Das Lebensministerium



Bodendruck im Grünland

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Heft 3/2009

Freistaat Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Gute fachliche Praxis für Grünland: Bodengefüge- und Narbenschutz

Projektleiter:	Henning Stahl	
Bearbeiter:	Karin Marschall	01.07.05 – 31.12.2006
	Anja Freytag	01.03.07 – 30.06.2007
	Helmut Götze	01.03.07 – 31.07.2008

Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund ... 1
2 Wissensstand ... 2
3 Material und Methoden ... 3
3.1 Standorte ... 3
3.2 Laboruntersuchungen ... 5
3.2.1 Bodenphysikalische Kenngrößen und Humus ... 5
3.2.2 Bodenmechanische Kenngrößen ... 8
3.3 Felduntersuchungen ... 8
3.3.1 Dynamische Bodendruckmessungen ... 8
3.3.2 Guelph-Permeameter ... 9
4 Ergebnisse Bodenphysik und -mechanik ... 10
4.1 Bodenphysikalische Kennwerte von Grünlandstandorten in Sachsen ... 10
4.1.1 Trockenrohdichte ... 10
4.1.2 Luftkapazität ... 12
4.1.3 Nutzbare Feldkapazität ... 13
4.1.4 Totwasser ... 13
4.1.5 Wasserleitfähigkeit ... 13
4.1.5.1 Gesättigte Wasserleitfähigkeit ... 13
4.1.5.2 Gesättigte Wasserleitfähigkeit nach Guelph ... 14
4.2 Bodenmechanische Kennwerte von Grünlandstandorten in Sachsen ... 15
4.2.1 Vorbelastung ... 15
4.2.2 Scherwiderstände ... 18
4.3 Zwischenfazit ... 18
5 Bodendrücke von Maschinen und Geräten zur Grünlandbewirtschaftung in sächsischen Betrieben ... 19
5.1 Silageernte ... 19
5.2 Heuernte ... 24
5.3 Gülledüngung ... 27
5.4 Walzen ... 29
5.5 Überfahrungsintensität ... 31
5.6 Zwischenfazit ... 33
6 Kontrollierte mechanische Belastung einer Grünlandfläche im LVG Köllitsch ... 34
6.1 Versuchsanlage ... 34
6.2 Untersuchungen und Methoden ... 36
6.2.1 Bodenschürfe ... 36
6.2.2 Wurzellängendichte ... 36
6.2.3 Vegetationsaufnahmen ... 36
6.2.4 Ertrag ... 36

6.2.5 Bodenfeuchteverlauf im Versuchszeitraum ... 37
6.3 Bodenphysikalische und -mechanische Ergebnisse ... 38
6.3.1 Textur und Humusgehalt ... 38
6.3.2 Gesättigte Wasserleitfähigkeit ... 39
6.3.3 Luftkapazität ... 42
6.3.4 Nutzbare Feldkapazität ... 42
6.3.5 Trockenrohdichte ... 42
6.3.6 Vorbelastung ... 42
6.4 Pflanzenbestand ... 44
6.4.1 Zusammensetzung der Vegetation ... 44
6.4.2 Bodenstickstoffgehalt (N_{min}) 2007 ... 45
6.4.3 Ertrag und Stickstoffgehalt im Erntegut ... 46
6.4.4 Wurzellängendichte ... 49
6.5 Zwischenfazit ... 51
7 Gesamtfazit ... 52
8 Literatur ... 55
9 Anhang ... 57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Sächsische Untersuchungsstandorte im Grünland mit Messungen zu physikalischen sowie mechanischen Bodeneigenschaften und/oder Bodendruckmessungen (*) 3

Tabelle 2: Standorte und Art der bodenmechanischen und -physikalischen Untersuchungen auf Grünland in Sachsen in 10 cm und 20 cm Bodentiefe (*hier standortbedingt abweichend in 3 cm und 8 cm Bodentiefe) 5

Tabelle 3: Textur und Gefügeeigenschaften der Grünlandstandorte 6

Tabelle 4: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf), Luftkapazität (LK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Totwasseranteil (TW) und Trockenrohdichte (TRD) sächsischer Grünlandböden in 10-15 cm Tiefe; Standardabweichungen in Klammern 11

Tabelle 5: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf), Luftkapazität (LK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Totwasseranteil (TW) und Trockenrohdichte (TRD) sächsischer Grünlandböden in 20-25 cm Tiefe; Standardabweichungen in Klammern 12

Tabelle 6: Mit dem Guelph-Permeameter in verschiedenen Tiefen gemessene gesättigte Wasserleitfähigkeiten ks von unterschiedlichen Grünlandstandorten in Sachsen; Standardabweichungen in Klammern 15

Tabelle 7: Vorbelastungen Pv bei pF = 1,8 von Oberböden (10 und 20 cm Tiefe) im sächsischen Grünland (Wiese/ Weide) 16

Tabelle 8: Klassifizierung der Vorbelastungswerte aus Tabelle 7 gemäß Tafel 4, DVWK-Merkblatt 234/1995 für 10 cm und 20 cm Bodentiefe (ohne Mißlareuth in 3 cm) 17

Tabelle 9: Vorbelastungen Pv (pF 1,8) sächsischer Grünlandböden aus Tabelle 7 gegliedert nach Bodenarten und –tiefe sowie Einstufung in Pv-Klasse (n = Anzahl der untersuchten Böden; ohne Mißlareuth in 3 cm) 17

Tabelle 10: Kohäsion c und Winkel der inneren Reibung φ an ausgewählten Grünlandstandorten in Sachsen bei unterschiedlicher Nutzung (n = 1) 18

Tabelle 11: Erfahrungstermine in den Jahren 2006 und 2007 37

Tabelle 12: Maschinendaten der im Befahrungsversuch in Köllitsch auf der Koppel 4 eingesetzten Maschinen, Anhänger und Geräte 38

Tabelle 13: Textur und Humusgehalte des Oberbodens der Grünlandfläche Koppel 4 Köllitsch 38

Tabelle 14: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) und Trockenrohdichte (TRD) in 5 - 10 cm Tiefe im September 2006 nach der Befahrung der Koppel 4 (STAW: Standardabweichung) 39

Tabelle 15 : Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf), Luftkapazität (LK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Totwasseranteil (TW) und Trockenrohdichte (TRD) in 10 - 15 cm Tiefe; im September 2006 nach den Befahrungen der Koppel 4 (Mähweide) sowie im Frühjahr 2007 nach der Gülleausbringung. (STAW: Standardabweichung) 40

Tabelle 16: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf), Luftkapazität (LK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Totwasseranteil (TW) und Trockenrohdichte (TRD) in 20 - 25 cm Tiefe, im September 2006 nach den Befahrungen der Koppel 4 (Mähweide) sowie im Frühjahr 2007 nach der Gülleausbringung. (STAW: Standardabweichung) 41

Tabelle 17: Geschätzte Ertragsanteile (Trockenmasse) der verschiedenen Grünlandpflanzen auf fortlaufenden Flächen von jeweils 0,5 x 2 m in der Spur und der Kontrolle (Bereich zwischen den zwei Fahrspuren) fünf Tage vor dem „2. Schnitt“ (28.06.06)..... 45

Tabelle 18: N_{min}-Gehalte am 01.02.2007 auf der Koppel 4 im LVG Köllitsch..... 46

Tabelle 19: Ernteerträge und N-Gehalte in der Spur und im Nicht-Spurbereich 2006 und 2007 47

Tabelle 20: Gemessene vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) landwirtschaftlicher Maschinen auf Grünland in 10 cm, 20 cm und 40 cm Bodentiefe (je nach Bodenmächtigkeit) in Sachsen; Kenndaten der Maschinen sowie Bodenwasserspannungen bei der Messung; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h)..... 57

Tabelle 21: Vertikale Bodendrücke unter Maschinen und Geräten zur Grünlandbewirtschaftung in Köllitsch 2007 59

Tabelle 22: Vorbelastungen Pv des Oberbodens (5, 10 u. 20 cm Tiefe) bei pF = 1,8 auf der Koppel 4 in Köllitsch im September 2006 nach den Befahrungen und im Frühjahr 2007 nach der Gülleausbringung, sowie Klassifizierung der Werte gemäß DVWK-Merkblatt 234/1995..... 59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geografische Lage der Untersuchungsstandorte in Sachsen gemäß Tabelle 1 4

Abbildung 2: Einbauschema der DMS-Sensoren (Ansicht von oben) 9

Abbildung 3: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Ernte von Grassilage in Köllitsch in 10 und 20 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Mittleres Rad = (m), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20..... 19

Abbildung 4: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Ernte von Grassilage in Plauen in 10 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20 20

Abbildung 5: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) unter einem Traktor mit Schwader in Oberlosa in 10 cm Tiefe und unter einem selbstfahrenden Mäher in Herlasgrün in 10 und 20 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20 21

Abbildung 6: Vertikale Bodenspannungen (am 22.05.07) auf einer Grünlandfläche des LVG Köllitsch beim Mähen unter den Tragrädern des Mähwerkes in 10 cm und 20 cm Tiefe; detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 21 22

Abbildung 7: Vertikale Bodenspannungen (am 22.05.07) auf einer Grünlandfläche des LVG Köllitsch beim Schwaden in 10 cm und 20 cm Tiefe; detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 21..... 23

Abbildung 8: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Heuernte in Wildenhain in 10 und 20 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20 24

Abbildung 9: Beladung des Eigenbau-Ballenwagens mit Teleskoplader 25

Abbildung 10: Quaderballenpresse im Einsatz 26

Abbildung 11: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Heuernte in Waldenburg in 10 und 20 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20 26

Abbildung 12: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Gülledüngung in Methau (10 cm, 20 cm und 40 cm Tiefe) sowie in Köllitsch und Langenbach (10 und 20 cm Tiefe); Vorderrad = (v), Hinterrad = (h), Achse = (1. – 4.); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20 27

Abbildung 13: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) beim Walzen einer Grünlandfläche des LVG Köllitsch in 10 cm und 20 cm Tiefe (30.03.07); Vorderrad = (v), Hinterrad = (h), Achse = (1. – 4.); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 21 29

Abbildung 14: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) beim Walzen einer Grünlandfläche des LVG Köllitsch in 10 cm und 20 cm Tiefe (23.05.07); Vorderrad = (v), Hinterrad = (h), Achse = (1. – 4.); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 21 30

Abbildung 15: Abschätzung der Spurenverteilung und Überrollhäufigkeit bei einer zweischnittigen Grünlandnutzung 31

Abbildung 17: Anlage der Untersuchungsflächen 35

Abbildung 18: Vorbelastungen Pv des Oberbodens (5, 10 u. 20 cm Tiefe) bei pF = 1,8 auf der Koppel 4 in Köllitsch im September 2006 nach den Befahrungen und im Frühjahr 2007 nach der Gülleausbringung 43

Abbildung 19: Erscheinungsbild der Pflanzenbestände Ende Juni 2006: linkes Drittel im nicht befahrenen Bereich und rechtes Drittel im Spurbereich 44

Abbildung 20: Grünlandbestand am 22.06.2006 vor dem 2. Schnitt mit sichtbaren Spurbereichen 48

Abbildung 21: Pflanzenbestand des Befahrungsversuches am 11.05.2007 48

Abbildung 22: Fahrspuren auf der Versuchsfläche nach der Gülleausbringung 49

Abbildung 23: Wurzellängedichte unter der „normal“ befahrenen Fahrspur und der entsprechenden Kontrolle (Nicht Spur) 50

Abbildung 24: Wurzellängedichtemessungen aus Bodenproben der stark befahrenen Fahrspur und der entsprechenden Kontrolle (Nicht Spur) 50

1 Hintergrund

Seit einigen Jahren werden viele Anstrengungen unternommen, die gute fachliche Praxis (§17 BBodSchG) im Hinblick auf den Bodengefügeschutz weiter zu konkretisieren (BMVEL 2002; BRUNOTTE et al. 2000; DVWK 1998; ISENSEE et al. 2001; SOMMER & BRUNOTTE 2003; PAUL 1993; PETELKAU et al. 1998). In Bezug auf den Ackerbau hat die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft bereits auf der Grundlage von Untersuchungen zur Bodenbelastung durch Maschinen Gefügeschutzmaßnahmen zu Vorsorge geprüft und eine Entscheidungshilfe hierzu erarbeitet (STAHL et al. 2005; STAHL et al. 2002). Bisher konzentrieren sich die Bemühungen für den landwirtschaftlichen Gefügeschutz in Deutschland vornehmlich auf das Ackerland. Für Grünland wurde bisher dagegen die Gefahr einer schädlichen Veränderung des Bodengefüges geringer eingeschätzt, da bei Grünland regelmäßig angenommen wird, dass die Böden strukturstabiler sind und zudem ein höheres, natürliches Regenerationsvermögen aufweisen. Gleichwohl ist analog zum Ackerland festzustellen, dass die aus betriebswirtschaftlichen Gründen gestiegene Schlagkraft der Grünland-Maschinen mit gestiegenen Maschinengewichten und somit erhöhten Bodenbelastungen einhergeht. Erste wenige Indizien belegen, dass durch die schweren Maschinen und häufiges Befahren eine schädliche Bodenverdichtung auf Grünland entsteht bzw. entstehen kann (DIEPOLDER et al. 2005, JORAJURIA & DRAGHI 1997).

Grünland wird heute häufiger genutzt und befahren als vor 40 - 50 Jahren. Zusätzlich führen die Anforderungen an die Futterqualität zu einer früheren 1. Nutzung. Somit sind die Böden bei der Nutzung tendenziell feuchter. Zudem kann aus Gründen der Futterqualität weniger Rücksicht auf die Bodenfeuchte genommen werden, d.h. die Böden werden eher bei instabilen Gefügeverhältnissen befahren, da der optimale Schnittzeitpunkt entscheidend für die Futterqualität ist. Zudem erfordert eine effiziente Arbeitserledigung immer größere und damit schwerere Maschinen (DIEPOLDER et al. 2005). Folglich ist von einer steigenden mechanischen Bodenbeanspruchung auszugehen. Allerdings ist derzeit noch wenig über die mechanische Belastung und die Verdichtungssituation im Grünland bekannt. Das Bestreben des vorliegenden Projektes war es daher, diesbezüglich einen ersten Überblick zur Situation in Sachsen zu erhalten.

Vorsorgestrategien und Ansätze zur Einschätzung der Verdichtungsgefährdung für das Ackerland lassen sich voraussichtlich nicht 1 : 1 auf das Grünland übertragen, da hier die Ausgangsbedingungen verschieden sind. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist dabei die Bezugstiefe. Während sich beim Ackerland der Bodengefügeschutz vor allem auf den schwer regenerierbaren Unterboden konzentriert, stehen beim Grünland Bodengefüge- und Grasnarbenschäden in der Ober- und Unterkrume im Vordergrund, da hier die Fahrwerke hohe Bodenbelastungen verursachen können, im Vergleich zu Ackerflächen aber keine mechanische Wiederauflockerung des Oberbodens möglich ist. Somit ist eine Gefügeregeneration nur im Rahmen natürlicher Prozesse zu erwarten. Hierbei ist jedoch noch wenig darüber bekannt, ob diese Prozesse ausreichend schnell verlaufen, so wie dies auf Grund der intensiven Durchwurzelung und des aktiven Bodenlebens in der Krume oft vermutet wird. In Bezug auf schädliche Veränderungen des Bodengefüges im Unterboden ist dagegen eher

zu vermuten, dass diese Prozesse ähnlich lange benötigen wie auf Acker, eventuell sogar länger, da auf Grünland der Unterboden meist eine geringere Durchwurzelung als auf Acker aufweist.

2 Wissensstand

Betrachtet man die vorhandene Literatur im Bezug auf die Thematik Grünlandnutzung und mechanische Belastung, so stellt man fest, dass bisher kaum Untersuchungen zur Befahrungswirkung von Grünlandmaschinen auf das Bodengefüge vorliegen. Deutlich mehr Ergebnisse liegen im Problembereich der mechanischen Belastung durch Beweidung vor, da in vielen Regionen der Erde die gestiegenen Beweidungsintensitäten zu unübersehbaren Bodenschäden führen, insbesondere Zerstörung der Grasnarbe und infolgedessen Bodendegradierung durch Wind- und Wassererosion (SCHLIMBACH & OPITZ V. BOBERFELD 2005; MATINEZ & ZINK 2004; DONKOR et al., 2002; VILLAMIL et al. 2001; GREENWOOD et al. 1997; MULHOLLAND & FULLEN, 1991; HORN 1985; HORN 1981).

Die Wirkung der mechanischen Belastung durch Grünlandmaschinen wurde von DIEPOLDER et al. (2005) untersucht. Auf einer Wiese wurde ein Befahrungsversuch mit verschiedenen Belastungsstufen durchgeführt. Die simulierte Bodenbelastung führte zu einer Bodenverdichtung und einem Ertragsrückgang, wobei die Ursachen des Ertragsrückgangs nicht eindeutig zugeordnet werden konnten. Der Ertragsrückgang kann auch eine Folge der stärkeren Narbenbelastung sein. Kritisch zu bewerten ist bei dem Versuch, dass die Befahrung flächendeckend auf mehreren Metern stattfand, was so in der Praxis kaum vorkommen dürfte. Daneben registrierten auch FRAME & MERRILIEES (1990) einen reduzierten Aufwuchs an Pflanzenmasse, je nach Häufigkeit des Befahrens eine Reduktion von 6 - 20 %.

ELSÄSSER et al. (2000) konnten signifikante Unterschiede zwischen zwei unterschiedlich intensiv befahrenen Versuchsvarianten bezüglich der CO_2-Konzentration im Boden und bezüglich des Gelände-Gasdiffusionskoeffizienten feststellen. So führte die intensivere Befahrung zu höheren CO_2-Konzentrationen und zu geringeren Gasdiffusionskoeffizienten in der Oberkrume.

JORAJURIA & DRAGHI (1997) verglichen einen „leichten“ und „schweren“ Traktor bei jeweils gleichem Kontaktflächendruck in einem Befahrungsversuch. Beide Traktoren verursachten eine Bodenverdichtung und einen Ertragsrückgang in den Fahrspuren, wobei der schwerere Traktor gleiche bis größere Reduzierungen im Ertrag in der Spur verursachte als der leichtere Traktor. Flächenhaft betrachtet hingegen verursachte der leichtere Traktor mit einer größeren Anzahl an Überfahrungen tendenziell mehr Schaden als der schwerere Traktor mit weniger Überfahrungen.

Den Zusammenhang zwischen Maschineneigenschaften, Spannungsverteilung im Boden und Bodenverdichtung wurde exemplarisch von HAMMEL (1993) auf zwei Grünlandstandorten untersucht. Er hebt bei seinen Untersuchungen die Bedeutung der unterschiedlichen Profilierung der Reifen hervor, die unterschiedliche Spannungsverteilungen im Boden verursacht. Er unterscheidet dabei vertikale und horizontale Spannungseinträge in den Boden und weist darauf hin, dass im

Grünland neben der Bodenverdichtung durch vertikale Spannungseinträge unter den Reifen insbesondere auch horizontale Spannungen durch die Radzugkraft, den Schlupf sowie die Überwindung des Rollwiderstandes wirken, die zu Scherverformungen des Bodens und der Grasnarbe sowie zur Knetung des Bodens führen.

3 Material und Methoden

3.1 Standorte

Die Untersuchungen erfolgten auf Grünlandböden im sächsischen Lößhügelland, auf Auenböden der Elbe (Köllitsch), der Mulde (Thallwitz) und der Zwickauer Mulde (Methau), auf Verwitterungsböden im sächsischen Vogtland sowie in der sächsischen Teich- und Heidelandschaft auf einem diluvialen Boden (siehe Tab.1). Es wurden ausschließlich Flächen untersucht, die einer praxisüblichen Bewirtschaftung unterliegen. Die Flächenbewirtschafter bzw. die betroffenen Betriebe haben in der Regel über 90 ha Grünland als Mähwiesen oder Mähweiden zur Verfügung.

Tabelle 1: Sächsische Untersuchungsstandorte im Grünland mit Messungen zu physikalischen sowie mechanischen Bodeneigenschaften und/oder Bodendruckmessungen (*)

	Standort
Lößhügelland	Großstolpen Oberschindmaas Schwaben Methau* (nur Bodendruckmessung) Waldenburg* (nur Bodendruckmessung)
Auen	Thallwitz Methau Köllitsch*
Verwitterungsböden	Christgrün Plauen* Mißlareuth Langenbach* Oberlosa* (nur Bodendruckmessung) Herlasgrün* (nur Bodendruckmessung)
Diluvium	Wildenhain*

Die Böden der Lößstandorte sind ein schluffiger Lehm (Großstolpen), ein lößbeeinflusster aber recht steiniger schluffig-lehmiger Sand (Oberschindmaas) und ein toniger Schluff (Schwaben) (siehe Tab. 3). Am Auenstandort Köllitsch handelt es sich bei den untersuchten Böden (insgesamt drei) um lehmige Sande. In Thallwitz liegt toniger Schluff vor. Der Boden in Wildenhain ist ein Sandboden mit schwachem Ton- und Schluffanteil. Die untersuchten Böden im Vogtland sind sehr steinige sandige oder schluffige Lehme bzw. ein schluffig-lehmiger Sand (Christgrün).

Die Bodendruckmessungen wurden nur zum Teil auf den bodenphysikalisch untersuchten Standorten durchgeführt (siehe Tab.1).

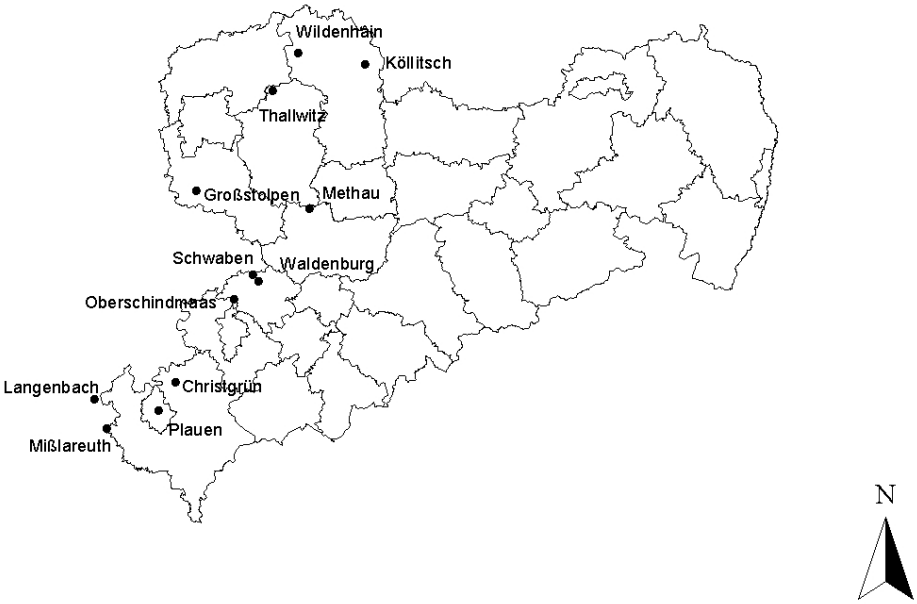


Abbildung 1: Geografische Lage der Untersuchungsstandorte in Sachsen gemäß Tabelle 1

3.2 Laboruntersuchungen

3.2.1 Bodenphysikalische Kenngrößen und Humus

Der Umfang der physikalischen Bodenuntersuchungen war nicht an allen Standorten gleich (siehe Tab. 2).

Tabelle 2: Standorte und Art der bodenmechanischen und -physikalischen Untersuchungen auf Grünland in Sachsen in 10 cm und 20 cm Bodentiefe (*hier standortbedingt abweichend in 3 cm und 8 cm Bodentiefe)

Grünland		**Laboruntersuchungen**						**Feldunter-suchungen**
Standort	Nutzung	Körnung	Trockenrohdichte	pF-Kurve	ges. Wasserleitfähig.	Vorbelastung	Scherparameter	ges. Wasserleitfähig. (Guelph)
Großstolpen	Mähwiese	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**
Methau	Mähwiese	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**
Thallwitz	Mähweide	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**
Köllitsch	Mähweide	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**
Köllitsch 1	Mähweide	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**
Köllitsch Befahrungsversuch	Mähweide	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		
Wildenhain	Mähweide	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**
Plauen	Mähwiese	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**
Christgrün	Mähwiese	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**
Oberschindmaas	Mähwiese	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	
Mißlareuth*	Mähweide	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	
Langenbach	Mähwiese	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	
Schwaben	Mähweide	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	

Tabelle 3: Textur und Gefügeeigenschaften der Grünlandstandorte

Standort	Entnahme-tiefe [cm]	Gefüge	Boden-art nach KA4	Humus [%]	G [%]	S [%]	U [%]	T [%]
Großstolpen	20-25	kru	Lu	n.b.	n.b.	16,8	59,2	24,0
	40-45	sub	Lu	n.b.	n.b.	15,0	59,7	25,3
Methau	10-15	kru	Ut4	3,4	n.b.	14,1	68,1	17,8
	20-25	kru	Ut4	2,3	n.b.	14,6	67,7	17,7
Thallwitz	7-12	n.b.	Ut4	n.b.	n.b.	10,5	72,1	17,4
	12-17	n.b.	Ut4	n.b.	n.b.	6,8	73,8	19,4
	25-30	n.b.	Ut3	n.b.	n.b.	8,2	75,6	16,2
Köllitsch	10-25	kru	Sl4	2,7	n.b.	68,9	18,7	12,4
	40-45	pol	Sl2	2,0	n.b.	72,5	20,1	7,4
Köllitsch 1	10-25	pol	Sl3	2,0	n.b.	58,6	29,4	12,0
	40-45	pol	Sl3	1,3	n.b.	49,9	38,2	11,9
Wildenhain	10-15	koh	Sl3	6,6	n.b.	79,3	10,3	10,4
	40-45	ein	Ss	0,3	n.b.	89,4	7,8	2,8
Plauen	10-25	kru	Ls2	3,3	n.b.	29,0	46,2	24,8
	40-45	kru	Lu	1,8	n.b.	29,1	50,2	20,7
Christgrün	10-15	kru	Slu	1,8	n.b.	41,2	42,7	16,1
Oberschindmaas	10-15	pol	Slu	3,8	13,2	44,0	41,4	14,6
	20-25	pol	Sl4	2,7	18,0	46,9	38,8	14,3
	40-45	pol	Ls2	1,2	11,8	40,9	41,6	17,5
Mißlareuth	3-8	n.b.	Lu	6,8	26,2	21,7	53,4	24,9
	8-12	n.b.	Ls2	5,7	32,6	24,3	56,6	19,1
	30-40	n.b.	Lu	2,6	30,4	16,3	60,1	23,6
Langenbach	10-15	kru	Lu	6,7	13,7	17,8	52,9	29,3
	20-25	sub	Tu3	6,2	4,7	11,8	54	34,2
	30-35	sub	Lu	2,0	22,6	21,3	57,2	21,5
Schwaben	10-15	kru-sub	Ut4	4,4	0,8	3,6	72,1	24,3
	20-25	koh	Ut4	1,6	0,8	3,2	73,4	23,4
	40-45	koh	Ut4	0,6	0,0	1,8	74,9	23,3
Waldenburg	0-10	n.b.	Ss	1,2	n.b.	90,4	6,9	2,7
	10-20	n.b.	Sl3	4,6	n.b.	66,8	24,6	8,6

Textur

Die Körnungsanalyse erfolgte im Labor nach der KÖHN-Methode, wobei der Feinboden vor der Sedimentation mit Ultraschall vorbehandelt wurde. Die Bodenart wurde nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4, 1996) bestimmt.

Humusgehalt

Der Gehalt an organischer Substanz in den karbonatfreien Böden wurde über die Gesamt-Kohlenstoff-Bestimmung durch Sauerstoffoxidation bei 1000°C und der Multiplikation des Gesamt-C-Gehaltes mit dem Faktor 1,724 ermittelt.

Gefüge

Das Gefüge wurde im Feld nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4, 1996) angesprochen und bestimmt.

Untersuchungen an Stechzylinderproben

Die **Porenverteilung** und die **Trockenrohdichte** wurde nach HARTGE & HORN (1992) an Stechzylindern mit einem Volumen von 100 cm³ und die gesättigte Wasserleitfähigkeit an Zylindern mit 250 cm³ Volumen bestimmt. Sie wurden in jeweils sechsmaliger Wiederholung aus 10 cm und 20 cm Tiefe (Ausnahme: in Mißlareuth aufgrund der Flachgründigkeit aus 3 cm und 8 cm Tiefe) den Grünlandböden entnommen. Die Probennahmen erfolgten parallel zu den Probennahmen für die Vorbelastungsmessungen, d.h. die verschiedenen Stechzylinder entstammen jeweils den gleichen Bodenschürfen.

Für die Ermittlung der **Porengrößenverteilung und Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung** wurden die ungestörten Proben mit einem definierten Unterdruck (bis pF 1,8) bzw. einem Überdruck (> pF 1,8) entwässert (HARTGE & HORN 1992) und so auf Wassergehalte eingestellt, die einem pF-Wert von 1,8; 2,0; 2,5; 2,78 und 3,08 entsprechen. Für pF 4,2 wurde die Entwässerung an gestörten Proben durchgeführt. Anhand der Desorptionskurve konnte die Wassergehalts-Saugspannungsbeziehung aufgestellt und die Porenverteilung ermittelt werden. Die Einteilung der Porengrößen- bzw. Saugspannungsbereiche in ökologisch begründete Gruppen (Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Totwasser) erfolgte nach MÜLLER et al. (1970) und der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4 1996).

Die **Trockenrohdichte** wurde an den ungestörten Proben (HARTGE & HORN 1992) nach E DIN ISO 11272 (DIN 2000) bestimmt.

Die **gesättigte Wasserleitfähigkeit** wurde entsprechend der Methodenbeschreibung bei HARTGE & HORN (1992) durch das Anlegen einer Saugspannung an die Zylinder und das Auffangen der perkolierten Wassermenge in einer definierten Zeit bestimmt.

Die Stechzylinder wurden vertikal dem Boden entnommen. Es wurde jeweils das geometrische Mittel errechnet.

3.2.2 Bodenmechanische Kenngrößen

Mechanische Vorbelastung

Die mechanische Vorbelastung des Bodens wurde an Stechzylindern bestimmt, mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Höhe von 30 mm. Das eingesetzte Ödometer arbeitete vollautomatisch. Die Setzung wurde mit einer Messgenauigkeit von 0,01 mm aufgezeichnet. Als Belastungsstufen wurden 10, 20, 40, 60, 80, 120, 200, und 300 gewählt, die nacheinander auf die Stechzylinderproben ohne Entlastungspause aufgebracht wurden. Die Belastungsdauer betrug pro Druckstufe 45 min.

Da der Boden bei einem hohen Wassergehalt am druckempfindlichsten reagiert, wurden die Vorbelastungen beim Feuchtegrad pF 1,8 (-60 hPa Wasserspannung) bestimmt, was einer Bodenfeuchte nahe Feldkapazität entspricht.

Die Stechzylinder wurden in sechsmaliger Wiederholung aus 10 und 20 cm Bodentiefe entnommen (Ausnahme: in Mißlareuth aufgrund der Flachgründigkeit nur aus 3 cm und 8 cm Tiefe). Die Auswertung der Belastungs-Setzungskurven erfolgte nach CASAGRANDE (1936). Die Ergebnisse sind als arithmetisches Mittel angegeben.

Scherparameter Kohäsion und Winkel der inneren Reibung

An vier Standorten (siehe Tab. 2) wurden in 10 und 20 cm Bodentiefe entnommen, die erst aufgesättigt und dann auf pF 1,8 (-60 hPa Wasserspannung) eingestellt wurden. Danach wurden sie in ein Kastenschergerät eingebaut und bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,2 mm/s dem Schervorgang unterzogen. Der maximale Scherweg war auf 10 mm limitiert. Der vom Weg abhängige Kraftaufwand wurde kontinuierlich mit einem Linearschreiber aufgezeichnet. Da bei keiner der untersuchten Proben ein klassischer Bruch zu verzeichnen war, wurde die maximale Scherkraft nach 10 mm Scherweg der Verlaufskurve entnommen. Die Probe befand sich zu diesem Zeitpunkt immer in einem so genannten Gleitzustand, so dass der Anstieg der Kurve ein Minimum erreichte.
Der Scherversuch wurde bei den Auflaststufen 50, 100, 200 und 400 kPa durchgeführt. Die Mohr-Coulomb'sche Bruchgerade konnte somit durch vier Punkte gelegt werden. Aus Kapazitätsgründen musste auf Wiederholungen der Stichprobe verzichtet werden.

3.3 Felduntersuchungen

3.3.1 Dynamische Bodendruckmessungen

Für die dynamischen Bodendruckmessungen wurden Einzelsensoren (Fa. Wazau, Berlin) auf der Basis von Dehnungsmessstreifen (DMS) verwendet (LEBERT 1991; SEMMEL 1993; KÜHNER 1997). Die Sensoren haben ein starres kegelförmiges Gehäuse aus Metall und sind rund (Höhe: 2,5 cm; Durchmesser: 3,2 cm). Die Messfläche oben hat einen Durchmesser von 2,2 cm.

Die Sensoren können nur uniaxiale Drücke erfassen. Zur Bestimmung der vertikalen Druckausbreitung wurden die Sensoren unter der geplanten Fahrspurmitte in möglichst „unbefahrenem“ Boden (Kernfläche) in verschiedenen Tiefen von der Seite so eingebaut, dass der darüber liegende Boden ungestört blieb. Die Sensoren wurden in 10 und 20 cm Tiefe in den Boden eingebaut: Nach Ausheben einer Grube wurden von der Seite her im ungestörten Boden jeweils drei Sensoren pro Tiefe eingefügt (Abb. 2). Dazu wurden in der gewählten Messtiefe mittels eines speziell gefertigten Kernbohrers mit ca. 10 - 15 cm Abstand, drei horizontale, gleich lange Kanäle, die den Größenabmessungen der Sensoren entsprechen, in den Boden eingetrieben. Die Sensoren wurden mit Bodenschluss eingebaut. Der Abstand zwischen geplanter Spurmitte und Grubenwand betrug 25 cm. Nach dem Einbau der Sensoren wurde die Grube wieder verfüllt und verfestigt, um die Störeinflüsse so gering wie möglich zu halten.

Die Erfassung der Messdaten erfolgte über einen Messwertwandler auf einem Notebook mit entsprechender Software (Fa. Wazau, Berlin). Die Maschinen fuhren in arbeitstypischer Geschwindigkeit sowie mit vollen Bunkern bzw. Ladeflächen über die Sensoren.

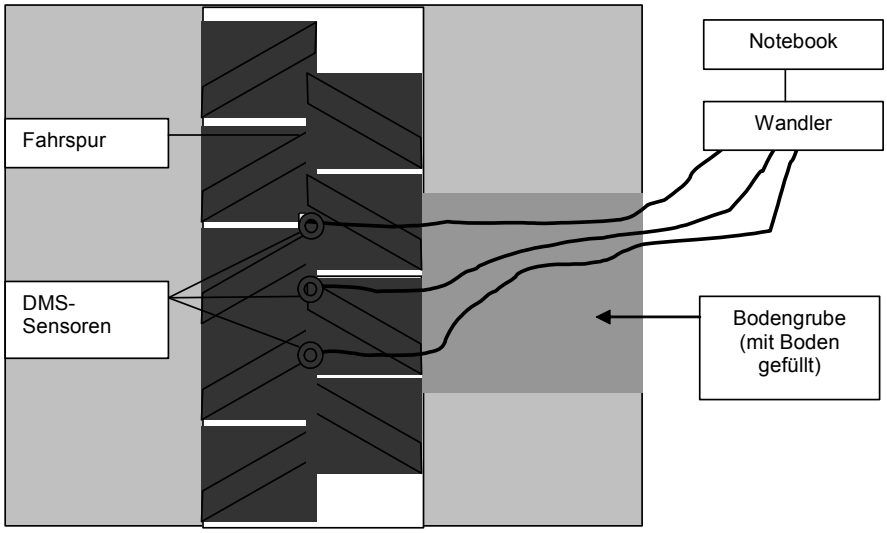


Abbildung 2: Einbauschema der DMS-Sensoren (Ansicht von oben)

Bei jeder Messung wurde die **Bodenfeuchte** des Bodens mit einer TDR-Sonde ermittelt. Die **Radlasten** der Maschinen wurden anhand der Maschinenangaben ermittelt (Tabellen 21 u. 22).

3.3.2 Guelph-Permeameter

Die gesättigte Wasser- und Luftleitfähigkeit wird von der Porengrößenverteilung und der Kontinuität der Bodenporen bestimmt. Da die Stechzylinderproben nur 5 cm hoch sind, kann der Einfluss der Porenkontinuität vor allem von Makroporen nicht erfasst werden. Bei In-Situ-Messungen im ungestörten Bodenprofil wird ein vielfach größeres Bodenvolumen durchflossen.

Daher wurde auf ausgewählten Standorten (s. Tab. 2) auch die gesättigte Wasserleitfähigkeit mit dem Guelph-Permeameter bestimmt (siehe REYNOLDS & ELRICK 1986; XIANG et al. 1997; AKKERMANN 1999).

Das Guelph-Permeameter ist ein Bohrlochinfiltrometer bei dem ein konstanter Wasserspiegel (Druckhöhe) im Bohrloch erhalten wird. Gemessen wird die Menge des infiltrierenden Wassers bei einer konstanten Infiltrationsrate für die eingestellte Druckhöhe. Die Mindestbodenmesstiefe beträgt 15 cm. Die Messungen wurden bei zwei Druckhöhen (5 und 10 cm) durchgeführt. Aus den ermittelten Werten für die Infiltrationsrate wurde die hydraulische Leitfähigkeit bei Feldsättigung errechnet. Die Anzahl der Messwiederholungen war unterschiedlich. Aus den Wiederholungen wurde das geometrische Mittel gewonnen.

4 Ergebnisse Bodenphysik und -mechanik

4.1 Bodenphysikalische Kennwerte von Grünlandstandorten in Sachsen

4.1.1 Trockenrohdichte

Die Trockenrohdichten der untersuchten Grünlandböden sind in 10 cm Tiefe (Tab. 4) an den meisten Standorten als „gering“ nach der KA4 (AG BODEN 1996) einzustufen. Besonders locker ist der Boden in 3 und 8 cm Tiefe in Mißlareuth und in 10 und 20 cm Langenbach (jeweils unter 1,2 g/cm³). An sieben der 11 Standorte kann diese Einstufung auch in 20 cm Tiefe (Tab.5) beibehalten werden. Lediglich auf vier Standorten (Köllitsch, Oberschindmaas und Schwaben) war ein moderater Anstieg auf eine mittlere Trockenrohdichte festzustellen.

Tabelle 4: **Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf), Luftkapazität (LK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Totwasseranteil (TW) und Trockenrohdichte (TRD) sächsischer Grünlandböden in 10-15 cm Tiefe; Standardabweichungen in Klammern**

Standort	Bodenart	Nutzung	kf n=6 [cm/d]	LK (pF 1,8) n=6 [Vol.-%]	nFK n=6 [Vol.-%]	TW n=6 [Vol.-%]	TRD n=6 [g/cm³]
Großstolpen	Lu	Mähwiese	-	-	-	-	-
Methau	Ut4	Mähwiese	1157 (737)	9,1 (4,2)	25,2 (0,9)	13,9 (1,8)	1,37 (0,07)
Thallwitz	Ut4	Mähweide	2,0 (4)	6,3 (3,7)	23,2 (1,6)	22,6 -	1,27 (0,10)
Köllitsch	Sl4	Mähweide	94 (243)	4,6 (2,1)	33,4 (0,8)	9,2 (0,8)	1,40 (0,03)
Köllitsch 1	Sl3	Mähweide	82 (174)	4,3 (1,7)	25,6 (1,5)	10,4 (0,5)	1,60 (0,07)
Wildenhain	Sl3	Mähweide	386 (114)	22,0 (1,7)	21,5 (1,9)	9,0 (1,3)	1,26 (0,08)
Christgrün	Slu	Mähweide	1088 (154)	11,8 (2,6)	15,8 (2,6)	20,4 (2,4)	1,38 (0,06)
Plauen	Ls2	Mähwiese	1283 (257)	18,4 (4,0)	17,1 (2,1)	17,9 (0,8)	1,24 (0,06)
Oberschindmaas	Slu	Mähwiese	616 (391)	7,7 (3,04)	23,2 (2,5)	14,3 (1,9)	1,45 (0,04)
Mißlareuth (3cm)	Lu	Mähweide	3347 (1522)	11,2 (3,6)	26,1 (10,6)	18,8 (4,1)	1,16 (0,1)
(8cm)	Ls2		- -	4,9 (3,0)	32,8 (3,7)	18,2 (1,9)	1,17 (0,03)
Langenbach	Lu	Mähwiese	843 (3224)	9,1 (1,64)	22,2 (0,7)	23,8 (0,6)	1,19 (0,05)
Schwaben	Ut4	Mähweide	1945 (3540)	5,4 (2,18)	20,7 (2,7)	19,1 (1,5)	1,45 (0,09)

Tabelle 5: **Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf), Luftkapazität (LK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Totwasseranteil (TW) und Trockenrohdichte (TRD) sächsischer Grünlandböden in 20 - 25 cm Tiefe; Standardabweichungen in Klammern**

Standort	Bodenart	Nutzung	kf n=6 [cm/d]	LK $_{(pF\ 1,8)}$ n=6 [Vol.-%]	nFK n=6 [Vol.-%]	TW n=6 [Vol.-%]	TRD n=6 [g/cm^3]
Großstolpen	Lu	Mähwiese	374 (387)	10,6 (4,3)	24,5 (1,8)	18,1 -	1,24 (0,07)
Methau	Ut4	Mähwiese	932 (485)	7,7 (2,8)	24,2 (1,7)	14,7 (1,4)	1,41 (0,07)
Thallwitz	Ut4	Mähweide	50 (1212)	6,7 (3,2)	23,6 (0,9)	21,4 -	1,28 (0,08)
Köllitsch	Sl4	Mähweide	370 (278)	10,0 (3,3)	27,0 (2,2)	6,2 (1,0)	1,50 (0,03)
Köllitsch 1	Sl3	Mähweide	46 (68)	6,5 (2,7)	24,9 (2,6)	11,6 (0,5)	1,51 (0,11)
Wildenhain	Sl3	Mähweide	750 (185)	19,0 (1,7)	21,8 (1,4)	5,7 (0,8)	1,42 (0,03)
Christgrün	Slu	Mähweide	941 (442)	11,6 (6,7)	15,4 (0,9)	19,7 (3,0)	1,428 (0,11)
Plauen	Ls2	Mähwiese	1659 (553)	18,7 (6,0)	13,8 (1,7)	19,4 (2,1)	1,27 (0,11)
Oberschindmaas	Sl4	Mähwiese	1779 (768)	13,7 (2,2)	16,8 (2,2)	12,6 (1,7)	1,51 (0,05)
Langenbach	Tu3	Mähwiese	500 (1740)	10,5 (3,7)	20,3 (1,0)	25,7 (0,6)	1,15 (0,10)
Schwaben	Ut4	Mähweide	875 (1434)	3,7 (1,3)	21,7 (2,8)	16,7 (1,6)	1,54 (0,05)

4.1.2 Luftkapazität

Die Grobporenvolumina bzw. Luftkapazitäten der untersuchten Böden liegen in einem weiten Bereich zwischen 4 Vol.-% und 22 Vol.-% (siehe Tab. 4 und 5). Davon weisen die Untersuchungsstandorte Thallwitz, Köllitsch, Köllitsch 1, Oberschindmaas und Schwaben in 10 cm Tiefe geringe Luftkapazitäten von 4,3 – 7,7 Vol.-% auf. Auf dem intensiv beweideten Standort Mißlareuth (stallnah) ist die Luftkapazität in 8 cm Tiefe mit 4,9 Vol.-% ebenfalls gering. Nach LEBERT et al. (2004) stellt eine Luftkapazität von unter 8 Vol.-% ein Kriterium für das Vorliegen einer schädlichen Bo-

denverdichtung dar. Unter dem Blickwinkel der Luftkapazität sind daher diese Standorte eher ungünstig einzustufen.

An allen anderen Standorten sind die Werte in 10 cm Bodentiefe hoch oder im bodentypischen Bereich. In Wildenhain und Plauen sind die Luftkapazitäten mit 22 Vol.-% bzw. 18 Vol.-% sehr hoch. In 20 cm Tiefe liegen die Werte der Luftkapazität auf den intensiv beweideten Standorten in Thallwitz, Köllitsch 1 (Winterweide) und Schwaben (stallnah) sowie unter reiner Schnittnutzung in Methau ebenfalls unterhalb von 8 Vol.-% und somit in einem ungünstigen Bereich. Auf den Standorten Thallwitz, Köllitsch 1 und Schwaben bestehen somit sowohl in der Unter- als auch in der Oberkrume ungünstige Bedingungen in Bezug auf die Luftkapazität.

Betrachtet man die Luftkapazitäten über alle Standorte und Tiefen, so fällt auf, dass die ungünstigen Luftkapazitäten am häufigsten in der Oberkrume festzustellen waren. Dies bestätigt in gewissem Maße die Annahme, dass dieser Bodenbereich im Grünland besonders stark mechanisch beansprucht wird. Um eindeutiger klären zu können, inwiefern an diesen Standorten eine schädliche Bodenverdichtung vorliegt, muss jedoch zusätzlich noch die gesättigte Wasserleitfähigkeit mit betrachtet werden. Dies erfolgt im Kapitel 4.1.5.1.

4.1.3 Nutzbare Feldkapazität

Die nutzbaren Feldkapazitäten sind gemäß Tab. 4 und 5 an allen Standorten, außer Christgrün und Plauen, sehr hoch, wobei die nutzbare Feldkapazität in Plauen bodenarttypisch ist (AG BODEN 1996). In 20 cm Tiefe ist in Oberschindmaas die nutzbare Feldkapazität relativ gering.

Geringere nutzbare Feldkapazitäten treten hier analog zu hohen Luftkapazitäten auf. Standorte mit geringen Luftkapazitäten weisen hingegen sehr hohe nutzbare Feldkapazitäten auf, z.B. Köllitsch, Köllitsch 1 und Mißlareuth. Insgesamt weisen die untersuchten Grünlandböden im Krumenbereich eine gute Wasserspeicherfähigkeit auf.

4.1.4 Totwasser

Die Totwasseranteile reichen von niedrigen Anteilen auf den Sandstandorten (5,7 – 11,6 Vol.-%) bis hohen Anteilen (über 20 Vol.-%) auf den schluff- und tonreicheren Standorten.

4.1.5 Wasserleitfähigkeit

4.1.5.1 Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Die gesättigten Wasserleitfähigkeiten der untersuchten Grünlandstandorte sind sowohl in der Ober- als auch in der Unterkrume überwiegend als hoch bis äußerst hoch (AG BODEN 1996) einzustufen (Tab. 4 u. 5). Auf den Mähweiden Köllitsch und Köllitsch 1 liegen sie überwiegend im mittleren Bereich. Insgesamt weisen die Grünlandstandorte somit eine sehr gute Wasserleitfähigkeit in der gesamten Krume auf. Lediglich die Weide in Thallwitz weist in 10 cm Tiefe mit 2 cm/d eine sehr geringe Wasserleitfähigkeit auf. Eine Leitfähigkeit unterhalb von 8 cm/d ist ein wichtiges Kriterium

zur Bestimmung schädlicher Bodenverdichtungen. Gleichzeitig lag an diesem Standort in dieser Tiefe die Luftkapazität unter 8 Vol.-%. Somit stellt dieser Standort unter den vorliegenden Untersuchungen den einzigen Fall dar, bei dem ein deutlicher Hinweis auf eine schädliche Bodenverdichtung besteht, da hier gleichzeitig sowohl die Luftkapazität als auch die Wasserleitfähigkeit unterhalb der Werte liegen, die im Hinblick auf eine ausreichende Funktionalität des Bodengefüges für nötig erachtet werden.

4.1.5.2 Gesättigte Wasserleitfähigkeit nach Guelph

Die Wasserleitfähigkeiten, die im Feld mittels Guelph-Permeameter als ks-Wert gemessen wurden, sind methodisch bedingt bedeutend kleiner als die kf-Werte der Labormessungen, wie Tab. 6 zu entnehmen ist.

Ein Zusammenhang zwischen den ks- und den kf-Werten der gesättigten Wasserleitfähigkeit ist in Bezug auf die einzelnen Standorte nicht zu erkennen. Eher ist ein Zusammenhang zwischen den ks-Messungen und der Luftkapazität der Standorte zu erkennen. Methau, Thallwitz, Köllitsch 1 und Schwaben weisen in 10 - 20 cm Bodentiefe sowohl geringe Luftkapazitäten unter 8 Vol.-% als auch geringe gesättigte ks-Wasserleitfähigkeiten unter 8 cm/d auf.

Für die Bewertung der ks-Werte, gibt es keine gesonderte Klassifizierung. Es gilt hier, wie z.B. auch für die Bohrlochmethode nach HOOGHOUDT (1937), die übliche Klassifizierung der Werte in sechs Stufen nach der KA4 (AG BODEN 1996) bzw. nach DIN 4220, welche identisch sind. Demnach haben die Standorte Methau, Thallwitz Köllitsch 1 (in 10 cm Tiefe), Wildenhain (in 25 cm Tiefe), Oberschindmaas und Schwaben nur geringe gesättigte Wasserleitfähigkeiten unter 10 cm/d. Für die Standorte mit Leitfähigkeiten unter 10 cm/d, nach LEBERT et. al. (1996) einer von drei Indikatoren für eine schädliche Bodenverdichtung, bei denen gleichzeitig die Luftkapazitäten unter 8 Vol.-% liegen, würde man nach dieser Methode erste Anhaltspunkte für eine schädliche Bodenverdichtung vermuten.

Eine abschließende Bewertung hierzu ist allerdings noch nicht möglich. Da die Guelph-Methode noch nicht sehr verbreitet ist, ist bisher noch offen, inwiefern für die ks-Werte die gleichen Einstufungskriterien herangezogen werden können, wie für die kf-Werte. Bei den Guelph-Messungen könnte eine mögliche Bohrlochverschlämmung einen noch nicht quantifizierbaren Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Zur Klärung und Überprüfung dieser Zusammenhänge bedarf es daher zukünftig weiterer Untersuchungen.

Tabelle 6: **Mit dem Guelph-Permeameter in verschiedenen Tiefen gemessene gesättigte Wasserleitfähigkeiten (ks) von unterschiedlichen Grünlandstandorten in Sachsen; Standardabweichungen in Klammern**

Standort	Bodentiefe [cm]	ks [cm/d]	STABW	Wiederholungen
Großstolpen	20	**17**	(28)	n=5
Methau	15	**5**	(2)	n=3
	20	**5**	(5)	n=3
	40	**6**	(5)	n=2
Thallwitz	15	**3**	(3)	n=3
Köllitsch	15	**14**	(20)	n=3
	20	**10**	(7)	n=3
Köllitsch 1	15	**4**	(4)	n=3
	20	**12**	(9)	n=3
Wildenhain	15	**11**	(8)	n=3
	25	**9**	(1)	n=3
Christgrün	18	**18**	(14)	n=6
Plauen	15	**24**	(21)	n=4
	20	**21**	(8)	n=3
Oberschindmaas	15	**9**	(16)	n=3
Mißlareuth	15	**22**	(10)	n=3
Langenbach	15	**18**	(5)	n=3
Schwaben	15	**7**	(7)	n=3

4.2 Bodenmechanische Kennwerte von Grünlandstandorten in Sachsen

4.2.1 Vorbelastung

Bei Grünlandböden ist besonders der Oberboden einer Verdichtungsgefahr ausgesetzt, da er in der Regel nicht mechanisch gelockert wird. In diesem Bodenhorizont ist daher die mechanische Belastbarkeit des Bodens besonderes zu beachten Aus diesem Grund wurden hier die Tiefen 10 cm und 20 cm untersucht. Die Klassifizierung nach DVWK-Merkblatt 234/1995 der in Tabelle 7 dargestellten Vorbelastungswerte ergibt, dass sie überwiegend in den Stufen „gering“ und „mittel“ liegen (Tab. 8).

Tabelle 7: Vorbelastungen Pv bei pF = 1,8 von Oberböden (10 und 20 cm Tiefe) im sächsischen Grünland (Wiese/ Weide)

Standort	Bodenart	Nutzung	10 cm Tiefe		20 cm Tiefe	
			$Pv_{(pF1,8)}$ n = 6 [kPa]	STABW	$Pv_{(pF1,8)}$ n = 6 [kPa]	STABW
Großstolpen	Lu	Mähwiese	-		86	58,3
Methau	Ut4	Mähwiese	57	15,8	124	44,2
Thallwitz	Ut4	Mähweide	48	12,1	76	36,5
Köllitsch	Sl4	Mähweide	93	50,3	82	57,9
Köllitsch1	Sl3	Mähweide	66	37,2	88	43,3
Wildenhain	Sl3	Mähweide	86	63,6	45	13,2
Christgrün	Slu	Mähweide	49	16,1	36	8,1
Plauen	Ls2	Mähwiese	48	26,7	62	11,0
Oberschindmaas	Slu/Sl4	Mähwiese	68	32,5	47	7,0
Mißlareuth (3 cm)	Lu	Mähweide	84	67,0	-	
(8 cm)	Ls2		28	8,5	-	
Langenbach	Lu/Tu3	Mähwiese	62	45,7	98	59,2
Schwaben	Ut4	Mähweide	62	40,4	72	62,8

Die Werte streuen in beiden Tiefen zum Teil recht stark zwischen 30 % und 50 % und sind daher bezüglich der Vorbelastung als relativ heterogen anzusprechen. Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Vorbelastung und der Art der Nutzung des Grünlandbodens (Wiese, Weide, Mähweide) ist anhand der Ergebnisse nicht feststellbar.

Tabelle 8: **Klassifizierung der Vorbelastungswerte aus Tabelle 7 gemäß Tafel 4, DVWK-Merkblatt 234/1995 für 10 cm und 20 cm Bodentiefe (ohne Mißlareuth in 3 cm)**

	Anzahl der Werte					
Pv-Klasse	< 30 kPa	30 - 60 kPa	60 - 90 kPa	90 -120 kPa	120 -150 kPa	>150 kPa
	1: sehr gering	2: gering	3: mittel	4: hoch	5: sehr hoch	6: extrem hoch
10 cm	0	4	5	1	0	0
20 cm	1	3	6	1	1	0

Tabelle 9: **Vorbelastungen Pv (pF 1,8) sächsischer Grünlandböden aus Tabelle 7 gegliedert nach Bodenarten und –tiefe sowie Einstufung in Pv-Klasse (n = Anzahl der untersuchten Böden; ohne Mißlareuth in 3 cm)**

Bodenarten-hauptgruppe und Bodentiefe	Bodenarten	Mittelwert [kPa]	n =	Pv-Klasse
Sand				
10 cm	Sl3	**76**	2	3
20 cm	Sl3	**67**	2	3
Lehm				
10 cm	Slu, Sl4, Ls2	**57**	5	2
20 cm	Slu, Sl4, Ls2	**57**	4	2
Schluff				
10 cm	Lu, Ut4	**57**	4	2
20 cm	Lu, Ut4	**90**	4	4
Ton				
20 cm	Tu3	**89**	1	3

Insgesamt kann auf Grundlage der vorliegenden Daten kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Vorbelastung und der Bodenart festgestellt werden (Tab. 7 und 9).

Auch ein Trend zwischen den Werten der Ober- und Unterkrume ist nicht eindeutig festzustellen. Lediglich die Standorte mit Schluff zeigen eine deutliche Zunahme der Vorbelastung von der Pv-Klasse 2 in 10 cm Tiefe hin zur Pv-Klasse 4 in 20 cm Tiefe.

4.2.2 Scherwiderstände

Aus Kapazitätsgründen konnten nur auf ausgesuchten Standorten und ohne Wiederholung die Scherparameter bestimmt werden (Tab. 10). Die Werte werden hier daher nur der Vollständigkeit halber genannt, um einen Eindruck vermitteln.

Nach HARTGE & HORN (1991) liegt der Winkel der inneren Reibung bei den meisten Böden inzwischen 25° und 36° liegt. Vergleicht man dies mit den Werten in Tabelle 10, so zeigen sich zum Teil deutliche Abweichungen nach unten.

In Bezug auf die Kohäsion liegen die Werte bei land- und forstwirtschaftlichen Böden oft zwischen 100 – 150 kPa (HARTGE & HORN 1991). Die an den vier Grünlandstandorten gemessenen Werte liegen alle, zum Teil deutlich, unterhalb der in der Literatur angegebenen Spanne.

Tabelle 10: Kohäsion c und Winkel der inneren Reibung φ an ausgewählten Grünlandstandorten in Sachsen bei unterschiedlicher Nutzung (n = 1)

Standort	Bodenart	Nutzung	Tiefe [cm]	Winkel der innerhalb Reibung φ [°] pF 1,8	Kohäsion c [kPa] pF 1,8
Oberschindmaas	Slu	Mähwiese	10	31,4°	51,1
	Sl4		20	18,9°	13,5
Mißlareuth	Lu	Mähweide	3	5,3°	73,5
Langenbach	Lu	Mähwiese	10	14,2°	90,9
	Tu3		20	30,6°	57,9
Schwaben	Ut4	Mähweide	10	22,8°	68,2
	Ut4		20	33,4°	34,8

4.3 Zwischenfazit

Die in Sachsen untersuchten Böden unter Grünland wiesen im Bereich der Krume (0 cm bis 30 cm) überwiegend hohe gesättigte Wasserleitfähigkeiten (kf-Werte) auf.

Diesbezüglich ist hinsichtlich der Luftkapazitäten festzustellen, dass bei rund zwei Drittel der Standorte die Werte unter 8 Volumenprozent lagen. Gemäß LEBERT et al. (2004) ist dies die Grenze, unterhalb derer die Luftführung im Boden ungünstig wird.

Betrachtet man dies im Zusammenhang mit den Werten der gesättigten Wasserleitfähigkeit an diesen Standorten, so liegen insgesamt allerdings keine Anhaltspunkte für eine schädliche Bodenverdichtung vor. Gleichwohl können die vorliegenden geringen Luftkapazitäten als ein Indiz für die hohe mechanische Belastung im Grünland gewertet werden. Zukünftig sollte daher aufbauend auf den nachfolgend dargestellten Untersuchungsergebnissen nach Mitteln und Wegen gesucht wer-

den, wie insgesamt die Luftkapazität auf derartigen Flächen so verbessert werden kann, dass sie regelmäßig über 8 Vol.-% Luftkapazität im Boden liegen.

Die Tragfähigkeit (Vorbelastung) bei Feldkapazität lag bei den untersuchten Grünlandflächen überwiegend im geringeren bis mittleren Bereich bei Werten zwischen 30 kPa und 90 kPa. Hohe bis sehr hohe Vorbelastungen wurden nur an zwei Standorten festgestellt. Innerhalb dieser Spanne waren die Werte der Unterkrume und der Oberkrume an einem Standort oft recht unterschiedlich. Ebenfalls in dieser Spanne bewegten sich überwiegend alle Standorte, so dass ein Zusammenhang mit der Bodenart nicht feststellbar war. Anscheinend überlagert die intensive Durchwurzelung der Krume im Grünland die möglichen Einflüsse der Bodenart.

Beachtenswert ist, dass die Tragfähigkeit der untersuchten Grünlandböden unter feuchten Bedingungen bei Feldkapazität zum Teil deutlich unter denen in Kapitel 5 gemessenen Bodendrücken der Maschinen und Geräte zur Grünlandbewirtschaftung liegt. Dabei ist mit zu berücksichtigen, dass sich die Vorbelastung bei frischen Bedingungen (pF 2,5 bis pF 3), unter denen häufig Grünland befahren wird, nur mäßig erhöht.

5 Bodendrücke von Maschinen und Geräten zur Grünlandbewirtschaftung in sächsischen Betrieben

5.1 Silageernte

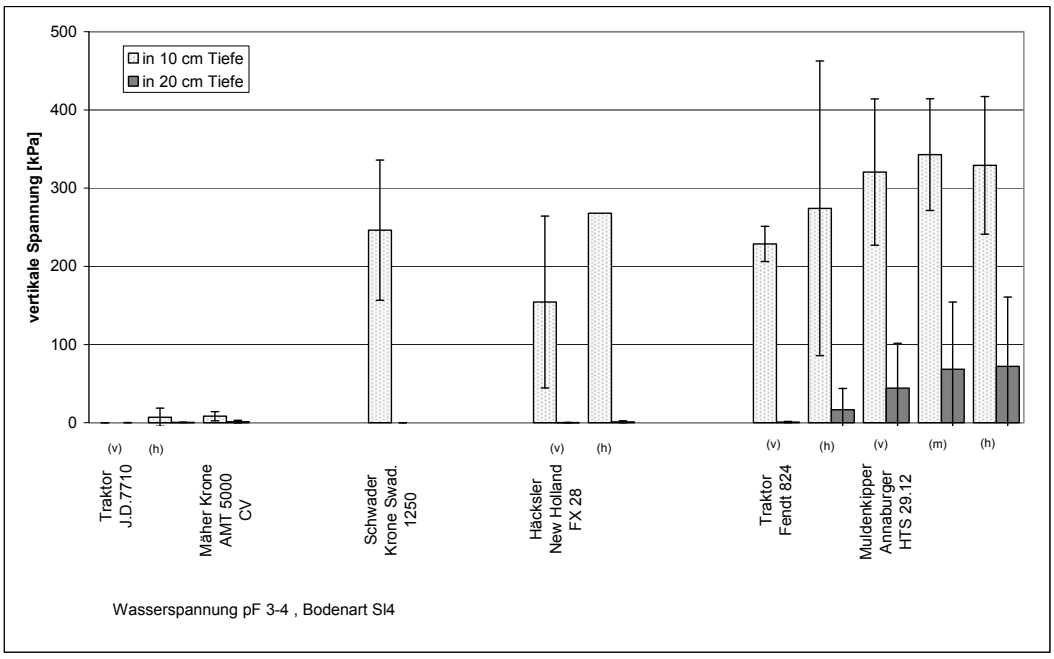


Abbildung 3: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Ernte von Grassilage in Köllitsch in 10 und 20 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Mittleres Rad = (m), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20

Die in Abbildung 3 dargestellten Bodendruckmessungen zur Silageernte in Köllitsch (16./17.05.2006) erfolgten bei einer Bodenwasserspannung von pF 3 - 4 und damit unter schwach feuchten Bedingungen. Während das Gespann aus Traktor plus Mäher in beiden Messtiefen nur sehr geringe Bodenspannungen verursachte, sind beim Schwader und beim Häcksler in 10 cm Bodentiefe relativ hohe Spannungseinträge (246 - 268 kPa) gemessen worden.

Beim dreiachsigen Muldenkipper wurden in 10 cm Bodentiefe deutlich höhere Bodendrücke bis zu 343 kPa gemessen. In 20 cm Tiefe ist dieser Wert bereits auf 72 kPa abgebaut, wofür als eine Ursache das Boden schonende Fahrwerk (Breitreifen) des Muldenkippers angenommen werden kann. Als weitere Ursache kann der schwach feuchte und somit tragfähige Boden angesehen werden, der schnell zu einer Kompensation des Bodendrucks führt.

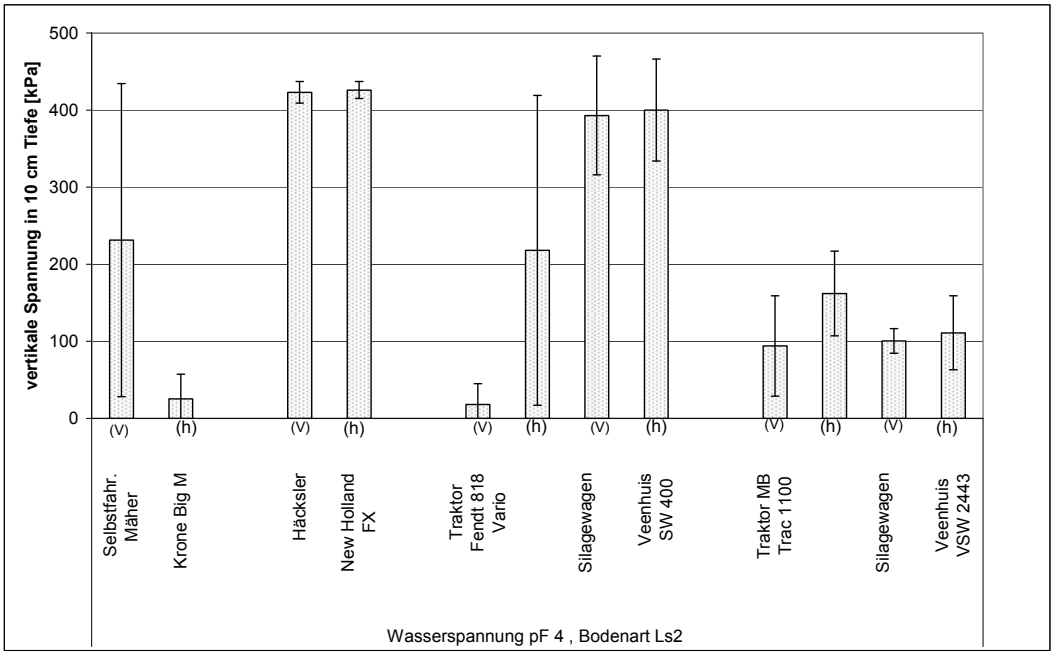


Abbildung 4: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Ernte von Grassilage in Plauen in 10 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20

Die Abbildung 4 zeigt die gemessenen Bodenspannungen unter Maschinen und Geräten bei der Ernte von Grasssilage am Standort Plauen.

Bei trockenem, tragfähigem Boden wurden hier in 10 cm Tiefe sehr hohe Bodenspannungen unter dem Häcksler (bis 426 kPa) gemessen. Ähnlich hohe Bodenspannungen verursachte das Gespann aus Traktor plus Silagewagen Veenhuis SW 400. Trotz der Ausstattung des Silagewagens mit Breitreifen werden in der Oberkrume noch verhältnismäßig hohe Bodendrücke von 400 kPa verursacht. Im Verhältnis zu einer Radlast von 5 000 kg im beladenen Zustand scheint die Aufstandsfläche noch zu klein. Dies führt zu hohen Kontaktflächendrücken und somit zu hohen Bodendrücken.

Diese Schlussfolgerung ergibt sich auch, wenn man das Gespann aus MB-Trac plus Silagewagen Veenhuis VSW 2443 hinsichtlich der verursachten Bodendrücke betrachtet. Hier wurden nur etwa halb so hohe Bodendrücke bei der Überfahrt des Gespannes gemessen. Die Ursache ist darin zu sehen, dass der am MB-Trac angehängte Silagewagen eine geringere Zuladungskapazität besitzt. Die Radlast verringert sich hier auf 3 600 kg. Trotz schmalerer Bereifung war somit die Radaufstandsfläche im Verhältnis zur Last relativ groß, so dass lediglich ein Bodendruck von 111 kPa in 10 cm Bodentiefe hervorgerufen wurde.

Vergleicht man die beiden Gespanne hinsichtlich der eingesetzten Zugmaschinen, so zeigt sich, dass der gegenüber dem Traktor Fendt 818 Vario rund 1 000 kg leichtere MB-Trac etwa gleich hohe Bodendrücke unter der Hinter -und Vorderachse verursacht. Der Grund hierfür ist in der gleich großen Bereifung der Vorder- und Hinterräder sowie in der gleichmäßigeren Verteilung der Last auf beide Achsen zu sehen. Bedingt durch das geringere Gesamtgewicht, aber auch in Folge der gleichmäßigeren Verteilung des Gewichts auf beide Achsen, verursachte der MB Trac im Vergleich zu Hinterachse des Fendt 818 Vario deutlich geringere Bodendrücke.

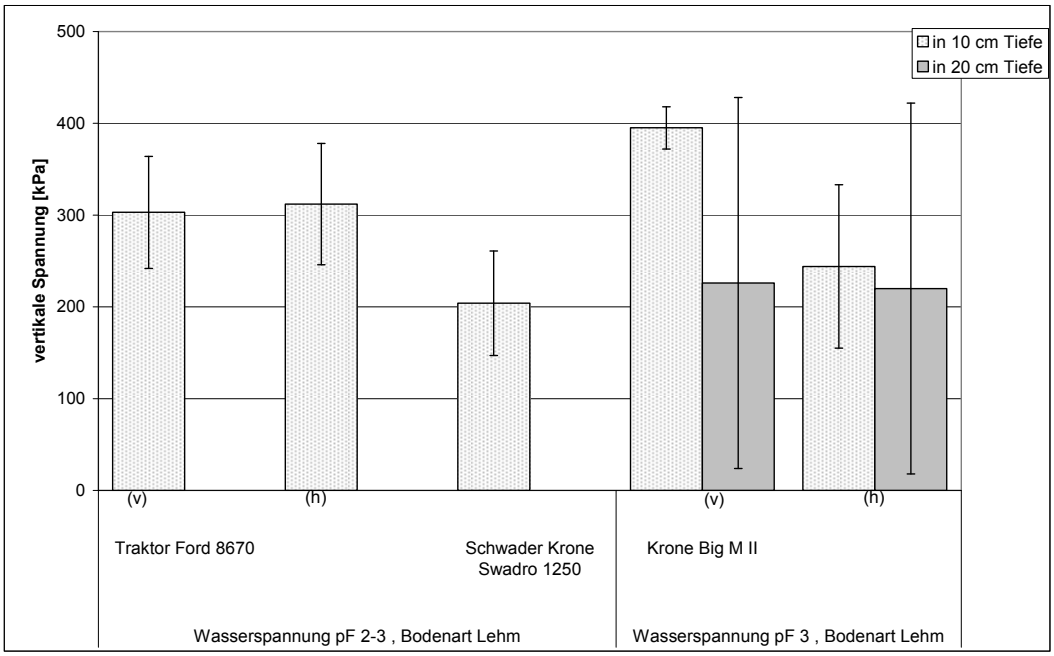


Abbildung 5: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) unter einem Traktor mit Schwader in Oberlosa in 10 cm Tiefe und unter einem selbstfahrenden Mäher in Herlasgrün in 10 und 20 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20

Die Abbildung 5 zeigt, dass beim Arbeitsgang Grüngut Schwaden mit Traktor plus Schwader in 10 cm Bodentiefe hohe Bodendrücke, insbesondere durch den Traktor, verursacht werden. Zum Zeitpunkt der Messung war der Boden im feucht-frischen Zustand (pF 2 - 3). In 20 cm Bodentiefe konnten Traktor plus Schwader nicht gemessen werden.

Beim selbst fahrenden Mäher sind es die Vorderräder, die in 10 cm Bodentiefe einen sehr hohen Bodendruck von rund 400 kPa verursachten.

In 20 cm Bodentiefe hat sich dieser aber bereits fast zur Hälfte abgebaut. Die Hinterräder verursachten sowohl in 10 cm Bodentiefe als auch in 20 cm Tiefe etwa gleiche hohe mittlere Bodendrücke im Bereich von 200 kPa. Die in 20 cm Tiefe gemessenen Bodendrücke streuen sowohl unter den Vorder- als auch unter den Hinterrädern sehr stark.

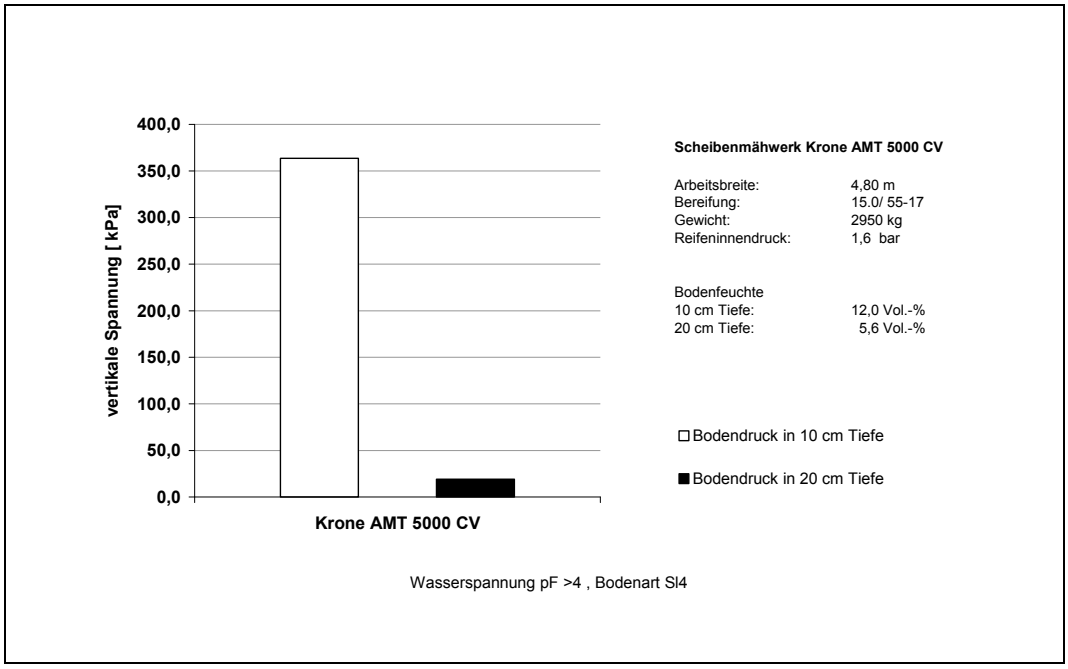


Abbildung 6: Vertikale Bodenspannungen (am 22.05.07) auf einer Grünlandfläche des LVG Köllitsch beim Mähen unter den Tragrädern des Mähwerkes in 10 cm und 20 cm Tiefe; detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 21

Die Abbildung 6 zeigt die Bodendrücke in 10 cm und in 20 cm Bodentiefe unter dem Rad eines Scheibenmähers. Der Boden war zum Zeitpunkt der Messung in 10 cm bzw. in 20 cm Bodentiefe als trocken zu bezeichnen. 10 cm Bodentiefe war die Druckbelastung unter dem Fahrwerk des Scheibenmähers mit 364 kPa sehr hoch. Bis in 20 cm Bodentiefe hatte sich dann die Bodenbelastung bereits wieder stark abgebaut auf 19 kPa. Die schmale Bereifung führt somit zu einer relativ hohen Druckbelastung der Oberkrume, bedingt aber auch einen schnellen Druckabbau bis zur Unterkrume.

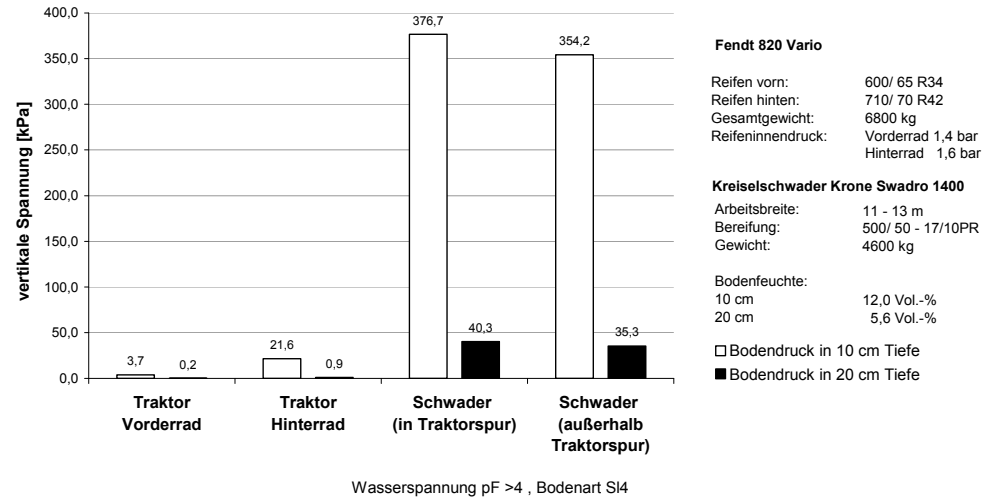


Abbildung 7: Vertikale Bodenspannungen (am 22.05.07) auf einer Grünlandfläche des LVG Köllitsch beim Schwaden in 10 cm und 20 cm Tiefe; detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 21

In Abbildung 7 sind die Bodendrücke in 10 und in 20 cm Bodentiefe unter den Rädern eines Traktors und eines Kreiselschwaders dargestellt. Die Befahrung erfolgte bei trockenen Bodenverhältnissen.

Es zeigt sich, dass sowohl das Vorderrad als auch das Hinterrad des Traktors in 10 cm Bodentiefe sehr geringe Bodendrücke in Höhe von 3,7 kPa vorne und 21,6 kPa hinten verursachte. Bis in 20 cm Bodentiefe reduzierten sich diese bereits geringen Drücke auf Werte, welche nahe Null lagen.

Das in der Traktorspur folgende Laufrad des Schwaders (3. Lastimpuls) verursachte in 10 cm Bodentiefe eine sehr hohe Belastung (367,7 KPa). Bis in 20 cm Bodentiefe reduzierte sich der Bodendruck aber deutlich auf 40,3 kPa.

Die Bodendruckmessung des Schwader-Laufrades außerhalb der Traktorspur ergab geringfügig niedrigere Bodendruckwerte sowohl in 10 cm Tiefe als auch in 20 cm Tiefe. Als Ursache für die hohen Bodendrücke in der Oberkrume ist der schmale und kleine Reifen des Schwaders anzusehen. Dies bedingt aber gleichzeitig einen schnellen Abbau des Bodendrucks bis zur Unterkrume.

Die im Frühjahr 2007 vorgenommenen Bodendruckmessungen haben gezeigt, dass auf Grünland sowohl im feuchten als auch in trockenem Zustand die Oberkrume hohe Druckbelastungen auffan-

gen kann. Der Boden ist in dieser Schicht sehr stark durchwurzelt. Die mittlere Wurzellängendichte (WLD) beträgt in 10 cm Bodentiefe 18,8 cm/cm³ (siehe dazu Abb. 23 u. 24). Der Boden ist somit bis etwa 10 bis 15 cm Tiefe filzartig durchwurzelt, wodurch eingetragene Lasten möglicherweise besser abgefedert, bzw. besser in der Fläche verteilt werden.

In diesen Fällen waren es nicht in erster Linie die schweren Traktoren, sondern die leichteren Anhängegeräte wie Scheibenmäher oder Kreiselschwader, die hohe Bodendrücke in die oberen 10 cm Bodentiefe verursachten. Hierfür war voraussichtlich die im Verhältnis zur Reifenaufstandsfläche und zum hohen Reifeninnendruck hohe Radlast die Ursache.

5.2 Heuernte

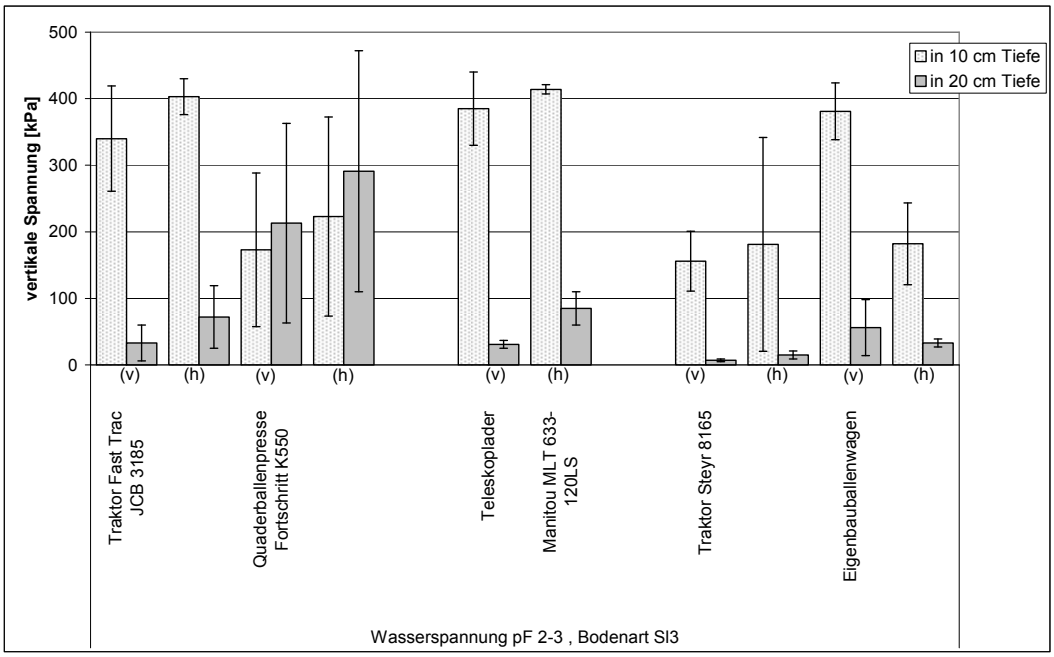


Abbildung 8: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Heuernte in Wildenhain in 10 und 20 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20

Die Heuernte in Wildenhain erfolgte am 25. Juni 2006 unter feuchten Bodenverhältnissen (Abb. 8, 9, 10). Betrachtet man die verschiedenen Arbeitsgänge, so ist zu erkennen, dass sowohl der Traktor JCB 3185, der die Großballenpresse zieht, als auch der Teleskoplader in 10 cm Tiefe unter beiden Achsen sehr hohe Bodendrücke im Bereich von 400 kPa verursachten. Allerdings bauten sich diese bis in 20 cm Bodentiefe sehr schnell auf recht niedrige Werte zwischen 31 kPa bis 85 kPa ab. Der Traktor Steyr 8165, der für den Zug des Ballenwagens eingesetzt wurde, verursachte hingegen in 10 cm Bodentiefe etwa halb so hohe Bodendrücke wie der Traktor JCB 3185 und der Teleskoplader. Dieser Bodendruck baute sich auch hier bis in 20 cm Tiefe sehr deutlich auf unter 30 kPa ab. Eine Erklärung für die hier geringeren Bodendrücke in 10 cm Bodentiefe kann

in dem rund eine Tonne geringeren Gesamtgewicht sowie in dem relativ angepassten Reifeninnendruck gesehen werden. Insgesamt ist festzustellen, dass die hier untersuchten Traktoren sowie der Teleskoplader die Unterkrume nur sehr gering belasten.

Bei dem zum Abtransport des Ballenheues eingesetzten Eigenbau-Ballenwagen mit Tandembereifung wurden durch die Vorderräder des Wagens hohe Bodendrücke (381 kPa) in 10 cm Tiefe eingetragen, was einen Hinweis auf ungleiche Beladung bzw. auf die ungünstige Lastverteilung des Eigenbau-Ballenwagens darstellt. Darüber hinaus ist die eingesetzte Zwillingsbereifung mit ihren hohen Reifeninnendrücken (s. Anhang Tab. 21) als eine weitere Ursachen zu vermuten.



Abbildung 9: Beladung des Eigenbau-Ballenwagens mit Teleskoplader

Bis in 20 cm Bodentiefe bauten sich die Bodendrücke sehr deutlich auf Werte im Bereich von 30 – 50 kPa ab.

Betrachtet man das Gespann aus Fast Trac plus Quaderballenpresse, so verursacht die Quaderballenpresse in 10 cm Bodentiefe etwa halb so hohe Bodendrücke wie der Fast Trac (Abb. 6). Allerdings bauten sich diese Drücke im Gegensatz zum Fast Trac bis in die Unterkrume nicht weiter ab, sondern blieben in etwa auf dem gleichen Niveau. Tendenziell zeigt sich hier sogar ein Effekt, welcher häufiger bei Mehrfachüberrollungen zu beobachten ist, nämlich ein Ansteigen des Druckes mit jeder weiteren Überrollung.



Abbildung 10: Quaderballenpresse im Einsatz

Insgesamt betrachtet verursacht somit die Quaderballenpresse eine mittlere Bodenbelastung von Ober- und Unterkrume, während die Zugmaschine nur die Oberkrume, diese allerdings sehr stark, , belastet.

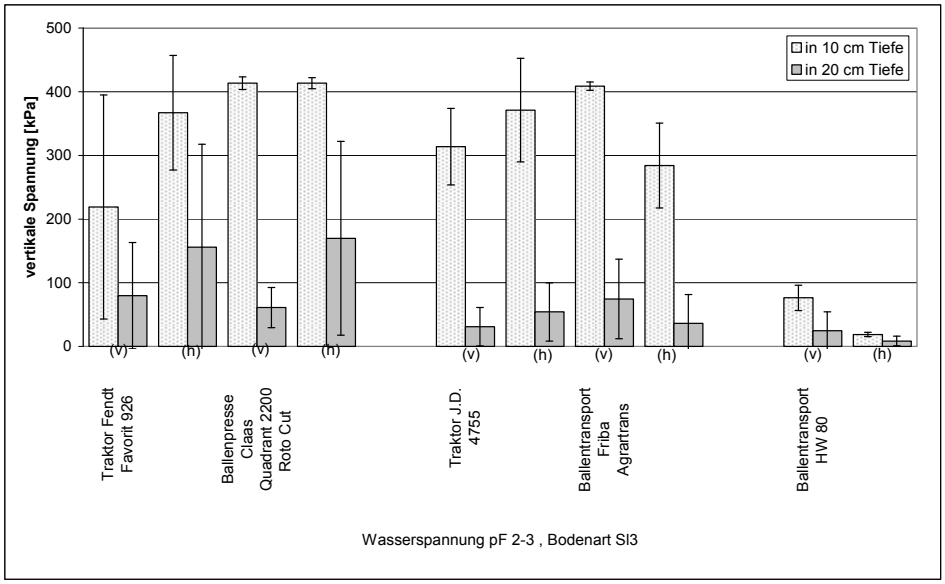


Abbildung 11: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Heuernte in Waldenburg in 10 und 20 cm Tiefe; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20

Bei der Heuernte am 13. Juni 2006 in Waldenburg wurden durch das Gespann Traktor plus Ballenpresse in die Oberkrume (10 cm Tiefe) durch die Hinterräder des Traktors sowie beide Räder der Ballenpresse hohe Lasten (bis 413 kPa) eingetragen (Abb. 11). Das Vorderrad des Traktors verursachte nur einen etwa halb so hohen Bodendruck. Diese Drücke reduzierten sich bis in 20 cm Bodentiefe sehr deutlich auf die Hälfte bis ein Viertel. Bei diesem Gespann zeigt sich tendenziell der Effekt einer mehrfachen Überrollung in Bezug auf die Bodendrücke in der Oberkrume, die hier im Rahmen der ersten drei Überrollungen ansteigen.

Ein ähnliches Bild zeigt sich diesbezüglich auch beim Abtransport der Heuballen mittels Traktor plus Ballentransportwagen in 10 cm Bodentiefe. Die Bodendrücke liegen hier in etwa auf dem gleichen Niveau des Gespanns aus Traktor und Quaderballenpresse. Ebenfalls steigen hier die Bodendrücke tendenziell im Rahmen der ersten drei Überrollungen an.

Bis in 20 cm Bodentiefe hatten sich die Bodendrücke aber ebenfalls wieder stark auf 9 kPa bis 75 kPa abgebaut.

5.3 Gülledüngung

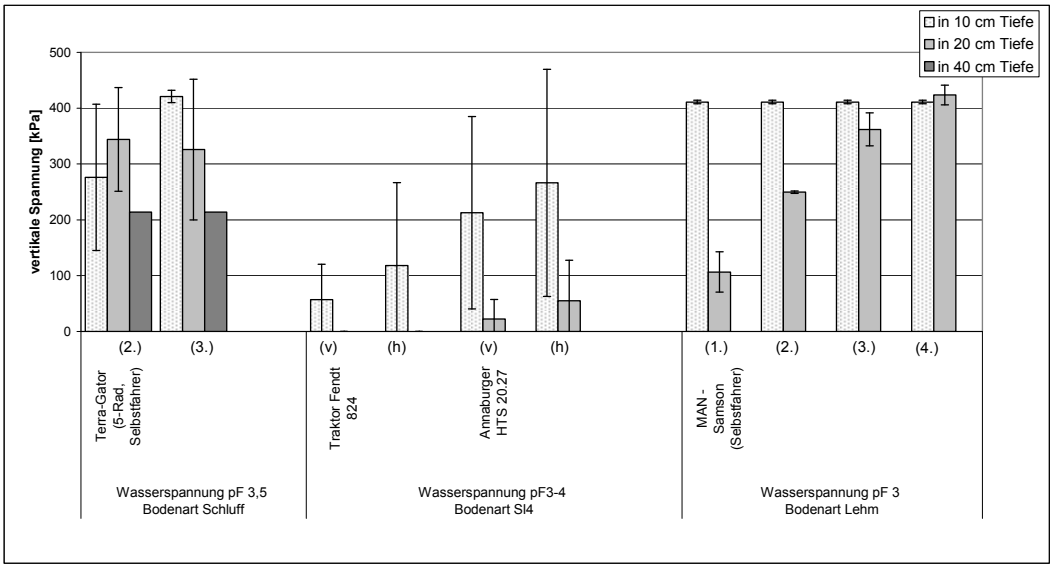


Abbildung 12: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) bei der Gülledüngung in Methau (10 cm, 20 cm und 40 cm Tiefe) sowie in Köllitsch und Langenbach (10 und 20 cm Tiefe); Vorderrad = (v), Hinterrad = (h), Achse = (1. – 4.); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 20

In Abbildung 12 werden unterschiedliche Möglichkeiten der Gülleausbringung auf Grünland bei etwa gleichen Verhältnissen der Bodenfeuchte gegenübergestellt.

Beim selbst fahrenden Terra-Gator konnte das mittig laufende Vorderrad nicht gemessen werden. Trotz der großvolumigen Bereifung wurden unter den Rädern der ersten und zweiten Hinterachse sehr hohe Bodendrücke in der Oberkrume festgestellt. Obwohl die Verteilung der Last auf die beiden hinter Achsen in etwa gleich war, stieg vermutlich in Folge der Überrollung der Bodendruck unter dem zweiten Hinterrad in 10 cm Bodentiefe nochmals um 100 kPa auf rund 400 kPa an.

In den übrigen Bodentiefen wurden jeweils um 330 kPa in 20 cm Tiefe und um 210 kPa in 40 cm Bodentiefe gemessen. Somit traten selbst im Unterboden noch relativ hohe Bodendrücke auf. Messungen einer zweiten und dritten Überfahrt mit dem Terra-Gator zeigen, dass hier die Drücke in etwa auf dem gleichen Niveau blieben wie bei der ersten Überfahrt (s. Anhang Tab. 21). Im Unterboden jedoch war eine deutliche Verminderung des Spannungseintrages auf 70 bis 90 KPa festzustellen. Erklärung hierfür könnte eine Konsolidierung des Oberbodens durch die Überrollungen sein, welche dazu führt, dass diese Schicht den größten Teil der eingetragenen Belastung auffängt.

Beim vierachsigen MAN-Güllefahrzeug ist die Gesamtlast relativ gleichmäßig auf alle vier Achsen verteilt. Die Bereifung war jedoch eher für Straßenfahrten ausgelegt. Ebenso war der Reifeninnendruck mit 3,8 bar an Straßenfahrten orientiert.

So werden in 10 cm Bodentiefe gleichmäßig von allen vier Rädern sehr hohe Bodendrücke in Höhe von 411 kPa verursacht. In 20 cm Bodentiefe baute sich dann dieser Druck unter dem ersten Rad um 75 % auf rund 100 kPa ab. Die Überrollungen der nachfolgenden drei Räder führten jedoch dazu, dass der Bodendruck in dieser Tiefe sukzessive wieder auf das Niveau in der Oberkrume anstieg.

Bei einer zweiten Überfahrt (s. Anhang Tab. 21) lagen dann die Bodendrücke in der Unterkrume gleichmäßig etwas über 400 kPa und somit auf dem Niveau der Bodendrücke in der Oberkrume. Anscheinend führte die Konsolidierung infolge der ersten Überfahrt dazu, dass die Bodenspannungen in der Oberkrume nicht weiter abgebaut wurden, so dass sie in der Unterkrume in gleicher Höhe wirksam wurden.

Beim Gespann aus Traktoren und Güllewagen wurden im Vergleich zu den Selbstfahrern deutlich geringere Bodendrücke in 10 cm Bodentiefe verursacht. Dabei ist ein Überrollungseffekt festzustellen. Dieser bedingte, dass der Bodendruck von 57 kPa unter dem Vorderrad des Traktors auf rund 270 kPa unter dem letzten Rad des Güllewagen Anstieg Dabei streuten die Werte sehr stark (STAW: 204).

In 20 cm Bodentiefe wurden dann unter dem Traktor keine und unter dem Güllewagen nur noch sehr geringe Bodendrücke in Höhe von 22 kPa – 55 kPa gemessen.

Die Messungen zu einer zweiten Überfahrt zeigten grundsätzlich das gleiche Bild (s. Anhang Tab. 21). In Folge der Konsolidierung durch die erste Überfahrt lagen hier allerdings die Bodendrücke in 10 cm Bodentiefe unter dem Vorderrad des Traktors 100 kPa und rund 80 kPa unter dem Hinterrad niedriger als bei der ersten Überfahrt. Auch in der Unterkrume war ein moderater Anstieg des Druckniveaus festzustellen. Überrollungsbedingt stiegen hier die Drücke von geringen 13 kPa unter dem Vorderrad des Traktors auf moderate 94 kPa unter dem letzten Rad des Güllewagens an.

5.4 Walzen

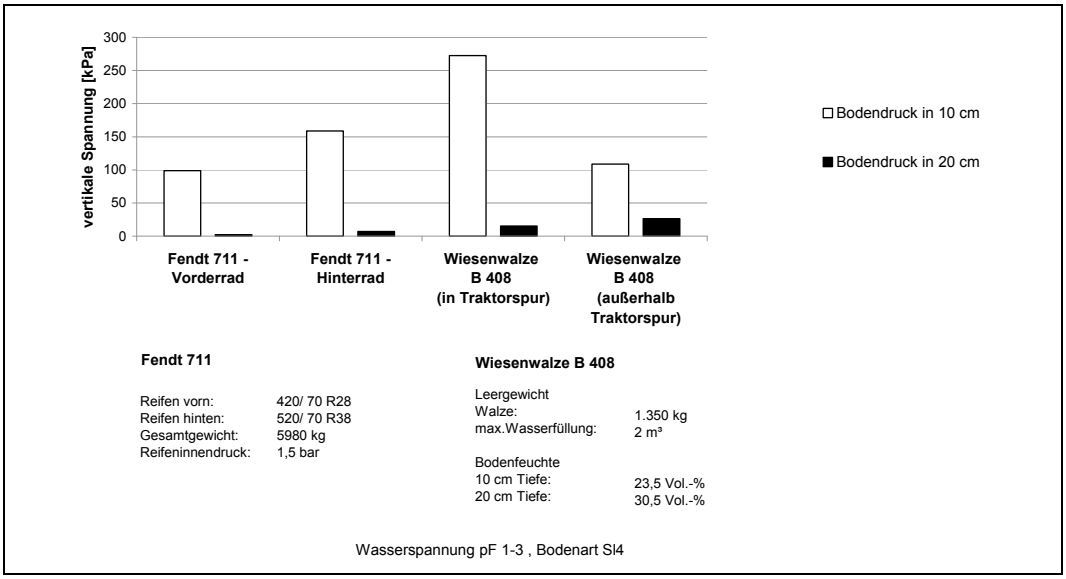


Abbildung 13: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) beim Walzen einer Grünlandfläche des LVG Köllitsch in 10 cm und 20 cm Tiefe (30.03.07); Vorderrad = (v), Hinterrad = (h), Achse = (1. – 4.); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 21

Die Abbildung 13 zeigt die Bodendrücke, die unter einem Gespann aus einem Traktor und einer mit wassergefüllten Wiesenwalze in 10 cm und in 20 cm Bodentiefe gemessen wurden.

Der Bodenfeuchte war zum Zeitpunkt der Messung in 10 cm Bodentiefe als feucht und in 20 cm Bodentiefe als bis sehr feucht zu bezeichnen. Die in 10 cm Bodentiefe über den Traktor eingetragenen Drücke lagen bezüglich der Vorder- und Hinterräder bei 99 kPa bzw. 158 kPa. Sie bauten sich bis in 20 cm Bodentiefe stark ab, auf 2 kPa vorne bzw. 7 kPa hinten.

Der Bodendruck in der Traktorspur unter der Walze erreichte in 10 cm Bodentiefe 273 kPa. In 20 cm Bodentiefe hatte sich dieser Wert sehr stark auf 15 kPa abgebaut. Als Ursache hierfür ist die geringe Aufstandsfläche anzusehen. Insgesamt verdeutlichen diese Werte sehr eindrucksvoll die Wirkungsweise einer Wiesenwalze, die nur hohe Bodendrücke in der Oberkrume zur Einebnung

sowie zur Herstellung des Bodenschlusses hervorrufen soll. Auf Grund der geringen Aufstandsfläche ist die Tiefenwirkung des Bodendrucks gleichzeitig aber gering.

Die Messung des Walzendrucks außerhalb der Traktorspur zeigt, dass hier in 10 cm Bodentiefe nur noch halb so geringe Bodendrücke in Höhe von 109 kPa verursacht werden. In 20 cm Bodentiefe baute sich dieser Wert ebenfalls wie im Bereich der Traktorspur sehr stark auf einen geringen Wert in Höhe von 27 kPa ab.

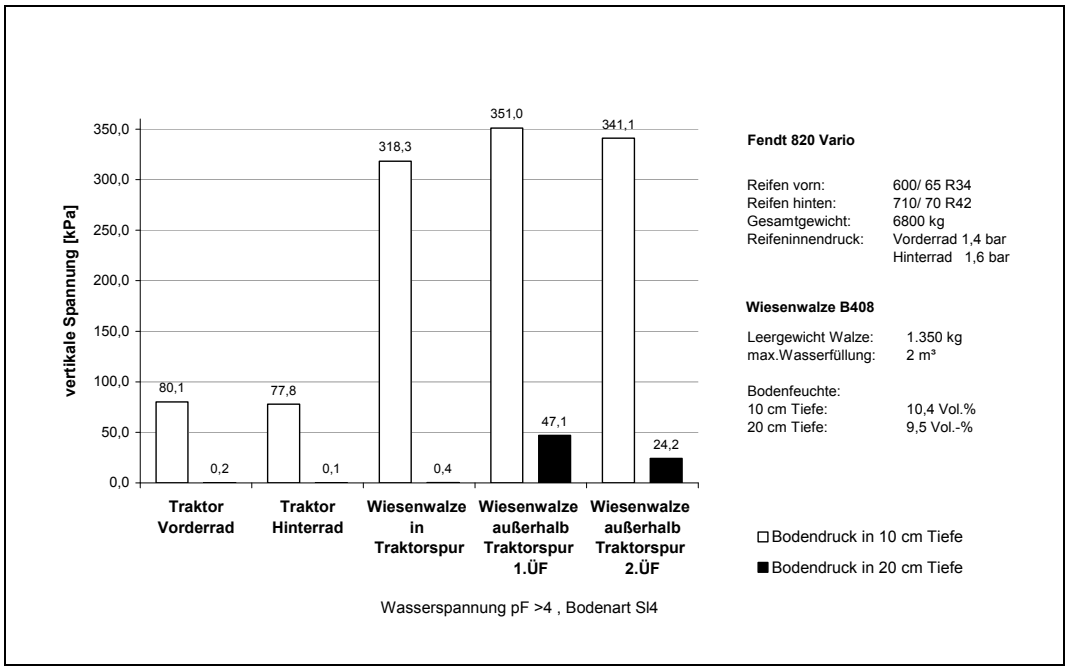


Abbildung 14: Vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) beim Walzen einer Grünlandfläche des LVG Köllitsch in 10 cm und 20 cm Tiefe (23.05.07); Vorderrad = (v), Hinterrad = (h), Achse = (1. – 4.); detaillierte Angaben zu den Maschinen s. Anhang Tab. 21

Die Abbildung 14 zeigt eine weitere Messung der Bodendrücke unter dem Gespann aus Traktor und einer wassergefüllten Wiesenwalze unter trockenen Bodenbedingungen Ende Mai 2007. Die Bodendrücke lagen unter den Vorder- bzw. Hinterrädern des Traktors in 10 cm Bodentiefe mit 80 kPa bzw. 78 kPa deutlich niedriger als bei der Befahrung Ende März 2007. Als eine Ursache hierfür ist anzusehen, dass ein anderer Traktor mit einer größeren Bereifung eingesetzt wurde. Eine weitere Ursache kann in der erheblich geringeren Bodenfeuchte gesehen werden

In 20 cm Bodentiefe waren unter den Traktorrädern kaum noch Bodendrücke messbar. Die Messungen unter der Walze ergaben in der Traktorspur in 10 cm Bodentiefe Drücke in Höhe von 318 kPa. Außerhalb der Traktorspur wurden bei der 1. Überfahrt 351 kPa und bei der 2. Überfahrt

341 kPa gemessen. Im Vergleich zu den Messungen im März lagen hier somit die Druckwerte bedeutend höher.

In 20 cm Tiefe wurde unter der Walze in der Traktorspur kaum ein Bodendruck gemessen. In den nur von der Walze überrollten Bereichen außerhalb der Fahrspuren baute sich der Bodendruck ähnlich wie Ende März 2007 sehr stark auf 47 kPa bei der ersten Überfahrt sowie auf 24 kPa bei der zweiten Überfahrt ab.

Bezüglich der gegenüber den Messungen im März auffallend hohen Bodendrücke unter der Walze in 10 cm Bodentiefe im Mai 2007 kann als Ursache vermutet werden, dass die Walze bei den Märzmessungen aufgrund des feuchten weichen Oberbodens tiefer einsinken konnte. Dadurch vergrößerte sich die Kontaktfläche der Walze und folglich verringerte sich der Kontaktflächendruck. Der sehr trockene Boden Ende Mai 2007 ließ hingegen ein Einsinken der Walze nicht zu, wodurch letztendlich das Gewicht der Walze über eine kleinere Kontaktfläche abgestützt wurde und somit höhere Kontaktflächendrücke verursachte. Dies hatte dann auch höhere Bodendrücke in der Oberkrume zur Folge.

5.5 Überfahrungsintensität

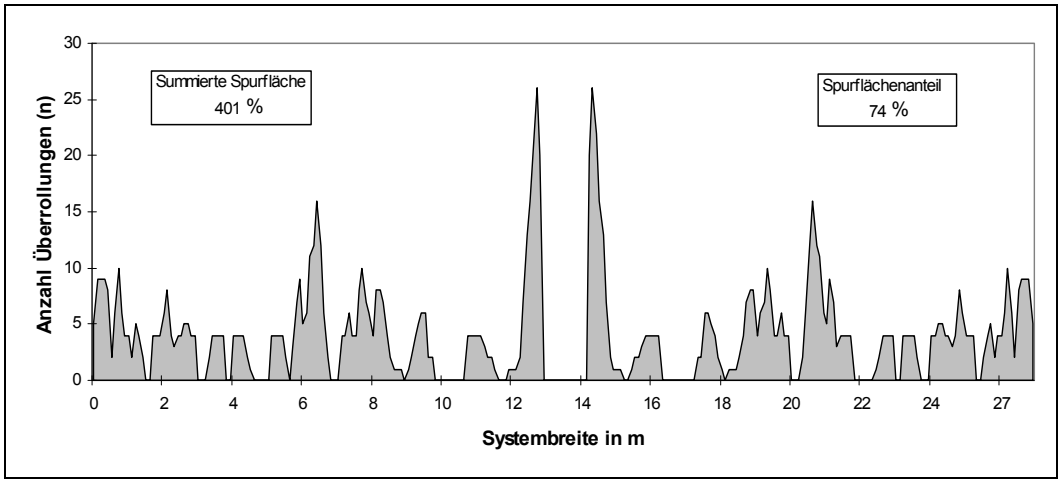


Abbildung 15: Abschätzung der Spurenverteilung und Überrollhäufigkeit bei einer zweischnittigen Grünlandnutzung

Die Abbildung 15 zeigt beispielhaft für eine zweischnittige Grünlandnutzung die Anzahl der Überrollungen sowie deren Spurflächenanteil, orientiert an der Systembreite des Düngerstreuers von 27 m. Dazu wurden die Arbeitsgänge Schleppen (1 x), Walzen (1 x), mineralische Düngung (1 x), Mähen (2 x), Wenden (2 x), Schwaden (2 x), Pressen (1 x), Abtransport des angewelkten bzw. getrockneten Grüngutes mit Ladewagen (1 x) bzw. des Pressgutes mit Ballenwagen (1 x) hinsichtlich der Flächenanteile der einzelnen Fahrspuren ausgewertet.

Für eine zweischnittige Grünlandnutzung ohne Gülledüngung und bei einer Systembreite des Mineraldüngerstreuers von 27 m beträgt die summierte Spurfläche rein rechnerisch 401 % der Fläche des Schlages. Bei Annahme einer gleichmäßigen Spurverteilung auf der gesamten Fläche würde das einer 4-fachen Überfahrung der gesamten Fläche entsprechen. Da aber in der Praxis nur 74 % der Fläche überrollt werden, wird dieser Bereich faktisch noch häufiger als vier mal befahren. Dafür wird aber 26 % dieses Grünlandes überhaupt nicht befahren. In Abhängigkeit von der hier eingesetzten Technik und der damit verbunden Anzahl der Arbeitsgänge ergeben sich Flächenanteile mit bis zu 26 Radpassagen, dies tritt jedoch nur auf 1 % der Fläche auf.

Betrachtet man die einzelnen Arbeitsgänge, ist erwartungsgemäß festzustellen, dass diejenigen mit den kleinen Arbeitsbreiten die meisten Spuren verursachen. So werden durch die Arbeitsgänge Schleppen (6 Spuren) 11 %, Walzen (18 Spuren) 33 %, Mähen (9 Spuren) bei zwei Überfahrten zusammen 20 %, Wenden (8 Spuren) bei zwei Überfahrten zusammen 18 %, Schwaden (9 Spuren) bei zwei Überfahrten zusammen 20 %, Futter bergen mit Ladewagen (16 Spuren) 36 %, Heu Pressen (10 Spuren) 30 %, Abtransport des Pressgutes mit Ballenwagen (10 Spuren) 22 % und mineralische Düngung (2 Spuren) 4 % des Schlages überrollt. Jede Überfahrt hat in Bezug auf die Bodenbelastung ihre eigene Dynamik. Beispielsweise steigen die Radlast und der Kontaktflächendruck (KFD) der Räder eines Anhängers mit zunehmender Beladung. Arbeitsgänge mit hohem Überrollungsanteil und hohem Kontaktflächendruck wirken besonders belastend auf den Boden.

In Verbindung mit den in Kapitel 5 dargestellten Ergebnissen aus den Bodendruckmessungen zu den hier aufgeführten Maschinen zeigt diese beispielhafte Abschätzung der überrollten Fläche, dass auf Grünland bestimmte Flächenanteile durchaus erhöhten mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. Dies gilt vor allem in Bezug auf die Grasnarbe und die Unterkrume des Grünlandes. Orientiert man sich an den Bodendruckmessungen (s. Kapitel 5) zu den einzelnen, hier ausgewerteten Arbeitsgängen, so wird aber auch deutlich, dass die Unterkrume nur noch stärkeren Druckbelastungen durch die großen Ballenpressen, Güllefahrzeuge und vereinzelt durch die Traktoren ausgesetzt ist.

Betrachtet man somit den Spurflächenanteil insgesamt, so ergibt sich im Hinblick auf die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Kapitel 5.1 – 5.5 für Beratung, Landtechnik und Grünlandbewirtschafter durchaus noch Handlungs- und Klärungsbedarf.

Landtechnik und Grünlandbewirtschafter sollten vor allem prüfen, wie sich der Anteil der überrollten Fläche weiter minimieren lässt. Zudem ist eine weitere Verringerung der Kontaktflächendrücke anzustreben. Boden schonende Fahrwerke mit großvolumigen Reifen, die für Feldfahrten mit Reifeninnendrücken von unter 1 bar eingesetzt werden können, oder Gleisbandfahrwerke, weisen den Weg für eine das Bodengefüge schonende Befahrung.

Dabei ist zu betonen, dass hierbei insbesondere die Schonung der Narbe und der Oberkrume im Vordergrund steht. Damit unterscheidet sich das Grünland noch vom Ackerland, bei dem bezüglich der mechanischen Belastung vor allem der Unterboden im Fokus steht. Mit zunehmendem Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat kommen aber auf den Ackerbau zunehmend Anforderungen bezüglich der mechanischen Belastung zu, die denen im Grünland vergleichbar sind.

5.6 Zwischenfazit

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass viele der in Sachsen zur Grünlandbewirtschaftung üblichen Maschinen und Geräte hohe vertikale Bodenspannungen in der Oberkrume verursachen. Diese liegen häufig doppelt bis viermal so hoch wie die Tragfähigkeit der Böden bei Feldkapazität. Sie liegen somit häufiger in Bereichen von rund 200 kPa bis 400 kPa. Dieser Befund kann unter anderem auch als eine Ursache für das Auftreten von Narbenschäden in hängigem Gelände gesehen werden. Da hier der Druck in eine horizontale und vertikale Komponente zerlegt wird, wirkt diese zusätzlich zur horizontalen Radzugkraft, so dass sich die Kraftkomponenten mit einer scherenden Wirkung am Hang erhöhen.

Gleichzeitig ist aber festzustellen, dass sich bei vielen Maschinen und Geräten diese hohen Bodendrücke sehr schnell und deutlich bis in die Unterkrume reduzieren. Dadurch wirken hier nur noch Bodendrücke, die meist im Bereich der Vorbelastung des Bodens liegen. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, dass von STAHL et. al. (2005) unter ähnlichen Maschinen und Geräten auf Ackerflächen ein vergleichbarer Druckabbau erst von der Unterkrume bis zum Unterboden gemessen werden konnte.

Dieser Befund kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht eindeutig erklärt werden. Hierzu sind noch weitere Untersuchungen in Zukunft nötig. Ein Erklärungsansatz könnte sein, dass die intensive Durchwurzelung der Oberkrume im Grünland Bodendrücke besser auffangen und kompensieren kann, z.B. indem das intensive Wurzelgeflecht auch zur Seite hin mehr Druck auffängt und damit gleichzeitig auch eine tiefe Spurbildung im Boden verhindert.

Lediglich bei den schweren selbst fahrenden Maschinen zur Gülleausbringung verhielt sich die Ausbreitung des Bodendrucks ähnlich wie auf Acker. Sie verursachten in der Unterkrume und im Unterboden ähnlich hohe Bodendrücke wie viele Maschinen auf Ackerflächen.

Insgesamt zeigt sich, dass bezüglich der dynamischen Bodendruckmessungen auf landwirtschaftlichen Böden noch einer Reihe offener Fragen im Rahmen zukünftiger Forschungen zu klären sind.

6 Kontrollierte mechanische Belastung einer Grünlandfläche im LVG Köllitsch

6.1 Versuchsanlage

Um das Verhalten des Bodens und der Grasnarbe nach definierter Beanspruchung zu überprüfen, wurde ein Befahrungsversuch auf einer ausgesuchten Praxisfläche eingerichtet. Die Grünlandfläche (Mähweide) gehört zum Lehr- und Versuchsgut Köllitsch (85 m Höhe, 500 mm Niederschlag, 9,8°C Jahresdurchschnittstemperatur) und liegt im NSG „Alte Elbe Kathewitz“.

Geprüft wurden zwei verschiedene Befahrungssituationen „stark“ und „normal“. Dazu wurde im Projektzeitraum von Mai 2006 bis Mai 2007 jeweils in einer Fahrspur (s. Abb. 16) mit allen für die Gründlandbewirtschaftung eingesetzten Maschinen und Geräten gefahren, also die jeweils maximal mögliche Belastung simuliert.

Unter „normal befahren“ ist die Befahrung des Bodens mit den betriebsüblichen Maschinen und Geräten zur Gülleausbringung und zur Bereitung von Anwelksilage zu verstehen. Konkret für den Zeitraum Mai 2006 bis Mai 2007 bedeutete dies, dass auf die Versuchsfläche die mechanische Belastung einer viermaligen Bereitung von Anwelksilage zu den in Tabelle 11 aufgeführten Terminen erfolgte. Hierbei kamen jeweils die in Tab. 12 aufgeführten Maschinen und Geräte in der verfahrensbedingten Abfolge zum Einsatz. Zu den hier aufgeführten Maschinen erfolgten im Frühjahr 2007 auf einer vergleichbaren Fläche entsprechende Bodendruckmessungen. Die Ergebnisse hierzu sind im Kapitel 5 in Bezug auf die einzelnen Maschinen und Geräte sowie im Anhang in Tabelle 21 dargestellt.

Unter „stark befahren“ war zusätzlich eine weitere Befahrung des Bodens mit dem Güllewagen, also mit einer hohen Radlast und einem Kontaktflächendruck von über 150 kPa, auf feuchtem bis nassem Boden nahe Feldkapazität geplant. Dies sollte mehrfache Überfahrungen, wie sie bei der Gülledüngung im Frühjahr auf bestimmen Bereichen eines Schlages durchaus vorkommen, widerspiegeln.

In Folge des Frühjahrshochwassers 2006 konnte diese zusätzliche Überfahrung allerdings erst nach dem ersten Schnitt erfolgen. Der Boden war hier nicht mehr feucht bis nass, sondern bereits gut abgetrocknet und daher als schwach feucht bis trocken anzusprechen.

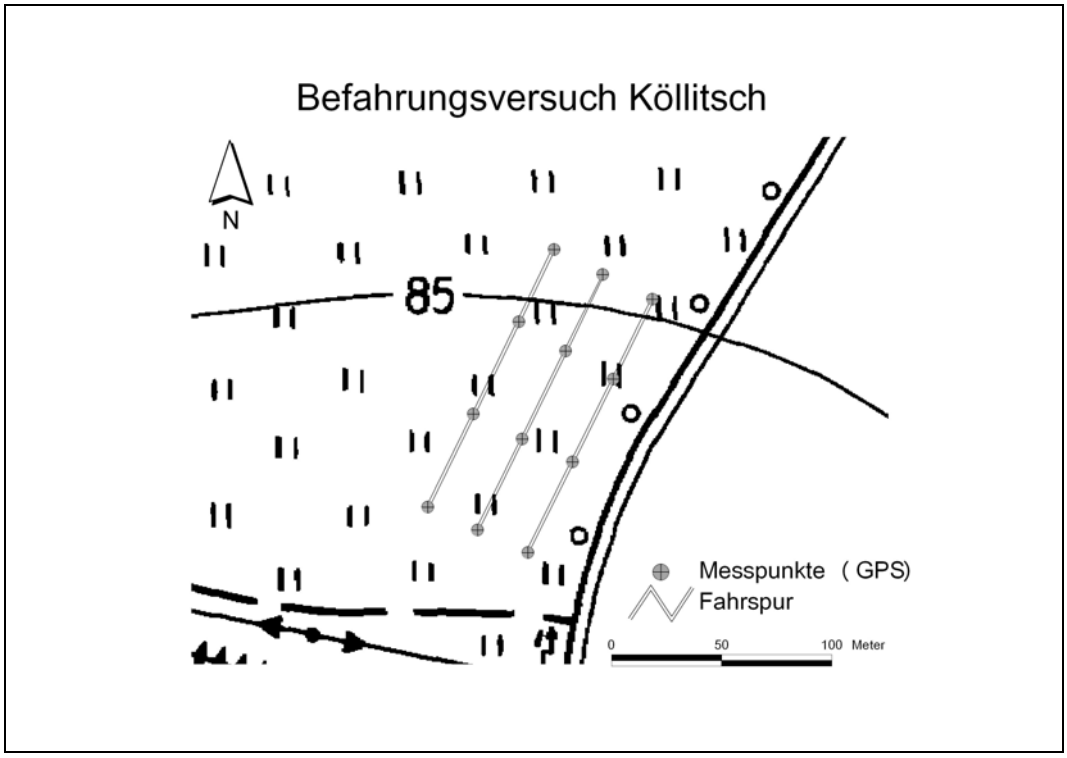


Abbildung 16: Lage der Fahrspuren im Befahrungsversuch Köllitsch Koppel 4

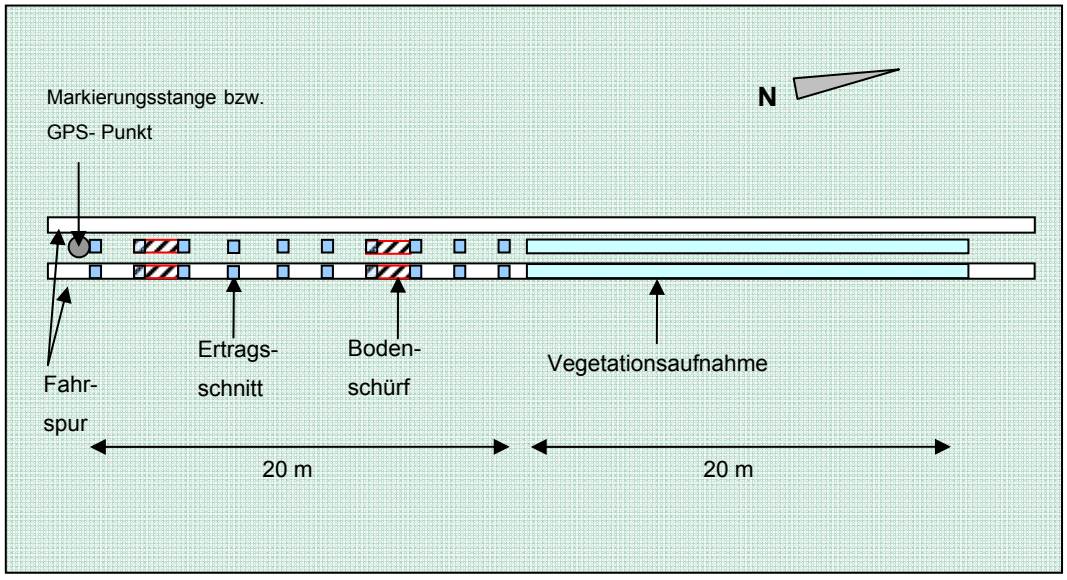


Abbildung 17: Anlage der Untersuchungsflächen

6.2 Untersuchungen und Methoden

6.2.1 Bodenschürfe

Nach der letzten Ernte am 08.09.2006 wurden aus jeweils vier Bodenschürfen in den Spuren der beiden Befahrungsintensitäten sowie im unbefahrenen Bereich in 5 cm, 10 cm und 20 cm Stechzylinder entnommen und zur Bestimmung der Textur, der Lagerungsdichte, der gesättigten Wasserleitfähigkeit, der Vorbelastung sowie der Wurzellängendichte herangezogen (siehe Abb. 17). Im Frühjahr 2007 wurden diese Beprobungen wiederholt und um die Bestimmung der Porengrößenverteilung ergänzt.

Die bodenmechanischen und -physikalischen Untersuchungsmethoden entsprechen den in Kapitel 3.2 bereits beschriebenen Methoden.

Innerhalb der Vegetationsperiode wurden die Erträge in den befahrenen und unbefahrenen Bereichen mittels Probeschnitten erfasst. Der N_{min}-Gehalt im Boden wurde am 01.02.2007 beprobt.

6.2.2 Wurzellängendichte

Die Wurzellängendichte wurde mit Hilfe von Stechzylinderproben bestimmt (abgewandelte Bohrkernmethode nach BÖHM 1978). Es wurden jeweils 400 cm³ Boden (vier Stechzylinder à 100 cm³) je Untersuchungstiefe (5, 10 und 20 cm) gefiltert.

Mit einem feinen Sieb wurden unter einem Wasserstrom die Wurzeln vom Boden getrennt. Die Bestimmung der Wurzellängendichte erfolgte nach BÖHM (1978) durch Zählung der Schnittpunkte der Wurzeln mit einem Raster und anschließender Umrechnung auf das entnommene Bodenvolumen.

Bezüglich des Befahrungsversuches wurde die Wurzellängendichte 2006 (Probenahme: zwischen 11.09. u. 15.09.06) bestimmt.

6.2.3 Vegetationsaufnahmen

Am 22.06.06 kurz vor dem zweiten Schnitt wurde in den bereits deutlich sichtbaren Fahrspuren die Vegetation in der Spur und in den unbefahrenen Bereichen bestimmt (siehe Abb. 17). Dazu wurde jeweils in der Spur (ca. 60 cm breit) und in der Kontrolle eine Fläche von 0,5 m x 20 m abgesteckt und zur überschaubaren Bestimmung des Pflanzenbestandes in 0,5 m x 2 m Abschnitte aufgeteilt. Die Ertragsanteilschätzung erfolgte nach der Methode von KLAPP und STÄHLIN.

6.2.4 Ertrag

Zur Ertragsbestimmung im Befahrungsversuch wurde der Aufwuchs in der Spur und in der Kontrolle auf einer Länge von 20 m auf zehn kleinen Flächen von 50 cm x 50 cm in 7 cm Höhe ab Bodenoberkante mit einer Rasenschere abgeschnitten und sofort gewogen.

Anschließend wurde das Erntegut bei 60°C getrocknet und zur Bestimmung der Trockensubstanz bzw. Trockenmasse jeweils eine kleine Mischprobe gemahlen und bei 105°C getrocknet. Für die Bestimmung des Stickstoffgehaltes wurden kleine Mischproben des lufttrockenen (60°C) Mähgutes gemahlen und der Stickstoffgehalt im Labor bestimmt.

6.2.5 Bodenfeuchteverlauf im Versuchszeitraum

Der Boden der Untersuchungsfläche wurde im Jahre 2006 (Ende März bis Anfang April) vom Elbe-Hochwasser überschwemmt. Er trocknete nach dem Rückzug des Wassers rasch wieder ab und war bis Herbst des Untersuchungsjahres 2006 relativ trocken (vom 17.05 - 30.09.2006: 166 mm Niederschlag).

Folglich waren die Erträge des zweiten und dritten Schnittes aufgrund der Trockenheit nur sehr spärlich. Die mechanische Belastung des Bodens durch die Befahrungen erfolgte auf Grund der Bodentrockenheit 2006 eher bei einer geringen Verdichtungsgefährdung.

Tabelle 11: Erfahrungstermine in den Jahren 2006 und 2007

Art der Befahrung	Termin	Bodenfeuchte [Vol.-%] in 10 cm	Bodenfeuchte [Vol.-%] in 20 cm
1. Schnitt -Silage	17.05.-18.05.2006	19	18
Gülle ausbringen	23.05.2006	13	15
2. Schnitt -Silage	28.06.2006	10	13
3. Schnitt-Silage	08.09.2006	trocken (Feldansprache)	trocken (Feldansprache)
Gülle ausbringen	23.03.2007	nicht erhoben	nicht erhoben
1. Schnitt -Silage	16/17.05.2007	nicht erhoben	nicht erhoben

Tabelle 12: Maschinendaten der im Befahrungsversuch in Köllitsch auf der Koppel 4 eingesetzten Maschinen, Anhänger und Geräte

Arbeitsgang	eingesetzte Technik	Reifenabfolge bei Überfahrt	Radlast (1) [kg]	Reifeninnen-druck [bar]
Mähen:	Traktor J.D.7710	480/70R30 (v)	2400	1,5
		620/70R42 (h)	5000	1,3
	Krone AMT 5000 CV	15.0/55-17	738	1,6
Schwaden:	Traktor Fendt 711	420/70R28 (v)	2240	1,5
		520/70R38 (h)	3350	1,5
	Schwader Krone Swadro 1250	500/50-17	1100	3,0
Häckseln:	New Holland FX 28	650/75-R32 (v)	3597	1,8
		17.5LR24 (h)	2257	2,2
Abtransport:	Traktor Fendt 824	600/65R34 (v)	2725	1,3
		710/70R38 (h)	4500	1,3
	Muldenkipper Annaburger HTS 29.12	700/50-22.5 (v)	4500	2,0
		700/50-22.5 (m)	4500	2,0
		700/50-22.5 (h)	4500	2,0
Güllen:	Traktor Fendt 824	600/65R34 (v)	2725	1,4
		710/70R38 (h)	4500	1,4
	Annaburger HTS 20.27 15000 l	700/50-22.5 (v)	4500	2,3
		700/50-22.5 (h)	4500	2,6

6.3 Bodenphysikalische und -mechanische Ergebnisse

6.3.1 Textur und Humusgehalt

Tabelle 13: Textur und Humusgehalte des Oberbodens der Grünlandfläche Koppel 4 Köllitsch

Standort	Entnahme-tiefe [cm]	Gefüge	Boden-art nach KA4	Humus [%]	G [%]	S [%]	U [%]	T [%]
Köllitsch (2006)	0-10	kru	Sl4	5,5	n.b.	50,2	33,5	16,3
Befahrungsversuch	10-20	pol	Sl4	3,8	n.b.	52,1	33	14,9
Köllitsch (2007)	0-10	kru	Sl4	4,1	n.b.	46,2	38,2	15,6
Befahrungsversuch	10-20	pol	Sl4	2,4	n.b.	45,0	40,4	14,6

Die Untersuchungsergebnisse des Befahrungsversuches 2006/2007 bezüglich der Hauptkornfraktionen des Auen-Bodens unterscheiden sich geringfügig, was auf die auenbedingte Inhomogenität des Bodens hinweist, konnten aber jeweils der Bodenartengruppe Sl4 (stark lehmiger Sand) zugeordnet werden.

Humusgehalt

Am Versuchsstandort der Koppel 4 lagen die Humusgehalte zwischen 4,1 % bis 5,5 % in 0 – 10 cm Tiefe und 2,4 % bis 3,8 % in 10 – 20 cm Tiefe. Die Unterschiede von jeweils 1,4 % sind durch die kleinräumige Heterogenität in der Aue erklärbar.

6.3.2 Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Tabelle 14: Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) und Trockenrohdichte (TRD) in 5 - 10 cm Tiefe im September 2006 nach der Befahrung der Koppel 4 (STAW: Standardabweichung)

Standort	Bodenart	Nutzung	kf n=6 [cm/d]		LK (pF 1,8) n=6 [Vol.-%]	nFK n=6 [Vol.-%]	TW n=6 [Vol.-%]	TRD n=6 [g/cm³]	
2006				STAW					STAW
normal befahren Spur	Sl 4	Mähweide	94,5	40,6	-	-	-	1,29	0,06
normal befahren nicht Spur	Sl 4	Mähweide	112,3	60,3	-	-	-	1,22	0,06
stark befahren Spur	Sl 4	Mähweide	-	-	-	-	-	1,13	0,05
stark befahren nicht Spur	Sl 4	Mähweide	439,6	516,0	-	-	-	1,13	0,05

Tabelle 15 : **Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf), Luftkapazität (LK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Totwasseranteil (TW) und Trockenrohdichte (TRD) in 10 - 15 cm Tiefe; im September 2006 nach den Befahrungen der Koppel 4 (Mähweide) sowie im Frühjahr 2007 nach der Gülleausbringung. (STAW: Standardabweichung)**

Standort	Bodenart	kf n=6 [cm/d]		$LK_{(pF\ 1,8)}$ n=6 [Vol.-%]		nFK n=6 [Vol.-%]		TW n=6 [Vol.-%]		TRD n=6 [g/cm³]	
2006			STAW		STAW		STAW		STAW		STAW
normal befahren Spur	Sl 4	581,3	345,2	-		-		-		1,43	0,02
normal befahren nicht Spur	Sl 4	434,6	499,6	-		-		-		1,40	0,03
stark befahren Spur	Sl 4	334,1	539,7	-		-		-		1,44	0,07
stark befahren nicht Spur	Sl 4	1202,8	374,4	-		-		-		1,48	0,07
2007											
normal befahren Spur	Sl 4	146,4	388,3	5,93	0,90	22,20	1,93	19,96	2,19	1,38	0,02
normal befahren nicht Spur	Sl 4	162,5	120,7	2,44	1,33	26,55	1,33	17,67	0,63	1,41	0,04
stark befahren Spur	Sl 4	294,5	409,4	5,91	2,05	23,71	1,94	15,68	0,93	1,45	0,08
stark befahren nicht Spur	Sl 4	114,8	201,7	6,26	1,39	32,28	7,08	7,17	7,62	1,44	0,04

Tabelle 16: **Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf), Luftkapazität (LK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Totwasseranteil (TW) und Trockenrohdichte (TRD) in 20 - 25 cm Tiefe, im September 2006 nach den Befahrungen der Koppel 4 (Mähweide) sowie im Frühjahr 2007 nach der Gülleausbringung. (STAW: Standardabweichung)**

Standort	Bodenart	kf n=6 [cm/d]		$LK_{(pF\ 1,8)}$ n=6 [Vol.-%]		nFK n=6 [Vol.-%]		TW n=6 [Vol.-%]		TRD n=6 [g/cm³]	
			STAW		STAW		STAW		STAW		STAW
2006											
normal befahren Spur	Sl 4	344,4	418,2	-		-		-		1,55	0,04
normal befahren nicht Spur	Sl 4	762,1	340,5	-		-		-		1,51	0,02
stark befahren Spur	Sl 4	127,0	157,5	-		-		-		1,55	0,03
stark befahren nicht Spur	Sl 4	278,3	285,3	-		-		-		1,54	0,04
2007											
normal befahren Spur	Sl 4	318,1	627,3	4,12	1,61	18,88	2,05	18,48	1,58	1,55	0,03
normal befahren nicht Spur	Sl 4	168,7	294,8	7,83	2,27	13,60	1,96	20,69	2,05	1,53	0,06
stark befahren Spur	Sl 4	355,1	524,6	7,33	1,03	19,90	1,01	15,49	0,74	1,54	0,04
stark befahren nicht Spur	Sl 4	98,0	496,7	6,32	2,10	31,23	4,05	3,80	3,85	1,55	0,05

Betrachtet man die gesättigten Wasserleitfähigkeiten kf in Bezug auf die verschiedenen Befahrungsvarianten (normal, stark befahren sowie unbefahren), so sind keine klaren Tendenzen festzustellen (Tab. 14, 15 u. 16). Insgesamt betrachtet erreichen die Wasserleitfähigkeiten sowohl sehr hohe als auch extrem hohe Werte gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5. Dabei unterliegen sie der für kf-Werte üblichen Streuung. Insgesamt zeigen die vorliegenden Werte somit gute gesättigte Wasserleitfähigkeiten im gesamten Krumenbereich ohne einen Einfluss durch die verschieden starke Befahrung.

6.3.3 Luftkapazität

Die Luftkapazitäten lagen im Frühjahr 2007 sowohl in der Oberkrume als auch in der Unterkrume auf einem geringen bis mittleren Niveau (Tab. 14, 15 u. 16). Luftkapazitäten unter 8 Vol.-% im Krumenbereich sind nach LEBERT et. al (2004) ein Hinweis darauf, dass eine schädliche Bodenverdichtung vorliegen kann. Dieser Wert wird in allen Varianten sowohl in der Ober- als auch in der Unterkrume unterschritten. Da gleichzeitig aber sehr gute gesättigte Wasserleitfähigkeiten bestehen, ist die Situation insgesamt noch nicht als eine schädliche Bodenverdichtung anzusprechen. Die Situation ist somit vergleichbar mit der auf konservierenden oder in Direktsaat bestellten Ackerflächen. Die hohen Wasserleitfähigkeiten in relativ dicht lagernden Böden erklären sich durch die starke biogene Durchporung. Diese war auf der Grünlandfläche Koppel 4 zu beobachten. Unter den trockenen Klimaverhältnissen in Köllitsch dürfte somit regelmäßig eine ausreichende Luft- und Wasserführung gewährleistet sein. Insgesamt sollte aber die Entwicklung der Luftkapazität an diesem Standort weiter beobachtet werden, um zu verhindern, dass hier eine weitere Verschlechterung eintritt. Zudem wäre zu prüfen, welche Maßnahmen sich an diesem Standort am besten eignen, um die Luftkapazität wieder zu verbessern.

6.3.4 Nutzbare Feldkapazität

Die nutzbare Feldkapazität lag sowohl in der Oberkrume überwiegend auf einem hohen Niveau (Tab. 14, 15 u. 16). In der Unterkrume sank sie dann auf ein überwiegend mittleres Niveau ab. Auf der nicht befahrenen Vergleichsfläche für die stark befahrene Spur erreichte die nutzbare Feldkapazität in beiden Tiefen sehr hohe Werte, die wahrscheinlich durch die stark schwankende Textur in der Elbaue zu erklären sind.

6.3.5 Trockenrohdichte

Die Trockenrohdichte (TRD) in 5 -10 cm Bodentiefe, also im Bereich der Grasnarbe, ist bei beiden Befahrungsintensitäten sowohl in der Spur als auch in den nicht befahrenen Bereichen nach KA 5 als sehr gering (1,13 g/cm³) bis gering (1,29 g/cm³) einzustufen (Tab. 14).

In 10 bis 15 cm Bodentiefe (Tab. 15) und in 20 bis 25 cm Bodentiefe (Tab.16) liegen die Trockenrohdichten sowohl in den befahrenen als auch in den und befahrenen Bereichen durchgehend auf einem mittleren Niveau. Dabei ist durchgehend ein Anstieg der TRD von der Oberkrume hinzu Unterkrume von rund 1 g/cm³ festzustellen. Insgesamt ist kein Einfluss der Befahrung auf die TRD zu erkennen.

6.3.6 Vorbelastung

Die Werte für die Vorbelastung Pv auf der Koppel 4 lagen im gesamten Krumenbereich auf einem geringeren bis mittleren Niveau (Abb. 18). Im Bereich der Grünlandnarbe (Bodentiefen 5 cm) lagen die Werte insgesamt auf einem geringen Niveau. Sie bewegen sich in einem Bereich von 28 kPa bis 45 kPa.

Im Krumenbereich ab 10 cm ist dann ein leichter Anstieg der Werte auf einem Bereich von 55 kPa bis 82 kPa festzustellen. Die Befahrungen im Jahre 2006 sowie die Gülleausbringung im Frühjahr 2007 zeigen tendenziell nur einen Einfluss auf die Vorbelastung bei der stark befahrenen Variante im Frühjahr 2007. Hier stieg die Vorbelastung in 10 cm Bodentiefe um 27 kPa und in 20 cm Bodentiefe um 17 kPa an.

Auch der Vergleich der Vorbelastungen der stark befahrenen Spur in 10 cm und 20 cm Bodentiefe zwischen September 2006 und Frühjahr 2007 zeigt einen leichten Anstieg der Vorbelastung von 14 kPa in 10 cm Bodentiefe und 9 kPa in 20 cm Bodentiefe durch den Güllewagen im Frühjahr.

Ansonsten sind zwischen den Werten der Vorbelastung in 10 cm und 20 cm Tiefe im Herbst 2006 und im Frühjahr 2007 keine Veränderungen festzustellen, welche belegen würden, dass sich über Winter die Vorbelastung durch physikalische und/oder biogene Prozesse verringert, sprich, dass eine Regeneration des Bodens stattfindet. Es bestätigt sich vielmehr die Erkenntnis, dass die Vorbelastung das Gedächtnis des Bodens für mechanische Belastungen ist, welches allenfalls durch massive mechanische Eingriffe verändert werden kann.

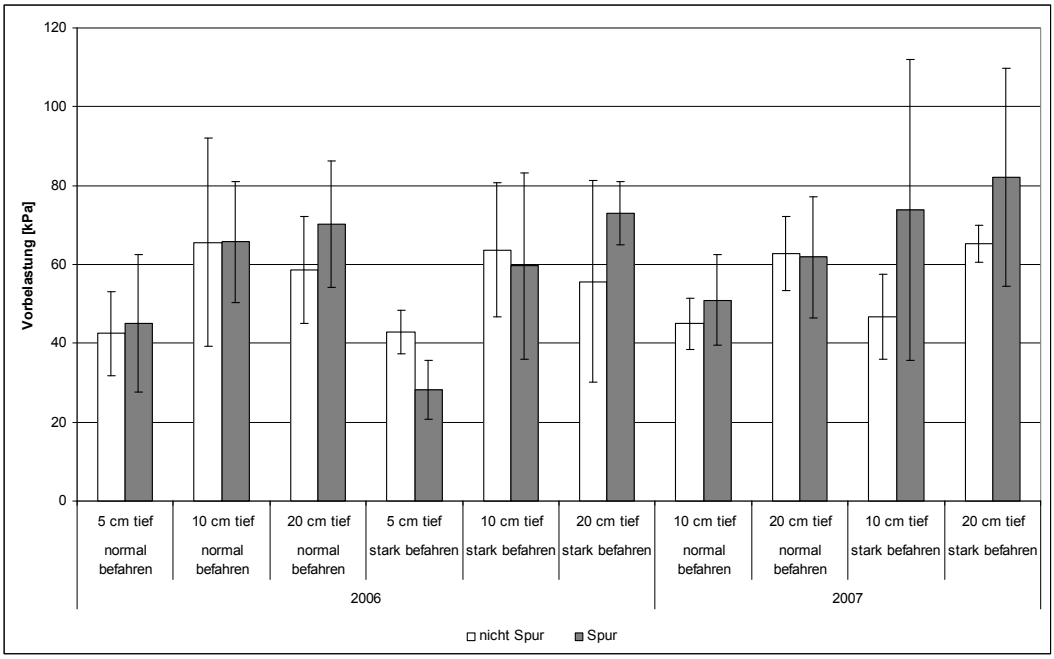


Abbildung 18: Vorbelastungen Pv des Oberbodens (5, 10 u. 20 cm Tiefe) bei pF = 1,8 auf der Koppel 4 in Köllitsch im September 2006 nach den Befahrungen und im Frühjahr 2007 nach der Gülleausbringung

6.4 Pflanzenbestand

6.4.1 Zusammensetzung der Vegetation

Generell lässt sich Ende Juni 2006 beim Vergleich des quantitativen Auftretens der verschiedenen Pflanzenarten eine starke Präsenz von Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*) und Weidelgras (*Lolium perenne)* erkennen (Tabelle 17). Diese ist zu erwarten, denn in der Vergangenheit wurden auf der Fläche Gräser nachgesät. Nachsaaten werden auf der Fläche mit der von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft empfohlenen Mischung „N 2“ durchgeführt. Diese setzt sich folgendermaßen zusammen: 1 kg Deutsches Weidelgras früh, 3 kg Deutsches Weidelgras spät, 10 kg Wiesenschwingel, 1 kg Wiesenlieschgras und 2 kg Weißklee.

Weniger wertvolle Futtergräser wie Quecke (*Elytrigia repens*), Weiche Trespe (*Bromus hordeaceus*), Schafschwingel (*Festuca ovina*) und Knickfuchsschwanz (*Alopecurus geniculatus*) treten auf beiden Varianten auf, jedoch tritt Quecke in der Spur dichter auf. Insgesamt war die Blattmasse in der Spur etwas geringer und die Pflanzen standen abschnittweise weniger dicht als in der Kontrolle. Im Durchschnitt ist das Verhältnis von Gräsern zu Kräutern in der Spur und der Kontrolle gleich, d. h. die Gräser haben einen Ertragsanteil (Trockenmasse) von ca. 90 % und die Kräuter, in der Hauptsache Löwenzahn, von ca. 10 %.



Abbildung 19: Erscheinungsbild der Pflanzenbestände Ende Juni 2006: linkes Drittel im nicht befahrenen Bereich und rechtes Drittel im Spurbereich

Tabelle 17: Geschätzte Ertragsanteile (Trockenmasse) der verschiedenen Grünlandpflanzen auf fortlaufenden Flächen von jeweils 0,5 x 2 m in der Spur und der Kontrolle (Bereich zwischen den zwei Fahrspuren) fünf Tage vor dem „2. Schnitt“ (28.06.06)

	Kontrolle						Spur					
	Gräser	[%]		Kräuter	[%]		Gräser	[%]		Kräuter	[%]	
0-2 m	70			30			90			10		
	Fuchsschwanz	+		Löwenzahn			Wiesenschwingel	50		Löwenzahn		
	Wiesenschwingel	50					Weidelgras	50				
	Weidelgras	50					Jährige Rispe	2				
	WeicheTrespe	2										
2-4 m	80			20			80			20		
	Wiesenfuchsschwanz	+		Löwenzahn			Quecke	+		Löwenzahn		
	Weiche Trespe	5					Weiche Trespe	80				
	Weidelgras	80					Weidelgras	5				
	Wiesenschwingel	15					Wiesenschwingel	10				
							Knaulgras	5				
4-6 m	80			20			95			5		
	Weidelgras	80		Löwenzahn			Quecke	20		Löwenzahn		?
	Weiche Trespe	3					Weidelgras	40		Hirtentäschel		?
	Fuchsschwanz	+					Fuchsschwanz	+				
	Quecke	+					Wiesenschwingel	40				
	Wiesenschwingel	20										
	Kaulgras	+										
6-8 m	90			10			97			3		
	Weiche Trespe	+		Löwenzahn			Quecke	++		Löwenzahn		
	Knaulgras	+					Weidelgras					
	Wiesenschwingel	50					Wiesenschwingel					
	Weidelgras	50										
8-10 m	98			2			80			20		
	Quecke	50		Löwenzahn			Quecke	60		Löwenzahn		
	Weidelgras	50					Weidelgras	40				
							Lücken	10				
10-12 m	98			2			90			10		
	Weidelgras	50		Löwenzahn			Weiche Trespe	+		Löwenzahn		33
	Fuchsschwanz	+					Quecke	50		Sauerampfer		33
	Wiesenschwingel	50					Weidelgras	50		Kratzdistel		34
	Weiche Trespe	++										
12-14 m	95			5			90			10		
	Weidelgras	50		Löwenzahn			Schafschwingel	50		Löwenzahn		
	Wiesenschwingel	50					Quecke	50				
							Weidelgras	5				
14-16 m	98			2			98			2		
	Wiesenschwingel	80		Löwenzahn		80	Jährige Rispe	++		Löwenzahn		
	Weidelgras	20		Hirtentäschel		20	Quecke	50				
							Weidelgras	50				
16-18 m	99			1			90			10		
	Weidelgras	50		Löwenzahn			Wiesenschwingel	50		Löwenzahn		
	Weiche Trespe	+					Knickfuchsschwanz	+				
	Wiesenschwingel	50					Weidelgras	50				
	Quecke	+										
	Fuchsschwanz	+										
18-20 m	98			2			98			2		
	Weidelgras	50		Löwenzahn			Weidelgras	50		Löwenzahn		
	Fuchsschwanz	+					Weiche Trespe	+				
	Wiesenschwingel	50					Jährige Rispe	2				
	Quecke	+					Wiesenschwingel	50				
	Weiche Trespe	+										
	Jährige Rispe	+										
Mittelwert	**91**			**9**			**91**			**9**		

6.4.2 Bodenstickstoffgehalt (N_{min}) 2007

Am 01. Februar 2007 wurden auf dem Befahrungsversuch (Koppel 4) Bodenproben zur Bestimmung des N_{min}-Gehaltes entnommen. Dazu wurden pro Variante jeweils 10 Einzelproben schichtweise zu einer Mischprobe aufbereitet und im Labor untersucht.

Tabelle 18: N_{min}-Gehalte am 01.02.2007 auf der Koppel 4 im LVG Köllitsch

Befahrungsintensität		Tiefe [cm]	NH_4-N [kg/ha]	NO_3-N [kg/ha]	N_{min}-N ∑ [kg/ha]
Normal befahren/Spur		00 - 15	1,6	2,0	3,6
		15 - 30	1,0	1,8	2,8
		30 - 60	2,4	4,4	6,8
	∑				**13,2**
Normal befahren/nicht Spur		00 - 15	1,1	2,2	3,3
		15 - 30	2,9	4,7	7,6
		30 - 60	3,2	23,6	26,8
	∑				**37,7**
Stark befahren/Spur		00 - 15	1,6	3,8	5,4
		15 - 30	1,3	2,4	3,7
		30 - 60	2,7	5,8	8,5
	∑				**17,6**
Stark befahren/nicht Spur		00 - 15	1,4	1,9	3,3
		15 - 30	0,9	2,2	3,1
		30 - 60	2,9	1,9	4,8
	∑				**11,2**

Vor Vegetationsbeginn 2007 lagen die N_{min}-Werte in dem Befahrungsversuches insgesamt auf einem niedrigen Niveau. Die höchsten Werte wurden im unbefahrenen Bereich neben der Spur der normalen Befahrung gemessen. Dieser „Ausreißer“ ist voraussichtlich damit zu erklären, dass es sich hier um eine Mähweide handelt, auf der zeitweise in bestimmten Bereichen die Tiere gepfercht werden.

Betrachtet man die befahrenen Spurbereiche, so sind in 0 - 30 cm als auch in 30 - 60 cm Bodentiefe tendenziell ansteigende N_{min}-Werte von normaler zu starker Befahrung zu beobachten. Der nicht befahrene Bereich neben der stark befahrenen Spur wies mit 11,2 kg N/ha die niedrigsten N_{min}-Gehalte auf.

6.4.3 Ertrag und Stickstoffgehalt im Erntegut

Betrachtet man die Erträge an Frisch- beziehungsweise Trockenmasse, so zeigt sich beim zweiten Schnitt 2006 eine deutliche Wirkung der Befahrung dahingehend, dass in den Spuren jeweils nur die Hälfte der Frisch- beziehungsweise Trockenmasse geerntet werden konnte (Tab. 19). Zum ersten Schnitt 2007 setzt sich dieser Trend nicht fort. Hier bewegen sich jeweils der befahrene und der unbefahrene Bereich auf dem gleichen Ertragsniveau.

Weiterhin bemerkenswert ist, dass beim zweiten Schnitt 2006 die N-Gehalte in der Trockenmasse jeweils in den Spuren um 0,2 % bis 0,3 % höher als im unbefahrenen Bereich lagen. Diese Tendenz zeichnet sich ansatzweise auch beim ersten Schnitt 2007 ab. Dieser Befund könnte erklären, warum sich Fahrspuren auf dem Grünland meist etwas dunkler vom übrigen Bestand abhoben.

Tabelle 19: Ernteerträge und N-Gehalte in der Spur und im Nicht-Spurbereich 2006 und 2007

Befahrung	TS in Frischmasse [%]		Frischmasse [dt/ha]		Trockenmasse [dt/ha]		N in Trockenmasse [%]	
	2006 2. Schnitt	2007 1. Schnitt	2006 2. Schnitt	2007 1. Schnitt	2006 2. Schnitt	2007 1. Schnitt	2006 2. Schnitt	2007 1. Schnitt
stark								
Spur	24,8	23,4	18,0	91,0	4,5	21,3	2,7	2,6
Kontrolle (nicht Sp.)	25,4	23,8	39,7	89,5	10,1	21,3	2,4	2,4
normal								
Spur	23,6	23,3	17,7	78,7	8,7	18,3	2,8	2,3
Kontrolle (nicht Sp.)	25,9	23,2	32,1	79,1	8,3	18,4	2,4	2,4

In 2006 waren die Unterschiede im Pflanzenbestand auch optisch gut sichtbar: Im Spurenbereich war der Aufwuchs insgesamt niedriger und weniger dicht, jedoch dunkelgrüner als im umliegenden Bereich (Abb. 20).

In 2007 stellte sich der Bestand in beiden Varianten relativ ausgeglichen dar. Kurz vor der Ernte des ersten Schnittes konnten optisch, in Wuchshöhe und Farbe des Grüngutes, zwischen Spur- und Nichtspurbereichen keine wesentlichen Unterschiede wahrgenommen werden (Abb. 21).



Abbildung 20: Grünlandbestand am 22.06.2006 vor dem 2. Schnitt mit sichtbaren Spurbereichen



Abbildung 21: Pflanzenbestand des Befahrungsversuches am 11.05.2007



Abbildung 22: Fahrspuren auf der Versuchsfläche nach der Gülleausbringung

Abbildung 22 zeigt die normal befahrene Variante der Versuchsfläche Koppel 4 nach der Gülledüngung im Frühjahr. Auf dem drei Tage nach der Gülleapplikation (am 26.03.07) aufgenommenen Foto sind deutlich die Fahrspuren des Gespannes (Traktor Fendt 824 mit Güllewagen HTS 20.27), aber auch die durch den Schleppschlauchverteiler streifig ausgebrachte Gülle und deren bereits getrockneten Feststoffanteile (braune Streifen) sichtbar.

6.4.4 Wurzellängendichte

Betrachtet man die Wurzellängendichten in Abbildung 23 und 24, so wird hier die für Grünland bekannte starke Abnahme der Durchwurzelung von der Oberkrume zur Unterkrume bestätigt. Sowohl bei normaler Befahrung als auch bei starker Befahrung zeichnet sich eine Reduktion der Durchwurzelung im Bereich der Grünlandnarbe (5 cm Bodentiefe) durch die Befahrung ab. Dabei zeichnet sich eine stärkere Reduktion bei der normalen Befahrung ab. Die Ursache hierfür ist unklar.

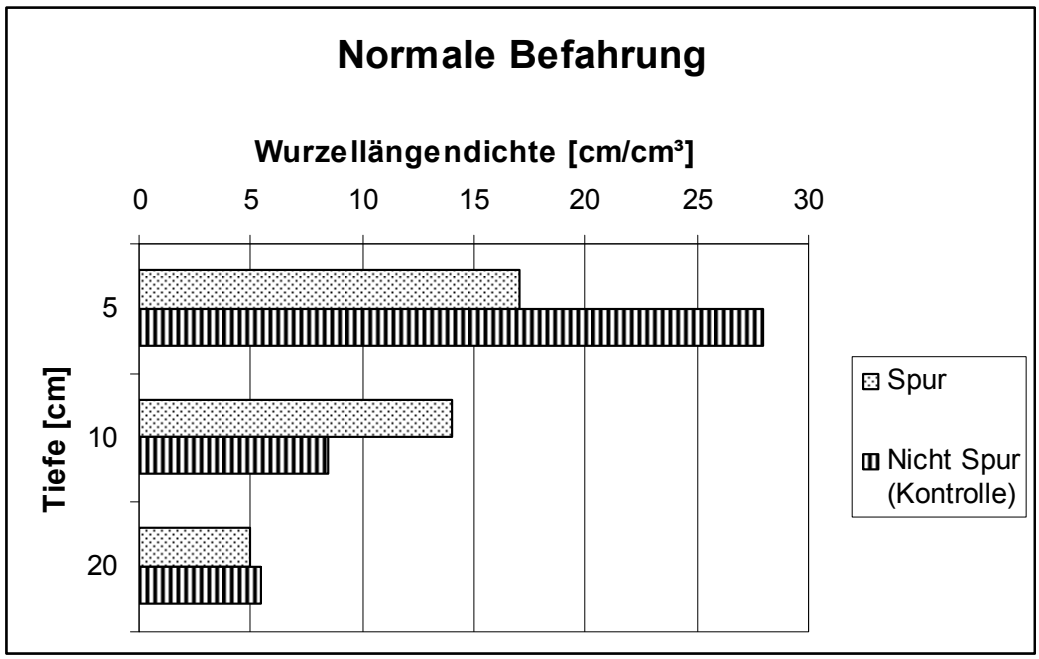


Abbildung 23: Wurzellängedichte unter der „normal“ befahrenen Fahrspur und der entsprechenden Kontrolle (Nicht Spur)

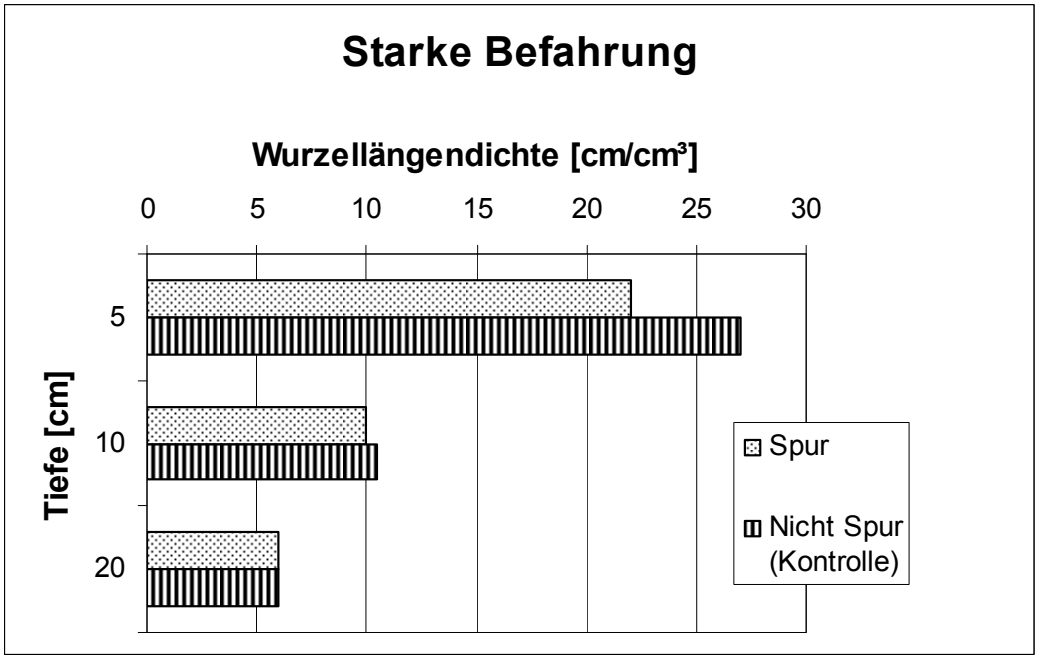


Abbildung 24: Wurzellängedichtemessungen aus Bodenproben der stark befahrenen Fahrspur und der entsprechenden Kontrolle (Nicht Spur)

In 10 cm Bodentiefe war bei der normalen Befahrung eine deutlich höhere Durchwurzelung festzustellen als im unbefahrenen im Bereich. Eine Begründung hierfür kann nicht gegeben werden.

In der Unterkrume wurden dann in allen Varianten gleichmäßig niedrige Wurzellängendichten im Bereich von 5 – 6 cm/cm³ festgestellt.

6.5 Zwischenfazit

In dem kurzen Untersuchungszeitraum, welcher die 3. Schnitte des Jahres 2006 sowie den 1. Schnitt im Jahre 2007 umfasste, zeigten die kontrollierten Befahrungen im Gründland, welche die mögliche maximale mechanische Belastung auf bestimmten Schlagbereichen im Grünland simulieren sollten, ansatzweise Auswirkungen.

Rein optisch waren die Fahrspuren im gesamten Versuchszeitraum meist deutlich anhand der dunkelgrünen Farbe und der niedrigeren Bestandeshöhe sichtbar. Zum einen waren hierfür voraussichtlich die geringfügig höheren Stickstoffgehalte der Pflanzen in den Fahrspuren verantwortlich. Zum anderen war zum 2. Schnitt 2006 ein deutlicher Ertragsabfall in den Spuren gegenüber dem unbefahrenen Bereich festzustellen. Dies korrespondiert sehr gut mit dem Befund aus dem September 2006, dass in den Fahrspuren in 5 cm Bodentiefe die Wurzellängendichte tendenziell geringer als in den unbefahrenen Bereichen war. Zum 1. Schnitt 2007 hatten sich diese Ertragsunterschiede dann wieder aufgehoben. Die Erträge lagen in beiden Bereichen auf einem ausreichend hohen Niveau.

Welche Faktoren dafür verantwortlich waren, dass über Winter die Erträge in den Fahrspuren zum ersten Schnitt wieder auf dem gleichen Ertragsniveau wie im unbefahrenen Bereich lagen, kann anhand der vorliegenden Untersuchungen nicht erklärt werden.

Die Luftkapazität im Oberboden lag auf der Versuchsfläche insgesamt auf einem niedrigeren Niveau bei gleichzeitig hohen gesättigten Wasserleitfähigkeiten. D.h., auf der Basis der bodenphysikalischen Eigenschaften sind die Ertragsunterschiede nicht erklärbar.

Eine nähere Klärung der Ursachen bedarf daher zukünftig weitergehender Untersuchungen. Hierbei erscheint es insbesondere von Bedeutung, sich auch intensiverer mit der Reaktion der Grünlandpflanzen selbst auf die mechanische Belastung durch die Fahrwerke zu beschäftigen, z.B. inwiefern Scher- und Druckkräfte zum Reißen der Wurzeln führen, welche unter den meist trockeneren Wachstumsbedingungen nach dem ersten Schnitt das Wasseraufnahmevermögen der Pflanzen begrenzen. Aber auch die mechanischen Einwirkungen auf die Vegetationskegel der Pflanzen könnten von Bedeutung sein.

Insgesamt erlaubt der kurze Untersuchungszeitraum des Vorhabens keine abschließende Aussage darüber, inwiefern sich eine erhöhte mechanische Belastung dauerhaft nachteilig auf die Ertrags-

bildung im Grünland auswirkt. Es ergeben sich allerdings Hinweise darauf, dass Beeinträchtigungen möglich sind. Diesbezüglich gilt es zukünftig zu klären, in welchem Umfang diese zu reduzieren oder auch zu tolerieren sind.

7 Gesamtfazit

Die vorliegenden Untersuchungen umfassen zwei Vegetationsperioden und können somit nur einen ersten Einblick in die mechanische Belastung durch Maschinen und Geräte der Grünlandbewirtschaftung sowie zu damit verbundenen Auswirkungen auf bodenphysikalische und -mechanische Kennwerte sowie den Pflanzenbestand unter sächsischen Bedingungen geben.

Insgesamt gesehen zeigt sich, dass die Maschinen und Geräte zur Grünlandbewirtschaftung zum Teil sehr hohe Bodendrücke in der Oberkrume der Grünlandböden verursachen. Im Gegensatz zu vergleichbaren Untersuchungen auf Ackerland ergab sich allerdings der überraschende Befund, dass sich diese Drücke bei den meisten Maschinen und Geräten sehr deutlich bis hin zur Unterkrume abbauen, so dass sie oft auf dem Niveau der Vorbelastung der Grünlandböden liegen. Dies würde aus Sicht der Vorsorge bedeuten, dass Unterkrume und Unterboden im Grünland möglicherweise besser vor Verdichtung geschützt sind als Ackerböden. Über die Ursachen kann derzeit nur spekuliert werden, z.B. dass die intensive Durchwurzelung im Grünland hierfür eine Ursache sein könnte. Zukünftig bedarf dieser Sachverhalt noch einer weiteren Überprüfung, da er von besonderer Bedeutung für die Vorsorge gegen schädliche Bodenverdichtungen im Grünland wäre.

Gleichzeitig ist aber auch festzustellen, dass besonders schwere Maschinen z.B. bei der Gülledüngung zu vergleichbaren Belastungen der Unterkrume und des Unterbodens wie auf Ackerland führen, das heißt in der Unterkrume und im Unterboden treten durchaus Druckbelastungen auf, die deutlich höher als die Vorbelastung des Bodens sein können.

Parallel dazu liegen für Sachsen erstmals Erkenntnisse zur Vorbelastung von Grünlandböden vor, welche eine erste Orientierung hinsichtlich der möglichen mechanischen Belastbarkeit durch Maschinen und Geräte geben können. So lag die Vorbelastung auf den untersuchten sächsischen Grünlandböden überwiegend in einem geringeren bis mittleren Bereich, also zwischen 40 – 90 kPa. Daran sollte sich zukünftig die gute fachliche Praxis der Grünlandbewirtschaftung orientieren. Die Messungen zum Bodendruck durch Maschinen und Geräte hierzu geben dazu eine Veranlassung, da sich zeigte, dass die Werte häufig sehr deutlich die Tragfähigkeit der Böden (Vorbelastung) in der Oberkrume überschreiten. Da Grünlandböden im Krumenbereich normalerweise nicht mechanisch gelockert werden, besteht somit die Gefahr, dass sich hier schleichend eine Verdichtungszone herausbildet, welche dauerhaft das Pflanzenwachstum beeinträchtigt. Insgesamt besteht auf Grünland somit eher das Risiko der Herausbildung einer schädlichen Bodenverdichtung im Bereich der Krume als im Unterboden. Die vorliegenden Untersuchungen zur Luftkapazität auf verschiedenen sächsischen Grünlandböden weisen häufiger ungünstige Verhältnisse mit Werten unter 8 Vol.-% in der Krume aus. Allerdings liegen gleichzeitig in der Regel auch hohe bis sehr hohe gesättigte

Wasserleitfähigkeiten vor, so dass insgesamt auf diesen Standorten noch nicht von einer schädlichen Bodenverdichtung gesprochen werden kann.

Die Erhebungen zu den bodenphysikalischen und -mechanischen Kennwerten von sächsischen Grünlandböden sollten aber zukünftig fortgesetzt werden, um hierzu noch einen umfassenderen Überblick zu erhalten bzw. um die weitere Entwicklung zu beobachten.

Im Hinblick auf die Untersuchungen zu den Auswirkungen der möglichen mechanischen Belastung im Grünland auf die Ertragsbildung und Durchwurzelung beziehen sich die vorliegenden Untersuchungen auf einen zu kurzen Zeitraum, so dass hierzu keine abschließenden Aussagen hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Grünlandbewirtschaftung möglich sind.

So zeigt sich hinsichtlich der Durchwurzelung, dass hohe mechanische Bodenbelastungen, welche durch eine regelmäßige Befahrung mit den verfahrensüblichen Maschinen verursacht wurden, zu einer Reduktion der Wurzellängendichte in den oberen 5 cm führen können. Die Tiefen 10 cm und 20 cm zeigten hingegen keine Unterschiede. Lediglich bei normaler Befahrung war eine gewisse Förderung der Durchwurzelung in 10 cm Tiefe festzustellen, welche nicht erklärt werden kann.

Die simulierte hohe Belastung der Fahrspuren durch die bei der Grünlandbewirtschaftung regelmäßig eingesetzten Maschinen und Geräte wirkte sich auch zum Teil ertragsmäßig aus. So hatte diese Belastung zur Folge, dass zum 2. Schnitt 2006 in den Fahrspuren nur etwa die Hälfte des Masseertrages der unbefahrenen Fläche erreicht wurde. Zum ersten Schnitt im Frühjahr 2007 lagen die Erträge im unbefahrenen und befahrenen Bereich allerdings wieder auf gleich hohem Niveau. Dies gibt Anlass zu der Vermutung, dass es eventuell die direkte mechanische Beanspruchung der Pflanze - insbesondere der Wurzeln - ist, welche zu Mindererträgen führt und weniger die mechanische Belastung des Bodens. Gleichzeitig ist aber auch bekannt, dass eine regelmäßige mechanische Belastung in bestimmten Grenzen günstig für das Grünlandwachstum sowie die Bildung dichter Grasnarben ist.

Insgesamt ergibt sich also noch kein klares Bild, da in dem Vorhaben nur sehr begrenzte Untersuchungen zur Wirkung der mechanischen Belastung auf die Pflanze (Spross- und Wurzelentwicklung) möglich waren. Die vorliegenden Ergebnisse können daher nur als Hinweis verstanden werden, diese Thematik zukünftig intensiver und langfristiger zu untersuchen. Die sich abzeichnenden Entwicklungen hin zu einer Intensivierung der Grünlandnutzung in Folge der veränderten globalen Rahmenbedingungen unterstreichen den Bedarf derartiger Forschungen.

Zur weiteren Klärung der Zusammenhänge zwischen mechanischer Belastung auf Grünland und der Ertragsbildung sowie der Bodenverdichtung sind daher zukünftig längerfristige Untersuchungen anzustreben. Ein Ansatz hierfür ist die Anlage von Dauerbeobachtungsflächen, auf denen langfris-

tig alle relevanten Kennwerte der Ertragsbildung, der Bodenphysik, der Bodenmechanik sowie der mechanischen Belastung durch die Fahrwerke erhoben und bewertet werden.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen insgesamt aber schon deutlich, auf welche Aspekte bei der guten fachlichen Praxis der Grünlandbewirtschaftung noch stärker geachtet werden sollte.

So ist zukünftig verstärkt darauf zu achten, dass Grünlandflächen mit möglichst bodenschonenden Fahrwerken (große Aufstandsflächen, geringe Kontaktflächendrücke, geringer Reifeninnendruck, flache Reifenstollen) befahren werden. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass auch im Grünland immer schlagkräftigere Maschinen und das heißt insbesondere immer schwerere Maschinen, zum Einsatz gelangen. Insbesondere gilt dies auch für die Gülledüngung. Lediglich beim Walzen sind ausreichend hohe Kontaktflächendrücke aufrechtzuerhalten, um die nötige Wirkung hinsichtlich der Grünlandpflege erzielen zu können.

Gleichzeitig bedingt der Einsatz immer schlagkräftigerer Maschinen auch immer größere Arbeitsbreiten und somit eine Reduktion der Fahrspuren im Grünland. Sofern diese schlagkräftige Technik mit Boden schonenden Fahrwerken ausgestattet ist, ist der Trend zu größeren Arbeitsbreiten durchaus positiv.

In diesem Zusammenhang ist auch zu sehen, dass alle Maßnahmen, die der Reduktion der überrollten Flächenanteile dienen, von Vorteil für die Ertragsbildung des Grünlandes sind. Lösungen zur Optimierung der Befahrung sind daher auch zukünftig weiter zu entwickeln und zu prüfen.

8 Literatur

AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4.Aufl., Hannover

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5 verbesserte und erweiterte .Aufl., Hannover

BMVEL (2002): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bonn

BÖHM, W. (1978): Die Bestimmung des Wurzelsystems am natürlichen Standort. KALI-BRIEFE (Büntehof), 14 (2), 91-101

BRUNOTTE, J., M. WEISSBACH, H. ROGASIK, E. ISENSEE & C. SOMMER (2000): Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-Erntetechnik. Zuckerrübe 49, 34 - 40

DONKOR, N. T.; GEDIR, J. V.; HUDSON, J.; BORK, W.; CHANASYK, S. & M. A. NAETH (2002): Impacts of grazing systems on soil compaction and pasture production in Alberta. Can. J. of Soil Sci., 82, 1-8

DIEPOLDER, M., SCHRÖPEL, R., BRANDHUBER, R.; BAUCHHENSS, J. & B. JAKOB (2005): Wie wirkt sich zunehmende mechanische Belastung im Grünland aus? – Erste Versuchsergebnisse aus Bayern, In: Schule und Beratung, Heft 8-9, 6 – 10

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau), 1998: Bodenverdichtung - Grundlagen für eine nachhaltige Landbewirtschaftung aus bodenkundlicher Sicht. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, DVWK - Materialien 4

ELSÄSSER, M.; SCHÄFER, J.; ERZGRABER, K. & R. OPPERMANN (2000): Bodenverdichtung im Grünland. Projektstudie für das Ministerium Ländlicher Raum, Stuttgart.

GREENWOOD, K. L.; MC LEOD, D. A. & K. J. HUTCHINSON (1997): Long-term stocking rate effects on soil physical properties. Australian Journal of Experimental Agriculture, 37, 413-419

HAMMEL, K. (1993): Spannungsverteilung und Bodenverdichtung unter profilierten Reifen am Beispiel zweier Böden unter Grünland. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Universität Hohenheim, Heft 14

HORN, R. (1985): Die Bedeutung der Trittverdichtung durch Tiere auf physikalische Eigenschaften Alpiner Böden. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 26, 42-51.

HORN, R. (1981): Die Bedeutung der Aggregierung von Böden für die mechanische Belastbarkeit in dem für Tritt relevanten Auflastbereich und deren Auswirkungen auf physikalische Bodenkenngrößen. Dissertation, TU-Berlin.

ISENSEE, E., M. WEIßBACH, C. SOMMER & J. BRUNOTTE (2001): Bodenschonung mit moderner Technik – Grundlagen und Empfehlungen. KTBL, Arbeitsunterlagen, Bestellnr. B/2001

JORAJURIA, D. & L. DRAGHI (1997): The Distribution of Soil Compaction with Depth and the Response of a Perennial Forage Crop, In: J. agric. Engng Res. 66, 261 – 265

LEBERT, M., R. HORN & C. SOMMER (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/ Regelungen zur Gefahrenabwehr. Umweltbundesamt, Texte 46 / 04.

MARTINEZ, L. J. & J. A. ZINK (2004): Temporal variation of Soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Columbian Amazonia. Soil & Tillage Research, 75, 3-17

MULHOLLAND, B. & M. A. FULLEN (1991): Cattle trampling and soil compaction on loamy sands. Soil Use and Management, 7, 189-193

PAUL, R. (1993): Verfahren zur Schätzung der Druckbelastbarkeit von Ackerböden. Schriftenreihe Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Thüringen, Nr. 70001307 / 1993

PETELKAU, H., K. SEIDEL & M. FRIELINGHAUS (1998): Ermittlung des Verdichtungswiderstandes von Böden des Landes Brandenburg und Bewertung von Landmaschinen und landwirtschaftlichen Anbauverfahren hinsichtlich der Beeinträchtigung von Bodenfunktionen durch die Verursachung von schwer regenerierbaren Schadverdichtungen. Abschlussbericht 1998, Müncheberg

SCHLIMBACH, G. & W. OPITZ V. BOBERFELD (2005): Zum Einfluss der Winterbeweidung auf bodenphysikalische Merkmale, In: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band 7, 53 – 56

SOMMER, C. & J. BRUNOTTE (2003): Lösungsansätze zum Problembereich Bodenschadverdichtung in der Pflanzenproduktion. Landnutzung und Landentwicklung 44, 220 - 228

STAHL, H., MARSCHALL, K. & H. GÖTZE (2005): Bodendruck und Bodenbelastbarkeit. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (10. Jahrgang) Heft 15

STAHL, H., SCHMIDT, W. & U. GIERKE (2002): Beratung zur guten fachlichen Praxis zum Schutz des Bodengefüges – Ansätze, Strategien, offene Fragen. Tagungsband der 13. und 14. Wissenschaftlichen Fachtagung: Fusarium-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide, Schadverdichtung in Ackerböden. Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn

VILLAMIL, M. B., AMIOTTI, N. M. & PEINEMANN, M. (2001): Soil degradation related to overgrazing in the semi-arid Southern Caldenal area of Argentina. Soil Science, 166 (7), 441-452

9 Anhang

Tabelle 20: Gemessene vertikale Bodenspannungen (DMS-Sensor; n = 3) landwirtschaftlicher Maschinen auf Grünland in 10 cm, 20 cm und 40 cm Bodentiefe (je nach Bodenmächtigkeit) in Sachsen; Kenndaten der Maschinen sowie Bodenwasserspannungen bei der Messung; Vorderrad = (v), Hinterrad = (h)

Arbeitsgang	Standort	Datum	eingesetzte Technik	Reifen-abfolge bei Überfahrt	Radlast (1) [kg]	Reifen-innen-druck [bar]	Bodenart nach KA4	Wasser-spannung pF-Wert		gemessener Bodendruck [kPa] n = 3			Mes-sung bei Über-fahrt
								10 cm	20 cm	10 cm	20 cm	40cm	
Mähen:	Plauen:	15.05.03	Krone Big M	700/50-26.6 (v)	3869	1,7	Ls2	4		231			1. ÜF
			(Selbstfahrer)	600/55-26.5 (h)	1821	1,5	Ls2	4		25			
	Herlasgrün	16.10.03	Krone Big M II	750/65R26 (v)	3678	1,6	Lehm	3		395	226		2. ÜF
			(Selbstfahrer)	600/65R28 (h)	2452	1,2	Lehm	3		244	220		
	Köllitsch	17.05.06	Traktor J.D.7710	480/70R30	2400	1,5	Sl4	3-4	3-4	0	0		1. ÜF
				620/70R42	5000	1,3	Sl4	3-4	3-4	7	0		
			Krone AMT 5000 CV	15.0/55-17	738	1,6	Sl4	3-4	3-4	8	1		
Schwaden:	Oberlosa	15.10.03	Traktor Ford 8670	480/70R28 (v)	1300	1,5	Lehm	2,5		303			2. ÜF
				580/70R38 (h)	2920	1,7	Lehm	2,5		312			
			Schwader Krone Swadro 1250	500/50-17	1100	2,2	Lehm	2,5		204			1. ÜF
	Köllitsch	18.05.06	Traktor Fendt 711	420/70R28 (v)	2240		Sl4	3-4	3-4	nicht gemessen,			
				520/70R38 (h)	3350		Sl4	3-4	3-4	da andere Spurbreite			
			Schwader Krone Swadro 1250	500/50-17	1100	3,0	Sl4	3-4	3-4	246	0		1. ÜF
										303	0		2. ÜF
Häckseln:	Plauen:	16.05.03	New Holland FX	650/75R32 (v)	4040	2,3	Ls2	4		423			1. ÜF
				480/70R24 (h)	1650	2,0	Ls2	4		426			
	Köllitsch	18.05.06	New Holland FX 28	650/75-R32 (v)	3597 (Gebiss?)	1,8	Sl4	3-4	3-4	154	0		1. ÜF
				17.5LR24 (h)	2257	2,2	Sl4	3-4	3-4	268	1		
										152			2. ÜF
										228			
Abtransport			Traktor Fendt 818 Vario	540/65R30 (v)	1365	1,7	Ls2	4		18			1. ÜF
				650/65R42 (h)	3135	1,6	Ls2	4		218			
			Silagewagen Veenhuis SW 400	700/50-26.5 (v)	5000	3,0	Ls2	4		393			
	Plauen:	16.05.03		700/50-26.5 (h)	5000	3,0	Ls2	4		400			
			Traktor MB Trac 1100	16.9R28 (v)	1305	1,7	Ls2	4		94			1. ÜF
				16.9R28 (h)	2195	1,9	Ls2	4		162			
			Silagewagen Veenhuis VSW 2443	600/55-22,5 (v)	3600	1,9	Ls2	4		101			
				600/55-22,5 (h)	3600	2,0	Ls2	4		111			
Silage:			Traktor Fendt 824	600/65R34 (v)	2725	1,3	Sl4	3-4	3-4	229	1		1. ÜF
				710/70R38 (h)	4500	1,3	Sl4	3-4	3-4	274	17		
			Muldenkipper Annaburger HTS 29.12	700/50-22.5	4500	2,0	Sl4	3-4	3-4	321	44		
				700/50-22.5	4500	2,0	Sl4	3-4	3-4	343	68		
	Köllitsch	18.05.06		700/50-22.5	4500	2,0	Sl4	3-4	3-4	329	72		
										205	17		2. ÜF
										260	65		
										385	113		
										400	109		
										373	122		

Fortsetzung Tabelle 20:

Arbeitsgang	Standort	Datum	eingesetzte Technik	Reifen-abfolge bei Überfahrt	Radlast [1] [kg]	Reifen-innen-druck [bar]	Bodenart nach KA4	Wasser-spannung pF-Wert		gemessener Bodendruck [kPa] n = 3			Mes-sung bei Über-fahrt
								10 cm	20 cm	10 cm	20 cm	40cm	
			Traktor Fast Trac JCB 3185	520/70R30 (v)	1850	3,0	Sl2	1-2	1-2	340	33		1. ÜF
				520/70R30 (h)	2150	3,0	Sl2	1-2	1-2	403	72		
			Quaderballenpresse Fortschritt K550	555/45-17 (v)	2550	3,5	Sl2	1-2	1-2	173	213		
				555/45-17 (h)	2550	3,5	Sl2	1-2	1-2	223	291		
										403	274		2. ÜF
	Wildenhain	25.06.04								372	310		
										-	-		
Ballen-pressen:										-	-		
			Quaderballenpresse Fortschritt K550	555/45-17 (v)	2550	3,5	Sl2	1-2	1-2	168	2		1. ÜF
			(Traktor nicht über Sensoren gefahren)	555/45-17 (h)	2550	3,5	Sl2	1-2	1-2	251	7		
			Traktor Fendt Vario	600/65R34 (v)		1,5	Sl3	2-3	2-3	219	80		1. ÜF
				710/70R42 (h)		1,5	Sl3	2-3	2-3	367	156		
	Waldenburg	13.06.06	Claas Quadrant 2200 Roto Cut	500/50-17	5000	2,5	Sl3	2-3	2-3	413	61		
				500/50-17	5000	2,5	Sl3	2-3	2-3	413	170		
Teleskop-lader:	Wildenhain	25.06.04	Manitou MLT 633-120LS	17.5LR24 (v)	2024	3,5	Sl2	1-2	1-2	385	31		2.ÜF
				17.5LR24 (h)	2024	3,5	Sl2	1-2	1-2	414	85		
			Traktor Steyr 8165	16.9-26	1070	1,8	Sl2	1-2	1-2	156	7		1. ÜF
				20.8R38	1780	1,5	Sl2	1-2	1-2	181	15		
	Wildenhain	25.06.04	Eigenbauballenwagen	8.25-20 x2 (Zwilling	1500	4,5	Sl2	2-3	2-3	381	56		
				8.25-20 x2 (Zwilling	1500	4,5	Sl2	2-3	2-3	182	33		
			Traktor J.D. 4755	420/85R30	2945	H_20 und 1,5	Sl3	2-3	2-3	267	15		1. ÜF
				520/85R42	4230	2,0	Sl3	2-3	2-3	353	33		
			Friba Agrartrans	15R22.5 (385/65R2	500	8,0	Sl3	2-3	2-3	344	35		
Abtransport				15R22.5 (385/65R2	500	8,0	Sl3	2-3	2-3	-	-	Sensoren nicht	
Ballen:			HW 80	16-20	500	5,0	Sl3	2-3	2-3	-	-	getroffen	
				16-20	500	5,0	Sl3	2-3	2-3	-	-		
	Waldenburg	13.06.06								314	31		2. ÜF
										371	54		
										409	75		
										-	-	Sensoren nicht	
										-	-	getroffen	
										-	-		
			Terra-Gator (5-Rad, Selbstfahrer)	66x43.00-25 NHS (	8400	2,5	Schluff	3,5	4	276	344	214	1. ÜF
				66x43.00-25 NHS (	8400	2,5	Schluff	3,5	4	421	326	214	
	Methau	28.10.03								368	283	68	2. ÜF
										373	278	65	
										424	371	88	3. ÜF
										413	341	88	
			Traktor Fendt 824	600/65R34 (v)	2725	1,4	Sl4	3-4	3-4	57	0		1. ÜF
				710/70R38 (h)	4500	1,4	Sl4	3-4	3-4	118	0		
			Annaburger HTS 20.27	700/50-22.5	4500	2,3	Sl4	3-4	3-4	213	22		
			15000 l	700/50-22.5	4500	2,6	Sl4	3-4	3-4	266	55		
	Köllitsch	23.05.06								157	13		2. ÜF
Güllen:										202	31		
										223	75		
										243	94		
			MAN -Samson	24R20.5	5250	3,8	Lehm	3	3	411	107		1. ÜF
				24R20.5	5250	3,8	Lehm	3	3	411	250		
				24R20.5	5250	3,8	Lehm	3	3	411	362		
	Langenbach	31.05.06		24R20.5	5250	3,8	Lehm	3	3	411	424		
										406	401		2. ÜF
										407	427		
										401	430		
										419	430		

Tabelle 21: Vertikale Bodendrücke unter Maschinen und Geräten zur Grünlandbewirtschaftung in Köllitsch 2007

Arbeitsgang	Standort	Datum	Reifenabfolge bei Überfahrt	Radlast [kg]	Reifen-innen-druck [bar]	Bodenart nach KA4	gemessener Bodendruck [kPa]		Kontakt-flächen-druck (berechnet) [kPa]	Mes-sung bei Über-fahrt
							10 cm	20 cm		
Walzen	Köllitsch	30.03.07	420/70R28 (v)	1225	1,5	Sl 4	99,0	2,3	78	1. ÜF
			520/70R38 (h)	1765	1,5	Sl 4	158,5	6,9	71	
				3250 (geschätzt)	–	Sl 4	273,0	15,2	55	
				3250 (geschätzt)	–	Sl 4	109	27	55	nur Gerät
Mähen	Köllitsch	22.05.07	15.0/55-17	gesch. 1025	1,6	Sl 4	363,6	19,1	114	nur Gerät
Schwaden	Köllitsch	22.05.07	600/ 65 R34	1462	1,4	Sl 4	3,7	0,2	56	1. ÜF
			710/ 70R42	2278	1,6	Sl 4	21,6	0,9	55	
			500/50-17/10PR	gesch. 950	3,0	Sl 4	376,7	40,3	73	nach Traktor
			500/50-17/10PR	gesch. 950	3,0	Sl 4	354,2	35,3	73	nur Gerät
Walzen	Köllitsch	23.05.07	600/ 65 R34	1462	1,4	Sl 4	80,1	0,2	56	1. ÜF
			710/ 70R42	2278	1,6	Sl 4	77,8	0,1	55	
			–	3250 (geschätzt)	–	Sl 4	318,3	0,4	55	nach Traktor
	ohne Traktor		–	3250 (geschätzt)	–	Sl 4	351,0	47,1	55	1. ÜF
	ohne Traktor		–	3250 (geschätzt)	–	Sl 4	341,1	24,2	55	2. ÜF

Tabelle 22: Vorbelastungen Pv des Oberbodens (5, 10 u. 20 cm Tiefe) bei pF = 1,8 auf der Koppel 4 in Köllitsch im September 2006 nach den Befahrungen und im Frühjahr 2007 nach der Gülleausbringung, sowie Klassifizierung der Werte gemäß DVWK-Merkblatt 234/1995

Jahr	Intensität	Tiefe	Nicht Spur		Spur	
		[cm] (n = Anzahl Proben	Pv (pf 1,8) [kPa] (Mittelwert)	Pv-Klasse) (n. DVWK)	Pv (pf 1,8) [kPa] (Mittelwert)	Pv-Klasse (n. DVWK)
2006	normal befahren	05 (n = 12)	42,5	gering	45,1	gering
		10 (n= 11)	65,6	mittel	65,7	mittel
		20 (n = 6)	58,7	gering	70,2	mittel
	stark befahren	05 (n = 6)	42,8	gering	28,2	sehr gering
		10 (n = 11)	63,7	mittel	59,6	gering
		20 (n = 12)	55,7	gering	73,0	mittel
2007	normal befahren	10 (n = 6)	45,0	gering	51,0	gering
		20 (n = 6)	62,8	mittel	61,8	mittel
	stark befahren	10 (n = 6)	46,8	gering	73,8	mittel
		20 (n = 6)	65,3	mittel	82,2	mittel

Impressum

Herausgeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Internet: http://www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren: Henning Stahl, Karin Marschall, Helmut Götze, Anja Freytag
Abteilung Pflanzliche Erzeugung
Gustav-Kühn-Str. 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341 9471-122
Telefax: 0341 9471-111
E-Mail: henning.stahl@smul.sachsen.de

Redaktion: siehe Autoren

Endredaktion: Öffentlichkeitsarbeit
Präsidialabteilung

ISSN: 1867-2868

Redaktionsschluss: Januar 2009

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:
Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.