

# DWA-Regelwerk

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

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

Juli 2024

### **Entwurf**

Frist zur Stellungnahme: 30. September 2024

#### **Hinweis zur Abgabe von Stellungnahmen**

Stellungnahmen im Rahmen des Beteiligungsverfahrens (Ergänzungen, Änderungen oder Einsprüche zum Entwurf einer Regelwerkspublikation, Gelbdruck) können von der DWA urheberrechtlich verwertet werden.

Mit der Abgabe einer Stellungnahme räumt die stellungnehmende Person der DWA die Nutzungsrechte an etwaigen schutzfähigen Inhalten ihrer Stellungnahme unentgeltlich zeitlich, räumlich sowie inhaltlich unbeschränkt ein. Die stellungnehmende Person wird in der Publikation nicht namentlich genannt.

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 Gesetzgebung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 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  
Fax: +49 2242 872-100  
E-Mail: [info@dwa.de](mailto:info@dwa.de)  
Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

© DWA, 1. Auflage, Hennef 2024

**Satz:**

Christiane Krieg, DWA

**Druck:**

druckhaus köthen GmbH & Co KG

**ISBN:**

978-3-96862-715-1 (Print)

978-3-96862-716-8 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

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.

Bilder und Tabellen, die keine Quellenangaben aufweisen, sind im Rahmen der Merkblätterstellung als Gemeinschaftsergebnis des DWA-Fachgremiums zustande gekommen. Die Nutzungsrechte obliegen der DWA.

## 1 Vorwort

2 Das vorliegende Merkblatt ist ein Beitrag der DWA-Arbeitsgruppe GB-7.5 „Verdichtungsgefährdung  
3 und Befahrbarkeit von Böden“ im DWA-Fachausschuss GB-7 „Bodenschutz – Bodenfunktionen und  
4 Atlasten“. Ziel der Arbeitsgruppe ist es, eine Anleitung zur Bodenfunktionsbewertung zu erstellen.  
5 Der Schutz der Bodenfunktionen sowie die Vermeidung schädlicher Bodenveränderungen stehen im  
6 Mittelpunkt des Bodenschutzes und sind auf nationaler Ebene im Bundes-Bodenschutzgesetz  
7 (BBodSchG) verankert. Die technisch-naturwissenschaftliche Bewertung der Bodenfunktionen und  
8 der Bodengefährdung ist wichtiger Bestandteil verschiedener Planungsinstrumente. In der Arbeits-  
9 und Merkblattreihe DWA-A/M 920 zur Bodenfunktionsansprache werden einerseits allgemein aner-  
10 kannte Bewertungsschemata dargestellt und andererseits wird festgehalten, wie die Bodenkenn-  
11 werte ermittelt werden, die in die Bewertung einfließen. Wissenschaftliche Grundlagen der Bewer-  
12 tungsmethoden werden zusammenfassend erläutert. Für die Erstellung der Arbeits- und Merkblätter  
13 wurden Verfahrensweisen der in den einzelnen Bundesländern verwendeten Anleitungen berücksich-  
14 tigt und, wo nötig, durch aktuelle Forschungsergebnisse ergänzt.

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

21 Dieses Merkblatt verfolgt das Ziel, in einem Leitfaden den gegenwärtigen Stand des Wissens zu ver-  
22 mitteln und eine Bewertung vorliegender Modellkonzepte zur Erfassung der Verdichtungsgefährdung  
23 und Befahrbarkeit von Böden vorzunehmen, ohne dabei eine Empfehlung zugunsten eines dieser Mo-  
24 delle auszusprechen. Zwar existieren bereits umfangreiche wissenschaftliche Vorarbeiten und Veröf-  
25 fentlichungen, zum Beispiel die Merkblätter DVWK-M 234 und DVWK-M 235, doch fehlen bis heute  
26 allgemein akzeptierte Standards sowie verbindliche technische Regelwerke für die Umsetzung des  
27 nicht-stofflichen Bodenschutzes in der Praxis. Das vorliegende Merkblatt knüpft an die bestehenden  
28 DVWK-Merkblätter an, erweitert aber das Methodenspektrum um die seitdem entwickelten Modell-  
29 konzepte. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen dabei drei Ansätze: das Vorbelastungskonzept in  
30 einer Realisation von LEBERT [2010], die aus der Vielzahl der Varianten dieses Konzepts ausgewählt  
31 wurde, das dänisch-schweizerische Modell Terranimo<sup>®</sup> sowie die Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit  
32 des Instituts für Agrartechnologie des Johann Heinrich von Thünen-Instituts. Da übergreifende Vali-  
33 dierungsstudien an gemeinsamer Datengrundlage und entsprechende statistische Gütemaße fehlen,  
34 nutzt das Merkblatt bei der Bewertung dieser drei Ansätze qualitative und halbquantitative Maßzahlen  
35 und gibt daher nur Empfehlungen, die Anwendern in der Praxis für die Einzelfallentscheidung auf dem  
36 Feld oder auf der Baustelle eine direkte Hilfestellung bei der Einschätzung der örtlichen Befahrbarkeit  
37 bieten. An der Zusammensetzung der zuständigen Arbeitsgruppe waren neben Forschungstreibenden  
38 aus Universitäten, Bundesbehörden und Staatlichen Geologischen Diensten auch ein Ingenieurbüro  
39 sowie Landesämter für Umwelt oder Landwirtschaft und Landwirtschaftskammern beteiligt, um ver-  
40 schiedene Sichtweisen auf den nicht-stofflichen Bodenschutz widerzuspiegeln und den Anforderun-  
41 gen der wichtigsten Nutzergruppen an das neue Merkblatt der Reihe „Bodenfunktionsansprache“ zu  
42 entsprechen.

43 Die Klassifizierung bodenkundlicher Kennwerte einschließlich der Einteilung in Bodenarten des mi-  
44 neralischen Feinbodens und der Einstufung aller bodenkundlichen Merkmale erfolgt in diesem Merk-  
45 blatt in Übereinstimmung mit der Bodenkundlichen Kartieranleitung der Staatlichen Geologischen  
46 Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), der DIN 4220 sowie dem  
47 Arbeitsblatt DWA-A 920-1. Bodenarteneinteilungen, die auf andere Klassifikationssysteme wie zum  
48 Beispiel die Bodenschätzung Bezug nehmen, finden sich im Anhang A.

49 In diesem Merkblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personen-  
50 bezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird die  
51 weibliche und die männliche Form verwendet. Ist dies aus Gründen der Verständlichkeit nicht möglich,

1 wird nur eine von beiden Formen verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise  
2 auf alle Geschlechter.

### 3 **Frühere Ausgaben**

4 Ersetzt bei Erscheinen des Weißdrucks Merkblatt DVWK-M 234/1995 und Merkblatt DVWK-M  
5 235/1997.

6 **Überblick über entstandene/geplante Beiträge im Rahmen der Arbeits- und Merkblattreihe**  
7 **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 (Entwurf Merkblatt DWA-M 920-5:2024)
	Humusschwund

**1 DWA-Klimakennung**

2 Im Rahmen der DWA-Klimastrategie werden Arbeits- und Merkblätter mit einer Klimakennung aus-  
3 gezeichnet. Über diese Klimakennung können Anwendende des DWA-Regelwerks schnell und einfach  
4 erkennen, in welcher Intensität sich eine technische Regel mit dem Thema Klimaanpassung und Kli-  
5 maschutz auseinandersetzt. Das vorliegende Merkblatt wurde wie folgt eingestuft:

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

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

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

**Frist zur Stellungnahme**

Dieses Merkblatt wird bis zum

**30. September 2024**

zur Diskussion gestellt. Für den Zeitraum des öffentlichen Beteiligungsverfahrens  
kann der Entwurf kostenfrei im DWA-Entwurfsportal (DWA-direkt):  
[www.dwa.info/entwurfsportal](http://www.dwa.info/entwurfsportal) eingesehen werden.

Dort und unter [www.dwa.info/Stellungnahmen-Entwurf](http://www.dwa.info/Stellungnahmen-Entwurf)  
finden Sie eine digitale Vorlage für Ihre Stellungnahme.

**Hinweis zur Abgabe von Stellungnahmen**

Stellungnahmen im Rahmen des Beteiligungsverfahrens (Ergänzungen, Änderungen oder Ein-  
sprüche zum Entwurf einer Regelwerkspublikation, Gelbdruck) können von der DWA urheber-  
rechtlich verwertet werden. Mit der Abgabe einer Stellungnahme räumt die stellungnehmende  
Person der DWA die Nutzungsrechte an etwaigen schutzfähigen Inhalten ihrer Stellungnahme  
unentgeltlich zeitlich, räumlich sowie inhaltlich unbeschränkt ein. Die stellungnehmende Person  
wird in der Publikation nicht namentlich genannt.

Stellungnahmen sind zu richten – gerne auch per E-Mail – an:  
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)  
Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef  
[wielpuetz@dwa.de](mailto:wielpuetz@dwa.de)

## 1 Verfasserinnen und Verfasser

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

5 Der DWA-Arbeitsgruppe GB-7.5 „Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden“ gehören fol-  
6 gende Mitglieder an:

HENNINGS, Volker	Dr., Büro für Bodenfunktionsbewertung, Hannover (Sprecher)
BRUNOTTE, Joachim	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	Dr., 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 Länd- lichen Raum, Jena
MARX, Kirstin	Dipl.-Geogr., Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau (stellvertretende Sprecherin)
PETH, Stephan	Prof. Dr., Leibniz Universität Hannover
RÜCKNAGEL, Jan	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, Han- nover
EVERS, Jan	Dr., Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen
HENNINGS, Volker	Dr. rer. nat., 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
--------------	--

1	<b>Inhalt</b>	
2	<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
3	<b>Verfasserinnen und Verfasser</b> .....	<b>6</b>
4	<b>Bilderverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
5	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
6	<b>Hinweis für die Benutzung</b> .....	<b>11</b>
7	<b>Einleitung</b> .....	<b>11</b>
8	<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>12</b>
9	<b>2 Begriffe</b> .....	<b>13</b>
10	2.1 Definitionen.....	13
11	2.2 Formelzeichen .....	14
12	<b>3 Klassifikation vorliegender Lösungsansätze</b> .....	<b>16</b>
13	<b>4 Ermittlung der Belastbarkeit des Bodens gegen Verdichtung bzw. der</b>	
14	<b>potenziellen Verdichtungsgefährdung</b> .....	<b>19</b>
15	4.1 Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens aus bodenkundlichen	
16	Standorteigenschaften bei bestimmten Wasserspannungen/Matrixpotenzialen .....	19
17	4.1.1 Mechanische Bodenbelastbarkeit nach dem Konzept der Vorbelastung.....	19
18	4.1.2 Pedotransferfunktionen zur Schätzung der Vorbelastung aus	
19	bodenbezogenen Parametern .....	20
20	4.1.3 Druckbelastungsquotienten nach PAUL.....	22
21	4.1.4 Schadverdichtungsgefährdungsklassen nach PETELKAU et al.....	23
22	4.1.5 Schätzverfahren auf Basis der Packungsdichte nach RÜCKNAGEL et al. ....	24
23	4.1.6 Schätzverfahren auf Basis der Aggregatrohddichte nach RÜCKNAGEL et al.....	25
24	4.1.7 Bodenbelastbarkeit nach sonstigen Methoden.....	25
25	4.1.8 Vergleich und Bewertung der betrachteten Ansätze .....	26
26	4.1.9 Dokumentation ausgewählter Algorithmen für die praktische Anwendung .....	27
27	4.2 Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens aus	
28	bodenkundlichen Standorteigenschaften über ein erweitertes Matrixpotenzial	
29	(Wasserspannungs-)spektrum.....	31
30	4.2.1 Modifikation der Ergebnisse zur Vorbelastung nach Arbeiten von RÜCKNAGEL et al. ...	31
31	4.2.2 Bodenbelastbarkeit nach dem Modell Terranimo® .....	33
32	4.2.3 Bodenbelastbarkeit nach der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit .....	35
33	4.2.4 Bodenbelastbarkeit nach DIN 19639 .....	38
34	4.2.5 Vergleich der betrachteten Ansätze zur Bestimmung der mechanischen	
35	Belastbarkeit des Bodens nach Datengrundlage, Gültigkeitsbereich, Eignung .....	39
36	4.2.6 Vergleich der Ergebnisse der betrachteten Ansätze zur Bestimmung der	
37	mechanischen Belastbarkeit des Bodens .....	43
38	4.2.7 Abschließende Bewertung der betrachteten Ansätze zur Bestimmung der	
39	mechanischen Belastbarkeit des Bodens .....	49
40	<b>5 Ermittlung der Bodenbelastung durch Maschinenauflast</b> .....	<b>51</b>
41	5.1 Bodenbelastung nach Merkblatt DVWK-M 234 .....	51

1	5.2	Bodenbelastung nach Modell Terranimo® einschließlich des Modells FRIDA.....	54
2	5.3	Bodenbelastung nach der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit .....	56
3	5.4	Vergleich und Bewertung der betrachteten Ansätze .....	59
4	<b>6</b>	<b>Ermittlung der aktuellen Verdichtungsgefährdung/Befahrbarkeit .....</b>	<b>62</b>
5	6.1	Aktuelle Verdichtungsgefährdung nach Vorbelastungsansatz und	
6		Merkblatt DVWK-M 234 .....	62
7	6.2	Aktuelle Verdichtungsgefährdung nach Modell Terranimo® .....	63
8	6.3	Aktuelle Verdichtungsgefährdung nach der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit ...	65
9	6.4	Aktuelle Verdichtungsgefährdung nach DIN 19639 .....	67
10	6.5	Vergleich und Bewertung der betrachteten Ansätze .....	67
11	<b>7</b>	<b>Beispielhafte Ergebnisse und Empfehlungen zur praktischen Anwendung .....</b>	<b>68</b>
12	7.1	Modellaussagen zur Befahrbarkeit anhand von Musterrechnungen für	
13		exemplarische Standort- und Fahrzeugdaten .....	68
14	7.2	Allgemeine Empfehlungen zur Modellauswahl und praktischen Anwendung.....	76
15	<b>8</b>	<b>Bewertung der Auswirkungen einer Bodenschadverdichtung auf</b>	
16		<b>bodenfunktionale Kennwerte.....</b>	<b>78</b>
17	<b>9</b>	<b>Ermittlung der langfristigen Verdichtungsgefährdung nach klimatischen</b>	
18		<b>Einflüssen und der Häufigkeit des Auftretens hoher Bodenfeuchtegehalte .....</b>	<b>84</b>
19	9.1	Langfristige Verdichtungsgefährdung nach LfULG Sachsen.....	84
20	9.2	Langfristige Verdichtungsgefährdung nach der Entscheidungsmatrix	
21		Befahrbarkeit.....	87
22		<b>Anhang A Ableitung von Kennwerten aus Daten der Bodenschätzung .....</b>	<b>90</b>
23		<b>Quellen und Literaturhinweise .....</b>	<b>91</b>
24		<b>Bilderverzeichnis</b>	
25	Bild 1:	Prinzipskizze zur Methodik der Modellkonzepte .....	16
26	Bild 2:	Einstufung der Bodenarten in Schadverdichtungsgefährdungsklassen	
27		nach PETELKAU et al. ....	24
28	Bild 3:	Nomogramm zum Regressionsmodell „alle Böden“ (Gl. (8) in Tabelle 7) für	
29		die Berechnung der logarithmischen Zunahme der Vorbelastung mit	
30		abnehmenden Wassergehalten.....	32
31	Bild 4:	Nomogramm zur Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit in kPa in	
32		Abhängigkeit von Tongehalt und Wasserspannung im Rahmen des Modells	
33		Terranimo® light .....	33
34	Bild 5:	Prognostizierte Vorbelastung in Abhängigkeit von Tongehalt und Matrixpotenzial	
35		nach der Pedotransferfunktion von SCHJØNNING & LAMANDÉ (2018).....	34
36	Bild 6:	Einstufung der Verdichtungsempfindlichkeit von Böden in Abhängigkeit	
37		von Bodenart und Bodenwassergehalt im Rahmen der Entscheidungsmatrix	
38		Befahrbarkeit.....	36
39	Bild 7:	Mittlere Verläufe der $pF$ -Stufen in Abhängigkeit von Bodenart und	
40		Bodenwassergehalt zur Ableitung der Verdichtungsempfindlichkeitsklassen	
41		im Rahmen der Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit .....	37
42	Bild 8:	Mittlerer Jahresverlauf der Verdichtungsempfindlichkeit des	
43		Oberbodens (OB) für Silomais an den Standorten 1-9.....	38



1	Bild 9:	Veränderung der Schätzung der Vorbelastung bei Anwendung einer der	
2		Pedotransferfunktionen nach Merkblatt DVWK-M 234 und Variation jeweils	
3		einer von 8 unabhängigen Variablen .....	43
4	Bild 10:	Einstufung der Bodenarten nach ihrer mechanischen Belastbarkeit bei	
5		Feldkapazität ( $pF$ 1,8) und mittlerer Trockenrohdichte bei unterschiedlicher	
6		Klasseneinteilung .....	44
7	Bild 11:	Mechanische Belastbarkeit bei $pF$ 1,8 als Funktion der Trockenrohdichte nach	
8		den Modellansätzen von LEBERT (2010) sowie SCHJØNNING & LAMANDÉ (2018) .....	46
9	Bild 12:	Druckverteilung im Boden bei unterschiedlichen Konzentrationsfaktoren .....	52
10	Bild 13:	Nomogramm zur Ermittlung des Bodendrucks in 35 cm Referenztiefe in	
11		Abhängigkeit von Radlast und Reifeninnendruck im Modell Terranimo® light .....	56
12	Bild 14:	Entscheidungsdiagramm in den Modellen Terranimo® light und expert zur	
13		Gegenüberstellung von Bodenfestigkeit und Bodendruck und zur Abschätzung	
14		des Verdichtungsrisikos in drei Stufen .....	64
15	Bild 15:	Screenshot der Ergebnisausgabe des Modells Terranimo® expert unter	
16		ch.terranimo.world am Beispiel eines zweiachsigen Gülleffasses mit vier Reifen....	65
17	Bild 16:	Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit zur Verknüpfung der	
18		Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens mit der mechanischen Belastung	
19		durch landwirtschaftliche Maschinen am Beispiel der Silomaiserte .....	66
20	Bild 17:	Grenzwerte von Druckbelastungsquotienten, oberhalb derer eine	
21		Schadverdichtung zu erwarten ist; dargestellt für ausgewählte Modellansätze .....	68
22	Bild 18:	Bewertungsverfahren zum Nachweis einer Bodenschadverdichtung im	
23		Unterboden ( <i>Compaction Verification Tool (CVT)</i> ) .....	82
24	Bild 19:	Verdichtungsempfindlichkeit der Böden in Niedersachsen nach	
25		Bodenmerkmalen für den Unterboden .....	86
26	Bild 20:	Verdichtungsempfindlichkeit der Böden in Niedersachsen nach	
27		Bodenmerkmalen und der Häufigkeit hoher Bodenfeuchten.....	87

## 28 Tabellenverzeichnis

29	Tabelle 1:	Charakteristika der betrachteten fünf Pedotransferfunktionen zur	
30		Ermittlung der Vorbelastung .....	21
31	Tabelle 2:	Vorbelastung bei $pF$ 1,8 in Abhängigkeit von der Packungsdichte.....	25
32	Tabelle 3:	Schätzwerte der Scherwiderstandsparameter Kohäsion ( $c$ ) und Winkel	
33		der inneren Reibung ( $\phi$ ) bei $pF$ 1,8 in Abhängigkeit von der Bodenart	
34		und der Gefügeform .....	28
35	Tabelle 4:	Regressionsgleichungen zur Berechnung der Vorbelastung bei $pF$ 1,8 .....	29
36	Tabelle 5:	Größenordnung der Vorbelastungswerte zur Orientierung bei aus-	
37		schließlicher Kenntnis der Bodenart und der Klasse der Trockenrohdichte ( $\rho_s$ ) ..	30
38	Tabelle 6:	Einfluss verschiedener Grobbodenanteile auf die Vorbelastung gemäß	
39		Gleichung (6) am Beispiel eines Bodens mit $P_{V_{Feinboden}} = 80$ kPa .....	31
40	Tabelle 7:	Regressionsgleichungen zur Berechnung der logarithmischen Veränderung	
41		der Vorbelastung ( $\Delta \log P_{V_0}$ ) mit abnehmendem Bodenwassergehalt .....	32
42	Tabelle 8:	Vorbelastungswerte der 4 Bodenartenhauptgruppen im Modell	
43		Terranimo®_Sachsen nach STAHL et al. ....	35
44	Tabelle 9:	Datengrundlage ausgewählter Schätzverfahren zur Ermittlung der	
45		mechanischen Belastbarkeit des Bodens .....	39
46	Tabelle 10:	Bodenkundliche Eingangsdaten ausgewählter Schätzverfahren zur	
47		Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens .....	40

1	Tabelle 11:	Anwendbarkeit ausgewählter Schätzverfahren zur Ermittlung der mecha-	
2		nischen Belastbarkeit des Bodens auf Ober-/Unterboden und Nutzungsarten ...	42
3	Tabelle 12:	Charakteristische Merkmale der Ergebnisse verschiedener Pedotransfer-	
4		funktionen zur Schätzung der mechanischen Belastbarkeit von Böden .....	47
5	Tabelle 13:	Mittlere Werte des Konzentrationsfaktors $v_k$ auf Basis von Freiland-	
6		messungen für die Bodenarten-Hauptgruppen: Schluffe, Lehme und	
7		Tone in Abhängigkeit vom Äquivalenzradius der Reifenkontaktfläche, der	
8		Vorbelastung (Stufe) der einzelnen Bodenhorizonte und dem Druck $\sigma_0$ an	
9		der Oberkante des jeweiligen Bodenhorizonts bei einem	
10		Vorentwässerungsgrad von etwa $pF$ 2,5 (feu 3) .....	53
11	Tabelle 14:	Funktionsweise der beiden Versionen des Terranimo®-Modells bei der	
12		Ermittlung der Druckbelastung durch Landmaschinen im Boden .....	55
13	Tabelle 15:	Ermittlung der Bodenbelastung im Rahmen der Entscheidungsmatrix	
14		Befahrbarkeit am Beispiel eines Feldhäckslers bei der Silomaisernte	
15		mit parallel fahrendem Häckselgutwagen, der das Häckselgut direkt	
16		zum Silo transportiert .....	58
17	Tabelle 16:	Vergleich der Modellansätze Merkblatt DVWK-M 234, Terranimo® expert	
18		und Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit anhand der Ermittlung der	
19		mechanischen Bodenbelastung durch Landmaschinen .....	59
20	Tabelle 17:	Klassifizierung der verdichtungswirksamen Bodenbelastungen aus	
21		dem Verhältnis Vorbelastung $P_v$ zu Bodendruck $\sigma$ nach DVWK-M 234 .....	63
22	Tabelle 18:	Verwendete Fahrzeugdaten für Tabelle 19 .....	69
23	Tabelle 19:	Prognosen der aktuellen Verdichtungsgefährdung durch die Modelle	
24		LEBERT / DVWK-M 234 und Terranimo® expert am Beispiel eines	
25		Feldhäckslers bei unterschiedlichen bodenkundlichen Standortbedingungen ...	71
26	Tabelle 20:	Prognosen der aktuellen Verdichtungsgefährdung durch die Modelle	
27		LEBERT / DVWK-M 234 und Terranimo® expert am Beispiel eines Pump-	
28		tankwagens für die Gülleausbringung bei unterschiedlichen	
29		bodenkundlichen Standortbedingungen .....	73
30	Tabelle 21:	Verwendete Fahrzeugdaten für Tabelle 20 .....	75
31	Tabelle 22:	Kriterien zur Bewertung der Funktionen des Bodens	
32		und ihre Eignung als Indikatoren für eine Bodenschadverdichtung .....	80
33	Tabelle 23:	Parameter und Schwellenwerte zur Ermittlung einer Beeinträchtigung	
34		von Bodenfunktionen durch Unterbodenverdichtung nach LEBERT et al. ....	81
35	Tabelle 24:	Bewertung von Gefügeeigenschaften hinsichtlich der Erfüllung von	
36		Bodenfunktionen nach BUG et al. ....	81
37	Tabelle 25:	Stufe der Verdichtungsempfindlichkeit nach Bodenmerkmalen im Rahmen	
38		der Methode des LfULG (2016) nach BUG et al. ....	84
39	Tabelle 26:	Stufe der Verdichtungsempfindlichkeit nach Bodenmerkmalen und der	
40		Häufigkeit hoher Bodenfeuchten im Rahmen der Methode des LfULG (2016) ...	85
41	Tabelle 27:	Befahrbarkeitstage für die Technikvarianten der Silomaisernte	
42		für neun verschiedene Beispielstandorte .....	88
43	Tabelle A.1:	Vereinfachte Standardwerte für Trockenrohdichte ( $\rho_d$ ) und	
44		Aggregatrohdichte (ARD) nach RÜCKNAGEL in der unteren	
45		Ackerkrume (20 cm) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung .....	90
46	Tabelle A.2:	Vereinfachte Standardwerte für Trockenrohdichte ( $\rho_d$ ) und Aggregat-	
47		rohdichte (ARD) nach RÜCKNAGEL im krumennahen Unterboden (35 cm) .....	90

## 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.

## 1 Einleitung

2 Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und ergänzende Regelungen der Länder fordern im vor-  
3 sorgenden Bodenschutz eine nachhaltige Sicherung der natürlichen Funktionen des Bodens. Im Rah-  
4 men der Vorsorgepflicht sollen Bodenverdichtungen nach § 17 BBodSchG durch gute fachliche Praxis  
5 in der Landwirtschaft so weit wie möglich vermieden werden.

6 Vor diesem Hintergrund nimmt die Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen für den Erhalt  
7 der Bodenfruchtbarkeit und der landwirtschaftlichen Produktivität eine wichtige Rolle ein. Schädigun-  
8 gen des Bodengefüges können durch den Bodendruck in Folge der Gewichtslast der eingesetzten Ge-  
9 räte und Maschinen sowie durch wiederholtes Befahren in Zeiten zu geringer Tragfähigkeit des Bo-  
10 dens hervorgerufen werden. Sie können durch gezielte Anpassung der Lasten und Aufstandsflächen  
11 der Maschinen und Geräte sowie der Arbeitsverfahren und eine Begrenzung des Befahrens auf geeig-  
12 nete Zeiträume mit geringer Bodenfeuchte vermieden werden. Dazu sind geeignete Entscheidungs-  
13 kriterien nötig, um den Maschineneinsatz auf die bodenspezifische Verdichtungsempfindlichkeit ab-  
14 stimmen zu können.

15 Stuserhebungen und Daten von Bodendauerbeobachtungsflächen weisen Bodenschadverdichtun-  
16 gen nicht flächendeckend, sondern nur vereinzelt in Fahrgassen, Vorgewenden sowie auf Flächen,  
17 die nicht nach guter fachlicher Praxis bzw. bei zu hoher Bodenfeuchte befahren wurden (BRUNOTTE et  
18 al. 2008), nach.

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

23 Gemäß der Zielsetzung der Arbeits- und Merkblattreihe zur Bodenfunktionsansprache liegt der  
24 Schwerpunkt dabei auf der Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens in Abhängigkeit  
25 von dessen Eigenschaften sowie der Bodenwasserspannung. Die in diesem Merkblatt behandelten  
26 Modellansätze zeigen mögliche Wege auf, wie die Belastbarkeit und die mechanische Beanspruchung  
27 des Bodengefüges durch Maschinen und Geräte eingeschätzt werden können. Dabei decken sie zwar  
28 den kompletten Verfahrensgang bis zur Prognose des Eintritts einer Schadverdichtung ab, jedoch

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 bzw. Gefährdungen orientiert. Das vorliegende Merkblatt DWA-M 920-5: „Verdichtungsgefährdung und Befahrbarkeit von Böden“ steuert in diesem Rahmen einen Beitrag bei, zur 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, 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.

VORSCHAU

ISBN: 978-3-96862-715-1 (Print)  
978-3-96862-716-8 (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)