

# Wie wirkt sich zunehmende mechanische Belastung im Intensivgrünland aus?

- Erste Versuchsergebnisse aus Bayern -

von Dr. Michael Diepolder, Rainer Schröpel, Robert Brandhuber, Dr. Johannes Bauchhenß und Bernd Jakob

Erste vierjährige Versuchsergebnisse der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft an einem weidelgrasreichen Standort im Allgäuer Alpenvorland zeigten folgende Ergebnisse: Simulierte Bodenbelastung führte gegenüber der unbefahrenen Kontrollvariante speziell im Oberboden zu einer Erhöhung der Lagerungsdichte bzw. Verringerung der Luftkapazität. Ebenfalls wurden im mehrjährigen Mittel signifikante Ertragsrückgänge in Höhe von ca. 9 bis 13 Prozent festgestellt, deren genaue Ursachen jedoch weiterer differenzierter Erforschung bedürfen. Negative Auswirkungen auf den Pflanzenbestand ließen sich an diesem Standort bislang nicht erkennen. Der Anteil des Deutschen Weidelgrases im Pflanzenbestand blieb bemerkenswert stabil, während Veränderungen bei der Gemeinen Rispe und beim Weißklee von starken Jahrgangsschwankungen überlagert wurden. Dies trifft auch für die Individuendichte der Regenwürmer unter der Grasnarbe zu, wobei sich ein negativer Einfluss zunehmender Bodenverdichtung auf die Population bislang nicht abzeichnete.

Beratung und

## Einleitung und Problemstellung

Grünland wird heute im Vergleich zur Vergangenheit häufiger genutzt und befahren. Zudem führen die gestiegenen Anforderungen an die Futterqualität und an die Arbeitswirtschaft zu immer größeren und damit schwereren Maschinen. Nicht selten müssen wegen der engen Zeitspanne für die Erzielung optimaler Futterqualitäten und wegen der Logistik im Betriebsablauf die Böden auch bei feuchten Bedingungen befahren werden. Damit werden Grasnarbe und Boden intensiver mechanisch belastet und beansprucht. Das Risiko ist gestiegen, dass es zu Narbenverletzungen und zu Bodenverdichtungen kommt. Die teilweise zu hohen Anteile an Gemeiner Rispe im Grünland werden in der Praxis häufig mit der zunehmenden Intensität und Narbenbelastung in der Bewirtschaftung in Verbindung gebracht (DIE-POLDER und RIEDER, 2004).

In einem Exaktversuch im Allgäuer Alpenvorland wurden unterschiedliche Belastungsstufen des Bodens simuliert. Anhand einer ersten Auswertung von vier abgeschlossenen Versuchsjahren beschreibt und diskutiert der folgende

Beitrag die Auswirkungen zunehmender Belastung auf die Entwicklung des Pflanzenbestandes, auf den Ertrag sowie auf einige bodenphysikalische Parameter und die Bodenfauna.

## Material und Methoden

Der Exaktversuch am Spitalhof/Kempfen (730 m Höhe, 1290 mm Niederschlag, 7,0 °C Jahresdurchschnittstemperatur, Parabraunerde aus schluffigem Lehm mit ca. 10% organischer Substanz in 0-10 cm Tiefe) besteht aus einer zweifaktoriellen Spaltanlage mit vier Wiederholungen auf einer nativen (natürlich entstandenen) Weidelgraswiese. Es liegen in der Haupteinheit „Belastung“ drei Stufen und in der Untereinheit „Kalkung“ zwei Stufen (mit/ohne) vor. Die unterschiedlichen Belastungsgrade auf die Grasnarbe wurden mit einem Schlepper und angehäng-

tem Güllefass durch Befahren „Spur an Spur“ viermal im Jahr erzeugt. Zeitpunkt des Befahrens war das zeitige Frühjahr und nach jeder der mit Gülle gedüngten Nutzung, wobei die Verdichtung in den Versuchspartellen jeweils einige Tage nach den Güllegaben vorgenommen wurde. Als Kontrollvariante dienten Partellen ohne Belastung (1). Eine Differenzierung der Bodenbelastung bei den beiden verdichteten Vergleichsvarianten (2 und 3) wurde durch Variation der Befüllung und damit des Gewichts des Versuchsgüllefasses, durch die Fahrgeschwindigkeit und durch den Reifendruck erzielt (siehe Tabelle 1).

In Anlehnung an die landwirtschaftlichen Praxis im Allgäuer Alpenvorland wurden die Partellen viermal pro Jahr geerntet. Sie erhielten einheitlich eine

**Tabelle 1:** Darstellung der sechs Versuchskombinationen

Bodendruck	Faktoren			Kalkung	
	Gewicht Schlepper/Güllefass, Reifendruck, Vorfahrtsgeschwindigkeit.			ohne	mit <sup>1)</sup>
1 „ohne Belastung“	-			ohne	mit <sup>1)</sup>
2 „mittlere Belastung“	7-10 t	2,0-2,5 bar	6-7 km/h	ohne	mit <sup>1)</sup>
3 „starke Belastung“	12-17 t	2,5-3,5 bar	2,5-3,0 km/h	ohne	mit <sup>1)</sup>

1) Die gekalkten Partellen erhielten zu Versuchsbeginn (2001) 20 dt/ha CaCO<sub>3</sub> und im August 2004 nochmals 15 dt/ha CaCO<sub>3</sub>.

Düngung in Form von je 25 m<sup>3</sup> Rindergülle (ca. 5 % TS) zum ersten, dritten und vierten Aufwuchs sowie 40 kg mineralischen Stickstoff als KAS zum zweiten Aufwuchs.

Von allen vier Wiederholungen wurden die Pflanzenbestände der sechs Kombinationen vor dem jeweils ersten Schnitt in den Jahren 2002, 2004 und 2005 nach KLAPP/STÄHLIN aufgenommen. Die mittleren Trockenmasse-Erträge wurden aus den Ernteergebnissen der Jahre 2001-2004 ermittelt.

Nach drei Jahren mit differenzierter Bodenbelastung wurden auf den nicht gekalkten Parzellen in zwei Tiefen (5-10 und 15-20 cm) im Herbst 2003 jeweils 12 Stechringe zur Untersuchung des Bodengefüges entnommen. Dieses wird im vorliegenden Beitrag durch die Trockenrohichte (TRD), das Gesamtporenvolumen (GPV) und die Luftkapazität (LK) charakterisiert. Auf einer separaten fünften Wiederholung wurde in 2002 und 2004 die Regenwurm-Individuendichte pro Parzelle anhand von je 10 Stichproben mit je 0,25 m<sup>2</sup> nach Austreiben mit Formalinlösung (0,2%) ermittelt.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### Effekte der Kalkung

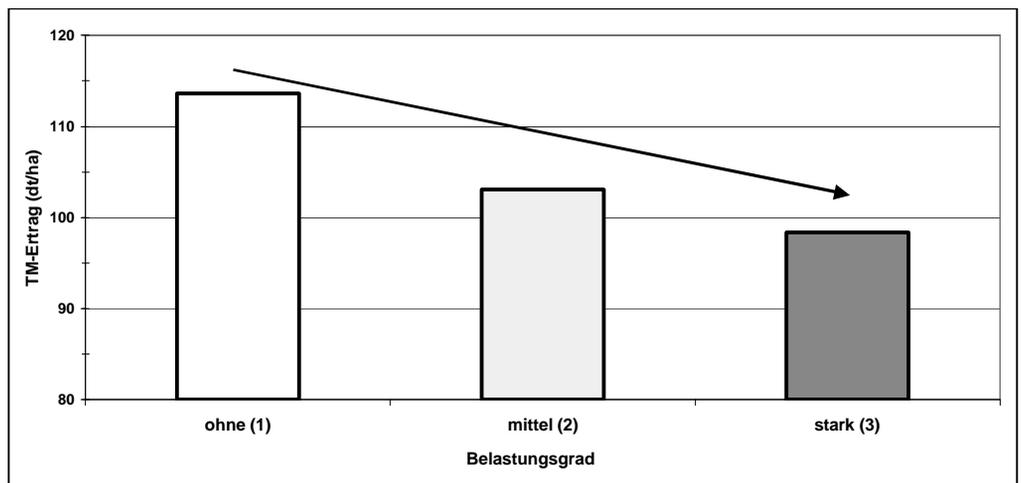
Der Faktor „Kalkung“ führte in diesem Versuch bisher zu keiner signifikanten Veränderung des Ertrages, des Pflanzenbestandes und der Regenwurmpopulation. Daher werden im folgenden Beitrag nur die Stufen des Faktors „Bodenbelastung“ miteinander verglichen. Eine Begründung für den fehlenden Kalkeneffekt ist insbesondere darin zu sehen, dass die pH-Werte bereits vor Versuchsbeginn im Bereich von 0-40 cm deutlich über 6,0 (CaCl<sub>2</sub>) lagen. Innerhalb des Hauptwurzelsraumes (0-10 cm) zeigten sich bei den

**Tabelle 2: Entwicklung der Pflanzenbestände**

Belastungsstufe	1 „Ohne“			2 „Mittel“			3 „Stark“		
Jahr	2002	2004	2005	2002	2004	2005	2002	2004	2005
<b>Artenzahl</b>	15	15	13	15	12	11	16	14	12
<b>Anteile der Arten in Prozent der Frischmasse im ersten Aufwuchs</b>									
- <i>Lolium perenne</i>	37	43	44	44	48	62	40	43	48
- <i>Poa trivialis</i>	40	7	22	37	4	16	35	4	23
Gräser insgesamt	86	65	81	89	58	82	89	55	77
Kräuter	7	9	11	5	6	9	5	7	14
- <i>Trifolium repens</i>	7	26	8	6	36	9	6	38	9

Pro Variante und Untersuchungsjahr Mittelwertbildung aus jeweils acht Parzellen

**Abbildung 1: Vergleich der TM-Erträge bei unterschiedlicher Bodenbelastung (Mittel 2001-2004)**



für die Standortbedingungen optimalen Versorgungswerten im Bereich von ca. 6,0-6,4 pH-Einheiten bisher keine eindeutigen Trends bezüglich einer Veränderung des pH-Wertes in Abhängigkeit von der Bodenverdichtung oder von „gekalkt/ungekalkt“. Vielmehr lagen die Schwankungen der pH-Werte im Bereich des üblichen Versuchsfehlers von 0,1-0,2 pH-Einheiten. Es wird aber in Zukunft weiteren Untersuchungen am gleichen Standort vorbehalten sein, ob und inwieweit sich bei einer möglichen Bodenversauerung Interaktionen zwischen pH-Wert, Bodenverdichtung, Kalkmaßnahmen und bodenphysikalischen Parametern abzeichnen.

#### Auswirkungen der Bodenbelastung auf den Pflanzenbestand

Die floristische Vielfalt von nur 12-15 Pflanzenarten (siehe Tabelle 2) ist typisch für grasreiches Intensivgrünland mit hohem Weidelgrasanteil in diesem

Naturraum. Der Rückgang der Artenzahl im Berichtszeitraum ist nicht auf den Bodendruck, sondern vermutlich auf die Einflüsse des „Trockenjahres“ 2003 zurückzuführen.

Die Ergebnisse in Tabelle 2 zeigen, dass die Jahrgangseffekte den Einfluss der Bodenbelastung bei weitem überdeckten. Dies deutet sich insbesondere anhand der Entwicklung der Gemeinen Rispe (*Poa trivialis*) und des Weißklee (*Trifolium repens*) an. Bei diesem lässt sich jedoch im Vergleich der unbefahrenen (1) Variante mit den befahrenen Parzellen (2 und 3) eine Förderung durch die Bodenverdichtung im Bestand 2004 nach dem vorherigen niederschlagsarmen Jahr erkennen. Dies bestätigt die zeitliche Varianz des Weißklee und dessen positive Reaktion auf Verdichtungen. Deutlich erkennbar sind ebenfalls die großen Schwankungen beim Ertragsanteil der Gemeinen Rispe, wobei hier die ungün-

stigeren Wasserverhältnisse in 2003 zum fast vollständigen Zusammenbruch im darauffolgenden Frühjahr beigetragen haben dürften. Eine positive Reaktion der Gemeinen Rispe auf zunehmenden Bodendruck – wie häufig vermutet und auf einem anderen Standort auch eingetreten (FUCHS, 2005) – konnte in diesem Versuch bislang nicht abgeleitet werden. Andererseits bestätigte sich, dass das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*) durchaus positiv auf ein gewisses Maß an Bodendruck reagiert – in keiner Variante nahm sein Anteil ab. Er blieb – im Gegensatz zur Gemeinen Rispe – auch über die Jahre hinweg bemerkenswert stabil.

**Auswirkungen zunehmender Bodenbelastung auf den TM-Ertrag**

Tabelle 3 und Abbildung 1 geben die Trockenmasse-Erträge in Abhängigkeit von der ausgeübten Bodenbelastung wieder.

Es zeigen sich im vierjährigen Mittel Ertragsminderungen bei den beiden befahrenen Varianten von 10,5 dt/ha (2) bis 15,2 dt/ha (3) gegenüber der unbefahrenen Kontrollvariante (1), was einem Verlust in einer Größenordnung von 9 % bzw. 13 % entspricht. Die Unterschiede zwischen „mittlerer“ (2) und „starker“ Belastung lagen hingegen nur bei 4,7 dt/ha bzw. knapp 5 %, konnten aber dennoch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von ca. 10 % abgesichert werden. Insgesamt deutete sich somit ein negativer Trend zunehmender Bodenbelastung auf das Ertragspotenzial an.

Die Höhe der Ertragsunterschiede ist erstaunlich, da beim Pflanzenbestand, den untersuchten bodenphysikalischen Kennwerten und der Bodenzoologie nur geringfügige bzw. keine signifikanten Einflüsse festgestellt wurden. Es ist daher nicht auszuschließen, dass noch weitere Faktoren für die deutlichen Ertragsabfälle bei den befahrenen Varianten (2 und 3) in Betracht kommen können: Denkbar ist eine Schwächung des Wiederaustriebs durch das Befahren nach der Nutzung, da durch die Verdichtung die Grasstoppel bzw. die Triebe flächig umgeknickt wurden. Möglich

**Tabelle 3:** Vergleich der TM-Erträge (Mittel 2001-2004)

Variante	TM-Ertrag (dt/ha)	Differenz zu anderen Varianten und Test auf Signifikanz			
		2	Pr>t (%)	3	Pr>t (%)
1 „ohne Belastung“	113,6	10,5	0,47	15,2	0,07
2 „mittlere Belastung“	103,1	-	-	4,7	9,60
3 „starke Belastung“	98,4	4,7	9,60	-	-

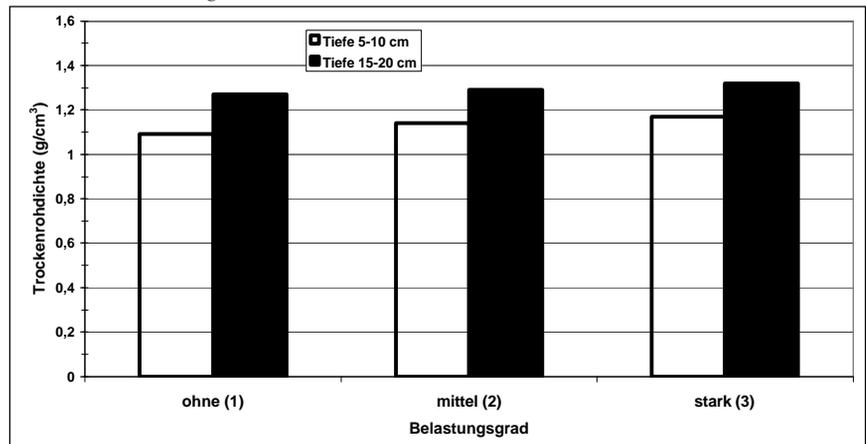
Pr > t: Höhe der Wahrscheinlichkeit, dass Differenzen nicht signifikant sind (Irrtumswahrscheinlichkeit)

**Tabelle 4:** Einfluss von Jahr, Bodenbelastung und Kalkung auf den TM-Ertrag

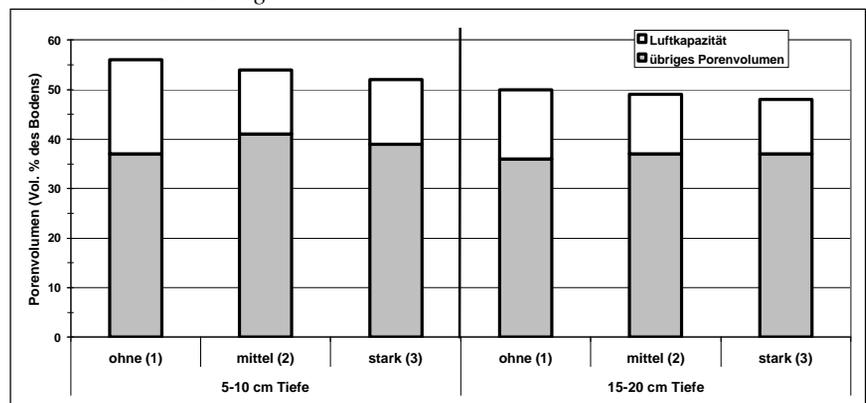
Varianzursache	F-Wert	Pr>F (%)	Signifikanzniveau
Jahr	71,73	0,01	*** sehr hoch
Belastung	21,17	0,19	** hoch
Kalkung	0,44	55,30	nicht signifikant
Belastung x Kalkung	1,16	37,60	nicht signifikant

Pr > F: Höhe der Wahrscheinlichkeit, dass die jeweilige Varianzursache nicht signifikant ist (Irrtumswahrscheinlichkeit)

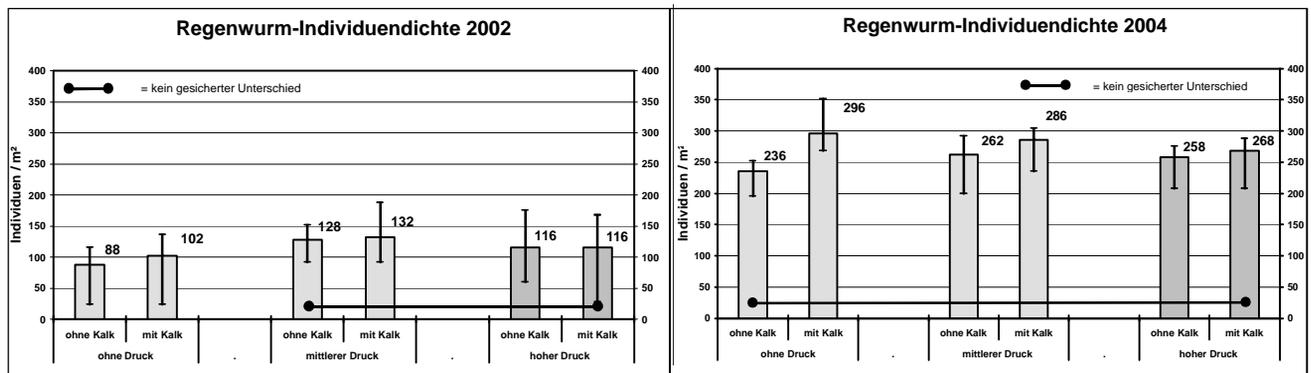
**Abbildung 2:** Trockenrohddichten nach drei Jahren differenzierter Bodenbelastung



**Abbildung 3:** Vergleich des Porenvolumens und der Luftkapazität in 5-10 bzw. 15-20 cm Tiefe bei Varianten (1-3) mit dreijährig differenzierter Bodenbelastung



**Abbildung 4:** Regenwurm-Individuendichte der 6 Varianten in den Jahren 2002 (links) und 2004 (rechts). Die Zahlen über den Säulen stellen das Mittel (Median) einer Variante dar, die senkrechten Balken geben die Spannweite des 95 %-Vertrauensbereiches wieder



sind auch hohe Ammoniak-Verluste, da die Gülle auf dem verdichteten Parzellen nur langsam einsickern konnte. Hier bestehen Ansatzpunkte für weiteren Forschungsbedarf in den kommenden Jahren.

Die in Tabelle 4 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Varianz des Ertrages am stärksten durch den Jahrgangseffekt beeinflusst wurde, eine wichtiges Indiz dafür, gerade bei Grünlandversuchen möglichst lange Versuchszeiträume anzustreben. Jedoch ging ebenfalls ein hoch signifikanter Einfluss von der ausgeübten Bodenbelastung aus, während weder der Faktor „Kalkung“ noch dessen Wechselwirkung mit der Bodenbelastung Auswirkungen auf den Ertrag hatten.

#### **Auswirkungen auf die Bodenstruktur**

Die in den Abbildungen 2 und 3 dargestellten Ergebnisse lassen insgesamt im Trend auf eine Gefügeverformung bei zunehmender Bodenbelastung in den beiden Tiefen, vor allem jedoch im Bereich von 5-10 cm schließen. In Abbildung 2 lässt sich gerade im obersten Horizont in der Tendenz ein Anstieg der Lagerungsdichte (Trockenraumdichte) mit zunehmendem Belastungsgrad des Bodens ersehen. Auffallend sind ebenfalls für alle Varianten die unterschiedlichen Lagerungsdichten zwischen den Tiefen 5-10 cm (Hauptwurzelfilz) und 15-20cm.

Ein wichtiger Parameter zur Erkennung eines verdichteten Bodens ist die Luft-

kapazität, welche den Anteil der Poren mit einem Äquivalenzdurchmesser von größer als 50 Mikrometer wiedergibt. Das sind die Poren, welche wesentlich für den schnellen Wasser- und Gastransport im Boden verantwortlich sind. Insbesondere die Unterschiede zwischen „unbefahren“ (1) und „befahren“ (2 und 3) sind ausgeprägt und können vor allem für die obere Tiefe mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 % abgesichert werden. Die beiden befahrenen Varianten unterscheiden sich in diesem Parameter allerdings nicht signifikant in ihrer Höhe. Ob die Bodenaggregate selbst durch die mechanische Belastung verdichtet wurden, konnte bisher nicht untersucht werden. Dies erscheint aber für künftige Untersuchungen ein wichtiger zusätzlicher Parameter, da eine zunehmende Dichtlagerung des Bodens mit der sogenannten „Spatenprobe“ in den Parzellen gut erkennbar war.

#### **Individuendichte der Regenwürmer**

Die Auswirkungen der Bodenverdichtung sind in Abbildung 4 dargestellt. Zu Versuchsbeginn wurden im Durchschnitt 114 Regenwürmer pro Quadratmeter in den Versuchspartellen gezählt. Zwei Jahre später hatte sich deren Zahl auf allen Varianten unabhängig vom Verdichtungsgrad mehr als verdoppelt.

Signifikante Unterschiede bestehen zwischen den Jahren 2002 und 2004 sowie in 2002 zwischen „ohne Belastung“ und „mittlerer“ sowie „starker Belastung“.

Ein gerichteter Einfluss der Faktoren „Bodenbelastung“ oder „Kalkung“ war indes bisher nicht nachweisbar. Vielmehr hatte sich die Individuendichte der Regenwürmer von 2002 bis 2004 allgemein erhöht und zwar recht gleichmäßig. Hätten die Versuchsfaktoren einen positiven oder negativen Einfluss gehabt, dann hätte sich dies gerade in der beobachteten Wachstumsphase bemerkbar gemacht. Das war aber nicht der Fall. Regenwürmer können offenbar mit ihren Röhren aktiv Bodenverdichtungen durchstoßen.

Hingewiesen sei noch, dass es sich bei den Zahlen in Abbildung 4 nicht um die arithmetische Mittelwerte sondern um jeweils den Median (Wert in der Mitte der in ihrer Höhe nach Rangfolge angeordneten Einzelwerte der Stichproben) einer Parzelle handelt. Dieses Vorgehen ist deshalb sinnvoll, da Stichproben bei Regenwurmuntersuchungen nicht normalverteilt sind. Aus Abbildung 4 geht dies auch daraus hervor, dass die 95%-Vertrauensbereiche (senkrechte Balken) nicht gleichmäßig um die Mediane „streuen“.

Die Erklärung liegt u. a. darin, dass Regenwürmer ihre Nester als Fortpflanzungsgemeinschaften rund um die Röhren bilden – oder vereinfacht ausgedrückt: „Mal findet man viel, mal findet man wenig“. Daher wäre die Verwendung von arithmetischen Mittelwerten nicht besonders aussagekräftig und zudem für eine statistische Untersuchung hier unzulässig.

**4. Fazit:**

Die möglichen Auswirkungen des Bodendrucks auf das Grünland sind sehr differenziert zu betrachten. Insbesondere die bisher festgestellten negativen Effekte auf die Bodenstruktur und die Erträge bedürfen noch weiterer detaillierter Untersuchungen. Allerdings belegen die Ergebnisse, dass ein gewisser Bodendruck auch positive Auswirkungen auf den Pflanzenbestand haben kann.

Hinzuzufügen bleibt, dass das Thema

„Bodenverdichtung im Grünland“ gegenwärtig einen Schwerpunkt der angewandten Grünlandforschung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft darstellt. Über die Ergebnisse weiterer neuerer Versuchsvorhaben wird zu gegebener Zeit berichtet.

**Literatur:**

DIEPOLDER, M. und RIEDER, J.B. (2004): Gefährdungspotenziale im Intensivgrünland; „Schule und Beratung“, Heft 7/04, Seite III-15 ff., Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 2004.

FUCHS, J. (2005): Persönliche Mitteilung, Versuchsstelle Steinach

*Dr. Michael Diepolder, Landwirtschaftsoberrat; Dr. Johannes Bauchhenß, Landwirtschaftsdirektor; Robert Brandhuber, Regierungsoberrat; Bernd Jakob, Landwirtschaftsamtssrat; alle Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz der LfL und Rainer Schröpel, Landwirtschaftsdirektor; Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Milchwirtschaft und Grünlandbewirtschaftung Spitalhof/Kempen der LfL* □