

# DWA-Regelwerk

## **Merkblatt DWA-M 920-5**

**Bodenfunktionsansprache – Teil 5: Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden**

Oktober 2025

VORSCHAU

VORSCHAU

# DWA-Regelwerk

## **Merkblatt DWA-M 920-5**

Bodenfunktionsansprache – Teil 5: Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden

Oktober 2025

VORSCHAU

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 13 500 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

### Impressum

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,  
Abwasser und Abfall e. V. (DWA)  
Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef, Deutschland  
Tel.: +49 2242 872-333  
E-Mail: [info@dwa.de](mailto:info@dwa.de)  
Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

**Satz:**  
Christiane Krieg, DWA

**Druck:**  
druckhaus köthen GmbH & Co KG

**ISBN:**  
978-3-96862-882-0 (Print)  
978-3-96862-883-7 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA, 1. Auflage, Hennef 2025

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblatts darf vorbehaltlich der gesetzlich erlaubten Nutzungen ohne schriftliche Genehmigung der Herausgeberin in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden. Die DWA behält sich das Text- und Data-Mining nach § 44b UrhG vor, was hiermit Dritten ohne Zustimmung der DWA untersagt ist.

## Vorwort

Das vorliegende Merkblatt ist ein Beitrag der DWA-Arbeitsgruppe GB-7.5 „Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden“ im DWA-Fachausschuss GB-7 „Bodenschutz – Bodenfunktionen und Atlasten“. Ziel der Arbeitsgruppe ist es, eine Anleitung zur Bodenfunktionsbewertung zu erstellen. Der Schutz der Bodenfunktionen sowie die Vermeidung schädlicher Bodenveränderungen stehen im Mittelpunkt des Bodenschutzes und sind auf nationaler Ebene im Bodenschutzrecht, also im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und in der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) verankert. Die technisch-naturwissenschaftliche Bewertung der Bodenfunktionen und der Bodengefährdung ist wichtiger Bestandteil verschiedener Planungsinstrumente. In der Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M 920 zur Bodenfunktionsansprache werden einerseits allgemein anerkannte Bewertungsschemata dargestellt und andererseits wird festgehalten, wie die Bodenkennwerte ermittelt werden, die in die Bewertung einfließen. Wissenschaftliche Grundlagen der Bewertungsmethoden werden zusammenfassend erläutert. Für die Erstellung der Arbeits- und Merkblätter wurden Verfahrensweisen der in den einzelnen Bundesländern verwendeten Anleitungen berücksichtigt und, wo nötig, durch aktuelle Forschungsergebnisse ergänzt.

Die DWA erstellt mit der Überarbeitung der bestehenden DWA-Arbeits- und Merkblätter eine Arbeits- und Merkblattreihe zur Bodenbewertung, deren Gliederung sich an den im Bundes-Bodenschutzgesetz genannten Bodenfunktionen und Gefährdungen orientiert. Das neue Merkblatt DWA-M 920-5 „Bodenfunktionsansprache – Teil 5: Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden“ dient der Vermeidung von Bodenschadverdichtungen und der damit verbundenen Beeinträchtigungen fast aller Bodenfunktionen.

Dieses Merkblatt verfolgt das Ziel, in einem Leitfaden den gegenwärtigen Stand des Wissens zu vermitteln und eine Bewertung vorliegender Modellkonzepte zur Erfassung der Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden vorzunehmen, ohne dabei eine Empfehlung zugunsten eines dieser Modelle auszusprechen. Zwar existieren bereits umfangreiche wissenschaftliche Vorarbeiten und Veröffentlichungen, zum Beispiel die Merkblätter DVWK-M 234 und DVWK-M 235 oder die VDI-Richtlinie 6101, doch fehlen bis heute allgemein akzeptierte Standards sowie verbindliche technische Regelwerke für die Umsetzung des nicht-stofflichen Bodenschutzes in der Praxis. Das vorliegende Merkblatt knüpft an die bestehenden DVWK-Merkblätter an, erweitert aber das Methodenspektrum um die seitdem entwickelten Modellkonzepte. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen dabei drei Ansätze: das Vorbelastungskonzept in einer Realisation von LEBERT (2010), die aus der Vielzahl der Varianten dieses Konzepts ausgewählt wurde, das dänisch-schweizerische Modell Terranimo<sup>®</sup> sowie die Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit des Instituts für Agrartechnologie des Johann Heinrich von Thünen-Instituts. Da übergreifende Validierungsstudien an gemeinsamer Datengrundlage und entsprechende statistische Gütemaße fehlen, nutzt das Merkblatt bei der Bewertung dieser drei Ansätze qualitative und halbquantitative Maßzahlen und gibt daher nur Empfehlungen, die Anwendern in der Praxis für die Einzelfallentscheidung auf dem Feld oder auf der Baustelle eine direkte Hilfestellung bei der Einschätzung der örtlichen Befahrbarkeit bieten. An der Zusammensetzung der zuständigen Arbeitsgruppe waren neben Forschungstreibenden aus Universitäten, Bundesbehörden und Staatlichen Geologischen Diensten auch ein Ingenieurbüro sowie Landesämter für Umwelt oder Landwirtschaft und Landwirtschaftskammern beteiligt, um verschiedene Sichtweisen auf den nicht-stofflichen Bodenschutz widerzuspiegeln und den Anforderungen der wichtigsten Nutzergruppen an das neue Merkblatt der Reihe „Bodenfunktionsansprache“ zu entsprechen.

Die Klassifizierung bodenkundlicher Kennwerte einschließlich der Einteilung in Bodenarten des mineralischen Feinbodens und der Einstufung aller bodenkundlichen Merkmale erfolgt in diesem Merkblatt in Übereinstimmung mit der Bodenkundlichen Kartieranleitung der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), der DIN 4220 sowie dem Arbeitsblatt DWA-A 920-1. Die Inhalte dieses Merkblatts werden von der Neuauflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung im Jahr 2024 nicht tangiert, da die Bodenarteneinteilung unverändert in die 6. Auflage übernommen wurde. Alternative Bodenarteneinteilungen, die auf andere Klassifikationssysteme wie zum Beispiel die Bodenschätzung Bezug nehmen, finden sich im Anhang A.

### Änderungen

Gegenüber den Merkblättern DVWK-M 234/1995 und DVWK-M 235/1997 wurden im Merkblatt DWA-M 920-5 folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anpassung an die europäische Normung und zwischenzeitlich eingetretene Veränderungen hinsichtlich Gesetzen und Verordnungen;
- b) Erweiterung des Methodenspektrums um neu entwickelte Modellkonzepte;
- c) Weitergehende Ausführungen zum Vergleich und zur Bewertung der betrachteten Ansätze;
- d) Neu aufgenommen:
  - Vergleich der betrachteten Ansätze nach Datengrundlage, Gültigkeitsbereich, Eignung (z. B. 4.2.5),
  - Vergleich der betrachteten Ansätze nach Plausibilität und Anwendbarkeit der Ergebnisse (z. B. 4.2.7),
  - Betrachtung und Vergleich mehrerer Ansätze zur Ermittlung der Bodenbelastung (z. B. Tab. 16),
  - Vorstellung von Musterrechnungen für exemplarische Standort- und Fahrzeugdaten (7.1),
  - Neuaufnahme von Verfahren zur Ermittlung der langfristigen Verdichtungsgefährdung nach klimatischen Einflüssen und der Häufigkeit des Auftretens hoher Bodenfeuchtegehalte (Abschnitt 9).

Für Anwendende des Merkblatts bestehen keine Kostenauswirkungen.

Zu erwartende Auswirkungen auf die Umwelt: Bei sachgerechter Anwendung der im Merkblatt behandelten und vorgestellten Modelle, die der Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen dienen, sind ausschließlich positive Effekte für die Umwelt zu erwarten.

In diesem Merkblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird die weibliche und die männliche Form verwendet. Ist dies aus Gründen der Verständlichkeit nicht möglich, wird nur eine von beiden Formen verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise auf alle Geschlechter.

### Frühere Ausgaben

Merkblatt DVWK-M 234/1995 und Merkblatt DVWK-M 235/1997

### DWA-Klimakennung

Im Rahmen der DWA-Klimastrategie werden Arbeits- und Merkblätter mit einer Klimakennung ausgezeichnet. Über diese Klimakennung können Anwendende des DWA-Regelwerks schnell und einfach erkennen, in welcher Intensität sich eine technische Regel mit dem Thema Klimaanpassung und Klimaschutz auseinandersetzt. Dieses Merkblatt wurde wie folgt eingestuft:

**KA1** = Das Merkblatt hat indirekten Bezug zur Klimaanpassung

**KS0** = Das Merkblatt hat keinen Bezug zu Klimaschutzparametern

Einzelheiten zur Ableitung der Bewertungskriterien sind im „Leitfaden zur Einführung der Klimakennung im DWA-Regelwerk“ erläutert, der online unter [www.dwa.info/klimakennung](http://www.dwa.info/klimakennung) verfügbar ist.

Überblick über entstandene/geplante Beiträge im Rahmen der Arbeits- und Merkblattrihe DWA-A/M 920 „Bodenfunktionsansprache“:

Bodenfunktionen/Bodenveränderungen (Gliederung nach BBodSchG/BBodSchV)	
1. Lebensraumfunktion	1.1 Lebensgrundlage und Lebensraum für Kulturpflanzen (Merkblatt DWA-M 920-4:2018) 1.2 Lebensgrundlage und Lebensraum für natürliche Vegetation 1.3 Lebensgrundlage und Lebensraum für Bodenorganismen (Entwurf Merkblatt DWA-M 920-6:2024)
2. Funktion als Bestandteil des Naturhaushalts	2.1 Funktion des Bodens im Wasserhaushalt (Arbeitsblatt DWA-A 920-1:2016) 2.2 Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt, landwirtschaftliche Nutzung (Merkblatt DWA-M 920-3:2018) 2.3 Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt, forstliche Nutzung 2.4 Kohlenstoffhaushalt
3. Funktion Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium	3.1 Filter und Puffer für anorganische sorbierbare Schadstoffe 3.2 Filter und Puffer für organische Schadstoffe (Arbeitsblatt DWA-A 920-2:2017) 3.3 Puffervermögen des Bodens für saure Einträge 3.4 Filter für nicht sorbierbare Stoffe
4. Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte	4.1 Archiv der Naturgeschichte 4.2 Archiv der Kulturgeschichte
5. Schädliche Bodenveränderung	Bodenerosion durch Wasser
	Bodenerosion durch Wind
	Verdichtung (Merkblatt DWA-M 920-5:2025)
	Humusschwund

## Verfasserinnen und Verfasser

Dieses Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe GB-7.5 „Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden“ im Auftrag des DWA-Hauptausschusses „Gewässer und Boden“ (HA GB) im DWA-Fachausschuss GB-7 „Bodenschutz – Bodenfunktionen und Altlasten“ erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe GB-7.5 „Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden“ gehören folgende Mitglieder an:

HENNINGS, Volker	Dr., Büro für Bodenfunktionsbewertung, Hannover (Sprecher)
BRUNOTTE, Joachim	PD Dr., Thünen-Institut für Agrartechnologie, Braunschweig
BUG, Jan	Dr., Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
FLEIGE, Heiner	Dr., Christian-Albrechts-Universität, Kiel
HANDKE, Kevin	M. Sc.-Geoökol., Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, Mainz
KOCH, Heinz-Josef	Dr., Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen
LORENZ, Marco	Dr., Thünen-Institut für Agrartechnologie, Braunschweig
MARSCHALL, Karin	Dipl.-Geoökol., Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Jena
MARX, Kirstin	Dipl.-Geogr., Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau (stellvertretende Sprecherin)
PETH, Stephan	Prof. Dr., Leibniz Universität Hannover
RÜCKNAGEL, Jan	PD Dr., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle
SENGER, Marion	Dipl.-Ing. agr., Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover
STAHL, Henning	Dipl.-Ing. agr., Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen
STANGE, Florian	Dr., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
VORDERBRÜGGE, Thomas	Dr., vormals Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden

Dem DWA-Fachausschuss GB-7 „Bodenschutz – Bodenfunktionen und Altlasten“ gehören folgende Mitglieder an:

LENNARTZ, Bernd	Prof. Dr., Universität Rostock (Obmann)
BÖTTCHER, Jürgen	Prof. Dr., Leibniz Universität Hannover
ELHAUS, Dirk	Dipl.-Geogr., Geologischer Dienst NRW, Krefeld
ENGEL, Nicole	Dipl.-Geogr., Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
EVERS, Jan	Dr., Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen
HENNINGS, Volker	Dr., Büro für Bodenfunktionsbewertung, Hannover
LANG, Friederike	Prof. Dr., Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
PÜTZ, Thomas	Dr., Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
THIELE-BRUHN, Sören	Prof. Dr., Universität Trier
UTERMANN, Jens	Prof. Dr., Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
WILKE, Berndt-Michael	Prof. Dr. Dr., Technische Universität Berlin
ZAK, Dominik Henrik	Aarhus University, Dänemark

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

BARION, Dirk	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
--------------	--

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>Verfasserinnen und Verfasser</b> .....	<b>6</b>
<b>Bilderverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>10</b>
<b>Hinweis für die Benutzung</b> .....	<b>12</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>12</b>
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>13</b>
<b>2 Begriffe</b> .....	<b>14</b>
2.1 Definitionen .....	14
2.1.1 Verdichtung .....	14
2.1.2 Verdichtungsempfindlichkeit .....	14
2.1.3 Mechanische Belastbarkeit .....	14
2.1.4 Vorbelastung .....	14
2.1.5 Kohäsion .....	14
2.1.6 Winkel der inneren Reibung .....	15
2.1.7 Verdichtungsgefährdung .....	15
2.1.8 Potenzielle Verdichtungsgefährdung .....	15
2.1.9 Aktuelle Verdichtungsgefährdung .....	15
2.1.10 Bodenschadverdichtung .....	15
2.1.11 Pedotransferfunktionen .....	15
2.1.12 Kontaktflächendruck .....	15
2.1.13 Befahrbarkeit .....	16
2.1.14 Ödometer(versuch) .....	16
2.2 Formelzeichen .....	16
2.3 Abkürzungen .....	17
<b>3 Klassifikation vorliegender Lösungsansätze</b> .....	<b>18</b>
<b>4 Ermittlung der Belastbarkeit des Bodens gegen Verdichtung bzw. der potenziellen Verdichtungsgefährdung</b> .....	<b>21</b>
4.1 Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens aus bodenkundlichen Standorteigenschaften bei bestimmten Wasserspannungen/Matrixpotenzialen .....	21
4.1.1 Mechanische Bodenbelastbarkeit nach dem Konzept der Vorbelastung .....	21
4.1.2 Pedotransferfunktionen zur Schätzung der Vorbelastung aus bodenbezogenen Parametern .....	22
4.1.3 Druckbelastungsquotienten nach PAUL .....	24
4.1.4 Schadverdichtungsgefährdungsklassen nach PETELKAU et al. ....	25
4.1.5 Schätzverfahren auf Basis der Packungsdichte nach RÜCKNAGEL et al. ....	26
4.1.6 Schätzverfahren auf Basis der Aggregatrohndichte nach RÜCKNAGEL et al. ....	26
4.1.7 Bodenbelastbarkeit nach sonstigen Methoden .....	27
4.1.8 Vergleich und Bewertung der betrachteten Ansätze .....	27
4.1.9 Dokumentation ausgewählter Algorithmen für die praktische Anwendung .....	29

4.2	Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens aus bodenkundlichen Standorteigenschaften über ein erweitertes Matrixpotenzial- bzw. Wasserspannungsspektrum .....	33
4.2.1	Modifikation der Ergebnisse zur Vorbelastung nach Arbeiten von RÜCKNAGEL et al. ...	33
4.2.2	Bodenbelastbarkeit nach dem Modell Terranimo® .....	35
4.2.3	Bodenbelastbarkeit nach der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit .....	37
4.2.4	Bodenbelastbarkeit nach DIN 19639 .....	40
4.2.5	Vergleich der betrachteten Ansätze zur Bestimmung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens nach Datengrundlage, Gültigkeitsbereich, Eignung .....	41
4.2.6	Vergleich der Ergebnisse der betrachteten Ansätze zur Bestimmung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens .....	45
4.2.7	Abschließende Bewertung der betrachteten Ansätze zur Bestimmung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens .....	51
<b>5</b>	<b>Ermittlung der Bodenbelastung durch Maschinenauflast</b> .....	<b>53</b>
5.1	Bodenbelastung nach Merkblatt DVWK-M 234 .....	53
5.2	Bodenbelastung nach Modell Terranimo® einschließlich des Modells FRIDA .....	57
5.3	Bodenbelastung nach der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit .....	58
5.4	Vergleich und Bewertung der betrachteten Ansätze .....	61
<b>6</b>	<b>Ermittlung der aktuellen Verdichtungsgefährdung/Befahrbarkeit</b> .....	<b>64</b>
6.1	Aktuelle Verdichtungsgefährdung nach Vorbelastungsansatz und Merkblatt DVWK-M 234 .....	64
6.2	Aktuelle Verdichtungsgefährdung nach Modell Terranimo® .....	65
6.3	Aktuelle Verdichtungsgefährdung nach der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit ...	66
6.4	Aktuelle Verdichtungsgefährdung nach DIN 19639 .....	68
6.5	Vergleich und Bewertung der betrachteten Ansätze .....	69
<b>7</b>	<b>Beispielhafte Ergebnisse und Empfehlungen zur praktischen Anwendung</b> .....	<b>69</b>
7.1	Ergebnisse ausgewählter Modellansätze zur Befahrbarkeit anhand von Musterrechnungen für exemplarische Standort- und Fahrzeugdaten .....	69
7.2	Allgemeine Empfehlungen zur Modellauswahl und praktischen Anwendung .....	74
<b>8</b>	<b>Bewertung der Auswirkungen einer Bodenschadverdichtung auf bodenfunktionale Kennwerte</b> .....	<b>76</b>
<b>9</b>	<b>Ermittlung der langfristigen Verdichtungsgefährdung nach klimatischen Einflüssen und der Häufigkeit des Auftretens hoher Bodenfeuchtegehalte</b> .....	<b>81</b>
9.1	Langfristige Verdichtungsgefährdung nach LfULG Sachsen .....	81
9.2	Langfristige Verdichtungsgefährdung nach der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit .....	84
<b>Anhang A</b>	<b>Ableitung von Kennwerten aus Daten der Bodenschätzung</b> .....	<b>88</b>
<b>Quellen und Literaturhinweise</b> .....	<b>89</b>	

## Bilderverzeichnis

Bild 1:	Prinzipskizze zur Methodik der Modellkonzepte .....	18
Bild 2:	Einstufung der Bodenarten in Schadverdichtungsgefährdungsklassen nach PETELKAU et al. ....	25
Bild 3:	Nomogramm zum Regressionsmodell „alle Böden“ für die Berechnung der logarithmischen Zunahme der Vorbelastung mit abnehmenden Wassergehalten ...	34
Bild 4:	Nomogramm zur Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit in kPa in Abhängigkeit von Tongehalt und Wasserspannung im Rahmen des Modells Terranimo® light .....	35
Bild 5:	Prognostizierte Vorbelastung in kPa in Abhängigkeit von Tongehalt und Matrixpotenzial nach der Pedotransferfunktion von SCHJØNNING & LAMANDÉ (2018) ..	36
Bild 6:	Einstufung der Verdichtungsempfindlichkeit von Böden in Abhängigkeit von Bodenart und Bodenwassergehalt im Rahmen der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit .....	38
Bild 7:	Mittlere Verläufe der $pF$ -Stufen in Abhängigkeit von Bodenart und Bodenwassergehalt zur Ableitung der Verdichtungsempfindlichkeitsklassen im Rahmen der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit.....	39
Bild 8:	Mittlerer Jahresverlauf der Verdichtungsempfindlichkeit (Klassen 1-5, sehr gering bis sehr hoch) des Oberbodens (OB) für Silomais an den Standorten 1-9 .....	40
Bild 9:	Veränderung des Schätzwertes der Vorbelastung bei Anwendung einer der Pedotransferfunktionen nach Merkblatt DVWK-M 234 und Variation jeweils einer von 8 unabhängigen Variablen .....	45
Bild 10:	Einstufung der Bodenarten nach ihrer mechanischen Belastbarkeit bei Feldkapazität und mittlerer Trockenrohddichte bei unterschiedlicher Klasseneinteilung der Vorbelastung: (a) Vorbelastung in kPa nach HENNINGS (2001) mit einheitlicher Regressionsgleichung über alle Bodenarten (b) Vorbelastung in kPa gemäß der Schweizer Version des Terranimo®-Modells.....	46
Bild 11:	Mechanische Belastbarkeit bei $pF$ 1,8 als Funktion der Trockenrohddichte nach den Modellansätzen von LEBERT (2010) sowie SCHJØNNING & LAMANDÉ (2018): (a) Bodenart Ls3, (b) Bodenart Ut3 .....	48
Bild 12:	Druckverteilung im Boden bei unterschiedlichen Konzentrationsfaktoren.....	54
Bild 13:	Nomogramm zur Ermittlung des Bodendrucks in 35 cm Referenztiefe in Abhängigkeit von Radlast und Reifeninnendruck im Modell Terranimo® light.....	58
Bild 14:	Entscheidungsdiagramm in den Modellen Terranimo® light und Terranimo® expert zur Gegenüberstellung von Bodenfestigkeit und Bodendruck und zur Abschätzung des Verdichtungsrisikos in drei Stufen .....	65
Bild 15:	Screenshot der Ergebnisausgabe des Modells Terranimo® expert unter ch.terranimo.world am Beispiel eines zweiachsigen Gülleffasses mit vier Reifen ....	66
Bild 16:	Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit zur Verknüpfung der Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens mit der mechanischen Belastung durch landwirtschaftliche Maschinen am Beispiel der Silomaisernte.....	67
Bild 17:	Grenzwerte von Druckbelastungsquotienten, oberhalb derer eine Bodenschadverdichtung zu erwarten ist; dargestellt für ausgewählte Modellansätze.....	69
Bild 18:	Bewertungsverfahren zum Nachweis einer Bodenschadverdichtung im Unterboden ( <i>Compaction Verification Tool</i> (CVT)) .....	80
Bild 19:	Verdichtungsempfindlichkeit der Böden in Niedersachsen nach Bodenmerkmalen für den Unterboden .....	83
Bild 20:	Verdichtungsempfindlichkeit der Böden in Niedersachsen nach Bodenmerkmalen und der Häufigkeit hoher Bodenfeuchten .....	84

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Charakteristika der betrachteten fünf Pedotransferfunktionen zur Ermittlung der Vorbelastung .....	23
Tabelle 2:	Vorbelastung bei $pF$ 1,8 in Abhängigkeit von der Packungsdichte .....	26
Tabelle 3:	Schätzwerte der Scherwiderstandsparameter Kohäsion ( $c$ ) und Winkel der inneren Reibung ( $\phi$ ) bei $pF$ 1,8 in Abhängigkeit von der Bodenart und der Gefügeform .....	29
Tabelle 4:	Regressionsgleichungen zur Berechnung der Vorbelastung bei $pF$ 1,8 .....	31
Tabelle 5:	Größenordnung der Vorbelastungswerte zur Orientierung bei abschließlicher Kenntnis der Bodenart und der Klasse der Trockenrohdichte ( $\rho$ ) ..	32
Tabelle 6:	Einfluss verschiedener Grobbodenanteile auf die Vorbelastung gemäß Gleichung (6) am Beispiel eines Bodens mit $P_{V_{\text{Feinboden}}} = 80$ kPa .....	33
Tabelle 7:	Regressionsgleichungen zur Berechnung der logarithmischen Veränderung der Vorbelastung ( $\Delta \log P_{V\theta}$ ) mit abnehmendem Bodenwassergehalt .....	34
Tabelle 8:	Vorbelastungswerte der 4 Bodenartenhauptgruppen im Modell Terranimo <sup>®</sup> _Sachsen nach STAHL et al. (2005) .....	37
Tabelle 9:	Datengrundlage ausgewählter Schätzverfahren zur Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens .....	41
Tabelle 10:	Bodenkundliche Eingangsdaten ausgewählter Schätzverfahren zur Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens .....	42
Tabelle 11:	Anwendbarkeit ausgewählter Schätzverfahren zur Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens auf Ober-/Unterboden und Nutzungsarten ...	44
Tabelle 12:	Charakteristische Merkmale der Ergebnisse verschiedener Pedotransferfunktionen zur Schätzung der mechanischen Belastbarkeit von Böden .....	49
Tabelle 13:	Mittlere Werte des Konzentrationsfaktors $\nu_k$ auf Basis von Freilandmessungen für die Bodenarten-Hauptgruppen Schluffe, Lehme und Tone in Abhängigkeit vom Äquivalentradius der Reifenkontaktfläche, der Vorbelastung der einzelnen Bodenhorizonte und dem Druck $\sigma_0$ an der Obergrenze des jeweiligen Bodenhorizonts bei einem Vorentwässerungsgrad von etwa $pF$ 2,5 .....	55
Tabelle 14:	Funktionsweise der beiden Versionen des Terranimo <sup>®</sup> -Modells bei der Ermittlung der Druckbelastung durch Landmaschinen im Boden .....	57
Tabelle 15:	Ermittlung der Bodenbelastung im Rahmen der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit am Beispiel eines Feldhäckslers bei der Silomaisernte mit parallel fahrendem Häckselgutwagen, der das Häckselgut direkt zum Silo transportiert .....	60
Tabelle 16:	Vergleich der Modellansätze Merkblatt DVWK-M 234, Terranimo <sup>®</sup> expert und Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit anhand der Ermittlung der mechanischen Bodenbelastung durch Landmaschinen .....	61
Tabelle 17:	Klassifizierung der verdichtungswirksamen Bodenbelastungen aus dem Verhältnis Vorbelastung $P_v$ zu Bodendruck $\sigma_0$ nach DVWK-M 234 .....	64
Tabelle 18:	Verwendete Fahrzeugdaten für Tabelle 19 .....	70
Tabelle 19:	Prognosen der aktuellen Verdichtungsgefährdung in 35 cm Bodentiefe durch die Modelle LEBERT (2010) / DVWK-M 234 und Terranimo <sup>®</sup> expert am Beispiel eines Feldhäckslers bei unterschiedlichen bodenkundlichen Standortbedingungen .....	71
Tabelle 20:	Prognosen der aktuellen Verdichtungsgefährdung in 35 cm Bodentiefe durch die Modelle LEBERT (2010) / DVWK-M 234 und Terranimo <sup>®</sup> expert am Beispiel eines Pumptankwagens für die Gülleausbringung bei unterschiedlichen bodenkundlichen Standortbedingungen .....	72
Tabelle 21:	Verwendete Fahrzeugdaten für Tabelle 20 .....	73

Tabelle 22:	Kriterien zur Bewertung der Funktionen des Bodens und ihre Eignung als Indikatoren für eine Bodenschadverdichtung .....	78
Tabelle 23:	Parameter und Schwellenwerte zur Ermittlung einer Beeinträchtigung von Bodenfunktionen durch Unterbodenverdichtung nach LEBERT et al. ....	79
Tabelle 24:	Bewertung von Gefügeeigenschaften hinsichtlich der Erfüllung von Bodenfunktionen nach BUG et al. ....	79
Tabelle 25:	Stufe der Verdichtungsempfindlichkeit nach Bodenmerkmalen im Rahmen der Methode des LfULG nach BUG et al. ....	82
Tabelle 26:	Stufe der Verdichtungsempfindlichkeit nach Bodenmerkmalen und der Häufigkeit hoher Bodenfeuchten im Rahmen der Methode des LfULG .....	83
Tabelle 27:	Befahrbarkeitstage für drei Technikvarianten der Silomaisernte für neun verschiedene Beispielstandorte.....	85
Tabelle A.1:	Vereinfachte Standardwerte für Trockenrohdichte und Aggregatrohdichte nach RÜCKNAGEL in der unteren Ackerkrume in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung.....	88
Tabelle A.2:	Vereinfachte Standardwerte für Trockenrohdichte und Aggregatrohdichte nach RÜCKNAGEL im krumennahen Unterboden .....	88

VORSCHAU

## Hinweis für die Benutzung

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für ein Merkblatt besteht eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jeder Person steht die Anwendung des Merkblatts frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

Normen und sonstige Bestimmungen anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder anderer Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum stehen Regeln der DWA gleich, wenn mit ihnen dauerhaft das gleiche Schutzniveau erreicht wird.

## Einleitung

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und ergänzende Regelungen der Länder fordern im vorsorgenden Bodenschutz eine nachhaltige Sicherung der natürlichen Funktionen des Bodens, und die Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) trifft Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen, durch die die natürlichen Funktionen des Bodens erheblich beeinträchtigt werden können. Im Rahmen der Vorsorgepflicht sollen Bodenverdichtungen nach § 17 BBodSchG durch gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft so weit wie möglich vermieden werden.

Vor diesem Hintergrund nimmt die Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und der landwirtschaftlichen Produktivität eine wichtige Rolle ein. Schädigungen des Bodengefüges können durch den Bodendruck in Folge der Gewichtslast der eingesetzten Geräte und Maschinen sowie durch wiederholtes Befahren in Zeiten zu geringer Tragfähigkeit des Bodens hervorgerufen werden. Sie können durch gezielte Anpassung der Lasten und Aufstandsflächen der Maschinen und Geräte sowie der Arbeitsverfahren und eine Begrenzung des Befahrens auf geeignete Zeiträume mit geringer Bodenfeuchte vermieden werden. Dazu sind geeignete Entscheidungskriterien nötig, um den Maschineneinsatz auf die bodenspezifische Verdichtungsempfindlichkeit abstimmen zu können.

Statuserhebungen und Daten von Bodendauerbeobachtungsflächen weisen Bodenschadverdichtungen nicht flächendeckend, sondern nur vereinzelt in Fahrgassen, Vorgewenden sowie auf Flächen, die nicht nach guter fachlicher Praxis oder bei zu hoher Bodenfeuchte befahren wurden (BRUNOTTE et al. 2008), nach.

In diesem Merkblatt sind Methoden für die Ermittlung der Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden im Ackerbau benannt. Das Merkblatt ist Teil der Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M 920 zur Bodenfunktionsansprache. Es knüpft an die in den 1990er Jahren erschienenen Merkblätter DVWK-M 234 und DVWK-M 235 an und erweitert diese um die seitdem entwickelten Modellkonzepte.

Gemäß der Zielsetzung der Arbeits- und Merkblattreihe zur Bodenfunktionsansprache liegt der Schwerpunkt dabei auf der Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens in Abhängigkeit von dessen Eigenschaften sowie der Bodenwasserspannung. Die in diesem Merkblatt behandelten Modellansätze zeigen mögliche Wege auf, wie die Belastbarkeit und die mechanische Beanspruchung

VORSCHAU

Die DWA erstellt mit der Arbeits- und Merkblattreihe zur Bodenbewertung eine fachliche Grundlage für die Praxis, deren Gliederung sich an den im Bundes-Bodenschutzgesetz genannten Bodenfunktionen und Gefährdungen orientiert. Das Merkblatt DWA-M 920-5: „Bodenfunktionsansprache – Teil 5: Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden“ steuert in diesem Rahmen einen Beitrag zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen und der damit verbundenen Beeinträchtigungen fast aller Bodenfunktionen bei.

Dieses Merkblatt verfolgt das Ziel, in einem Leitfaden den gegenwärtigen Stand des Wissens zu vermitteln und eine Bewertung vorliegender Modellkonzepte zur Erfassung der Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden vorzunehmen, ohne dabei eine Empfehlung zugunsten eines dieser Modelle auszusprechen. Zwar existieren bereits umfangreiche wissenschaftliche Vorarbeiten und Veröffentlichungen, zum Beispiel die Merkblätter DVWK-M 234 und DVWK-M 235, doch fehlen bis heute allgemein akzeptierte Standards sowie verbindliche technische Regelwerke für die Umsetzung des nicht-stofflichen Bodenschutzes in der Praxis. Dieses Merkblatt knüpft an die bestehenden DVWK-Merkblätter an, erweitert aber das Methodenspektrum um die seitdem entwickelten Modellkonzepte.

VORSCHAU

ISBN: 978-3-96862-882-0 (Print)  
978-3-96862-883-7 (E-Book)

**Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)**  
Theodor-Heuss-Allee 17 | 53773 Hennef  
Telefon: +49 2242 872-333 | [info@dwa.de](mailto:info@dwa.de) | [www.dwa.de](http://www.dwa.de)