

# **Verdichtungsempfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Böden in Schleswig-Holstein**

**Wahl des Verfahrens,  
Verfahrensbeschreibung,  
Berechnung sowie  
kartographischen Darstellung**

Landesamt für Landwirtschaft,  
Umwelt und ländliche Räume  
des Landes Schleswig-Holstein

Stand vom 12.11.2015

# Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielsetzung .....	3
2	Wahl des Verfahrens.....	4
2.1.	Fachliche Anforderungen .....	4
2.2.	Mittlere Setzungsziffer ( $S_m$ ).....	4
2.3.	Potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit.....	5
2.4.	mechanische Verdichtungsempfindlichkeit.....	6
2.5.	Diskussion sowie Wahl des Verfahrens.....	6
3	Berechnung der Verdichtungsempfindlichkeit .....	8
3.1.	Datengrundlagen .....	9
3.2.	Datenaufbereitung und Berechnung .....	9
4	Kartographische Darstellung .....	13
4.1.	Basiskarte ohne kartographische Einheiten.....	13
4.2.	Klassifikation nach Winter – Sommer – Übergangszeit .....	13
4.3.	Kartographische Aufbereitung .....	14
4.4.	Nutzung der Karten verschiedener Maßstäbe .....	15

# 1 Veranlassung und Zielsetzung

Diese Ausarbeitung und kartographische Darstellung sind Instrumente des vorsorgenden Bodenschutzes zur Vermeidung von Bodenverdichtungen. Bodenverdichtungen, die über das natürliche Maß hinausgehen und wichtige Eigenschaften des Bodens wie Durchwurzelbarkeit für Pflanzen, Durchlässigkeit, Belüftung, Wasserhaltevermögen oder Lebensraum für Tiere beeinträchtigen, sind Bodenschadverdichtungen und sollten im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes unterbleiben. Beim Befahren und Bearbeiten von Böden ist eine Verdichtung des Oberbodens in den meisten Fällen unvermeidbar und kann durch eine nachträgliche Bodenlockerung (z. B. Pflügen) oft, wenn auch nicht immer rückgängig gemacht werden. Verdichtungen von Unterböden sind dagegen in der Regel nicht reversibel und sollten daher grundsätzlich vermieden werden. Natürliche Lockerungsmechanismen wie Quellung/Schrumpfung oder Frostgare sind nur sehr langfristig (viele Jahrzehnte) wirksam und kommen für eine kurz- und mittelfristige Behebung von Bodenschadverdichtungen nicht in Betracht.

Ein wichtiges Instrument des vorsorgenden Bodenschutzes sind Karten, die Auskunft darüber geben, wo und wann ein Risiko für Bodenverdichtungen besteht.

Damit lässt sich der Anbau von Ackerbaukulturen mit hohem Verdichtungsrisiko steuern. Bei der Landbewirtschaftung vor Ort helfen sie Fragen zu beantworten wie z. B.:

- Welche Standorte eignen sich grundsätzlich nicht für einen Umbruch von Grünland zu Ackerland?
- Ist eine Ausbringung von Gülle im Frühjahr empfehlenswert?
- Auf welchen Standorten kann eine Befahrung schon im Sommer, etwa mit schweren Mähreschern, problematisch sein?
- Welche Standorte reagieren empfindlich auf eine Befahrung mit schweren Erntemaschinen im Herbst?

Die möglichen Einsatzbereiche für die Bauplanung und -ausführung reichen von der übergeordneten Planung von linienhaften Bauwerken wie Strom- und Gasleitungen, Straßen und Autobahnen bis zur konkreten Bauausführung vor Ort. Den verschiedenen Anforderungen angepasst werden Karten unterschiedlicher Maßstäbe angeboten.

Mit diesen Informationen kann das Befahren oder Bearbeiten von Böden so angepasst werden, dass das Risiko von Bodenschadverdichtungen minimiert wird. Maßnahmen wie z. B. angepasste Bereifungen zur Reduzierung des Bodendrucks (Doppelbereifung, Reifendruckregelungsanlagen) helfen meist nur gegen die weniger problematischen Bodenschadverdichtungen im Oberboden. Gegen die besonders problematischen Bodenschadverdichtungen im Unterboden helfen oft nur die Reduzierung der Achslasten durch leichtere Maschi-

nen/geringere Beladung, der Verzicht auf den Anbau von Kulturen, die den Einsatz von schweren Erntegeräten im Spätherbst erfordern sowie das zeitliche Verlegen von Arbeiten an Linienbaustellen in die Sommermonate. Bei besonders verdichtungsempfindlichen Böden wird die räumliche Verlegung von Linienbaustellen oder Ackerbaukulturen auf weniger verdichtungsempfindliche Böden empfohlen. Zur Berücksichtigung von Bodenschutzbelangen auf Linienbaustellen hat das LLUR den Leitfaden „Bodenschutz auf Linienbaustellen erarbeitet. Der Leitfaden ist als gedruckte Broschüre erhältlich und im Internet veröffentlicht: ([http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/BodenAltlasten/015\\_VollzugshilfenErlasse/PDF/Leitfaden\\_\\_blob=publicationFile.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/BodenAltlasten/015_VollzugshilfenErlasse/PDF/Leitfaden__blob=publicationFile.pdf)).

## 2 Wahl des Verfahrens

Das LLUR hat die Eignung dreier Verfahren anhand fachlicher Anforderungen geprüft und eines davon nach unten genannten Anforderungen bzw. Kriterien ausgewählt. Die Benennung der Methoden im gesamten nachstehenden Text richtet sich nach ihrer Bezeichnung in den Überschriften zu den Kapiteln 2.2, 2.3 und 2.4.

### 2.1. Fachliche Anforderungen

Ein Landwirt, das Lohnunternehmen, ein Bauherr oder das ausführende Unternehmen benötigen zur Vermeidung von Schadverdichtungen in Unterböden Informationen darüber, wann und wo sie mit welchen Maschinen die Flächen befahren können. Daraus ergeben sich folgende fachliche Anforderungen bzw. Kriterien für die Wahl des Verfahrens:

- Darstellung einer differenzierten Verdichtungsempfindlichkeit von Unterböden gegenüber Befahren mit Maschinen unterschiedlichen Gewichtes,
- Nennung von Zeiträumen, für die ein bestimmtes Risiko von Bodenschadverdichtungen in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte zu erwarten ist,
- Differenzierung nach den Nutzungen Acker und Grünland aufgrund unterschiedlicher Evapotranspiration oder Entwässerung/Drainage.

### 2.2. Mittlere Setzungsziffer (Sm)

Quelle 1: LBEG - GeoBerichte 19 (1997),  
5.7 potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit

Quelle 2: Ad-hoc-AG Boden, Methodendokumentation Bodenkunde, 2. Aufl. (2000),  
Verknüpfungsregel 5.1

Dieses Verfahren schätzt die Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens in 35 cm Tiefe. In einem ersten Schritt wird jeder Bodenart eine mittlere Setzungsziffer zugewiesen. Je nach Humus-, Carbonatgehalt sowie Grobbodenanteil können Abschlüsse erteilt werden, welche

die Verdichtungsempfindlichkeit herabsetzen. Unter Berücksichtigung der bodenkundlichen Feuchtestufe können für trockene Böden Abschlüge und für feuchte Böden Zuschläge gegeben werden.

Die Lagerungs-/Trockenrohdichte wird hierbei nicht berücksichtigt. Die Bodenfeuchte wird bei der bodenkundlichen Feuchtestufe für das ganze Jahr einheitlich angesetzt. Unterschiede zwischen Sommer und Winter werden nicht ausgewiesen. Den ermittelten mittleren Setzungsziffern ist keine Verdichtungsempfindlichkeit gegenüber konkreten Bodendrücken zugeordnet. Es kann also nicht angegeben werden, welche Bodendrücke bei einer bestimmten Setzungsziffer zu einer Schadverdichtung führen können.

Die Tabellen wurden aus Untersuchungen aus den Jahren 1981 bis 1989 hergeleitet. Es kann keine Aussage zur Repräsentativität und Größe der Stichprobenmenge der Untersuchungen gemacht werden.

### 2.3. Potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit bei pF 1,8 ( $Pv_{1,8}$ )

Quelle 1: LBEG - GeoBerichte 19 (2003),  
5.28 potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit

Quelle 2: Ad-hoc-AG Boden (1999),  
1.4 potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit nach der Vorbelastung bei pF 1,8

Dieses Verfahren schätzt die potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit bei pF 1,8, d. h. bei Aufsättigung des Bodens bis zur Feldkapazität. In dieses Verfahren gehen als Parameter die Bodenart und die Trockenrohdichte in Form von Tabellen ein, in denen bestimmten Kombinationen aus Bodenart und Trockenrohdichte eine so genannte Pv-Stufe zugeordnet wird. Diese Stufe kann in Abhängigkeit vom Skelettgehalt und der Gefügestufe Zu- oder Abschlüge erhalten.

Der Einfluss der Trockenrohdichte auf die Verdichtungsempfindlichkeit wird nur für eine typische Gefügestufe berücksichtigt. Bei Abweichungen hiervon müssen Zu- oder Abschlüge gegeben werden. Andere Bodenfeuchten als die für pF 1,8 können nicht berücksichtigt werden. Dieses Verfahren ist nicht ausdrücklich für die Verdichtungsempfindlichkeit von Unterböden entwickelt worden. Die Klasse der Pv-Stufe mit der höchsten Verdichtungsempfindlichkeit beginnt bei 130 kPa. Da sie nicht weiter differenziert ist, herrscht schon für Bodendrücke, wie sie bei der Gülleausbringung oder beim Mähdrusch typisch sind, sehr oft eine sehr hohe Verdichtungsempfindlichkeit.

Die Algorithmen, die den genannten Tabellen zugrunde liegen, wurden aus Untersuchungen aus den Jahren 1991 bis 1998 abgeleitet. Zur Repräsentativität und Größe der Stichprobenmenge der Untersuchungen kann keine Aussage gemacht werden.

## 2.4. mechanische Verdichtungsempfindlichkeit

Quelle: Umweltbundesamt (Texte 51/2010),  
Entwicklung eines Prüfkonzeptes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungs-  
gefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden von Dr. MATTHIAS LEBERT

Dieses Verfahren schätzt die Verdichtungsempfindlichkeit, auch für Unterböden in einer Tiefe von 40 cm. Die Eingangsgrößen sind die Bodenart in Verbindung mit der Lagerungsdichte. Anhand einer Tabelle wird jeder Kombination aus Bodenart und effektiver Lagerungsdichte eine Klasse der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit bei pF 1,8 für Ackerböden zugewiesen. Böden aus umgelagertem Material und Böden mit höheren Skelettgehalten oder Verfestigungsgraden erhalten Zu- oder Abschläge. Wechselnden Bodenwassergehalten wird durch Zu- und Abschläge bei veränderten pF-Stufen Rechnung getragen.

Der Einfluss des Bodengefüges geht in jede Kombination aus Bodenart und effektiver Lagerungsdichte pauschal ein. Der Einfluss der Bodenfeuchte auf die Verdichtungsempfindlichkeit kann konkret abgeschätzt werden.

Die Algorithmen, die den entsprechenden Tabellen zugrunde liegen, basieren auf Untersuchungsergebnissen, die vor ihrer Nutzung einer Prüfung auf fachliche Eignung, Repräsentativität und hinreichenden Stichprobenumfang unterzogen wurden. Die Qualität des so gewonnenen Materials wurde benannt und gegebenenfalls durch Heranziehung weiterer Untersuchungen unter Einbeziehung von Daten aus der schleswig-holsteinischen Landesaufnahme oder wissenschaftlicher Arbeiten verbessert.

## 2.5. Bewertung einzelner Verfahren sowie Auswahl eines Verfahrens

Tabelle 1 fasst die Eignung der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Methoden gemäß der Zielsetzung und den fachlichen Anforderungen zusammen.

Alle Methoden sind anwendbar, da die erforderlichen Eingangsdaten im LLUR vorliegen.

Die Methoden zur Ermittlung der mittleren Setzungsziffer ( $S_m$ ) und der potenziellen Verdichtungsempfindlichkeit ( $P_{V_{1,8}}$ ) wurden vor 17 bzw. 15 Jahren veröffentlicht. Die Qualität des Datenmaterials, anhand dessen die Methoden entwickelt wurden, ist nicht bekannt.

Die Methode zur Ermittlung der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit wurde 2010 veröffentlicht. Das verwendete Datenmaterial wurde benannt und einer Prüfung auf fachliche und statistische Eignung unterzogen sowie die Qualität kommentiert.

Die Methoden zur Ermittlung der mittleren Setzungsziffer ( $S_m$ ) (3.2) sowie der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit (3.4) erlauben die Anwendung auf den Unterboden. Dies ist für die Methode zur Ermittlung der potenziellen Verdichtungsempfindlichkeit ( $P_{V_{1,8}}$ ) zwar ebenfalls möglich, wird in der Verfahrensbeschreibung aber nicht explizit genannt.

Kriterium	mittlere Setzungsziffer (Sm)	potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit ( $P_{v1,8}$ )	mechanische Verdichtungsempfindlichkeit
erforderliche Daten für Methodenanwendung vorhanden	ja	ja	ja
Jahr der Erstveröffentlichung	1997	1999	2010
Qualität der Daten, aus denen die Tabellen hergeleitet wurden	nicht bekannt	nicht bekannt	detailliert beschrieben und kommentiert
Darstellung der Verdichtungsempfindlichkeit von Unterböden	Bezugstiefe 35 cm	nicht explizit genannt	Anwendung für 40 cm Tiefe dargestellt
Ableitung maximal zulässiger Bodendrücke	nicht möglich	Differenzierung nur bis 130 kPa	Differenzierung bis 200 kPa
Darstellung einer differenzierten Verdichtungsempfindlichkeit aufgrund unterschiedlicher Bodenfeuchten	Differenzierung anhand bodenkundlicher Feuchtestufe, einheitlich für das gesamte Jahr	Nein	Differenzierung nach Bodenfeuchte in % FK, Differenzierung nach Monaten möglich

Tabelle 1: Prüfergebnisse zur Anwendbarkeit und Aussagekraft oben genannter Methoden

Aus der Schätzung der Verdichtungsempfindlichkeit können bei der Methode zur Ermittlung der mittleren Setzungsziffer (Sm) keine maximal zulässigen Bodendrücke abgeleitet werden, die Methode zur Ermittlung der potenziellen Verdichtungsempfindlichkeit ( $P_{v1,8}$ ) differenziert nur bis 130 kPa, womit z. B. nicht zwischen Gülleausbringung und einer aufgrund des höheren Maschinengewichtes kritischer zu bewertenden Rübenernte unterschieden werden kann. Diese Möglichkeit bietet jedoch die Methode zur Ermittlung der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit.

Bezüglich der Darstellung einer differenzierten Verdichtungsempfindlichkeit aufgrund unterschiedlicher Bodenfeuchten unterscheiden sich die Methoden sehr. Die Methode zur Ermittlung der potenziellen Verdichtungsempfindlichkeit ( $P_{v1,8}$ ) gibt nur die Verdichtungsempfindlichkeit bei pF 1,8 bzw. 100% Feldkapazität wieder, die zur mittleren Setzungsziffer (Sm) da-

gegen differenziert nach der bodenkundlichen Feuchtestufe, die allerdings das ganze Jahr einheitlich behandelt wird. Am differenziertesten ist hier die Methode zur Ermittlung der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit. Nach dieser Methode wird die Verdichtungsempfindlichkeit stufenweise nach dem Wassergehalt in % Feldkapazität bewertet.

Für die Ableitung der Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens in Schleswig-Holstein wurde nach Abwägung der Vor- und Nachteile die Methode zur Ermittlung der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit gewählt, da

- die zu ihrer Entwicklung genutzte Datengrundlage bekannt ist und auch neuere Daten umfasst,
- die Methodenbeschreibung explizit auch die Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit von Unterböden beinhaltet,
- sie eine Differenzierung auch für sehr hohe Bodendrucke bietet,
- sie eine Differenzierung nach der Bodenfeuchte zu bestimmten Zeiträumen im Jahreslauf erlaubt.

Diese Methode erfüllte als einzige alle in Kapitel 2.1 genannten fachlichen Anforderungen und alle in Tabelle 1 genannten Kriterien.

### 3 Berechnung der Verdichtungsempfindlichkeit

Für die Berechnung der Verdichtungsempfindlichkeit spielt die Bodennutzung eine herausragende Rolle, da sich der Wasserhaushalt und damit auch die Verdichtungsempfindlichkeit unter ackerbaulicher Nutzung stark von einer intensiven Grünlandnutzung unterscheiden:

1. Ackerbauliche Kulturen verdunsten/transpirieren im Sommer erheblich mehr Wasser als Grünland, während sich das Verhältnis im Winter umkehrt.
2. Grund- und stauwasserbeeinflusste Böden werden unter ackerbaulicher Nutzung stärker drainiert/entwässert als unter Grünlandbewirtschaftung. Eine Drainage unter Grünlandbewirtschaftung ist zwar üblich, aber nicht zwingend vorauszusetzen.

Aus diesen beiden Sachverhalten lässt sich schon an dieser Stelle ableiten, dass unter sonst gleichen Bedingungen ackerbaulich genutzte Böden in der Regel zumindest im Sommer deutlich weniger verdichtungsgefährdet sind als Böden unter Grünlandbewirtschaftung.

Um die in Kapitel 1 genannten Ziele zu erreichen und den daraus in Kapitel 2.1 abgeleiteten fachlichen Anforderungen zu entsprechen, ist eine Berechnung und kartographische Darstellung der Verdichtungsempfindlichkeit für die zwei genannten Nutzungsarten erforderlich (siehe Karten in der Anlage). Gemäß obigen Ausführungen zur Entwässerung bzw. Drainage



wird die Verdichtungsempfindlichkeit unter ackerbaulicher Nutzung unter Berücksichtigung einer entsprechenden Entwässerung von grund- und stauwasserbeeinflussten Böden sowie Mooren berechnet. Bei einer Grünlandbewirtschaftung wurde eine geringere Entwässerungstiefe angesetzt.

Bei der Nutzung der Karten ist zu beachten, dass jeweils die Verdichtungsempfindlichkeiten unter der Annahme einer landesweiten Ackernutzung bzw. landesweiten Grünlandnutzung dargestellt sind. Entscheidend für die Verdichtungsempfindlichkeit ist allerdings die tatsächliche Nutzung auf der konkreten Fläche.

### 3.1. Datengrundlagen

Zur Schätzung der Verdichtungsempfindlichkeit gemäß der in Kapitel 2.1 genannten fachlichen Anforderungen mittels der gewählten Methode werden folgende Informationen benötigt:

für die Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit bei pF 1,8 bzw. 100% FK

- Bodenart in 40 cm Tiefe
- effektive Lagerungsdichte in 40 cm Tiefe

für die Wasserzufuhr durch Niederschläge oder Wasserverluste durch Verdunstung

- klimatische Wasserbilanz für Grünland und für Wintergetreide als Beispiel für Ackernutzung
- Feldkapazität, monatliche Niederschläge sowie kulturartbedingte Evapotranspiration

für die Wassernachlieferung aus dem Grundwasser

- mittlerer Grundwasserstand im Winter, Sommer sowie zur Übergangszeit,
- kapillare Aufstiegsrate gemäß Bodenart und Grundwasserstand

für den Wasserrückhalt aufgrund Staunässe im April und Oktober

- Kennzeichnung des Bodens als Pseudogley auf Bodentypenniveau

### 3.2. Datenaufbereitung und Berechnung

Die Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit erfolgt in mehreren Berechnungsschritten.

1. Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit bei pF 1,8,
2. Ermittlung der Wasserzufuhr durch Niederschläge oder Wasserverluste durch Verdunstung,
3. Ermittlung der Wassernachlieferung aus dem Grundwasser,
4. Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit entsprechend der monatlichen Bodenfeuchte.

### 3.2.1 Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit bei pF 1,8

Zur Ermittlung der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit bei pF 1,8 wurden als bodenbezogene Daten grundsätzlich für diesen Zweck aufbereitete Daten der amtlichen Bodenschätzung verwendet. Diese liegen jedoch nur für landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzte Flächen vor. In die verbleibenden „weißen“ Flächen wurden die Daten der Bodenschätzung bis in eine Entfernung von 75m von benachbarten Schätzflächen interpoliert. Diese Interpolation wurde auch auf verbleibende „Inseln“ angewendet, die an diesen 75m-Puffer angrenzen und nicht größer als 4 ha waren. Für alle Flächen, die nach diesen Verfahrensschritten noch nicht von Daten der Bodenschätzung belegt waren, wurden – soweit vorhanden – Daten der bodenkundlichen Landesaufnahme im Maßstab 1:25.000 verwendet.

Nicht bewertet wurden Gewässer, Watt, Deichvorland, Ortslagen und Offenlandschaften, zu denen weder Daten der Bodenschätzung, noch der bodenkundlichen Landesaufnahme vorlagen, darunter sehr häufig Wälder.

Als wichtigster Parameter wurde die Bodenart in 40 cm Tiefe aus den Grablochbeschrieben der Bodenschätzung sowie aus den idealisierten Leitprofilbeschreibungen zur Bodenkarte 1:25.000 entnommen. Diesen Bodenarten wurde auf der Basis konkreter Leitprofilbeschreibungen der bodenkundlichen Landesaufnahme grundsätzlich eine mittlere effektive Lagerungsdichte (Ld3), wohingegen den Bodenarten von Parabraunerden und Pseudogleyen eine hohe effektive Lagerungsdichte (Ld4) zugewiesen wurde.

Jeder Kombination aus Bodenart und Lagerungsdichte wurde gemäß dem Schätzrahmen der Methodenbeschreibung (Tabelle 16 auf Seite 47) eine Klasse der mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit zugewiesen.

Umgelagerte und skelettreiche Böden sollten zwar grundsätzlich Zu- und Abschläge zu diesen Klassen bekommen, da aber aus den Daten der Bodenschätzung keine umgelagerten oder tiefumgebrochenen Böden ableitbar sind, sowie skelettreiche Böden praktisch nicht vorkommen, ist diese Korrektur für diese Auswertung nicht vorgenommen worden.

### 3.2.2 Ermittlung der Wasserzufuhr durch Niederschläge oder Wasserverluste durch Verdunstung

Die Wasserzufuhr durch Niederschläge oder Wasserverluste durch Verdunstung werden in der klimatischen Wasserbilanz zusammengefasst. Hierzu liegt ein Datensatz aus Daten des Deutschen Wetterdienstes für die Jahre 1975 – 2005 vor. Dieser wurde auf ein Kilometerraster umgerechnet, so dass für alle etwa 17 Tsd. Quadratkilometer jeweils die monatliche klimatische Wasserbilanz für Ackerfrüchte (Wintergetreide) und intensiv genutztes Grünland vorliegt.

Zur Berechnung dieser beiden Größen wurde ein so genannter Bestandskoeffizient genutzt, der die Tatsache berücksichtigt, dass die Evapotranspiration dieser Kultur im Winter geringer

ist als unter normalem Grünland, da die noch nicht voll entwickelte Winterkultur und die durch den letzten Schnitt kurz gehaltene Grasnarbe nicht so stark transpirieren. Im Gegensatz dazu transpirieren voll entwickelte Getreidebestände und dichte Grasnarben von Intensivgrünland im Sommer stärker als normales Grünland.

Da Intensivgrünland mehrmals im Sommer gemäht wird, ist die Evapotranspiration auch geringer als bei voll entwickelten Getreidekulturen. Mit der Ernte, vorwiegend im August, fällt die Evapotranspiration der Getreidekulturen drastisch, während das Intensivgrünland nach jedem Schnitt neu aufwächst und somit weiterhin in höherem Maße bis Ende September/Anfang Oktober transpiriert.

	Bestandskoeffizienten in den Monaten Januar bis Dezember											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Ackerbau	0,65	0,65	0,80	0,85	1,15	1,45	1,40	1,00	0,80	0,70	0,65	0,65
intensive Grünlandnutzung	0,65	0,65	0,65	0,81	1,09	1,20	1,20	1,20	1,10	0,83	0,65	0,65

Tabelle 2: Bestandskoeffizienten für verschiedene landwirtschaftliche Kulturen

Für die konkrete Berechnung wurde ausgehend von einer Bodenfeuchte von 100% FK (=pF 1,8) im zeitigen Frühjahr (März) Monat für Monat der Wassergehalt unter Berücksichtigung der Wasserzufuhr oder des Wasserverlustes berechnet. Dafür wurde dem Wassergehalt vom Vormonat die Wasserzufuhr zu- oder der Wasserverlust abgerechnet. Überstieg der Wassergehalt des Vormonates die FK wurde er auf FK zurückgesetzt, da das Wasser unter normalen Umständen genug Zeit hat um zu versickern.

### 3.2.3 Ermittlung der Wassernachlieferung aus dem Grundwasser

Für die Berücksichtigung der Wassernachlieferung aus dem Grundwasser sind Informationen über die Grundwasserbeeinflussung von Böden erforderlich, die in den Daten der Bodenschätzung nicht eindeutig vorliegen. Daher wurde auf Profilbeschreibungen der Bodenschätzung zurückgegriffen, die auf einer bodentypologischen Einschätzung basierten, welche eine differenzierte Zuordnung der Grund- und Stauwasserbeeinflussung beinhaltet. Gemäß Tabelle 59 auf Seite 311 der Kartieranleitung, 5.Auflage (KA5) wurde diesen Bodentypen eine Grundwasserstufe zugewiesen (GWS2 – GWS5.1). Daraus ergeben sich entsprechende typische Grundwasserstände für Juni bis September (MNGW), für Dezember bis März (MHGW) sowie für April, Mai, Oktober und November (MGW) als Mittelwerte der angegebenen Spannweiten.

Für die Nutzung nasser Böden als Ackerland ist eine Entwässerung/Drainage erforderlich, so dass der ermittelte Grundwasserhochstand hier grundsätzlich auf 8 dm unter Flur begrenzt wurde. Ausnahmen bilden junge Köge. Ihre Böden können aufgrund ihrer erhöhten Lage in der Marsch besser entwässert werden. Daher wurde bei ihnen der Grundwasserabstand auf 12 dm unter Flur begrenzt.

Für das Grünlandszenario wurde ein intensiv genutztes Grünland mit einer etwas geringeren Entwässerung/Drainage als bei Ackerbau angenommen. Grundsätzlich wurde hierdurch der Grundwasserstand auf 7 dm, bei Mooren auf 5 dm unter Flur begrenzt.

Der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser wurde gemäß Tabelle 78 auf Seite 353 der KA5 ermittelt. Dazu wurden vom Mittelwert aus den Spannweiten für die vorherrschende Höhe des Grundwasserabstandes (Tabelle 59, Seite 311 der KA5) 4 dm abgezogen, um den Abstand vom Grundwasser bis zum verdichtungsgefährdeten Unterboden zu erhalten. Tabelle 78 der KA5 hält für jede Kombination aus Bodenart und Abstand in dm eine kapillare Aufstiegsrate in mm/d bereit. Für den monatlichen Aufstieg wurde die Tagesrate mit 30 multipliziert.

Die so ermittelte monatliche Wassernachlieferung aus dem Grundwasser wurde dem Wassergehalt nach Niederschlag oder Verdunstung (Kap.3.2.2) hinzugerechnet. Überstieg der Wassergehalt den des Vormonates so wurde dieser auch hier auf FK zurückgesetzt.

### 3.2.4 Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit entsprechend der monatlichen Bodenfeuchte

Die Ableitung der monatlich zu erwartenden Verdichtungsempfindlichkeit erfolgt nach Abb. 1.

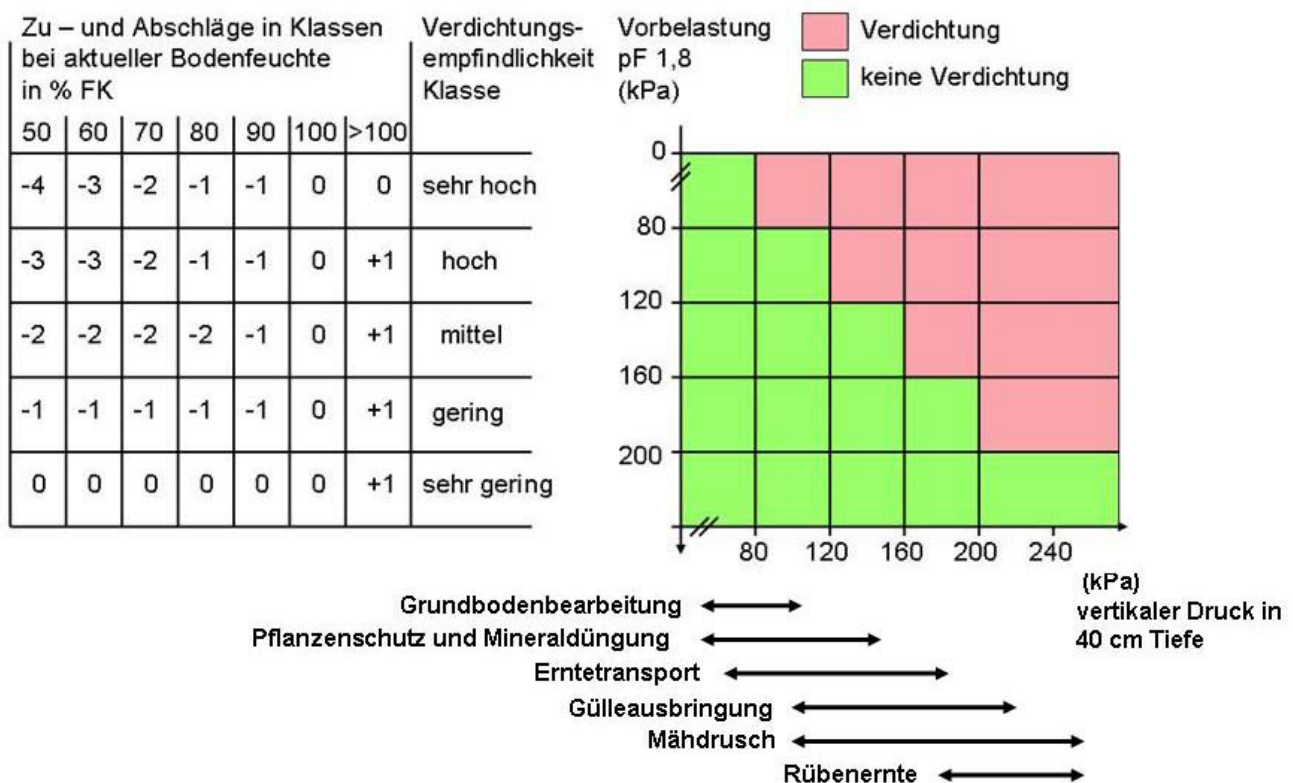


Abbildung 1: Zu- und Abschlüsse zur Verdichtungsempfindlichkeit bei Böden mit verschiedenen Bodenfeuchten im Vergleich zur Wassersättigung zu 100% Feldkapazität (FK) bzw. pF 1,8, Quelle: Abbildung 32 auf Seite 79 der Beschreibung der Methode zur mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit (LEBERT, 2010)

Hierfür wurde zunächst die monatliche Bodenfeuchte aus dem Verhältnis von Wassergehalt zu Feldkapazität in % FK errechnet. Die so erhaltenen Werte wurden gemäß Abbildung 1 normal gerundet. Zudem wurden Bodenfeuchten von < 50% FK pauschal auf 50% FK gesetzt. Bodenfeuchten von > 110% FK wurden bei Pseudogleyen, Gleyen, Marschen und Mooren auf 110% FK gesetzt. Bei allen anderen Böden wurden aufgrund der gegebenen Versickerungsmöglichkeit die Bodenfeuchte von 100-125% FK pauschal auf 100% FK gesetzt. Erst bei Wassergehalten >125% FK wurden sie pauschal auf 110% FK gesetzt.

Dieses Verfahren wurde auf die einzelnen Monate angewendet, d. h. durch Zu- oder Abschläge bei höheren oder niedrigeren Bodenfeuchten eine monatliche Verdichtungsempfindlichkeitsklasse ermittelt. Rechts in Abbildung 1 sind die Spannweiten für die jeweilige Klasse in kPa genannt. So ist bei der Verdichtungsempfindlichkeitsklasse „sehr hoch“ bereits bei einem vertikalen Bodendruck (im Unterboden, nicht zu verwechseln mit dem Kontaktflächen- druck) von mehr als 80 kPa mit einer Bodenschadverdichtung im Unterboden zu rechnen. Diese Grenze kann schon bei der Grundbodenbearbeitung überschritten werden. Bei der Verdichtungsempfindlichkeitsklasse „gering“ ist hingegen erst bei einem vertikalen Bodendruck von mehr als 200 kPa mit einer Bodenschadverdichtung zu rechnen. Dieser Druck wird bei der Gülleausbringung meist nicht überschritten. Bei sehr großen und vollen Güllefässern besteht dagegen das Risiko einer Bodenschadverdichtung.

## 4 Kartographische Darstellung

### 4.1. Basiskarten ohne kartographische Einheiten

Als Ergebnis liegt für jede bewertete Fläche, jeden Monat und potentielle Nutzungen als Acker oder Grünland eine konkrete Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens in 40 cm Tiefe als Klasse (sehr gering (1) bis sehr hoch (5)) vor. Daraus ergeben sich bei ca. 930.000 einzelnen Flächen insgesamt 700 – 750 verschiedene Kombinationen der monatlichen Verdichtungsempfindlichkeit. Der Datensatz ist in zwei potentiellen nach Acker- oder Grünlandnutzung differenzierte Basiskarten eingegangen, die für jede Fläche und jeden Monat eine zu erwartende, d. h. potentielle Verdichtungsempfindlichkeit beschreiben.

### 4.2. Klassifikation nach Winter – Sommer – Übergangszeit

Für die kartographische Darstellung wurden die verschiedenen Kombinationen der monatlichen Verdichtungsempfindlichkeit der Attributtabelle der Basiskarten für folgende drei Zeiträume klassifiziert:

1. Median aus den Monaten November bis März (Winterhalbjahr)
2. Maximum aus den Monaten April und Oktober
3. Median aus den Monaten Mai bis September (Sommerhalbjahr)

Diese Klassifikation verringerte die Zahl der Kombinationen auf 30 - 35. Um eine übersichtliche, lesbare kartographische Darstellung zu erhalten, wurde diese Zahl weiter auf 13 Einheiten eingengt. Dabei wurden flächenmäßig weniger relevante Einheiten grundsätzlich der „nächstfeuchteren“ und damit verdichtungsempfindlicheren Variante zugeordnet. Dabei stellte sich heraus, dass die Böden in der Übergangszeit (April und Oktober) meist vergleichbar verdichtungsempfindlich waren, wie im Zeitraum November - März. Daher wurden die beide Zeiträume zusammengelegt und jeweils eine Karte für die Verdichtungsempfindlichkeit zur trockeneren Zeit des Jahres (Mai - September) und zur feuchteren Zeit des Jahres (Oktober-April) erzeugt. Jede Karte stellt die Verdichtungsempfindlichkeit von sehr gering bis sehr hoch dar (siehe Abbildung 2). Bei zwei potentiellen Nutzungen ergeben sich hieraus vier Karten:

- für ackerbauliche Nutzung
  - Mai bis September
  - Oktober bis April
- für intensive Grünlandnutzung
  - Mai bis September
  - Oktober bis April

Abbildung 2:  
Legendeneinheiten für  
die Karten zur Verdich-  
tungsempfindlichkeit  
(kPa bzw. kg/cm<sup>2</sup>)

	sehr gering > 200 kPa > 2,0 kg/cm <sup>2</sup>
	gering 160 - 200 kPa 1,6 - 2,0 kg/cm <sup>2</sup>
	mittel 120 - 160 kPa 1,2 - 1,6 kg/cm <sup>2</sup>
	hoch 80 - 120 kPa 0,8 - 1,2 kg/cm <sup>2</sup>
	sehr hoch < 80 kPa < 0,8 kg/cm <sup>2</sup>

### 4.3. Kartographische Aufbereitung

Nach der in Kapitel 4.2 dargestellten fachlichen Generalisierung der vier Karten mit jeweils fünf verschiedenen Stufen der Verdichtungsempfindlichkeit wurde nun eine räumliche Generalisierung für verschiedene Maßstabsebenen durchgeführt. Die Generalisierung folgte von einer Maßstabsebene in die nächste, mit einem Verfahren, bei dem kleinere Polygone in einer bestimmten Reihenfolge größeren Polygonen zugeordnet wurden, um den Informationsverlust durch nicht fachgerechtes Zusammenlegen zu minimieren. Grenzten bei einer Generalisierungsstufe (siehe unten) mehrere größere Polygone an das kleinere Polygon, so wurde dieses dem größeren Polygon mit der längsten gemeinsamen Grenze zugeordnet. Nach der nun folgenden Darstellung wurden kleinere Polygone schrittweise in nachstehender Reihenfolge denjenigen größeren Polygonen zugeordnet, die für die einzelnen Verfahrensschritte bestimmte Kriterien aufwiesen:

1. gleiche Verdichtungsempfindlichkeit in Mai-September, für Oktober bis April die nächsthöhere Verdichtungsempfindlichkeit,
2. gleiche Verdichtungsempfindlichkeit in den Monaten Oktober bis April, für den Sommer die nächsthöhere Verdichtungsempfindlichkeit,

3. gleiche Verdichtungsempfindlichkeit in Mai-September und die längste gemeinsame Grenze,
4. in Mai-September die nächsthöhere Verdichtungsempfindlichkeit,
5. Verdichtungsempfindlichkeit, die in Mai-September um nicht mehr als eine Klasse abwich,
6. Verdichtungsempfindlichkeit, die in Mai-September um nicht mehr als zwei Klassen abwich,
7. alle restlichen Polygone.

Diese 7 Schritte wurden für jeden unten genannten Generalisierungsschritt angewandt. Anschließend wurden die Linien geglättet, je kleiner der Maßstab, desto größer ist die Glättung:

Basiskarte (i. d. R. 1 : 2.000) ► 1 : 10.000 ► 1 : 25.000  
► 1 : 100.000 ► 1 : 250.000 ► 1 : 1.000.000.

#### 4.4. Nutzung der Karten verschiedener Maßstäbe

Um möglichst viele Nutzer erreichen und verschiedene Zwecke abdecken zu können, stellt das LLUR sechs verschiedene Maßstabsebenen bereit:

##### Basiskarte

- 1 : 2.000 für die konkrete Landbewirtschaftung oder Bauausführung vor Ort oder für eine hochaufgelöste Planung \*
- 1 : 10.000 für eine parzellenscharfe Planung
- 1 : 25.000 für Planungen auf Gemeindeebene
- 1 : 100.000 für Planungen in größeren Regionen
- 1 : 250.000 für eine landesweit differenzierte Planung
- 1 : 1000.000 für eine landesweite bis bundesweite Planung

\* In dieser hochaufgelösten Maßstabsebene wird die zu erwartende Verdichtungsempfindlichkeit für jeden Monat bei durchschnittlichen Witterungsbedingungen angegeben. Bei konkreten Maßnahmen oder Vorhaben sind die tatsächliche Nutzung und die tatsächliche Bodenfeuchte in % FK zu berücksichtigen.