

Auswirkung mechanischer Bodenbelastung auf Dauergrünland

Neue Versuchsergebnisse

von Dr. Michael Diepolder, Sven Raschbacher, Robert Brandhuber und Dr. Thomas Kreuter

Es werden fünfjährige Ergebnisse (2003 - 2007) eines Grünland-Exaktversuchs im Boden-Klimaraum Moränen-Hügelland mit durchschnittlich vier Schnitten pro Jahr vorgestellt. Die zwei geprüften Varianten (mit/ohne Belastung) unterschieden sich ausschließlich durch die mechanische Belastung des Bodens, welche durch „Befahren Rad an Rad“ mit einem Schlepper ausgeübt wurde. Auf den befahrenen Parzellen sank der Trockenmasse-Ertrag im Mittel um ca. 12 %, der Rohproteinерtrag bzw. die N-Aufnahme um 17 %. Eine gerichtete Zunahme der Gemeinen Rispe war nicht ersichtlich. Die mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser lag bei beiden Varianten trotz stark positiver N-Salden auf sehr niedrigem Niveau und ergab bei der befahrenen Variante sogar etwas niedrigere Werte als bei der unbefahrenen. Nach Versuchsende war im darauffolgenden Frühjahr bei den bodenphysikalischen Parametern im Krumenraum kein Unterschied zwischen beiden Varianten feststellbar. Allerdings lagen Zahl und Biomasse der Regenwürmer bei der befahrenen Variante auf deutlich niedrigerem Niveau. Die Ergebnisse unterstreichen im Einklang mit sächsischen Forschungsergebnissen, dass noch weiterer Forschungsbedarf zur Klärung der Wirkungsmechanismen bei zunehmender Bodenbelastung im Grünland besteht.

Einleitung

Grünland wird heute im Vergleich zur Vergangenheit häufiger genutzt und mit schwereren Maschinen befahren. Bereits in den Jahren 2005 bzw. 2008 befassten sich in „SuB“ zwei Artikel (DIEPOLDER et al., 2005; DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2008) mit „Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbelastung bei Dauergrünland“, wobei hier erste mehrjährige Ergebnisse von zwei unterschiedlichen Standorten beschrieben und diskutiert wurden. Mit dem folgenden Beitrag werden nun die anhand einer fünfjährigen Datenbasis gewonnenen Resultate eines dritten Versuchs vorgestellt, bei dem ebenfalls von Parzellen ohne und mit mechanischer Bodenbelastung der Ertrag, die Qualität und Zusammensetzung sowie die N-Aufnahme der Pflanzenbestände untersucht wurden. Zusätzlich jedoch wurden Messungen zur Bodenphysik, zu Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser und zu Regenwurm-Zönosen vorgenommen, wodurch sich nun eine erweiterte Diskussionsbasis ergibt.

Standort und Varianten

Der Versuchsstandort Puch befindet sich im Landkreis Fürstfeldbruck im oberbayerischen Altmoränen-Hügelland und wird dem Boden-Klimaraum „Moränen-Hügelland und Alpenvorland“ (einer von elf Boden-Klimaräumen in Bayern; LFL, 2009) zugeordnet. Er liegt 550 m über NN, hat 920 mm mittleren Jahresnieder-

schlag und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 8,0 °C. Als Bodentyp liegt eine Parabraunerde vor, die Bodenart ist toniger Schluff. Der Pflanzenbestand wies zu Versuchsbeginn 13 Arten (sechs Gras-, sechs Kräuterarten und Weißklee) auf. Der Frischmasse-Ertrag des ersten Aufwuchses bestand aus 87 % Gräsern, 9 % Kräutern und 4 % Klee. Der Bestand war demnach als artenarm und grasreich zu bezeichnen. Leitgras war zu Versuchsbeginn mit 69 % Frischmasse-Anteil das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*). Als weiteres bestandsbildendes Gras war Knautgras (*Dactylis glomerata*) mit 11 % vorhanden.

Im ersten Versuchsjahr wurden die Nährstoffgehalte des Oberbodens in 0 - 10 cm Tiefe untersucht. Die Messwerte (gewonnen aus Mischproben von je vier Wiederholungen der beiden Varianten) deuten im Mittel bei einem Humusgehalt von durchschnittlich 3,5 % und einem C/N-Verhältnis von 12:1 auf einen für Dauergrünlandverhältnisse vergleichsweise humusarmen Boden und eher einen Ackerstandort hin (als solcher ist Puch auch anzusehen). Der pH-Wert von 5,3 liegt etwas unter dem anzustrebenden Optimum, während Gehalte von 15 mg P₂O₅ bzw. 23 mg K₂O und 15 mg Mg pro 100 g Boden auf eine optimale, im Falle von Kalium sogar hohe Nährstoffversorgung des Versuchsstandortes hinweisen.

Im Jahr 2003 wurde auf dem vorhandenen Dauergrünlandbestand über einem Saugkerzenfeld ein Exaktversuch mit zwei Varianten in vierfacher Wiederholung angelegt und fünf Jahre lang durchgeführt. Charakteristika der beiden Varianten sind in *Tabelle 1* aufgeführt.

Hervorzuheben ist, dass Variante 2 nicht generell nach jedem Schnitt überrollt wurde, sondern in den Jahren 2003 - 2007 nur 13 Mal, womit bei insgesamt 21 genommenen Schnitten rein rechnerisch betrachtet 62 % aller Aufwüchse – zusätzlich zur Ernte – mechanisch belastet wurden. Hingegen unterblieb die Überrollung immer dann, wenn der Boden wassergesättigt war. Dies wurde bewusst so gehandhabt, um eine dauerhafte mechanische Schädigung der Grünlandnarbe durch „Zerfahren“ des Bodens zu vermeiden, welche den eigentlichen Versuchsansatz „Effekte durch Bodenbelastung“ in Frage gestellt hätte.

Ebenfalls fällt auf, dass gegenüber den gemeinhin gültigen Empfehlungen (LFL, 2007) vergleichsweise hohe Stickstoff- und Phosphormengen auf die Grünlandparzellen gelangten. Dem lag die Absicht zu Grunde, Nährstoffmangel für die beabsichtigte Kernfrage „Effekte von Bodenbelastung“ generell auszuschließen. Darüber hinaus sollten Rückschlüsse gewonnen werden, ob und inwieweit sich die hohe N-Düngung in

der Nitratkonzentration des Sickerwassers widerspiegelt.

Durchgeführte Untersuchungen und Auswertungsmethoden
Kontinuierlich durchgeführte Untersuchungen

Bei jedem Aufwuchs wurden in der fünfjährigen Versuchsperiode 2003 - 2007 der Frischmasseertrag und Trockensubstanzgehalt festgestellt. Als Qualitätsparameter wurden der Rohasche-, der Rohfaser- und der Rohproteingehalt im getrockneten Grüngut gemessen. Daraus konnte die Energiekonzentration sowie der Trockenmasse-, Energie- und Rohproteinertrag bzw. die N-Abfuhr errechnet werden.

In den Jahren 2003 - 2006 wurden kurz vor dem ersten Schnitt alle Parzellen botanisch aufgenommen und der Ertragsanteil der Einzelarten bzw. Artengruppen visuell geschätzt.

Auf eigens angelegten Bodenproben-Messfeldern mit identischer Bewirtschaftung (Vermeidung von Störungen in den Saugkerzen-/Ernteparzellen; siehe auch Untersuchungen nach Versuchsende) wurden kontinuierlich N_{min} -Proben gezogen. Die Beprobung erfolgte im Jahresverlauf und umfasste insgesamt ca. 70 Termine während des gesamten Untersuchungszeitraumes. Bestimmt wurden sowohl der Nitrat- als auch der Ammonium-Stickstoff in den Bodenschichten 0 - 10 cm und 10 - 30 cm Tiefe.

Unter jeder der 8 (2 x 4) Ernteparzellen befanden sich je 4 in 80 cm bzw. 130 cm Tiefe fest installierte keramische Saugkerzen. An diese wurde mehrmals täglich ein Unterdruck von ca. 0,5 bar angelegt und damit das frei bewegliche, dränende Bodenwasser kontinuierlich erfasst. Von den insgesamt 64 Saugkerzen (zwei Varianten, vier Wiederholungen, acht Saugkerzen pro Parzelle) wurde das abgesaugte Bodenwasser ca. zwei Wochen lang in Glasbehältern, die sich in einem isolierten Bodenschacht befanden, aufgefangen und dann im

Tabelle 1: Varianten

	Variante 1 (Kontrollvar.) („ohne Belastung“)	Variante 2 („mit Belastung“)
Mechanische Belastung	-	Befahren*) mit Schlepper „Rad an Rad“ (ca. 6 t Gesamtgewicht, Reifenbreite ca. 50 cm, 1,5 bar Innendruck, 4 - 5 km/h)
Zeitpunkt	-	Im Herbst 2003, 2004 Nach dem 1. Schnitt: 2003 bis 2007 Nach dem 2. Schnitt: 2003, 2005, 2006 Nach dem 3. Schnitt: 2003, 2006, 2007
Düngung	Je 25 m ³ /ha Rinder-Gülle (7,7 % TS) zum 1., 2. und 4. Aufwuchs (2007 auch zum 5. Aufwuchs) 60 kg N/ha als Kalkammonsalpeter (KAS) zum 3. Aufwuchs	
Ausgebrachte Nährstoffmengen	Pro Jahr und Hektar: 392 kg Gesamt-N; davon 292 kg N anrechenbar nach „Gelbem Heft“ (LFL, 2007); 220 kg P ₂ O ₅ , 321 kg K ₂ O	
Nutzungsintensität	vier Schnitte pro Jahr in 2003 - 2006; fünf Schnitte in 2007	

*) Befahrung unterblieb bei wassergesättigtem Boden, siehe auch Text

LfL-Labor auf seine Konzentration hinsichtlich Nitrat, Gesamt-Phosphor und Gesamt-Schwefel analysiert. Bereits innerhalb einer Variante und eines Untersuchungstermins gab es große Unterschiede zwischen den Saugkerzen (aufgefangene Wassermengen und Nährstoffkonzentrationen), wofür kleinräumige Bodenunterschiede und technische Voraussetzungen der installierten Kerzen (Verschlammung etc.) verantwortlich gewesen sein dürften. Deshalb wurde für die statistische Verrechnung ein aufwändiges Verfahren verwendet, das hier jedoch nicht näher beschrieben werden soll.

Die Absicherung der Mittelwerte von Ertrags- und Qualitätsparametern sowie von N_{min} -Gehalten im Boden und Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser erfolgte mittels Varianzanalyse und t-Test bei einer statistischen Absicherung mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit.

Untersuchungen nach Versuchsende
Zusätzlich zu den Ernteflächen über den Saugkerzenparzellen wurden Bodenproben-Messfelder (zwei Varianten, vier Wiederholungen, randomisiert) angelegt, wo – neben der Entnahme von

Bodenproben – im auf die letzte Ernte (Herbst 2007) folgendem Frühjahr 2008 weitere Untersuchungen zur Bodenphysik und Bodenfauna durchgeführt wurden.

Anhand von in 5 - 10 cm Tiefe gewonnenen Stechzylinderproben (neun Stechringe pro Belastungsstufe und Wiederholung, entnommen in der ersten Maidekade 2008) wurden die Trockenrohddichte (TRD), das Gesamtporenvolumen (GPV), der Anteil weiter Grobporen im Bodenvolumen (Luftkapazität, LK bei pF 1,8) und die pneumatische Leitfähigkeit (PL) festgestellt.

In der zweiten Maidekade 2008 erfolgte eine einmalige Untersuchung zu Effekten der Bodenbelastung auf die Regenwurmpopulationen (Siedlungsdichten, Biomassen, Arten- und Dominanzstruktur). Dabei wurden die Würmer innerhalb quadratischer Rahmen (0,25 m²) mit einer 0,2 %igen Formaldehyd-Lösung (2 x 20 l/m²) ausgetrieben. Die mittels Nachgrabungen geschätzte Austreibungsquote betrug über 80 %. Pro Variante erfolgten zwölf Wiederholungen (drei Wiederholungen pro Einzel-

Beratung und Bildung

Tabelle 2: Erträge und Futterqualität (Mittel 2003 - 2007)

Parameter	Variante 1 (unbefahren)		Variante 2 (befahren)		GD 5%
TM-Ertrag (dt/ha)	106,5	a	93,6	a	13,3
Energie-Ertrag (GJ NEL/ha)	62,0	a	55,5	a	7,4
Rohprotein-Ertrag (kg RP/ha)	1.430	a	1.190	b	217
N-Abfuhr (kg N/ha)	229	a	190	b	35
Ø Rohfasergehalt (g/kg TM)	270	a	260	a	15
Ø Rohproteingehalt (g/kg TM)	136	a	129	b	6
Ø Rohaschegehalt (g/kg TM)	95	a	97	a	6
Ø Energiedichte (MJ NEL/kg TM)	5,82	a	5,89	a	0,13

parzelle). Die statistische Auswertung erfolgte hier nach dem parameterfreien U-Test nach Mann-Whitney.

Ergebnisse und Diskussion Jahreserträge und Futterqualität

In *Tabelle 2* sind die für den Versuchszeitraum 2003 - 2007 gemittelten Jahreserträge (Trockenmasse, Energie, Rohprotein) und Futterqualitäten dargestellt. Hingewiesen sei darauf, dass es sich bei den Mittelwerten der vier Qualitätsparametern nicht um das reine arithmetische Mittel aller 21 Aufwüchse handelt, sondern um das gewogene Mittel unter Berücksichtigung der TM-Erträge der einzelnen Schnitte.

Bemerkenswert an den Mittelwertvergleichen in *Tabelle 2* sind zunächst die teilweise auffallend hohen Grenzdifferenzen für die einzelnen Untersuchungsparameter, welche eine strenge Absicherung auch sehr großer Differenzen erschweren. Die Ursache dafür ist u. a. in den ausgeprägten Wechselwirkungen zwischen Einzeljahr und Variante zu suchen. Dies soll exemplarisch für den TM-Ertrag und die N-Abfuhr anhand *Tabelle 3* verdeutlicht werden, wobei hier ebenfalls die erheblichen Jahresunterschiede zwischen den einzelnen Versuchsjah-

ren ersichtlich werden. Letztendlich wird dadurch auch verständlich, dass – gerade in Zeiten zunehmender Witterungsextreme – nur langfristig angelegte Versuche die Chance zu abgesicherten Beratungsaussagen bieten.

Tabelle 2 zeigt, dass unter Prämisse der in landwirtschaftlichen Versuchsfragen üblichen statistischen Absicherung (mindestens 95 % „Sicherheit“ bzw. weniger als 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit) nur für den Rohproteingehalt und Rohproteinertrag bzw. für die N-Abfuhr die durch mechanische Belastung (Variante 2) verursachten Effekte gegenüber der unbefahrenen Kontrollvariante 1 abgesichert werden können. Beim Vergleich der Mittelwerte von TM- bzw. Energieertrag wird die

Signifikanz nur knapp verfehlt (5,5 % bzw. 6,7 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

Unter Berücksichtigung einer gewissen Unschärfe beim TM- und Energieertrag bleibt festzuhalten: Im fünfjährigen Mittel ging mit dem (häufigen) Befahren eine Minderung des TM-Ertrags um ca. 12 %, des Energie-Ertrags um ca. 10 % und des Rohprotein-Ertrags um ca. 17 % einher.

Bemerkenswert ist, dass der Ertragsverlust an geernteter Trockenmasse in seiner Größenordnung sehr gut mit auf anderen bayerischen Grünland-Versuchsstandorten im Allgäu und Vorderen Bayerischen Wald gewonnenen Ergebnissen übereinstimmt. Dort wurden im mehrjährigen Mittel signifikante Ertragsrückgänge von ca. 9 - 14 % bzw. 10 - 14 % bei befahrenen Parzellen gemessen (DIEPOLDER et al., 2005; DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2008).

Ergänzend zu *Tabelle 2* sei auch hinzugefügt, dass die Ertragsunterschiede zwischen beiden Varianten im Vergleich der (nicht explizit dargestellten) einzelnen 21 Schnitte im gesamten Untersuchungszeitraum sehr stark schwankten. Sie reichten von Mindererträgen von 0 - 28 % bei Variante 2 bis hin zu dem

Tabelle 3: Einflüsse von Jahreseffekten, dargestellt am TM-Ertrag und der N-Abfuhr

	2003	2004	2005	2006	2007	σ
Niederschlag (mm)						
März-September/Jahr (mm)	398/615	507/765	752/930	655/888	800/1034	846/622
TM-Ertrag Variante 1 (dt TM/ha)	78,9	54,6	131,1	121,7	136,6	106,5
TM-Ertrag Variante 2 (dt TM/ha)	69,5	48,1	110,8	106,4	133,3	93,6
Relativ Var. 2 zu Var. 1 (%)	-12	-12	-21	-13	-2	-12
N-Abfuhr Variante 1 (kg N/ha)	177	125	301	261	281	229
N-Abfuhr Variante 2 (kg N/ha)	153	104	213	224	259	190
Relativ Var. 2 zu Var. 1 (%)	-14	-17	-30	-14	-8	-17

Einzel Fall eines tendenziellen leichten Mehrertrages im ersten Aufwuchs im Frühjahr 2008 bei Befahren im Herbst 2007. Allerdings unterstreichen gerade die Ernteergebnisse des zweiten Schnittes deutlich die offensichtlichen Resultate der Jahresmittel (*Tabelle 2*), nämlich dass es durch das Befahren von Grünlandbeständen zu nachteiligen Einflüssen im System Boden/Pflanze kommt. So wurden die Parzellen von Variante 2 in allen Jahren nach dem ersten Schnitt befahren. Dies führte dazu, dass der TM-Ertrag beim zweiten Aufwuchs um 23 % gegenüber Variante 1 niedriger lag.

Im Gegensatz zu Resultaten von STAHL et al. (2009) sowie DIEPOLDER und RASCHBACHER (2008), die in Fahrspuren bzw. bei befahrenen Parzellen etwas höhere Rohproteingehalte feststellten, führte in der vorliegenden Untersuchung die ausgeübte Bodenbelastung auch zu signifikant niedrigeren Rohproteingehalten und damit zu signifikant niedrigeren Rohproteinerträgen. Eine Analyse der Pflanzenbestände (*Tabelle 4*) liefert in Puch hierzu keine schlüssige Erklärung. Möglich erscheint daher, dass durch das Befahren die N-Umsetzung in Ertrag und Eiweiß behindert wurde. Ob dies evtl. durch eine mechanische Schädigung der oberirdischen Pflanzenmasse und/oder der Wurzelmasse verursacht wurde, wäre in Übereinstimmung mit Aussagen von STAHL et al. (2009) ein interessanter Aspekt weiterer Forschungsarbeiten.

Pflanzenbestände

Mit Ausnahme des letzten Versuchsjahres wurden jeweils vor dem ersten Schnitt die Pflanzenbestände botanisch aufgenommen. Die wichtigsten Ergebnisse sind in *Tabelle 4* zusammengefasst, bewusst wurden hier die Einzeljahre dargestellt und kein Mittelwert ausgewiesen.

Zunächst fallen die teilweise starken Jahreschwankungen bei den Artenanteilen auf, was man bei Grünlandversuchen oft feststellt. Sie lassen in Verbindung mit dem für abgesicherte Aussagen zur Bestandsentwicklung vergleichsweise kurzen Versuchszeitraum nur vorsichtige Interpretationen zu. Andeutungsweise zeigt sich jedoch im Vergleich der Jahre 2003 und 2006, dass der Schwund an Deutschem Weidelgras auf den befahrenen Parzellen (Variante 2) weniger stark ausfiel als bei Variante 1. Bei dieser dominierte im vierten Versuchsjahr eindeutig das Knaulgras und auch die Wiesenrispe erreichte höhere Anteile.

Bemerkenswert aber waren zwei Sachverhalte: Auch auf diesem Standort war in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der bereits vorher zitierten Untersuchungen im Allgäu und Bayerischen Wald eine gerichtete Zunahme der Gemeinen Rispe (*Poa trivialis*) auf den befahrenen Parzellen nicht ersichtlich. Dies bestärkt die These, dass die vielerorts beklagte hohe Präsenz dieses Problemgrases im Intensivgrünland nicht monokausal mit höheren Gerätegewichten und/oder vermehrten Überfahrten erklärt werden kann sondern vielmehr multifunktionale Ursachen haben dürfte. Hierzu zählen u. a. eine nicht standortangepasste Nutzungsintensität (Ausfall von nicht vielschnittverträglichen Arten), Verletzungen der Grasnarbe und nicht durch-

geführte rechtzeitige Pflegemaßnahmen (Nachsaat) gerade bei festgestellten Narbenlücken.

Weiterhin war auffallend, dass der Leguminosenanteil (hier Weißklee) sich in Puch auf sehr niedrigem Niveau bewegte und von der Bodenbelastung her völlig unbeeinflusst blieb. Dies war auf den anderen beiden Standorten teilweise anders. Letztendlich weisen die Bestandsentwicklungen aller drei Versuche jedoch darauf hin, dass generalisierte Aussagen zu botanischen Wirkungsmechanismen schwierig sind und dass hinsichtlich der Dynamik von Grünlandbeständen Jahres- und Standorteffekte oft ausschlaggebender als Faktoreffekte (Düngung, Bodendruck etc.) sein können. Gerade diese Tatsache bedeutet nicht nur für Versuchsansteller sondern auch für den Landwirt, sich kontinuierlich und langfristig mit der Entwicklung von Grünlandbeständen zu befassen.

Untersuchungen zur N-Dynamik

Tabelle 5 stellt wesentliche Parameter zur N-Dynamik beider Varianten gegenüber. Als solche sind die Bilanzierung von gegebener N-Düngung und N-Abfuhr, die Höhe und Fraktionierung des mineralisierten Bodenstickstoffs und die Nitratbelastung des Sickerwassers unter dem Wurzelraum zu nennen. Als weitere Ergänzung zu den Nährstoffgehalten im aufgefangenen Bodenwasser sind

Tabelle 4: Ergebnisse der Pflanzenbestandsaufnahmen vor dem ersten Schnitt

	Variante 1 (unbefahren)				Variante 2 (befahren)			
	Anteil in der Frischmasse 1. Aufwuchs (%)							
	2003	2004	2005	2006	2003	2004	2005	2006
Wiesenfuchsschwanz	2	2	4	5	< 1	2	3	5
Knaulgras	11	6	22	52	12	8	17	36
Dt. Weidelgras	70	71	52	16	69	77	65	43
Wiesenrispe	< 1	14	6	19	< 1	7	3	7
Gemeine Rispe	4	< 1	11	7	4	< 1	6	7
Σ Gräser	88	95	96	99	86	94	94	98
Σ Kräuter	8	4	4	< 1	10	5	5	2
Σ Leguminosen	4	1	< 1	< 1	5	< 1	< 1	< 1

Tabelle 5: N-Düngung, N-Abfuhr, N-Saldo, N_{\min} -Gehalt sowie Nitrat-, P- und S-Konzentration im Sickerwasser (Mittel 2002 - 2007)

Parameter	Variante 1 (unbefahren)	Variante 2 (befahren)
N-Zufuhr (kg Gesamt-N _{anrechenbar} /ha)	292	
N-Abfuhr (kg N/ha)	229 a	190 b
Einfacher N-Saldo (kg N/ha)	63	102
Ø N_{\min} in 0-30 cm (kg N/ha)	28 a	29 a
Ø Anteil NH_4 -N am N_{\min} (%)	63	57
Saugkerzen-Sickerwasser		
Ø Nitratkonzentration (NO ₃ mg/l)	8,0 a	5,0 b
Ø Phosphorkonzentration (P mg/l)	0,24 a	0,19 a
Ø Schwefelkonzentration (S mg/l)	5,2 a	3,3 b

Unterschiedliche Kleinbuchstaben bedeuten signifikante Mittelwertunterschiede.

vollständigkeitshalber noch die Konzentrationen von Phosphor und Schwefel angegeben, welche bei der Laboranalytik ebenfalls gemessen wurden.

Es fällt sofort auf, dass durch die gegebene organisch/mineralische N-Düngung wesentlich höhere Stickstoffmengen auf die Grünlandparzellen ausgebracht als mit dem Erntegut abgefahren wurden. Dementsprechend traten bereits bei der unbefahrenen Variante 1, welche beim Ertrag und Rohproteingehalt höhere Werte als die befahrene Variante 2 aufwies, beträchtliche mittlere N-Überhänge im Boden (Düngung minus Entzug) in Höhe von 63 kg N/ha auf. Im Falle von Variante 2 erhöhte sich dieser positive N-Saldo nochmals um weitere 39 kg N/ha auf 102 kg N/ha. Interessanterweise lagen jedoch die durchschnittlichen Vorräte an mineralisiertem Nitrat- und Ammoniumstickstoff (N_{\min}) in 0 - 30 cm Tiefe auf gleichem Niveau. Generell bestand – nicht unüblich bei Grünland im Gegensatz zum Ackerland – ein hoher Anteil am gesamten mineralisierten Stickstoff aus der Ammonium-Fraktion. Ergänzend sei anhand früherer Untersuchungen (DIEPOLDER, 2000; DIEPOLDER und JAKOB, 2003) auch noch darauf verwiesen, dass sich auch wesentlich höhere N-Düngungsunterschiede nicht in entsprechenden N_{\min} -Differenzen widerspiegeln müssen. Daher dürfte bei Dauergrünland die Bestimmung des Potenzials an mineralisiertem Stickstoff im

Hauptwurzelraum kein geeigneter Parameter für die Bemessung der N-Düngung und der Abschätzung der Nitratbelastung des Sickerwassers sein.

Vor allen Dingen aber ist bemerkenswert, dass sich die überhöhte N-Düngung nicht in hohen Nitratwerten im dränenden Sickerwasser niederschlug. Die Mittelwerte im Bereich von 5 bzw. 8 mg/l Nitrat sind als sehr niedrig zu bezeichnen, wenn man als Vergleich den Nitratgrenzwert im Trinkwasser von 50 mg/l NO₃ heranzieht. Vielmehr noch lagen beim Nitrat (auch beim gleichfalls auswaschungsgefährdeten Schwefel) die Konzentrationen bei Variante 1 (unbefahren) etwas über denen von Variante 2, wobei der Unterschied signifikant war. Die Ursachen könnten – wenngleich nicht

aus den nach Versuchsende erhobenen bodenphysikalischen Daten ersichtlich – entweder in einer durchgängigeren Makroporenkontinuität bei fehlender Befahrung oder in einer zeitweise höheren Denitrifikationsrate in der befahrenen Variante zu suchen sein.

Bodenphysik

Die Beprobung zur Untersuchung möglicher Auswirkungen unterschiedlicher mechanischer Belastung auf wichtige bodenphysikalische Parameter erfolgte im Mai 2008, also ca. zehn Monate nach Durchführung der letzten gezielten Bodenbelastung (nach dem dritten Schnitt 2007).

In Hinblick auf die Interpretation der in *Tabelle 6* zusammengefassten Variantenmittel (36 Einzelproben pro Belastungsstufe) sind insbesondere die Trockenraumdichte („Lagerungsdichte“), der Gesamtporenanteil am Bodenvolumen (Gesamtporenvolumen, GPV) und der Anteil luftführender Grobporen am Bodenvolumen (Luftkapazität, LK bei Wasserspannung von pF 1,8) sowie die sogenannte Pneumatische Leitfähigkeit (PL) interessant. Der letztgenannte Parameter lässt in Ergänzung mit den anderen Messwerten gewisse Rückschlüsse auf die Porenkontinuität, damit auch auf die „Luftleitfähigkeit“ im Boden zu. Er wird dadurch ermittelt, indem man bei einheitlich eingestellter Wasserspannung des Bodens (pF 1,8) durch die Stechzylinder Luft mit definiertem Druck schiebt.

Tabelle 6: Bodenphysikalische Parameter im Frühjahr 2008

Parameter	Variante 1 (unbelastet)	Variante 2 (belastet)
Korngrößenfraktionen		
Ton (Gew.-%)	24,9	24,5
Schluff (Gew.-%)	65,4	65,5
Sand (Gew.-%)	9,7	10,0
Bodenart	Ut4	Ut4
Trockenraumdichte (g/cm ³)	1,48	1,47
Gesamtporenvolumen (Vol.-%)	43,3	43,9
Luftkapazität (Vol.-%)	7,5	8,3
Pneumatische Leitfähigkeit (cm/sec.)	2,4	3,6

Insgesamt zeigen die in *Tabelle 6* dargestellten Kennwerte, dass sich die mechanische Belastung (dreizehn Überrollvorgänge in fünf Versuchsjahren) auf dem stark tonigen Schluffboden (Ut4) in der Krume nicht dauerhaft auf die Struktur des Porensystems ausgewirkt hat. Damit konnte auch keine Verdichtung des Oberbodens bei Variante 2 festgestellt werden, die

Trockenraumdichten waren identisch. Kurzfristige Effekte nach dem Überrollen können jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Der Befund ist umso interessanter, da sowohl Pflanzenbestand als auch Ertragspotenzial auf die erhöhte Belastung reagierten. Es ist daher möglich, dass die negativen Ertragseffekte bei den befahrenen Flächen (auch) auf eine – wie auch immer geartete – Verletzung der Grasnarbe (Pflanzen und/oder Wurzeln) durch das Überrollen zurückzuführen sind.

Allgemein wiesen die bodenphysikalischen Daten auf einen für Grünland recht dicht lagernden Boden hin. So lag die Trockenraumdichte bei ca. 1,5 g/cm³, während man sonst bei Grünland im Oberboden meist Werte ca. 0,9 - 1,2 g/cm³ findet. Ein Anteil an weiten Grobporen von ca. 8 % gilt für einen Grünlandboden als gering; zum Vergleich weist ein durchschnittlicher Ackerboden in der Krume ca. 10 % Luftkapazität auf. Auch die Pneumatische Leitfähigkeit ist als gering einzustufen. Die Vergleichswerte für Grünland beziehen sich allerdings auf Standorte mit meist höherem Humusgehalt.

Bodenfauna

Der Begriff (Bio-)Zönose bezeichnet

Tabelle 7: Biomasse und Individuenzahl der Regenwurmfänge im Frühjahr 2008

	Biomasse (g/m ²)		Individuen / m ²		Anmerkungen
	Var. 1 (unbelastet)	Var. 2 (belastet)	Var. 1 (unbelastet)	Var. 2 (belastet)	
Juvenile <small>Gesamt</small>	130,2	69,4	411	218	Hochsignifikant niedrigere Werte
Adulte					
<i>A. caliginosa</i>	46,4	50,1	117	124	Kaum Effekte
<i>L. terrestris</i>	50,7	25,1	12	8	<u>Niedrigere Werte</u> , nicht signifikant
<i>L. rubellus</i>	19,5	27,0	12	21	Höhere Werte, nicht signifikant
<i>L. castaneus</i>	2,5	4,5	15	22	Höhere Werte, nicht signifikant
<i>A. rosea</i>	2,1	3,2	11	13	Kaum Effekte; wenig Vorkommen
<i>O. lacteum</i>	0,4	0,4	0,3	0,3	(Sehr geringes Vorkommen)
Summe <small>Juv. + Adult</small>	251,8	179,7	587	406	Signifikant niedrigere Werte

die Gemeinschaft von Organismen in einem abgegrenzten Lebensraum. Aus den in *Tabelle 7* zusammengefassten Ergebnissen geht insgesamt hervor, dass unterschiedliche Bodenbelastung zu deutlichen Effekten auf die Regenwurm-Zönosen führte. Sowohl die Biomasse (g/m²) als auch die Abundanz (Individuen/m²) der Gesamtfänge (siehe *Tabelle 7* unten) waren dabei auf den unbefahrenen Parzellen (Variante 1) signifikant höher.

Dieser Effekt ging vor allem auf die hochsignifikanten Werte für die nicht geschlechtsreifen (juvenilen) Lumbriciden zurück. Vor allem Jungtiere des Tauwurms *Lumbricius terrestris*, einer tiefgrabenden und anözischen, d. h. vom Unterboden bis zur Oberfläche aktiven Art, wurden durch die Verdichtung negativ beeinflusst.

Für die adulten Tiere, die generell bis zur Art determiniert wurden, ließ sich darüberhinaus im Zusammenhang mit der Verdichtung eine interessante Differenzierung der Zönosen nachweisen. Analog zu den Juvenilen reagierten auch geschlechtsreife Tiere der Art *Lumbricius terrestris* auf die Verdichtung mit einem deutlich geringerem Besatz (nicht signifikant bei $\alpha = 0,05$ bzw. 0,1). Der Tauwurm ist für das Boden und Agrarökosystem von besonders großer

Bedeutung. Auf den Versuchspartellen erreichte diese Spezies ungeachtet relativ geringer Abundanzen die höchste Biomasse im Vergleich aller Regenwurmart. Die Bodenbelastung (siehe Variante 2) führte zu einem Rückgang der Werte um 50 %. In Anbetracht der agrarökologischen Schlüsselstellung von *Lumbricius terrestris* sollte diesem Befund eine entsprechende Bedeutung beigemessen werden.

Die Streuschichtbewohner *Lumbricius rubellus* und *Lumbricius castaneus* erreichten dagegen auf den belasteten Flächen (Variante 2) tendenziell höhere Biomasse- und Abundanz-Durchschnittswerte (keine Signifikanz!). Dies könnte auf veränderte trophische (die Ernährung betreffende) und mikroklimatische Bedingungen im Bereich der belasteten Grasnarbe zurückzuführen sein, wie z. B. mehr Detritus (Zerfallsprodukte), kurzfristige Veränderungen der Lagerungsdichte und Bodenfeuchte. Ein Beweis dafür steht jedoch aus, da nur die Lagerungsdichte (einmalig) bestimmt wurde und hier kein nachhaltiger Einfluss der Bodenbelastung erkennbar war. Vorstellbar ist aber anhand der gemessenen niedrigeren Pflanzenmasse- und Nährstoffabfuhr (N) auf den belasteten Parzellen, dass hier aus Sicht der Streuschichtbewohner günstigere Lebensbedingungen vorhanden gewesen

sein könnten als auf den unbelasteten Flächen.

Für die am häufigsten erfasste Art *Aporrectodea caliginosa*, einen typischen Mineralboden-Bewohner auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (besonders auch auf Ackerland), wurden keine Effekte durch die hohe Bodenbelastung festgestellt.

Insgesamt sind jedoch die Resultate gerade deshalb bemerkenswert, weil die im Mai 2008 durchgeführten Messungen rund 10 Monate nach dem letztmaligen Befahren von Variante 2 (September 2007) erfolgten und bei den bodenphysikalischen Parametern keine bleibenden Auswirkungen ersichtlich waren. Obwohl die bodenphysikalischen und -faunistischen Untersuchungen sich ausschließlich auf einen einzigen Termin im Frühjahr nach Versuchsende beschränkten, kann dennoch etwas salopp formuliert werden: Anscheinend reagierte das Bodengefüge in der Krume auf die hohe Belastung mit einem „kurzen Gedächtnis“ – anders hingegen die Regenwürmer. Dies ist als ein bemerkenswertes Teilergebnis des Gesamtversuchs zu werten.

Fazit und Ausblick

Grünland wird heute intensiver und mit schwereren Maschinen befahren als früher. Die von nun drei Versuchstandorten in Bayern vorliegenden Ergebnisse weisen darauf hin, dass mit dem Befahren bzw. der dadurch ausgeübten Bodenbelastung gewisse Ertragsverluste einhergehen. Einschränkend sei hinzugefügt, dass es – anders als im Versuch – in der Praxis des intensiv genutzten Wirtschaftsgrünlandes ein völlig unbelastetes Grünland wohl kaum geben kann. Ein wichtiges Teilergebnis war zudem, dass die mitunter starke Präsenz der Gemeinen Risppe im Intensivgrünland bislang nicht monokausal durch Effekte höherer Bodenbelastung erklärbar sein dürfte.

Unklar und damit weiteren Forschungsvorhaben vorbehalten bleibt die genaue Wirkungsursache der Ertragseinbußen, zumal bei den durchgeführten Unter-

suchungen bislang keine nachhaltigen Beeinträchtigungen der gemessenen bodenphysikalischen Kennwerte ersichtlich waren. Dementsprechend weisen auch die sächsischen Kollegen STAHL et al. (2009) im Fazit ihrer interessanten Arbeit „Bodendruck im Grünland“ darauf hin, dass auf Basis bodenphysikalischer Eigenschaften die auch bei ihren Untersuchungen festgestellten Ertragsunterschiede nicht erklärbar sind.

Übereinstimmend mit den genannten Autoren ist zu folgern, sich in Zukunft intensiver mit der Reaktion von Grünlandpflanzen auf mechanische Belastung, z. B. deren Einflüsse auf den Vegetationskegel oder die Wurzelndynamik zu beschäftigen. Dies wird dadurch noch bekräftigt, da sich andeutet, dass die im Grünland ausgeübte Bodenbelastung nachhaltig Einflüsse auf die Regenwurmfauuna haben kann.

Danksagung

Den Autoren ist es ein Anliegen, für die Versuchsdurchführung, Laboranalysen und Datenaufbereitung den Kolleginnen/Kollegen des Versuchsgutes Puch, der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU) sowie dem Sachgebiet Versuchswesen und Biometrie herzlich zu danken.

Literaturhinweise

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland „Gelbes Heft“. 8. überarbeitete Auflage, 98 Seiten, 2008.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL): Pflanzenbauversuche in Bayern, Planung 2009; LfL-Information „Integrierter und Ökologischer Pflanzenbau in Bayern – Planung der Feldversuche 2008/2009 in Zusammenarbeit mit den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten“, 274 Seiten, 2009.
- DIEPOLDER, M.: Auswirkungen zeitlich gestaffelter Güllegaben im Herbst auf Ertrag, Qualität und mögliche Nitratbelastung des Sickerwassers unter Dauergrünland. „Schule und Beratung“ Heft 9-10/00, Seite IV-1 bis IV-6, Hsg.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 2000. Siehe ebenfalls unter www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/, hier unter Versuchsergebnisse und Praxisbeobachtungen zur Düngung und Umwelt.

- DIEPOLDER, M., JAKOB, B.: Ergebnisse eines langjährigen Düngungsversuches im Grünland mit unterschiedlichem Zeitpunkt der Gülleausbringung. „Schule und Beratung“ Heft 7/03, Seite III-5 bis III-8, Hsg. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München, 2003. Siehe ebenfalls unter www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/, hier unter Versuchsergebnisse und Praxisbeobachtungen zur Düngung und Nährstoffausnutzung.
- DIEPOLDER, M., SCHRÖPEL, R., BRANDHUBER, R., BAUCHHENß, J., JAKOB, B.: Wie wirkt sich zunehmende mechanische Belastung im Intensivgrünland aus – Erste Versuchsergebnisse aus Bayern. „Schule und Beratung“ Heft 8-9/05, Seite III-6 bis III-10, Hsg. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München, 2005. Siehe ebenfalls unter www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/, hier unter Versuchsergebnisse und Praxisbeobachtungen zur Bewirtschaftungsintensität.
- DIEPOLDER, M., RASCHBACHER, S.: Versuch zu Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbelastung auf Ertrag und Futterqualität bei Dauergrünland. „Schule und Beratung“ Heft 7/08, Seite III-14 bis III-18, Hsg. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München, 2008. Siehe ebenfalls unter www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/, hier unter Versuchsergebnisse und Praxisbeobachtungen zur Bewirtschaftungsintensität.
- STAHL, H., MARSCHALL, K., GÖTZE, H., FREYTAG, A.: Bodendruck im Grünland. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen, Heft 3/2009.

*Dr. Michael Diepolder, Landwirtschaftsober-
rat; Sven Raschbacher, Landwirtschaftsamt-
mann; Robert Brandhuber, Regierungsdirektor, und Dr. Thomas Kreuter, wiss.
Angestellter; alle Bayerische Landesanstalt
für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie,
Ökologischen Landbau und Bodenschutz,
Lange Point 12, 85354 Freising* □