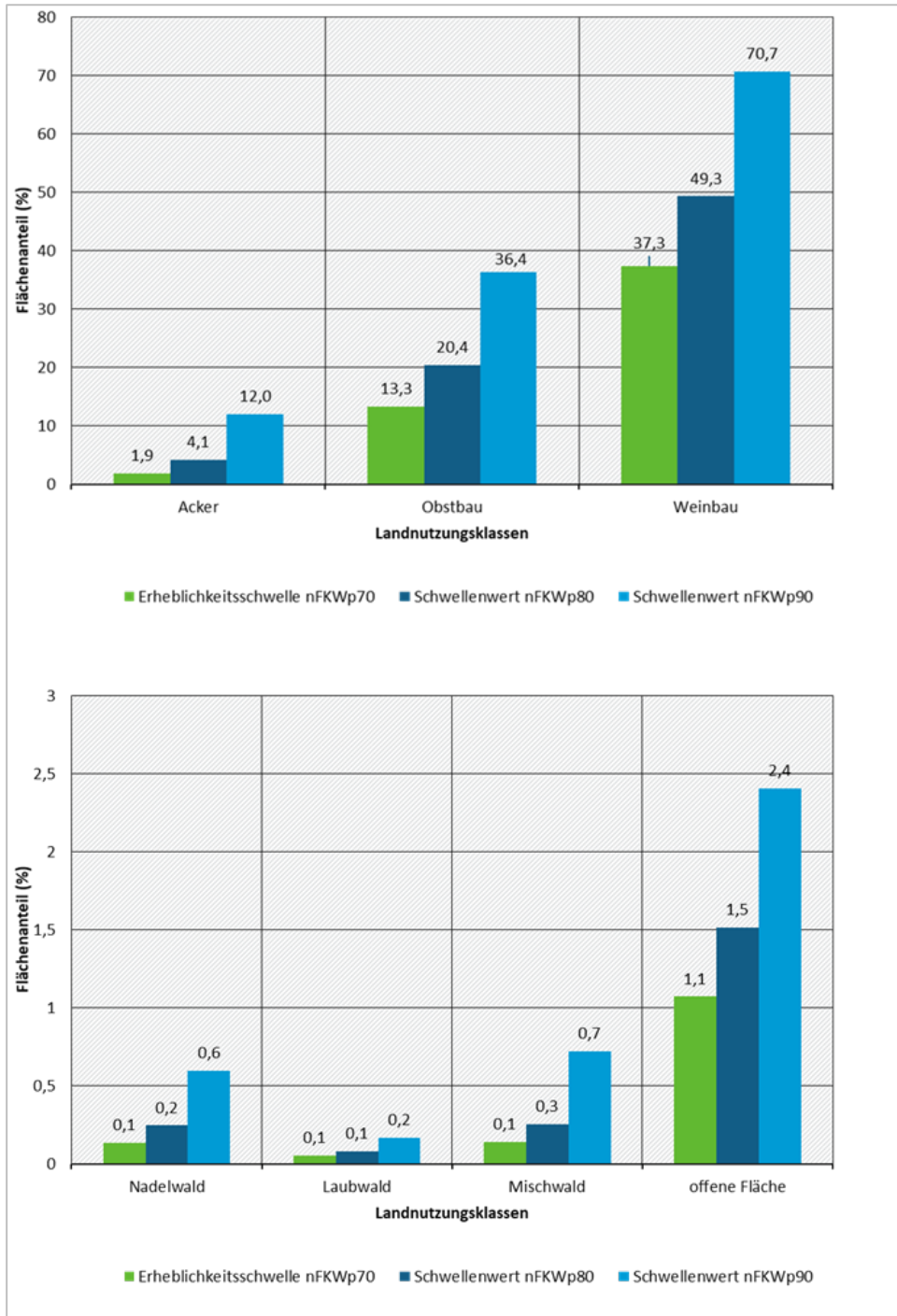
## 6.4 Einordnung der Ergebnisse

In einem letzten Bearbeitungsschritt wurden die auf Bundesebene modellierten langjährigen mittleren Bodenabträge den erheblichen Bodenabträgen gegenübergestellt um überregional einen Eindruck davon zu bekommen, ob die bundesweit mittels ABAG berechneten flächenhaften mittleren jährlichen erosiven Bodenabträge als erheblich einzuschätzen sind. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Aussagen nicht vollzugsrelevant sind, sondern lediglich dem nationalen Überblick dienen. Deutlich hingewiesen werden muss auf die Grenzen der Aussagefähigkeit der Ergebnisse bei Verwendung der ABAG für die Modellierung des mittleren langjährigen Bodenabtrags. Es gibt eine Reihe von skalenbedingten Unschärfen der jeweiligen Eingangsdaten. So wurden zur Ableitung des C-Faktors Fruchtartenspektren auf Kreisebene verwendet (Bach et al. 2023). Alle Bodeninformationen wurden aus der BÜK 200 (Profilvergesellschaftungen) abgeleitet. Die R-Faktoren wurden aus einem 1 km<sup>2</sup>-Raster disaggregiert (Fuchs et al. 2022).

Die nutzungsbezogenen Anteile der Flächen, auf denen der bundesweit modellierte langjährige mittlere Bodenabtrag (Fuchs et al. 2022) den Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag überschreitet zeigt Abbildung 27. Hierbei wird deutlich, dass der Flächenanteil mit höheren Bodenabträgen auf den Weinbauflächen (37 %) am höchsten ist, gefolgt von den Obstanbauflächen (13 %) und mit deutlichem Abstand den Ackerflächen (2 %). Die anderen Nutzungen weisen hier nur marginale Flächenanteile auf.

Höhere Bodenabträge im Vergleich zum Schwellenwert nFKWp80 liegen für 49 % der Weinbauflächen, 20 % der Obstbauflächen und 4 % der Ackerflächen vor. Im Vergleich zum Schwellenwert nFKWp90 werden auf 71 % der Weinbauflächen, 36 % der Obstbauflächen und 12 % der Ackerflächen höhere mittlere Bodenabträge berechnet.

**Abbildung 27: Flächenanteil (%), auf denen der langjährige mittlere Bodenabtrag u. a. den Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag überschreitet**



Quelle: eigene Darstellung, VisDat

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Ziel dieses Vorhabens war die Entwicklung eines methodischen Ansatzes zur Feststellung der Erheblichkeit erosiver Bodenabträge für die bisher national keine verbindlichen Kriterien festgelegt sind. Diese fehlende Konkretisierung (z. B. in der BBodSchV) hat dazu geführt, dass in den Bundesländern z. T. eigene Kriterien festgelegt bzw. unterschiedliche Verfahren entwickelt und angewendet werden, um die Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wasser bzw. Wind zu definieren und eine Bewertung mit Blick auf Vorsorge und Gefahrenabwehr gegen schädliche Bodenveränderungen vornehmen zu können.

Der zu entwickelnde methodische Ansatz sollte die Funktionsfähigkeit von Böden berücksichtigen und skalenübergreifend anwendbar sein, um sowohl in den Bundesländern auf der Vollzugsebene als auch überregional auf Bundesebene, bspw. im Kontext europäischer Anforderungen, nutzbar zu sein.

Die Methodenentwicklung erfolgte in enger fachlicher Abstimmung mit einem Projektbegleitkreis in mehreren Begleitkreistreffen und zusätzlichen Einzelinterviews mit Mitgliedern des Begleitkreises und weiteren Experten.

Im Fokus des Projektes stand der Ansatz zur Beurteilung der Erheblichkeit für den langjährigen mittleren Bodenabtrag auf Basis regionaler Kartenwerke, in denen je Raumeinheit sowohl einzelne als auch mehrere Bodenprofile vorhanden sein können (bspw. BÜK 200). Für die Anwendung des Ansatzes für einzelne Profile auf Basis groß- bis mittelmaßstäbiger Bodenkarten (> 1:200.000) sowie Aufnahmen im Gelände, insbesondere für die Anwendung bei Einzelereignissen auf der Vollzugsebene, wurde die Expertise des AK „Einzelereignisbewertung“ (fachliche Unterarbeitsgruppe der AG „Bodenspezialisten der Bundesländer“) einbezogen.

Die Bodenkennwerte Gründigkeit und nutzbare Feldkapazität, die in den integrierten Kennwert für die Beurteilung der Erheblichkeit des erosiven Bodenabtrags (nFKWp) einfließen, sind aus klein- bis großmaßstäbigen Kartenwerken und auch in der Geländeaufnahme erhebbar. Sie berücksichtigen mit Blick auf die Anforderungen im BBodSchG die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Böden. Das ist nicht zuletzt der Fall, weil über diese beiden Kennwerte bei der Ableitung von nFKWp neben der Feinbodenart auch der Grobbodenanteil, die Lagerungsdichte sowie der Humusgehalt horizontbezogen berücksichtigt werden, die im Zusammenhang stehen mit den natürlichen Bodenfunktionen:

- i. Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- ii. Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
- iii. Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers

sowie der Nutzungsfunktion (Ertragsfunktion, Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung).

Mit dem entwickelten skalenübergreifend anwendbaren methodischen Ansatz zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen wird die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Böden durch Bodenabtrag und somit den Verlust an nFKWp adäquat berücksichtigt.

Der für die Bewertung der Erheblichkeit hinsichtlich der Gefahrenabwehr schädlicher Bodenveränderungen festgelegte Schwellenwert (nFKWp70) baut auf allgemein akzeptierten Literaturquellen und der bisher gängigen Praxis in den Ländern auf. Er wurde in enger



Abstimmung mit den Fachexperten im Projektbegleitkreis abgeleitet. Der Schwellenwert bezieht sich auf einen Zeitraum von 300 Jahren und eine Profilverkürzung beziehungsweise einen maximalen Verlustwert der nFKWp von 30 %. Die daraus resultierenden Bodenabträge sind standortspezifisch ableitbar und unmittelbar für die Beurteilung von langjährigen mittleren Bodenabträgen anwendbar. Für Einzelereignisse wird vorgeschlagen, den berechneten Wert des erheblichen Bodenabtrags für die Gefahrenabwehr zu verdoppeln.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, zusätzlich Höchstwerte der Erheblichkeit festzulegen, um den Bodenschutz weiter zu stärken und insbesondere tiefgründige Böden und Böden mit hoher natürlicher Lagerungsdichte vor zu hohem Bodenabtrag zu schützen. Als Höchstwerte der Erheblichkeit werden für den langjährigen mittleren Bodenabtrag  $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$  und für Einzelereignisse  $25 \text{ t/ha}$  je Ereignis vorgeschlagen.

Ausgehend von der festgelegten Erheblichkeitsschwelle für die Gefahrenabwehr bei Einzelereignissen kann dieser Ansatz für die Ausweisung von Maßnahmen zur Vorsorge erweitert werden. Weitere Schwellenwerte sind denkbar bei 20 % nFKWp (Vorsorgemaßnahmen erforderlich),  $\geq 10 \%$  nFKWp (Vorsorgemaßnahmen empfehlenswert) und  $< 10 \%$  (keine Maßnahmen erforderlich).

Die auf Grundlage der BÜK200 abgeleiteten Ergebnisse auf Bundesebene werden über die Webanwendung „[MoRE-DE Toolbox](https://stoffeintraege-more.de)“ (<https://stoffeintraege-more.de>) veröffentlicht. Ebenfalls verfügbar sind die Ergebnisse einer bundesweiten Modellierung des langjährigen mittleren Bodenabtrags durch Wasser (nach ABAG; siehe Fuchs et al. 2022). Für den modellierten langjährigen mittleren Bodenabtrag durch Wasser konnte auf Grundlage dieser Daten eine Gegenüberstellung mit den Ergebnissen zu erheblichen Bodenabträgen durchgeführt werden. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die auf Bundesebene modellierten langjährigen mittleren Bodenabträge z. T. deutliche Unschärfen auf Grund der verfügbaren und verwendeten Eingangsdatenbasis aufweisen. Zu nennen sind die ausgewiesenen C-Faktoren, z. B. die Fruchtartenspektren für die Ackernutzung. Hierfür wurden vorliegende Daten auf Kreisbasis genutzt. Darüber hinaus stammen alle Bodeninformationen aus der BÜK 200 (Profilvergesellschaftungen), da dies die einzige verfügbare deutschlandweit harmonisierte Datengrundlage ist. Die R-Faktoren wurden aus einem  $1 \text{ km}^2$ -Raster disaggregiert. Das bringt weitere Unschärfen in die Aussagen (Fuchs et al. 2022).

Trotzdem ergibt sich aus dem direkten Vergleich von Erheblichkeit und Bodenabtrag eine überregionale Aussage und Übersicht, in welchen Regionen Handlungsbedarf für Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bzw. zur Vorsorge besteht.

Für den Vollzug bietet der entwickelte Ansatz die Möglichkeit, entsprechend der Anforderungen in der nationalen Gesetzgebung, erosive Einzelereignisse unter Berücksichtigung bodenfunktionaler Gesichtspunkte zu bewerten. Es wäre wünschenswert, wenn dieser Ansatz bundesweit angewendet wird, um national zu einem transparenten, einheitlichen und damit vergleichbaren Vorgehen bei der Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen zu kommen. Für die Anwendung in der Praxis wurde im Rahmen des Vorhabens in Zusammenarbeit mit dem AK „Einzelereignisbewertung“ der Bodenspezialisten der Länder ein Leitfaden entwickelt.

Auf Bundesebene sind dies Ergebnisse über die nationalen Interessen hinaus wichtig. Auf EU-Ebene wird aktuell das Soil Monitoring/Resilience Law diskutiert und verhandelt. Dort sollen unter anderem auch Anforderungen für die Erosion (Bodenabtrag) formuliert werden. Die aktuell in der Diskussion stehenden Anforderungen sehen allerdings einen einheitlichen und nicht weiter fachlich untersetzten feststehenden Wert (2 Tonnen pro Hektar und Jahr) vor.

Mit Blick auf steigende Anforderungen der Aussagefähigkeit zu Fragen des Bodenzustands auch auf nationaler Ebene ist es wichtig, die Modellierung des Bodenabtrags durch Wasser insbesondere in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung und im Hinblick auf die Abbildung zu erwartender Effekte des Klimawandels weiter zu verbessern. Bodenabtrag ist ein entscheidender Faktor bei der Degradation von Böden, dem Verlust ihrer Funktionalität und schließlich für die menschliche Ernährung wichtige Ertragsfähigkeit der Böden. Das beinhaltet nicht zuletzt auch eine Verbesserung der notwendigen Datengrundlagen, wie bspw. der Bodeninformationen und der Bewirtschaftungsdaten. Auch dem Bodenabtrag durch Wind sollte zukünftig verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Gemäß DIN 19706 (2013) kann das Risiko für Bodenerosion durch Wind in Abhängigkeit von der Bodenerosivität des Windes, der mittleren Windgeschwindigkeit, der Schutzwirkung von Fruchtarten bzw. Fruchtfolgen sowie der Schutzwirkung von Windhindernissen für Ackerflächen abgeschätzt werden. Bundesweite Ergebnisse werden derzeit in einem Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes (FKZ 3723 NK 802 0) abgeleitet und werden in Kürze ebenfalls über die oben genannte Webanwendung „[MoRE-DE Toolbox](https://stoffeintraege-more.de)“ (<https://stoffeintraege-more.de>) veröffentlicht werden. Für die Berechnung von langjährigem oder Einzelereignis- bezogenem Bodenverlust (on-site) in t/ha ist das Verfahren nach DIN 19706 (2013) aber nicht geeignet, da lediglich Bodenabtragsrisiken abgebildet werden. Insofern können die hier erzielten Ergebnisse nicht für die Frage der Erheblichkeit von Bodenerosion im Hinblick auf eine mögliche Überschreitung von Schwellenwerten (ggf. in gemeinsamer Betrachtung der Bodenabträge durch Wind und Wasser) genutzt werden. Hierfür wäre ein Wechsel auf höher aufgelöste Modellierungsansätze, wie z. B. die RWEQ (Revised Wind Erosion Equation Model, siehe Fryrear et al. 2000, Borelli et al. 2017) notwendig.

## 8 Danksagung

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein fachlicher Begleitkreis aus Vertretern der Länder einberufen (u. a. des BOVA), um die grundlegenden methodischen Ansätze und die Ergebnisse kritisch zu diskutieren. Aus dem Begleitkreis kamen substantielle Hinweise u. a. zur Umsetzbarkeit und den daraus resultierenden methodischen Anforderungen an die Erheblichkeitsbewertung. Die Diskussionen und Beiträge im und aus dem Begleitkreis haben entscheidend zu den Ergebnissen des Vorhabens beigetragen.

Die Forschungsnehmer bedanken sich für die kritische Begleitung und insbesondere für die Intensität und Tiefe der fachlichen Diskussionen, die über die Begleitkreistreffen hinaus in Einzelinterview fortgeführt werden konnten. Unser besonderer Dank gilt insbesondere Frau Angelika Groth (Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt; Mitglied des BOVA), Herrn Böhm (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; Vorsitz des BOVA) und Herrn Fabian Achten (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) und Herrn Florian Stange (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) für die extra Zeit und den konstruktiven fachlichen Input.

Weiterhin bedanken wir uns besonders beim AK Einzelereignisbewertung der Bodenspezialisten der Länder (Herr Felix Holst, Herr Marcus Schindewolf, Herr Florian Ebertseder, Herr Thomas Pollmann), der die Übertragung der methodischen Ansätze für langjährige Bewertungen auf die für die Praxis vor Ort so wichtige Einzelereignisbetrachtung durchgeführt und getestet hat.

## 9 Quellenverzeichnis

Auerswald, K.; Fischer, F. K.; Winterrath, T.; Brandhuber, R. (2019): Rain erosivity map for Germany derived from contiguous radar rain data. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23 (4), S. 1819–1832. <https://doi.org/10.5194/hess-23-1819-2019>, 2019

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 5. verbesserte und erweiterte Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung

Borrelli, P.; Lugato, E.; Montanarella, L.; Panagos, P. (2017): A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land Degrad. Develop.* 28: 335-344. <https://doi.org/10.1002/ldr.2588>

Bug, J.; Heumann, S.; Müller, U.; Waldeck, A. (2020): Auswertungsmethoden im Bodenschutz - Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, 9. Auflage. Hannover. DOI 10.48476/geober\_19\_2020.

BVB (2004): Handlungsempfehlungen zur Gefahrenabwehr bei Bodenerosion. BVB-Merkblatt Nr. 1. Bundesverband Boden e. V., 2004.

DIN 19706 (2013): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind (48. Er-Lieferung/ Juli 2013, Ersatz für DIN 19706:2004-5). DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

DIN 19708:2021-11 (2022): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

DIN 19708 (2005): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mithilfe der ABAG. DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

DWA (2016): Bodenfunktionsansprache, Teil 1: Ableitung von Kennwerten des Bodenwasserhaushaltes. DWA Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 920-1.

DWA (2018): Bodenfunktionsansprache, Teil 3: Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt (N, P, K, Ca, Mg, S) ackerbaulich genutzter Standorte. DWA Regelwerk, Merkblatt DWA-M 920-3.

Fryrear, D.W.; Bilbro, J.D.; Saleh, A.; Schomberg, H.; Stout, J.E.; Zobeck, T.M. (2000): RWEQ: improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation* 55, 183-189.

Fuchs, S.; Brecht, K.; Gebel, M.; Bürger, S.; Uhlig, M.; Halbfuß, S. (2022): Phosphoreinträge in die Gewässer bundesweit modellieren – Neue Ansätze und aktualisierte Ergebnisse von MoRE-DE. UBA Texte | 142/2022. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/phosphoreintraege-in-die-gewaesser-bundesweit>

Häußermann, U.; Bach, M.; Klement, L.; Knoll, L.; Breuer, L.; Strassemeyer, J.; Pöllinger, F.; Golla, B. (2023): Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe und der Verwendung von Gärresten auf die Oberflächen- und Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. UBA-Texte | 163/20232. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkungen-des-anbaus-nachwachsender-rohstoffe>

LABO/LAWA (2021): Degradation von Böden – Bodenerosion durch Wasser – Positionspapier. [https://www.lawa.de/documents/lawa-labo-positionspapier-degradation-von-boede-bodenerosion-durch-wasser-barrierefrei\\_1689855168.pdf](https://www.lawa.de/documents/lawa-labo-positionspapier-degradation-von-boede-bodenerosion-durch-wasser-barrierefrei_1689855168.pdf)

- LBEG (2017): Methodik zur Einteilung von landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser gemäß § 6 Abs. 1 der Agrarzählungen-Verpflichtungenverordnung in Niedersachsen. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen.
- LGB (2017): Materialien zur Bodenerosion durch Wasser in Rheinland-Pfalz. Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 2017 (2).
- LfL/LfU (2012): Arbeitshilfe zur Umsetzung des Bodenschutzrechts hinsichtlich Gefahrenabwehr bei Bodenerosion durch Wasser. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012.
- LfU (2022): Bodengefährdung - Wassererosionsgefährdung nach DIN 19708. Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein. Umweltportal, Geodatensatz. Online verfügbar unter <https://umweltportal.schleswig-holstein.de/trefferanzeige?docuuid=9542d1cb-e0e8-48ca-98fe-d1c9df97fe33>, zuletzt aktualisiert am 01.01.2022, zuletzt geprüft am 23.02.2023.
- LLG (2018): Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten. Lokale Kooperation zwischen Landwirten und Gemeinden sowie weiteren Akteuren zur Vermeidung von Bodenerosion. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt 1/2018.
- LLG (o.J.): Bodenverluste infolge von Bodenerosion durch Wasser: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG), Online verfügbar unter <https://llg.sachsen-anhalt.de/themen/agraroekologie-und-umwelt/landwirtschaftlicher-bodenschutz/bodenverluste>, zuletzt geprüft am 27.09.2024.
- LUBW (2011): Merkblatt Gefahrenabwehr bei Bodenerosion. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 1. Auflage. 2011 (25).
- LLH (2006): Bodenerosion in Hessen. Einschätzung und Vorsorge. Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen.
- Landesregierung Saarland (2011): Merkblatt Erosionsschutz in der Landwirtschaft. Saarbrücken, 2011.
- LWK (2007): Bodenerosion durch Wasser. Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.
- LfULG (2013): Gefahrenabwehr bei Bodenerosion. Arbeitshilfe. Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden.
- LMS Agrarberatung GmbH (2014): Erosionsereigniskataster „Landwirtschaft“ für Bodenerosionen durch Wasser und Wind. Fachinformation BS-14-01 der Zuständigen Stelle für landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung (LFB) des Landes Mecklenburg-Vorpommern, Rostock.
- Meesenburg, H.; Rücknagel, J.; Steininger, M.; Wurbs, D. (2020): Bodenschutz in Land- und Forstwirtschaft. – In: Bodenschutz 3 (2020), S. 114 – 120. <https://doi.org/10.37307/j.1868-7741.2020.03.09>
- MKLLU MV (2016): Erosionsereigniskataster Mecklenburg-Vorpommern. Bodenerosion durch Wasser. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern.
- MLUR (2002): Informationsheft zum landwirtschaftlichen Bodenschutz im Land Brandenburg. Teil Bodenerosion. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung Brandenburg, 2002.
- Mosimann, Th.; Maillard A.; Musy, A.; Neyroud, J. A.; Rüttimann, M.; Weisskopf, P. (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten – ein Leitfaden für die Bodenerhaltung. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogramms „Nutzung des Bodens in der Schweiz“ – Liebefeld-Bern.

Schindewolf, M. (2019): Stand der landwirtschaftlichen Erosionsschutzberatung in Thüringen, 2019. Online verfügbar unter [https://gewaesserschutz-thueringen.de/wp-content/uploads/Schindewolf\\_ErosionsschutzberatungThueringen\\_2019\\_10\\_28.pdf](https://gewaesserschutz-thueringen.de/wp-content/uploads/Schindewolf_ErosionsschutzberatungThueringen_2019_10_28.pdf), zuletzt geprüft am 29.03.2023.

Schrödter, M. (2013): Aktuelles zum Boden- und Gewässerschutz in Sachsen-Anhalt. Landesanstalt für Landwirtschaft, Forst und Gartenbau Sachsen-Anhalt. Online verfügbar unter [https://www.gkb-ev.de/publikationen/2013/2013-Bernburg/abt-13\\_schroedter.pdf](https://www.gkb-ev.de/publikationen/2013/2013-Bernburg/abt-13_schroedter.pdf), zuletzt geprüft am 14.03.2024.

Schwertmann, U.; Vogl, W.; Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. – 2. Aufl.; Stuttgart (Ulmer).

## A Anhang: Tabellen

### A.1 Status Quo der Bundesländer zur Erheblichkeit von langjährigen mittleren Bodenabträgen

**Tabelle A-1 1: Berechnung der Erosionsgefährdung für einige Bundesländer, ohne Einschätzung der Erheblichkeit**

Bundesländer	Berechnung	Quelle
Brandenburg Hessen, Rheinlandpfalz, Saarland	$R * K * S * L * C * P$	MLUR (2002), LLH (2006), LGB (2017), Landesregierung Saarland (2011)
Niedersachsen	$K * S * R * 2$	LBEG (2017)
Schleswig-Holstein	$K * S * R$	LfU (2022)

R, K, S, L, C und P sind die ABAG-Faktoren; R= Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor, K= Bodenerodierbarkeitsfaktor; S= Hangneigungsfaktor, L= Hanglängenfaktor, C= Bedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor, P= Faktor zur Berücksichtigung von Erosionsschutzmaßnahmen

**Tabelle A-1 2: Bewertung des erheblichen Bodenabtrags nach Schwertmann-Ansatz**

Bundesländer	Berechnung	Quelle
Baden- Württemberg, Mecklenburg- Vorpommern	Einzelereignis > Bodenzahl (BZ)/2 (t/a) aus flächenhafter Bodenerosion inkl. kleinerer Erosionsformen  Einzelereignis > BZ/2 (t/a) aus Erosionsrinnen  Einzelereignis > BZ/2 (t/a) aus Grabenerosion  Geschätzter Bodenabtrag mithilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) $> BZ/4 (t/ha * a^{-1})$ bzw. $> 13 t/ha * a^{-1}$ + Wiederkehrwahrscheinlichkeit	LUBW (2011), MKLLU MV (2016)
Bayern	Einzelereignis: wenn auf mindestens 0,5 ha eine flächige Erosion mit Rillen- und Rinnenbildung  oder eine Grabenerosion bis in den Unterboden auf über 50 m Länge  oder sonstige Geländebefunde vorliegen, die auf einen einmaligen Abtrag schließen lassen, der deutlich über dem Betrag von BZ/2 (t/ha) liegt. + Wiederkehrwahrscheinlichkeit + Jährlichkeit des Niederschlagsereignisses	LfL und LfU (2012)
Nordrhein- Westfalen	Langjähriger Bodenabtrag $< BZ/8$ : Anforderungen der Vorsorge und Gefahrenabwehr im Rahmen der „Guten fachlichen Praxis“ in der Regel erfüllt → in der Regel kein Handlungsbedarf  Langjähriger Bodenabtrag $> BZ/8$ und $< BZ/4$ : Anforderungen der Vorsorge und Gefahrenabwehr in der Regel erfüllt, wenn bereits alle zumutbaren Erosionsschutzmaßnahmen durchgeführt werden:	LWK (2007)

Bundesländer	Berechnung	Quelle
	<p>→ Beratung im Sinne der Vorsorge empfehlenswert                      → Gefahrenverdacht: weitere Untersuchungen ggf. notwendig;                      Maßnahmen der Gefahrenabwehr in der Regel nur erforderlich, wenn zumutbare Maßnahmen nicht ergriffen wurden</p> <p>Langjähriger Bodenabtrag <math>&gt; BZ/4</math> und <math>&lt; BZ/2</math>: Anforderungen der Vorsorge in der Regel nicht und der Gefahrenabwehr vermutlich nicht erfüllt:                      → Beratung im Sinne der Vorsorge dringend notwendig                      → Gefahrenverdacht: weitere Untersuchungen erforderlich; Maßnahmen der Gefahrenabwehr kann notwendig sein</p> <p>Langjähriger Bodenabtrag <math>&gt; BZ/2</math>: Anforderungen der Vorsorge nicht und der Gefahrenabwehr in der Regel nicht erfüllt:                      → Gefahrenverdacht ist in der Regel begründet; Maßnahmen der Gefahrenabwehr sind notwendig</p>	
Sachsen-Anhalt	<p>Langjähriger Bodenabtrag <math>&lt; BZ/8</math>; Kappungsgrenze 7: Gefahrenverdacht ist ausgeschlossen. → Mit zunehmendem Schwellenwert erhöhen sich die Anforderungen an Vorsorgemaßnahmen gegen Bodenerosion.</p> <p>Langjähriger Bodenabtrag <math>&gt; BZ/8</math> und <math>&lt; BZ/4</math>; Kappungsgrenze <math>13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}</math>: Anforderungen der Vorsorge und Gefahrenabwehr in der Regel erfüllt, wenn alle zumutbaren Erosionsschutzmaßnahmen ergriffen werden: → Vorsorgeberatung empfehlenswert</p> <p>Langjähriger Bodenabtrag <math>&gt; BZ/4</math>; Kappungsgrenze <math>13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}^{-1}</math>: Anforderungen der Vorsorge in der Regel nicht und der Gefahrenabwehr vermutlich nicht erfüllt:                      → Vorsorgeberatung notwendig                      → Gefahrenverdacht: weiterführende Untersuchungen notwendig                      → Maßnahmen der Gefahrenabwehr kann notwendig sein</p> <p>Langjähriger Bodenabtrag <math>&gt; BZ/2</math>: Maßnahmen der Gefahrenabwehr in der Regel sofort notwendig</p>	LLG (2018)
Thüringen	Einzelereignis: $BZ/8$	Schindewolf (2019)

BZ = Bodenzahl



**Tabelle A-1 3: Bewertung der Erheblichkeit von Bodenabträgen in Sachsen**

Bundesland	Berechnung	Quelle
Sachsen	Einzelereignis, Geländeaufnahme: Bodenabtrag aus Erosionsrillen und Erosionsrinnen $\geq 25$ t/ha Einzelereignis, Modellierung: Bodenabtrag $\geq 25$ t/ha Berechnung: durchschnittliche jährliche flächenhafte Bodenabtragsgefährdung (RKSLC) nach ABAG $\geq 13$ t/ha*a <sup>-1</sup> . + Wiedereintrittswahrscheinlichkeit prüfen	LfULG (2013)

R, K, S, L, C und P sind die ABAG-Faktoren; R= Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor, K= Bodenerodierbarkeitsfaktor; S= Hangneigungsfaktor, L= Hanglängenfaktor, C= Bedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor, P= Faktor zur Berücksichtigung von Erosionsschutzmaßnahmen

## B Anhang: Workflow (deutschlandweite Betrachtung der Erheblichkeit)

### B.1 Workflow zur Ableitung der Bodenkennwerte aus der BÜK 200

Im Folgenden wird der Workflow zur Ableitung der Bodenkennwerte aus der BÜK 200 in den einzelnen Arbeitsschritten (insgesamt 36) dargestellt. Die Angaben bezogen auf die Nutzungsarten, Kulturen, Bodentypen, Horizonte, etc. werden nach KA5 (Ad-hoc-AG Boden 2005) verwendet. Diese sind dort ausführlich erläutert.

#### Zuordnung der Bodenprofile der BÜK 200 zu den Nutzungskategorien

- 1) Für die Nutzungskategorie **Acker**: Einbeziehung der Nutzungsarten Ackerfläche allgemein (A) und BA (KA5, Liste 13, S. 72).
- 2) Bei fehlender Angabe zur Nutzung wird für eine Zuordnung zur Ackernutzung geprüft, ob ein Bearbeitungshorizont vorhanden ist: Profil enthält Ap-Horizont (terrestrischer Oberbodenhorizont, gepflügt; A steht vor p, dazwischen können weitere Zeichen stehen). Bestimmte Bodentypen werden für die Nutzungsart Acker ausgeschlossen: Bodentypen sind nicht (≠):
  - Hochmoor (HH),
  - Niedermoor (HN),
  - Moorgley (GH),
  - Skeletthumusboden (FS),
  - Felshumusboden (FF),
  - Nassstrand (IA),
  - Watt (IW),
  - Gytjtja (JG),
  - Rigosol (YY) oder
  - Strand (ÜA).
- 3) Für die Nutzungskategorie **Grünland**: Einbeziehung der Nutzungsarten (KA5, Liste 13, S. 72):
  - Grünlandbrache (BG),
  - Grünlandfläche allgemein (G),
  - Weide (GE),
  - Grünland-Wechselwirtschaft (GW).

- 4) Bei fehlender Angabe zur Nutzung wird für eine Zuordnung zur Nutzung Grünland geprüft, ob ein Bearbeitungshorizont vorhanden ist: Profil enthält keinen Ap-Horizont (terrestrischer Oberbodenhorizont, gepflügt; A steht vor p, dazwischen können weitere Zeichen stehen). Bestimmte Bodentypen werden für die Nutzungsart Grünland angenommen: Bodentypen sind (=):
- Gley (GG),
  - Anmoorgley (GM),
  - Knickmarsch (MK),
  - Kleimarsch (MN),
  - Organomarsch (MO),
  - Kalkmarsch (MC),
  - Dwogmarsch (MD),
  - Haftnässemarsch (MH),
  - Rohmarsch (MR),
  - Pseudogley-Parabraunerde (SS-LL),
  - Stagnogley (SG),
  - Pseudogley (SS),
  - Plaggenesch (YE) oder
  - Kolluvisol (YK).
- 5) Für die Nutzungskategorie **Sonderkulturen** werden alle Nutzungsarten einbezogen. Bestimmte Bodentypen werden für den Anbau von Sonderkulturen ausgeschlossen: Bodentypen sind nicht (≠):
- Strand (ÜA),
  - Nassstrand (IA),
  - Watt (IW),
  - Protopedon (JP),
  - Gyttja (JG),
  - Sapropel (JS),
  - Niedermoor (HN),
  - Hochmoor (HH),

- Erdniedermoor (KV),
  - Mulmniedermoor KM oder
  - Erdhochmoor (KH).
- 6) Bei fehlender Angabe zur Nutzung wird für eine Zuordnung zur Nutzung Sonderkulturen geprüft: Bodentyp ist Rigosol (YY).
- 7) Für die Nutzungskategorie **Wald**: Einbeziehung der Nutzungsarten (KA5, Liste 13, S. 72):
- Forst allgemein (F),
  - Naturwaldparzelle (FN),
  - Ödland allgemein (O),
  - Trockenfläche (OR) oder
  - Kusselgelände, Gehölz (OK).
- 8) Bei fehlender Angabe zur Nutzung wird für eine Zuordnung zur Nutzung Sonderkulturen geprüft, ob ein Bearbeitungshorizont vorhanden ist: Profil enthält keinen Ap-Horizont (terrestrischer Oberbodenhorizont, gepflügt; A steht vor p, dazwischen können weitere Zeichen stehen). Bestimmte Bodentypen werden für die Nutzungsart Grünland angenommen: Bodentypen sind (=):
- Braunerde-Podsol (BB-PP),
  - Braunerde-Pseudogley (BB-SS),
  - Braunerde (BB),
  - Lockersyrosem (OL),
  - Podsol-Braunerde (PP-BB),
  - Podsol (PP),
  - Podsol-Regosol (PP-RQ),
  - Regosol (RQ) oder
  - Pararendzina (RZ).

Die sich anschließenden Bearbeitungsschritte sind für alle Nutzungen gleich:

- 9) Zusammenführung der Datensätze mit Angabe zur Nutzung und ohne Angabe zur Nutzung je Nutzung.
- 10) Löschen der Bodentypen:
- Strand (ÜA),

- Nassstrand (IA),
- Watt (IW),
- Protopedon (JP),
- Gytja (JG),
- Sapropel (JS),
- Niedermoor (HN),
- Hochmoor (HH),
- Erdniedermoor KV,
- Mulmniedermoor (KM) oder
- Erdhochmoor (KH).

#### **Ableitung von Wp, nFK und nFKWp**

Die im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritte 11 bis 18 werden für alle Bodenprofile und deren Horizonte einer Nutzung in einem der BÜK 200-Polygone durchgeführt. Anschließend werden die Ergebnisse flächen- und tiefengewichtet zusammengeführt (Arbeitsschritte 19 und 20) und die nFKWp nutzungsspezifisch für jedes BÜK 200 Polygon bestimmt.

- 11) Die gründige Zone (Gründigkeit (Wp)) wird begrenzt durch einen hohen Grobbodengehalt: Begrenzung der gründigen Zone oberhalb von Grobbodenstufe (GROBBOD\_K) > 5 (> 75 %).
- 12) Die gründige Zone (Gründigkeit (Wp)) endet oberhalb von bestimmten Mineralbodenhorizonten mit Grundwassereinfluss (G-Horizonten) mit:
  - Gr (im Jahresverlauf mit fast durchgängig reduzierenden Verhältnissen),
  - Ghr (Gr-Horizont mit sekundärer Anreicherung von Humusstoffen),
  - Gcr (Gr-Horizont mit sekundärer Anreicherung von Carbonaten),
  - Gzr (Gr-Horizont mit sekundärer Anreicherung von Salzen),
  - Gor (Gr-Horizont mit folgenden Merkmalen:  $\geq 5$  Flächen% Rostflecken oder mit Rost- und Carbonatflecken besonders an Aggregatflächen und Reduktionsfarben im Horizontabschnitt überwiegend (> 50 Flächen%)),
  - Ghor (Gor-Horizont mit sekundärer Anreicherung von Humusstoffen),
  - Gcor (Gor-Horizont mit sekundärer Anreicherung von Carbonaten) oder
  - Gzor (Gor-Horizont mit sekundärer Anreicherung von Salzen).
- 13) Die gründige Zone (Gründigkeit (Wp)) endet oberhalb von Cn-Horizonten (mineralischer Untergrundhorizont aus unverwittertem Locker- und Festgestein).

14) Organische Auflagen werden nicht berücksichtigt: Löschen der Horizonte mit  $OTief < 0,0$ .

15) Wenn es für einen Horizont keine Angabe zur Lagerungsdichte ( $L_d$ ) gibt, wird dieser Horizont gelöscht. Das tritt insbesondere auf bei Torfartengruppen (Hochmoortorf (Hh) oder Niedermoortorf (Hn)), da dort das Substanzvolumen (SV) angegeben ist.

Nach Durchlauf dieser Schritte erfolgt die Ableitung der Bodenkennwerte für nFK sowie die Gründigkeit.

16) Bestimmen der Trockenrohdichte (TRD) für jede Bodenart aus  $L_d$  je Horizont (KA5, Tab. 71 (Ad-hoc-AG Boden 2005)).

17) Da die gründige Zone hier nur bis 1 m Tiefe berücksichtigt wird, werden alle Horizonte, die komplett tiefer als 1 m liegen nicht berücksichtigt. Für alle angeschnittenen Horizonte wird die Tiefe auf 1 m begrenzt:

- Löschen aller Horizonte mit  $OTIEF > 10$  dm und
- ändern aller  $UTIEF > 10$  dm auf 10 dm.

18) Bestimmen der nFK in mm/dm je Horizont (KA5, Tabellen 70 und 72 (Ad-hoc-AG Boden 2005)):

- Bestimmen der nFK aus Bodenart und Trockenrohdichte,
- Bestimmen der nFK für Humus  $nFK_{humus}$  aus Bodenart und Humus,
- Addieren von nFK und  $nFK_{humus}$ ,
- Berechnen der finalen nFK:

$$FK_{final} = nFK * faktor_{groboden} (= 1 - Anteil Grobboden in Vol\%)$$

19) Selektierung der in Schritt 11 bis 13 abgeleiteten mittleren Gründigkeit ( $W_p$ ) in dm aus allen Profilen (flächengewichtet).

20) Ableitung der mittleren nFK unter Berücksichtigung der Wichtung der Mächtigkeit der Horizonte und der Flächenanteile der Profile.

21) Berechnung von  $nFKW_p$  je Nutzung aus nFK (Schritt 20) \*  $W_p$  (Schritt 19).

#### **Ableitung der Erheblichkeitsschwellen (Gefahrenabwehr) für den langjährigen mittleren Bodenabtrag**

Die Berechnung der Erheblichkeitsschwelle erfolgt nutzungsspezifisch für jedes Polygon der BÜK 200. Das umfasst alle folgenden Berechnungsschritte.

22) Berechnung des Zielwertes  $nFKW_p70$ :

$$nFKW_p70 = nFKW_p * 0,7$$

- 23) Berechnung von  $Wp70$  aus  $Wp * 0,7$ .
- 24) Berechnung von  $nFK70\_E$  in mm/dm je Horizont analog zu Schritt 18, aber für  $Wp70$  (ab Untergrenze  $Wp$  bis Obergrenze ( $Wp-Wp70$ )).
- 25) Berechnung von  $nFKWp70\_E$  aus  $nFK70\_E * Wp70$ .
- 26) Bildung der Differenz von  $nFKWp70$  und  $nFKWp70\_E$  als  $\Delta nFKWp70$ .
- 27) Bildung des Quotienten aus  $\Delta nFKWp70$  und  $nFK70\_E$  als  $\Delta Wp70$ .
- 28) Addition von  $Wp70$  und  $\Delta Wp70$  als  $Wp70\_korr$ .
- 29) Wenn  $Wp70\_korr > Wp$  (bei sehr stark absinkender  $nFK$  (Abnahme  $>30/70*100$ ) von der oberen 30 %-Zone zur unteren 70 %-Zone), dann Neuberechnung von  $Wp70\_korr$  aus dem Mittelwert von  $Wp$  und  $Wp70$ , weiter mit Schritt 32.
- 30) Wenn  $Wp70\_korr < Wp70$ , dann wird  $Wp70\_korr$  gleich  $Wp70$  gesetzt, weiter mit Schritt 32.
- 31) Wenn  $Wp70\_korr > Wp70 < Wp$ , dann wird  $Wp70\_korr$  zu  $Wp70$  und Schritt 24 bis 30 erneut durchgeführt (insgesamt 150 Wiederholungen). Aus den beiden zuletzt ermittelten  $Wp70\_korr$  wird dann ein Mittelwert gebildet, weiter mit Schritt 32.
- 32) Berechnung der noch tolerierbaren Profilverkürzung  $\Delta Wp$ :

$$\Delta Wp = Wp - Wp70\_korr$$

- 33) Ermittlung von mittlerer  $LD$  ( $g/cm^3$ ) für  $\Delta Wp$  (ab Obergrenze ( $Wp-Wp70\_korr$ ) bis Obergrenze A-Horizont).
- 34) Ermittlung des erheblichen Bodenabtrags, ab deren Überschreitung Maßnahmen zur Gefahrenabwehr als nötig erachtet werden, aus  $(\Delta Wp * 1000 * LD) / 300$  für den Zeitraum von 300 Jahren, danach weiter mit Schritt 35.

Aus dem in Schritt 34 ermittelten Bodenabtrag, bezogen auf das 70%-Niveau von  $nFKWp$  kann das 80 %-Niveau, ab dem Vorsorgemaßnahmen erforderlich wären bzw. das 90 %-Niveau, ab dem Vorsorgemaßnahmen empfehlenswert wären, abgeleitet werden. Dies erfolgt direkt durch Umrechnung des Bodenabtrags von Schritt 34 wie folgt:

- 35) Ermittlung des erheblichen Bodenabtrags, ab deren Überschreitung Vorsorgemaßnahmen als nötig erachtet werden, aus Bodenabtrag (Schritt 34)/  $30 * 20$  für den Zeitraum von 300 a.
- 36) Ermittlung des erheblichen Bodenabtrags, ab deren Überschreitung Vorsorgemaßnahmen als empfehlenswert erachtet werden, aus Bodenabtrag (Schritt 34)/  $30 * 10$  für den Zeitraum von 300 Jahren.

## **C Anhang: Leitfaden zur Bewertung der Erheblichkeit von Bodenabtrag für die Gefahrenabwehr schädlicher Bodenveränderungen**



# **Erheblichkeit von Bodenabtrag für die Gefahrenabwehr schädlicher Bodenveränderungen**

## **-Leitfaden zur Bewertung-**

### **Autoren:**

Michael Gebel, Stephan Bürger  
VisDat geodatentechnologie GmbH (VisDat), Dresden

Daniel Wurbs  
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) / Abteilung Zentrum  
für Acker- und Pflanzenbau / Dezernat Agrarökologie, Bernburg

Katharina Brecht, Stephan Fuchs  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) / Institut für Wasser und Umwelt  
(IWG) / Fachbereich Wassergütewirtschaft, Karlsruhe

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	2
I. Einführung.....	5
II. Bodenkennwert zur Feststellung der Erheblichkeit.....	7
III. Bewertung der Erheblichkeit – Allgemeine Methodenbeschreibung.....	10
IV. Bewertung der Erheblichkeit – Methodenbeschreibung in Beispielen.....	13
IV-1 Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70) und des maximalen Verlustwertes (nFKWp30).....	13
IV-2 Ableitung der maximalen Verlustwerte der Profil-Mächtigkeit.....	14
IV-3 Berechnung des erheblichen Bodenabtrag.....	17
V. Möglichkeit der Ausweisung weiterer Maßnahmenschwellen (Vorsorge).....	21
VI. Literatur.....	23

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung C-1 1: Schema zur Ableitung der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) und Einordnung in den Kontext der Bodenfunktionsbewertung und dem gemäß BBodSchG definierten Schutz der Bodenfunktionen vor erheblichen Beeinträchtigungen.....	9
Abbildung C-1 2: Verkürzung eines Bodenprofils und Verringerung der Gründigkeit (Wp) und nutzbaren Feldkapazität (nFK) in der gründigen Zone durch Bodenerosion.....	11
Abbildung C-1 3: Allgemeines Ablaufschema zur Ermittlung der Erheblichkeitsschwellenwerte.....	12
Abbildung C-1 4: Ableitung der nFKWp, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 1 und 2).....	13
Abbildung C-1 5: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 und des maximalen Verlustwertes nFKWp30, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 3).....	14
Abbildung C-1 6: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 und des maximalen Verlustwertes nFKWp30, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 4).....	16
Abbildung C-1 7: Berechnung des Schwellenwertes für den Verlust an Profil-Mächtigkeit (cm), exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 5).....	17
Abbildung C-1 8: Berechnung des Schwellenwertes des erheblichen Bodenabtrags, exemplarisch für ein Bodenprofil (Schritt 6).....	19

Abbildung C-1 9: Verringerung der Bodenmächtigkeit in 300 Jahren in  
Abhängigkeit von den Maßnahmeschwellen auf Grundlage der  
nFKWp (Beispielprofil)..... 22

## Gleichungsverzeichnis

Gleichung C-1 1: Ableitung der nFKWp auf Grundlage der horizontspezifischen  
nFK-Werte..... 13

Gleichung C-1 2: Berechnung des maximalen Verlustwertes (nFKWp30)..... 13

Gleichung C-1 3: Berechnung des horizontspezifischen maximalen Verlustwertes..... 14

Gleichung C-1 4: Berechnung des horizontspezifischen (h1) maximalen  
Verlustwertes, Beispiel ..... 15

Gleichung C-1 5: Berechnung des horizontspezifischen (h2) maximalen  
Verlustwertes ..... 15

Gleichung C-1 6: Berechnung des horizontspezifischen (h2) maximalen  
Verlustwertes, Beispiel ..... 15

Gleichung C-1 7: Berechnung der horizontspezifischen korrespondierenden  
maximalen Profilverkürzung..... 16

Gleichung C-1 8: Berechnung der horizontspezifischen (h1) korrespondierenden  
maximalen Profilverkürzung, Beispiel ..... 16

Gleichung C-1 9: Berechnung der korrespondierenden maximalen  
Profilverkürzung, Beispiel ..... 17

Gleichung C-1 10: Berechnung des Bodenabtrags pro Flächeneinheit ..... 18

Gleichung C-1 11: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags pro Flächeneinheit,  
Beispiel..... 18

Gleichung C-1 12: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (tatsächlicher  
mittlerer langjähriger Bodenabtrag), Beispiel..... 18

Gleichung C-1 13: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (Einzelereignis),  
Beispiel..... 18

## Tabellenverzeichnis

Tabelle C-1 1: Abgestufte Maßnahmeschwellen auf Grundlage der  
summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone  
(nFKWp)..... 21

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
<b>ABAG</b>	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
<b>BBodSchG</b>	Bundesbodenschutzgesetz
<b>BBoVSchV</b>	Bundesbodenschutzverordnung
<b>BOVA</b>	Ständiger Ausschuss "Vorsorgender Bodenschutz"
<b>BZ</b>	Bodenzahl
<b>h1</b>	erster Bodenhorizont
<b>h2</b>	zweiter Bodenhorizont
<b>LABO</b>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
<b>LAWA</b>	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
<b>LD</b>	Lagerungsdichte
<b>nFK</b>	nutzbare Feldkapazität
<b>nFK<sub>h1</sub></b>	nutzbare Feldkapazität des ersten Horizontes
<b>nFK<sub>h2</sub></b>	nutzbare Feldkapazität des zweiten Horizontes
<b>nFKWp</b>	summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone
<b>nFKWp30</b>	Schwellenwert (maximaler Verlustwert) – entspricht 30 % der nFKWp des ursprünglichen Bodenprofils (maximaler Verlustwert)
<b>nFKWp70</b>	Schwellenwert (Erheblichkeitsschwelle) – entspricht 70 % der nFKWp des ursprünglichen Bodenprofils
<b>VDLUFA</b>	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.
<b>Wp</b>	Gründige Zone

## I. Einführung

Ziel dieses Merkblattes/Leitfadens ist es, einen methodischen Ansatz zur Bewertung der Erheblichkeit von Bodenabtrag durch Einzelereignisse zu beschreiben und anhand eines Ablaufschemas die mögliche praktische Anwendung im Rahmen der Gefahrenabwehr mit Beispielen zu erläutern.

In einer erweiterten Betrachtung werden Vorschläge unterbreitet, den Ansatz auf den Vorsorgeaspekt zu übertragen.

Der methodische Ansatz ist ebenfalls für die Bewertung der Erheblichkeit modellierter mittlerer Bodenabträge (ABAG) anwendbar. Der Hintergrund ist, dass parallel zur notwendigen Bewertung von Einzelereignissen im Eintrittsfall eine Bewertung modellierter mittlerer Bodenabträge (ABAG) den zuständigen Behörden Anhaltspunkte für eine erste Einschätzung des Gefährdungspotentials liefern kann. Das sehen die in einigen Ländern angewendeten Ansätze zur Bewertung der Erheblichkeit auch bereits so vor.

Boden ist mit seinen vielfältigen natürlichen und nutzungsrelevanten Funktionen eine lebenswichtige Ressource für Menschen, Tiere und Pflanzen, die langfristig zu erhalten und vor schädlichen Einwirkungen zu schützen ist. Vor diesem Hintergrund ist im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) verankert, dass Einwirkungen auf den Boden, die schädliche Bodenveränderungen hervorrufen können, zu verhindern sind. Bei drohenden schädlichen Bodenveränderungen sind Maßnahmen zu deren Abwehr (Gefahrenabwehr) zu ergreifen (§ 4 BBodSchG). Neben anderen Gefahren kann erosiv verursachter Bodenabtrag zu schädlichen Bodenveränderungen durch Beeinträchtigung der Bodenfunktionen führen.

Eine direkte Folge der Bodenerosion auf den betroffenen Flächen (On-site) ist die Verringerung der Bodenmächtigkeit. Dabei geht insbesondere nährstoffreicher, humushaltiger Oberboden verloren. Durch diesen Verlust wird die natürliche Funktion eines Bodens hinsichtlich seines Wasser- und Nährstoffspeichervermögens sowie der Fähigkeit, Schadstoffe zu filtern und abzubauen, beeinträchtigt. Das gefährdet langfristig den Lebensraum Boden für Tiere und Pflanzen und die Ernährungssicherheit für den Menschen, da fruchtbarer Boden schneller verloren geht, als er neu entstehen kann. Bodenerosion beeinträchtigt letztlich alle im BBodSchG genannten natürlichen Bodenfunktionen und die Funktion als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung (Ertragsfunktion).

Darüber hinaus kann das abgetragene Bodenmaterial sowohl benachbarte Ackerflächen als auch benachbarte Land- und Gewässerökosysteme beispielsweise durch Ablagerung von Bodenmaterial sowie zusätzlichen Nähr- und Schadstoffeintrag schädigen (Off-site). Auch bei anthropogenen Infrastrukturen wie Siedlungs- und Verkehrsflächen, Kanalisationen und Stauhaltungen können durch die Ablagerung von Bodenmaterial hohe Sachschäden verursacht werden.

Bezogen auf die Bodenerosion gilt nach § 9 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), dass von einer schädlichen Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser oder Wind insbesondere dann auszugehen ist, „... wenn **erhebliche Mengen Bodenmaterial von einer Erosionsfläche** durch Oberflächenabfluss oder Abwehung abgetragen wurden und weitere erhebliche Bodenabträge zu erwarten sind.“ „Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser oder Wind ergeben sich insbesondere, wenn sich auf einer Fläche Erosionsformen oder -schäden

in erheblichem Ausmaß zeigen oder außerhalb einer möglichen Erosionsfläche gelegene Bereiche durch erhebliche Mengen abgetragenen Bodenmaterials befrachtet wurden.“ (§ 9 Abs. 2 BBodSchV).

Allerdings sind für die Feststellung der **Erheblichkeit erosiver Bodenabträge** national einheitliche und verbindliche Kriterien bisher nicht festgelegt. Dies wurde auch in einem gemeinsamen Positionspapier von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) und der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) beschrieben (LABO/LAWA 2021). Die fehlende Konkretisierung (u.a. in der BBodSchV) hat dazu geführt, dass in den Bundesländern z. T. eigene Kriterien festgelegt bzw. unterschiedliche Verfahren entwickelt und angewendet werden, um die Erheblichkeit von Bodenabträgen durch Wasser und Wind zu definieren und eine Bewertung mit Blick auf Vorsorge und Gefahrenabwehr gegen schädliche Bodenveränderungen vornehmen zu können. Vor diesem Hintergrund fordern LABO und LAWA in ihrem Positionspapier zur Stärkung des Vollzugs die **Ableitung bundeseinheitlicher Kriterien und Normen zur Beurteilung der Erheblichkeit von Bodenabträgen** (LABO/LAWA 2021).

Mit Blick auf das beschriebene Defizit wurden der Ständige Ausschuss "Vorsorgender Bodenschutz" (BOVA) und das Umweltbundesamt (UBA) gebeten, sich dem Thema anzunehmen. In diesem Kontext wurde im Auftrag des UBA in Abstimmung mit dem BOVA ein skalenübergreifend anwendbarer methodischer Ansatz zur standortspezifischen Feststellung der Erheblichkeit von Bodenabträgen für die Gefahrenabwehr entwickelt.

Der fachliche Austausch erfolgte mit Ländervertretern und Experten im Rahmen eines Begleitkreises. Weiterhin einbezogen war die Expertise des Arbeitskreises „Einzelereignisbewertung“. Dieser ist eine fachliche Unterarbeitsgruppe der Arbeitsgruppe der „Bodenspezialisten der Bundesländer“, der angegliedert ist an die Fachgruppe I „Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz“ des VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.).

Bei der Erarbeitung des methodischen Vorgehens wurden die bereits in einzelnen Bundesländern vorliegenden methodischen Ansätze einbezogen. Weiterhin wurde berücksichtigt, dass sich mit Blick auf die Anforderungen im BBodSchG die Einschätzung/Bewertung der Erheblichkeit des erosiven Bodenabtrags auf die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit von Böden stützt. Im Fokus der Betrachtung stehen hierbei die natürlichen Bodenfunktionen (Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen; Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen; Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers) sowie die Nutzungsfunktion/Ertragsfunktion (Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung).

Für darüber hinaus gehende Informationen wird auf den Abschlussbericht des Projektes (Gebel et al. 2024) verwiesen.

## II. Bodenkennwert zur Feststellung der Erheblichkeit

Für die Feststellung der Erheblichkeit des erosiven Bodenabtrags wurde ein integrierter Bodenkennwert entwickelt: die **summarische nutzbare Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp)**. Die nFKWp kann standortspezifisch und skalenübergreifend aus der Gründigkeit (Wp) bis 1 m Tiefe und der nutzbaren Feldkapazität (nFK) ermittelt werden. Die nFKWp integriert somit eine Vielzahl von Bodenkennwerten (u.a. Humusgehalt, Lagerungsdichte, Gründigkeit, Feinbodenart, Grobbodenanteil), die in der bodenfunktionalen Bewertung eine zentrale Rolle einnehmen. Damit hat die nFKWp Einfluss auf die im BBodSchG genannten natürlichen Bodenfunktionen sowie die Nutzungsfunktion (Ertragsfunktion). Die Einordnung der nFKWp in den Kontext der Bodenfunktionsbewertung und dem gemäß BBodSchG definierten Schutz der Bodenfunktionen vor erheblichen Beeinträchtigungen vermittelt Abbildung C-1 1.

Die nFKWp kann gleichermaßen aus klein- bis großmaßstäbigen Kartenwerken oder aus Geländeaufnahmen abgeleitet bzw. erfasst und sowohl für die Feststellung der Erheblichkeit von kartierten Einzelereignissen im Gelände als auch von langjährigen mittleren (modellierten) Bodenabträgen genutzt werden.

Als grundlegende Erheblichkeitsschwelle wurde ein Wert von **nFKWp70** angesetzt. Diese Annahme folgt dem Grundansatz, dass nach einem Betrachtungszeitraum von 300 Jahren noch 70 % der nFKWp (nFKWp70) des ursprünglichen Bodenprofils erhalten sein muss, damit die natürlichen Bodenfunktionen und das Ertragspotenzial nicht entscheidend geschwächt werden. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass der Bodenabtrags ab einer erosionsbedingten Profilverkürzung von mehr als 30 % bzw. einem Verlust von mehr als 30 % der nFKWp (**nFKWp30**) als erheblich einzustufen ist. Die nFKWp30 entspricht somit einem maximalen Verlustwert für das betrachtete Bodenprofil.

Um sehr tiefgründige Böden vor zu starken Bodenabträgen zu schützen, wird gemäß der bereits in den Bundesländern vorliegenden Ansätze (vgl. u.a. LUBW 2011) die Anwendung von Höchstgrenzen des erheblichen Bodenabtrags empfohlen. Folgende in der Literatur zumeist als ‚Kappungsgrenze‘ bezeichneten Werte für die Bewertung werden vorgeschlagen:

- ▶ **Bewertung von Einzelereignissen (z. B. Kartierung): 25 t/ha**
- ▶ **Bewertung des langjährigen mittleren Bodenabtrages (z. B. ABAG-Modellierung): 13 t/ha\*a<sup>-1</sup>**

Die Bewertung des mittleren Bodenabtrages durch die ABAG-Modellierung ist gemäß DIN 19708 (2022) unter Einbeziehung der ABAG-Faktoren R, K, S, L und C vorzunehmen, da eine Einschätzung der aktuellen Situation die Berücksichtigung der erosionswirksamen Hanglänge (L-Faktor) und der Bodenbedeckung und Bodenbearbeitung (C-Faktor) erforderlich macht.

Die Annahme eines höheren Wertes für Einzelereignisse folgt dem in einigen Bundesländern bereits praktizierten Ansatz, dass Einzelereignisse mit vergleichsweise höheren Erosionsraten einhergehen können. Dafür ist die Frequenz ihres Auftretens geringer.

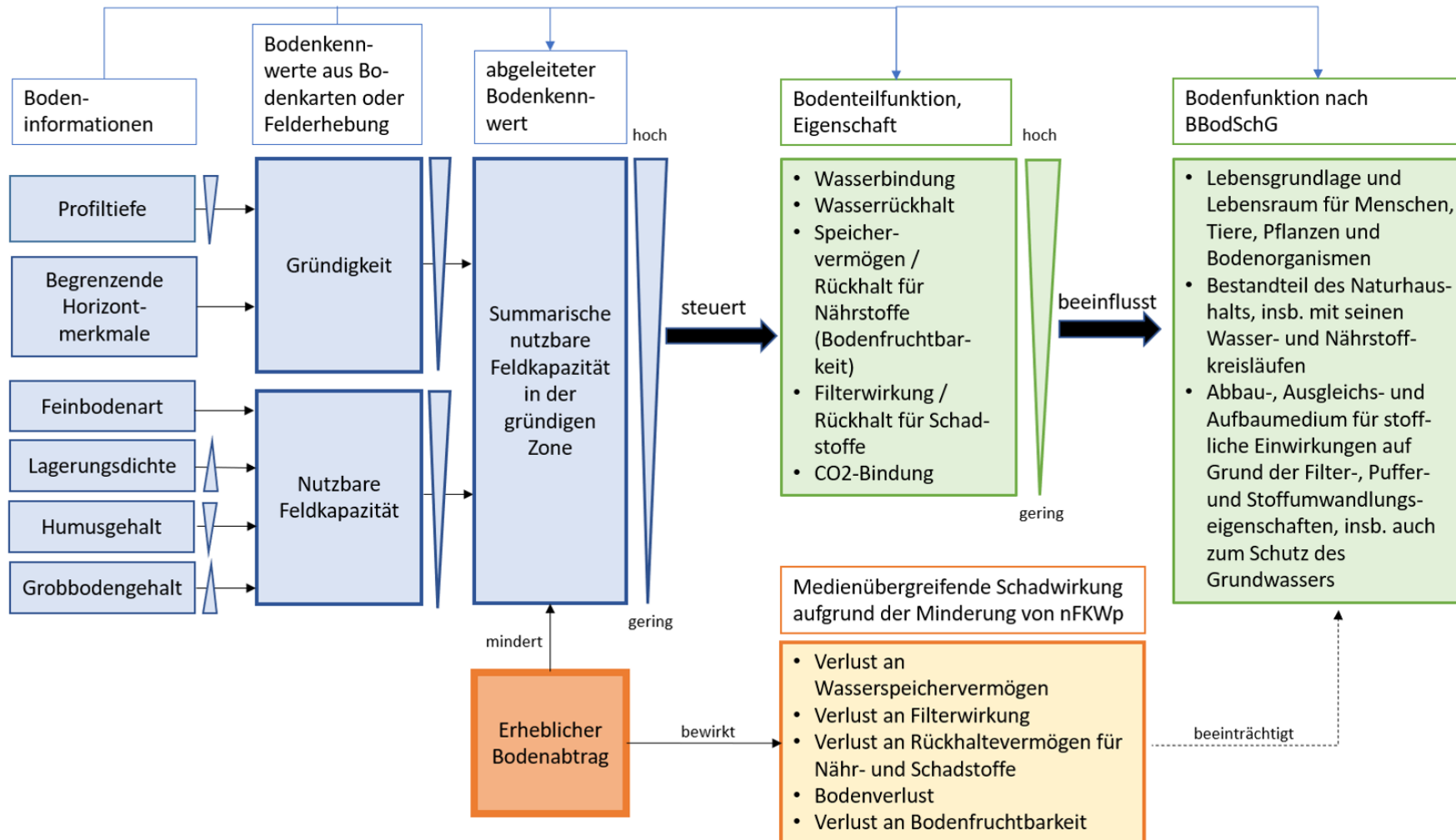
Entsprechend dieser Empfehlung gelten Bodenabträge bei **Einzelereignissen > 25 t/ha** und **langjährige mittlere Bodenabträge > 13 t/ha\*a<sup>-1</sup>** als erheblich und erfordern die Umsetzung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr.

Erheblichkeit von Bodenabtrag für die Gefahrenabwehr schädlicher Bodenveränderungen  
-Leitfaden zur Bewertung-

Die nachfolgend beschriebene Methodik bezieht sich ausschließlich auf die Bewertung der Erheblichkeit des Bodenabtrages auf der Fläche (On-Site).



**Abbildung C-1 1: Schema zur Ableitung der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp) und Einordnung in den Kontext der Bodenfunktionsbewertung und dem gemäß BBodSchG definierten Schutz der Bodenfunktionen vor erheblichen Beeinträchtigungen**



Quelle: eigene Darstellung VisDat und KIT

### III. Bewertung der Erheblichkeit – Allgemeine Methodenbeschreibung

Bodenerosion führt zu einer Verkürzung des Bodenprofils und zur Verringerung dessen Gründigkeit. Damit verbunden ist eine Verringerung der nFK in den vom Bodenabtrag betroffenen Bodenhorizonten sowie eine Veränderung der nFKWp.

Maßgeblich für die Bewertung der Erheblichkeit ist der mit dem Erosionsereignis einhergehende Bodenabtrag (t/ha) bzw. die Tonnage an Bodenverlust je Hektar und Zeiteinheit. Daher ist zwischen dem Kennwert nFKWp bzw. den daraus abgeleiteten Schwellenwerten nFKWp70 und nFKWp30 ein Bezug zu der mit diesen Werten korrespondierenden Profilverkürzung bzw. der Menge an erodiertem Boden, ausgewiesen als Erheblichkeitsschwelle, herzustellen.

Demzufolge, sind, bezogen auf das ursprüngliche Bodenprofil (vgl. Abbildung C-1 2, Profil: Ausgangssituation vor dem Erosionsereignis), grundsätzlich für die Bewertung der Erheblichkeit die folgenden Arbeitsschritte notwendig:

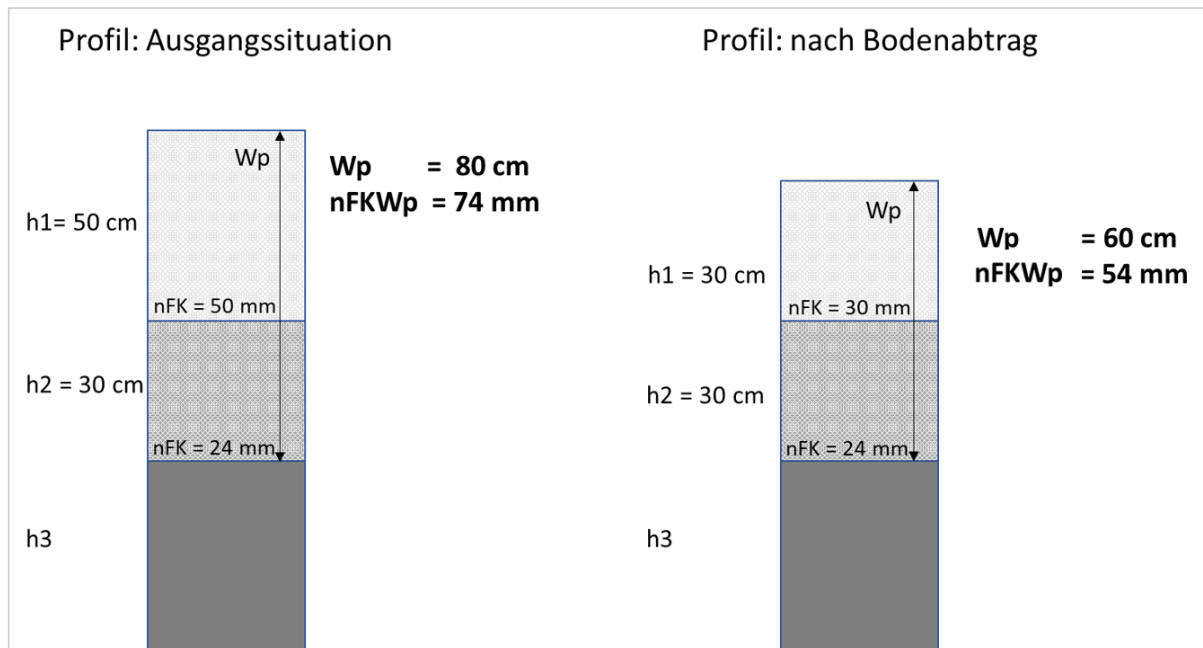
- Schritt 1: Ermittlung der Mächtigkeit (cm) und nFK (mm) der einzelnen Bodenhorizonte des Bodenprofils in der gründigen Zone (Wp) bis maximal 1 m Tiefe (Kapitel IV-1, Abbildung C-1 4),
- Schritt 2: Ableitung der nFKWp (mm) als Grundlage (Kapitel IV-1, Abbildung C-1 4) zur
- Schritt 3: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 (mm) bzw. des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (mm) (Kapitel IV-1, Abbildung C-1 5).

Ausgehend von dem ermittelten Profil-spezifischen maximalen Verlustwert (nFKWp30, mm und %) wird der korrespondierende maximale Verlust an Profilmächtigkeit ermittelt (cm). Mittels des Mächtigkeitsverlustes und der jeweiligen Lagerungsdichte wird dann der Schwellenwert für den erheblichen Bodenabtrag (t/ha bzw.  $t/ha \cdot a^{-1}$ ) abgeleitet.

Da die Horizontmächtigkeit und die nFk-Werte in den unterschiedlichen Bodenhorizonten in der Regel variieren, ist für geschichtete Profile grundsätzlich ein horizontweises Vorgehen notwendig. Dabei ist insbesondere für den Arbeitsschritt 4 und 5 schrittweise vorzugehen, beginnend mit dem obersten Bodenhorizont:

- Schritt 4: Berechnung des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (%)
  - a) Ist die nFK des 1. Horizontes  $\geq$  dem für das Ausgangsprofil ermittelten maximalen Verlustwert (nFKWp30; Arbeitsschritt 3) erfolgt unmittelbar der nachfolgende Bearbeitungsschritt 5 (Kapitel IV-2, Abbildung C-1 6).
  - b) Ist die nFK des 1. Horizontes  $<$  dem maximalen Verlustwert (nFKWp30) ist der Bearbeitungsschritt 4a) für den nachfolgenden bzw. die nachfolgenden Bodenhorizonte zu wiederholen bis zum Erreichen des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (Kapitel IV-2, Abbildung C-1 6).
- Schritt 5: Berechnung des Schwellenwertes für den Verlust an Profil-Mächtigkeit (cm) Dabei ist die maximale Profilverkürzung gedeckelt auf 30 % der Wp des Ausgangsprofiles (Kapitel IV-2, Abbildung C-1 7).
- Schritt 6: Berechnung des erheblichen Bodenabtrages bezogen auf Einzelereignisse (t/ha) bzw. den mittleren jährlichen Bodenabtrag ( $t/ha \cdot a^{-1}$ ) (Kapitel IV-3, Abbildung C-1 8).

**Abbildung C-1 2: Verkürzung eines Bodenprofils und Verringerung der Gründigkeit ( $W_p$ ) und nutzbaren Feldkapazität ( $nFK$ ) in der gründigen Zone durch Bodenerosion**

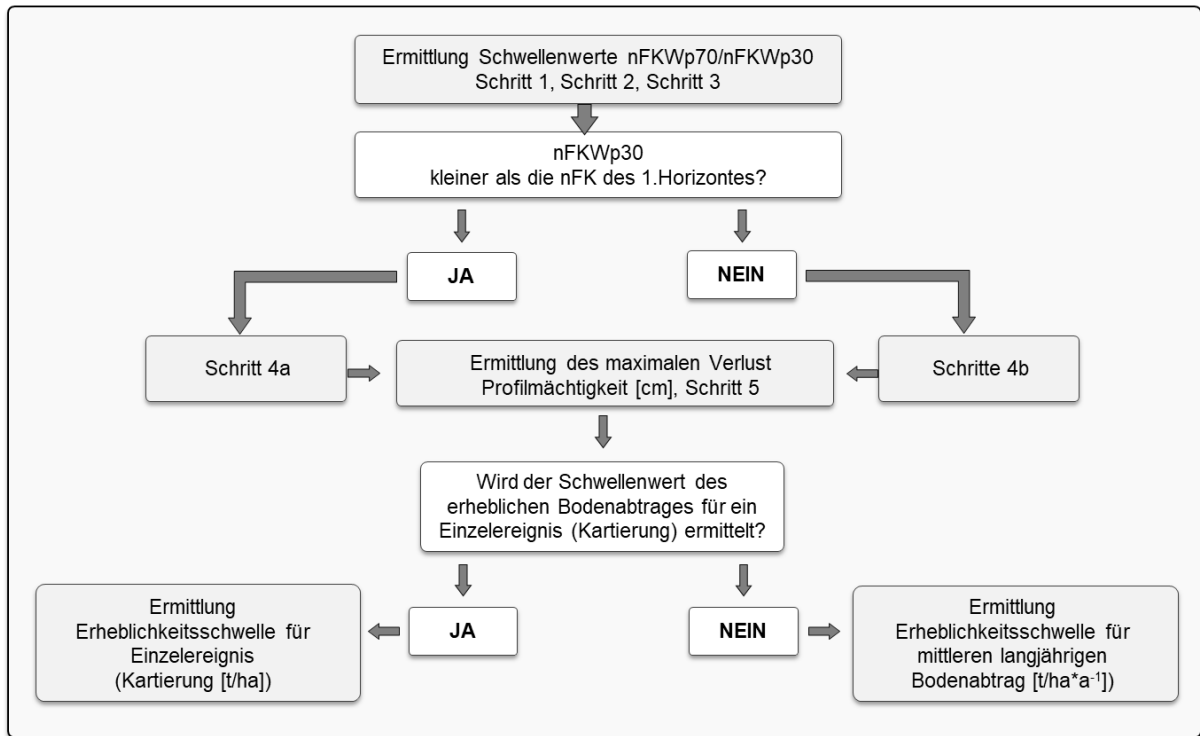


Quelle: eigene Darstellung VisDat

Die so ermittelten Erheblichkeitsschwellen sind für jedes Bodenprofil bzw. jede Legendeneinheit einer Bodenkarte (groß- bis kleinmaßstäbig) ableitbar und bilden, bestimmt durch den Verlust an  $nFKW_p$  (vgl. Abbildung C-1 2, Profil: nach Bodenabtrag), die Grundlage für die Beurteilung der Erheblichkeit entweder eines Erosionsereignisses oder des langjährigen mittleren Bodenabtrags.

Abbildung C-1 3 zeigt den generellen Ablauf und die wichtigsten Arbeitsschritte zur Ableitung spezifischer Erheblichkeitsschwellen.

**Abbildung C-1 3: Allgemeines Ablaufschema zur Ermittlung der Erheblichkeitsschwellenwerte**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

## IV. Bewertung der Erheblichkeit – Methodenbeschreibung in Beispielen

### IV-1 Ausweisung der Erheblichkeitsschwelle (nFKWp70) und des maximalen Verlustwertes (nFKWp30)

Eine detailliertere Beschreibung des Vorgehens zur Ausweisung der Erheblichkeitsschwellen wird exemplarisch an zwei Bodenprofilen gezeigt.

#### Schritt 1 und 2: Ableitung der nFKWp (mm)

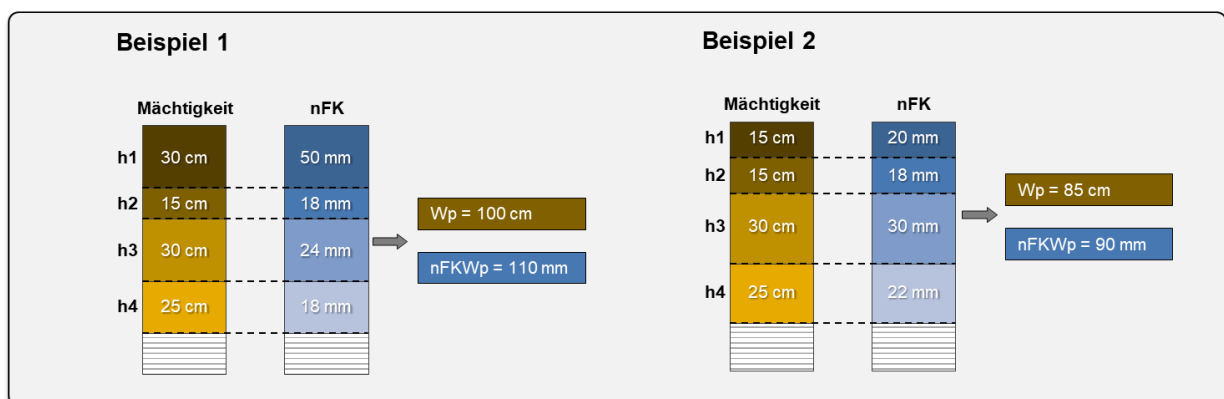
Ausgehend von vorliegenden Bodenkarten oder eigenen Erhebungen werden die Mächtigkeiten der einzelnen Bodenhorizonte (h) ermittelt und daraus die gründige Zone (Wp) bis maximal 1 m Tiefe abgeleitet. Anschließend wird ebenfalls für die einzelnen Bodenhorizonte die nFK abgeleitet (Gleichung C-1 1).

Aus Horizontmächtigkeit (cm) und nFK (mm) der einzelnen Horizonte (nach Ad-hoc AG Boden 2005) wird der integrierte Kennwert nFKWp (mm) für das betrachtete Bodenprofil abgeleitet durch Aufsummieren der nFK-Werte der einzelnen Horizonte in der gesamten gründigen Zone (Abbildung C-1 4: in den Beispielen ist nFKWp = 110 mm und 90 mm):

#### Gleichung C-1 1: Ableitung der nFKWp auf Grundlage der horizontspezifischen nFK-Werte

$$nFKWp \text{ (mm)} = nFK_{h1} \text{ (mm)} + nFK_{h2} \text{ (mm)} + nFK_{h3} \text{ (mm)} + nFK_{h4} \text{ (mm)}$$

#### Abbildung C-1 4: Ableitung der nFKWp, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 1 und 2)



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

#### Schritt 3: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 (mm) bzw. des maximalen Verlustwertes nFKWp30 (mm)

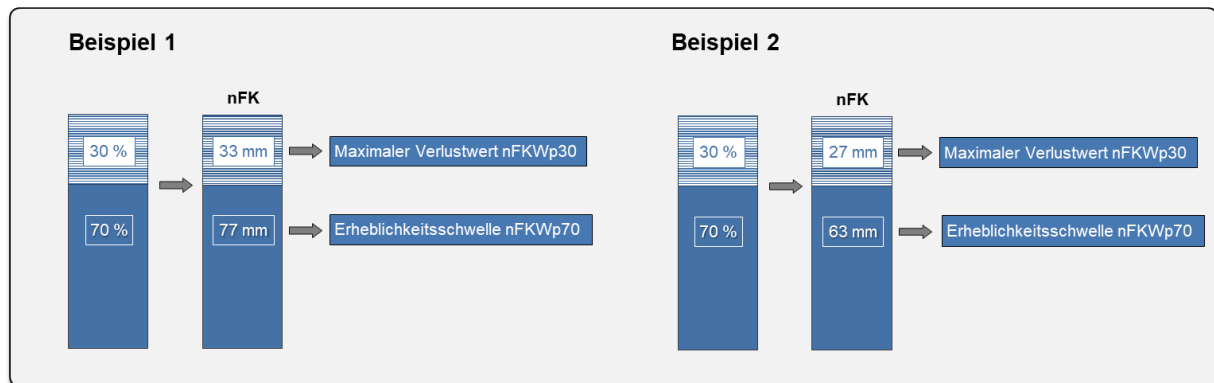
Die Ableitung der Erheblichkeitsschwelle und des maximalen Verlustwertes (Gleichung C-1 2) erfolgt prozentual, ausgehend von der abgeleiteten nFKWp (Abbildung C-1 5).

#### Gleichung C-1 2: Berechnung des maximalen Verlustwertes (nFKWp30)

$$nFKWp30 \text{ (mm)} = \frac{30 * nFKWp \text{ (mm)}}{100}$$

In den Rechenbeispielen liegt der maximale Verlustwert ( $nFKWp30$ ), der nicht überschritten werden darf, bei 33 mm (Abbildung C-1 5, Beispiel 1) bzw. 27 mm (Abbildung C-1 5, Beispiel 2).

**Abbildung C-1 5: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle  $nFKWp70$  und des maximalen Verlustwertes  $nFKWp30$ , exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 3)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

## IV-2 Ableitung der maximalen Verlustwerte der Profil-Mächtigkeit

### Schritt 4: Berechnung des maximalen Verlustwertes $nFKWp30$ (%)

In diesem Arbeitsschritt werden der für das Ausgangsprofil ermittelte maximale Verlustwert ( $nFKWp30$ ) und die  $nFK$ , beginnend im obersten Bodenhorizont, ins Verhältnis zueinander gesetzt (Gleichung C-1 3).

Dabei ist die maximale Profilverkürzung gedeckelt auf 30 % der  $Wp$  des Ausgangsprofiles.

### Gleichung C-1 3: Berechnung des horizontspezifischen maximalen Verlustwertes

$$\frac{nFKWp30 (mm)}{nFK_{hm} (mm)} = nFK_{hm} Verlust (\%)$$

Dabei gilt:

- a) Wenn die  $nFK$  im obersten Bodenhorizont ( $nFK_{h1}$ ) gleich oder größer ist als der maximale Verlustwert ( $nFKWp30$ ) des Ausgangsprofils,

$$nFK_{h1} (mm) \geq nFKWp30 (mm)$$

bezieht sich der maximale Verlust ( $nFKWp30$ ) ausschließlich auf den obersten Bodenhorizont. Die korrespondierende Profilverkürzung (Schritt 5) kann in diesem Fall unmittelbar aus dem Wert  $nFK_{h1} Verlust$  berechnet werden (Abbildung 11, Beispiel 1).

In dem in Abbildung 11 gezeigten Beispiel 1 wird die Erheblichkeitsschwelle bei einem Verlustwert im obersten Bodenhorizont ( $nFK_{h1}$ ) von 66 % erreicht (Gleichung C-1 4). Das bedeutet, der maximale Verlustwert  $nFKWp30$  liegt für das betrachtete Bodenprofil bei 66 % der Mächtigkeit des obersten Bodenhorizontes ( $h1$ ).

**Gleichung C-1 4: Berechnung des horizontspezifischen (h1) maximalen Verlustwertes,  
Beispiel**

---

$$\frac{nFKWp30 (50 \text{ mm})}{nFK_{h1}(33 \text{ mm})} = nFK_{h1} \text{Verlust} (0,66 = 66 \%)$$

- b) Wenn die nFK im obersten Bodenhorizont ( $nFK_{h1}$ ) kleiner ist als der maximale Verlustwert ( $nFKWp30$ ) des Ausgangsprofils,

$$nFK_{h1}(\text{mm}) < nFKWp30 (\text{mm})$$

wird bis zum Erreichen des maximalen Verlustwertes ( $nFKWp30$ ) der 1. Horizont des ursprünglichen Bodenprofils vollständig gekappt. Für die Ableitung der Erheblichkeitsschwelle ist es erforderlich, den oder die nächsttieferen Horizonte in die Betrachtung einzubeziehen (Abbildung C-1 6, Beispiel 2 und Gleichung C-1 5).

**Gleichung C-1 5: Berechnung des horizontspezifischen (h2) maximalen Verlustwertes**

---

$$\frac{(nFKWp30 (\text{mm}) - nFK_{h1} \text{Verlust} (\text{mm}))}{nFK_{h2}(\text{mm})} = nFK_{h2} \text{Verlust} (\%)$$

Ist der maximale Verlustwert kleiner als die Summe aus  $nFK_{h1}$  und  $nFK_{h2}$  muss die beschriebene Vorgehensweise auch für den 3. und ggf. 4. Horizont angewendet werden, bis der Wert für  $nFKWp30$  erreicht ist.

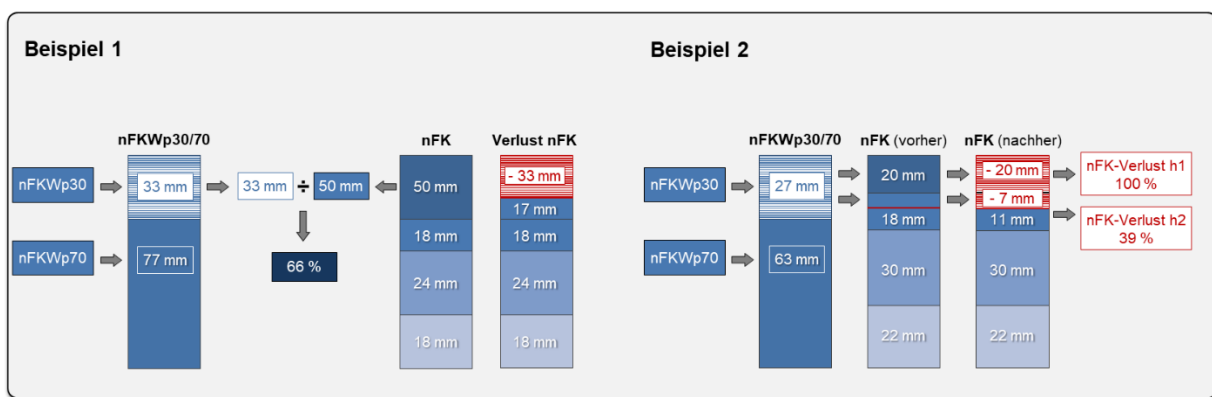
In dem in Abbildung C-1 6 gezeigten Beispiel 2 wird die Erheblichkeitsschwelle bei einem Verlustwert im obersten Bodenhorizont ( $nFK_{h1}$ ) von 100 % plus im zweiten Bodenhorizont ( $nFK_{h2}$ ) von 39 % erreicht (Gleichung C-1 6). Das bedeutet, der maximale Verlustwert  $nFKWp30$  wird für das betrachtete Bodenprofil erst erreicht, wenn die nFK im obersten Bodenhorizont (h1) komplett und im zweiten Bodenhorizont (h2) zu 39 % (7 mm) verloren geht.

**Gleichung C-1 6: Berechnung des horizontspezifischen (h2) maximalen Verlustwertes,  
Beispiel**

---

$$\frac{(nFKWp30 (27 \text{ mm}) - nFK_{h1} \text{Verlust} (20 \text{ mm}))}{nFK_{h2}(18 \text{ mm})} = nFK_{h2} \text{Verlust} (0,39 = 39 \%)$$

**Abbildung C-1 6: Berechnung der Erheblichkeitsschwelle nFKWp70 und des maximalen Verlustwertes nFKWp30, exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 4)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

**Schritt 5: Berechnung des Schwellenwertes für den Verlust an Profil-Mächtigkeit (cm)**

Der in Schritt 4 ermittelte prozentuale Verlustwert wird nun gleichermaßen für jeden der Bodenhorizonte auf die Horizontmächtigkeit angewendet, um die korrespondierende Profilverkürzung zu bestimmen (Abbildung C-1 7, Gleichung C-1 7).

**Gleichung C-1 7: Berechnung der horizontspezifischen korrespondierenden maximalen Profilverkürzung**

$$Profilverkürzung (cm) = \frac{\text{Horizonttiefe}_{hn} (cm) * nFK_{hn} \text{Verlust} (\%)}{100}$$

Im Beispiel 1 (Abbildung C-1 7,  $nFK_{h1} > nFKWp30$ ) ergibt sich für das Ausgangsprofil aus der Mächtigkeit des 1. Horizontes (30 cm) und einem Verlustwert von 66 % eine korrespondierende maximale (erhebliche) Profilverkürzung von 20 cm (maximaler Verlustwert für 300 Jahre). Mindestens 10 cm des 1. Horizontes des Bodenprofils müssen erhalten bleiben, damit die Erheblichkeitsschwelle für die nFKWp nicht überschritten wird (Gleichung C-1 8).

**Gleichung C-1 8: Berechnung der horizontspezifischen (h1) korrespondierenden maximalen Profilverkürzung, Beispiel**

$$Profilverkürzung (20 cm) = \frac{\text{Horizonttiefe}_{h1} (30 cm) * nFK_{h1} \text{Verlust} (66 \%)}{100}$$

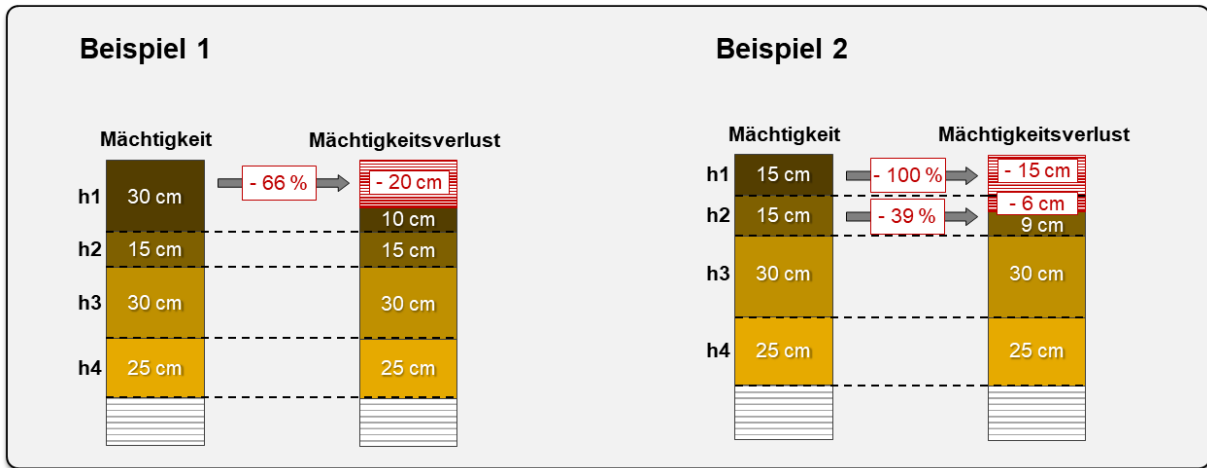
Für das Beispiel 2 (Abbildung C-1 7,  $nFK_{h1} < nFKWp30$ ) sind die Verlustwerte für die einzelnen Bodenhorizonte zu berücksichtigen. Damit ergibt sich für das Ausgangsprofil aus der Mächtigkeit des 1. Horizontes (15 cm) und einem Verlustwert von 100 % sowie aus der Mächtigkeit des 2. Horizontes (15 cm) und einem Verlustwert von 39 % (entspricht 6 cm) eine korrespondierende maximale (erhebliche) Profilverkürzung von 21 cm (maximaler Verlustwert für 300 Jahre) (Gleichung C-1 9).



**Gleichung C-1 9: Berechnung der korrespondierenden maximalen Profilverkürzung, Beispiel**

$$\begin{aligned}
 & \text{Profilverkürzung (21 cm)} \\
 &= \left( \frac{\text{Horizonttiefe } h_1 \text{ (15 cm)} * nFK_{h_1} \text{Verlust (100 \%)}}{100} \right) \\
 &+ \left( \frac{\text{Horizonttiefe } h_2 \text{ (15 cm)} * nFK_{h_2} \text{Verlust (39 \%)}}{100} \right)
 \end{aligned}$$

**Abbildung C-1 7: Berechnung des Schwellenwertes für den Verlust an Profil-Mächtigkeit (cm), exemplarisch für zwei Bodenprofile (Schritt 5)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

**IV-3 Berechnung des erheblichen Bodenabtrag**

Im Rahmen von Gefahrenabwehr aber auch für die Vorsorge, ist insbesondere die Bewertung von Einzelereignissen relevant. Parallel zur notwendigen Bewertung von Einzelereignissen im Eintrittsfall können die zuständigen Behörden als Anhaltspunkt für eine erste Einschätzung des Gefährdungspotentials eine Bewertung modellierter mittlerer Bodenabträge (z.B. ABAG-Ergebnisse) vornehmen.

In der bisher in den Bundesländern praktizierten Vorgehensweise dient die Bodenzahl (BZ) als Beurteilungsmaßstab für die Prüfung der Erheblichkeit. Dabei gilt die Bodenzahl als Maß für die Gründigkeit (LUBW 2011). Je tiefgründiger ein Boden ist, desto geringer ist bei entsprechendem Bodenabtrag die Beeinträchtigung seiner Bodenfunktionen. Die Erheblichkeitsschwellen werden für die Modellierung des langjährigen mittleren Bodenabtrages (t/ha\*a<sup>-1</sup>) durch die Formel BZ/4 mit einer Obergrenze (Kappung) von 13 t/ha\*a<sup>-1</sup> ermittelt. Für Einzelereignisse gilt die Formel BZ/2 (t/ha). Der Schwellenwert ist demzufolge nahezu doppelt so hoch wie für den langjährigen Bodenabtrag mit einer Obergrenze (Kappung) von 25 t/ha.

Dieser Ansatz hat sich in der praktischen Anwendung für die Gefahrenabwehr auf Ebene der Bundesländer bisher bewährt, da bei der Betrachtung von Einzelereignissen im Vergleich zum langjährig mittleren Bodenabtrag zwar deutlich höhere Bodenabträge auftreten können, diese aber je nach Ereignistyp auch mit deutlich geringerer Frequenz auftreten (LUBW 2011, MKLLU MV 2016, LLG 2018, LfL und LfULG 2012).

Der Verdoppelungsansatz für die Bewertung von Einzelereignissen wird hier aufgegriffen.

Sowohl für die Bewertung von Einzelereignissen als auch für die Bewertung des Gefahrenpotentials kann ausgehend vom ermittelten korrespondierenden maximalen Verlustwert für die Profilmächtigkeit über die vorliegende Lagerungsdichte (LD) des Bodens der Schwellenwert für den Bodenabtrag bestimmt werden (Gleichung C-1 10). In einem ersten Schritt erfolgt die Umrechnung des maximalen (erheblichen) Verlustes der Horizontmächtigkeit (cm) in Bodenabtrag je Flächeneinheit ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte (LD).

**Gleichung C-1 10: Berechnung des Bodenabtrags pro Flächeneinheit**

---

$$\text{Horizontmächtigkeit (m)} * \text{LD} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \text{Bodenabtrag pro Flächeneinheit} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

Im Beispiel 1 (Abbildung C-1 8) wird eine Erheblichkeitsschwelle (als maximaler Verlustwert für die Profil-Mächtigkeit für 300 Jahre) von 20 cm (0,2 m) abgeleitet. Bei einer angenommenen Lagerungsdichte in dem betroffenen Horizont (h1) von  $1,3 \text{ g}/\text{cm}^3$  ( $1.300 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) ergibt sich, bezogen auf eine Bodenfläche von  $1 \text{ m}^2$  ein Bodenabtrag von  $260 \text{ kg}/\text{m}^2$  ( $2.600 \text{ t}/\text{ha}$ ) (Gleichung C-1 11):

**Gleichung C-1 11: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags pro Flächeneinheit, Beispiel**

---

$$0,2 \text{ m} * 1.300 \text{ kg}/\text{m}^3 = 260 \text{ kg}/\text{m}^2$$

Für den Zeitraum von 300 Jahren (a) ergibt sich damit eine Erheblichkeitsschwelle für den Bodenabtrag von  $8,7 \text{ t}/\text{ha} * \text{a}^{-1}$  (Gleichung C-1 12):

**Gleichung C-1 12: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (tatsächlicher mittlerer langjähriger Bodenabtrag), Beispiel**

---

$$\frac{2.600 \text{ t}/\text{ha}}{300 \text{ a}} = 8,7 \frac{\text{t}}{\text{ha}} * \text{a}$$

Dem oben beschriebenen Verdoppelungsansatz für Einzelereignisse folgend, läge die **Erheblichkeitsschwelle für den Bodenabtrag für Einzelereignisse** für das betrachtete Profil bei  **$17,4 \text{ t}/\text{ha}$**  (Gleichung C-1 13).

**Gleichung C-1 13: Berechnung des erheblichen Bodenabtrags (Einzelereignis), Beispiel**

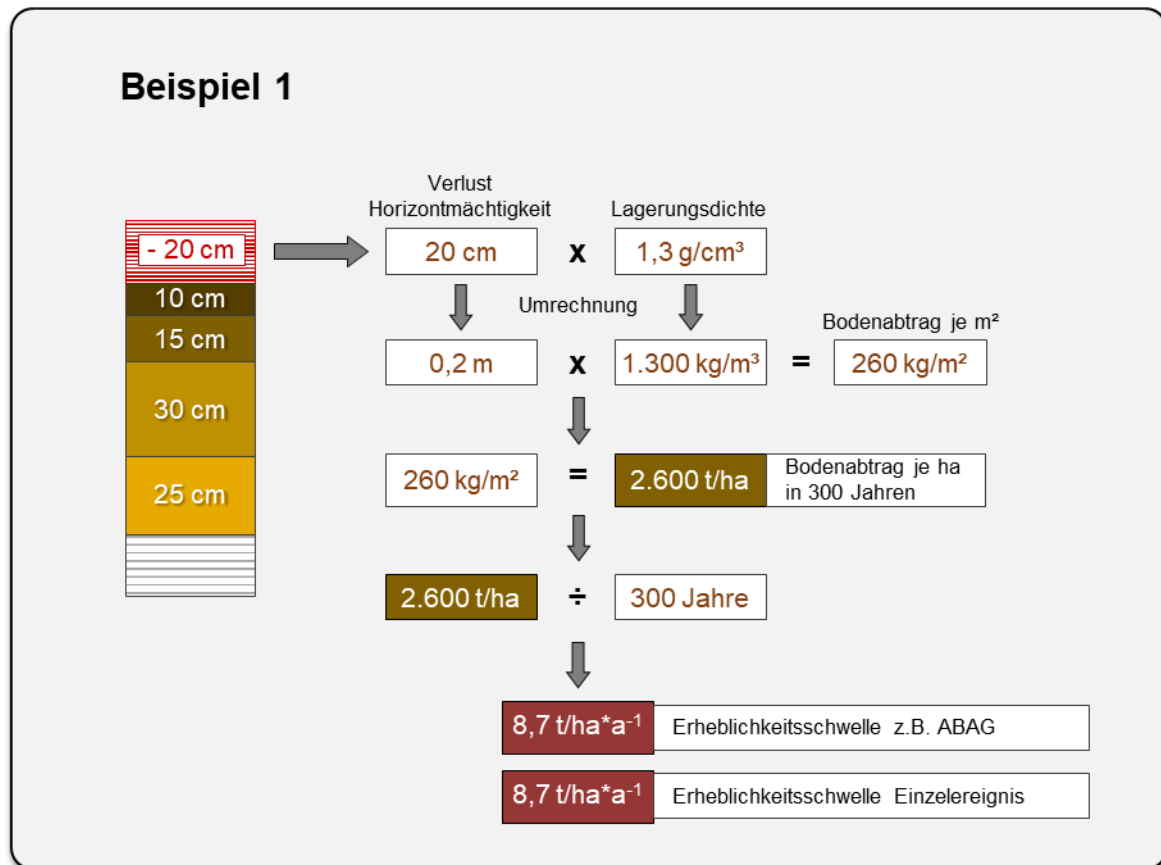
---

$$8,7 \frac{\text{t}}{\text{ha}} * 2 = 17,4 \text{ t}/\text{ha}$$

Das bedeutet in der Bewertung: Für das betrachtete Bodenprofil sind

- ▶ Einzelereignisse mit Bodenabträgen  $> 17,4 \text{ t}/\text{ha}$  als erheblich einzuschätzen und Maßnahmen zur Gefahrenabwehr einzuleiten.
- ▶ Mittlere jährliche Bodenabträge  $> 8,7 \text{ t}/\text{ha} * \text{a}^{-1}$  potenziell als erheblich einzuschätzen.

**Abbildung C-1 8: Berechnung des Schwellenwertes des erheblichen Bodenabtrags, exemplarisch für ein Bodenprofil (Schritt 6)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs

Für Profile, bei denen mindestens zwei Horizonte einzubeziehen sind, wird der Bodenabtrag schrittweise für die einzelnen Horizonte mit den spezifischen Lagerungsdichten berechnet und anschließend aufsummiert.

Um sehr tiefgründige Böden vor zu starken Bodenabträgen zu schützen, wird die Anwendung nachfolgender Höchstgrenzen des erheblichen Bodenabtrags empfohlen (siehe Kapitel II):

- ▶ **Bewertung des langjährigen mittleren Bodenabtrages (ABAG-Modellierung):**  
13 t/ha\*a<sup>-1</sup>
- ▶ **Bewertung von Einzelereignissen (z. B. Kartierung):** 25 t/ha.

Bezugsfläche für die Bewertung des langjährigen mittleren Bodenabtrages (ABAG-Modellierung) und für die Bewertung von Einzelereignissen ist die (kartierte) Erosionsfläche in ha. Die Betrachtung einer abgegrenzten Erosionsfläche ermöglicht auch die Bewertung der Erheblichkeit linienhafter Bodenabträge, unabhängig von der Größe des betroffenen Ackerschlages.

Die Bewertung der Erheblichkeit für Einzelereignisse auf Grundlage des Kennwertes nFKWp setzt voraus, dass mittel- bis großmaßstäbige Bodenkarten  $\geq 1:50.000$  mit den erforderlichen horizontbezogenen Parametern vorliegen. Dies ist aktuell nicht in allen Bundesländern der Fall. Die Verwendung kleinmaßstäbiger Bodenkarten (z.B. BÜK 200) ist für die standortbezogene Einzelfallbewertung aufgrund der hohen Aggregationsebene nicht zu empfehlen. In solchen

Fällen sollte dem bisherigen Ansatz, die Erheblichkeitsschwelle anhand der Bodenzahlen aus Daten der Bodenschätzung ermitteln zu können, gefolgt werden. Durch den hier dargestellten Grundansatz, sich auch unter Verwendung eines Bodenfunktionsparameters (nFKWp) an den bisherigen Vorgehensweisen der Bundesländer zu orientieren, wäre die Konsistenz beider Verfahren weiterhin gewährleistet.

## V. Möglichkeit der Ausweisung weiterer Maßnahmenschwellen (Vorsorge)

Ausgehend von der vorgeschlagenen Erheblichkeitsschwelle und dem maximalen Verlustwert für die Gefahrenabwehr, könnten bei Bedarf für die Vorsorge weitere abgestufte Maßnahmenschwellen ausgewiesen werden. Vorschläge finden sich in Tabelle C-1 1.

Ein zweiter Schwellenwert (Reduzierung der nFKWp um 20 %, nFKWp20) kann in dem Sinne interpretiert werden, dass bei dessen Überschreitung „Vorsorgemaßnahmen erforderlich“ sind. Eine 10 %-Schwelle definiert, dass bei Überschreitung „Vorsorgemaßnahmen empfehlenswert“ sind. Unterhalb dieser 10 %-Schwelle sind „keine Maßnahmen erforderlich“.

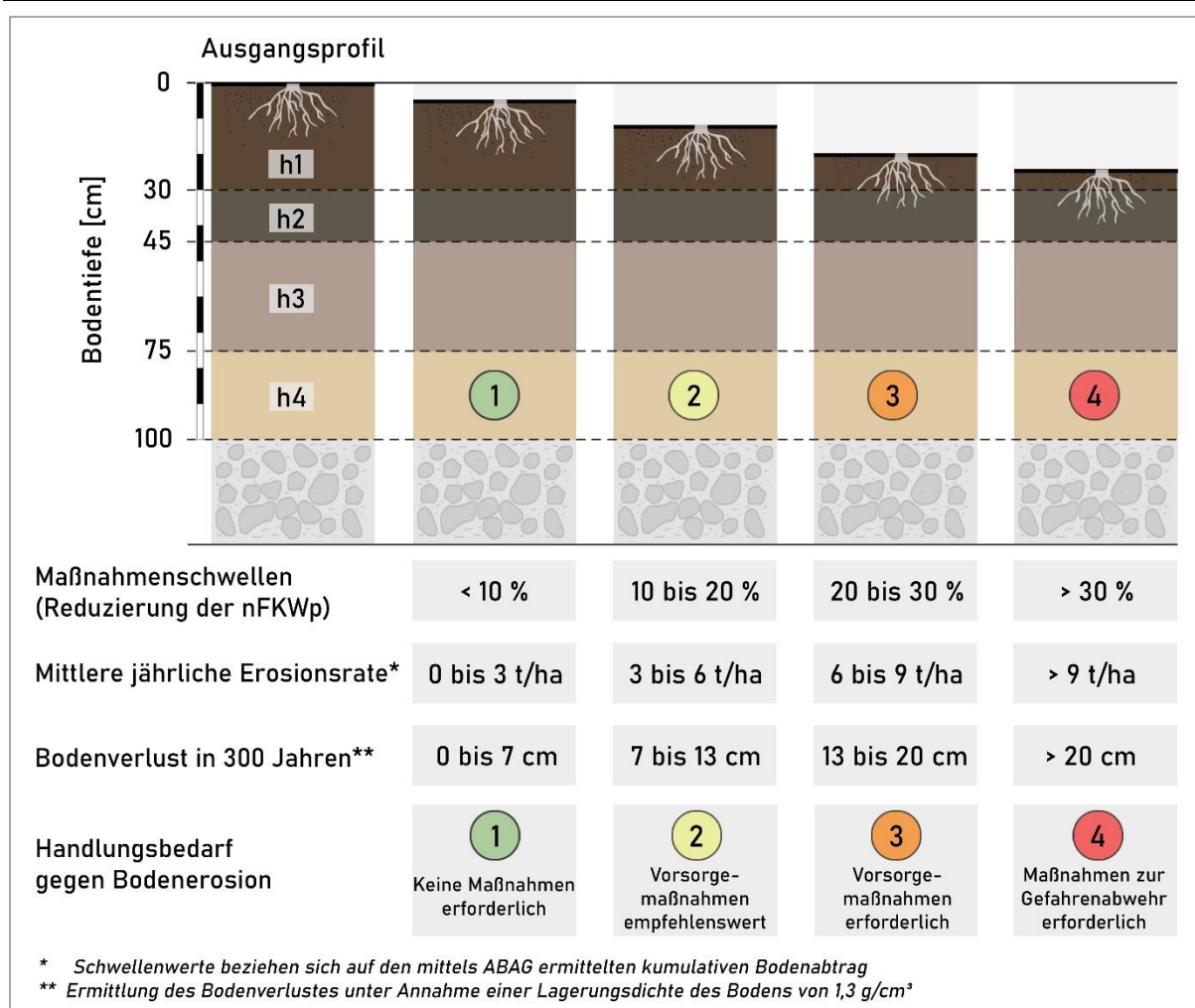
Dieses gestufte Vorgehen greift ebenfalls den bisher in einzelnen Bundesländern praktizierten Ansatz auf (LLG 2018, LfULG 2012).

**Tabelle C-1 1: Abgestufte Maßnahmenschwellen auf Grundlage der summarischen nutzbaren Feldkapazität in der gründigen Zone (nFKWp)**

Maßnahmenschwellen (Reduzierung der nFKWp in %)	Maßnahmenumsetzungserfordernis gegen Bodenerosion
< 10	keine Maßnahmen erforderlich
≥ 10 bis 20	Vorsorgemaßnahmen empfehlenswert
≥ 20 bis 30	Vorsorgemaßnahmen erforderlich
> 30	Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich

Abbildung C-1 9 veranschaulicht die Bodenverluste in 300 Jahren in Abhängigkeit von den in Tabelle C-1 1 aufgeführten Schwellenwerten für die Umsetzung von Maßnahmen. Exemplarisch wurde auch für dieses Beispiel eine nFKWp von 110 mm bei einer Gründigkeit von 100 cm angenommen (Abbildung C-1 9). Die Abbildung orientiert sich an der bereits durch Mosimann u. a. (1991) veröffentlichten Darstellung des Ackerkrumenverlustes in einem Menschenalter.

**Abbildung C-1 9: Verringerung der Bodenmächtigkeit in 300 Jahren in Abhängigkeit von den Maßnahmeschwellen auf Grundlage der nFKWp (Beispielprofil)**



Quelle: eigene Darstellung D. Wurbs (verändert nach Mosimann et al. (1991))

## VI. Literatur

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 5. verbesserte und erweiterte Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL); Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2012): Arbeitshilfe zur Umsetzung des Bodenschutzrechts hinsichtlich Gefahrenabwehr bei Bodenerosion durch Wasser, 2012.

DIN 19708:2021-11 (2022): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

LABO/LAWA (2021): Degradation von Böden – Bodenerosion durch Wasser – Positionspapier.  
[https://www.lawa.de/documents/lawa-labo-positionspapier-degradation-von-boede-bodenerosion-durch-wasser-barrierefrei\\_1689855168.pdf](https://www.lawa.de/documents/lawa-labo-positionspapier-degradation-von-boede-bodenerosion-durch-wasser-barrierefrei_1689855168.pdf)

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG) (2020): Auswertungsmethoden im Bodenschutz - Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 9. Auflage. Hannover. DOI 10.48476/geober\_19\_2020.

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (2012): Gefahrenabwehr bei Bodenerosion – Arbeitshilfe. Dresden.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG) (2018): Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten. Lokale Kooperation zwischen Landwirten und Gemeinden sowie weiteren Akteuren zur Vermeidung von Bodenerosion. 1/2018.

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (2011): Merkblatt Gefahrenabwehr bei Bodenerosion. 1. Auflage. 2011 (25).

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern (MKLLU MV) (2016): Erosionsereigniskataster Mecklenburg-Vorpommern. Bodenerosion durch Wasser.

Mosimann, Th.; Maillard, A.; Musy, A.; Neyroud, J.A.; Rüttimann, M.; Weisskopf, P. (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten. – Liebefeld-Bern.

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