

Prof. Dr. Martin Elsässer

## Beeinflussung der Funktionalität von Grünlandböden

Unter der Funktionalität werden hier die Ökosystemleistungen der Grünlandböden, z. B. als Wuchs-ort für Grünlandbestände, als Ort der Kohlenstoffspeicherung, als Wasserspeicher und Nährstofftransformator und zum Erosionsschutz verstanden. Trotz ihrer enormen Bedeutung, sind Grünlandböden weltweit sehr stark gefährdet durch Bodenverschmutzung, Verlust organischer Substanz, Versteppung, Versalzung, Überschwemmung und Erosion (Bodenschutz-Richtlinie (2006); zusammengefasst bei Creamer et al. 2010). JEDICKE (2014, S. 11) zitiert in diesem Zusammenhang De GROOT et al. in GRUNEWALD & BASTIAN, 2013: „Aufgrund des nur indirekten Nutzens der Regulationsleistungen von Grünlandböden werden diese oftmals nicht beachtet, bis sie Schaden nehmen oder verloren gehen, obwohl sie für die Existenz der Menschen auf der Erde die Grundlage bilden.“

Von den Gefährdungen für Grünlandböden in Deutschland ist ohne Frage der Flächenverbrauch durch Besiedlung und Bebauung die entscheidende Größe. In der Kritik steht dabei allerdings nicht nur der Flächenverlust durch Versiegelung, maßgeblich sind vor allem die Umwandlung von Grünland in Ackerland u.a. für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen und darüber hinaus auch die Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Flächen durch naturschutzrechtlich bedingte Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen (TIETZ et al., 2012). Der Verlust landwirtschaftlicher Flächen insgesamt trifft in besonderer Weise das Grünland. TIETZ et al. (2012) haben die absoluten Flächenveränderungen in Deutschland zwischen 1996 und 2009 berechnet. In diesem Zeitraum ging die Landwirtschaftsfläche um ca. 612.000 ha zurück, die landwirtschaftlich genutzte Fläche um ca. 446.000 ha. Die Ackerfläche nahm dabei allerdings um ca. 113.000 ha zu, die Grünlandfläche um 532.000 ha ab (Abb. 1 und 2).

Im Durchschnitt nahm die Landwirtschaftsfläche nach Flächenerhebung zwischen 1996 und 2009 um 129 ha pro Tag ab, die LF nach Agrarstatistik um 94 ha pro Tag. Innerhalb der LF nahm das Grünland um 112 ha pro Tag ab und das Ackerland um ca. 24 ha zu (TIETZ et al., 2012). Neben der Umwandlung in Ackerland spielt auch die Etablierung von Wald auf bisherigem Grünland eine wichtige Rolle. Hingegen spielt die Ausweitung von Siedlungsflächen letztlich nur eine untergeordnete Rolle.

Auch wenn es ein erklärtes Ziel der Bundesregierung ist, diesen Flächenverbrauch bis zum Jahr 2020 auf 35 ha je Tag zu begrenzen, scheint dieser Trend kaum umkehrbar oder gar zu stoppen. Der massive Ausbau des Anbaus nachwachsender Rohstoffe verlangt nach mehr Ackerland. Damit werden die unter Grünlandnutzung verbleibenden Böden entweder bedingt durch bereits vorhandene Einschränkungen der Nutzbarkeit oder Natur-

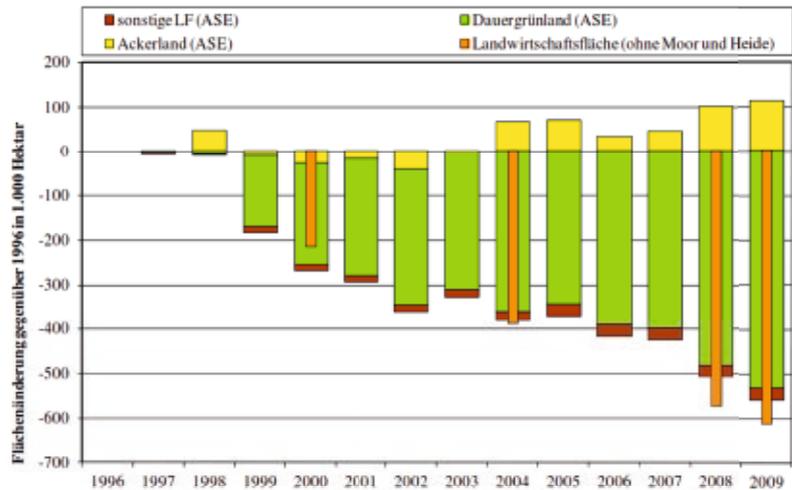
schutzauflagen (z.B. Natura 2000) nur noch extensiv weiter genutzt oder sie erfahren andererseits so weit als möglich eine Intensivierung der Nutzung mit der Maßgabe Höchsterträge und beste Futterqualität zu liefern. In der Folge ändert sich die Funktionalität der Grünlandböden.

### Funktionen von Grünlandböden

Grünlandböden werden im Allgemeinen u.a. folgende Funktionen zugeschrieben.

- Wuchsort von Grünlandpflanzen und maßgebliche Beteiligung an der Bevorratung und Bereitstellung von Nährstoffen für die Pflanzen (das betrifft die physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Möglichkeiten (Wurzelraum, Durchlüftung etc.))
- Bioindikation (Grünlandböden ermöglichen standortangepassten Bewuchs, dessen Ausprägung Rückschluss auf Bodeneigenschaften ermöglicht (Zeigerpflanzen))
- Erosionsschutz
- Filterfunktion und Verbesserung der Grundwasserqualität
- Wasserspeicher und Ort der Grundwasserneubildung
- Kohlenstofffixierung durch Humusaufbau

Die Eignung eines Bodens als Wurzelraum hängt entscheidend von seiner Fähigkeit ab, auf kleinstem Raum gleichzeitig oder mit geringer zeitlicher Schwankung Nährelemente und Wasser zur Verfügung zu stellen und einen ungehinderten Gasaustausch zu gewährleisten. Das Porensystem der Böden bestimmt dabei die Transport- und Speicherkapazität für Luft und Wasser und hat damit einen wesentlichen Einfluss auf das Wurzelwachstum. Nur in strukturierten Böden, die sich durch ein kontinuierliches und biogen vernetztes Porensystem auszeichnen, haben Wurzeln die Möglichkeit Kontakt zu Wasser und Bodenluft zu finden sowie an Nährstoffvorräte zu gelangen. Strukturschädigungen an der Bodenoberfläche hingegen verstärken den natürlichen Schleuseneffekt der Böden für Transportvorgänge insbesondere für Gasaustauschprozesse und führen zu tiefreichenden Beeinträchtigungen der Bodenbelüftung und damit der Wurzelraumfunktion. Nur über die Bodenoberfläche kann Sauerstoff zum Ort des Verbrauches transportiert und respiratorisch gebilde-

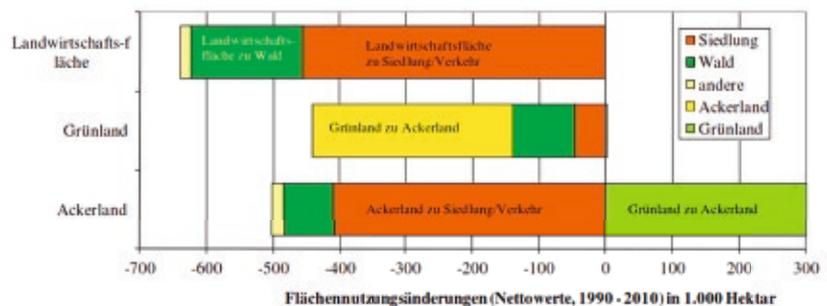


Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2011. Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung sowie Landwirtschaftliche Flächennutzung auf Basis der ASE.

tes CO<sub>2</sub> entsorgt werden. Der Gastransport erfolgt überwiegend auf dem Wege der Diffusion. Neben dem Porenvolumen ist damit für die Effektivität von Gasaustauschprozessen die Porenkontinuität von entscheidender Bedeutung. Ein reduzierter Gasaustausch als Folge einer Verdichtung hat damit unmittelbar Auswirkungen auf das Leben der Pflanze. Ein Sauerstoffgehalt von unter zehn Prozent im Boden (21% in der atmosphärischen Luft) bzw. ein Kohlendioxidgehalt von über 5 Prozent (0,03 Prozent in der Luft) beeinträchtigen bereits das Wachstum. Bei gravierendem Sauerstoffmangel stirbt das Bodenleben (NORMANN-SCHMIDT, 1995). Der Mangel an Sauerstoff und die Zunahme von Kohlendioxid und anderen für die Graswurzel teilweise toxischen Gasen bewirken einen Rückgang der Durchwurzelung mit in der Folge einer Verschlechterung der Gasnarbe.

Abbildung 1 Absolute Veränderung der Landwirtschaftsfläche nach Agrarstatistik und nach Flächenerhebung in Deutschland (Basis 1996; TIETZ et al., 2012)

Abb. 2: Absolute Veränderung der Landwirtschaftsfläche zwischen 1990 und 2010 nach Auswertung von digitalen Flächenkarten (TIETZ et al., 2012)



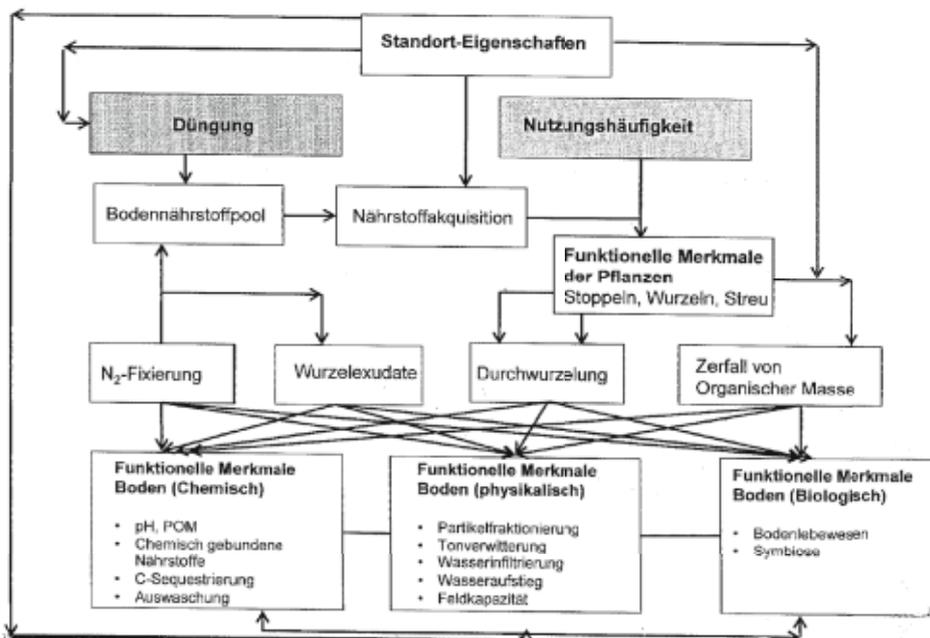
Quelle: Auswertung von digitalen Flächenkartenn (Corine LandCover sowie Digitales Landwirtschaftsmodell für Deutschland), vTI Institut für Agrarrelevante Klimaforschung.



Gülleinjektion mit gleichzeitiger Nachsaat (hier kommt nur Dt. Weidelgras in Frage)  
Bild: Elsässer

Abbildung 3  
Funktionelle Merkmale und Prozesse in Böden unter dem Einfluss von Nutzungshäufigkeit und Düngung (SCHELLBERG und PÖTSCH, 2014)

Zwar sind Grünlandböden widerstandsfähiger und belastbarer als Ackerböden gegenüber physikalischen und biologischen Stressfaktoren (GREGORY et al., 2009), trotzdem verändert sich ihre Funktionalität entsprechend ihrer Genese und ihrem Standort gerade durch Intensivierung der Nutzung entsprechend stark. Verdichtungen, Überstauung mit Wasser, Trockenfallen oder Versalzung wirken sich direkt auf die Zusammensetzung des Edaphons, die Nährstoffnachlieferung



und das Bodengefüge aus. Indirekte Einflüsse zeigen sich vor allem in Hinblick auf die Veränderungen der Grünlandvegetation. Diese ist im Gegensatz zu dem Bewuchs auf Äckern dauerhaft und mechanische Maßnahmen zur Verbesserung von Grünlandböden würden unweigerlich auch die Grünlandvegetation beeinträchtigen. Umbruch mit nachfolgender Wiederanlage von Grünland setzt Nährstoffe durch Humusabbau frei und hat einen nachhaltigen Einfluss auf Kohlenstoffspeicherung und damit auch auf das Klima (VELLINGA et al., 2004). Grünlandböden sind überdies sensible Ökosysteme, deren Störungen wenn auch nicht immer dauerhaft, dafür aber sehr lang andauernd sein können. Es ist also zumindest angezeigt, die potentiellen Auswirkungen zu kennen und sie zu beachten, wenn sie schon nicht in jedem Fall vermeidbar sind.

Maßgeblichen Einfluss auf die Ausprägung der Funktionalität von Grünlandböden haben die Eigenschaften des Standortes und jeweils dort die Faktoren Düngung und Nutzung. Sie bestimmen sowohl die botanische Zusammensetzung der Grünlandvegetation als auch die funktionellen Merkmale der Grünlandböden. In der Abbildung von SCHELLBERG und PÖTSCH (2014) sind die Zusammenhänge dargestellt (Abb. 3). Im Einzelnen werden folgende Prozesse als sehr relevant betrachtet: (I) Freisetzung von Exudaten aus Wurzeln beeinflusst Boden-pH und die Verfügbarkeit von Bodennährstoffen (hauptsächlich bei Phosphat) sowie Strukturbildung im Boden durch Verkleben der Bodenteilchen, (II) das Durchdringen des Bodens durch Wurzeln verändert Porenvolumen, Makroporen und Lagerungsdichte ebenso wie Wasserinfiltration und Oberflächenabfluss, (III) die Zersetzung der organischen Masse im Boden beeinflusst das Bodenleben und den Nährstoffumsatz; (IV) symbiotische Fixierung von Luftstickstoff. Im Folgenden sollen an einigen wenigen Beispielen mögliche Beeinflussungen der Funktionalität von Böden aufgezeigt werden. Die nachfolgenden Beispiele haben nur einen exemplarischen Charakter, sie zeigen aber, dass Grünlandböden nicht nur im Internationalen Jahr des Bodens eine deutlich höhere Beachtung verdienen.

### Charakterisierung von Grünlandböden durch Bioindikation – Zeigerwerte von Grünlandpflanzen

Grünlandbestände entwickeln sich typisch gemäß den Eigenschaften des Standorts und der Bewirtschaftung. Insofern kann die botanische Zusam-

mensetzung der Grünlandbestände zumindest im Bereich eher mäßiger Nährstoffversorgung Anzeichen hinsichtlich der ökologischen Eigenschaften des Standortes und der Nährstoffversorgung der Böden geben. Bioindikation meint hier einerseits das Vorhandensein von Zeigerpflanzen (das sind Pflanzen, die die ökologischen Eigenschaften des Wuchsstandortes indizieren) und die Gesamtheit des Pflanzenbestandes, die verknüpft mit den ökologischen Wertzahlen (ELLENBERG, 1996) das Erkennen unterschiedlicher Stufen der Feuchte, der Nährstoffverfügbarkeit oder der Bodenreaktion ermöglichen. Durch intensive Grünlandbewirtschaftung (erhöhte Düngung, Kalkung, häufige Nutzung etc.) werden sowohl die natürlichen Standorteigenschaften egalisiert als auch die Bestandszusammensetzung verändert, wodurch die Bioindikation letztlich verhindert wird. Das ist insofern von Nachteil, als die chemischen Bodenuntersuchungen weder die exakte Düngebedürftigkeit der Böden anzeigen, als auch das Nährstoff-Nachlieferungsvermögen meist nicht erfasst wird. Die Bodenuntersuchungen liefern aber gute Ergebnisse um Entwicklungen des Nährstoffvorrates zwischen den Beprobungsterminen darzustellen. Zeigerpflanzen könnten hier zusätzliche Informationen liefern, ihre Präsenz ist allerdings meist auf niedrige Nährstoffniveaus beschränkt (BOHNER, 2010). In diesem Zusammenhang stellten ANGERINGER et al. (2014) fest, dass frühe und häufige Nutzung einen stärkeren Einfluss auf den Pflanzenbestand haben als die Art des Wirtschaftsdüngers. Zeigerpflanzen können aber chemische Bodenanalysen oder Messungen nicht ersetzen, sondern allenfalls ergänzen. Zu den im Grünland häufig vorkommenden Pflanzen mit Bezug zum Boden gehören im Falle von Nährstoffzeigern z.B. der Stumpfbältrige Ampfer (*Rumex obtusifolius*), Wiesenkerbel (*Anthriscus sylvestris*) und der Wiesenbärenklau (*Heracleum sphondyli-*

*um*). Magerkeitszeiger sind beispielsweise Rot-schwingel (*Festuca rubra*), Wiesen-Hainsimse (*Lu-zula campestris*) und Margerite (*Leucanthemum vulgare*). Bodenverdichtungszeiger sind z.B. Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*), Lägerispengras (*Poa supina*), Jährige Rispe (*Poa annua*) und Kriechendes Straußgras (*Agrostis stolonifera*).

### Bodenbiologische Auswirkungen unterschiedlicher Düngung

Für Abbau- und Syntheseleistungen im Boden sind im Wesentlichen Bakterien und Pilze verantwortlich, insofern ist die mikrobielle Biomasse im Boden ein wichtiger Parameter. In einem langjährigen Versuch des LAZBW Aulendorf (22 Jahre) auf einem nach Grundsätzen des biologischen Landbaus bewirtschaftetem Dauergrünland unter Wiesen- und Mähweidenutzung wurden Auswirkungen unterschiedlicher Dünge-systeme (V3: Stallmist/Jauche; V4: Stallmistkompost; V5: Wechseldüngung; V6: Gülle; V7: Gülle mit Gesteinsmehl; V8: Gülle mit Hüttenkalk; Vergleichsvarianten waren mineralische Düngung mit (V1) und ohne N (V2)) erfasst (ELSÄSSER et al., 2008). Die bodenbiologischen Auswirkungen wurden in einer Arbeit von FLAIG und ELSÄSSER (2009) beschrieben. Die Menge an mikrobieller Biomasse wurde über die Methode der substratinduzierten Respiration (DIN 14240-1) und die Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration bestimmt (siehe hierzu FLAIG und ELSÄSSER, 2009). Die Wirkung der Düngergaben auf die Entwicklung der mikrobiellen Biomasse zeigt Abb. 4.

Bei beiden Nutzungsarten entwickelten sich bei V8 (Gülle mit Hüttenkalk) der höchste Gehalt an mikrobieller Biomasse, gefolgt von Stallmistkompost (V4). In weiteren Untersuchungen zeigte

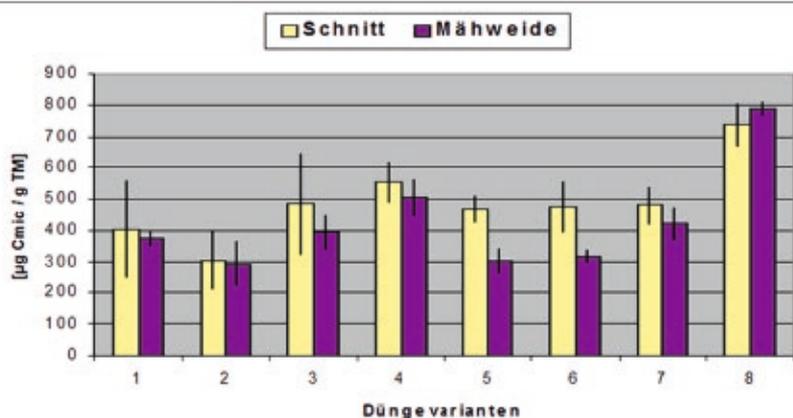


Abbildung 4  
Wirkung der Düngung auf die Entwicklung der mikrobiellen Biomasse in 0-10 cm Bodentiefe bei Schnitt- und Mähweidenutzung im 22-jährigen Wiesen-düngungsversuch des LAZBW (ELSÄSSER et al., 2008) (Beprobungszeitpunkt April 2005) (FLAIG und ELSÄSSER, 2009)

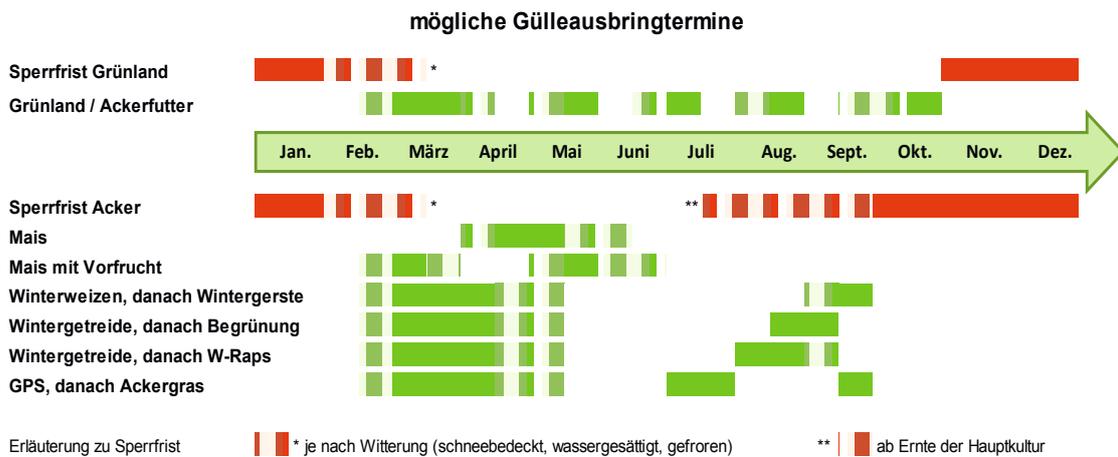


Abbildung 5  
 Mögliche  
 Gülleausbringtermine nach  
 neuer DüV (Stand: Entwurf  
 der DüV am 18.12.2014)  
 (Darstellung nach Messner,  
 LAZBW, mündliche  
 Mitteilung)

sich, dass die Unterschiede zwischen Nutzungs- und Düngevarianten mit hoher Wahrscheinlichkeit auf unterschiedliche pH-Werte zurückzuführen sind. Die Gehalte an organischer Substanz hatten demnach nur einen nachrangigen Einfluss.

Aber nicht nur nach Art und Höhe unterschiedliche Düngung hat einen Einfluss auf die mikrobielle Biomasse in Grünlandböden, auch die Nutzung bzw. der zumindest teilweise Verzicht auf Nutzung in einer Grünlandbrache verändern sie deutlich. In einer Untersuchung stellten BOHNER et al. (2006) eine zweimal genutzte Mähwiese einer Grünlandbrache gegenüber und maßen die substratinduzierte Respiration in 0-10 cm Bodentiefe, als Maß für die mikrobielle Biomasse im Boden. Die zu allen Meßzeiten geringere Respiration bei der Grünlandbrache führen die Autoren u.a. auf die langsamere Erwärmung des Bodens unter Brache, die geringere Stickstoff- und Substratverfügbarkeit infolge des weiteren C:N-Verhältnisses und der deutlich geringeren Menge an potentiell mineralisierbarem Stickstoff unter Brache zurück.

### **Bodenverdichtung und Einschränkung der Bodenfruchtbarkeit bzw. des Ertragsvermögens**

In der Landwirtschaft besteht der Zwang Milchkühe als Hauptverwerter von Grünlandaufwüchsen mit bestmöglichem Grundfutter zu versorgen und deswegen Grünlandaufwüchse möglichst früh zu ernten und zu konservieren. Damit verbunden kommt es zum ökonomisch durchaus nachvollziehbaren Trend zur Verwendung von Maschinen und Geräten mit möglichst hoher Schlagkraft und im Falle von Gülle zu verlustar-

mer Ausbringungstechnik. Dies bedingt den Einsatz von sehr großen und damit sehr schweren Maschinen im Grünland vor allem bei der Ausbringung von Gülle und der Beerntung von Grünlandflächen. Grünlandpflanzen werden durch Befahren geschädigt und infolge des Zwangs zu zeitgerechter Nutzung und Düngung erfolgt die Befahrung häufig auf feuchten Böden. Dies hat fatale Folgen für die Bodendurchlüftung, die Bodenmikroflora und die auf den Böden wachsende Vegetation. Übereinstimmung besteht in der Beurteilung der auftretenden Schäden. Neben der Beeinflussung der Biodiversität der Bodenmikroflora, rückt Bodenverdichtung auch verstärkt beim Management von Überflutungen und Wasserressourcen bzw. der Luft-, Wasser- und Bodenqualität ins Bewusstsein (NEWELL PRICE et al., 2011). Verdichtung reduziert das Porenvolumen in den Böden. Dadurch werden die Voraussetzungen für eine optimale Durchlüftung, die Durchwurzelung und einen funktionierenden Bodenwasserhaushalt beeinträchtigt. Zudem ist der Nährstofftransport in und vom Oberboden in den Unterboden nachhaltig verändert und verdichtete Böden neigen je nach Relief zu extremer Vernäsung durch Wasserüberstauung oder andererseits einer Veränderung des kapillaren Wasseraufstiegs bei Trockenheit. Sowohl bei der Futterernte als auch bei Gülleausbringung wird auf die Empfindlichkeit der Böden oftmals wenig Rücksicht genommen. Insbesondere bei letztere wird sich bedingt durch die veränderten Vorgaben nach der geplanten Neugestaltung der Dünge-Verordnung auf nur noch geringe Zeiträume beschränken (Abb. 5).

Es ist damit zu rechnen, dass künftig Gülle im Frühjahr verstärkt auf Äcker gefahren werden wird und im Herbst bedingt durch fehlende ande-

re Ausbringalternativen der Wunsch entstehen wird, Gülle stärker auf Grünland auszufahren.

Zu Bodenschadverdichtungen (WÜRFEL et al., 2002) kommt es aber nicht nur bei gewichtsmäßig hoher Belastung (ELSÄSSER et al., 2002). TRUEKMANN (2011) beschreibt, dass das Maß der Bodenverdichtung im Grünland abhängig ist von u.a. der Höhe und Intensität der Belastung, von Radlast, Reifeninnendruck, Kontaktflächen sowie der Art der Belastung, die entweder statisch oder dynamisch ist. Zudem nennt die Autorin Belastungsdauer, Fahrgeschwindigkeit und Befahrungshäufigkeit als weitere wichtige Einflussfaktoren. Gemäß Untersuchungen von STAHL et al. (2009), steigen die Druckbelastungen im Oberboden mit jeder weiteren Überfahrt an; es kommt also insgesamt auf die Überrollhäufigkeit an. Während einer Überrollung wird der Boden nur kurze Zeit mechanisch beansprucht. In dieser kurzen Zeit können das den Boden schützende Porenwasser und die Porenluft nicht aus dem Boden gedrückt werden. Böden können ihre Anfangseigenschaften und Funktionen wiederherstellen, wenn die Belastung verringert oder entfernt wird. Diese Fähigkeit des Bodens wird Resilienz genannt und wird von der organischen Substanz und der Aggregation unterstützt (GREGORY et al., 2007 zit. bei TRUEKMANN, 2011). Das ändert sich aber bei längerer oder kurz nacheinander wiederkehrender Belastung (BRANDHUBER et al., 2008). Hinzu kommt, dass in der landwirtschaftlichen Praxis früher 1-Achs-Güllefüßer üblich waren und heutzutage die Tandemachse Standard ist mit einem Achsgewicht von bis zu 11 t und bei noch großvolumigeren Fässern werden schon vermehrt Triemachsen verwendet. Überrollte Flächen werden also mehrfach hintereinander befahren. Interessant in diesem Zusammenhang ist die Beschränkung des Achsgewichtes bei Straßenfahrten auf 10 t bei einem zulässigen Gesamtgewicht des ganzen Zuges von 40 t. Diese Werte werden beim Befahren von Grünland teilweise weit überschritten und auch mögliche technische Verbesserungen wie die Verwendung breiter Reifen, Reifendruckregelanlagen oder Geräte die versetzte Spuren haben, lösen das Grundproblem des Zwangs zum Befahren von Flächen zu ungünstigen Zeitpunkten nicht. Veränderungen an der Grünlandvegetation insbesondere eine Zunahme von ertragsschwacher Gemeiner Rispe (*Poa trivialis*) (ELSÄSSER und GRUND, 2003; NEFF, 2015) und ein allgemeiner Rückgang von Ertrag und Futterqualität können beobachtet werden (DIEPOLDER et al., 2009). Ausbringung von Gülle zum falschen Zeitpunkt hat also fatale Folgen. Neben nachhaltigen Schäden an der Bodenstruktur ergeben sich auch



zudem pflanzenbaulich relevante Fragenstellungen. Werden Nährstoffe im Herbst im Grünland überhaupt gebraucht? Wohin werden sie bei Nichtverbrauch transportiert oder verlagert? Welche Pflanzenbestände sind überhaupt im Winter aufnahmebereit? Wiesenrispe geht z.B. in Winterruhe und eigentlich ist nur Deutsches Weidelgras in der Lage auch bei niedrigen Temperaturen noch Nährstoffe aufzunehmen. Es ist allerdings nicht für jeden Grünlandstandort geeignet, weil es stark von Auswinterung bedroht ist.

Befahren bei nassen Böden führt zu überproportional hoher Verdichtung und in der Folge zu starkem Auftreten von Gemeiner Rispe  
Bild: Elsässer

Aber nicht allein dem Hauptmotto „Maximale Schlagkraft“ dienende Maschinen- und Gerätetechnik ist problematisch, auch Weidegang kann die Funktionalität von Grünlandböden massiv beeinträchtigen. DEEKS et al. (2014) stellten fest, dass der Grad der Bodenverdichtung und der Oberflächenabfluss sowohl positiv mit der Intensität der Landnutzung als auch mit der Dauer intensiver Beweidung korreliert ist. Unflexible Beweidung, die auf den auch kurzfristigen Abtrieb der Tiere bei für die Beweidung ungeeigneter Bodenfeuchte verzichtet, zerstört die Bodenstruktur nachhaltig. Dabei kommt es auf das Kuhgewicht offensichtlich nicht in besonderem Maße an (HERBIN et al., 2011). Entscheidend ist auch hier die Bewirtschaftung zum falschen Zeitpunkt. Die Schäden sind ähnlich denen bei falscher Dünge- und Erntetechnik.

Abhilfe für Unterbodenverdichtungen sind weniger im technischen Bereich zu suchen. Einerseits würden bei der Schadensregulierung unweigerlich auch die Grünlandbestände Schaden erleiden und andererseits haben mechanische Maßnahmen, wie z.B. Aerifizieren durch Spikes nur geringe Erfolge (FORTUNE et al., 1999). Zudem sind Unterbodenlockerungen im Grünland noch weitgehend unge-

bräuchlich. Biologische Durchlüftungsverfahren wären zwar möglich, aber im Falle von Feld- und Wühlmäusen sind die Folgen durch eine erhöhte Gefahr der Futtermittelverschmutzung zumindest vordergründig ebenfalls von geringem Interesse für den Landwirt. Bodenstabilisierung kann auch durch Vegetation erfolgen, denn Wurzeln können ähnlich wie Bewehrungsstahl in Beton wirken. TRUEKMANN (2011, S.9) formuliert den Zusammenhang wie folgt: „In einem durchwurzelten Boden können die Komponenten der Festigkeitserhöhung, nämlich Zugfestigkeit und Kompressionsverhalten verbessert werden. Während Pflanzenwurzeln zwar zugfest sind, können sie der Kompression kaum standhalten. Anders verhält es sich beim Boden, der weniger stark auf Kompression reagiert, aber empfindlich gegenüber Zugspannungen ist. Eine Kombination in einer Wurzel-Boden-Matrix ist daher viel stabiler als es Einzelkomponenten sein können.“

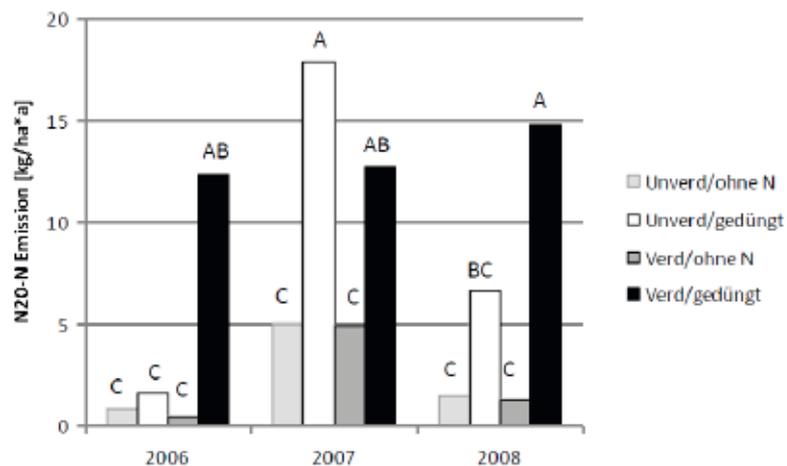
Tiefwurzelnde Pflanzen haben für die Verbesserung der biologischen Durchlüftung eine Bedeutung. Nach Aussagen von CRUSH und THOM (2011) gibt es einen engen Zusammenhang zwischen größeren Wurzeldurchmessern und der Fähigkeit von bestimmten Pflanzenarten verdichtete Bodenschichten zu durchdringen (MATERECHERA et al. 1992). Weidelgräser sind aufgrund ihres feinen Wurzelwerks dazu wenig geeignet. Wiesenschwingel ist bekannt für tiefes Wurzeln und entsprechende Sorten, die Bodenschichten durchdringen können, haben dickere Wurzeln als oberflächennah wurzelnde Typen (TORBERT et al. 1990), was wiederum die Bedeutung des Wurzeldurchmessers für die Fähigkeit zur Durchdringung verdichteter Bodenschichten bestätigt. Der im Falle von angesäten Leguminosen gezielte (BREITSAMETER et al., 2014; ELSÄSSER et al., 2014) im Falle von

Stumpfbblätterigem Ampfer (*Rumex obtusifolius*) jedoch eher ungewollte Anbau tief wurzelnder Pflanzen ist nicht einfach zu steuern. Im ersten Falle gedeihen Leguminosen auf Grünlandböden mit Verdichtungshorizonten nur mäßig, im zweiten Falle wäre den Landwirten die neue und veränderte Bedeutung des Ampfers als „Nutzpflanze zur Öffnung von Unterbodenverdichtungen“ nicht ohne weiteres verständlich.

System-technische Maßnahmen zur Reduzierung von Bodenverdichtung beruhen teilweise auf der Vermeidung von Spurschäden, als Schlagwort mag hier „Controlled traffic farming systems“ gelten, worunter Systeme verstanden werden, die eine Gesamtberollung der Flächen auf einzelne Spuren reduzieren und damit in der Lage sind flächenhafte Verdichtung zu vermindern. Die Verwendung veränderter Geräte mit entweder Trennung von Transportaggregat und Ausbringgeräten, Drei- oder Vierradachsen, die Verwendung von Reifendruckregelanlagen und Breitreifen mit variierbaren Reifendrücken sind weitere Beispiele aus dem technischen Bereich.

Verdichtung hat zudem einen bislang noch nicht beschriebenen negativen Effekt, der vor allem in Verbindung mit der bei intensiver Grünlandbewirtschaftung üblichen hohen Stickstoffdüngung zutage tritt. Es kommt zu Auswirkungen der Bodenverdichtung auf Lachgasemissionen (SCHMEER et al., 2009). Den Versuchen der Universität Kiel lagen Überlegungen zugrunde, wonach Bodenverdichtung in der Regel eine Reduzierung des Porensystems zur Folge hat und damit Denitrifikationsvorgänge begünstigt, die zu einem Anstieg der Emissionen von Lachgas führen können (SITAJLA & HANSEN, 2000 zit. b. SCHMEER; YAMULKI & JARVIS, 2002 zit. b. Schmeer). Ebenso führt eine hohe

Abbildung 6  
Kumulative  
Lachgasemissionen der 3  
Versuchsjahre in kg N<sub>2</sub>O-N  
pro ha und Jahr in  
Abhängigkeit von Verdichtung  
und N-Düngung (SCHMEER et  
al., 2009)



Stickstoffdüngung auf intensiv genutzten Grünlandstandorten zu einer gesteigerten  $N_2O$ -Emission. In einer neueren Untersuchung von HANSEN (2009 zit. bei TRUEKMANN, 2009) beläuft sich die Erhöhung der Lachgasemission pro kg Trockenmasse durch Bodenverdichtung auf das 2-3fache. Hohe Stickstoffdüngung kann die klimarelevanten Lachgasemissionen maßgeblich erhöhen, wobei die organischen Dünger infolge der leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen offensichtlich problematischer sind als die mineralische N-Düngung. Die Kieler Untersuchungen sollten die Frage klären, welcher zusätzliche Effekt aus einer Kombination verdichteter und gleichzeitig stark mit Stickstoff (320 kg N/ha) gedüngter Böden hervorgeht. Ein Ergebnis wird in Abbildung 6 dargestellt.

Es zeigte sich, dass wenn die Bodenverdichtung zu feuchten Bedingungen (2006 bzw. 2008) führte, dies im Falle der gedüngten Varianten zu signifikant höheren, kumulativen Lachgasemissionen führte. Wurde dagegen die Bodenverdichtung in einem trockenen Frühjahr durchgeführt (2007), blieb diese ohne Einfluss auf die Lachgasemissionen. Auf den leguminosenreichen ungedüngten Varianten war in allen Jahren kein Effekt durch die Bodenverdichtung zu verzeichnen. Somit sind im Hinblick auf die Lachgasemission besonders bei einem hohen Stickstoffeinsatz bei wassergesättigten Böden bodenverdichtende Bewirtschaftungsmaßnahmen zu vermeiden.

### Böden nach Starkregen oder bei Trockenheit

Mit Wasser gefüllte Poren oder die Bodenfestsubstanz können nicht für die Bodenbelüftung die-

nen. Luftgefüllte Poren dagegen sind vom Wassertransport ausgeschlossen. Dadurch, dass in Abhängigkeit von der Wassersättigung des Bodens unterschiedliche Porengrößenklassen am Wassertransport beteiligt sind und die Wasserleitfähigkeit mit der Abnahme des Porendurchmessers exponentiell abnimmt, werden in gut strukturierten Böden Wassersättigung und Belüftung nach Einflüssen wie z.B. Starkregen oder Trockenphasen schnell auf einen standorttypischen, für biologische Vorgänge zuträglichen Optimalbereich eingeregelt. Bei Wassersättigung sind auch die groben Poren mit Wasser gefüllt, die Wasserleitfähigkeit ist in diesem Zustand überproportional hoch, so dass in einem kontinuierlichen Porensystem überschüssige Wassermengen sehr schnell abgeführt werden. Ebenso wirkt sich die bei Austrocknung überproportional reduzierte Sickerate in Richtung einer Optimierung des Wasser- und Stoffhaushaltes aus. Böden mit intakter Bodenstruktur sind damit als hochgradig zur Selbstregulation befähigte Systeme aufzufassen.

Insbesondere zeitweilige Trockenheit hat einen maßgeblichen Einfluss auf das Ökosystem Grünland. Grünlandbestände verbrauchen je Tag etwa 3 mm Wasser. Wenn an sich leistungsfähige Grünlandbestände aufgrund zeitweiliger Trockenheit ausfallen, dann wäre eventuell die Nachsaat tief wurzelnder Arten oder Arten mit artspezifisch geringerem Wasserverbrauch infolge einer dicken Cuticula (z.B. Kanulgras (*Dactylis glomerata*) oder Rohrschwingel (*Festuca arundinacea*) von größerer Bedeutung. Beide Arten werden jedoch aufgrund hoher Rohfasergehalte von Weidetieren nur sehr ungern aufgenommen (ELSÄSSER, 2014), das Problem fehlenden Wassers kann also, wie zu erwarten war, so nicht voll umfänglich gelöst werden (Abb. 7).

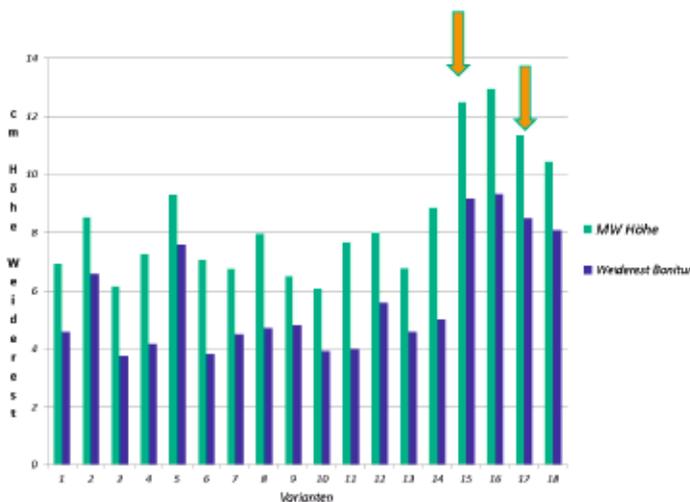
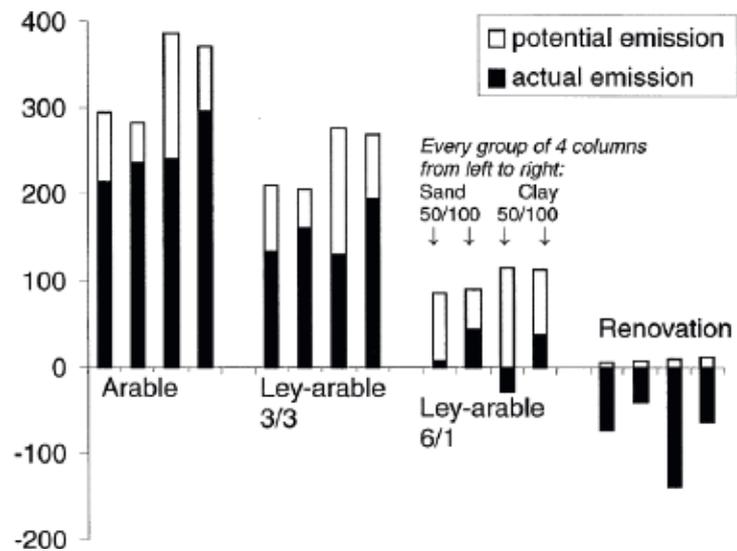


Abbildung 7  
Weidereste (Boniturnote von 1 = sehr tief abgefressen bis 10 = nur sehr wenig abgefressen und aktuell hoher Weiderest) und Bewuchshöhe in cm bei verschiedenen Ansaatmischungen (Nr. 15 und 16 = Mischungen mit *Dactylis glomerata* und Nr. 17 und 18 mit *Festuca arundinacea* (18 = sanftblättrig) im Versuchsjahr 2012 (ELSÄSSER, 2014)

Abbildung 8  
Aktuelle und potentielle Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (in 1000 kg ha<sup>-1</sup>) wenn 50 und 100 Jahre altes Dauergrünland auf Sand und Ton gepflügt und als Ackerland (arable), bzw. 3/3 Feldgras(ley)-Ackerbau-Fruchtfolge oder 6/1 Feldgras-Acker-Rotationen oder Grünlanderneuerung genutzt wird (VELLINGA, et al., 2004).



### Nährstofflieferung und Kohlenstoffspeicherung

In Zeiten des mehr und mehr ins öffentliche Bewusstsein rückenden Klimawandels, haben Grünlandböden bei der Speicherung von Kohlenstoff durch Humusaufbau eine herausragende Rolle. PÖTSCH (2009) zitiert in diesem Zusammenhang SOUSSANA et al. (2007). Diese Funktion können Grünlandböden allerdings nur dann einnehmen, wenn sowohl Auf- als auch Einbau des Kohlenstoffs ungestört erfolgen können. Eine auch nur zeitweilige Umwandlung von Grünland in Ackerland oder auch Maßnahmen der Grünlandverbesserung mit mechanischer Bodenbearbeitung würde den Humusgehalt dauerhaft und nachhaltig verändern. Welche spezifische Bedeutung Grünlandböden in diesem Zusammenhang zukommt, zeigen VELLINGA et al. (2004) an einem Beispiel (Abb. 8). Die Umwandlung von über 50 resp. 100 Jahre als Dauergrünland genutzten Flächen auf Sand- und Tonböden in den Niederlanden in Ackerland bzw. Feldgraswirtschaft und Ackerland im Wechsel setzte ganz erhebliche Menge an Emissionen frei. Lediglich die Neuanlage des umgebrochenen Grünlandes in neues Dauergrünland war in der Lage diese Emissionen maßgeblich einzudämmen.



Prof Dr.  
Martin Elsaesser  
LAZBW Aulendorf  
Tel.07525/ 942351  
Martin.Elsaesser@  
lazbw.bwl.de

Grünlandböden können nach Aussagen und Messungen von WOHLFARTH et al. (2009) allerdings sowohl eine positive als auch eine negative Netto-ökosystemkohlenstoff-bilanz aufweisen (NEE). Die Autoren sehen dafür allerdings weniger die Bewirtschaftungsintensität verantwortlich, als vielmehr den Umstand, dass die Bewirtschaftung an das Potential des Grünlandes Kohlenstoff zu speichern angepasst wird. Letzteres wird durch

lokale klimatische Gegebenheiten beeinflusst, Wohlfarth et al. nennen in diesem Zusammenhang insbesondere die Länge der Vegetationsperiode und die Düngung als maßgebliche Kriterien.

### Zusammenfassung und Fazit

Eine an den Standort angepasste Grünlandbewirtschaftung, die wenn sie bodenschonend ausgeführt wird in der Folge tiefgreifende Verbesserungsmaßnahmen an Böden und der Dauervegetation „Grünland“ entbehrlich macht, ist die Grundlage für den Erhalt der Funktionalität von Grünlandböden. Obwohl der technische Fortschritt den Eindruck erweckt, die biologischen, chemischen und physikalischen Zusammenhänge bräuchten eigentlich keine weitergehende Beachtung mehr zu erfahren, ist gerade das Gegenteil der Fall. Mehr denn je gilt es darauf zu achten, die Bewirtschaftung an den Grünlandpflanzenbestand und die Gegebenheiten des Standorts anzupassen, wenn die Funktionalität, die Ökosystemdienstleistungen von Grünlandböden erhalten bleiben sollen. Die Grundregeln sind dabei die gleichen die schon viele Jahre Gültigkeit haben und die sicher bereits zu den Zeiten der Hohenheimer Ackerbauschule gelehrt wurden.

Befahren oder beweiden Sie Ihre Böden nur dann, wenn die Böden ohne Folgeschäden befahrbar sind oder kurz formuliert: Was Du auch tust, bedenke die Folgen!

### Hinweis

Das Literaturverzeichnis ist beim Autor erhältlich. ■