Auf dem Boden bleiben?!

Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen

Schriftenreihe
Deutsche Landeskulturgesellschaft
Heft 17, 2019

Auf dem Boden bleiben?!
Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen

Auf dem Boden bleiben?!

Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen

Heft 17

Herausgeber der Schriftenreihe:
Deutsche Landeskulturgesellschaft (DLKG)

© 2019 DLKG

Zitiervorschlag:
Deutsche Landeskulturgesellschaft (2019): Auf dem Boden bleiben?! Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen. – Schriftenreihe der Deutschen Landeskulturgesellschaft 17/2019: 131 S.

Einzelne Beiträge bitte wie folgt zitieren:
Schleuß, U. (2019): Agrarstruktur und Böden in Schleswig-Holstein. – In: Deutsche Landeskulturgesellschaft [Hrsg.] (2019): Auf dem Boden bleiben?! Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen. – Schriftenreihe der Deutschen Landeskulturgesellschaft 17/2019: 23–32.

Impressum

Die Schriftenreihe erscheint seit dem Jahr 2004 im Eigenverlag der Deutschen Landeskulturgesellschaft (DLKG). Darin zusammengefasst sind die Vorträge der jährlichen Bundestagungen der DLKG. Die 40. Bundestagung mit dem Thema „Auf dem Boden bleiben?! Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen“ fand vom 5. bis 7. Juni 2019 in Rendsburg (Schleswig-Holstein) statt.

Organisation und fachliche Vorbereitung der 40. Bundestagung 2019:

Landesvorstand der DLKG:
Diplom-Agraring. Kerstin Ebke, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Rendsburg
Dipl.-Agraring. Sönke Hauschild, Bauernverband Schleswig-Holstein, Rendsburg
Dipl.-Ing. geod. Peter König, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Flintbek

Weitere:
Dipl.-Biol. Godber Andresen, früher: Landesverband der Wasser- und Bodenverbände Schleswig-Holstein, Westerrönfeld
Dr. Eckhard Cordsen, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Flintbek
Prof. Dr. Holger Gerth, Landesnaturschutzbeauftragter beim Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung, Kiel
MinR a. D. Rudolf Meisterjahn, Bad Schwartau
Karin Zimmermann, Bauernverband Schleswig-Holstein, Rendsburg

Titel des Heftes in der Schriftenreihe der Deutschen Landeskulturgesellschaft:
Auf dem Boden bleiben?! Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen

Ausgabe:
Heft 17/2019

Herausgeber:
Deutsche Landeskulturgesellschaft (DLKG)
c/o. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg

Verantwortlich für den Inhalt:
Die Verfasser der Beiträge

Fachliche und redaktionelle Begleitung:
Dr. Andreas Blaufuß-Weih, Ginster Landschaft und Umwelt,
Marktplatz 10a, 53340 Meckenheim
Dipl. Ing. agr. Kerstin Ebke, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein,
Grüner Kamp 15–17, 24768 Rendsburg
Viola Kranich, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg
Dipl. Ing. agr. Joachim Omert, Amt für Ländliche Entwicklung Unterfranken,
Zeller Str. 40, 97082 Würzburg

Cover:
Layout: Viola Kranich, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.,
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg
Grafik: „engine“, Quelle: www.pixabay.com

Druck und Bindung:
Pro BUSINESS Digital printing & copyservice GmbH
Schwedenstraße 14, 13357 Berlin

Zu beziehen über:
Geschäftsstelle der Deutschen Landeskulturgesellschaft (DLKG)
c/o. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82-4076
E-Mail: dlkg@dlkg.org
Web: www.DLKG.org

Preis: **15,00 EUR zuzüglich Versand**

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.

© 2019 DLKG
ISSN: 16-14-52-40

Inhalt

Vorwort *(Prof. Dr. Karl-Heinz Thiemann)* 11

Grußwort *(Jan Philipp Albrecht)* 19

EINFÜHRUNGSVORTRAG *(Dr. Uwe Schleuß)*

Agrarstruktur und Böden in Schleswig-Holstein 23
- Einleitung 23
- Hauptnutzungsräume und Bodeninventar 23
- Ausgewählte Aspekte der Agrarstruktur und Bodennutzung 26
- Fazit 31
- Literatur 32

BERICHTE AUS DER PRAXIS

Ackerbau zwischen Produktion und Bodenschutz in einer Hochertragsregion *(Dipl. Ing. agr. Klaus-D. Blanck)* 33
- Das Tagungsthema lautet: Auf dem Boden bleiben!? – Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen 33
- Produktion in Hochertragsregionen (Ackerbau) 34
- Bodenfruchtbarkeit (Prof. Wiermann) 34
- Wasser- und Lufthaushalt 35
- Nährstoffversorgung 35
- Organische Düngung auf Ackerstandorten 36
- Bodendruck/Tragfähigkeit des Bodens 36
- Drainagen und Vorflut 37
- Technik und Bodenstruktur 38
- Zusammenfassung: Bodenschutz in Hochertragsregionen 39

Der Bodenmarkt in Schleswig-Holstein *(Dietrich von Hobe)* 41
- Ausblick: 42

BODENSCHUTZ

Nachhaltiger Bodenschutz durch Erhalt und Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit *(Prof. Dr. Conrad Wiermann)* 43
Was ist Bodenfruchtbarkeit? 43
Welche Prozesse gefährden die Bodenfruchtbarkeit? 43
Welche Maßnahmen fördern die Bodenfruchtbarkeit? 44
Warum sind der Erhalt und die Förderung der Bodenfruchtbarkeit zukünftig noch bedeutsamer? 46
Fazit 46
Literatur 46

Freisetzung und Bindung von Treibhausgasen durch landwirtschaftliche Bodennutzung *(Dr. Arne Poyda)* 49
Hintergrund 49
Landwirtschaftliche Böden als THG-Quellen 50
N_2O-Emissionen durch Stickstoffzufuhr 51
CO_2-Freisetzung aus drainierten Moorböden 54
Humusaufbau zur Abschwächung des Klimawandels? 57
Schlussfolgerungen 59
Literatur 60

BODENSCHUTZASPEKTE

Xenobiotika in landwirtschaftlich genutzten Böden *(Dr. habil. Elke Fries)* 65
Zusammenfassung 65
1. Einleitung 66
2. Fallstudien 67
2.1 Mobilität von Silbernanomaterialien in Böden 67
2.2 Eintrag und Verbleib von Arzneimitteln und Industriechemikalien bei der Beregnung 70
2.3 Austrag nicht relevanter Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln aus dem Boden 72
3. Schlussfolgerungen 75
Literatur 76

Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden in Schleswig-Holstein – ein unterschätztes Problem? *(Dr. Eckhard Cordsen)*.....79
Bodenverdichtung unter landwirtschaftlicher Nutzung.....79
Folgen von Bodenverdichtungen.....80
Gefährdungsabschätzung.....81
Einschätzung der realen Situation.....82
Flächenhafte Erhebungen.....84
Einschätzung der Praxis.....85
Strategien und Lösungsansätze zur Vermeidung von Bodenverdichtungen.....87
Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden in Schleswig-Holstein – ein unterschätztes Problem? Ein Resümee.....87
Zitierte Literatur.....88

Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein – kontinuierliche Ermittlung von Datengrundlagen für den vorsorgenden Bodenschutz *(Dr. Marek Filipinski)*.....91
1. Einführung.....91
2. Aufbau der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein.....92
3. Ergebnisse.....94
3.1 Entwicklung der Humusgehalte.....94
3.2. Entwicklung der Gehalte an anorganischen Schadstoffen im Boden.....96
3.3 Entwicklung der organischen Schadstoffgehalte.....97
3.4 Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung.....97
3.4.1 Stickstoffdynamik.....99
3.4.1.1 Stickstoff im Boden.....99
3.4.1.2 Stickstoffbilanzen.....101
3.4.2 Bedeutung der Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser.....102
3.4.3 Bilanzierung an Arsen und Schwermetallen.....103
3.5. Oberflächennahe Grundwasserstände.....103
3.6. Bodenwasser und Bodentemperatur.....104
3.7 Biologische Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen.....105
3.7.1 Bodenmikrobiologische Untersuchungen.....106
3.7.2 Bodenzoologische Untersuchungen.....106
3.7.3 Pflanzensoziologische Untersuchungen.....106
3.7.4 Lichenologische Untersuchungen.....107
4. Schlussbetrachtung.....107
5. Literatur.....107

Agrarflächen in Dänemark – wie Politik und Landwirtschaft damit umgehen *(Jørgen Popp Petersen)*.....109

Bodenschutz der Zukunft – Schritte zur Sicherung dieser Ressource
(Dr. Thomas Straßburger) 113
Gesetzgebung 115
Agrarpolitik 115
Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) 118
Lebensmittelabfälle 119
Bodenschutz geht alle an 120
Fremd- und Schadstoffe in Böden 123
Belastungen durch Fremdstoffe 123
Belastungen durch Schadstoffe 124
Rohstoffabbau 125

Vorwort

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Thiemann
Vorsitzender der Deutschen Landeskulturgesellschaft

Wie der Einladung zur diesjährigen Bundestagung vom 5. bis 7. Juni 2019 in Rendsburg (Schleswig-Holstein) zu entnehmen war, kann die Deutsche Landeskulturgesellschaft (DLKG) inzwischen auf ihre 40. Bundestagung zurückblicken. Ich möchte dies zum Anlass nehmen, die DLKG kurz vorzustellen und in der gebotenen Kürze ihre Entstehung, Anliegen und Arbeitsschwerpunkte der letzten Jahrzehnte zu umreißen.

Die DLKG hat bundesweit über 250 Mitglieder und ist in sieben Länderarbeitsgruppen untergliedert. Im Einzelnen sind dies heute die Arbeitsgruppen Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz/Hessen/Saarland, Sachsen, Schleswig-Holstein und Thüringen, die vielfältige Aktivitäten auf regionaler Ebene durchführen. Alles Weitere hierzu ist auf der Homepage zu finden (siehe www.dlkg.org).

Schon 1964 gründete Carl Husemann, seinerzeit Professor und Direktor des Instituts für Kulturtechnik und Grünlandwirtschaft der Technischen Universität Berlin, den Arbeitskreis Landeskulturelle Forschung. Der Arbeitskreis war zunächst rein wissenschaftlich ausgerichtet und stellte eine informelle Vereinigung der im kulturtechnischen Bereich an den agrarwissenschaftlichen Fakultäten in Deutschland tätigen Hochschullehrer dar. Vertreten waren aber auch außeruniversitäre Forschungs- und Versuchseinrichtungen, wie zum Beispiel die Moorversuchsstation in Bremen, die deutschlandweit eine führende Rolle auf dem Gebiet der Moorkultivierung hatte.

Schwerpunktmäßig führte der Arbeitskreis schon damals jährlich stattfindende Sitzungen durch, in denen landeskulturelle Forschungsergebnisse vorgestellt und diskutiert wurden. Bis Ende der 1960er Jahre stand dabei die sog. innere Kolonisation im Vordergrund. Ihr wesentliches Ziel war es, durch Kultivierung von Moor-, Heide- und Ödlandflächen sowie durch Entwässerung von Feuchtwiesen und großflächige Dränagen vor allem die Grünlandwirtschaft und die ackerbauliche Nutzung zu intensivieren.

Entsprechende Meliorationsmaßnahmen mit dem dazu notwendigen Ausbau des Wege- und Gewässernetzes konnten vielfach nur über Flurbereinigungsverfahren durchgeführt werden, die gleichzeitig eine Zusammenlegung zersplitterten Grundbesitzes ermöglichten.

Daher hat sich der Arbeitskreis schon in den Anfangsjahren von seiner rein wissenschaftlichen Ausrichtung gelöst und mit Vertretern aus der Praxis erweitert. Hierzu zählten insbesondere Angehörige der Flurbereinigungsverwaltungen in den Ländern. Ziel war es schon damals, Forschung und Praxis stärker miteinander zu verzahnen, um voneinander profitieren zu können.

Aus diesen historischen Zusammenhängen heraus erklärt sich, dass noch heute vergleichsweise viele Mitglieder in der DLKG aus den Flurbereinigungsbehörden kommen.

Mit wachsendem Umweltbewusstsein in Politik und Gesellschaft erlangte der Natur- und Landschaftsschutz zu Beginn der 70er Jahre eine zunehmend größere Bedeutung. Dadurch hat sich der Landeskulturbegriff innerhalb von nur wenigen Jahren grundlegend gewandelt. Bis etwa 1970 verstand man darunter die nachhaltige Erhöhung der Fruchtbarkeit und Ertragssicherheit landwirtschaftlicher Nutzflächen, vor allem durch wasserwirtschaftliche und kulturbautechnische Maßnahmen. Seither hat sich die Auffassung durchgesetzt, dass die Landeskultur die enge Verbindung zwischen Agrarstrukturverbesserung und Landschaftspflege berücksichtigen und die vielfältigen Funktionen der Kulturlandschaft für die Gesellschaft sichern muss, wozu auch die Dörfer gehören. Gesetzlich verankert wurde dieser neue Landeskulturbegriff schon 1972 im Landwirtschafts- und Landeskulturgesetz von Baden-Württemberg. Landeskultur umfasst nach der amtlichen Begründung zu diesem Gesetz alle ökonomischen und ökologischen Aspekte, die den Bemühungen um die land- und forstwirtschaftlich genutzte und betreute Landschaft zugrunde liegen. Diese Definition gilt noch heute und gibt den modernen Landeskulturbegriff prägnant wieder.

Das neue Selbstverständnis wurde von der landeskulturellen Forschung vergleichsweise schnell aufgegriffen und thematisiert. Es stieß jedoch in der Landwirtschaft auf Widerstand und war zu Beginn der 70er Jahre auch noch nicht in der landeskulturellen Praxis etabliert. Der Arbeitskreis sah sich daher veranlasst, seine Anliegen durch eine stärkere Institutionalisierung mit größerer Außenwirkung zu vertreten und sich durch eine interdisziplinäre Ausrichtung im Sinne des gewandelten Landeskulturbegriffs neu zu profilieren.

Auf der 19. Sitzung am 23. und 24. Januar 1975 in Berlin begründete Arnd von Reinersdorff, seinerzeit Geschäftsführer der Programm-Nord-GmbH und für die Landentwicklung zuständiger Referent im Landwirtschaftsministerium des Landes Schleswig-Holstein, die notwendige Neuorientierung in einem richtungsweisenden Vortrag mit dem Titel „Die Rolle der Landeskultur bei der Entwicklung ländlicher Räume, insbesondere der Agrargemeinden“.

In seinen noch heute überaus lesenswerten Ausführungen (abgedruckt in der Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, Heft 3/1975, S. 129–137) setzte er den Begriff der Landeskultur mit dem Begriff der Landentwicklung gleich, wie er kurze Zeit später mit § 1 des neuen Flurbereinigungsgesetzes von 1976 allgemein eingeführt wurde.

Hervorzuheben ist, dass von Reinersdorff schon damals auch die Dorfentwicklung als landeskulturelle Aufgabe beschrieb und hervorhob.

Dieser schon in den 70er Jahren begründete umfassende Landeskulturbegriff hat sich inzwischen allgemein durchgesetzt und bestimmt noch heute das Selbstverständnis der DLKG. Dies zeigt sich zum Beispiel in den viel beachteten Bundestagungen zu den Handlungsfeldern Dorfumbau (30. BT 2009 in Würzburg), Change-Management (33. BT 2012 in Wetzlar) und Soziale Dorferneuerung (35. BT 2014 in Zwickau).

Auf der 20. Sitzung am 4. und 5. März 1976 in Bonn wurde dann beschlossen, aus dem Arbeitskreis eine im Bereich der Landeskultur wirkende Gesellschaft zu entwickeln und alle Fachleute zu einer Mitgliedschaft einzuladen, die mit den Fragen der Entwicklung ländlicher Räume befasst sind. Dies ist die Geburtsstunde der Deutschen Landeskulturgesellschaft.

Als offizielles Gründungsdatum gilt jedoch die 1. Bundestagung am 21. und 22. April 1977 an der Justus-Liebig-Universität Gießen, auf der sich die DLKG erstmals der Fachwelt und Öffentlichkeit vorstellte. Daher konnte bereits vor zwei Jahren das 40-jährige Jubiläum begangen werden.

Im ersten Jahrzehnt seit der Gründung stand der gewandelte Landeskulturbegriff im Fokus der vielfältigen Aktivitäten auf Bundesebene und in den Länderarbeitsgruppen Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Die Bundestagungen haben auch in Verbindung mit zahlreichen regionalen Veranstaltungen dazu beigetragen, das einseitig agrarökonomisch ausgerichtete Meliorationswesen in eine ganzheitliche, ökonomisch-ökologische Planung und Gestaltung der Agrarlandschaften zu wandeln. Es war ein wesentliches Anliegen der DLKG-Tagungen Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre, diesen neuen Ansatz in der Landschaftsentwicklung auch in der landeskulturellen Praxis zu etablieren und zum Durchbruch zu verhelfen. Rückblickend kann festgestellt werden, dass dies im Zusammenwirken aller Akteure und mit einer intensiven Auseinandersetzung um den richtigen Weg in der Landeskultur vergleichsweise schnell gelungen ist.

Schwerpunktthemen der Bundestagungen waren in den Anfangsjahren die ökologische Bestandsaufnahme und Bewertung als Grundlage der Landschaftsplanung sowie der Boden- und Gewässerschutz, eingebunden in eine nachhaltige Landnutzung und Biotopvernetzung. Diese Themen haben heute nichts an Bedeutung verloren und es lohnt ein Blick in die alten Referate und Tagungsunterlagen. Aus diesem Grund wird zurzeit auf der Homepage der DLKG eine Dokumentation der älteren Tagungen mit Originalunterlagen aufgebaut.

In den Folgejahren ging es schwerpunktmäßig darum, auch alte und aus der neuen Sichtweise einer ganzheitlichen Landschaftsentwicklung als verfehlt erscheinende Landeskulturmaßnahmen in den Blick zu nehmen. Dabei spielten der Gewässerschutz und die Renaturierung einseitig ausgebauter Fließgewässer als Kernelemente eines Biotopverbunds eine zentrale Rolle.

In der Diskussion um den richtigen Weg setzte sich Ende der 80er und zu Beginn der 90er Jahre die Auffassung durch, dass Naturschutz auf der gesamten Fläche stattfinden muss, es also gleichermaßen um den Erhalt und die Schaffung von Strukturelementen in der Agrarlandschaft geht, wie um die Gewährleistung einer umweltverträglichen Landnutzung. Das in den Bundestagungen diskutierte Konzept der Integration von Schutz und Nutzung ist heute elementarer Bestandteil der Landschaftsplanung und Kulturlandschaftsentwicklung. Dabei gilt es heute auch, vorgezogene und in einem Ökokonto bevorratete Kompensationsmaßnahmen möglichst optimal für die Kulturlandschaftsentwicklung zu nutzen. Richtungsweisende Impulse gingen diesbezüglich bereits von der 21. Bundestagung 2000 in Halle (Saale) aus.

Darüber hinaus bestimmen natürlich die Vorgaben der deutschen und europäischen Agrarpolitik die Ziele und Handlungsmöglichkeiten der Landeskultur und Landentwicklung. Im Kontext der EU-Agrarreformen für die Förderperioden 1994–1999, 2000–2006 und 2007–2013 waren mehrere Bundestagungen gezielt darauf ausgerichtet, die sich daraus ergebenden Rahmenbedingungen, Perspektiven und Möglichkeiten zu beleuchten. Ziel war es, die absehbaren Änderungen in der Agrarpolitik in ihren Auswirkungen auf die Landeskultur möglichst früh zu erörtern und Konsequenzen für die Forschung und Praxis abzuleiten.

Die Tagungsergebnisse sind noch heute lesenswert, auch wenn vieles inzwischen agrarhistorische Bedeutung hat. Zu nennen sind etwa die strategischen Überlegungen, wie die zur Senkung der Überproduktion eingeführte Flächenstilllegung zur nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung genutzt werden kann.

Anfang der 2000er Jahre bestimmte die BSE-Krise insbesondere die deutsche Agrarpolitik unter dem bekannten Schlagwort „Klasse statt Masse“. Dabei bestanden die Anforderungen des Boden-, Natur- und Landschaftsschutzes natürlich weiterhin, und es kam für die Wasserwirtschaft die Ende 2000 verabschiedete europäische Wasserrahmenrichtlinie hinzu. Gleichzeitig zeichneten sich neue Ansprüche an die Landnutzung in Bezug auf den Klimaschutz und die Energiewende ab. In diesem Konglomerat unterschiedlichster Interessen und Ansprüche bot die DLKG mit ihren Bundestagungen vor allem eine Hilfestellung zur Einordnung und Orientierung, gerade auch für die Landentwicklung und ländliche Bodenordnung.

In dieser Zeit der Analyse und Standortbestimmung entstand aber auch der Wunsch vieler DLKG-Mitglieder – wie in den Gründungsjahren –, wieder stärker strategisch-konzeptionell mit größerer Außenwirkung zu agieren. Daraus entwickelte sich die von Armin Werner (Vorsitzender der DLKG von 1999 bis 2010) initiierte, überaus erfolgreiche Zusammenarbeit mit der "Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Nachhaltige Landentwicklung". Auftakt war die Erarbeitung eines Strategiepapiers zur Integrierten Ländlichen Entwicklung (ILE) mit dem Ziel, die Möglichkeiten der ILE zur Stärkung der Wirtschaftskraft und Schaffung von Arbeitsplätzen vor dem Hintergrund des demografischen Wandels aufzuzeigen. Das viel beachtete Strategiepapier wurde als Sonderheft 1/2006 in der Schriftenreihe der DLKG publiziert und wegen des internationalen Interesses auch in englischer Sprache herausgegeben.

Es folgte eine intensive, schon im Zusammenhang mit der Erarbeitung des Strategiepapiers zur ILE begonnene Auseinandersetzung mit dem demografischen Wandel und dessen Auswirkungen auf die Landentwicklung. Getragen durch die im Jahr 2006 neu gegründete Länderarbeitsgruppe Rheinland-Pfalz, Hessen und Saarland wurden drei Grundsatzpapiere zur Dorferneuerung erarbeitet (siehe Sonderhefte 2/2009, 4/2011 und 6/2014 in der Schriftenreihe der DLKG). Sie stellen Ansatz, Konzeption und Umsetzung einer Sozialen Dorfentwicklung vor und erweitern damit die Dorferneuerung um den Aufbau sorgender Gemeinschaften. Das neue Konzept wurde auf vier Bundestagungen intensiv erörtert und breit diskutiert (30. BT 2009 in Würzburg, 33. BT 2012 in Wetzlar, 35. BT 2014 in Zwickau und 36. BT 2015 in Birkenfeld). Der DLKG ist es damit gelungen, die Dorferneuerung zu erweitern und dazu beizutragen, die soziale Dorfentwicklung in die praktische Umsetzung zu bringen.

Dennoch hat die DLKG die Landnutzung als wichtigen Aspekt der Landeskultur nicht aus den Augen verloren. Von der 29. Bundestagung 2008 in Gummersbach gingen zahlreiche Anregungen zur Intensivierung der Waldflurbereinigung aus. Ihr Ziel ist eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zur Holzmobilisierung und zum dringend notwendigen Waldumbau zu klimaresistenten Mischbeständen nach dem Konzept "Pflege durch Nutzung". Dabei spielt die Erschließung durch ländliche Wege eine zentrale Rolle, der die 32. Bundestagung 2011 im Mainz gewidmet war. Die Tagung brachte insbesondere in Bezug auf die Wegebreiten maßgebliche Impulse zur Fortschreibung der „Richtlinien für den Ländlichen Wegebau (RLW)“, die im August 2016 in Kraft getreten sind.

In neuerer Zeit stehen wieder eher traditionelle landeskulturelle Themen auf der Agenda. Dabei ging es 2016 in Freising um eine nachhaltige Kulturlandschaftsentwicklung durch Planung und Umsetzung von multifunktionalen Landnutzungskonzepten sowie 2017 in Stuttgart um die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme für außerlandwirtschaftliche Zwecke. In diesem Zusammenhang spielt auch die Flurbereinigung als effektives Umsetzungsinstrument eine wichtige Rolle, deren Effizienz und Akzeptanz durch moderne Arbeits- und Beteiligungsmethoden noch gesteigert werden kann, wie auf der Bundestagung 2018 in Bad Berleburg deutlich wurde. Diese klassischen landeskulturellen Themenfelder, die schon die Anfangsjahre der DLKLG prägten, wurden nun mit der 40. Bundestagung fortgesetzt, die schwerpunktmäßig den Bodenschutz zum Gegenstand hatte.

Abschließend ein kurzer Ausblick: Im Jahr 2020 ist die DLKG nach 2011 zum zweiten Mal wieder Mitausrichter der Internationalen Infrastrukturtagung, auch bekannt als ehemalige Drei-Länder-Wegebautagung Deutschland-Österreich-Schweiz. Die Tagung findet vom 13. bis 15. Mai 2020 in Wiesbaden statt und thematisiert auch die Digitalisierung als notwendige Infrastrukturausstattung im ländlichen Raum. Für das Jahr 2021 ist die 42. Bundestagung in Rheinland-Pfalz geplant, diese soll sich schwerpunktmäßig mit Strategien und Instrumenten zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) beschäftigen. Ferner sind bereits erste Planungen zu den Bundestagungen 2022 in Bayern und 2023 in Sachsen angelaufen.

Damit möchte ich den Rück- und Ausblick schließen und hoffe, ich habe Ihr Interesse an der DLKG geweckt, sofern Sie nicht schon Mitglied sind. Mehr erfahren Sie – wie gesagt – auf der Homepage unter www.dlkg.org. Im DLKG-Mitteilungsblatt 2019 finden Sie ferner einen ausführlichen Bericht über Entstehungsgeschichte und die Arbeit in den letzten vier Jahrzehnten. Der Artikel enthält auch eine Auflistung aller bisherigen Bundestagungen einschließlich der Fundstellen der jeweiligen Tagungsdokumentationen zum Nachlesen.

Mit ihrer 40. Bundestagung 2019 hat die DLKG unter dem Motto „Auf dem Boden bleiben?! – Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen“ ein drängendes Problem der nachhaltigen Landnutzung aufgegriffen. Am ersten Tag stand die Bedeutung der Böden und des Bodenschutzes für die Agrarstruktur und die Landwirtschaft im Vordergrund und wurde vor allem aus praktischer Sicht beleuchtet. Es freut mich, dass wir mit Herrn Blanck (ehemaliger Landwirt) und Herrn Dau zwei Landwirte gewinnen konnten, die hierzu aus ihren praktischen Erfahrungen berichtet haben. Während des zweiten Tages wurden die vielfältigen Facetten des Bodenschutzes vor allem aus wissenschaftlicher Sicht näher betrachtet und intensiv diskutiert.

Mein ausdrücklicher Dank gilt allen Referenten, die in exzellenten Vorträgen wesentliche Aspekte des Bodenschutzes erläutert haben und für weitergehende Diskussionen zur Verfügung standen. Die rund 90 Teilnehmer haben mit ihren Beiträgen unterstrichen, wie wichtig der Bodenschutz für eine nachhaltige Kulturlandschaftsentwicklung ist.

Abschließend möchte ich der Landesgruppe Schleswig-Holstein für die Vorbereitung und Organisation im Namen der DLKG und aller Tagungsteilnehmer herzlich danken. Gemeinsam haben Frau Ebke, Herr Hauschild und Herr König als Vorbereitungsteam die Tagung von den ersten konzeptionellen Ideen bis zur Durchführung im Detail ausgestaltet und organisiert.

Besonders hilfreich war dabei die Unterstützung durch das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein, dem ja auch Herr König und einige Referenten angehören.

Besonders erwähnen möchte ich Herrn Dr. Cordsen, der maßgeblich an der Ausgestaltung des Programms und den Kontakten zu den bundesweiten Referenten mitgewirkt hat.

Mein besonderer Dank gilt – wie immer bei den Bundestagungen – Frau Viola Kranich für die charmante Leitung des Tagungsbüros, das gesamte Einladungsmanagement und die Erstellung der Tagungsunterlagen sowie Frau Claudia Kaiser – unserer neuen Kassenführerin – für die finanzielle Abwicklung.

Schließlich möchte ich auch die Exkursionen am Freitag nicht unerwähnt lassen, die von Herrn Prof. Dr. Gerth, Herrn Andresen und Herrn Meisterjahn organisiert und begleitet wurden.

Die 90 Teilnehmer aus dem gesamten Bundesgebiet und dem benachbarten Ausland verdeutlichen, dass die DLKG mit der Tagung unter dem Motto „Auf dem Boden bleiben?! – Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen“ eine aktuelle Fragestellung in der ländlichen Entwicklung aufgegriffen und mit der fachlichen Ausgestaltung den Nerv der Zeit getroffen hat.

Im besonderen Maße gilt der Dank allen 14 Referenten für ihre exzellenten Vorträge und die anregenden Diskussionen. Hierin schließe ich auch die weiteren Beteiligten an der Podiums- und Plenumsdiskussion zum Bodenschutz mit ein. Sie alle haben den Erfolg der Tagung sichergestellt, einen zielführenden Austausch ermöglicht und richtungsweisende Impulse für einen zukunftsorientierten Bodenschutz gegeben, die nachhaltig weiter wirken werden.

So wünsche ich allen Leserinnen und Lesern des vorliegenden Tagungsbandes der 40. Bundestagung der DLKG „Auf dem Boden bleiben?! – Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen“ ebenso aufschlussreiche Erkenntnisse, verbunden mit einem ausdrücklichen Dank an die Autoren der folgenden Beiträge.

Ihr

Karl-Heinz Thiemann

Grußwort

Jan Philipp Albrecht
Minister für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt,
Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Kolleginnen und Kollegen,

ich freue mich, dass Sie schon zum fünften Mal Ihre Bundestagung in Schleswig-Holstein abhalten – und nun zum ersten Mal in Rendsburg, im Herzen Schleswig-Holsteins.

In den vorherigen Bundestagungen haben Sie sich besonders mit dem Thema Flächeninanspruchnahme und Flächenkonkurrenzen beschäftigt, diesmal wollen Sie mehr in die „Tiefe“ gehen und sich dem Boden selbst und dem Bodenschutz widmen.

Boden ist eine knappe, nicht erneuerbare und nicht vermehrbare Ressource, die sich nur sehr langsam über Jahrtausende entwickelt. Er ist komplex und vielfältig. Boden ist eng verknüpft mit der Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre. Wie wichtig der Bodenschutz für uns alle, aber auch und gerade für die Landwirtschaft ist, wird in den vielen Beiträgen dieser Veranstaltung mehr als deutlich. Und das sehr feuchte Jahr 2017, das äußerst trockene Jahr 2018 und das trockene Frühjahr in diesem Jahr machen diese Bedeutung für uns alle noch einmal sichtbar.

Im Zusammenspiel der Ökosysteme erfüllt der Boden lebensnotwendige Funktionen: Er puffert Schadstoffe, er filtert Wasser, er liefert Nährstoffe, er speichert, wandelt um und gleicht aus, er ist prägend für unsere unterschiedlichen Landschaftstypen und die Landwirtschaft, auf ihm bauen wir Häuser, Straßen und Fabriken, er liefert Rohstoffe, er bietet Lebensraum, er dient uns zur Erholung und er ist Träger unseres kulturellen Erbes.

Kurzum: Er ist Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen. Und genau das ist vielen Menschen nicht genügend bewusst. Der Boden ist einfach da, er ist selbstverständlich, er ist der Dreck unter unseren Schuhen. Aber genau das Gegenteil ist der Fall. Und deshalb ist es so wichtig, dass durch Veranstaltungen wie diese Bundestagung die Bedeutung des Bodenschutzes immer wieder hervorgehoben wird.

Die schleswig-holsteinischen Böden befinden sich im Vergleich zu anderen, stärker industrialisierten Bundesländern insgesamt gesehen in einem guten Zustand. Wir haben sehr fruchtbare und ertragreiche Böden, und die Belastungen durch Industrie und Gewerbe halten sich in Grenzen. Aber auch bei uns werden die Böden beansprucht und sind Belastungen ausgesetzt. Nähr- und Schadstoffanreicherungen, die im Grundwasser nachzuweisen sind, sowie Bodenverluste durch Erosion und Versiegelung geben Anlass zur Sorge.

Was also können wir tun, damit die allgegenwärtigen Ansprüche den Boden nicht überfordern? Was können wir tun, damit die vielfältigen Funktionen der Böden auch künftigen Generationen noch sauberes Grundwasser, gesunde Nahrungsmittel und gute Lebensbedingungen bieten?

Die Landesregierung sieht als Ausgangspunkt für den Bodenschutz die Vorsorge. Ziel ist es, neben dem Erhalt der natürlichen Funktionen des Bodens gleichzeitig die Nutzungsmöglichkeiten der Böden durch Land- und Forstwirtschaft, Siedlung, Wirtschaft, Erholung und Verkehr langfristig zu sichern. Dieses Spannungsfeld muss immer wieder neu ausgelotet und austariert werden – denn sowohl die Erkenntnisse als auch die Ansprüche der Gesellschaft steigen permanent.

Bereits 1997 hat die schleswig-holsteinische Landesregierung dem Landtag ein Bodenschutzprogramm vorgelegt. Daran haben wir uns in unserer täglichen Arbeit orientiert. Zwischenzeitlich hat sich aber einiges verändert: So wurde mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz, der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und dem Landesbodenschutzgesetz ein bis vor 20 Jahren noch gar nicht existentes Rechtsgebiet geschaffen. Diese Regelungen haben erhebliche Ausstrahlungskraft entwickelt und sich auch in anderen Fachgesetzen und -verordnungen niedergeschlagen. So steht auf Bundesebene zurzeit die sog. Mantelverordnung auf der Tagesordnung, bei der der Boden- und Grundwasserschutz beispielsweise die Verwertung von mineralischen Abfällen beeinflusst und damit unmittelbar in diese Materialströme eingreift.

Fragen zu Plastikabfällen in der Umwelt oder immer wieder neu aufkommende Schadstoffe wie aktuell die Perfluor-Kohlenwasserstoffe (PFC) wurden noch vor wenigen Jahren kaum diskutiert. Schauen wir auch auf den Klimawandel, der den Boden doppelt betrifft: Auf der einen Seite spielt der Boden eine große Rolle beim Klimaschutz und der Kohlenstoffspeicherung, auf der anderen Seite erfordert er geeignete Bodenbearbeitungsmaßnahmen im Rahmen der Klimaanpassung.

Dies sind nur einige Beispiele dafür, dass wir uns im Hinblick auf den Bodenschutz immer wieder neuen Herausforderungen gegenübersehen und uns diesen stellen müssen. Vor diesem Hintergrund ist es an der Zeit, dass sich Schleswig-Holstein neu aufstellt.

Das gilt für den vorsorgenden Bodenschutz, für die Altlastenbearbeitung und für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. In allen drei Feldern wurden bereits erhebliche Fortschritte erzielt, aber wir müssen uns neue mittel- und langfristige Ziele setzen. Die Landesregierung arbeitet daher an einem Landesbodenschutzprogramm, das die Leitplanken auf dem Weg in die Zukunft stellen soll.

Zu allen Themenfeldern, wie gerade mit Blick auf die Landwirtschaft auch zur Umsetzung der neuen Düngeregelungen, müssen wir mit allen Beteiligten im Gespräch bleiben, denn nur gemeinsam lassen sich Lösungswege beschreiten und Lösungen umsetzen. Dafür habe ich den Dialogprozess „Zukunft der Landwirtschaft“ gemeinsam mit der Landwirtschaft und den Naturschutzverbänden angestoßen, in dem wir gemeinsam nach Wegen in eine nachhaltige Landwirtschaft der Zukunft suchen wollen.

Ich freue mich, dass so viele Expertinnen und Experten der Einladung nach Rendsburg gefolgt sind wünsche Ihnen eine gute und erfolgreiche Bundestagung. Tragen Sie dazu bei, dass wir den Boden aus dem Untergrund holen und in den Mittelpunkt unserer Betrachtung stellen. Wir werden dringender denn je auf ökologisch intakte Böden angewiesen sein.

Mit herzlichen Grüßen

Jan Philipp Albrecht

Agrarstruktur und Böden in Schleswig-Holstein

Dr. Uwe Schleuß
Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein, Referat Grundsatzangelegenheiten der Landwirtschaft (V 20)

Einleitung

Böden kommt eine zentrale Schlüsselrolle als Lebensraum für Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und Menschen, als wesentliche Regulatoren in Wasser-, Stoff- und Energiekreisläufen sowie als Filter, Puffer und Transformatoren für Nähr- und Schadstoffe zu (Stahr 2002). Werden sie landwirtschaftlich genutzt, dienen Böden vor allem als Produktionsgrundlage zur Nahrungs-, Futter- und Energieerzeugung.

Es sind zahlreiche und oftmals miteinander konkurrierende Anforderungen an die Bodennutzung in der weiten Nutzungsspanne zwischen Nahrungserzeugung und Beanspruchung als Siedlungs- und Verkehrsfläche zu konstatieren. Des Weiteren ist unter dem Aspekt „Generationengerechtigkeit“ sicherzustellen, dass den nachfolgenden Generationen für die Bodennutzung möglichst viele Optionen erhalten bleiben.

Die Bodennutzung hat sich in Schleswig-Holstein in den letzten Jahrzehnten deutlich verändert. Es dominiert, obwohl seit Jahren rückläufig, weiterhin die Landwirtschaftsfläche. Deutliche Modifikationen, auch innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzung, sind aber nicht zu übersehen, nicht nur landesweit, sondern vor allem auf Ebene der Naturräume (Schleuß 2007).

Auch die Agrarstruktur, hier verstanden als innere Gliederung der Landwirtschaft mit den dazu gehörenden Anbaustrukturen, Produktionsweisen, Produktivitätskennzahlen und der regionalen Produktionsverteilung, ist in immerwährender dynamischer Entwicklung begriffen. Hauptursachen dafür dürften die mit dem technischen Fortschritt verbundene Spezialisierung, Mechanisierung, Konzentration und Produktionsintensivierung sein.

Hauptnutzungsräume und Bodeninventar

Von Ost nach West gliedert sich Schleswig-Holstein in die vier Hauptnaturräume "Östliches Hügelland", "Vorgeest", "Hohe Geest" und "Marsch" (Abbildung 1). Diese Landschaftsgliederung spiegelt sich auch in der Verbreitung der verschiedenen Bodentypen (Abbildung 2) sowie in der Landnutzung wider (Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein et al. 2017).

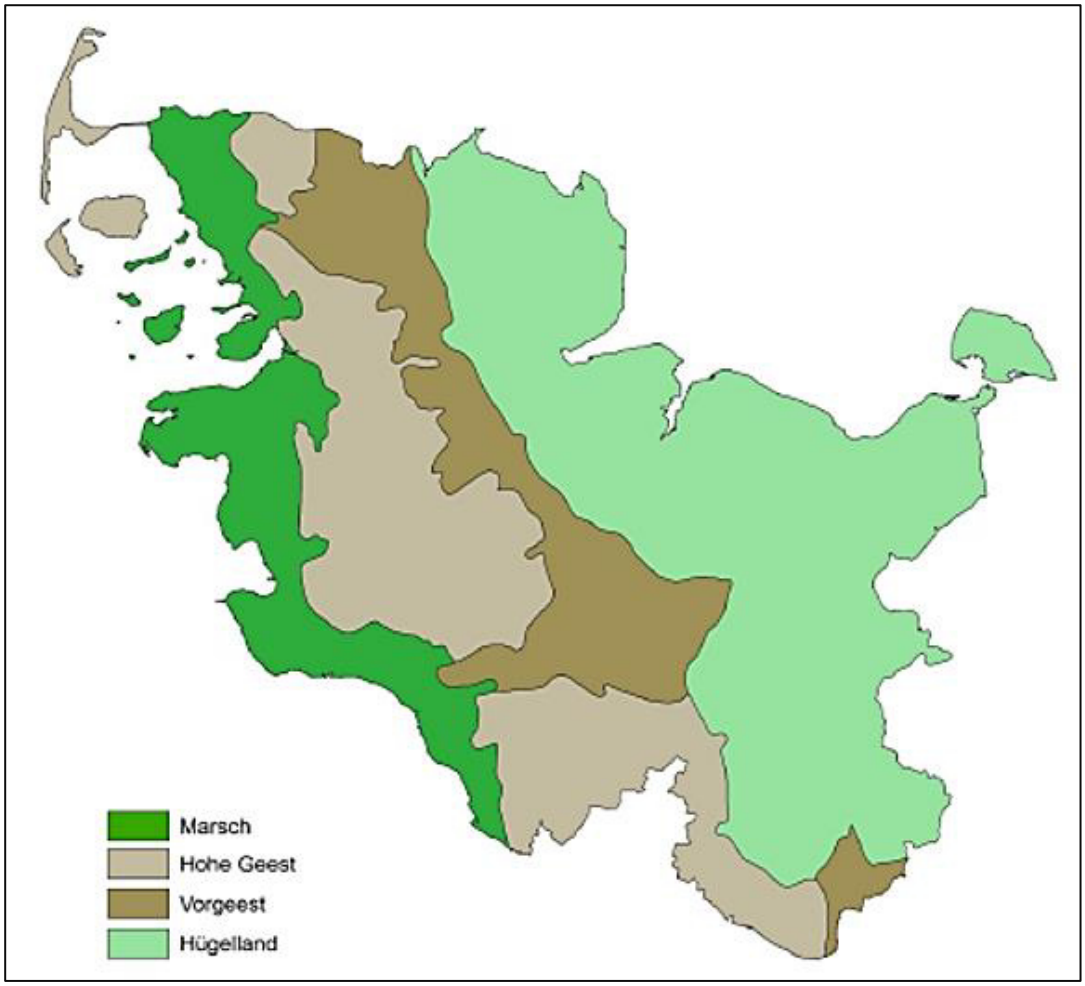


Abbildung 1: Hauptnaturräume in Schleswig-Holstein
(Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2018a).

Das Östliche Hügelland ist der größte Hauptnaturraum Schleswig-Holsteins. Geprägt von der Weichseleiszeit zieht sich diese Jungmoränenlandschaft als breites Band an der Ostküste des Landes von Dänemark bis zur Landesgrenze zu Mecklenburg-Vorpommern. Als Bodentypen dominieren lehmige *Parabraunerden* mit Übergängen zu den staunassen *Pseudogleyen*, in Senken finden sich *Gleye, Moore* und aus dem Akkumulationsmaterial erodierter Böden entwickelte *Kolluvisole*. In den sandigeren Bereichen sind auch *Braunerden* anzutreffen.

Die nach Westen anschließende Vorgeest ist ganz überwiegend von den Schmelzwassersanden der letzten Eiszeit geprägt. Diese im Gegensatz zum Östlichen Hügelland nahezu ebene Landschaft ist durch spätglaziale und holozäne Prozesse geformt. Als Bodentypen dominieren *Podsole* und *Gleye* sowie deren Übergangsbodentypen, flächenmäßig vor allem *Gley-Podsole*. *Gleye* als grundwassergeprägte Böden charakterisieren mit Übergängen zu *Anmooren* und *Mooren* die Niederungen der Vorgeest.

Im Übergang zu der die schleswig-holsteinische Westküste prägenden Marsch findet sich in unterschiedlicher Gebietsgröße, teilweise inselartig vor der Marsch angeordnet, die sog. Hohe Geest. Die Ausgangssubstrate der Bodenbildung auf der auch als Altmoränengebiet bezeichneten Hohen Geest gehen auf die Saaleeiszeit zurück. Die ursprünglich lehmigen Standorte sind durch periglaziale Prozesse sowie Sand- und teilweise Schluffverwehungen geprägt. Daher entwickelten sich in diesem Hauptnaturraum *Braunerden* mit Übergängen zu *Pseudogleyen* oder, bei stärker sandigen Ausgangssubstraten, zu *Podsolen*.

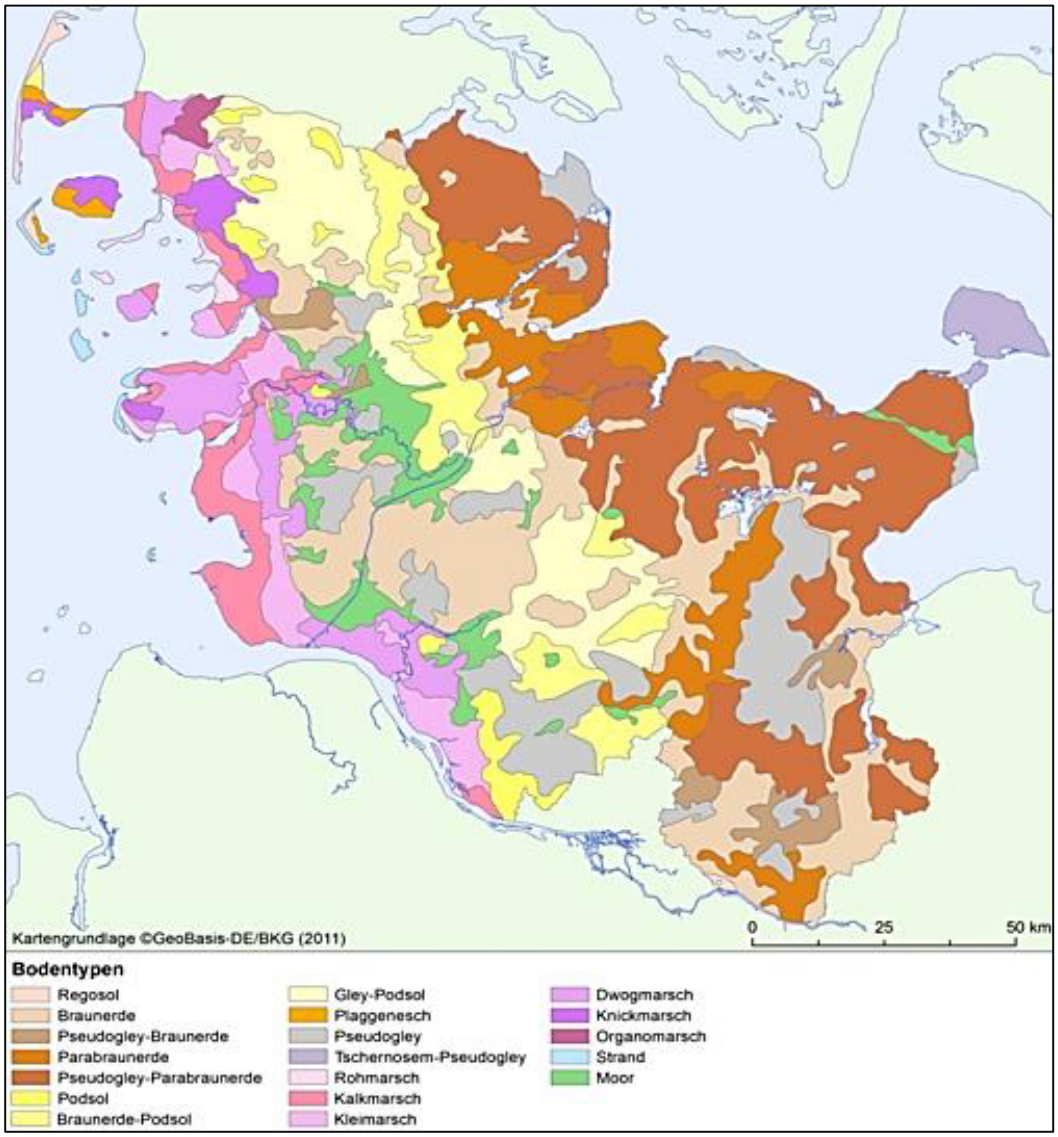


Abbildung 2: Bodentypenverteilung in Schleswig-Holstein (Quelle: in Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein et al. 2017).

Im durch nacheizeitliche Prozesse (u.a. Meeresspielanstieg, gezeitenabhängige Sedimentation) geprägten jüngsten Naturraum, der Marsch, finden sich in Abhängigkeit von Körnung (stark beeinflusst von der Strömungsgeschwindigkeit) sowie Salz- und Kalkgehalt der Sedimente sehr unterschiedliche Bodentypen. In den jungen Marschen dominieren die vor allem ackerbaulich genutzten feinsandig-schluffigen *Kalk*- und *Kleimarschen*, während die tonreichen *Knick*- und *Dwogmarschen* sowie die humusreichen *Organomarschen* der alten Marschen ursprünglich nur als Grünland nutzbar waren. Erst durch Meliorationsmaßnahmen (z.B. Entwässerung) wurden sie inzwischen vielfach in eine ackerbauliche Nutzung überführt.

Ausgewählte typische Böden der einzelnen Hauptnaturräume zeigt Abbildung 3.

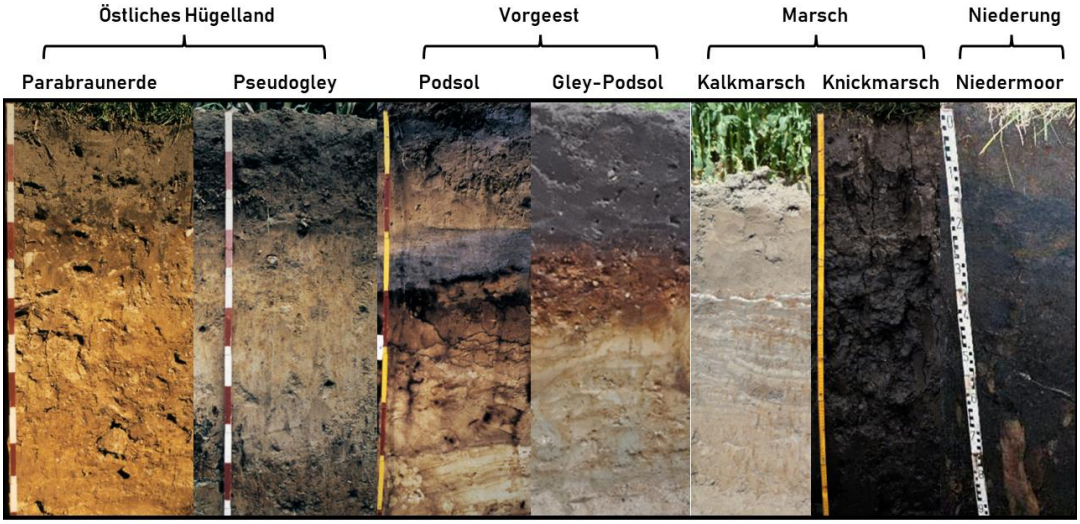


Abbildung 3: Typische Böden unterschiedlicher Naturräume in Schleswig-Holstein.

Ausgewählte Aspekte der Agrarstruktur und Bodennutzung

Die Bodennutzung hat sich in Schleswig-Holstein in den letzten Jahrzehnten deutlich verändert. Das Bild der Kulturlandschaft dominiert, obwohl seit Jahren rückläufig, weiterhin die Landwirtschaftsfläche (ca. 70 % der Landesfläche), gefolgt von der Siedlungs- und Verkehrsfläche (ca. 13 %), der Waldfläche (ca. 11 %) und den Gewässern (ca. 5 %). Bemerkenswert ist besonders der deutliche Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsflächen, die nunmehr die zweithäufigste Nutzungsartengruppe (noch vor der Waldfläche!) in Schleswig-Holstein darstellt.

Spezialisierung, Mechanisierung, Konzentration (vor allem in der Tierhaltung) und Produktionsintensivierung führten in den letzten Jahrzehnten neben einer Freisetzung von Arbeitskräften vor allem zu einer dramatischen Abnahme der Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe.

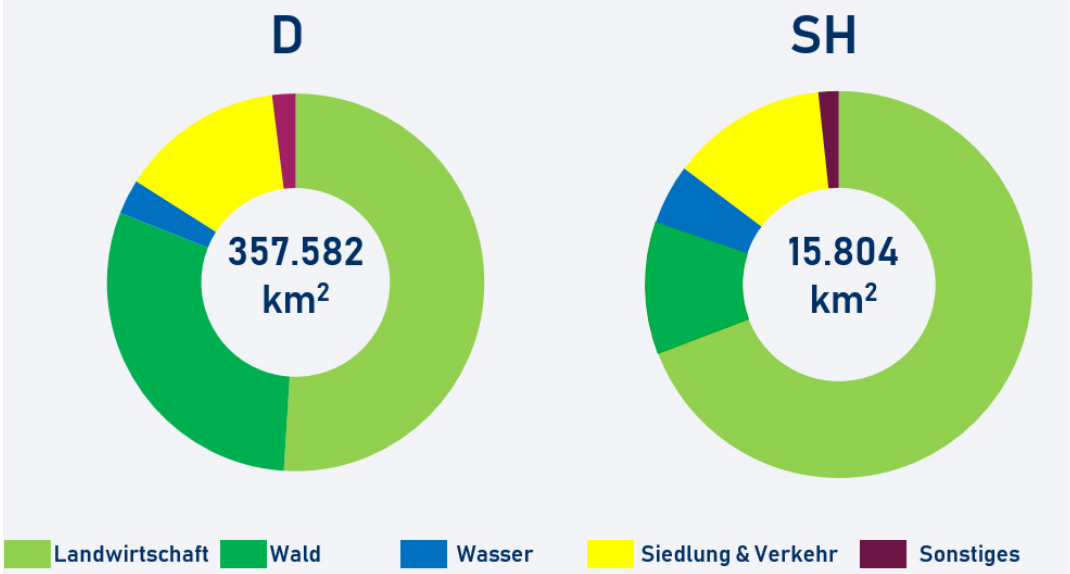


Abbildung 4: Bodennutzung in Schleswig-Holstein und im Bundesgebiet im Jahre 2017 (Quellen: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2018b, DESTATIS 2018).

Nimmt man die heute in der Agrarstatistik eingeführte Untergrenze für die Betriebserfassung von ≥ 5 ha LF als Maßstab, so belegen die Daten des Statistischen Amts für Hamburg und Schleswig-Holstein (Tabelle 1) einen deutlichen Rückgang der Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe von 1960 (34.336 Betriebe) bis 2016 (11.980 Betriebe), wobei die in den ersten Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg noch bedeutsame Betriebsgrößenklasse von 2–5 ha in der Agrarstatistik nicht mehr betrachtet wird. Die durchschnittliche Flächenausstattung eines landwirtschaftlichen Betriebes lag in Schleswig-Holstein im Jahre 1960 bei ca. 21 ha, aktuell wird sie mit nahezu 80 ha angegeben.

Tabelle 1: Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe und deren Betriebsgrößenverteilung 2016 (Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2017, DESTATIS 2018).

	Schleswig-Holstein	Deutschland
Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe ∑ (> 5 ha)	**12.603 (11.980)**	**269.800 (248.160)**
< 5 ha	623	21.640
5–20 ha	3.351	99.330
20–50 ha	2.300	64.870
50–100 ha	2.934	46.820
100–500 ha	3.267	33.330
500–1.000 ha	114	2.270
> 1.000 ha	14	1.540

Die sektorale Konzentration ist auch an den Verschiebungen zwischen den einzelnen Betriebsgrößenklassen erkennbar.

So ist eine deutliche Zunahme größerer landwirtschaftlicher Betriebe evident, besonders der Anteil der Betriebe mit einer Flächenausstattung von über 100 ha steigt an. In der Größenklasse 10–50 ha und ihren Untergliederungen spiegeln sich die agrarstrukturellen Wandlungen im Zeitablauf am besten wider. Während hier in den Nachkriegsjahren zunächst Zuwächse zu verzeichnen waren, ist seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts ein deutlicher Rückgang in dieser Größenklasse festzustellen. Der Anteil der Betriebe mit einer Flächenausstattung unter 10 ha hat sich stabilisiert. Hier sind vor allem viele Hobby- und Nebenerwerbsbetriebe vertreten, die hauptsächlich aus nicht landwirtschaftlichen Quellen ihr Einkommen generieren.

Die schleswig-holsteinischen Landwirtschaftsbetriebe bewirtschafteten 2018 ca. 1 Mio. ha LF, davon wurden ca. 2/3 als Ackerland und nahezu 1/3 als Dauergrünland genutzt. Die unterschiedliche Verteilung von Acker- und Grünlandflächen auf die Hauptnaturräume folgte früher weitgehend den Standorteigenschaften (Bodengüte, Ertragsfähigkeit, Grundwasserverhältnisse). Ab den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts ist aber infolge der sich verändernden Wettbewerbsbedingungen eine deutliche Verschiebung zur ackerbaulichen Nutzung festzustellen. Schleswig-Holstein war im Jahre 2008 das erste Bundesland, in dem aufgrund der Abnahme des Dauergrünlandanteils an der landwirtschaftlich genutzten Fläche um mehr als 5 % gegenüber dem Basisjahr 2003 eine auf unionsrechtlichen Vorgaben basierende Landesverordnung zum Erhalt von Dauergrünland erlassen werden musste. Dadurch konnte der quantitative Rückgang der Dauergrünlandfläche gestoppt werden, seit 2013 (in 2019 novelliert) hat Schleswig-Holstein ein Dauergrünlanderhaltungsgesetz. Nicht berücksichtigt wird bei dieser Vorgehensweise die qualitative Veränderung der Grünlandbestände, die sich aufgrund der veränderten Nutzungsweise (u.a. frühe Mahdtermine, geringerer Anteil an Weidenutzung, Düngung, veränderte Gräseransaatmischungen) in Vergleich zu den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts deutlich artenärmer präsentieren.

Tabelle 2: Aufteilung der landwirtschaftlichen Bodennutzung im Zeitablauf (in ha) (Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2018a; div. Jahrgänge).

Bodennutzung	1960	1980	2000	2010	2018
Landwirtschaftlich genutzte Fläche	1.187.137	1.101.342	1.022.790	995.637	987.400
Acker	682.007	623.565	609.948	674.283	663.500
Dauergrünland	462.808	467.423	403.264	313.892	317.700
Verhältnis Acker/Dauergrünland (%)	60/40	57/43	60/40	68/32	67/33

Nicht nur das Verhältnis von Acker- zu Grünland hat sich zulasten des Grünlandes deutlich verändert, auch innerhalb der Ackernutzung ist eine markante Verschiebung im Anbau einzelner Kulturen zu beobachten. Die heute in Schleswig-Holstein dominierenden Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Mais nahmen 1950 zusammen nur ca. 10 % der Anbaufläche ein, ihr Anteil wies im Jahr 2018 schon nahezu 70 % der ackerbaulich genutzten Fläche auf.

Der noch bis in die 70-iger Jahre zu verzeichnende erhebliche Flächenumfang an Winterroggen, Sommergetreide (Hafer, Sommergerste und -weizen) sowie Kartoffeln erreicht heute eine marginale Größenordnung.

Tabelle 3: Anbauumfang ausgewählter Ackerkulturen in Schleswig-Holstein (in ha) (Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2018a; div. Jahrgänge).

Kultur	1960	1980	2000	2010	2018
Acker, davon	682.007	623.565	609.948	674.283	663.500
Winterweizen	74.380	161.274	163.462	190.498	126.500
Wintergerste	31.732	108.528	63.268	67.657	52.400
Winterroggen	112.542	67.366	28.028	28.965	21.800
Winterraps	14.196	73.709	87.513	111.890	73.000
Hafer	61.358	41.736	9.844	7.106	15.700
Zuckerrüben	13.706	18.661	13.563	7.491	9.400
Kartoffeln	42.140	5.289	5.726	5.458	5.600
Silomais	626	39.846	79.032	175.669	179.400
Hülsenfrüchte	k.A.	k.A.	2.214	1.325	13.100

k.A. = keine Angabe

Bei der Betrachtung des Anbauumfangs (Tabelle 3) als auch in der Ertragshöhe ausgewählter Ackerkulturen (Tabelle 4) ist allerdings einschränkend zu berücksichtigen, dass es starke witterungsbedingte Schwankungen gibt, wie das Feuchtjahr 2017 (mit im Herbst schwierigen Aussaatbedingungen und daraus folgend geringerem Anteil an Winterkulturen) als auch das Trockenjahr 2018 eindrucksvoll belegen. Für die Zukunft ist aufgrund des Klimawandels mit deutlich größeren Ertragsschwankungen als in der Vergangenheit zu rechnen.

Tabelle 4: Erträge ausgewählter Ackerkulturen in Schleswig-Holstein (in dt/ha bzw. t/ha) (Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2018a; div. Jahrgänge).

Kultur	1960	1980	2000	2010	2018
Winterweizen	38,2	54,8	92,0	95,8	74,7*
Wintergerste	36,2	58,0	86,8	84,9	62,8*
Winterroggen	26,7	39,0	67,6	72,7	52,8*
Winterraps	24,1	29,4	39,5	43,4	30,8*
Hafer	31,2	40,0	59,2	59,9	43,9*
Zuckerrüben (t/ha)	357	386	555	580	684
Kartoffeln (t/ha)	238	268	302	348	327*
Silomais (t/ha)	365	393	357	337	362
Ackerbohnen	k.A.	k.A.	56,0	32,5	34,0*

k.A. = keine Angabe, * = trockenheitsbedingte Ertragsausfälle berücksichtigen

Veränderungen im Anbauumfang einzelner Kulturen ergeben sich auch infolge zunehmender Restriktionen bei der Anwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Dabei ist zu beobachten, dass enge Fruchtfolgen inzwischen an ihre pflanzenbaulichen Grenzen stoßen.

Seit kurzem ist ein Umdenken in der ackerbaulichen Nutzung festzustellen, wodurch sich das Spektrum der angebauten Ackerkulturen ein wenig zu erweitern beginnt, z.B. in der Ausweitung des Anteils an Hülsenfrüchten.

Im mehrjährigen Ertragsdurchschnitt zählt Schleswig-Holstein vor allem bei Wintergetreide und Winterraps zu den ackerbaulichen Gunststandorten in Deutschland.

Erwähnenswert ist auch der hohe Pachtanteil, der in Schleswig-Holstein über 50 % beträgt.

Die Nutztierhaltung ist für die schleswig-holsteinische Landwirtschaft von großer Bedeutung. Die Zahl der Tierhalter ist jedoch in den letzten Jahrzehnten deutlich gesunken. Verzeichnete Schleswig-Holstein 1980 noch 18.173 Milchviehhalter, so sank diese Zahl bis zum Jahr 2017 auf 4.004 Betriebe ab. Bei den Schweine- (1980: 14.823 Betriebe, 2017: 900 Betriebe) und Schafhaltern (1980: 5.082 Betriebe, 2017: 1.100 Betriebe) ergibt sich ein vergleichbares Bild. Dabei ist die Anzahl der Milchkühe und Schweine nur geringfügig gesunken, die Anzahl der Schafe hat sich seit 1980 sogar erhöht. Neben einer deutlichen Vergrößerung der Bestände auf dem Einzelbetrieb ist auch eine deutliche Konzentration in der Fläche zu beobachten. So wurde die Anzahl der Milchkühe in den Naturräumen Östliches Hügelland und Marsch in den letzten Jahrzehnten deutlich reduziert, während sich auf den sandigen Futterbaustandorten der Vorgeest und Hohen Geest eine deutliche Zunahme nachweisen lässt. Diese Konzentration führt zudem zu einem sehr ungleichen Anfall von wirtschaftseigenen Düngemitteln in den Naturräumen mit den hieraus resultierenden Konflikten bezüglich einer möglichen Grundwasserbelastung mit Nitrat sowie der sich daraus ergebenden Notwendigkeit, vor allem flüssige organische Düngemittel (u.a. Gülle, Gärrückstände) regional von den Überschussgebieten in die noch für organische Dünger aufnahmefähigen, ackerbaulich geprägten Naturräume Östliches Hügelland und Marsch zu transportieren.

Nahezu zwei Drittel aller im Land wirtschaftenden Betriebe sind Futterbau- oder Veredlungsbetriebe. Ein beachtlicher Teil der tierischen Erzeugung beruht auf der Nutzung des Futteraufwuchses von Grünlandflächen. Schwerpunkte hierbei sind die Milchviehhaltung und die Rindermast sowie die für die Westküstenregion Schleswig-Holsteins landschaftsprägende Schafhaltung.

Der Strukturwandel in der Milcherzeugung wird sowohl an der Entwicklung der Flächenausstattung der Betriebe deutlich (in den vergangenen 20 Jahren Anstieg um ein Drittel, wobei das Wachstum wegen des hohen Kapitalbedarfs beim Flächenkauf überwiegend über Flächenpacht stattfindet), als auch an der signifikant gestiegenen höheren Milchleistung je Kuh und Jahr. Lag diese 1980 noch bei etwa 4.500 kg, so werden aktuell 7.532 kg Milchertrag je Kuh und Jahr als Landesdurchschnitt angegeben. Spitzenbetriebe produzieren jährlich durchaus mehr als 10.000 kg Milch pro Kuh.

Betriebe mit geringer Flächenausstattung spezialisierten sich, vor allem in den ackerbaulich geprägten Naturräumen Marsch und Östliches Hügelland, häufig auf die Schweineproduktion (seltener auf die Geflügelproduktion), da nur über die Veredlung signifikant höhere Betriebseinnahmen verzeichnet werden können. Technische Fortschritte bei den Haltungs- und Fütterungssystemen steigerten dabei die Arbeitsproduktivität und führten zu größeren Beständen.

Obwohl sich der Anteil der Landwirtschaft an der Bruttowertschöpfung in Deutschland (Tabelle 5) in den letzten Jahrzehnten deutlich verringert hat, bleibt der Sektor in Schleswig-Holstein dennoch eine tragende Säule.

Tabelle 5: Anteil der Landwirtschaft (inkl. Forstwirtschaft und Fischerei) an der Bruttowertschöpfung (in %) (Quelle: MELUND 2018a).

Jahr	Schleswig-Holstein	Deutschland
1970	8,1	3,3
2000	2,0	1,1
2017	1,3	0,7

Das zeigt sich auch in den in Tabelle 6 aufgeführten Produktionswerten der Landwirtschaft. Dabei stehen sich Erlöse aus der pflanzlichen Erzeugung und der tierischen Erzeugung mit einem leichten Übergewicht bei den tierischen Erzeugnissen gegenüber. Im Sektor der tierischen Erzeugnisse ragt vor allem die Milchproduktion mit > 50 % heraus.

Tabelle 6: Produktionswerte der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein zu Herstellungspreisen (in Mio. €) (Quelle: MELUND, 2018b).

Produktion	2000	2010	2016
Gesamt-Produktion	2.920	3.160	3.237
Pflanzliche Erzeugnisse	1.265	1.535	1.503
Getreide	306	376	304
Tierische Erzeugnisse	1.332	1.546	1.589
Milch	732	804	808

Der einst belächelte Bereich des ökologischen Landbaus rangiert in Schleswig-Holstein zwar im Bundesvergleich im unteren Drittel, hat sich allerdings von 319 Betrieben mit nahezu 18 Tsd. ha im Jahre 2000 auf nunmehr 712 Betriebe mit ungefähr 59.300 ha, auch infolge staatlicher Förderung, deutlich gemausert. Das entspricht einem Anteil von 5,7 % der landwirtschaftlichen Betriebe und nahezu 6 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche.

Fazit

Die vier von Ost nach West aufeinander folgenden Naturräume in Schleswig-Holstein unterscheiden hinsichtlich ihrer landwirtschaftlichen Ausgangsbedingungen sehr stark.

Sowohl das Jungmoränengebiet des Östlichen Hügellandes als auch die Marsch zählen aufgrund ihrer Bodeneigenschaften und Klimabedingungen zu den ackerbaulichen Gunststandorten in Deutschland, während auf den sandigen Böden der Vorgeest und Hohen Geest ideale Voraussetzungen für Futterbaubaubetriebe gegeben sind.

In den letzten Jahrzehnten ist aufgrund von Spezialisierung, Mechanisierung, Konzentration (vor allem in der Tierhaltung) und Produktionsintensivierung die Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe signifikant rückläufig, die Betriebsgröße hat deutlich zugenommen.

Der Strukturwandel in der Landwirtschaft hält nahezu unverändert an. Daraus ergeben sich räumliche Änderungen der Bodennutzung und Konsequenzen für die ländlichen Räume. So sind auch in Schleswig-Holstein – wie in anderen Bundesländern – bereits einzelne Dörfer ohne landwirtschaftliche Betriebe zu beobachten. Erkennbar verliert damit die Landwirtschaft ihre einst bestimmende Rolle in diesen Räumen. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Einfluss der nicht landwirtschaftlichen Bevölkerung und deren Nutzungsansprüche signifikante Auswirkungen auf die Landwirtschaft und ihre vor- und nachgelagerten Bereiche erlangen wird.

Literatur

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein & Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein [Hrsg.] (2017): Böden, Bodennutzung und Bodenschutz in den schleswig-holsteinischen Marschen. Exkursionsführer zur Jahrestagung der Bodenspezialisten des Bundes und der Länder. Rendsburg, Selbstverlag, 37 Seiten.

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein

a. *Anteil der Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht an der Bruttowertschöpfung (Berechnungsstand 2017) https://www.schleswig-holstein.de/DE/Schwerpunkte/Agrarstatistik/ZahlenFakten/wirtschaftsdaten_Dossier.html, Abruf 28. Mai 2019.*
b. *Produktionswerte der Landwirtschaft zu Herstellungspreisen in Schleswig-Holstein (Berechnungsstand: Februar 2018, Quellen: Statistikamt Nord, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg), https://www.schleswig-holstein.de/DE/Schwerpunkte/Agrarstatistik/ Zahlen Fakten/wirtschaftsdaten_Dossier.html, Abruf 28. Mai 2019.*

Schleuß, U. (2007): Agrargeographische Aspekte des Wandels der landwirtschaftlichen Bodennutzung in den letzten Jahren. Natur- und Landeskunde, 119–125.

Stahr, K. (2002): Nachhaltiger Umgang mit Böden – Beiträge aus der Bodenforschung. – In: Blum, W.E.H., Kaemmerer, A. & R. Stock [Hrsg.]: Neue Wege zu nachhaltiger Bodennutzung. Erich-Schmidt-Verlag, Berlin, 25–33.

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2017): Die Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2016 – C IV - ASE 2016 SH, Teil 1 Bodennutzung.

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2018):

a. *Die Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2018 C I 1 - j 18 SH.*
b. *Bodenflächen in Schleswig-Holstein am 31.12.2017 nach Art der tatsächlichen Nutzung - A V 1 - j 17.*
c. *Die Viehwirtschaft in Schleswig-Holstein 2017 - C III - j 17 SH.*

Dieser Beitrag spiegelt die persönliche Meinung des Verfassers wider, nicht zwangsläufig die des MELUND.

Ackerbau zwischen Produktion und Bodenschutz in einer Hochertragsregion

Dipl. Ing. agr. Klaus-D. Blanck
ehem. Landwirt und Ackerbauberater auf der Insel Fehmarn
Landwirtschaftlicher Sachverständiger öbv,
Mitglied der Zukunftswerkstatt Pflanzenbau Schleswig-Holstein

Wenn auf dieser Tagung die Rede ist von Hochertragsregionen, dann sind damit Regionen gemeint, die aufgrund ihrer natürlichen Ausstattung mit fruchtbarem Boden und guten klimatische Voraussetzungen in der Lage sind, sehr hohe Naturalerträge erbringen zu können.

Weltweit gesehen ist Mitteleuropa eine Hochertragsregion. Europaweit ist Deutschland eine Hochertragsregion. Deutschlandweit gehört Schleswig-Holstein im Getreide- und Rapsanbau zu den Hochertragsregionen. Der Verlust einer agrarisch genutzten Fläche hier kann weltweit gesehen nur durch ein Mehrfaches an Fläche ausgeglichen werden, um den gleichen Ertrag zu realisieren. In der politischen Diskussion ist diese weltweit durchaus herausragende Standortqualität leider nicht mehr besonders präsent.

In Schleswig-Holstein sind ackerbauliche Hochertragsregionen:

Östliches Hügelland	z.B. Insel Fehmarn/Nordoldenburg
Junge Seemarschen	z.B. Reußenköge

In diesen Regionen werden Spitzenerträge im Getreide von über 100–120+ dt/ha erzielt, allerdings ist die Tendenz stagnierend. Spitzenerträge im Raps liegen bei über 50 dt/ha, hier ist die Tendenz aktuell aber sogar fallend.

Das Tagungsthema lautet: Auf dem Boden bleiben!? – Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen

Dabei sehe ich die Herausforderung Nr.1 in reichen Ländern inzwischen in der Schaffung einer gesellschaftlichen und politischen Wertschätzung von Boden. Dass nutzbarer landwirtschaftlicher Boden die unverzichtbare Basis für ein menschenwürdiges Leben der heutigen Masse Mensch ist, ist kaum noch präsent. Bereitstellung von Bauland, Freizeitfläche und Naturschutz hat einen höheren gesellschaftlichen Stellenwert als Fläche für die Produktion von Nahrungsmitteln – zumindest solange diese jederzeit und billig zu haben sind.

Die Herausforderung Nr. 2 in reichen Ländern ist deshalb eine nachhaltige Bodenpolitik zum Schutz der Ressource landwirtschaftlich nutzbarer Boden.

Versiegelung und dauerhafte Unterbindung von effizienter Agrarnutzung mindern diese endliche Ressource z.Zt. erheblich.

Erst an rangniederen Positionen stehen die an jedem Agrarstandort der Welt geltenden Herausforderungen:

- Erhalts des Bodens durch nachhaltige, intelligente Landwirtschaft
- Verbesserung des Bodens durch Agrokultur
- Vermeidung dummer bis sehr dummer Kurzzeitnutzung, wie sie leider in viel zu vielen Regionen der Erde praktiziert oder sogar neu aufgenommen wird

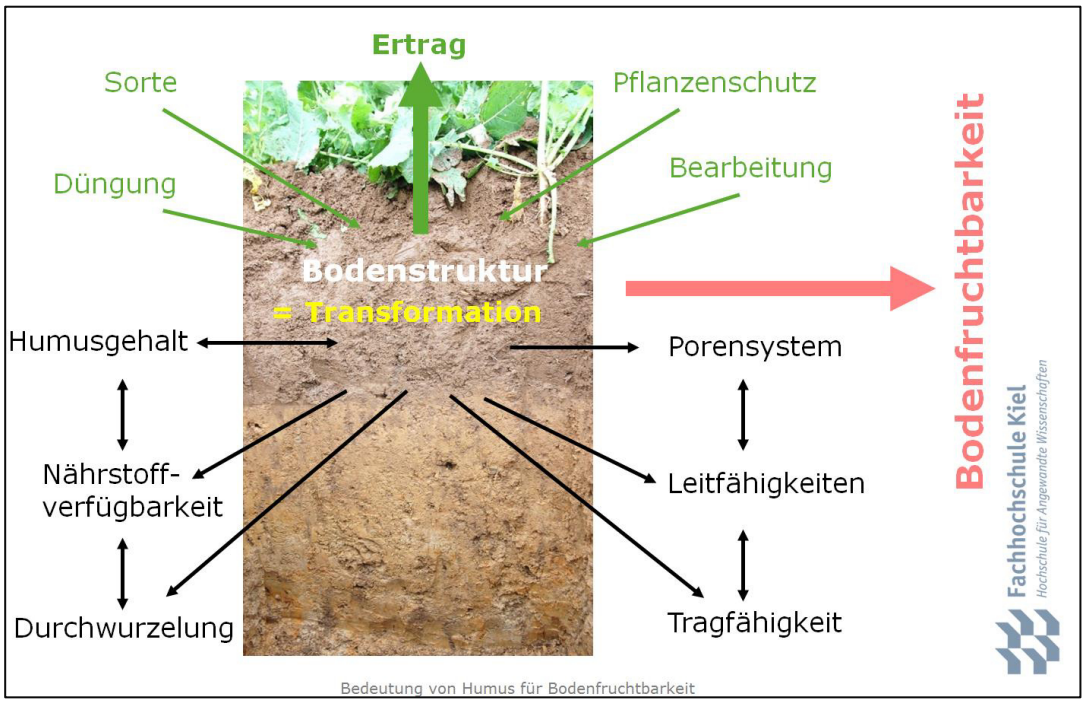
Produktion in Hochertragsregionen (Ackerbau)

Hochertrag ist nur erzielbar, wenn (fast immer) alles stimmt:

- Bodengüte = geologisch/klimatisch gegebene Standortqualität
- Ausgeglichenes Klima ← hier ändert sich etwas
- Wasser- und Lufthaushalt im Boden →Können des Landwirtes
- Nährstoffversorgung ← hier greifen politische Restriktionen
- Leistungsfähige Fruchtarten/Sorten/Fruchtfolgen
- Richtige Anbautechnik (Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte)

Bodenfruchtbarkeit (Prof. Wiermann)

Hier zeigt die Abbildung von Prof. Wiermann sehr eindrucksvoll, welche Rolle der Boden für die Transformation von biotischen und abiotischen Eigenschaften in Ertrag hat:



Greifen wir hier ein paar besonders wichtige Aspekte näher auf:

Wasser- und Lufthaushalt

Die pflanzenbaulich wichtige Relation von Wasser und Luft im Boden ist entscheidend für Wurzelwachstum, Nährstoffverfügbarkeit, Umsetzung organischer Rückstände und auch für die Tragfähigkeit/Befahrbarkeit mit Maschinen.

Das Porenvolumen und die Wasserspeicherfähigkeit (nutzbare Feldkapazität) sind im Wesentlichen vorgegeben durch die Bodenart am Standort. Sie sind aber negativ beeinflussbar durch falsche Bearbeitung. Besonders wichtig ist dabei der Erhalt von Grobporen zwischen Krume und Unterboden für die schnelle Ableitung von Überschusswasser und die Durchlüftung des Bodens.

Die Bedeutung von Drainagen oder in Trockengebieten von Bewässerung ist Landwirten geläufig, in der gesellschaftlichen Diskussion sind diese Maßnahmen aber oft schon negativ besetzt. Die Bedeutung von hohen Erträgen auch zur Vermeidung von Nährstoffausträgen wird dabei wenig beachtet.

Neu im Bewusstsein ist die Bedeutung des Wasser- und Lufthaushaltes für die landwirtschaftlichen Emissionen wie Nitrat- und Ammoniakverluste sowie von Lachgas als bedeutendes Acker-Treibhausgas.

Nährstoffversorgung

Hochertragsböden liefern hohe Erträge, im Marktfruchtbau bedeutet das auch hohe Netto-Entzüge. Erträge von z.B. 110 dt/ha Weizen und Gerste und 50 dt/ha Raps in einer dreifeldrigen Fruchtfolge haben Nettoentzüge nur für das Korn von 183 kg Stickstoff (N), 89 kg Phosphat (P_2O_5) und 61 kg Kali (K_2O) pro Jahr. Diese verlassen das Feld und müssen ersetzt werden, nur um den Nährstoffstatus zu halten.

Bei Winterkulturen werden entscheidende Voraussetzungen für hohe Erträge bereits im Herbst gesetzt. Hier wird über Wurzelmasse und -tiefgang entschieden. Die aktuell diskutierten pauschalen Einschränkungen durch die Düngeverordnung (DüngeVO) sind z.T. gravierend.

Zwischenfruchtanbau wäre zum Abfangen von Rest-N über Herbst/Winter sehr sinnvoll, benötigt häufig aber eine Start-N-Düngung. Auch hier sind pauschale Vorgaben durch die DüngeVO nicht immer sinnvoll. Es bestehen nun einmal erhebliche Unterschiede im Nährstoffstatus zwischen reinen Ackerbauregionen und intensiven Viehbetrieben.

Pauschale Stickstoff-Phosphor-Bilanzgrenzen (bei Phosphor + 10 kg/ha) behindern ein Aufdüngen extrem niedrig versorgter Schläge/(Betriebe). Längst nicht alle Böden haben ein Phsphor-"Luxusproblem", gerade in reinen Marktfruchtregionen gibt es viele mit Phosphor unterversorgte Böden.

Organische Düngung auf Ackerstandorten

In langjährig reinen Marktfruchtbetrieben fehlt häufig organische Substanz bzw. Humus. Die Fruchtbarkeit, vor allem aber die **Ertragsstabilität** von langjährig viehlos bewirtschafteten Ackerböden kann mit organischer Düngung verbessert werden, z.B. durch Gülle, Gärreste, Klärschlamm, Kompost oder Hühnertrockenkot. Der Einsatz dieser organischen Dünger in reinen Ackerbaubetrieben wird aber erheblich erschwert durch die DüngeVO:

- Unrealistisch hohe Anrechnungswerte für N für Düngeplanung/N-Bilanz
- Schwierige Genehmigung von Zwischenlagerplätzen in Feldnähe
- Bei Frühjahrsausbringung hohe Transportgewichte auf dem Acker mit Strukturschäden

Gerade bei der Frühjahrsausbringung von Gülle oder Gärresten ergeben sich bei strukturempfindlichen Lehm- und Marschböden Zielkonflikte durch die Vorgaben der DüngeVO (z.T. auch auf EU-Vorgaben zurückzuführen), insbesondere beim Verbot der Düngung über Frost. Dieses Verbot ist aus Wasserschutzgründen erfolgt, es ergeben sich dabei aber schwere Kollisionen mit

- dem Bodenschutz wegen der schwierigen Befahrbarkeit von nicht gefrorenen, aber i.d.R. noch sehr feuchten Böden im Frühjahr
- der Schonung/Lebensdauer ländlicher Wege. Die Ausbringung über feuchten Boden, u.U. noch in sehr engen Zeitfenstern, schädigt gerade in Wechselfrostperioden die ländlichen Wege, führt zu schweren Straßenverschmutzungen und Nachbarbelästigungen.
- der N-Effizienz der Düngung. Auch die Vermeidung der Ammoniak-Freisetzung bei Gülle und Gärresten ist ein wichtiges Ziel bei der Steigerung der N-Ausnutzung aus organischer Düngung. Gerade die Ausbringung bei niedrigen Temperaturen (Frost!!) mindert die Ammoniak-Ausgasung, durch die geltenden Regeln wird die Frost-ausbringung aber untersagt. Die nächsten technisch möglichen Ausbringungsphasen im Frühjahr sind dann meist trockene Ostwindlagen, diese sind aber ein Worst-Case-Szenario hinsichtlich der Ammoniak-Ausgasung und N-Effizienz.

Frühe Düngungstermine sind i.d.R. im Hochertragsbereich hoch effektiv, eine Befahrbarkeit ist aber meistens nur bei Frost gegeben.

Hier hat sich der Gewässerschutz gegen Schutz der Atmosphäre, der N-Effizienz und ländliche Infrastruktur sehr einseitig durchgesetzt.

Bodendruck/Tragfähigkeit des Bodens

Breite, bodenschonende Bereifung vermindert den Bodendruck von Fahrzeugen durch die größere Aufstandsfläche auf dem Boden. Dies ändert aber nichts am Gewicht, welches sich auf dem Boden abstützt und graphisch über die Tiefe der Druckzwiebel im Boden abgebildet wird.

Moderne GPS-Technik ermöglicht ein Fahren auf immer denselben Spuren und kann damit mehrjährig eine Senkung des Spuranteils auf dem Acker bewirken, allerdings betrifft dies im Wesentlichen nur die Arbeitsgänge in den Fahrgassen.

Es gibt nur relativ wenige Tage, an denen eine bodenschonende Befahrbarkeit ohne negative Bodenverdichtung möglich ist. Hier darf es keine Arbeitszeitbeschränkung geben (StVZO, Lärmschutz u.a.).

Die aktuelle Diskussion dreht sich um folgende Fragestellungen:

- Gibt es bei hohen Maschinengewichten und Befahren bei schwierigen Bodenverhältnissen eine gravierende Störung der Grobporen-Durchgängigkeit zwischen Krume und Unterboden?
- Haben hohe Radlasten in Kombination mit ungünstigen Witterungsverhältnissen nachhaltige Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit?

Die Antworten sind wahrscheinlich in beiden Fällen Ja, wie extrem nasse Jahre durch Nicht-Ableitung von Wasser in den Unterboden andeuten.

Auch der Klimawandel spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle: Wir registrieren eine deutliche Zunahme von Extremwetter-Situationen:

- Zunahme von Starkregen im Sommer/Herbst (lokal und regional). Starkregen bedeutet eine erhebliche Erschwernis bei Ernte und Bodenbearbeitung mit der Folge von Boden-Schadverdichtung. Auch infektionsabhängige Pflanzenschutzmaßnahmen müssen u.U. dann bei sehr schwierigen Bodenverhältnissen durchgeführt werden.
- Zunahme von Hitzeschlägen, allgemeine Erwärmung. Dies bedeutet deutliche Ernte-Verfrühung bei Getreide, Raps, Obst (mit der Folge verkürzter Abreifeperioden). Ob darauf die derzeitigen Ertragsstagnationen bei Getreide und Raps zurückzuführen sind, bleibt noch offen. Regionen mit zunehmendem Trockenstress nehmen aber wohl zu.
- Ertragsfortschritte sind noch bei Kulturen zu verzeichnen, die warme Sommer in Ertrag umsetzen können, wie z.B. Rüben und Mais/Körnermais. Hier gibt es aber auch höhere Züchtungsintensität und deutliche Hybrideffekte.
- Deutlich mildere Winter, längere Herbstvegetation. Weniger Frost bedeutet für den Boden aber auch geringere Frostauflockerung von Schadverdichtungen
- Verändertes Jetstream-Verhalten? Es mehren sich Jahre mit entweder langanhaltender Nässe oder langer Dürre. Diese sehr langen Tiefdrucklagen oder Hochdrucklagen über Mittel-/Nordeuropa bedeuten schwierige, weil doppelte Anpassung an Extreme bei Pflanzenzüchtung und Betriebsorganisation.

Drainagen und Vorflut

Ein intelligentes Wasserregime ist Voraussetzung für Hochertrag. Staunässe und Vernässung schädigen auf allen landwirtschaftlichen Nutzflächen Bodenstruktur und Ertragsfähigkeit und erschweren die Bewirtschaftung.

Die veränderte gesellschaftliche Diskussion über die Notwendigkeit von Landwirtschaft überhaupt, Nährstoffausträge und Naturschutz im Gewässerumfeld verschiebt aber die Prioritäten in der Wasserwirtschaft:

- Die Bedeutung von Drainagen für die Ertragssicherheit gerät aus dem Blick.
- Die Abflussleistung der Vorfluter tritt relativ zurück gegenüber Ökosystemaufgaben.
- Durch den Klimawandel muss unterschieden werden zwischen
- „schnellem Wasser“ → schadloser zügiger Abfluss von Starkregen
- „langsamem Wasser“ → Halten in der nutzbaren Feldkapazität, bzw. Biodiversität.

Technik und Bodenstruktur

Das agronomische Leitbild ist die Herstellung einer „**stabilen Krümelstruktur“** durch organische Lebendverbauung = „Bodengare“ und Bio-Durchporung.

Heutige technische Möglichkeiten können unter fast allen Bedingungen Krümelstrukturen/Feinerde herstellen, aber dies sind häufig nur **„technische Garen“.** Diese Krümelstruktur ist instabil, verschlämmungsgefährdet, nur kurzfristig wirksam und liefert keine dauerhaft gute, tiefgehende Bodenstruktur.

Ein diskutiertes Problem ist die **Krumenbasisverdichtung** bei Bodenbearbeitung unter zu nassen Bedingungen mit der Folge von Verdichtungshorizonten.

In engen Marktfrucht-Fruchtfolgen macht sich das **Fehlen mehrjähriger Futterbau-Früchte (Kleegras, Luzerne)** allmählich bemerkbar. Dies zeigt sich in Unkrautresistenzen, Mängeln bei der Humusmehrung, fehlenden Tiefwurzlern, wenig diverser Bodenfauna und zu geringen Fruchtfolgeeffekten.

In diesem Zusammenhang ist ein **Exkurs zum landwirtschaftlichen Strukturwandel** angebracht. Was sind die treibenden Kräfte für den Strukturwandel?

- Betriebswirtschaftlicher Druck durch Weltmarkt-Orientierung gibt kleinen „Normal“-Betrieben **keine Einkommensperspektive** und keine Chance zur Teilhabe im gesellschaftlichen Vergleich.
- Zunehmendes **Ordnungsrecht** in der Produktion erzwingt bei Düngung, Gülle und Pflanzenschutz eine **technische Effizienzsteigerung**, die kleinere Betriebe mit Eigenmechanisierung gerade bei der **Dokumentationsflu**t mit der vorhandenen Arbeitskraft und dem bestehenden Know-How nicht mehr leisten können.
- **Mediale Schuld-Zuweisungen** schaffen kaum lösbare Zielkonflikte, insbesondere für Viehbetriebe. „Bauern-Bashing“ und hohe Investitionsrisiken demotivieren Bauernfamilien: Diese Kombination führt zu
  → <u>beschleunigtem</u> Strukturwandel, gerade bei Viehbetrieben
  → Verpachtung an „Wachstumsbetriebe“.

Dieser Strukturwandel hat aber auch Folgen für den Bodenschutz:

- „Wachstumsbetriebe“ sind stark betriebswirtschaftlich ausgerichtet.
- Die Kosten der Arbeitserledigung dominieren über die ackerbauliche Qualität. Der Denk- und Planungshorizont wird (wie in der Wirtschaft allgemein) immer kurzfristiger!
- Der Anteil von (nicht langfristig sicheren) Pachtflächen steigt. Hier ist oft eine Vernachlässigung von Drainagen und Grunddüngung festzustellen.
- Arbeitszeit/Arbeitskräfte-Besatz ist extrem knapp, deshalb ist die technische Maschinen-Ausstattung (= „Schlagkraft“) enorm hoch.
    - Bei optimalen Bedingungen kann sehr viel sehr gut erledigt werden.
    - Bei schlechten Bodenverhältnissen kann sehr viel falsch gemacht werden.
- Böden sind nicht homogen, aber große Schläge werden aus arbeitswirtschaftlichen Gründen zu einem Zeitpunkt bearbeitet. Auch eigentliche Grünland-/Grenzstandorte werden in viehlosen Betrieben beackert und in Großschläge einbezogen.
  → Der Anteil der nicht bodenangepassten Bearbeitung auf Teilflächen wird steigen. Diese Entwicklung ist besonders in schwierigen Jahren bereits auf Luftbildern deutlich zu erkennen!

Zusammenfassung: Bodenschutz in Hochertragsregionen

- **Die Erzielung von Hochertrag wird durch politische Restriktionen bei Pflanzenschutz und Düngung in Zukunft deutlich schwieriger werden als in den letzten 50 Jahren.**
- **Der Klimawandel wird wegen zunehmender Extremereignisse und der Doppelbelastung durch sowohl Nässe- wie Dürrejahre schwierige Anpassungen bei Bodenbearbeitung, Pflanzenzüchtung, Fruchtfolgen und Betriebsorganisation nötig machen.**
- **Die Vermeidung von Unterbodenverdichtung wird eine zentrale Herausforderung im Ackerbau werden.**
- **Das Wassermanagement wird anspruchsvoller werden.**
- **Agronomisches Basiswissen darf auch bei größeren Betriebsstrukturen nicht missachtet werden.**

Der Bodenmarkt in Schleswig-Holstein

Dietrich von Hobe
Geschäftsführer der Landgesellschaft Schleswig-Holstein

Die Landgesellschaft Schleswig-Holstein mbH (LGSH) ist seit über 100 Jahren als gemeinnütziges Siedlungsunternehmen des Landes am Bodenmarkt aktiv. Mit ihrem eigenen Bodenfonds von über 4.000 ha und einem jährlichen Umschlag von ca. 2.000 ha begleitet sie die Agrarstruktur und unterstützt als Dienstleister die öffentliche Hand bei ihren weiteren Belangen wie Infrastruktur, Naturschutz und Kommunalentwicklung. Dazu nutzt sie das Instrument des Freiwilligen Landtausches und schließt Geschäftsbesorgungsverträge mit ihren Auftraggebern, um zielgerichtet Flächen zu beschaffen bzw. Flächennutzungskonflikte zu lösen.

Das statistisch ermittelte Flächenangebot in Schleswig-Holstein ist in den vergangenen 10 Jahren um ein Drittel zurückgegangen. Im gleichen Zeitraum stieg der durchschnittliche Bodenpreis (Acker und Grünland) um mehr als das Doppelte, ist aber seit zwei Jahren stabil. Die hochwertigen Flächen im Hügelland haben zwar ihren Preisvorsprung gehalten, die Flächen in Geest und Marsch haben aber überproportional aufgeholt. Eine Refinanzierung durch den Ertrag der zu kaufenden Fläche ist nur noch selten möglich.

Aus Sicht der LGSH sind mehrere Faktoren für diese Trends verantwortlich:

Das historisch dauerhaft niedrige Zinsniveau begünstigt einerseits die Nachfrage, da die „Landkäufer“ sich billig refinanzieren können, andererseits verknappt es das Angebot, da der Wiederanlagezins für die „Landverkäufer“ in der Regel unter einer Pachtrendite liegt.

Begünstigt wurde die Nachfrage auch durch eine seit 2005 grundsätzlich positive Stimmung in der Agrarbranche, die bis zur Milchkrise und Dürrekrise anhielt. Weiterhin entstanden neue Einkommensquellen durch die Förderung erneuerbarer Energien, und auch die dauerhafte Nachfrage nach Ausgleichsflächen trägt ihren Teil bei.

In Schleswig-Holstein sind nachstehende Trends am Bodenmarkt zu beobachten:

- Die Agrarstruktur ist, bedingt durch den auflagenbedingten Flächenentzug (Düngeverordnung, Knickerlass, Wasserrahmenrichtlinie) und den allgemeinen Konkurrenzdruck der Hauptnachfrager am Flächenmarkt. Ermöglicht wird dieses durch günstige Finanzierungen und die Entstehung neuer Einkommen (z.B. erneuerbare Energien, Tourismus).
- Die erneuerbaren Energien haben nicht nur über die Biogasanlagen zu einer phasenweisen Verdoppelung des Maisanbaus geführt, sondern auch über Windkraftanlagen und Photovoltaik viel Geld in den ländlichen Raum gebracht. Insbesondere an der Westküste ist der Einfluss auf den Bodenmarkt spürbar.

- Der Bau von Wohn- und Gewerbegebieten sowie der Ausbau der Infrastruktur (A20, Verkehrsanbindung zur Fehmarnbelt-Querung) tragen regional zu einem Preisanstieg bei. Insbesondere die Hamburger Randbereiche und Ostholstein sind derzeit davon betroffen.
- Der Naturschutz wächst durch den Rückgang öffentlicher Gelder nicht mehr so stark wie noch vor 10–15 Jahren. Weiterhin besteht aber eine deutlich wahrnehmbare Nachfrage nach Ausgleichsflächen, die regional auch zu einer Belastung des Bodenmarkts führt.
- Außerlandwirtschaftliche Investitionen haben auch in Schleswig-Holstein zugenommen. Während 2005 noch 5 Kaufverträge hinsichtlich einer möglichen Ausübung des Siedlungsrechtlichen Vorkaufsrechts überprüft wurden, waren es 2018 insgesamt 113 Fälle. Motive der Investoren sind vielfach die gefühlte Unsicherheit bei herkömmlichen Kapitalanlagen, das niedrige Zinsniveau sowie eine oft konkurrenzfähige Pachtrendite. Die Flächen werden in der Regel nicht selbst bewirtschaftet, sondern an Landwirte verpachtet. Die gezahlten Preise haben aber eine Signalwirkung für andere Verkäufer.

Die Preisbildung am Bodenmarkt wird inzwischen durch die Verkäufer dominiert. Sie orientieren sich an „wahrgenommenen“ Höchstpreisen und reizen ihre Angebote durch den Einsatz von Maklern und das „Abprüfen“ verschiedener Verwertungen stärker aus als früher. Die vorhandene Liquidität der Käufer wird vorausgesetzt, nur selten führen subjektive Präferenzen zu einem niedrigeren Kaufpreis.

Die Käufer orientieren sich an den Forderungen der Verkäufer und kalkulieren den Ankauf nicht mehr auf Basis der Einzelfläche sondern auf Basis des Gesamtbetriebes bzw. des umzusetzenden Projektes. Landkauf ist inzwischen eine strategische Frage.

Ausblick:

Anzeichen für eine gravierende Änderung der Situation sind am Bodenmarkt derzeit nicht erkennbar. Sowohl das Angebot ist weiterhin knapp als auch sind zahlungskräftige Nachfragekonkurrenten weiterhin vorhanden. Eine „Preisblase“ ist aufgrund der überwiegend guten Finanzierungssituation der Flächeneigentümer nicht zu erwarten. Eine verstärkte Aufgabe im Generationswechsel kann den Strukturwandel verstärken. Solange Betriebsplanung und Liquidität es zulassen, sollten Landwirtschaftsbetriebe angesichts des knappen Angebots Wachstumschancen ergreifen.

Nachhaltiger Bodenschutz durch Erhalt und Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit

Prof. Dr. Conrad Wiermann
Fachhochschule Kiel

Um die Versorgung zukünftiger Generationen mit ausreichend und unbedenklichen Lebensmitteln sicherstellen zu können, ist der Erhalt und die Förderung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit unabdingbar. Nur wenn die natürliche Ertragsfähigkeit der land- und forstwirtschaftlich sowie gärtnerisch genutzten Böden noch intensiver als bisher geschützt, gesichert und gefördert wird, sind weltweit Bodendegradationen und damit der weitere Verlust der Grundlage zur Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte einzudämmen. Diese Notwendigkeit wird durch den Klimawandel und die damit verbundenen Auswirkungen und Anforderungen an Bodennutzungssysteme weiter verstärkt.

Was ist Bodenfruchtbarkeit?

Unter dem Begriff der Bodenfruchtbarkeit wird grundsätzlich die natürliche Ertragsfähigkeit des Bodens verstanden, die eine Funktion der chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens ist. Für die Fruchtbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden sind die Nährstoffverfügbarkeit und -speicherbarkeit, der pH-Wert, der Humusgehalt, die biologische Aktivität und die Ausgestaltung des Porensystems entscheidende Parameter. Als Inbegriff eines fruchtbaren Bodens gilt ein humoser, gut strukturierter (Krümelstruktur), von Wurzeln und Regenwürmern bis in größere Tiefen durchzogener Boden mit typischem Erdgeruch. Der ehemalige schleswig-holsteinische Landwirtschafts- und Umweltminister Robert Habeck hat dies 2015 im UN-Jahr des Bodens treffend formuliert: „Bodenfruchtbarkeit meint für mich ganz wörtlich, Früchte des Bodens zu ernten. Ich denke an Karottenernten bei meiner Oma, der schwere, braune Mutterboden, der an den Händen zu einer Kruste wird und der Geschmack von Erde, wenn man die Möhren dann nur an der Hose abgewischt isst.“ Wissenschaftlich betrachtet, wird aber mit dem Begriff der Bodenfruchtbarkeit nicht nur die natürliche Ertragsfähigkeit bezeichnet, sondern es wird zusätzlich das Kompensationsvermögen gegenüber äußeren Einflüssen mit einbezogen. Bodenfruchtbarkeit hat somit auch eine zeitliche, d.h. langfristige Komponente.

Welche Prozesse gefährden die Bodenfruchtbarkeit?

Die Bodenfruchtbarkeit wird durch zahlreiche Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst. Mit zunehmender Bearbeitungsintensität steigt in der Regel das Risiko einer Gefährdung der natürlichen Ertragsfähigkeit des Bodens an. Schätzungen der FAO (2015) gehen mittlerweile davon aus, dass weltweit bis zu 33 % der landwirtschaftlichen Nutzflächen in ihrer Ertragsfähigkeit beeinträchtigt, d.h. degradiert sind.

Bodenschadverdichtungen und Erosionsprozesse in Folge mechanischer Überlastung durch hohe Fahrzeuggewichte bei gleichzeitig feuchten Bodenverhältnissen führen weltweit zu irreversiblen Degradationen und damit zum endgültigen Verlust von wertvollen Ressourcen. Aber auch einseitige Fruchtfolgen mit überwiegend humuszehrenden Kulturarten und gleichzeitig regelmäßiger Abfuhr der kompletten oberirdischen Pflanzenmasse gefährden langfristig die Bodenfruchtbarkeit. Neuere Untersuchungen zur zeitlichen Entwicklung des Humusgehaltes zeigen allerdings keinen eindeutigen Trend: Während Beobachtungen des LLUR (2014) für Schleswig-Holstein für 25 Dauerbeobachtungsflächen unter Ackernutzung keine Beeinflussung des Humusgehaltes für den Zeitraum 1989–2014 zeigen, wird bundesweit durch Erhebungen des Thünen Institutes eine Abnahme des Humusgehaltes für einige Bodentypen belegt (Steinmetz et al. 2019). In der Diskussion um Veränderungen des Humusgehaltes und der Bodenfruchtbarkeit ist allerdings nicht der organisch gebundene Kohlenstoff maßgeblich, mit dem der Humusgehalt kalkuliert wird, sondern es muss hierbei zwischen kurz- (u.a. Erntereste) und langfristig (u.a. Humusverbindungen im engeren Sinne) stabilen organischen Verbindungen unterschieden werden. Bedeutsam, wenn es um einen nachhaltigen Erhalt der Bodenfruchtbarkeit geht, sind ausschließlich die stabilen Huminstoffe, die über Jahrzehnte oder sogar Jahrhunderte im Boden überdauern können. Diese hochkomplexen organischen Verbindungen sind es, die nicht nur für die Nährstoffverfügbarkeit wichtig sind, sondern auch die Ausprägung der Bodenstruktur im hohen Maße beeinflussen. Als weiterer Indikator zur schnellen Einschätzung des Fruchtbarkeitszustandes landwirtschaftlich genutzter Böden wird häufig der pH-Wert herangezogen, da er die Nährstoffdynamik des Bodens direkt durch Austausch-, Fällungs- und Lösungsreaktionen aber auch indirekt durch die biologische Aktivität beeinflusst. Gerade der pH-Wert, so zeigen Erhebungen der Untersuchungsanstalten (u.a. Lausen & Gosch 2012), aber auch Untersuchungen im Rahmen von Forschungsvorhaben (Wiermann & Bockwoldt 2019), ist in der jüngsten Vergangenheit oft vernachlässigt worden. Um eine möglichst hohe Nährstoffeffizienz des gesamten Anbausystems erreichen zu können ist es aber von hoher Bedeutung, dass gerade der pH-Wert in einem für den Standort typischen Bereich liegt. Der Erfolg hoch komplexer und teilflächenspezifischer Düngestrategien steht und fällt oft mit der Einhaltung optimaler pH-Werte.

Welche Maßnahmen fördern die Bodenfruchtbarkeit?

Um die natürliche Ertragsfähigkeit land-, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Böden zu erhalten und zu entwickeln, sind verschiedene Maßnahmen möglich: Grundsätzlich sollten durch gezielte Bewirtschaftungsmaßnahmen bodeninterne Prozesse zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit gestärkt werden. Mit der Anwendung von reduzierten Bodenbearbeitungssystemen, die auf den Einsatz des Pfluges verzichten, werden beispielsweise natürliche Strukturierungsprozesse (Quellung/ Schrumpfung, Aktivität der Bodenflora und -fauna) unterstützt.

Langfristige Anwendungen konservierender Bodenbearbeitungsverfahren resultieren oft in einer geänderten Porengrößenverteilung und -kontinuität: der Anteil biogener Poren verbessert den Luft- und Wasserhaushalt, so dass Infiltrationsprozesse beschleunigt und die Sauerstoffversorgung der Pflanzenwurzeln verbessert werden (Wiermann et al. 2000). Die auf der Bodenoberfläche verbleibenden Pflanzenreste (Mulchschicht) dienen zusätzlich als Erosionsschutz. Intelligente Befahrungskonzepte, die GPS-gesteuerte Bewirtschaftungstechniken nutzen, bieten die Möglichkeit, flächige Lasteinträge und damit Schadverdichtungen besonders des Unterbodens einzudämmen.

Auch Umstellungen in der Fruchtfolge durch gezielte Nutzung der Vorfrucht- und Nachfruchtwirkung, durch Anbau von Zwischenfrüchten und die Nutzung von Untersaaten wird die Bodenfruchtbarkeit positiv beeinflusst. In diesem Zusammenhang sollte zukünftig auch über den Anbau von Sommerungen und den Anbau von Kulturen mit kürzerer Vegetationsdauer nachgedacht werden. Als Alternative zum Silomaisanbau bietet sich in diesem Zusammenhang auf vielen Standorten die Nutzung von Ganzpflanzensilagen an: Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Grimme & Hoeck 2017) haben gezeigt, dass mit dem Anbau von Ganzpflanzen dem Silomais vergleichbare TM-Erträge erzielt werden können, der Energieertrag allerdings etwas geringer ausfällt. Vorteilhaft ist aber, dass die Ernte bereits Ende Juni und somit regelmäßig auf abgetrockneten, stabilen Böden erfolgen kann. Auf Standorten, die ausreichend mit Wasser versorgt sind, können anschließend Zwischenfrüchte sicher etabliert werden, die u.U. sogar noch einmal vor der Vegetationsruhe beerntet werden können. Auch die Nutzung von Untersaaten, die eine verlängerte, bis in die folgende Vegetationsperiode andauernde Bodenruhe erlaubt, ist in diesem Zusammenhang denkbar.

Organische Düngemittel (u.a. Gülle, Festmist und Kompost) wirken sich durch ihre kombinierte Nährstoff- und Strukturwirkung ebenfalls positiv auf die Ertragsfähigkeit des Bodens aus: Die organische Düngung hat einerseits Einfluss auf den Humus- und Nährstoffhaushalt, andererseits führen biologische und physikalische Strukturierungsprozesse (u.a. die Bildung von Ton-Humus-Komplexen) zu einer verbesserten ökologischen Funktionalität der Bodenstruktur. Allerdings sind auch bei den organischen Düngemitteln die Inhaltsstoffe zu berücksichtigen: Neben den gelösten, schnell verfügbaren Nährstoffen wie Kalium, Nitrat, Phosphat ist für die Wirkung dieser Düngemittel auch die Qualität der organischen Substanz maßgeblich. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise die Vergärung von Wirtschaftsdüngern relevant. Es ist entscheidend für die Wirkung auf den Boden, ob mit oder ohne Koferment vergoren wurde, um welches Koferment es sich handelt und welches Gärverfahren eingesetzt wurde. Neuere Untersuchungen (Völkner 2015) zeigen, dass mit einer regelmäßigen Anwendung von Gärresten die Strukturstabilität abnehmen kann, da der Anteil einwertiger Kationen an den Austauschern, die dispergierend wirken, erhöht wird.

Eine regelmäßige Kalkung ist nicht nur im Hinblick auf die pH-Wirkung, sondern auch für den Erhalt bzw. die Entwicklung einer funktionalen Bodenstruktur bedeutsam.

Hanssen & Schuch (2019) haben beispielsweise mit Kalkdüngungsversuchen in der Marsch zeigen können, dass die Porengrößenverteilung und -kontinuität dieser Böden durch eine einmalige Kalkung positiv beeinflusst werden konnte.

Sämtliche Maßnahmen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit sollten insgesamt darauf abzielen den Bodenwasser-, -luft-, -nährstoff- und -wärmehaushalt sowie die Bodenstabilität den Standorteigenschaften entsprechend zu entwickeln.

Warum sind der Erhalt und die Förderung der Bodenfruchtbarkeit zukünftig noch bedeutsamer?

Der Klimawandel wird in Nordeuropa zu höheren Niederschlagsmengen in den Herbst-, Winter- und Frühjahrsmonaten führen, gleichzeitig wird die Häufigkeit von Starkregenereignissen und Hitzewellen zunehmen. Dies bedeutet einerseits, dass sich Bodenentwicklungsprozesse verändern und damit auch die Bodeneigenschaften bzw. die Bodenfruchtbarkeit. Andererseits werden sich besonders die Anforderungen an die Funktionalität der Bodenstruktur erhöhen: Nach Starkregenereignissen müssen große Niederschlagsmengen in kurzer Zeit infiltrieren, also in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Bei Hitzewellen hingegen muss Wasser für die Pflanzen kontinuierlich aus tieferen Bodenschichten nachgeliefert werden. Dies ist nur bei einer intakten Bodenstruktur, das heißt mit einem funktionalen Porensystem, das Ober- und Unterboden kontinuierlich miteinander verbindet, möglich. Gerade die Witterungsverläufe in den Vegetationsperioden 2017 und 2018 haben gezeigt, wie bedeutsam das Kompensationsvermögen, d.h. der Fruchtbarkeitszustand des Bodens, für die Erzielung nachhaltiger Erträge ist.

Fazit

Um den zukünftigen Herausforderungen in der pflanzlichen Erzeugung begegnen zu können, werden erhebliche Anstrengungen erforderlich sein, um die natürliche Ertragsfähigkeit der land-, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden zu erhalten bzw. zu entwickeln. Für einen nachhaltigen Bodenschutz muss allerdings das Bewusstsein und die Kenntnis über externe und interne Bodenprozesse bei den Bodenbewirtschaftern gestärkt werden, um standortangepasste Bewirtschaftungskonzepte realisieren zu können. Eine hohe Ressourceneffizienz ist eng mit der Bodenfruchtbarkeit verknüpft.

Literatur

Food and Agriculture Organization of the United Nation FAO (2015): Status of the World's Soil Resources – Main Report.

Grimme, E. & K. Hoeck (2017): Silomais im Vergleich zu Getreide-Ganzpflanzensilage; Bauernblatt, 18.03.2017, S. 34–38.

Habeck, R. (2015): Meinung – Artikelserie zum UN-Jahr des Bodens 2015; Bauerblatt, 25. April 2015, S. 28.

Hanssen, A. & H. Schuch (2019): Mehr Bodenfruchtbarkeit und bessere Nährstoffausnutzung – auf die Kalkversorgung der Böden achten; Bauernblatt, 14.09.2019, S. 36–40.

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR) (2014): 25 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein.

Lausen, P. & K. Gosch (2012): Die Bodenfruchtbarkeit ist vielfältig rückläufig – Bodengehalte in Schleswig-Holstein untersucht; Bauerblatt, 30/2012.

Völkner, A. (2015): Influence of digestates on physicochemical properties of differently textured soils; Band 104, Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der CAU Kiel.

Steinmetz, D., Dorn, A. & M. Helfrich (2019): Zeitliche Trends der Bodenkohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden Deutschlands; Posterbeitrag, DBG Tagung 2019 in Bern (Schweiz).

Wiermann, C. & M. Bockwoldt (2019): Erste Ergebnisse zur Einschätzung des Bodenverdichtungszustandes von Dauergrünland in Schleswig-Holstein, Vortrag DBG Tagung 2019 in Bern (Schweiz).

Wiermann, C. (2000): Stress/strain processes in a structured unsaturated silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany; Soil and Tillage Research, 53, pp. 117–128.

Freisetzung und Bindung von Treibhausgasen durch landwirtschaftliche Bodennutzung

Dr. Arne Poyda
Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Hintergrund

Aus den aktuellen Berechnungen im Rahmen des Nationalen Inventarberichts zum Deutschen Treibhausgas (THG)-Inventar des Umweltbundesamtes (UBA) geht hervor, dass in Deutschland im Jahr 2017 gut 891 Millionen Tonnen (Mt) CO_2-Äquivalente (CO_2-Äq.) emittiert wurden. Dieser Berechnung liegt bereits die Berücksichtigung natürlicher CO_2-Senken, vor allem der Wälder, zugrunde. THG-Aufnahmen und -Freisetzungen, die durch die Bildung und den Abbau von Biomasse und organischer Bodensubstanz entstehen, werden im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) berichtet. Landwirtschaftlich genutzte Acker- und Grünlandflächen stellen hierbei THG-Quellen dar. Werden die durch Humusabbau in landwirtschaftlichen Böden entstehenden THG-Emissionen dem Sektor Landwirtschaft zugeschrieben, erhöht sich dessen Anteil an den Gesamtemissionen von 7 auf 12 %.

Im Sektor Landwirtschaft mit Gesamtemissionen von 66,3 Mt CO_2-Äq. in 2017 stellen Distickstoffoxid (N_2O)-Emissionen aus mit Stickstoff (N) gedüngten Böden (26,5 Mt) sowie die Methan (CH_4)-Freisetzung aus der ruminalen Verdauung der Wiederkäuer (25,5 Mt) die Hauptquellen dar (Abbildung 1). Bei Berücksichtigung der Emissionen von 37,6 Mt CO_2-Äq. aus dem Humusabbau wird deutlich, dass landwirtschaftlich genutzte Böden nahezu die identische Menge an THG emittieren (64,2 Mt) wie der gesamte übrige Landwirtschaftssektor. Während eine Reduktion der CH_4-Emissionen auf Einzeltierebene nur in sehr geringem Umfang möglich ist und somit insgesamt nur durch eine deutliche Abstockung der Milchviehbestände realisiert werden könnte, bestehen bei den THG-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden deutlich größere Reduktionspotenziale, die durch optimierte Bewirtschaftungsmaßnahmen realisiert werden können. Im vorliegenden Beitrag sollen die wesentlichen Ursachen für THG-Freisetzungen aus landwirtschaftlichen Böden und mögliche Maßnahmen zu ihrer Reduktion beleuchtet werden. Des Weiteren soll auf die Fragestellung eingegangen werden, mit welchen Managementstrategien die Kohlenstoffspeicherung (-sequestrierung) in landwirtschaftlichen Böden verbessert werden kann.

Landwirtschaftliche Böden als THG-Quellen

Aus den zuvor genannten Größenordnungen der THG-Emissionen aus landwirtschaftlicher Bodennutzung geht bereits hervor, dass allein 40 % der Emissionen im Sektor Landwirtschaft durch bodenbürtige N_2O-Emissionen verursacht werden. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Böden im Sektor LULUCF verringert sich dieser Wert auf 26 %. In der Berichterstattung für diesen Sektor wird davon ausgegangen, dass sich die Humusgehalte unter langjährig gleichbleibender Nutzung mineralischer Böden im Gleichgewicht befinden, während die Umwandlung einer Fläche in Ackerland zum Humusverlust, die Umwandlung von Acker in Grünland zum Humusaufbau, und damit zur Aufnahme von CO_2 aus der Atmosphäre führt. Im Gegensatz dazu führt jegliche Bewirtschaftung organischer Böden (Moore) zu einem erheblichen Abbau der organischen Bodensubstanz (Torf) und damit zu enorm hohen CO_2-Freisetzungen. Dies manifestiert sich darin, dass im Jahr 2016 59 % der THG-Emissionen aus landwirtschaftlicher Bodennutzung aus organischen Böden stammte (UBA 2018), obwohl diese nur etwa 5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmachen (Röder 2011).

Von den knapp 104 Mt CO_2-Äq., die der Landwirtschaft zuzuschreiben sind, entfallen somit etwa 62 % auf die Freisetzung von N_2O aus landwirtschaftlichen Böden sowie auf CO_2 durch Humus- bzw. Torfabbau (Abbildung 1).

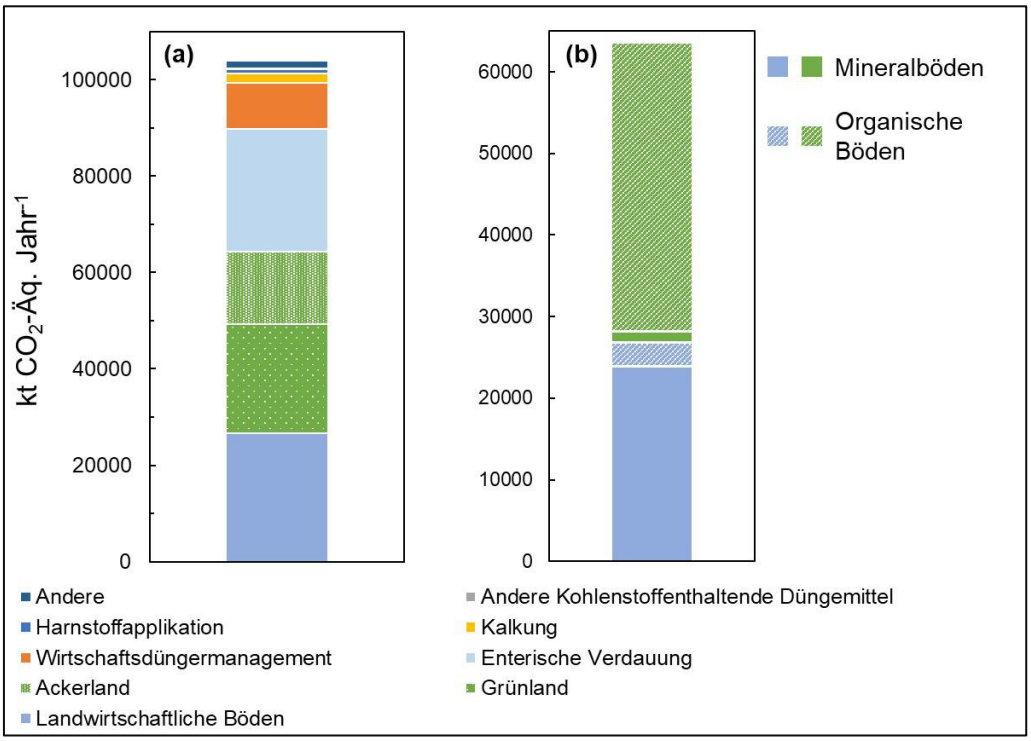


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen des Landwirtschaftssektors in Deutschland 2017 nach Quellgruppen zuzüglich der Emissionen aus den als Acker- und Grünland genutzten Böden, die im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) berichtet werden (a), sowie der bodenbürtigen Emissionen der Sektoren Landwirtschaft und LULUCF, unterschieden nach mineralischen und organischen Böden.

Demzufolge stellen diese beiden Bereiche zentrale Stellschrauben zur THG-Reduktion im Bereich der Landwirtschaft dar. Im Folgenden soll daher näher auf die zugrundeliegenden Prozesse und damit verbundene Möglichkeiten der THG-Vermeidung eingegangen werden.

N_2O-Emissionen durch Stickstoffzufuhr

Die große Bedeutung von N_2O für die landwirtschaftlichen THG-Emissionen ergibt sich unter anderem durch das hohe globale Erwärmungspotenzial (GWP) welches, bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren, 298-mal höher ist als das von CO_2 (IPCC 2007). Im Boden entsteht N_2O während der biologischen N-Umsetzungsprozesse von Nitrifikation und Denitrifikation. Bei der Oxidation von Ammonium (NH_4^+) zu Nitrit (NO_2^-) durch autotrophe Bakterien (*Nitrosomonas*, *Nitrosolobus* und *Nitrospira*) kann durch chemischen Abbau des Zwischenproduktes Hydroxylamin (NH_2OH) N_2O entstehen (Wrage et al. 2005). Die direkte Reduktion von NO_2^- zu N_2O oder elementarem N (N_2) wird als Nitrifizierer-Denitrifikation bezeichnet und kann, vor allem in landwirtschaftlichen Böden, wesentlich zu den N_2O-Emissionen beitragen (Wrage et al. 2004). Bei der Denitrifikation wird Nitrat (NO_3^-) zu N_2 reduziert, wobei N_2O ein Zwischenprodukt darstellt. Durch unvollständige Denitrifikation können daher sehr hohe N_2O-Verluste entstehen (Firestone et al. 1980). Neben einer Vielzahl heterotropher Bakterienstämme (überwiegend *Proteobacteria*) sind auch Pilze an der Denitrifikation beteiligt (Laughlin & Stevens 2002). Da diese in einigen Böden den Großteil der Mikroorganismenpopulation bilden und N_2O das Endprodukt der pilzlichen Denitrifikation darstellt (Shoun et al. 1992), können die durch Pilze verursachten N_2O-Emissionen die eines Standortes dominieren (Ma et al. 2008).

Da Nitrifikanten und Denitrifikanten gegensätzliche oxydative Bedingungen benötigen, können beide Prozesse nur räumlich oder zeitlich getrennt voneinander ablaufen. Die Sauerstoff (O_2)-Verfügbarkeit im Boden wird dabei maßgeblich vom wassergefüllten Porenraum (*water filled pore space*, WFPS) bestimmt. In gut durchlüfteten Böden mit einem WFPS < 60 % stellt die Nitrifikation daher die Hauptquelle der N_2O-Produktion dar, während bei einem hohen Anteil wassergesättigter Poren (WFPS 60–90 %) N_2O hauptsächlich während der Denitrifikation gebildet wird (Bateman & Baggs 2005). Wassersättigung (WFPS 100 %) unterbindet die Nitrifikation und führt somit zu einem Verbrauch von NO_3^- und einer vollständigen Denitrifikation zu N_2 (Abbildung 2). N_2O-Emissionen treten demnach nur bei gleichzeitigem Vorhandensein luft- und wassergefüllter Porenräume auf, da für die Verfügbarkeit der limitierenden N-Verbindungen (NH_4^+, NO_3^-) Mineralisations- und Nitrifikationsprozesse notwendig sind (Farquharson & Baldock 2008). Die Denitrifikation wird maßgeblich durch leicht abbaubare organische Kohlenstoffverbindungen gesteuert, die den heterotrophen Denitrifikanten als Energiequelle dienen (Baggs et al. 2003). Des Weiteren werden die N_2O-Emissionen durch die Temperatur und den pH-Wert des Bodens beeinflusst, wobei die relevanten mikrobiellen Prozesse unterschiedliche Optima besitzen, die darüber hinaus von den Standortbedingungen abhängig sind. Eine Temperaturerhöhung steigert im Allgemeinen die mikrobielle Aktivität, N_2O wird jedoch auch bei Bodentemperaturen unter 0°C gebildet, hauptsächlich durch Denitrifikation infolge von Frost/Tau-bedingten C-Freisetzungen (Christensen & Christensen 1991).

Durch langfristig saure Bedingungen wird die N_2O-Reduktion im Boden gehemmt und das N_2O-Emissionspotenzial somit aufgrund der unvollständigen Denitrifikation deutlich erhöht (Baggs et al. 2010). Im Gegensatz dazu fördert ein höherer Boden-pH-Wert die mikrobielle Diversität und damit die Effizienz der Reduktion von N_2O zu N_2, wodurch N_2O-Verluste minimiert werden können (Samad et al. 2016).

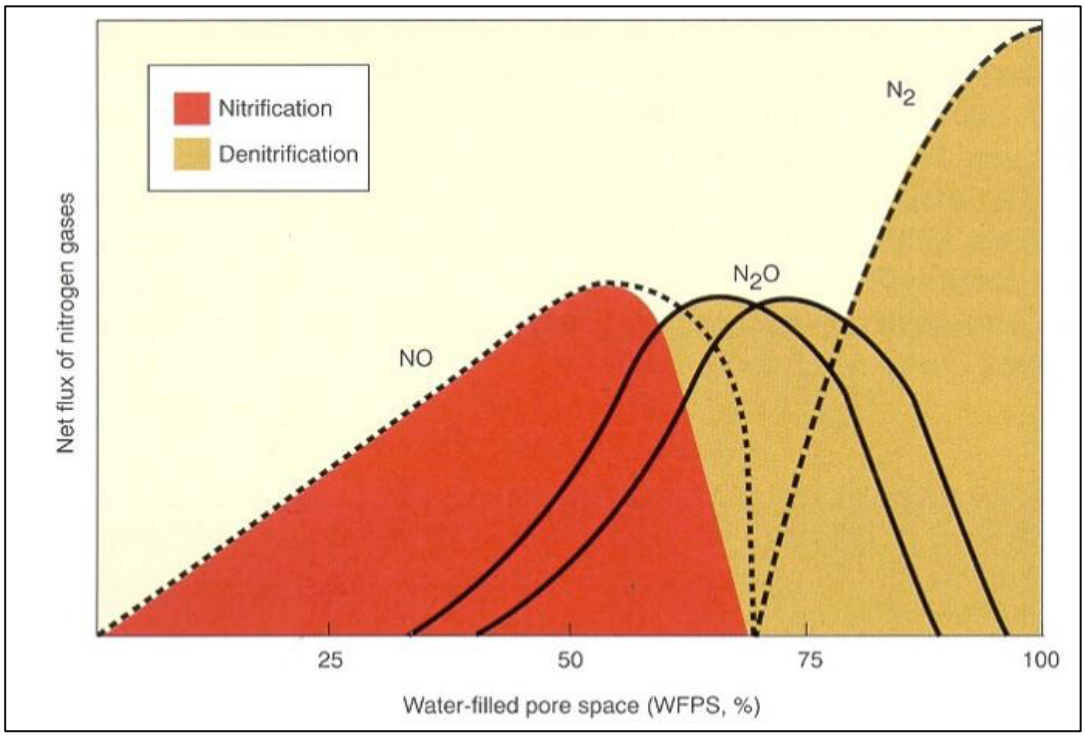


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen dem Nettofluss von Stickstoffgasen und dem wassergefüllten Porenraum (WFPS) im Boden sowie der für die Stickstoffumsetzung verantwortlichen Prozesse Nitrifikation und Denitrifikation (Bouwman 1998).

Aufgrund von N-Einträgen aus der Düngung ist das N_2O-Bildungspotenzial landwirtschaftlich genutzter Böden gegenüber natürlichen Ökosystemen zum Teil deutlich erhöht. Der N_2O-Austausch einer landwirtschaftlichen Fläche setzt sich in der Regel aus geringen Hintergrundflüssen und sehr hohen Freisetzungen (Peaks) an bestimmten „Hot-Spots“ in unregelmäßigen Abständen („Hot-Moments“) zusammen und weist daher eine sehr hohe räumlich-zeitliche Variabilität auf (Butterbach-Bahl et al. 2013). Häufigkeit und Höhe dieser unregelmäßigen N_2O-Peaks bestimmen maßgeblich die gesamte jährlich emittierte Menge. Die N-Düngung spielt dabei eine wesentliche Rolle, da es in Folge der Ausbringung organischer oder mineralischer Düngemittel häufig zu erhöhten N_2O-Freisetzungen kommt (Jones et al. 2007). Für die UNFCCC-Berichterstattung wird nach IPCC-Vorgabe ein konstanter Emissionsfaktor (EF) für N_2O-N von 1 % der N-Düngemenge angenommen (IPCC 2006b). In Abhängigkeit von Standort, Art der Düngemittel und Management können die N_2O-Emissionen auf Flächenebene jedoch erheblich von diesem EF abweichen (Dechow & Freibauer 2011).

Diverse Studien ergaben wesentlich geringere düngungsbedingte Emissionen, insbesondere für mineralische N-Dünger (z.B. Senbayram et al. 2009). Auf der anderen Seite können die N_2O-Emissionen bei einer nicht bedarfsgerechten Düngung exponentiell ansteigen, wenn die N-Zufuhr den Pflanzenbedarf erheblich übersteigt (Shcherbak et al. 2014).

Unter Ackernutzung treten hohe N_2O-Emissionen insbesondere in Verbindung mit fehlender Wasser- und N-Aufnahme und einem damit verbundenen erhöhten Denitrifikationspotenzial, beispielsweise in Zwischenreihen, auf (Ruser et al. 2001). Denitrifikation und N_2O-Bildung können außerdem durch den Anbau von Feldfrüchten, die große Mengen Ernterückstände mit engem C/N-Verhältnis hinterlassen (z.B. Zuckerrüben), gefördert werden (Baggs et al. 2003). Bei einem Vergleich von Raps- und Gerstenstroh bezüglich der kurzfristig auftretenden N_2O-Emissionen nach der Einarbeitung konnten keine Unterschiede dokumentiert werden. Eine mineralische N-Düngung im Herbst führte jedoch zu drastisch erhöhten N_2O-Emissionen (Köbke et al. 2018). Bodenverdichtung und die damit einhergehende geringe O_2-Diffusivität ist ein weiterer Faktor, der die N_2O-Emissionen potenziell erhöht (Ruser et al. 2006). Aufgrund der kontinuierlichen Vegetationsbedeckung ist unter Grünland von einer homogeneren Wasser- und Nährstoffaufnahme und aufgrund der ausgeprägten Bodenstruktur von einer gleichmäßigeren Infiltration auszugehen. Das Denitrifikationspotenzial ist daher reduziert. Intensive Beweidung kann die N_2O-Emissionen vom Grünland jedoch deutlich erhöhen (Oenema et al. 1997), da insbesondere durch Urindepositionen punktuell eine sehr hohe und schnell mineralisierbare N-Zufuhr entsteht (De Klein et al. 2019). Unter irischen Bedingungen konnte gezeigt werden, dass insbesondere die Urindeposition im Herbst zu deutlich erhöhten N_2O-Freisetzungen führt, der IPCC-Emissionsfaktor von 2 % der tierischen N-Ausscheidungen im Jahresmittel jedoch als zu hoch einzuordnen ist (Krol et al. 2016). Dies wird derzeit auch für die Standortbedingungen Norddeutschlands auf dem Versuchsgut Lindhof der CAU Kiel in Abhängigkeit von der Grünlandvegetation untersucht.

Vor dem skizzierten Hintergrund der determinierenden Prozesse wird deutlich, dass die N_2O-Entstehung im Boden und die Freisetzung in die Atmosphäre durch das komplexe Zusammenwirken mehrerer Faktoren gesteuert wird. Die Vorhersage von auftretenden N_2O-Emissions-Peaks wird dadurch enorm erschwert. Im Allgemeinen lässt sich jedoch festhalten, dass hohe N_2O-Emissionen durch eine bedarfsgerechte N-Düngung weitestgehend vermieden werden können. Hierbei ist die Kurzfristigkeit zu beachten, mit der N_2O-Emissionen auftreten können. Die Einhaltung des Jahres-N-Bedarfs einer Kultur ist somit nicht gleichbedeutend mit geringen N_2O-Emissionen, wenn in Phasen geringer N-Aufnahmen im Wurzelraum, z.B. während der Jungendentwicklung beim Mais, das N-Angebot den Bedarf deutlich übersteigt. Insbesondere auf Standorten, die durch ein hohes N-Nachlieferungspotenzial, hohe Boden-C-Gehalte sowie einen hohen Anteil wassergefüllter Poren (Moor-/Anmoorböden) gekennzeichnet sind, besteht die Gefahr erheblicher N_2O-Verluste, wenn beispielsweise unmittelbar nach der Aussaat einer Sommerkultur bereits ein schnell verfügbarer N-Dünger appliziert wird (Poyda et al. 2016).

Durch eine angemessene Berücksichtigung der im Boden vorhandenen mineralischen N-Mengen, des standortspezifischen N-Nachlieferungspotenzials aus der organischen Substanz sowie eine bessere Synchronisation von Düngung und Pflanzenbedarf könnten zum Teil über 90 % des jährlich emittierten N_2O-N vermieden werden. Insbesondere auf viehhaltenden Betrieben ist der Einsatz mineralischer N-Düngemittel auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren und auf den genannten sensitiven Standorten vollständig zu vermeiden. Ein möglicher zusätzlicher N-Bedarf sollte hier über den mineralischen N-Anteil der Wirtschaftsdünger gedeckt werden.

Trotz eines in der Regel geringeren N_2O-Emissionspotenzials können auch auf Grünlandböden erhebliche N_2O-Freisezungen entstehen, wenn hohe temporäre N-Überschüsse in Kombination mit abiotischen Faktoren auftreten, die die Denitrifikation begünstigen. So konnte in eigenen Untersuchungen gezeigt werden, dass eine sehr hohe N-Intensität auf schnittgenutztem Grünland in Einzeljahren zu sehr hohen N_2O-Verlusten führen kann, diese zwischen verschiedenen Jahren jedoch um mehr als das 10-fache schwanken können. Eine zusätzliche Bodenverdichtung führte hingegen durch die Verringerung der Porosität, verbunden mit der Erhöhung des Anteils wassergesättigter Poren, in jedem der drei Versuchsjahre zu stark erhöhten N_2O-Emissionen im Vergleich zu einer ungedüngten Gras-Leguminosen-Mischung, in der die Verdichtung keine Auswirkungen zeigte (Schmeer et al. 2014). Unbedingt vermieden werden sollte eine Grünlanderneuerung im Herbst, da es, vor allem nach mechanischer Abtötung der Narbe, zu enorm hohen N-Freisetzungen kommen kann, die durch das neu etablierte Grünland nicht mehr vor Winter aufgenommen werden können. In Kombination mit auftretenden Frost/Tau-Ereignissen kann es in der Folge zu sehr hohen N_2O-Emissionen kommen (Reinsch et al. 2018a). Eine erhöhte N_2O-Freisetzung wird somit immer durch das Zusammenspiel mehrerer begünstigender Faktoren hervorgerufen.

CO_2-Freisetzung aus drainierten Moorböden

Moore entstehen unter Sauerstoffabschluss durch unvollständigen Abbau organischer Substanz und der damit verbundenen Anreicherung als Torf (Göttlich 1990). Im Gegensatz zu mineralischen Böden ist in wachsenden Moorböden auch nach einigen Jahrtausenden kein Gleichgewichtszustand zwischen Auf- und Abbauprozessen des Torfs erreicht (Mäkilä & Saarnisto 2008). So akkumulierten Moorböden der nördlichen Hemisphäre nach aktuellen Berechnungen während des Holozäns durchschnittlich etwa 230 kg C ha^{-1} $Jahr^{-1}$. Durch diese langfristige und kontinuierliche Anhäufung organischer Substanz sind in den nördlichen Mooren ca. 436 Gt C und 10 Gt N festgelegt (Loisel et al. 2014).

Für die landwirtschaftliche Nutzung ist eine Entwässerung der Moorböden notwendig, um zum einen eine ausreichende O_2-Versorgung im Wurzelraum der Kulturpflanzen und zum anderen die Befahrbarkeit der Flächen mit landwirtschaftlichen Maschinen zu gewährleisten (Göttlich 1990). Für Letzteres muss aus bodenphysikalischen Gründen ein Mindestwasserstand von 30 cm unter Flur sichergestellt sein (Blankenburg et al. 2001). Der ursprünglich durch Sauerstoffabschluss konservierte Bodenbereich wird nach der Entwässerung aktiv in den Stoffkreislauf eingebunden.

Es kommt zur aeroben mikrobiellen Zersetzung des Torfes und zur Entstehung von CO_2 und mineralischen N-Verbindungen (Höper 2002). Die enorm ansteigende heterotrophe Bodenatmung kann auch durch eine erhöhte Produktivität der Kulturpflanzen nicht ausgeglichen werden, da diese physiologischen Grenzen unterliegt. In der Folge verändert sich das Moor von einer Netto-C-Senke zu einer Netto-Quelle.

Die THG-Emissionen von landwirtschaftlich genutzten Moorböden werden im erheblichen Maße durch die CO_2-Freisetzung aus aerobem Torfabbau bestimmt und stehen dementsprechend in direktem Zusammenhang mit der Entwässerungsintensität (Poyda et al. 2016; Abbildung 3). Als einfacher Indikator zur Einschätzung der Klimarelevanz eines Moorstandortes wird daher meist der Wasserstand im Jahresmittel herangezogen. Die für die THG-Berichterstattung genutzten Emissionsfaktoren für organische Böden des IPCC unterscheiden dementsprechend zwischen flach und tief entwässertem Niedermoorgrünland. Diese Unterscheidung erfolgt jedoch nicht für die Ackernutzung auf Moorböden, da hierfür grundsätzlich eine tiefe Entwässerung notwendig ist (IPCC 2014). Dennoch liegt der Emissionsfaktor von 30 % über dem für tief entwässerte Grünlandböden. Eigene Untersuchungen auf Niedermoorböden in Schleswig-Holstein haben jedoch ergeben, dass der Grundwasserstand alle weiteren Einflussgrößen, einschließlich der Nutzungsart, überlagert. Bei einer vergleichbaren Entwässerungsintensität wurden dementsprechend keine Unterschiede in der Höhe der THG-Emissionen zwischen Acker- und Grünlandnutzung festgestellt (Abbildung 3). Diese Erkenntnis sollte jedoch in keinem Fall dazu führen, die Ackernutzung von Moorböden zu legitimieren. Vielmehr konnte in der Studie ebenfalls dokumentiert werden, dass eine Grünlandnutzung mit höheren Grundwasserständen zu signifikant geringeren THG-(CO_2)-Emissionen, jedoch nicht zu signifikant verringerten Grundfuttererträgen führt (Poyda et al. 2016). Für eine effektive Reduktion der THG-Emissionen aus entwässerten Moorböden ohne Aufgabe der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung, sollte daher zunächst das erhebliche Reduktionspotenzial unter Grünlandnutzung umgesetzt sowie die Ackernutzung vollständig unterlassen werden. Da Ackernutzung auf Moorböden nur bei intensiver Entwässerung realisierbar ist und dennoch eine äußerst geringe Ertragsstabilität aufweist, stellt diese eine ungeeignete Nutzungsform dar.

In der genannten Studie in Schleswig-Holstein wurden erhebliche C-Verluste zwischen 2,8 t C ha^{-1} $Jahr^{-1}$ für eine wiedervernässte Naturschutzfläche und 15,7 t C ha^{-1} $Jahr^{-1}$ für eine intensiv entwässerte Grünlandfläche ermittelt, die zum Teil deutlich über den IPCC-Emissionsfaktoren lagen. Somit konnte das durch Wiedervernässung häufig angestrebte Ziel der Wiederherstellung einer C-Senkenfunktion nicht erreicht werden. Im Sinne des Klimaschutzes ist somit für die Herstellung der natürlichen Moorfunktionalität ein ganzjährig stabilisierter Grundwasserstand nahe der Bodenoberfläche anzustreben, wodurch sich auch Synergien mit weiteren Umwelt- und Naturschutzzielen ergeben. Als optimales Szenario im Sinne minimaler ertragsbezogener THG-Emissionen unter Beibehaltung der Grundfutterproduktion mit nur geringfügig eingeschränkter Intensität konnte eine Dreischnittnutzung bei möglichst hohen Grundwasserständen von etwa -20 cm im Jahresmittel identifiziert werden.

Wie bereits von Renger et al. (2002) postuliert wurde, konnten in diesem Szenario die Emissionen signifikant um 34 % und damit sehr viel stärker verringert werden als die, nicht signifikante, Reduktion des Energieertrags beim Verzicht auf eine Schnittnutzung pro Jahr (-19 %). Um jedoch eine langfristig stabile Qualität der Grünlandnarbe und damit hohe Grundfutterqualitäten zu gewährleisten, ist unter den Bedingungen eines Moorstandortes die intensive Pflege mit regelmäßigen Nachsaaten sicherzustellen, um der massiven Ausbreitung unerwünschter Arten zu begegnen (Hopkins & Green 1979).

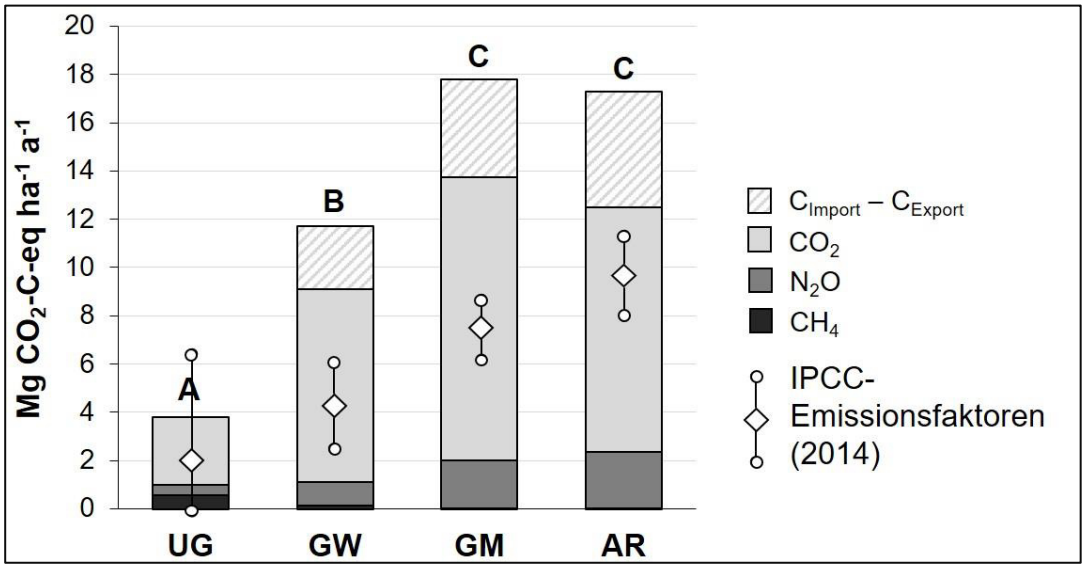


Abbildung 3: Mittleres globales Erwärmungspotenzial (GWP) vier unterschiedlicher Niedermoorflächen im Mittel über zwei Jahre (April 2012 – März 2014). UG: ungenutztes wiedervernässtes Grünland, GW: intensiv genutztes und moderat drainiertes Grünland, GM: intensiv genutztes und drainiertes Grünland, AR: intensiv genutzte und drainierte Ackerfläche. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Flächen ($p < 0.05$).

Die THG-Emissionen von Böden im Grenzbereich zwischen organischen und mineralischen Böden wie Anmoorgleyen, Moorgleyen oder kultivierten Mooren, bei denen meist eine Durchmischung von Torf und Sand stattgefunden hat, sind nach neuesten Erkenntnissen nicht von denen klassischer Moorböden zu unterscheiden. Während Anmoor- und Moorgleye nach internationaler Klassifikation als organische Böden definiert sind (IPCC 2006a), werden sie nach deutscher Systematik zu den mineralischen Böden gezählt (Ad-hoc-AG Boden 2005). Dies hat zur Folge, dass die Emissionsfaktoren für die UNFCCC-Berichterstattung für diese Standorte auf Grundlage nationaler Bodenkarten nicht herangezogen werden. In einer Studie, die zahlreiche Grünlandstandorte in ganz Deutschland umfasste, konnten keine systematischen Unterschiede zwischen Moorböden nach deutscher Klassifikation und den oben genannten Übergangsstandorten hinsichtlich der CO_2-Emissionen festgestellt werden (Tiemeyer et al. 2016).

Dieser Befund wurde in einer Laborstudie, bei der die THG-Flüsse aus Torfen mit und ohne Sandbeimischung unter kontrollierten Bedingungen untersucht wurden und die keine systematischen Unterschiede dieser Varianten feststellen konnte, bestätigt (Säurich et al. 2019). Das Auslassen dieser Übergangsstandorte in der THG-Berichterstattung könnte daher zu einer erheblichen Unterschätzung der bodenbürtigen THG-Emissionen führen.

Sollen die CO_2-Emissionen aus Moorböden nicht nur verringert, sondern vollständig vermieden werden, so ist dies nur durch die Wiederherstellung natürlicher Wasserverhältnisse möglich, was die konventionelle Bewirtschaftung ausschließt. Aus den eingangs genannten Zahlen ergibt sich, dass durch Nutzungsaufgabe auf lediglich 5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche bereits über ein Drittel der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft eingespart werden könnten. Hierbei darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass dies mit durchaus drastischen Konsequenzen für die in den Moorregionen wirtschaftenden Landwirte verbunden wäre.

Humusaufbau zur Abschwächung des Klimawandels?

International werden derzeit Potenziale erörtert, wie die Landwirtschaft einen Beitrag zur Klimawende durch die Erhöhung der Kohlenstoffvorräte in Böden leisten könnte. Hintergrund der sogenannten 4 Promille-Initiative ist, dass durch eine weltweite Erhöhung der C-Speicher in landwirtschaftlichen Böden um jährlich 0,4 % rein rechnerisch so viel C zusätzlich im Boden gebunden würde, wie durch die Verbrennung fossiler Energieträger in die Atmosphäre emittiert wird (Minasny et al. 2017). Als zentrale Maßnahmen mit einem großen Potenzial zur Erhöhung der Gehalte an organsicher Substanz im Boden werden häufig die Folgenden genannt: Umwandlung von Acker- in Grünland, organische Düngung, Einarbeitung von Ernterückständen, konservierende Bodenbearbeitung, Fruchtfolgegestaltung (Don et al. 2018, Stockmann et al. 2013). In Abhängigkeit von den Klima- und Bodenbedingungen konnten für diese Maßnahmen zum Teil deutliche C-Sequestrierungspotenziale identifiziert werden. Dennoch wird die Fokussierung auf die Humusmehrung in landwirtschaftlichen Böden als Maßnahme für die Abschwächung des Klimawandels aus einer Vielzahl von Gründen zum Teil durchaus kritisch betrachtet. Wichtigste Einschränkungen sind die zeitliche Limitierung der C-Sequestrierung, die Standortabhängigkeit des Sequestrierungspotenzials und damit die eingeschränkte Übertragbarkeit sowie die Umkehrbarkeit der Humusanreicherung. Hinzu kommen potenzielle Probleme mit der praktischen Implementierung der Maßnahmen sowie mit der Überprüfbarkeit, da es sich um langfristig ablaufende Prozesse handelt (Don et al. 2018).

Wesentlicher Hintergrund dieser Diskussion ist das sogenannte „*slow in – fast out*"-Phänomen, das die Entwicklung der Bodenkohlenstoffgehalte nach einem Landnutzungswandel von Acker- zu Grünland (*slow in*) bzw. Grünland zu Ackerland (*fast out*) beschreibt. Während also ein Grünlandumbruch mit anschließender Ackernutzung zu einem rapiden Abbau eines Teils des Humusvorrats und der Freisetzung von CO_2 führt, wird nach der Etablierung einer permanenten Grünlandnutzung nur langsam Humus aufgebaut.

Beide Prozesse gehen jedoch nicht linear vonstatten, sondern erreichen nach einiger Zeit ein Gleichgewicht zwischen Aufbau- und Abbauprozessen. Die Höhe des Humusvorrats im Gleichgewicht und die Zeit, die bis zur Einstellung dieses Gleichgewichtzustands benötigt wird, wird neben der Richtung des Landnutzungswandels maßgeblich von den Standortbedingungen bestimmt. Im Mittel liegt jedoch auch nach über 100 Jahren nach der Umwandlung einer Fläche in Grünlandnutzung noch kein Gleichgewicht vor (Poeplau et al. 2011). Im Gegensatz dazu konnte in Düngungsdauerversuchen mit Laufzeiten von teilweise > 100 Jahren gezeigt werden, dass unter kontinuierlicher Ackernutzung mit gleichbleibendem Düngemanagement konstante Humusgehalte, unabhängig vom Ausgangsniveau, vorliegen (Körschens et al. 2014). Diese Dauerversuche bieten die Möglichkeit, die Erreichbarkeit des 4-Promille-Ziels zu beurteilen. So wurde im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstätt nach 76-jähriger Nulldüngung einer Ackerfruchtfolge durch die Umstellung des Düngungssystems auf 15 t Stallmist ha^{-1} $Jahr^{-1}$ + NPK-Dünger nach 32 Jahren eine Erhöhung des Boden-C-Gehaltes von knapp 0,3 % erreicht. Das C-Sequestrierungspotenzial des Versuchsstandortes liegt in diesem eher praxisfernen Extremszenario demnach bei ca. 0,5 % $Jahr^{-1}$ und damit im Bereich des angestrebten 4 ‰-Ziels. Diese unter Versuchsbedingungen dokumentierten Potenziale werden in der Praxis jedoch kaum erreicht. Mehrjährige Messungen der Kohlenstoffflüsse in konventionellen Ackerfruchtfolgen Südwestdeutschlands ergaben beispielsweise erhebliche C-Verluste in der Größenordnung von gut 1 t C ha^{-1} $Jahr^{-1}$, unabhängig von der Region oder der jeweiligen Versuchsfläche (Poyda et al. 2019). Vor dem Hintergrund zu erwartender gleichbleibender C-Vorräte unter langjährig konstanter Bewirtschaftung scheint dieses beunruhigende Ergebnis auf die in jüngerer Vergangenheit erfolgte Verengung der Fruchtfolgen mit einem erhöhten Silomaisanteil, in diesem Fall vorwiegend für die Biogaserzeugung, zurückzuführen zu sein.

Zusätzlich zu den bekannten Szenarien einer kontinuierlichen und ungestörten Bodennutzung als Acker- oder Grünland bzw. zu den kurzfristigen Umnutzungseffekten, existieren in der Praxis eine Vielzahl von Szenarien, über deren langfristige C-Sequestrierungs- oder Freisetzungspotenziale nur wenig bekannt ist (Vellinga & Hoving 2011). Die in der Praxis übliche regelmäßige Erneuerung der Grünlandnarbe beispielsweise verringert, vor allem wenn sie mechanisch erfolgt, massiv den langfristigen Aufbau der Humusvorräte bzw. führt bei hoher Frequenz sogar zu Netto-Humusverlusten (Reinsch et al. 2018b). Um die in Grünlandböden gespeicherten Humusvorräte nicht zu gefährden bzw. weiter zu erhöhen, sollten Grünlandnarben also nach Möglichkeit nicht vollständig erneuert werden. Einem intensiven Grünlandmanagement mit regelmäßigen Nachsaaten sowie einer ausgewogenen Grundnährstoff- und Kalkversorgung kommt daher eine zentrale Bedeutung zu. Als humusfördernde Maßnahme in Ackerfruchtfolgen wird zunehmend, nicht nur im ökologischen Landbau, die Möglichkeit der Integration von ein- oder mehrjährigen Futtergräsern oder Kleegrasgemengen im Sinne gemischter Betriebsstrukturen diskutiert. Durch die intensive Wurzelproduktion der Gräser, vor allem in kurzen Anbauphasen über wenige Jahre, können in diesen Systemen große C-Mengen in den Boden eingebracht werden.

Wie nachhaltig diese in den Wechselgrünlandsystemen konserviert werden und unter welchen Bedingungen es zu einer langfristigen Humusmehrung kommen kann, ist derzeit Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen. So beobachteten Loges et al. (2018) für eine auf dem Versuchsgut Lindhof getestete Fruchtfolge eines gemischten Systems mit Kleegras, Silomais und Winterweizen und der Applikation von Rindergülle geringfügig ansteigende C-Vorräte, die jedoch auch kurzfristig um das 10-fache unter den angestrebten 4 ‰ lagen. Im Gegensatz dazu zeigten Vertès et al. (2007) durchweg abnehmende Humusvorräte für Futterbaufruchtfolgen mit Kleegras und Silomais in unterschiedlichen Anteilen. Diese Verluste wurden jedoch mit zunehmenden Kleegrasanteilen in der Fruchtfolge exponentiell geringer. Schulz et al. (2014) konnten für ein mit Stallmist gedüngtes integriertes System mit einer zweijährigen Kleegrasphase wiederum zunehmende Boden-C-Vorräte über 11 Jahre dokumentieren, mit einer interessanterweise nahezu identischen jährlichen C-Sequestrierungsrate von etwa 5 ‰ wie im Dauerversuch Bad Lauchstätt.

Diese zum Teil konträren Ergebnisse sind Resultat der großen Variabilität der verschiedenen Systeme, die sich unter anderem aus Unterschieden in Standort, Düngemanagement und Fruchtfolgegestaltung ergibt. Die Vergleichbarkeit der Auswirkungen bestimmter Anbausysteme auf die Bodenkohlenstoffvorräte ist dementsprechend eingeschränkt und allgemeingültige Aussagen zu Managementempfehlungen für eine verbesserte C-Sequestrierung in Wechselgrünlandsystemen lassen sich bislang nur schwer treffen. Dennoch kann als übereinstimmende Erkenntnis bisheriger Untersuchungen festgehalten werden, dass sich eine Diversifizierung der Anbausysteme, insbesondere unter Einbindung mehrjähriger Kleegrasphasen, positiv auf die Boden-C-Vorräte auswirkt. Nicht vernachlässigt werden sollte jedoch, dass die Kreisläufe von C und N eng miteinander gekoppelt sind und dementsprechend nicht isoliert betrachtet werden können. Eine Erhöhung des C- bzw. Humusvorrates hat auch eine höhere Intensität der N-Umsätze und damit ein größeres N_2O-Emissionspotenzial zur Folge. Lugato et al. (2018) zeigten vor diesem Hintergrund, dass durch eine Erhöhung der Humusvorräte in landwirtschaftlichen Böden eine Verringerung der Klimawirksamkeit nur während der Phase der höchsten Sequestrierungsraten in den ersten Jahrzehnten erreicht werden kann. Anschließend könnte dieser Effekt durch erhöhte N_2O-Freisetzungen wieder aufgehoben und die Flächen sogar zu Netto-Quellen von CO_2-Äquivalenten werden.

Schlussfolgerungen

Wie anhand der aktuellen Zahlen des deutschen THG-Inventarberichts gezeigt werden konnte, stellen landwirtschaftliche Böden die Haupt-THG-Quelle des Landwirtschaftssektors dar. Für eine effektive Verringerung dieser Emissionen lassen sich vor allem zwei Bereiche identifizieren:

Zum einen kommt den N_2O-Emissionen eine wichtige Bedeutung zu. Diese können am effizientesten durch ein optimiertes N-Management zur Vermeidung von temporären N-Überschüssen reduziert werden.

Einen noch größeren Anteil an den bodenbürtigen Emissionen nehmen landwirtschaftlich genutzte Moorböden ein. Durch ein optimiertes Management von Wasserständen und Grünlandbewirtschaftung könnten auf diesen Flächen in etwa ein Drittel der THG-Emissionen vermieden werden bei lediglich geringfügigen Ertragseinbußen. Eine vollständige Vermeidung der CO_2-Emissionen aus Moorböden und somit eine Konservierung der Torfkörper schließt jedoch die landwirtschaftliche Nutzung aus. Ein solches Szenario stellt die deutlich effizienteste Klimaschutzmaßnahme im Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung dar.

Im Gegensatz dazu erscheint eine signifikante und langfristige Erhöhung der Humusvorräte in landwirtschaftlichen Böden zwar erstrebenswert, aber unter Praxisbedingungen, vor allem bei Ackernutzung, nur schwer erreichbar. Prioritäres Ziel sollte vor allem die Stabilisierung der vorhandenen Boden-C-Vorräte sein, wofür eine Diversifizierung der Fruchtfolgen mit Phasen möglichst langer Bodenruhe unter perennierenden Kulturen die wirkungsvollste Anbaustrategie darstellt.

Literatur

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Stuttgart: Schweizertbart, ISBN 3-510-95920-5.

Baggs, E.M., Smales, C.L. & E.J. Bateman (2010): Changing pH shifts the microbial source as well as the magnitude of N_2O emission from soil. Biology & Fertility of Soils, 46, 793–805, doi: 10.1007/s00374-010-0484-6.

Baggs, E.M., Stevenson, M., Pihlatie, M., Regar, A., Cook, H. & G. Cadisch (2003): Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. Plant and Soil, 254, 361–370, doi: 10.1023/A:1025593121839.

Bateman, E.J. & E.M. Baggs (2005): Contributions of nitrification and denitrification to N_2O emissions from soils at different water-filled pore space. Biology and Fertility of Soils, 41, 379–388, doi: 10.1007/s00374-005-0858-3.

Blankenburg, J., Hennings, H.H. & W. Schmidt (2001): Bodenphysikalische Eigenschaften und Wiedervernässung. In: Kratz, R. & J. Pfadenhauer [eds.]: Ökosystemmanagement für Niedermoore – Strategien und Verfahren zur Renaturierung, 81–91, Stuttgart: Eugen Ulmer, ISBN 3-8801-3169-2.

Butterbach-Bahl, K., Baggs, E.M., Dannemann, M., Kiese, R. & S. Zechmeister-Boltenstern (2013): Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? Philosophical Transactions of the Royal Society B, 368, 20130122, doi: 10.1098/rstb.2013.0122.

Christensen, S. & B.T. Christensen (1991): Organic matter available for denitrification in different soil fractions: Effect of freeze/thaw cycles and straw disposal. Journal of Soil Science, 42, 637–647, doi: 10.1111/j.1365-2389.1991.tb00110.x.

Dechow, R. & A. Freibauer (2011): Assessment of German nitrous oxide emissions using empirical modelling approaches. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 91, 235–254, doi: 10.1007/s10705-011-9458-9.

De Klein, C.A.M., van der Weerden, T.J., Luo, J., Cameron, K.C. & H.J. Di (2019): A review of plant options for mitigating nitrous oxide emissions from pasture-based systems. New Zealand Journal of Agricultural Research, doi: 10.1080/00288233.2019.1614073.

Don, A., Flessa, H., Marx, K., Poeplau, C., Tiemeyer, B. & B. Osterburg (2018): Die 4-Promille-Initiative „Böden für Ernährungssicherung und Klima“ – Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland. Thünen Working Paper 112, Braunschweig.

Farquharson, R. & J. Baldock (2008): Concepts in modelling N_2O emissions from land use. Plant and Soil, 309, 147–167, doi: 10.1007/s11104-007-9485-0.

Firestone, M.K., Firestone, R.B. & J.M. Tiedje (1980): Nitrous oxide from soil denitrification: Factors controlling its biological production. Science, 208, 749–751, doi: 10.1126/science.208.4445.749.

Göttlich, K. (1990): Moor- und Torfkunde, 3. Auflage. Stuttgart: Schweizerbart, ISBN 3-510-65139-1.

Hopkins, A. & J.O. Green (1979): The effect of soil fertility and drainage on sward changes. In: Charles, A.H. & R.J. Haggar [eds.]: Changes in sward composition and productivity, 115–129, BGS, Hurley: British Grassland Society, ISBN 978-0905944012.

Höper, H. (2002): Carbon and nitrogen mineralisation rates of fens in Germany used for agriculture. A review. In: Broll, G., Merbach, W. & E.-M. Pfeiffer [eds.]: Wetlands in Central Europe – soil organisms, soil ecological processes and trace gas emissions, 149–164, Berlin: Springer, ISBN 3-540-43474-7.

IPCC/Intergovernmental Panel on Climate Change (2006a): Chapter 3: Consistent representation of lands. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & K. Tanabe [eds.]: 2006 Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4: Agriculture, forestry and other land us*e*, Hayama, Japan: IGES, ISBN 4-88788-032-4.

IPCC (2006b): Chapter 11: N_2O emissions from managed soils, and CO_2 emissions from lime and urea application. In: Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & K. Tanabe [eds.]: 2006 Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4: Agriculture, forestry and other land use, Hayama, Japan: IGES, ISBN 4-88788-032-4.

IPCC (2007): Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the International Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & H.L. Miller [eds.], Cambridge, UK, New York, NY, USA: Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-88009-1.

IPCC (2014): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hirashi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. & T.G. Troxler [eds.], Switzerland: IPCC, ISBN 978-92-9169-139-5.

Jones, S.K., Rees, R.M., Skiba, U.M. & B.C. Ball (2007): Influence of organic and mineral N fertiliser on N_2O fluxes from a temperate grassland. Agriculture, Ecosystems and Environment, 121, 74–83, 10.1016/j.agee.2006.12.006.

Köbke, S., Senbayram, M., Pfeiffer, B., Nacke, H. & K. Dittert (2018): Post-harvest N_2O and CO_2 emissions related to plant residue incorporation of oilseed rape and barley straw depend on soil NO_3^- content. Soil & Tillage Research, 179, 105–113, doi: 10.1016/j.still.2018.01.013.

Körschens, M., Albert, E., Baumecker, M., Ellmer, F., Grunert, M., Hoffmann, S., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Marx, M., Rogasik, J., Rinklebe, J., Rühlmann, J., Schilli, C., Schröter, H., Schroetter, S., Schweizer, K., Toth, Z., Zimmer, J. & W. Zorn (2014): Humus and climate change – results of 15 long-term experiments. Arch. Agron. Soil Sci., 60:11, 1485–1517, doi: 10.1080/03650340.2014.892204.

Krol, D.J., Carolan, R., Minet, E., McGeough, K.L., Watson, C.J., Forrestal, P.J., Lanigan, G.J. & K.G. Richards (2016): Improving and disaggregating N_2O emission factors for ruminant excreta on temperate pasture soils. Science of the Total Environment, 568, 327–338, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.016.

Laughlin, R.J. & R.J. Stevens (2002): Evidence for fungal dominance of denitrification and codenitrification in a grassland soil. Soil Science Society of America Journal, 66, 1540–1548, doi: 10.2136/sssaj2002.1540.

Loges, R., Bunne, I., Reinsch, T., Malisch, C., Kluß, C., Herrmann, A. & F. Taube (2018): Forage production in rotational systems generates similar yields compared to maize monocultures but improves soil carbon stocks. Europ. J. Agronomy, 97, 11–19, doi: 10.1016/j.eja.2018.04.010.

Loisel, J., Yu, Z., Beilman, D.W., Camill, P., Alm, J., Amesbury, M.J., Anderson, D., Andersson, S., Bochicchio, C., Barber, K., Belyea, L.R., Bunbury, J., Chambers, F.M., Charman, D.J., De Vleeschouwer, F., Fiałkiewicz-Kozieł, B., Finkelstein, S.A., Gałka, M., Garneau, M., Hammarlund, D., Hinchcliffe, W., Holmquist, J., Hughes, P., Jones, M.C., Klein, E.S., Kokfelt, U., Korhola, A., Kuhry, P., Lamarre, A., Lamentowicz, M., Large, D., Lavoie, M., MacDonald, G., Magnan, G., Mäkilä, M., Mallon, G., Mathijssen, P., Mauquoy, D., McCarroll, J., Moore, T.R., Nichols, J., O'Reilly, B., Oksanen, P., Packalen, M., Peteet, D., Richard, P.J.H., Robinson, S., Ronkainen, T., Rundgren, M., Sannel, A.B.K., Tarnocai, C., Thom, T., Tuittila, E.-S., Turetsky, M., Väliranta, M., van der Linden, M., van Geel, B., van Bellen, S., Vitt, D., Zhao, Y. & W. Zhou (2014): A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation. The Holocene, 1–15, doi: 10.1177/0959683614538073.

Lugato, E., Leip, A. & A. Jones (2018): Mitigation potential of soil carbon management overestimated by neglecting N_2O emissions. Nature Climate Change, 8, 219–223, doi: 10.1038/s41558-018-0087-z.

Ma, W.K., Farrell, R.E. & S.D. Siciliano (2008): Soil formate regulates the fungal nitrous oxide emission pathway. Applied and Environmental Microbiology, 74, 6690–6696, doi: 10.1128/AEM.00797-08.

Mäkilä, M. & M. Saarnisto (2008): Carbon accumulation in boreal peatlands during the holocene – impacts of climate variations. In: STRACK, M. (ed.): Peatlands and climate change, 24–43, Jyväskylä: International Peat Society, ISBN 978-952-99401-1-0.

Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Martin, M., McConkey, B.G., Mulder, V.L., O'Rourke, S., Richer-de-Forges, A.C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C.-C., Vågen, T.-G., van Wesemael, B. & L. Winowiecki (2017): Soil carbon 4 permille. Geoderma, 292, 59–86, doi: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002.

Oenema, O., Velthof, G.L., Yamulki, S. & S.C. Jarvis (1997): Nitrous oxide emissions from grazed grassland. Soil Use and Management, 13, 288–295, doi: 10.1111/j.1475-2743.1997.tb00600.x.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J. & A. Gensior (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. Global Change Biol., 17, 2415–2427, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x.

Poyda, A., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R. & F. Taube (2016): Greenhouse gas emissions from fen soils used for forage production in northern Germany. Biogeosciences, 13, 5221–5244, doi: 10.5194/bg-13-5221-2016.

Poyda, A., Wizemann, H.-D., Ingwersen, J., Eshonkulov, R., Högy, P., Demyan, M.S., Kremer, P., Wulfmeyer, V. & T. Streck (2019): Carbon fluxes and budgets of intensive crop rotations in two regional climates of southwest Germany Agr. Ecosyst. Environ., 276, 31–46, doi: 10.1016/j.agee.2019.02.011.

Reinsch, T., Loges, R., Kluß, C. & F. Taube (2018a): Renovation and conversion of permanent grass-clover swards to pasture or crops: Effects on annual N_2O emissions in the year after ploughing. Soil Tillage Res., 175, 119–129, doi: 10.1016/j.still.2017.08.009.

Reinsch, T., Loges, R., Kluß, C. & F. Taube (2018b): Effect of grassland ploughing and reseeding on CO_2 emissions and soil carbon stocks. Agr. Ecosyst. Environ., 265, 374–383, doi: 10.1016/j.agee.2018.06.020.

Renger, M., Wessolek, G., Schwärzel, K., Sauerbrey, R. & C. Siewert (2002): Aspects of peat conservation and water management. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 165, 487–493, doi: 10.1002/1522-2624(200208)165:4<487::AID-JPLN487>3.0.CO;2-C.

Röder, N., Osterburg, B. & N. Nitsch (2011): Regional differences in the intensity of the utilisation of organic soils in Germany. In: Pötsch, E.M., Krautzer, B. & A. Hopkins [eds.]: Grassland farming and land management systems in mountainous regions. Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation, Gumpenstein, Austria, 347–349, ISBN 978-3-90259-65-4.

Ruser, R., Flessa, H., Schilling, R., Beese, F. & J.C. Munch (2001): Effect of crop-specific field management and N fertilization on N_2O emissions from a fine-loamy soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 59, 177–191, doi: 10.1023/A:1017512205888.

Ruser, R., Flessa, H., Russow, R., Schmidt, G., Buegger, F. & J.C. Munch (2006): Emission of N_2O, N_2 and CO_2 from soil fertilized with nitrate: Effect of compaction, soil moisture and rewetting. Soil Biology & Biochemistry, 38, 263–274, doi: 10.1016/j.soilbio.2005.05.005.

Samad, M.d.S., Biswas, A., Bakken, L.R., Clough, T.J., de Klein, C.A.M., Richards, K.G., Lanigan, G.J. & S.E. Morales (2016): Phylogenetic and functional potential links pH and N_2O emissions in pasture soils. Scientific reports, 6:35990, doi: 10.1038/srep35990.

Säurch, A., Tiemeyer, B., Dettmann, U. & A. Don (2019): How do sand addition, soil moisture and nutrient status influence greenhouse gas fluxes from drained organic soils? Soil Biol. Biochem., 135, 71–84, doi: 10.1016/j.soilbio.2019.04.013.

Schmeer, M., Loges, R., Dittert, K., Senbayram, M., Horn, R. & F. Taube (2014): Legume-based forage production systems reduce nitrous oxide emissions. Soil & Tillage Research, 143, 17–25, doi: 10.1016/j.still.2014.05.001.

Schulz, F., Brock, C., Schmidt, H., Franz, K.-P. & G. Leithold (2014): Development of soil organic matter stocks under different farm types and tillage systems in the Organic Arable Farming Experiment Gladbacherhof. Arch. Agron. Soil Sci., 60, 313–326, doi: 10.1080/03650340.2013.794935.

Senbayram, M., Chen, R., Mühling, K.H. & K. Dittert (2009): Contribution of nitrification and denitrification to nitrous oxide emissions from soils after application of biogas waste and other fertilizers. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 23, 2489–2498, doi: 10.1002/rcm.4067.

Shcherbak, I., Millar, N. & G.P. Robertson (2014): Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N_2O) emissions to fertilizer nitrogen. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111, 9199–9204, doi: 10.1073/pnas.1322434111.

Shoun, H., Kim, D.H., Uchiyama, H. & J. Sugiyama (1992): Denitrification by fungi. FEMS Microbiology Letters, 94, 277–281, doi: 10.1016/0378-1097(92)90643-3.

Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N., jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A.B., de Remy de Courcelles, V., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J., Whitehead, D. & M. Zimmermann (2013): The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. Agr. Ecosyst. Environ., 164, 80–99, doi: 10.1016/j.agee.2012.10.001.

Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drösler, M., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Roßkopf, N., Sommer, M. & J. Zeitz (2016): High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. Glob. Change Biol. 22, 4134–4149, doi: 10.1111/gcb.13303.

UBA/Umweltbundesamt (2018): National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990–2016, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto-Protocol 2018, UBA, Dessau-Roßlau, Germany.

Vellinga, T.V. & I.E. Hoving (2011): Maize silage for dairy cows: mitigation of methane emissions can be offset by land use change. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 89, 413–426, doi: 10.1007/s10705-010-9405-1.

Vertès, F., Hatch, D., Velthof, G., Taube, F., Laurent, F., Loiseau, P. & S. Recous (2007): Short-term and cumulative effects of grassland cultivation on nitrogen and carbon cycling in ley-arable rotations. Proceedings of the 14th Symposium of the European Grassland Federation, Gent, Belgium, 3–5 September 2007, ISBN: 9789081100731.

Wrage, N., van Groenigen, J.W., Oenema, O. & E.M. Baggs (2005): A novel dual-isotope labelling method for distinguishing between soil sources of N_2O. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 19, 3298–3306, doi: 10.1002/rcm.2191.

Wrage, N., Velthof, G.L., Laanbroek, H.J. & O. Oenema (2004): Nitrous oxide production in grassland soils: Assessing the contribution of nitrifier denitrification. Soil Biology & Biochemistry, 36, 229–236, doi: 10.1016/j.soilbio.2003.09.009.

Xenobiotika in landwirtschaftlich genutzten Böden

Dr. habil. Elke Fries, M. Hoppe, A. Lamparter, C.F. Stange
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Zusammenfassung

Zahlreiche anthropogene Stoffe wie zum Beispiel Arzneimittel, Stoffe mit biozider Wirkung, Kunststoffadditive, Korrosionsinhibitoren und Konservierungsmittel gelangen durch ihre Anwendung in verschiedenen Produkten in kommunale Abwässer. Die Tendenz ist steigend, da viele Produkte aufgrund der Erhöhung des Lebensstandards, des Bevölkerungswachstums und der demographischen Entwicklung weiter an Bedeutung gewinnen. Solche Xenobiotika werden in der Regel durch Mikroorganismen in der Kläranlage nur bis zu einem gewissen Grad abgebaut. Oft ist dieser Prozess aber nicht vollständig, so dass die Ausgangssubstanzen oder deren Abbauprodukte (Metaboliten) auch im geklärten Abwasser nachgewiesen werden. Andere Stoffe wie beispielsweise künstliche Nanomaterialien können sich im Klärschlamm anreichern. Durch Aufbringung von Klärschlamm und Beregnung mit geklärtem Abwasser werden Xenobiotika in landwirtschaftlich genutzte Böden eingetragen. Darüber hinaus können aus Pflanzenschutzmitteln im Boden Metaboliten gebildet werden. Landwirtschaftlich genutzte Böden stellen damit für Xenobiotika eine bedeutende Senke dar. Ob diese Stoffe sich von dort weiter ausbreiten, hängt von ihren spezifischen Eigenschaften wie Mobilität und Persistenz sowie den Bodeneigenschaften ab. Dies könnte sich dann, insbesondere bei toxischen Stoffen oder bei Stoffen mit endokriner Wirkung, nachteilig auf Boden- und Grundwasserqualität, die Bodenfunktionen und die Sicherheit von Nahrungsmittelpflanzen auswirken.

Im Vortrag werden aktuelle Arbeiten zum Eintrag und Verbleib von Xenobiotika in landwirtschaftlich genutzten Böden präsentiert. Labor- und Freilandexperimente zeigten, dass Böden eine Senke für Silbernanomaterialien darstellen. Dabei war u.a. das Versuchsdesign entscheidend für die Ergebnisse. Im Einzugsbereich einer mit geklärtem Abwasser beregneten landwirtschaftlich genutzten Fläche in Tunesien wurden Sulfametoxazol, Carbamazepin, Methylparaben, Propylparaben, 1H-Benzotriazol, Bisphenol A und Triclosan im Grundwasser mit Konzentrationen im ng/L-Bereich nachgewiesen. Anzahl und Konzentration dieser organischen Xenobiotika waren dabei deutlich geringer als im Beregnungswasser, was auf eine Reinigungsleistung des Bodens hindeutet. Die Bodenpassage führte allerdings nicht vollständig zur Eliminierung dieser Stoffe. Untersuchungen im Fuhrberger Feld zeigten, dass Metaboliten von Pflanzenschutzmitteln aus dem Boden ins Grundwasser ausgetragen wurden. Die Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser erreichen hierbei teilweise Werte größer 10 µg/L.

Bei der Modellierung bestimmen bodenhydraulische Parameter und klimatische Randbedingungen die Transportprozesse der Metaboliten im Boden entscheidend mit. Die Pflanzenschutzmittel selbst konnten im Rahmen der Studie dagegen nicht im oberflächennahen Grundwasser nachgewiesen werden.

Zukünftige Herausforderungen für den Schutz der natürlichen Ressourcen Grundwasser und Boden und deren Funktionen sind u.a. Kenntnisse über Eintragsquellen sowie über Wirkung und Ausbreitung von organischen Xenobiotika und künstlichen Nanopartikeln in der langen Frist, die Ausweisung von Indikatorsubstanzen und die Einführung von Umweltqualitätsstandards als Basis für eine umfassende Risikobewertung. Diese kann zu einer Minimierung der Nutzungskonflikte zwischen Land- und Wasserwirtschaft, insbesondere unter Berücksichtigung der zunehmenden Wasserknappheit als Folge des Klimawandels, beitragen.

1. Einleitung

Die Bodenmatrix ist Transport- und Speichermedium für viele natürliche Stoffe wie beispielsweise Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor oder Wasser. Daneben gelangen zunehmend chemische Stoffe, die nicht natürlich gebildet, sondern vom Menschen synthetisiert sind, in die Böden. Der Überbegriff für solche Stoffe, Xenobiotika, stammt aus dem Griechischen und bedeutet: dem Leben fremde Stoffe. Aufgrund des Verdünnungseffekts liegen Xenobiotika in den Umweltkompartimenten in der Regel im (Ultra)Spurenbereich (µg/L und geringer) vor, weshalb sie in der Literatur auch als „Mikroschadstoffe“ bezeichnet werden (Kümmerer 2011). Bei dem häufig in der Literatur verwendeten Begriff „emerging pollutants“ handelt es sich nach Kümmerer (2011) um eine Untergruppe der Mikroschadstoffe, in die, je nach Stand des Wissens, Stoffe neu aufgenommen oder herausgenommen werden können. In den zahlreichen Definitionen von „emerging pollutants“ werden diesen vielfältige Eigenschaften zugewiesen wie z.B., dass von diesen Stoffen eine wahrgenommene oder reale Bedrohung der menschlichen Gesundheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Umwelt ausgeht, dass die Kenntnisse über ihr Umweltverhalten und ihre (öko)toxikologischen Auswirkungen unvollständig sind und dass routinemäßige Überwachungsprogramme und Gesundheitsstandards fehlen. Hinzu kommt, dass auch solche Stoffe als „emerging pollutants“ bezeichnet werden, die zwar schon seit längerer Zeit in die Umwelt emittiert werden, aber aufgrund fehlender Analysenmethoden oder zu hoher Nachweisgrenzen erst viel später oder noch nicht nachgewiesen wurden (Boxall 2012).

In diesem Artikel wurde der Überbegriff Xenobiotika gewählt, da die wissenschaftlichen Erkenntnisse über Ausbreitung und Wirkung für die hier thematisieren Stoffe in den letzten Jahren enorm zugenommen haben und die Nachweisgrenzen mittlerweile ausreichend niedrig sind, dass sie per definitionem nicht mehr in die Untergruppe „emerging pollutants“ fallen. Darüber hinaus soll keine Vorfestlegung auf einen Konzentrationsbereich vorweggenommen werden, was der Begriff „Mikroschadstoffe“ impliziert.

Antibiotika, Schmerzmittel, Antiepileptika, Stoffe mit biozider Wirkung, Kunststoffadditive, Korrosionsinhibitoren und Konservierungsstoffe können aus verschiedenen Quellen und Transportwegen durch Anwendung verschiedenster Produkte in die Böden und von dort in Grund- und Oberflächenwasser gelangen (Abbildung 1).

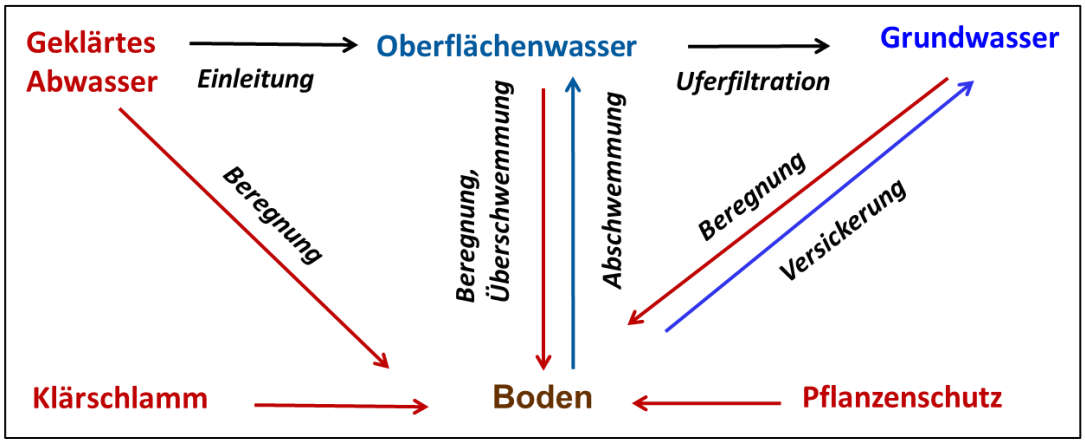


Abbildung 1: Quellen und Eintragspfade für Xenobiotika in Böden (Quelle BGR).

Die Tendenz ist steigend, da Produkte wie Arzneimittel, Reinigungsmittel, Farben, Textilien, Kosmetika sowie Kunststoffartikel und -verpackungen aufgrund der Erhöhung des Lebensstandards, des Bevölkerungswachstums und der demographischen Entwicklung weiter an Bedeutung gewinnen. Die Stoffe werden in der Regel durch mikrobiologischen Abbau in der Kläranlage eliminiert. Oft ist dieser Prozess aber nicht vollständig, so dass die Ausgangssubstanzen oder deren Abbauprodukte (Metaboliten) auch im geklärten Abwasser nachgewiesen werden. Andere Stoffe wie beispielsweise künstliche Nanomaterialien können sich im Klärschlamm anreichern. Durch Aufbringung von Klärschlamm und Beregnung mit geklärtem Abwasser werden solche Xenbiotika in landwirtschaftlich genutzte Böden eingetragen. Darüber hinaus können aus Pflanzenschutzmitteln im Boden Metaboliten gebildet werden. Landwirtschaftlich genutzte Böden stellen damit für Xenobiotika eine bedeutende Senke dar. Stoffspezifische Eigenschaften wie Mobilität, Persistenz, Toxizität und endokrine Wirkung in der Umwelt können sich nachteilig auf Boden- und Grundwasserqualität, die Bodenfunktionen und die Sicherheit von Kulturpflanzen auswirken.

2. Fallstudien

2.1 Mobilität von Silbernanomaterialien in Böden

Nanomaterialien kommen natürlich vor oder werden künstlich für zahlreiche Anwendungsbereiche wie beispielsweise in Farben als Pigmente oder in Sonnencremes als UV-Schutz hergestellt. Nach Definition der Europäischen Kommission (2011) besteht Nanomaterial zu mindestens 50 % aus Partikeln mit einer Größe von 1 bis 100 nm in mindestens einer Raumrichtung. Die Partikel können in den Nanomaterialien im ungebundenen Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat vorkommen.

Nanopartikel im engeren Sinne sind Objekte mit einer Größe von 1 bis 100 nm in allen Raumrichtungen (Klaine et al. 2012). Je nach Einsatzbereich haben künstliche Nanomaterialien unterschiedliche Formen und Größen. Verschiedene Stabilisatoren verhindern, dass die Nanomaterialien in Dispersionen zu größeren Partikeln aggregieren. Nanomaterialien zeigen eine hohe chemische und biologische Aktivität und haben oft katalytische Eigenschaften. Durch die steigende Produktion und Verwendung von Nanomaterialien kommt es zu einer zunehmenden Freisetzung der Partikel in die Umwelt (Bundschuh et al. 2018). Silbernanomaterialien werden aufgrund ihrer bioziden Wirkung z.B. in Textilien eingearbeitet oder als Kühlschrankbeschichtung genutzt. Durch den Waschvorgang gelangen Silbernanomaterialien in die Kläranlagen. Dort reichern sich die Silbernanomaterialien vornehmlich im Klärschlamm an (Batley et al. 2013). Bei landwirtschaftlicher Verwertung des Klärschlamms können sie damit in Ackerböden eingetragen werden. Abbildung 2 zeigt ein Silbernanopartikel auf dem Mineral Goethit in einer REM Aufnahme.

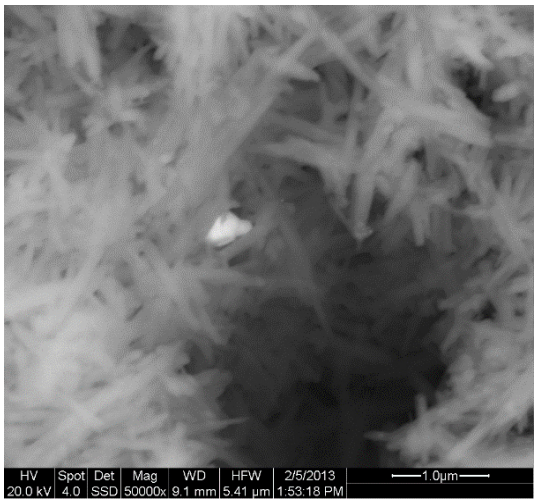


Abbildung 2: REM Aufnahme Silbernanopartikel auf Goethit.

Um die Mobilität von Silbernanomaterialien in Böden zu untersuchen, wurden im Rahmen der BMBF Verbundprojekte UMSICHT und DENANA u.a. Laborexperimente mit verschiedenen Bodensäulen durchgeführt. Für Säulenversuche nach DIN 19528 wurden geschüttete Bodenproben (Braunerde) verwendet (Abbildung 3a), wohingegen für Experimente mit strukturierten Bodensäulen gestochene Bodenproben (Braunerde) verwendet wurden (Abbildung 3b). In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME) in Schmallenberg wurden Lysimeterexperimente durchgeführt (Abbildung 3c). Für die Säulenexperimente wurden Dispersionen aus Silbernanomaterialien zum Boden zugegeben. Anschließend wurden die Säulen mit Regenwasser eluiert, um die Remobilisierung der Silbernanomaterialien zu untersuchen. Bei den Versuchen mit gestochenen Bodensäulen erfolgte die Perkolation der Säulen mit einer Dispersion von Silbernanomaterialien. Bei den Lysimeterexperimenten erfolgte die Applikation der Silbernanomaterialien zum Klärschlamm. Der Klärschlamm wurde anschließend auf die Lysimeter appliziert.

Abbildung 3: Versuchsdesign für die Untersuchung von Silbernanomaterialien in Böden. (a) Säulenversuche nach DIN 19528 mit geschütteter Braunerde, (b) strukturierte Bodensäulen mit gestochener Braunerde, (c) Lysimeterexperimente (© BGR).

Die Silbernanomaterialien wurden in Boden und Sickerwasser nach verschiedenen Aufbereitungsschritten über das vorhandene Silber mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) detektiert (Hoppe et al. 2015; Schlich et al. 2017).

Die Untersuchungen zeigen, dass für die Mobilität der Silbernanomaterialien die Wahl des Versuchsdesigns entscheidend ist. Die Experimente mit geschütteten Bodenproben ergaben eine Remobilisierung der Silbernanomaterialien in das Sickerwasser auf sehr niedrigem Niveau von weniger als 1 % der zugegebenen Menge. In den strukturierten Bodensäulen wurden dagegen ein relativ hoher Durchbruch der Silbernanomaterialien sowie ein Einfluss der Heterogenität der Bodensäulen auf das Transportverhalten beobachtet. Die Lysimeterversuche ergaben hingegen innerhalb von drei Jahren keine messbare vertikale Verlagerung der Silbernanomaterialien. Teilweise konnte eine minimal erhöhte Silber-Freisetzung (ng/L) ins Sickerwasser auch in den Freilandexperimenten nachgewiesen werden. Darüber hinaus ergaben die Experimente im Freiland Hinweise auf eine geringe Aufnahme des Silbers in Pflanzenwurzeln, die mit der Dotierungsmenge zunahm.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Remobilisierung von Nanomaterialien im Boden unter umweltrelevanten Bedingungen eher unwahrscheinlich ist. Dies hat zur Folge, dass der Eintrag von Silbernanomaterialien in landwirtschaftliche Böden über wiederholte Klärschlammaufbringung eine Akkumulation dieser Xenobiotika in den Böden zur Folge haben kann. Es gibt Hinweise, dass Silbernanomaterialien Ammonium-oxidierende Bakterien im Boden hemmen könnten. Daher sollten in weiterführenden Untersuchungen die Aufnahme von Silbernanomaterialien durch Pflanzen sowie ihr Einfluss auf Prozesse im Boden, auch über lange Zeiträume, untersucht werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass für Untersuchungen zum Transport von Nanomaterialien in Böden standardisierte Verfahren und Methoden notwendig sind, da das Versuchsdesign die Ergebnisse entscheidend beeinflussen kann (s.o.).

2.2 Eintrag und Verbleib von Arzneimitteln und Industriechemikalien bei der Beregnung

Zahlreiche organische Xenobiotika wie zum Beispiel Arzneimittel, Biozide, Kunststoffadditive, Korrosionsinhibitoren und Konservierungsstoffe gelangen durch ihre Anwendungen in verschiedenen Produkten in kommunale Abwässer. Sie werden in der Regel in den Kläranlagen je nach Abwasserreinigungstechnologie bis zu einem gewissen Grad abgebaut (Margot et al. 2015). Oft ist dieser Prozess aber nicht vollständig, so dass entweder die Ausgangssubstanzen oder deren Abbauprodukte (Metaboliten) auch im geklärten Abwasser nachgewiesen werden (Loos et al. 2013). Wird bei der landwirtschaftlichen Bewässerung geklärtes Abwasser verwendet, können diese Stoffe in die Ackerböden eingetragen werden. Von dort können sie durch Abschwemmungen in die Oberflächengewässer oder durch Versickerung ins Grundwasser gelangen. Über den Prozess der Uferfiltration besteht ein zusätzlicher potenzieller Eintrag ins Grundwasser. Bei der Beregnung von Ackerböden mit Oberflächen- oder Grundwasser können die Stoffe ebenfalls in die Böden eingetragen werden. Überschwemmungen stellen eine weitere potenzielle Eintragsquelle für Xenobiotika aus Oberflächenwasser in die Böden dar (Abbildung 1).

Um den Eintrag und den Verbleib von Arzneimitteln und Industriechemikalien bei der Beregnung von Ackerböden zu untersuchen, wurde geklärtes Abwasser (13 Proben) aus zwei kommunalen Kläranlagen, geklärtes Abwasser aus einem Beregnungsbecken (3 Proben) und Grundwasser (13 Proben) im Einzugsbereichs einer mit geklärtem Abwasser beregneten landwirtschaftlich genutzten Fläche nahe der Stadt Nabeul in Tunesien auf insgesamt 25 Stoffe (Arzneimittel, Industriechemikalien) untersucht. Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über das Untersuchungsgebiet mit den beprobten Kläranlagen (WWTP SE3, WWTP SE4), dem Beregnungsbecken (storage bassin) und den Grundwassermessstellen Well 2 RA, Well 1 AA, Well 3 NA, Well 2, Well 8 und control Well.

Abbildung 4: Übersicht über das Untersuchungsgebiet in Tunesien.

Die Bestimmungsgrenzen der verwendeten Analysenmethode, basierend auf Festphasenextraktion und kombiniert mit Flüssigchromatographie-Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS), lagen zwischen 10 und 400 ng/L (Fries et al. 2016).

In Abbildung 5 sind die Konzentrationen der im geklärten Abwasser der kommunalen Kläranlagen (Abbildung 5a) und des Beregnungsbeckens (Abbildung 5b) nachgewiesenen Xenobiotika dargestellt. Die Konzentrationen der verschiedenen Substanzen zeigen eine große Schwankungsbereite zwischen wenigen ng/L bis zu 10 µg/L. Die Höhe der Konzentrationen im Abwasser aus dem Beregnungsbecken lagen im Allgemeinen in einem ähnlichen Bereich wie im Abwasser aus der Kläranlage. Einige Stoffe konnten im Beregnungsbecken hingegen nicht nachgewiesen werden.

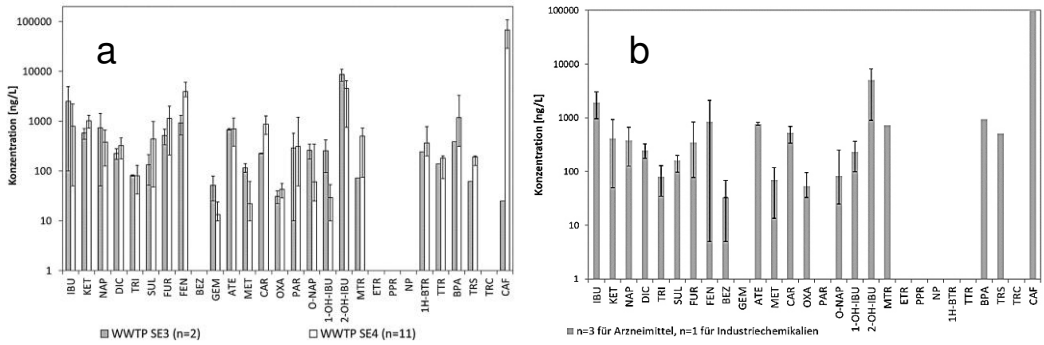


Abbildung 5: (a) Arzneimittel und Industriechemikalien im geklärten Abwasser der kommunalen Kläranlagen SE3 und SE4, (b) Arzneimittel und Industriechemikalien im geklärten Abwasser des Beregnungsbeckens (WWTP: Wastewater treatment plant, 1H-BTR: 1-H-benzotriazol, 1-OH-IBU: 1-OH-Ibuprofen, 2-OH-IBU: 2-OH-Ibuprofen, ATE: Atenolol, BEZ: Benzafibrat, BPA: Bisphenol A, CAF: Koffein, CAR: Carbamazepin, DIC: Diclophenac, ETR: Ethylparaben, FEN: Fenofibrinsäure, FUR: Furosemid, GEM: Gemfibrozil, IBU: Ibuprofen, KET: Ketoprofen, MTR: Methlyparabene, MET: Metoprolol, NAP: Naproxen, NP: Nonylphenol, O-NAP: O-desmethyl-naproxen, OXA: Oxazepam, PAR: Paracetamol, PPR: Propylparaben, SUL: Sulfamethoxazol, TTR: Tolyltriazol, TRC: Triclocarban, TRS: Triclosan, TRI: Trimethoprim (verändert nach Fries et al. 2016).

Die Konzentration der verschiedenen Stoffe im geklärten Abwasser war unabhängig von ihrem Eliminierungsgrad im Abwasser nach Joss et al. (2006), was darauf hindeutet, dass neben der Persistenz auch die Eintragsmengen ins Abwasser bei der Bewertung berücksichtigt werden müssen. Die Konzentrationen der beiden Metaboliten von Ibuprofen waren höher als die der Ausgangssubstanz, was darauf hindeutet, dass diese erst im Abwasser gebildet wurden. Mit der Verwendung dieses Abwassers bei der Beregnung werden die darin enthaltenen Stoffe schließlich in den Ackerboden eingetragen und können von dort potenziell ins Grundwasser gelangen.

Tabelle 1 zeigt die Konzentrationen der Stoffe, die im Grundwasser nachgewiesen wurden. Anzahl und Konzentrationen waren im Grundwasser geringer als im gereinigten Abwasser. Im Grundwasser waren nur noch zwei Arzneimittel (Sulfametoxazol, Carbamazepin) und fünf Industriechemikalien (Methylparaben, Propylparaben, 1H-Benzotriazol, Bisphenol A, Triclosan) mit Konzentrationen im unteren ng/L-Bereich bestimmbar.

Die Ergebnisse aus den Grundwasseruntersuchungen deuten auf eine Reinigungsleistung des Bodens hin, die aber nicht für alle Stoffe zu einer vollständigen Eliminierung führt.

Tabelle 1: Konzentration von Arzneimitteln und Industriechemikalien im Grundwasser (LOQ: Bestimmungsgrenze, SUL: Sulfamethoxazol, CAR: Carbamazepin, MTR: Methylparaben, PPR: Propylparaben, 1H-BTR: 1H-Benzotriazol, BPA: Bisphenol A, TRS: Triclosan).

	Well 1 AA	Well 2 RA	Well 3 NA	Well 2	Well 8	Control Well
Probenahme: 22.07.2014						
SUL	nd	<LOQ	<LOQ	<LOQ	46	29
CAR	nd	55	<LOQ	22	149	<LOQ
MTR	<LOQ	<LOQ	63	<LOQ	<LOQ	<LOQ
PPR	<LOQ	<LOQ	30	<LOQ	<LOQ	<LOQ
1H-BTR	<LOQ	45	24	25	40	<LOQ
BPA	<LOQ	<LOQ	189	<LOQ	24	<LOQ
TRS	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Probenahme: 26.08.2014						
SUL	nd	<LOQ	<LOQ	<LOQ	37	33
CAR	nd	74	<LOQ	<LOQ	155	<LOQ
MTR	109	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
PPR	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
1H-BTR	23	21	22	<LOQ	40	21
BPA	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
TRS	289	83	34	68	22	42

Damit besteht ein potenzielles Risiko für die Qualität der natürlichen Ressourcen Boden und das Grundwasser. Durch 1H-Benzotrialzol und Sulfamethoxazol kann es beispielsweise zu einer Beeinträchtigung der mikrobiologischen Gemeinschaft in Böden kommen (Breedveld et al. 2003; Underwood, J.C. et al. 2011). Werden Kulturpflanzen mit kontaminiertem Grundwasser beregnet, ist damit ein Risiko für die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit verbunden. Mit Trichlosan wurde ein erhöhtes Auftreten von Antibiotikaresistenzen in Verbindung gebracht (Carey & McNamarra 2014). Die Aufnahme von Mikroschadstoffen in Pflanzen ist ebenfalls möglich (Carter, I.J. et al. 2014).

2.3 Austrag nicht relevanter Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln aus dem Boden

Nach Michalsk et al. (2004) sind nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln (PSM) aus pflanzenschutzrechtlicher Sicht „Abbauprodukte eines PSM-Wirkstoffs, die keine definierten Pestizide, (Rest-)Aktivität oder ein pflanzenschutzrechtlich relevantes humantoxisches oder ökotoxikologisches Wirkungspotenzial besitzen“.

Im Boden durch biologischen Abbau gebildete nrM können in tiefere Schichten und damit potenziell bis ins Grundwasser gelangen. Dies kann dadurch begünstigt werden, dass die Abbauprodukte der PSM häufig polarer sind als ihre Ausgangsstoffe und dadurch eine geringere Sorption und eine höhere Mobilität im Boden aufweisen. Die Bewertung der Stoffgruppe der nrM erfolgt auf Basis des Vorsorgekonzepts der gesundheitlichen Orientierungswerte für „nicht bewertbare“ Stoffe (Umweltbundesamt 2003), welches für nrM weiterentwickelt wurde (Umweltbundesamt 2008).

Zur Untersuchung des Austrags von nrM aus dem Boden und des schlagspezifischen Beitrages zur Belastung des Grundwassers mit nrM wurden im Juli 2015 und im April 2016 auf neun Ackerschlägen Untersuchungen im Fuhrberger Feld in Zusammenarbeit mit der enercity AG (ehemals Stadtwerke Hannover AG) durchgeführt. Die enercity AG versorgt die Stadt Hannover sowie Teile der Region mit Trinkwasser aus dem teilweise auch landwirtschaftlich genutzten Fuhrberger Feld. Im Rahmen des Projekts MetaBoTIG wurde ein Untersuchungsverfahren verwendet, das auf den Erfahrungen der BGR im Projekt „Sickerwasser“ aufbaut (Duijnisveld et al. 2008). Da für die Analyse der nrM eine größere Probenmenge benötigt wird als sie üblicherweise mit Hilfe von Saugkerzen der ungesättigten Bodenzone in kurzen Zeiten entnommen werden kann, wurde auf eine direkte Bodenwasserentnahme verzichtet. Es wurde davon ausgegangen, dass der oberste Dezimeter des gesättigten Bereiches (Grundwasser) die ungesättigte Bodenzone erst kürzlich verlassen hat und vergleichbare chemische Eigenschaften wie das Sickerwasser besitzt. Somit wurde nach Durchbohren des ungesättigten Bereiches (Abbildung 6a) mit Hilfe eines Industriesaugers (MAC 640K) eine aus Teflon bestehende Sonde in den obersten Dezimeter des wassergesättigten Bereiches eingebracht (Abbildung 6b) und mit Hilfe von Unterdruck die Wasserprobe gewonnen (Abbildung 6c). Diese an der BGR entwickelte Methode erlaubt die Probenahme mit einer nur minimalen Verschleppungsgefahr für den (Ober-)Boden, um so eine Verunreinigung des Wassers mit möglicherweise mit PSM-kontaminiertem (Ober-)Boden zu verhindern. Zusätzlich erfolgte die Untersuchung des Grundwassers auf nrM an drei im Fuhrberger Feld vorhandenen Multilevelmessstellen in drei verschiedenen Tiefen bis ca. 10 m. Auch diese Wasserproben wurden mit Hilfe einer Vakuumpumpe entnommen.

Der Wasserfluss und der Transport des PSM-Wirkstoffes Chloridazon (Herbizid im Rübenanbau) und seiner beiden Metaboliten Chloridazon-desphenyl und Chloridazon-methyl-desphenyl wurden mit dem numerischen Simulationsprogramm Hydrus-1D berechnet. Die hydraulischen Bodeneigenschaften wurden für den untersuchten Standort an ungestörten Stechzylinderproben im Labor bestimmt.

PSM selbst konnten im Rahmen der Studie nicht im Grundwasser nachgewiesen werden. Dagegen wurden 16 von den 19 untersuchten nrM in mindestens einer der Grundwasserproben nachgewiesen. Besonders häufig und auch teilweise in sehr hohen Konzentrationen wurden die nrM von Chloridazon beobachtet wie beispielhaft für Chloridazon-desphenyl im Juli 2015 in Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 6: BGR-Methode zur Probennahme von Grundwasser mit minimaler Verschleppungsgefahr aus dem (Ober-)Boden (Duijnisveld, W.H.M. et al. 2008). (a) Durchbohren des ungesättigten Bereiches, (b) Einbringen der Sonde in den obersten Dezimeter des wassergesättigten Bereiches eingebracht, (c) Gewinnung der Wasserprobe mittels Unterdruck.

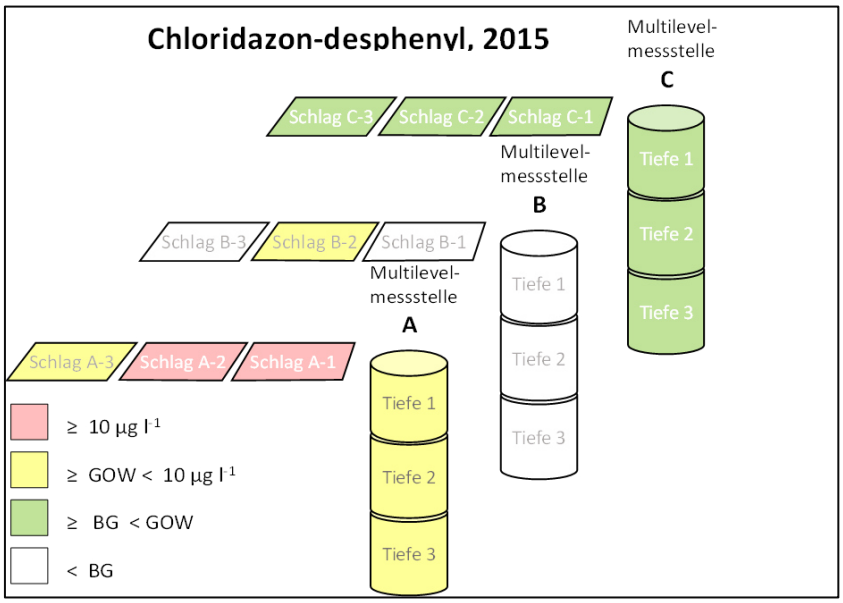


Abbildung 7: Konzentrationen des Chloridazon Metaboliten Chloridazon-desphenyl im Grundwasser, Juli 2015 (GOW: Gesundheitlicher Orientierungswert) (Quelle: BGR).

Für die Metaboliten Chloridazon-desphenyl und Chloridazonmethyl-desphenyl wurde anhand von Simulationen mit Hydrus 1D deutlich, dass sowohl die bodenhydraulischen Parameter als auch die klimatischen Randbedingungen einen Einfluss auf die simulierte Konzentration haben (Abbildung 8).

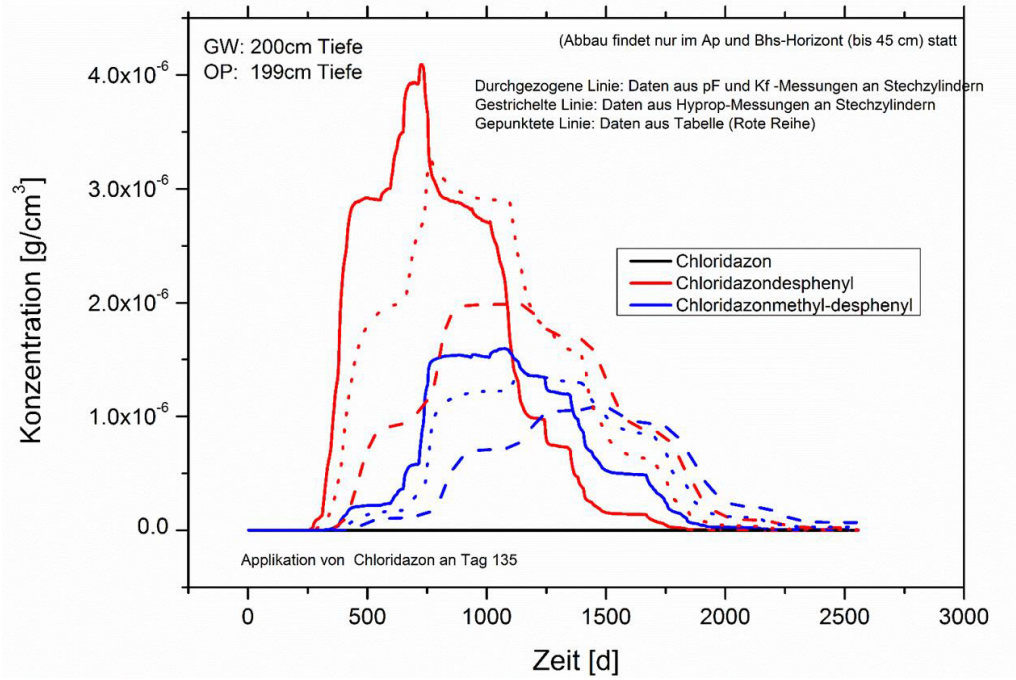


Abbildung 8: Ergebnisse für den Transport der Metaboliten Chloridazon-desphenyl und Chloridazonmethyl-desphenyl nach Simulationen mit dem Programm HYDRUS-1D (Quelle: BGR).

Die Metaboliten von Metazachlor (Wirkstoff eines Rapsherbizids) Metazachlorsäure und Metazachlorsulfonsäure wurden zwar etwas weniger häufig in den Grundwasserproben nachgewiesen, allerdings mit einer Konzentration oberhalb 10 µg/L auch in einer größeren Tiefe.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass nrM im Bereich landwirtschaftlich genutzter Böden im Grundwasser auftreten. Im Fuhrberger Feld werden nrM nur unzureichend vom Boden zurückgehalten. Die Konzentrationen im Grundwasser erreichen hier auch Werte oberhalb der gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW-Werte). Es besteht die Gefahr, dass nrM aufgrund ihrer Mobilität bis in tiefere Grundwasserschichten gelangen und diese aufgrund ihrer Persistenz für lange Zeit kontaminieren.

3. Schlussfolgerungen

Verschiedene Xenobiotika können aus unterschiedlichen Quellen in landwirtschaftlich genutzte Böden gelangen. Je nach Mobilität der Stoffe, die im Wesentlichen durch ihre Substanzeigenschaften bestimmt wird, können diese im Boden akkumulieren (Silbernanopartikel) oder weiter ins Grundwasser transportiert werden (Arzneimittel, Industriechemikalien, Metaboliten von Pflanzenschutzmitteln).

Sauberes Trinkwasser und die Sicherheit von Kulturpflanzen sind gemeinsame wirtschaftliche und gesellschaftliche Interessen, die auch in der Zukunft gemeinsam von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft verfolgt werden müssen.

Voraussetzung für den Schutz unserer natürlichen Ressourcen Grundwasser und Boden sind u.a. eine detaillierte Kenntnis der Eintragsquellen und -mengen sowie langfristige Untersuchungen über Wirkung und Ausbreitung dieser Stoffe. Die Ausweisung von Indikatorsubstanzen zur Bewertung des Ausbreitungsverhaltens sowie Umweltqualitätsstandards für die untersuchten Stoffe bei der Wiederverwendung von geklärtem Abwasser, bei der Klärschlammaufbringung sowie beim Pflanzenschutz kann eine wichtige Unterstützung der Risikobewertung sein. Zur Verringerung der Nutzungskonflikte von Wasserwirtschaft und Landwirtschaft sollte auch verstärkt nach partizipativen Lösungskonzepten gesucht werden, die zur Verringerung der Nutzungskonflikte zwischen Wasserwirtschaft und Landwirtschaft beitragen. Im Fall der nrM könnten beispielsweise ein verbessertes PSM-Produktdesign, alternative Pflanzenschutzpraktiken wie z.B. Robotertechnik oder Drohnen/GPS Steuerung zur mechanischen/teilmechanischen Unkrautbekämpfung beitragen. Die Entwicklung neuer Strategien zur Minimierung der Beeinträchtigung der Grundwasserqualität und deren Umsetzen sollten durch Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene unterstützt werden und auf Wasserschutzgebietsebene unter Beteiligung der Pflanzenschutzberatung sowie von Landwirtschaft und Wasserwirtschaft durchgeführt werden.

Literatur

Boxall, A.B.A. (2012): New and emerging water pollutants arising from agriculture. – OECD, COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2010)17/FINAL.

Batley, G.E., Kirby, J.K. & M.J. McLaughlin (2013): Fate and Risks of Nanomaterials in Aquatic and Terrestrial Environments. – Accounts of Chemical Research, 46 (3), 854–862.

Breedveld, G.D., Roseth, R., Sparrevik, M., Hartnik, T. & L.J. Tem (2003): Persistence of the de-icing additive at an abandoned airport. – Water Air Soil Pollution: Focus 3: 91–101.

Bundschuh, M., Filser, J., Lüderwald, S., McKee, M.S., Metreveli, G., Schaumann, G.E., Schulz, R. & S. Wagner (2018): Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? – Environmental Sciences Europe, 30:6.

Carey, D.E & P.J. McNamara (2014): The impact of triclosan on the spread of antibiotic resistance in the environment. – Frontiers in Microbiology, Vol 5, Article 780, 1–11.

Carter, L.J., Harris, E., Williams, M., Ryan, J.J., Kookana, R.S. & A.B.A. Boxall (2014): Fate and Uptake of Pharmaceuticals in Soil-Plant Systems. – J. Agric. Food Chem., 62 (4), pp 816–825.

Duijnisveld, W.H.M., Godbersen, L., Dilling, J., Gäbler, H.-E., Utermann, J., Klump, G. & G. Scheeder (2008): Ermittlung flächenrepräsentativer Hintergrundkonzentrationen prioritärer Schadstoffe im Bodensickerwasser. – Endbericht UBA-Forschungsvorhaben 204 72 264. BGR, Hannover.

Europäische Commission (2011): Offical Journal of the European Union, 2011/696/EU, 18.10.2011.

Fries, E., Mahjoub, O., Mahjoub, B., Berrehouc, A., Lions, J. & M. Bahadir (2016): Occurrence of contaminants of emerging concern (CEC) in conventional and non-conventional water resources in Tunisia. – Fresenius Environmental Bulletin, 25, 3317–3339.

Hoppe, M., Mikutta, R., Utermann, J., Duijnisveld, W.H.M., Kaufhold, S., Stange, C.F. & G. Guggenberger (2015): Remobilization of sterically stabilized silver nanoparticles from farmland soils determined by column leaching. – European Journal of Soil Science. 66, 898–909.

Joss, A., Zabaczynski, S., Göbel, A., Hoffmann, B., Löffler, D., McArdell, C.S., Ternes, T.A., Thomsen, A. & H. Siegrist (2006): Biological degradation of pharmaceuticals in municipal wastewater treatment: proposing a classification scheme. – Water Research 2006; 40: 1686–1696.

Klaine, S.J., Koelmans, A.A., Horne, N., Carley, S., Handy, R.D., Kapustka, L., Nowack, B. & F. von der Kammer (2012) Paradigms to assess the environmental impact of manufactured nanomaterials. – Environ. Toxicol. Chem., 31 (1), 3–14.

Kümmerer, K. (2011): Emerging contaminants versus micro-pollutants. – Clean – Soil, Air, Water, 39, 889–890.

Loos, R., Carvalho, R., António, D.C. Comero, S., Locoro, G., Tavazzi, S., Paracchini, B., Ghiani, M., Lettieri, T., Blaha, L., Jarosova, B., Voorspoels, S., Servaes, K., Haglund, P., Fick, J., Lindberg, R.H., Schwesig, D. & B.M. Gawlik (2013): EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. – Water Research 47: 6475–6487.

Margot, J., Rossi, L. & C. Holliger (2015): A review of the fate of micropollutants in wastewater treatment plants. – WIREs Water 2015, 2:457–487.

Michalski, B., Stein, B., Niemann, L., Pfeil, R. & R. Fischer (2004): Beurteilung der Relevanz von Metaboliten im Grundwasser im Rahmen des nationalen Zulassungsverfahrens für Pflanzenschutzmittel. – Nachrichtenblatt Deut. Pflanzenschutz 56 (3): 53–59.

Schlich, K., Hoppe, M., Kraas, M., Fries, E. & K. Hund-Rinke (2017) Ecotoxicity and fate of a silver nanomaterial in an outdoor lysimeter study. – Ecotoxicology. 26, 738–751.

Umweltbundesamt (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt. – Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 46: 249–251 (2003).

Umweltbundesamt (2008): Trinkwasserhygienische Bewertung stoffrechtlich nicht relevanter Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt. – Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 51: 797–801.

Underwood, J.C., Harvey, R.W., Metge, D.W., Repert, D.A., Baumgartner, L.K., Smith, R.L., Roane, T.M. & L.B. Barber (2011): Effects of the antimicrobial sulfamethoxazole on groundwater bacterial enrichment. – Environmental Science and Technology 45: 3096–3101.

Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden in Schleswig-Holstein – ein unterschätztes Problem?

Dr. Eckhard Cordsen und Dr. Marek Filipinski
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek

Bodenverdichtung unter landwirtschaftlicher Nutzung

Die landwirtschaftliche Nutzung des Bodens ist in den letzten Jahrzehnten durch eine erhebliche Vergrößerung der landwirtschaftlichen Betriebe und der von ihnen bewirtschafteten Schläge bei gleichzeitiger Abnahme der Anzahl der in der Landwirtschaft Beschäftigten geprägt. Gleichzeitig ist ein großer technischer Fortschritt der Mechanisierung erfolgt, der zu mehr Schlagkraft bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Flächen durch Ausbau der Leistung der eingesetzten landwirtschaftlichen Maschinen bei gleichzeitiger Erhöhung der Maschinengewichte geführt hat. Dies hat zu höherem Druck auf den Boden geführt, der zudem aufgrund der höheren Maschinenleistungen auch zu Zeiten auf den Boden wirkt, zu denen dieser aufgrund höherer Wassergehalte nicht oder nur mit verminderter Auflast befahren werden sollte. Bodenverdichtungen sind die Folge.

Das Maß der Beeinträchtigung von Bodenfunktionen in Abhängigkeit von der Größe der Wirkfaktoren der mechanischen Belastung durch Landmaschinen und der Empfindlichkeit des Bodens zeigt Abbildung 1.

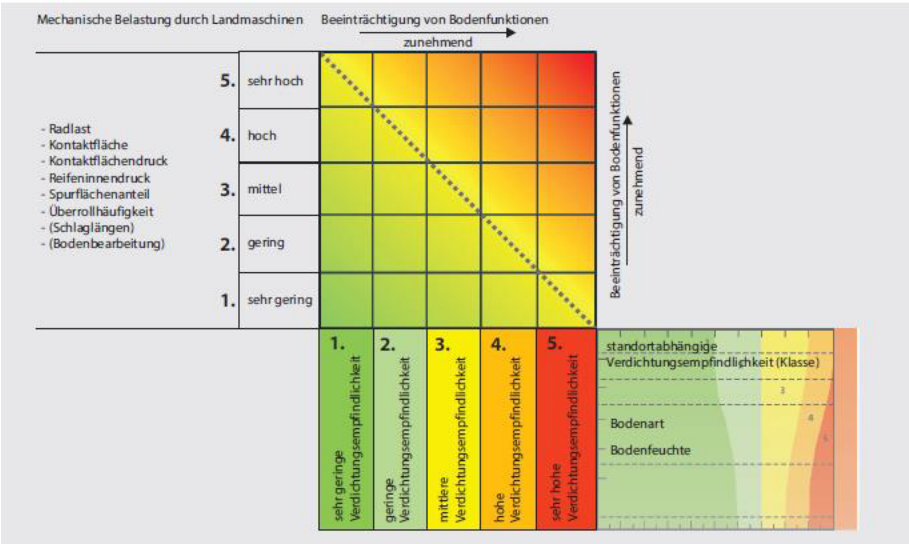


Abbildung 1: Kriterien für die Verdichtungsempfindlichkeit von Böden (IGLU 2018).

Folgen von Bodenverdichtungen

Unter optimalen Bedingungen sind die Hohlräume im Boden so ausgebildet, dass für Pflanzen und Bodenlebewesen ausreichende Mengen an Wasser mit den darin gelösten Nährstoffen sowie an Bodenluft zur Verfügung stehen. Das Bodengefüge bestimmt auch die Tragfähigkeit des Bodens. Jede mechanische Beanspruchung in Form einer Auflast führt zu einer Reduzierung der für die Wasser- und Luftversorgung optimalen Porengrößen.

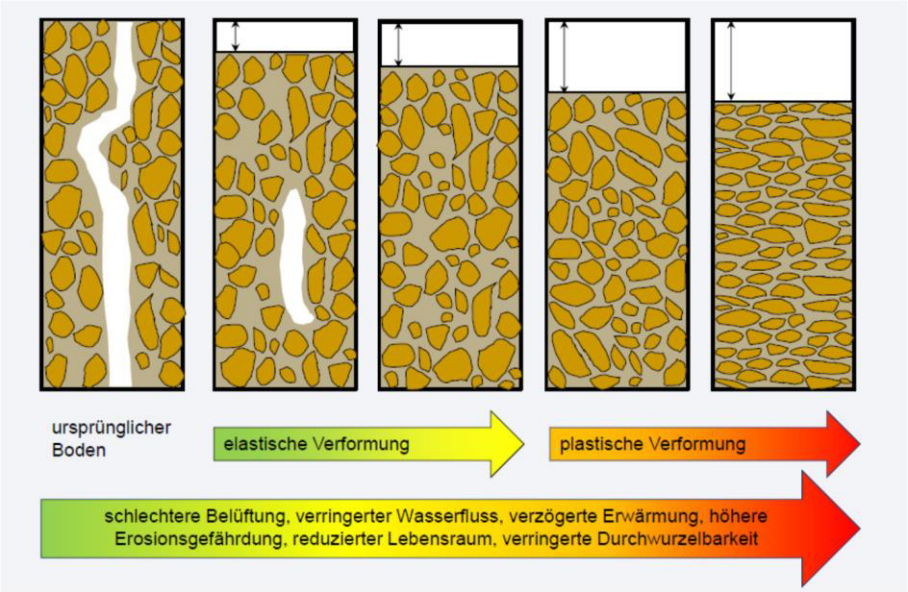


Abbildung 2: Bodenverdichtungen und die Folgen (Elsner 2016).

Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt die Verdichtungsgefährdung des Bodens zu, je feinkörniger er ist. Von einer umkehrbaren elastischen Verformung des Bodens durch Setzung und Verringerung der Zwischenräume zwischen den Bodenteilchen geht der Boden bei höherer Belastung in eine nicht mehr umkehrbare plastische Verformung über. Als besonders schwerwiegend hat sich auf landwirtschaftlichen Flächen das Problem der Unterbodenverdichtung unterhalb der Pflugsohle erwiesen. Die Kennwerte "Luftkapazität" und "gesättigte" Wasserleitfähigkeit zeigen Bodenverdichtungen am verlässlichsten an. Aufgrund der Bodenvariabilität hinsichtlich seiner Eigenschaften, unterschiedlicher Nutzung und Bewirtschaftung sowie im Jahresverlauf und von Jahr zu Jahr unterschiedlicher Witterungsverhältnisse ist das Risiko der Verdichtung des Bodens immer standörtlich und zeitlich differenziert zu bewerten. Die bodenökologischen Folgen der Bodenverdichtung sind in Abbildung 2 dargestellt.

Verdichtungen landwirtschaftlich genutzten Bodens sind nicht gleichmäßig über die bewirtschafteten Flächen verteilt. Neben der kleinräumigen Bodenvariabilität ist dafür hauptsächlich der Umfang von Überfahrungen mit landwirtschaftlichen Maschinen maßgeblich (siehe Abbildung 1). Besonders betroffen sind seit jeher die Vorgewende, seit der Einführung regelmäßig genutzter Fahrspuren (Fahrgassen) auch diese in größerem Umfange als die übrige Fläche.

Neben der verminderten Wasser- und Luftversorgung für Pflanzen und Mikroorganismen macht dabei auch ein erhöhter Eindringwiderstand für die Pflanzenwurzeln eine Bewirtschaftung zunehmend problematischer. Bodenwassergehalt und Grundwasserneubildung werden verringert. Durch reduzierende Verhältnisse entstehen Methan und Lachgas, die in die Atmosphäre entlassen werden und den Treibhauseffekt verstärken. Im Gegensatz zu den Oberböden können in Unterböden die Gefügeschäden durch Bodenbearbeitung nur sehr schwer behoben werden. Die eindeutige Zuweisung pflanzenbaulicher Mindererträge zu Bodenverdichtungen ist jedoch schwierig.

Gefährdungsabschätzung

Die Abschätzung der Gefährdung des Bodens durch Verdichtung in Schleswig-Holstein erfolgt über Karten, die die Empfindlichkeit unter den Hauptnutzungsarten Ackerbau und Grünland jeweils für das Sommerhalbjahr (Abbildung 3) und für das Winterhalbjahr (Abbildung 4) in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften abbilden (Umweltatlas Schleswig-Holstein).

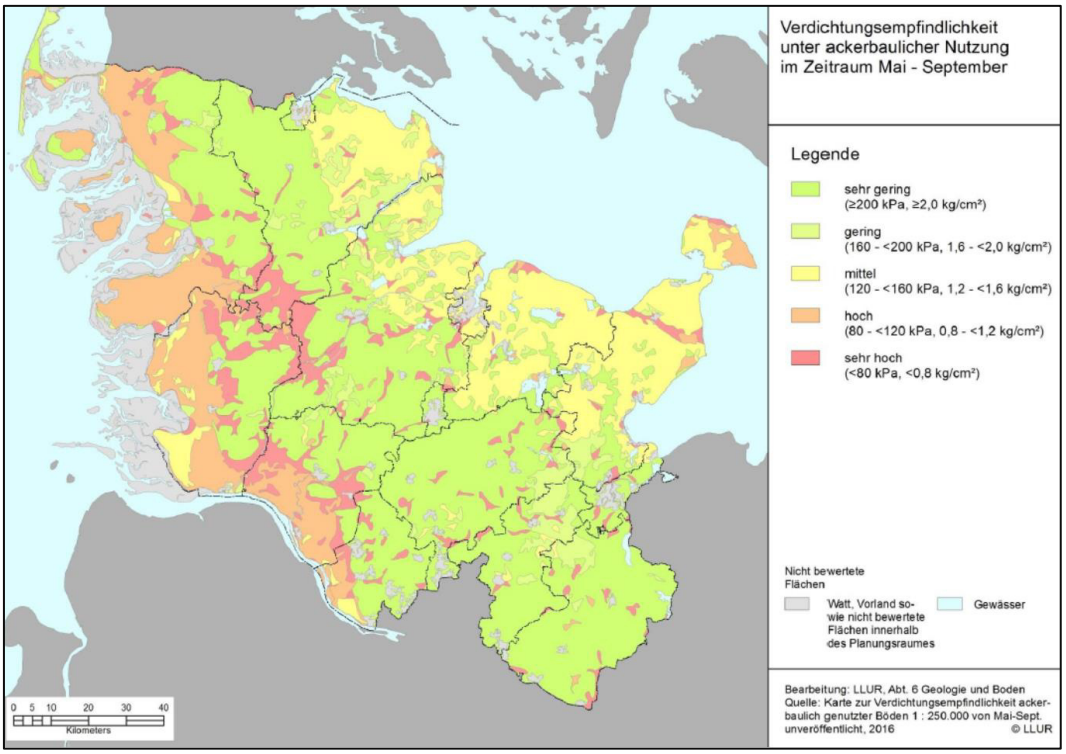


Abbildung 3: Potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit von Böden unter ackerbaulicher Nutzung im Sommerhalbjahr (Elsner 2016).

Dabei lässt sich grundsätzlich feststellen, dass sich der Boden unter Grünland aufgrund seiner besseren strukturellen Verhältnisse, unter anderem aufgrund seiner höheren Gehalte an organischer Substanz sowie besserer biogener Verbauung und Durchporung, grundsätzlich stabiler gegenüber höheren Auflasten verhält.

Die höhere Bodenfeuchte mit verminderter Evapotranspiration führt im Winterhalbjahr regelmäßig zu erhöhten Wassergehalten im Boden und damit zu einem höheren Verdichtungsrisiko.

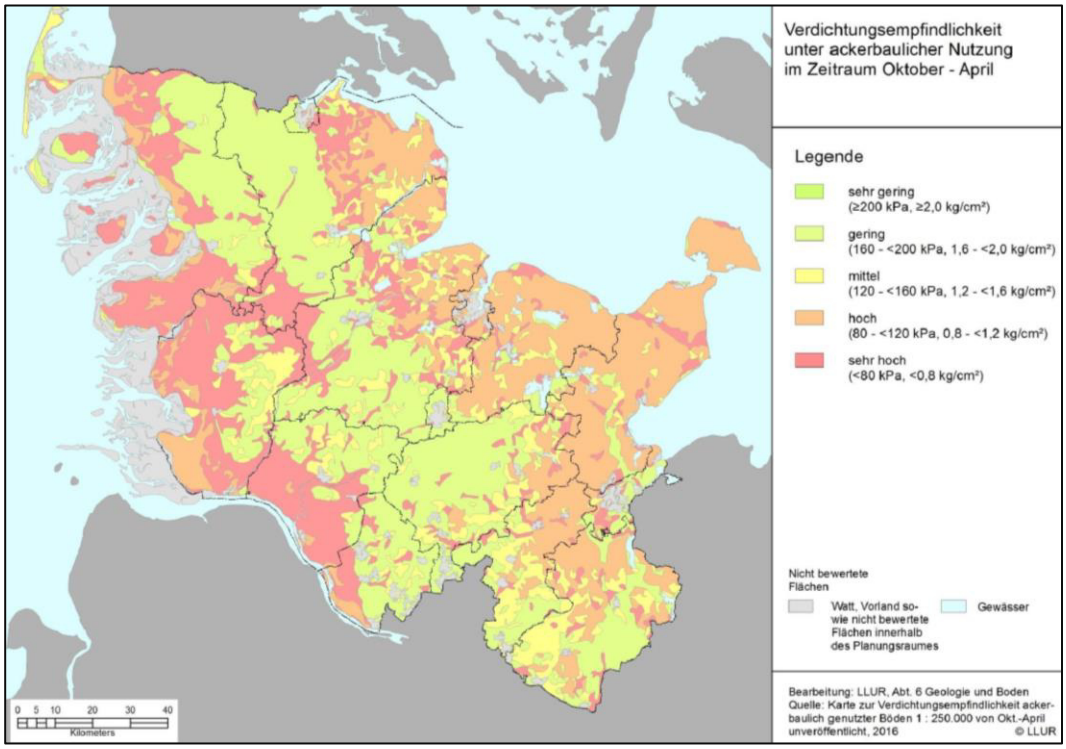


Abbildung 4: Potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit von Böden unter ackerbaulicher Nutzung im Winterhalbjahr (Elsner 2016).

Einschätzung der realen Situation

Eine Einschätzung der realen Situation des landwirtschaftlich genutzten Bodens in Schleswig-Holstein hinsichtlich seiner Verdichtung liegt auf Grundlage einer umfangreichen Auswertung von digitalen Datensätzen zu bodenphysikalischen Messungen insbesondere an ungestörten Bodenmaterialproben hinsichtlich Status und Veränderungen der Bodenverdichtung durch landwirtschaftliche Nutzung vor (Mordhorst et al.; Bodenverdichtung in Schleswig-Holstein).

Grundlage für diese Auswertung waren Untersuchungsergebnisse aus der bodenkundlichen Landesaufnahme, die einen Zeitraum von über fünfzig Jahren umfassen (Abbildung 5). Bewertet wurde dabei die potenzielle Boden(schad)verdichtung im Unterboden. Die Bewertung erfolgt anhand kritischer Grenzwerte gemäß UBA-Prüfkonzept. Kriterien sind die gesättigte Wasserleitfähigkeit, die Luftkapazität und die effektive Lagerungsdichte.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass eine Verschlechterung der Luftkapazität und eine leichte Verbesserung der Wasserleitfähigkeit der untersuchten Böden zu verzeichnen sind.

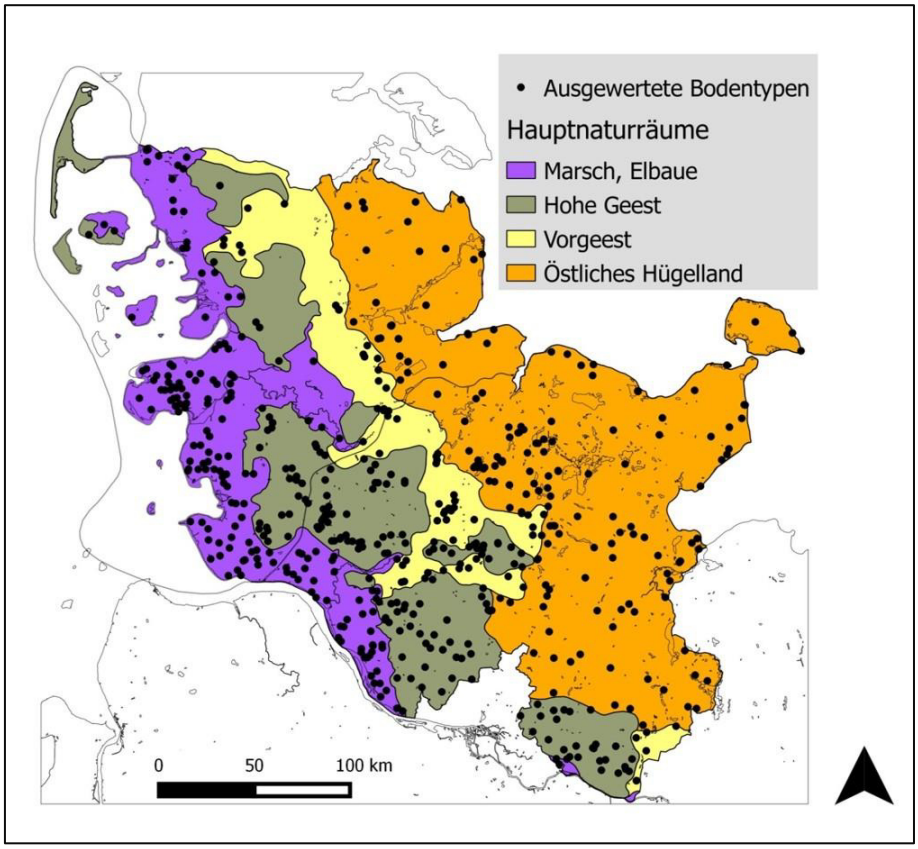


Abbildung 5: Einschätzung der realen Situation aus Messwerten: Lage der untersuchten Standorte (Mordhorst et al. 2016).

Bodentyp	Horizont	n	Verdichtungs-status	Anthropogener Anteil in %		
			% -Anteil Klasse 4	LK	kf	LK+kf
Podsol	Bh/Bs	79	1	gering		
Braunerde	Bv	109	4	gering		
Kolluvisol	M	38	18	vorhanden		
Pseudogley-Parabraunerde	Sw-Al	28	18	25	34	6
Pseudogley	Sw	75	39	25	38	8
Knick-/Dwogmarsch	Sw	42	48	(17)	(18)	-

Abbildung 6: Bewertung der realen Situation aus Messwerten: Verdichtungsstatus und anthropogener Anteil (Fleige et al. 2017).

Braunerden, Podsole und Podsol-Gleye aus Sand erscheinen danach unproblematisch bezüglich einer Verdichtung des Bodens. Parabraunerden und Pseudogleye weisen einen höheren Anteil an Verdichtungen auf. Bei Marschböden ist mit einem hohen Verdichtungszustand zu rechnen (Abbildung 6). Insgesamt ist Acker stärker als Grünland von der Verdichtung betroffen. Der Einfluss des Tongehaltes auf die Verdichtung ist erkennbar.

Zusammenfassend lässt sich hinsichtlich der Veränderungen der bodenphysikalischen Kennwerte über den Betrachtungszeitraum hinweg tendenziell bei einigen Bodentypen eher eine leichte Verbesserung von Wasserleitfähigkeiten, dagegen aber eine Verschlechterung der Luftkapazitäten feststellen. Beides lässt sich jedoch aufgrund der noch nicht hinreichenden Datengrundlage statistisch nicht absichern.

Flächenhafte Erhebungen

Einen guten flächenhaften Überblick über strukturelle Probleme des Bodens bietet der Kennwert des Eindringwiderstandes. Er wird mit einem speziellen im Feld einsetzbaren Gerät, dem Penetrologger, ermittelt, der gern in der pflanzenbaulichen Beratung unmittelbar vor Ort eingesetzt wird. Die Messergebnisse dieses Verfahrens sind in hohem Maße mit der Bodenfeuchte verknüpft. Eine Verknüpfung mit den Ergebnissen bodenphysikalischer Messungen ist aus diesem Grunde nur eingeschränkt möglich.

Die Bereiche des größten Verdichtungspotenzials sind deutlich erkennbar. Es sind die Vorgewende und die Fahrspuren (Fahrgassen) (Abbildung 7).

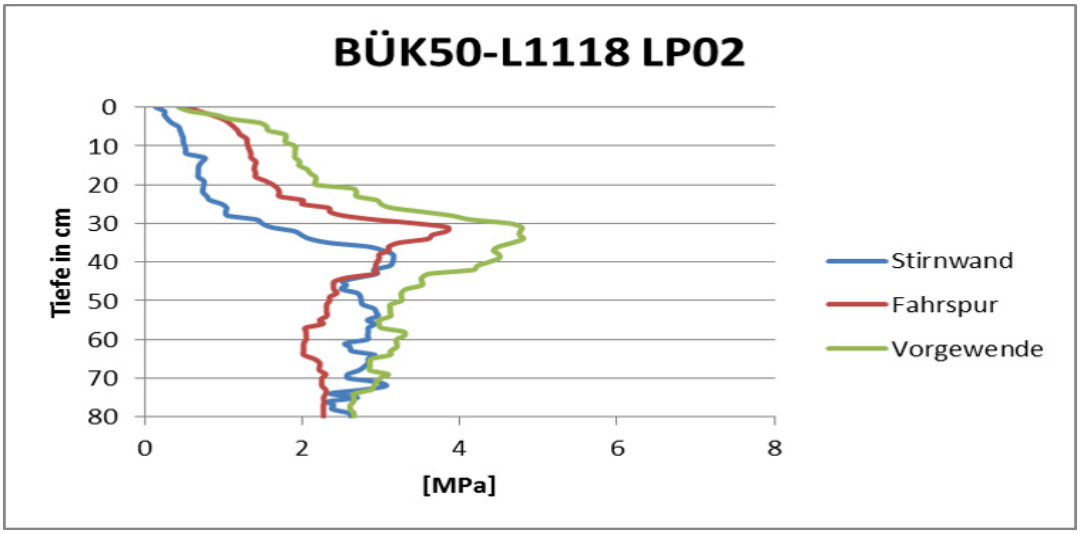


Abbildung 7: Messungen des Eindringwiderstandes mit dem Penetrologger: Messergebnisse (Filipinski 2017).

Böden aus Marschensedimenten weisen aufgrund ihrer feinen Körnung und der mit ihrer Grundwassernähe zusammenhängenden meist hohen Bodenfeuchte die niedrigsten Eindringwiderstände auf. Dies weist auf einen losen Zusammenhang zwischen der Trockenrohdichte und dem Eindringwiderstand hin.

Der unmittelbare Zusammenhang zwischen Bodenart und Eindringwiderstand ist ebenfalls lose, jedoch besteht ein starker Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte und Eindringwiderstand. Insofern stehen die Messergebnisse nicht im Gegensatz zur Feststellung, dass die Verdichtungsgefährdung und die tatsächliche Verdichtung des Bodens in den Marschen am höchsten sind. Dies drückt sich insbesondere in den sehr kurzen Zeitfenstern für eine fachgerechte Bearbeitung ackerbaulich genutzter Marschböden aus. Die stärksten Zunahmen der Eindringwiderstände mit der Tiefe sind in den Vorgewenden zu verzeichnen.

Einschätzung der Praxis

Ergänzend zu bodenbezogenen Untersuchungen wurde eine Praxisumfrage zur Betroffenheit landwirtschaftlich genutzter Flächen von Bodenverdichtungen durchgeführt, um einen Überblick über die Betroffenheit durch Bodenverdichtungen und ihre Folgen unmittelbar aus der Landbewirtschaftung zu bekommen (IGLU 2017; IGLU 2018; Bodenverdichtung in Schleswig-Holstein). Adressaten waren praktizierende Landwirte im gesamten Land Schleswig-Holstein, aber auch Mitglieder der Landesverbände der Maschinenringe und der Lohnunternehmer sowie landwirtschaftliche Berater.

Landwirte schätzen, dass rund zehn Prozent ihrer landwirtschaftlich genutzten Fläche von Verdichtung betroffen sind. Berater und Dienstleister gehen von höheren Anteilen verdichteter Fläche aus und schätzen das Problem auf Acker höher ein als auf Grünland (Abbildung 8).

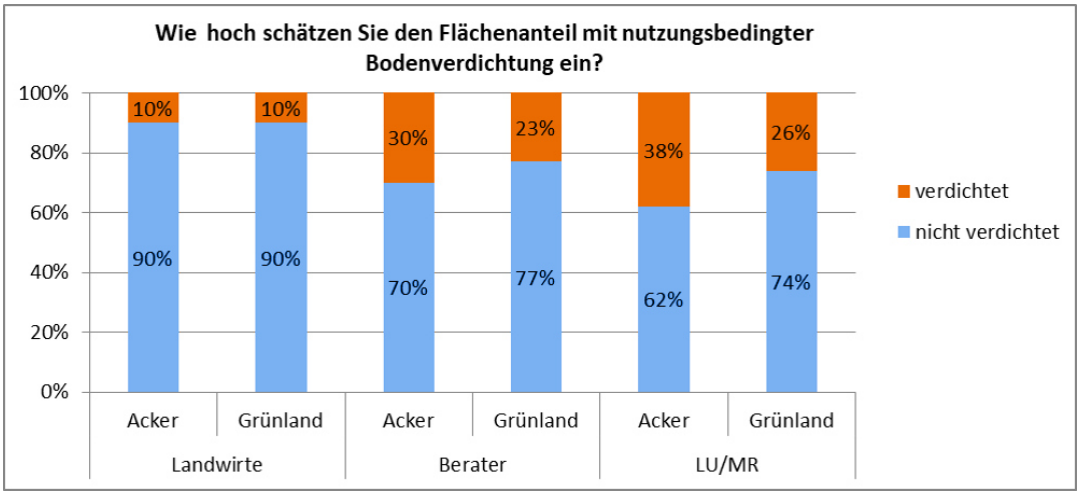


Abbildung 8: Praxisbefragung Bodenverdichtung: Flächenanteil nutzungsbedingter Bodenverdichtung (IGLU 2018).

Landwirte schätzen den Anteil verdichteter Ackerfläche überwiegend als konstant oder gestiegen ein. Berater und Dienstleister gehen überwiegend von einem Anstieg des verdichteten Flächenanteils aus (Abbildung 9).

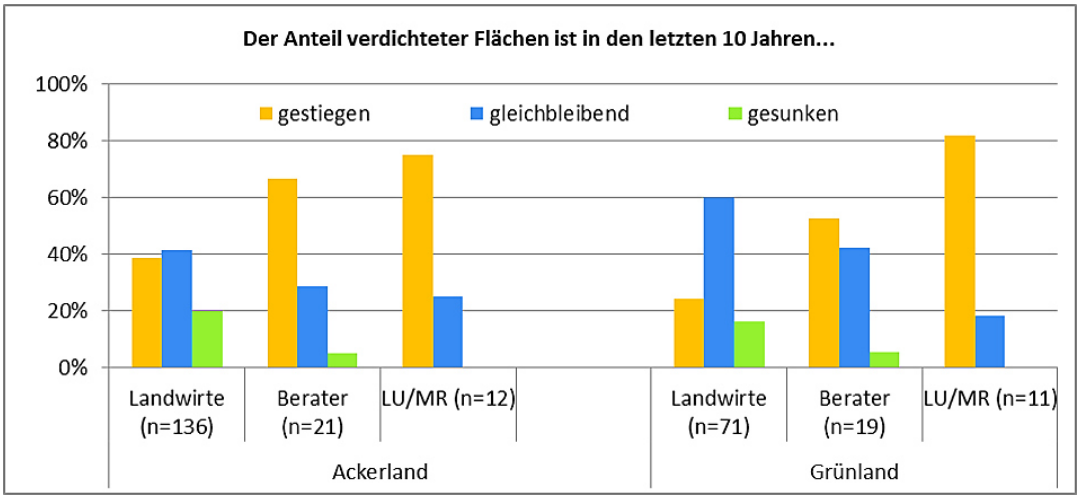


Abbildung 9: Praxisbefragung Bodenverdichtung: Entwicklung des Flächenanteils der Bodenverdichtung (IGLU 2018).

Die Einschätzungen der Ursachen für nutzungsbedingte Verdichtungen des Bodens sind bei Landwirten (LW), Dienstleistern (LU/MR) und Beratern (BE) ähnlich. Hauptursache ist ungünstige Witterung zum Bearbeitungszeitpunkt. Problemkultur ist der Silomais zur Ernte, insbesondere im Bereich der Vorgeest und der hohen Geest (Abbildung 10).

Mögliche Ursache:	ja [%]	Landwirte	LU/MR	Berater
Hohes Eigengewicht bei der Wirtschaftsdüngerausbringung		50%	62%	73%
Hohes Eigengewicht der Erntetechnik...	im Mais	80%	62%	82%
	im Rübenanbau	80%	38%	45%
	im Getreide/Raps	31%	23%	45%
	beim Feldgrasschnitt	25%	8%	23%
	beim Grünlandschnitt	27%	38%	45%
Unvermeidbare Befahrung der Flächen bei zu hoher Bodenfeuchte, z.B. durch...	ungünstige Witterung zum Bearbeitungszeitpunkt	61%	85%	77%
	zu geringe Schlagkraft, geringe zeitl. Flexibilität	21%	31%	23%
	Zeitpunkt d. Ernte für Lohnunternehmer nicht steuerbar	21%	31%	68%
keine Angabe		5%	8%	5%

Automatische Farbskala: grün = geringe Bedeutung rot = hohe Bedeutung der Ursache

LW: Angaben jeweils in % zur Anzahl der Betriebe, die die Kultur anbauen

Abbildung 10: Praxisbefragung Bodenverdichtung: Ursachen der Bodenverdichtung (IGLU 2017).

Die Ergebnisse der Praxisumfrage stellen zwar nicht die mit Messdaten belegte Situation des landwirtschaftlich genutzten Bodens in Schleswig-Holstein dar, geben aber die subjektive Einschätzung der Betroffenheit durch die vor Ort auf dem Boden Wirtschaftenden sehr gut wieder. Der Praxis ist bewusst, dass Bodenverdichtung durchaus ein aktuelles Problem der Landbewirtschaftung darstellt, das zur Verminderung der Bodenfruchtbarkeit und damit zu verminderten Erträgen führt. Die Gründe für die Verdichtung des Bodens und entsprechende Gegenmaßnahmen sind allgemein anerkannt.

Strategien und Lösungsansätze zur Vermeidung von Bodenverdichtungen

Acker- und pflanzenbauliche Vorsorgemöglichkeiten, Arbeitsverfahren bei der Bodennutzung sowie technische Möglichkeiten zur Minderung der Spannungen im Boden sollten in dieser präferenziellen Reihenfolge zur Vermeidung von Bodenverdichtungen durch landwirtschaftliche Nutzung eingesetzt werden (Brunotte et al. 2015).

Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfruchtbau, konservierende Bodenbearbeitung, Belassung von Ernterestoffen auf dem Feld sowie bedarfsgerechte Kalkung sind acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, die vor den anderen Möglichkeiten bevorzugt ergriffen werden sollten.

Leistungsfähige Technik sollte als Möglichkeit der zeitgerechten Bearbeitung des Bodens genutzt, aber nur dann eingesetzt werden, wenn dieser eine optimale Zustand hinsichtlich Bodenfeuchte und Bodenstruktur aufweist. Arbeitswirtschaftlich sollten Schlaglänge und Bunkerkapazität der Maschinen aufeinander abgestimmt, Zeitfenster mit gutem Erntewetter konsequent genutzt sowie die Überrollhäufigkeit durch Zusammenlegung von Arbeitsgängen unter besonderer Beachtung der Maschinengewichte zusammengelegt werden.

Kommen acker- und pflanzenbauliche sowie arbeitswirtschaftliche Möglichkeiten nicht hinreichend zum Zuge, sollte daneben bzw. stattdessen auf technische Möglichkeiten zur Minderung des Bodendruckes zurückgegriffen werden. Hierzu gehören unter anderem die Schaffung einer maximalen Kontaktfläche des Fahrwerkes und die Regelung des Reifeninnendrucks unter Berücksichtigung des Bodenzustandes. Technische Möglichkeiten dürfen nicht dazu verleiten, Leistung und Möglichkeiten großer Maschinen ohne Berücksichtigung des Bodenzustandes voll auszuschöpfen. Der beste Schutz gegen Bodenverdichtungen ist die konsequente Verminderung des Gesamtgewichtes landwirtschaftlicher Maschinen, die landwirtschaftlich genutzte Flächen befahren.

Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden in Schleswig-Holstein – ein unterschätztes Problem? Ein Resümee

Der Druck auf landwirtschaftlich genutzte Böden hat zugenommen. Die Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden ist ein Problem für Bodenfunktionen, Bodenfruchtbarkeit und Ertrag.

Abschätzungen der Gefährdung des Bodens durch Verdichtung liegen für unterschiedliche Szenarien vor und können im Internet eingesehen werden. Die Aus- und Bewertung vorhandener Datengrundlagen zeigt, dass Verdichtungen des Bodens vorliegen, ihre Zunahme aber nicht abgesichert belegt werden kann. Mittels des Feldverfahrens der Ermittlung des Eindringwiderstandes lassen sich flächenbezogene Messergebnisse erzielen, die Schwerpunkte der Bodenverdichtung in Vorgewenden und Fahrspuren (Fahrgassen) belegen. Das Ergebnis der Praxisumfrage bei Landwirten und Beratern belegt deren Einschätzung, dass die Verdichtung des Bodens insbesondere unter ackerbaulicher Nutzung insgesamt zugenommen hat. Wahrgenommen werden von der Praxis Bodenverdichtungen sowohl leichter als auch schwererer Böden, verbunden mit Ertragseinbußen.

Das Bewusstsein um die Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden in Schleswig-Holstein ist vorhanden. Das Problem wird nicht unterschätzt, bedarf aber weiterer Aufklärung und der Ergreifung weiterer und wirksamerer Gegenmaßnahmen. Eine der zentralen Fragen von Empfehlungen zum vorsorgenden Schutz des Bodens vor Verdichtungen und Möglichkeiten zu deren Umsetzung ist deren Akzeptanz vor dem Hintergrund betriebswirtschaftlicher Erfordernisse und der in der Landwirtschaft bestehenden schwierigen ökonomischen Situation.

Zitierte Literatur

Brunotte, J., Brandhuber, R., Vorderbrügge, T. & S. Schrader (2015): Vorsorge gegen Bodenverdichtung. In: Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. Herausgegeben vom aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e. V. 3614/2015. Bonn. Veröffentlicht im Internet unter: https://www.ble-medienservice.de/3614/Gute-fachliche-Praxis-Bodenbewirtschaftung-und-Bodenschutz.

Elsner, D.-C. (2016): Gefährdung des Bodens unter landwirtschaftlicher Nutzung durch Verdichtung – digitale Karten der Verdichtungsgefährdung im Internet Böden. Vortrag zum 2. Praxistag Boden – Ein Blick unter die Bodenkrume lohnt! am 24. Mai 2016 in Dörpstedt. Veranstalter: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein sowie Bildungszentrum für Natur, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Internetveröffentlichung unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/B/boden/Downloads/vortragElsner.

Filipinski, M. (2017): Lassen sich Boden(schad)verdichtungen mittels Penetrologger erkennen? – erste Erfahrungen – . Vortrag anlässlich einer internen Fortbildung des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Unveröffentlicht.

Fleige, H., Mordhorst, A., Burbaum, B., Cordsen, E., Filipinski, M. & R. Horn (2017): Natürliche und anthropogene Verdichtungen in Böden Schleswig-Holsteins: Nachweis von schädlichen Bodenveränderungen. Vortrag anlässlich der Jahrestagung 2017 der Deutschen bodenkundlichen Gesellschaft in Göttingen. Internetveröffentlichung unter http://eprints.dbges.de/1249/1/Fleige_Berichte.pdf.

IGLU (2017): Erweiterte Befragung von Beratern, Lohnunternehmern und Praktikern zur Betroffenheit landwirtschaftlich genutzter Flächen von Bodenverdichtungen unter Berücksichtigung regionaler Schwerpunkte und Problemlagen. Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt, Göttingen. Gutachten im Auftrage des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Unveröffentlicht.

IGLU (2018): Erweiterte Befragung von Beratern, Lohnunternehmern und Praktikern zur Betroffenheit landwirtschaftlich genutzter Flächen von Bodenverdichtungen unter Berücksichtigung regionaler Schwerpunkte und Problemlagen. Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt, Göttingen. Kurzfassung zum Gutachten im Auftrage des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Internetveröffentlichung unter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/B/boden/bodenverdichtung.html.

Mordhorst, A., Fleige, H. & R. Horn (2016): Auswertung von digitalen Datensätzen zu bodenphysikalischen Messungen an gestörten und ungestörten Bodenmaterialproben hinsichtlich Status und Veränderungen der Bodenverdichtung durch landwirtschaftliche Nutzung in Schleswig-Holstein. Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Gutachten im Auftrage des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein. Internetveröffentlichung unter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/B/boden/bodenverdichtung.html.

Weitere Informationen unter:

Bodenverdichtung in Schleswig-Holstein

https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/B/boden/bodenverdichtung.html

Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein – kontinuierliche Ermittlung von Datengrundlagen für den vorsorgenden Bodenschutz

Dr. Marek Filipinski, Dr. Karen Klüver und Dr. Eckhard Cordsen
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek

1. Einführung

Im Rahmen des vorsorgenden Bodenschutzes nimmt die Boden-Dauerbeobachtung eine wichtige Stellung ein, da sie als ein Instrument der langfristigen Überwachung von Veränderungen des Zustandes und der Funktionen des Bodens wertvolle Daten liefert. Nur durch ein langfristig angelegtes Monitoringprogramm können die oft sehr langsam ablaufenden Veränderungen in Böden erkannt werden. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse kann dann entsprechend gehandelt werden.

Das Untersuchungsprogramm basiert auf dem von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) erarbeiteten und bundesweit abgestimmten Konzept "Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen" (Barth et al. 2000) sowie bei der Einrichtung auf dem Vorgängerpapier “Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ (SAG 1991). In Schleswig-Holstein wurde zur langfristigen Erfassung und Dokumentation von Veränderungen der Bodeneigenschaften 1989 das Monitoringprogramm der Boden-Dauerbeobachtung auf der Grundlage der Empfehlungen dieser bundesweiten Arbeitskreise initiiert. In ihrer Gesamtheit spiegeln die Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein die Vielfalt des Bodens, der Ausgangsmaterialien, der Nutzung und der Eintragssituation aus der Luft in Schleswig-Holstein repräsentativ wider. Annähernd zeitgleich etablierten sich ähnliche Programme in anderen deutschen Bundesländern.

Die Merkmalsdokumentation erfolgt an 37 Standorten, den sogenannten Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen. An fünf ausgesuchten Standorten wird im Rahmen der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung eine Prozessdokumentation durchgeführt, das heißt, dass die im Boden ablaufenden Stoffflüsse dokumentiert und mit Maß und Zahl kontinuierlich erfasst werden.

An geeigneten 19 Standorten werden in 14-tägigen Abständen die oberflächennahen Grundwasserstände in unmittelbar an den Flächen liegenden Brunnen erfasst.

Um Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden zu untersuchen, werden an zwei landwirtschaftlich genutzten Standorten über das ganze Jahr in einem stündlichen Messintervall Bodentemperatur sowie Wassergehalt und Wasserspannung erfasst.

Biologische Indikatorverfahren wie bodenmikrobiologische, bodenzoologische und pflanzensoziologische Untersuchungen sowie bis zum Jahr 2009 lichenologische Untersuchungen unterstützen die Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein und ergänzen das Verfahrensspektrum.

2. Aufbau der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein

In Schleswig-Holstein werden 37 Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) auf Standorten unterschiedlicher Nutzungen wie Acker (16 Standorte), Grünland (12 Standorte), Wald (5 Standorte), Sukzessionsflächen (3 Standorte) und einer Baumschule betrieben (s. Abbildung 1).

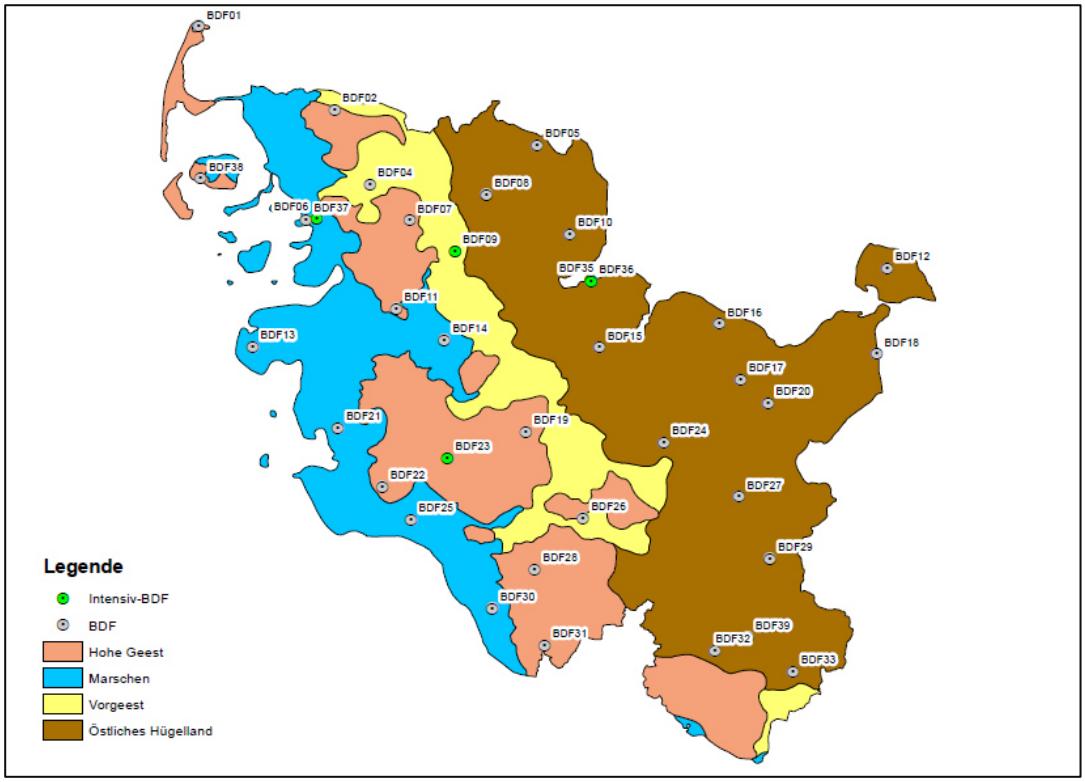


Abbildung 1: Lage der Basis- und Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein.

Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurden nach Gesichtspunkten der Repräsentativität hinsichtlich der Böden, der Nutzung und natürlicher Gegebenheiten ausgewählt.

Um eine langfristige Verfügbarkeit dieser Flächen als Boden-Dauerbeobachtungsflächen zu gewährleisten, wurden mit den Landwirten als Partnern vor Ort Gestattungsverträge abgeschlossen. Damit werden Betretungs- und Probenentnahmerechte gesichert sowie Bewirtschaftungsdaten von den Flächenbewirtschaftern zur Verfügung gestellt.

So wird für jede land- bzw. forstwirtschaftlich genutzte Boden-Dauerbeobachtungsfläche eine Schlagkartei geführt, in der die Bewirtschaftung, wie Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen, Bodenbearbeitung und Erträge detailliert und fortlaufend dokumentiert werden.

Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen weisen mit zwei Ausnahmen eine Größe von 1000 m² auf.

Das Verfahren der Boden-Dauerbeobachtung umfasst die Einrichtung, die Grundinventur und die regelmäßigen Wiederholungsuntersuchungen der Untersuchungsflächen. Mittels Bohrungen und bodenkundlicher Aufnahme wird neben der Fläche selbst auch das Umfeld der Untersuchungsflächen aufgenommen. Der die Flächen prägende Boden wird ausführlich beschrieben. Die Bodenmerkmale werden anhand einer Profilgrube aufgenommen sowie Bodenmaterialproben aus allen Bodenhorizonten entnommen. Zusätzlich werden die Untersuchungsflächen durch die Ansprache und Untersuchung von achtzehn Bohrkernen raumbezogen aufgenommen. Die Bohransatzpunkte liegen auf den Flächendiagonalen (s. Abbildung 2).

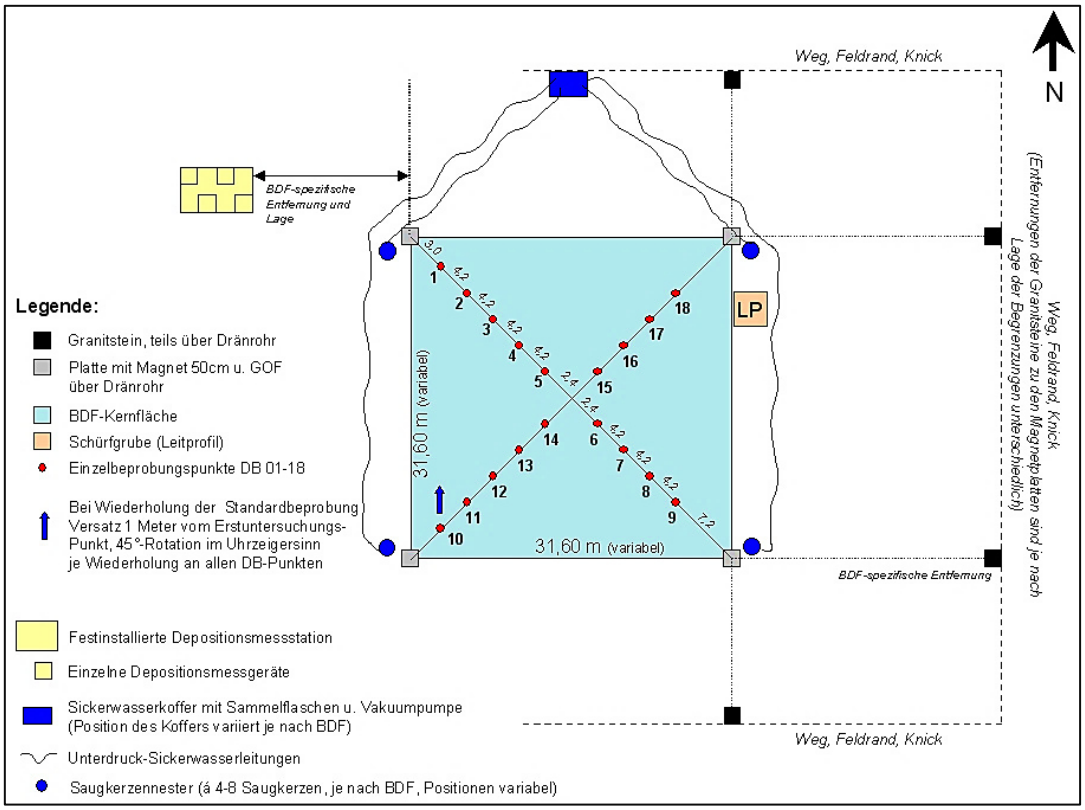


Abbildung 2: Aufbau einer Basis-Boden-Dauerbeobachtungsfläche, erweitert zu einer Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche einschließlich Saugkerzen- und Depositionsmessanlage (CAU 2010).

Die bodenkundliche Ansprache erfolgt nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung der Staatlichen Geologischen Dienste (Ad-hoc-AG Boden 2005).

Für die laboranalytischen Untersuchungen werden horizontbezogen jeweils sechs Proben zu einer Mischprobe zusammengefasst.

Die langfristige Überwachung von Veränderungen des Bodens erfolgt durch regelmäßige Wiederholungsuntersuchungen. Nach 1999 und 2009 begann im Jahr 2014 die dritte Wiederholungserhebung. Ackerland wird in der Regel bis zu einer Tiefe von dreißig Zentimetern unter Geländeoberfläche, Grünland bis zu einer Tiefe von fünf Zentimetern untersucht. Unter Wald werden die organische Auflage und der mineralische Oberboden getrennt voneinander beprobt, der mineralische Oberboden in der Regel bis zu einer Tiefe von fünf Zentimetern. Die bodenphysikalischen und geochemischen Untersuchungen der entnommenen ungestörten und gestörten Bodenmaterialproben umfassen folgendes Untersuchungsspektrum: Neben Korngrößenverteilung, bodenphysikalischen Kennwerten zum Wasserhaushalt und Standardkennwerten wie dem Gehalt an organischem Kohlenstoff, pH-Wert (Acidität), Gehalten an Carbonaten, austauschbaren Kationen und Nährelementen werden auch die Gehalte an Schwermetallen, Arsen und weiteren Elementen im Gesamtaufschluss bestimmt.

Abweichend von diesen Untersuchungsintervallen wurden die Oberböden der Boden-Dauerbeobachtungsflächen insgesamt drei Mal auf organische Schadstoffe untersucht.

3. Ergebnisse

Die Bewertung von Veränderungen der Bodenbeschaffenheit und des Bodenzustands anhand von Zeitreihenanalysen bodenphysikalischer und geochemischer Messwerte erfordert eine statistische Absicherung. Eine verhältnismäßig große Schwankungsbreite der gemessenen Werte begründet sich in Änderungen der Randbedingungen und der Methodik der durchgeführten Untersuchungen. Insbesondere in den ersten zehn Jahren der Laufzeit des Programms "Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein" befand sich das Probenentnahmedesign noch in der Entwicklung. Geochemische Untersuchungsmethoden sind inzwischen fachlich wesentlich weiterentwickelt, gerätetechnisch verändert und empfindlicher geworden (LLUR 2014). Hinzu kommt, dass bislang nicht hinreichend viele Einzelmesswerte erhoben und insbesondere bei bodenphysikalischen, aber auch bei Untersuchungen auf Organika, bei verfahrensbedingten Werteschwankungen nicht ausreichend viele Paralleluntersuchungen durchgeführt werden konnten. Sind Veränderungen des Bodens festzustellen, beginnt die Ursachenermittlung. Selten sind zunehmende oder abnehmende Gehalte von Stoffen im Boden sofort eindeutig einzelnen Einflussfaktoren zuzuordnen. Das Verfahren der Boden-Dauerbeobachtung ist auch dann weiterzuführen, wenn Auswertungen statistisch abgesichert zunächst keine Veränderungen des Bodens anzeigen.

3.1 Entwicklung der Humusgehalte

Die Boden-Dauerbeobachtung wird zur Ermittlung langfristiger Veränderungen des Bodens eingesetzt. Bewirtschaftungs- oder witterungsbedingte Schwankungen von Bodenkennwerten im Jahresverlauf sind nicht die Zielgröße der Betrachtung und der Auswertung.

Aus diesem Grunde eignen sich für die Boden-Dauerbeobachtung am besten solche Kennwerte des Oberbodens, die keinen kurzfristigen Schwankungen unterliegen und deren langfristige Veränderungen messbar sind. Vielfach wird die Besorgnis geäußert, dass die Humusgehalte langfristig abnehmen, da in der Landbewirtschaftung nicht ausreichend auf eine stabile Humusversorgung geachtet wird und der Klimawandel zusätzlich zur Beschleunigung von Umsetzungsprozessen im Boden beiträgt. Es konnten signifikante Änderungen der Humusgehalte an einer durch Winderosion geprägten Fläche und an zwei durch Nutzungswandel vom Dauergrünland zum Acker geprägten Flächen beobachtet werden. Beobachtungen aus dem Monitoringprogramm zeigen außerdem, dass auf flachgründigen Ackerstandorten humusarmes Unterbodenmaterial hochgepflügt wird, was zur Vermischung mit dem humosen Oberboden führt. Die Folge sind Abnahmen der Humusgehalte, die nicht auf den nutzungsbedingten Humusabbau, sondern auf mechanische Vermischungseffekte zurückzuführen sind. Es ist zu beachten, dass dabei, wie auch bei der Umwandlung von Dauergrünland in Acker, zwar die Humusgehalte im Oberboden sinken, damit jedoch nicht in gleichem Maße der Rückgang der für die Bodenfruchtbarkeit maßgeblichen Humusmenge im Boden verbunden ist. Auf intensiv genutzten Ackerstandorten wurde während einer fast dreißigjährigen Beobachtungsdauer keine Abnahme der Humusgehalte beobachtet (s. Abbildung 3).

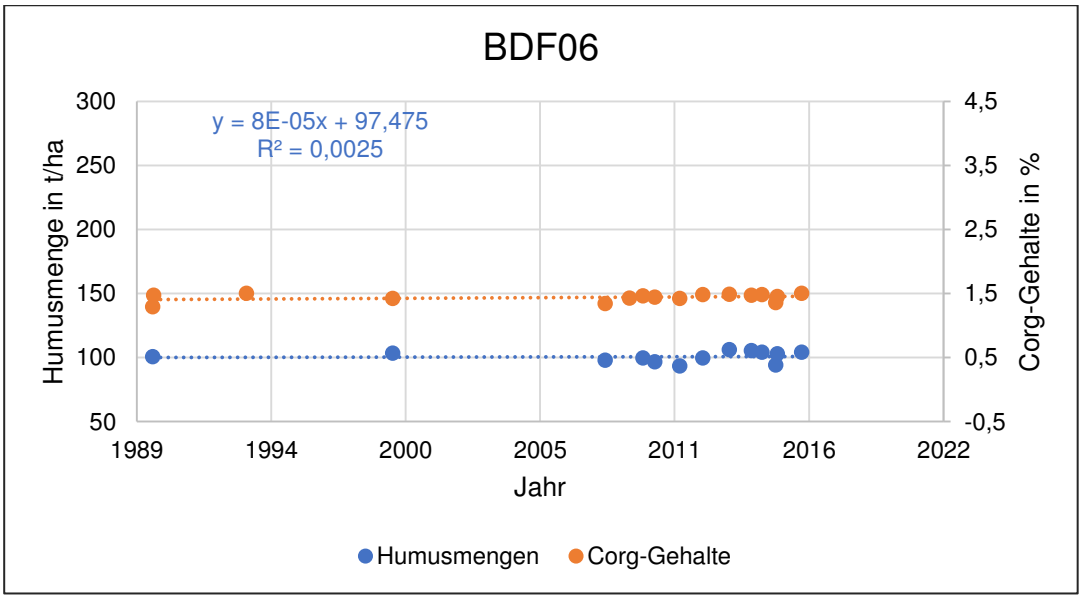


Abbildung 3: Entwicklung von Humusgehalten auf intensiv genutzten Ackerstandorten.

Diese Tendenzen sind u.a. darauf zurückzuführen, dass mit den hohen Erträgen entsprechend große Mengen an Wurzelmasse und Ernteresten anfallen. Die Wurzelmasse verbleibt im Boden. Werden die Erntereste wie das Stroh nicht abgefahren sondern eingearbeitet, trägt dies zu einer entscheidenden Verbesserung der Humusbilanz bei. Die Humuszufuhr kompensiert dann die Humusverluste.

Insgesamt bestätigt sich die Besorgnis bezüglich abnehmender Humusgehalte im Boden aufgrund der Bewirtschaftung anhand der hier untersuchten Boden-Dauerbeobachtungsflächen für Schleswig-Holstein derzeit nicht. Bewirtschaftungsmaßnahmen wie eine intensive Entwässerung, die eine starke Mineralisierung und damit den Humusabbau fördert, wurden während des Untersuchungszeitraums auf keinem der untersuchten Standorte durchgeführt. Ein Vergleich der nach der VDLUFA-Methode angenommenen Entwicklung der Humusgehalte als Folge des Anbaus von Humus mehrenden und Humus zehrenden Nutzpflanzen steht in keiner Beziehung zu den im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung gemessenen Humusgehalten und -mengen (VDLUFA 2014) (s. Abbildung 4).

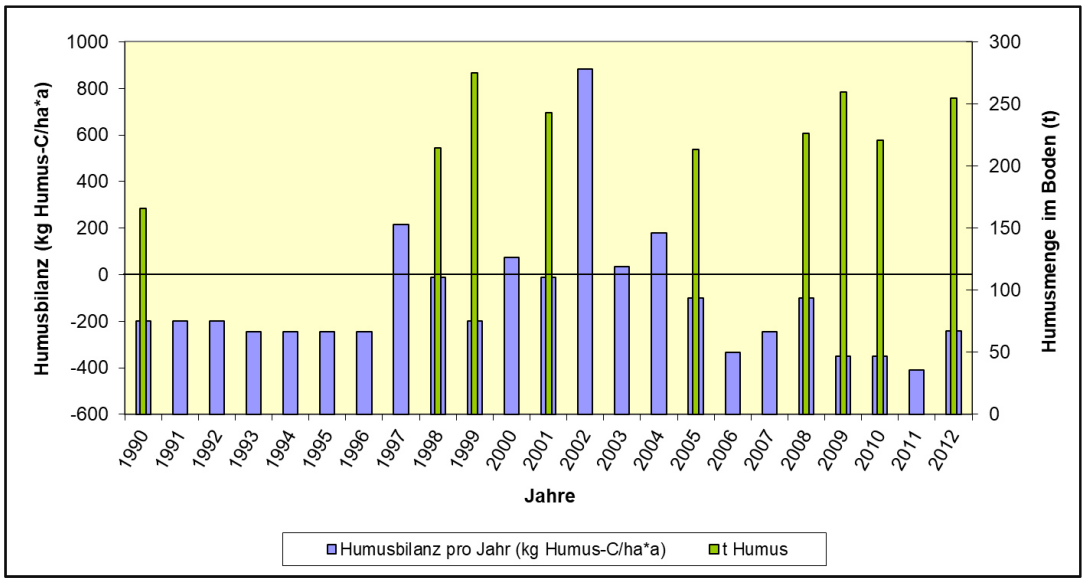


Abbildung 4: Vergleich der Ergebnisse der Humusbilanzierung mit der Entwicklung konkret gemessener Werte der Humusmenge im Boden.

Die Humusbilanzierungsmethode der VDLUFA (VDLUFA 2014) dient der Förderung der nachhaltigen Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Flächen, bildet aber nicht die Entwicklung konkret gemessener Werte zu Humusgehalt und Humusmenge im Boden ab.

3.2. Entwicklung der Gehalte an anorganischen Schadstoffen im Boden

Die Gruppe untersuchter anorganischer Schadstoffe im Boden setzt sich aus Schwermetallen und Arsen zusammen. Zur Kennzeichnung von Veränderungen der Gehalte an diesen Elementen im Oberboden der Boden-Dauerbeobachtungsflächen werden die jeweiligen Gesamtgehalte gemessen. Die Gesamtgehalte sind für die Detektion von Veränderungen besonders geeignet, da sie höhere Gehalte als Teilfraktionen und geringere Schwankungsbreiten aufweisen und somit gut messbar sind.

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen sind in sandigem Ausgangsmaterial in der Regel sehr gering. Gerade zu Beginn der Boden-Dauerbeobachtung lagen die Messwerte oft unter den jeweiligen Bestimmungsgrenzen. Die bisherige Auswertung ergibt, dass die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Arsen auf den verschiedenen Flächen über die Zeit sowohl Zu- als auch Abnahmen aufweisen. Für belastbare Zeitreihen dieser Messwerte zur Ableitung von Aussagen zu Entwicklungen bzw. von Trends ist die bisherige Datengrundlage allerdings noch zu gering.

3.3 Entwicklung der organischen Schadstoffgehalte

Untersuchungen auf die Gehalte an organischen Schadstoffen im Boden aller Basis-Dauerbeobachtungsflächen wurden erstmalig ab 1990 an Bodenmaterial durchgeführt. Vollständig wiederholt wurden diese Untersuchungen im Jahr 2009 sowie in den Jahren 2014 bis 2017. Dadurch und durch die Untersuchung von jeweils drei Mischproben von jeder Boden-Dauerbeobachtungsfläche bei der jüngsten Inventur zur Ermittlung der Standardabweichung kann erstmalig die Entwicklung der Gehalte an organischen Schadstoffen in Bodenmaterialproben der Boden-Dauerbeobachtungsflächen dokumentiert und berechnet werden. Zuvor gelangte je Boden-Dauerbeobachtungsfläche nur jeweils eine Mischprobe zur Untersuchung. Aus dem Bereich organischer Verbindungen sind in der Hauptsache solche aus den chemischen Verbindungsklassen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe, der polychlorierten Biphenyle, der dioxinähnlichen polychlorierten Biphenyle, der polychlorierten Dibenzodioxine und der polychlorierten Dibenzofurane untersucht worden. Zum Programmstart wurden zusätzlich Pflanzenschutzmittel in die Untersuchungen einbezogen. Die ermittelten Gehalte an organischen Verbindungen sind überwiegend sehr gering, häufig liegen sie unterhalb der Bestimmungs- oder sogar unterhalb der Nachweisgrenze. Die Messschwankungen sind methodenbedingt im Vergleich zu anorganischen Stoffen verhältnismäßig hoch. Innerhalb der Programmlaufzeit wurden die Untersuchungsverfahren zunehmend empfindlicher, jedoch können belastbar auswertbare Zeitreihen für diese Stoffgruppe innerhalb des Boden-Dauerbeobachtungsprogramms in Schleswig-Holstein erst längerfristig aufgestellt werden.

3.4 Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung

Fünf der Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurden seit 2003 für vertiefende Untersuchungen zur Prozessdokumentation zu Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen ausgebaut. Hier werden Einträge durch Deposition, durch mineralische und organische Düngung sowie durch Austräge von Nähr- und Schadstoffen durch Ernteentzug, durch Abfuhr mit dem Sickerwasser sowie einmalig von Tierarzneimittelrückständen in gesonderten messtechnisch anspruchsvollen und zeitlich eng getakteten Messungen erfasst. Der Hauptuntersuchungsansatz betrifft die Nährstoffdynamik im Boden, weshalb sich vier der fünf Untersuchungsflächen unter ackerbaulicher Nutzung befinden. Sie decken mit der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche in der Marsch (BDF06), in der Hohen Geest (BDF23), in der Vorgeest (BDF09) und im Östlichen Hügelland (BDF36) die vier schleswig-holsteinischen Naturräume ab.

Hinzu kommt die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche unter Grünlandnutzung (BDF35), die sich in unmittelbarer Nähe zur BDF36 befindet. Die beiden letztgenannten Flächen werden ökologisch bewirtschaftet und erlauben einen Vergleich der Nutzungen Acker und Grünland.

Jeweils im Frühjahr werden auf den Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen jährlich in gleicher Art und Weise wie von den Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen ungestörte und gestörte Oberbodenmaterialproben entnommen. Sie werden auf bodenphysikalische Kennwerte zum Wasserhaushalt, geochemische Standardkennwerte wie den Gehalt an organischem Kohlenstoff, den pH-Wert und den Gehalt an Carbonaten untersucht. Weiterhin werden die Gehalte an austauschbaren Kationen und Nährelementen sowie auf die Gehalte an Schwermetallen, Arsen und weiteren Elementen im Königswasseraufschluss gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung erfasst. Bei ackerbaulicher Nutzung des Bodens werden zur Kennzeichnung der Pflanzenverfügbarkeit weitere Elemente im Ammoniumnitrataufschluss bestimmt.

Zur Beschreibung der Stickstoffdynamik im Boden und der Einschätzung des Stickstoff-Austragspotenzials werden Bodenmaterialproben in unmittelbarer Nähe der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen entnommen und auf die Gehalte an verfügbarem mineralisierten sowie an organisch gebundenem Stickstoff analysiert. Die Probenentnahme erfolgt in den Tiefen null bis dreißig, dreißig bis sechzig und sechzig bis neunzig Zentimeter unter Geländeoberfläche. Sie wird an insgesamt drei Terminen zu Vegetationsbeginn Ende März, unmittelbar nach der Ernte im August/September und zum Ende der Vegetationsperiode im November durchgeführt.

Zur Ermittlung des Nährstoffaustrages mit dem Sickerwasser wird dieses anhand von sogenannten Saugkerzen beprobt. Bei Saugkerzen handelt es sich um Hohlkörper, die über Poren mit dem Boden kommunizieren (Abbildung 5).

Abbildung 5: Saugkerze zur Gewinnung von Sickerwasser an den Standorten der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung.

Zur Gewinnung von Sickerwasserproben werden die Saugkerzen über einen Schlauch mit einem Sammelgefäß verbunden, in dem kontinuierlich Unterdruck hergestellt wird. Die Einbautiefe der Saugkerzen beträgt fünfundsiebzig Zentimeter unter Geländeoberfläche. Hierdurch ist auch sichergestellt, dass, wie für das Untersuchungsprogramm erforderlich, die Bewirtschaftung der Fläche ohne Rücksicht auf die eingebauten Apparaturen weitergeführt werden kann. Die Probenentnahme aus den Sammelgefäßen erfolgt wöchentlich. In den Wasserproben werden die Gehalte an Stickstoff, Phosphor und Kalium bestimmt. Seit 2012 werden im Sickerwasser zur Erfassung der Schadstoffsituation zusätzlich die Gehalte an Schwermetallen und weiteren Elementen untersucht.

Zur Erfassung der Niederschläge und der Einträge aus der Luft (nasse Deposition und Gesamtdeposition) ist jede Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche mit einer Depositionsmessstelle ausgestattet (Abbildung 6). Die in der Depositionsmessstelle gewonnenen Proben werden ebenfalls auf ihre Gehalte an Nähr- und Schadstoffen untersucht.

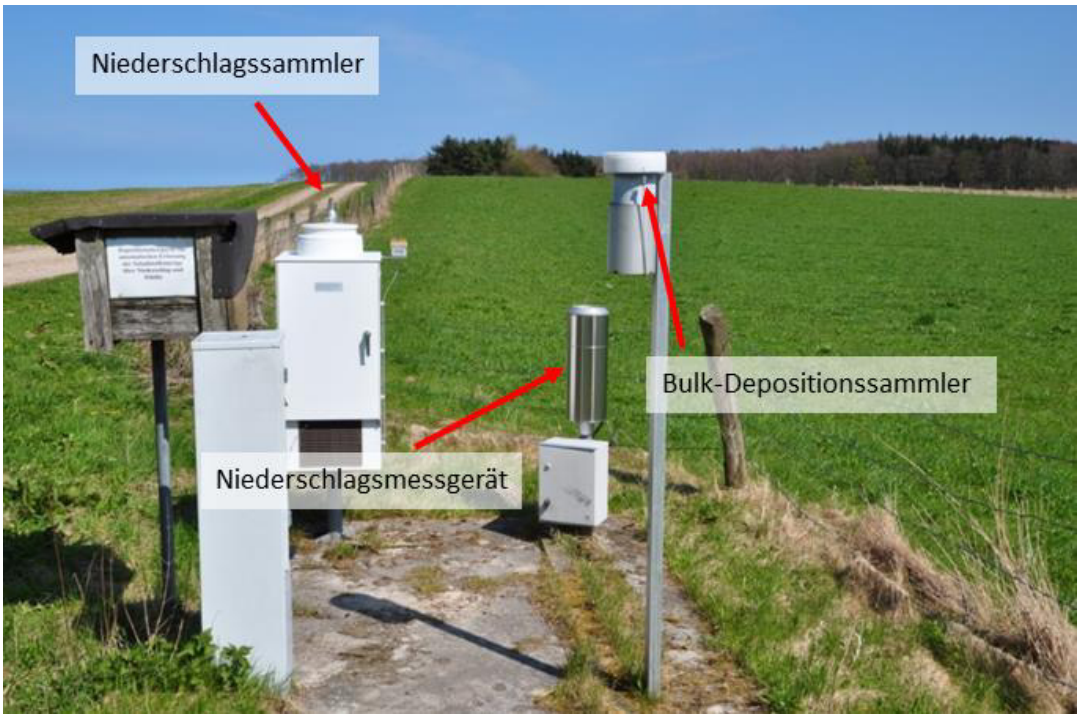


Abbildung 6: Niederschlags- und Depositionsmessstelle.

Zur Ermittlung bewirtschaftungsbedingter Ein- und Austräge werden über Dünger eingebrachte sowie mit dem Erntegut und mit dem Sickerwasser ausgetragene Nähr- und Schadstoffe erfasst und untersucht.

3.4.1 Stickstoffdynamik

Stickstoff ist ein essentielles Hauptnährelement für Kulturpflanzen und wird im landwirtschaftlichen Pflanzenbau vielfach intensiv gedüngt.

3.4.1.1 Stickstoff im Boden

Durch Zufuhr mit der Düngung entstehende Überschüsse an Stickstoff, die den Bedarf der Kulturpflanzen übersteigen und nicht aufgenommen werden können, verbleiben nicht lange im Boden: Sie sind zum größten Teil im Bodenwasser gelöst und verlassen den durchwurzelten Bereich mit dem Sickerwasser.

Gradmesser für den Überschuss an Stickstoff im Boden ist die Menge an mineralischem Stickstoff (N_{min}), die am Ende der Vegetationsperiode bis in 90 cm Bodentiefe gemessen wird. Dabei dient der Gehalt nach der Ernte als Indikator für den nicht ausgenutzten mineralischen Stickstoff, während der Gehalt am Ende der Vegetationsperiode das Stickstoffaustragspotenzial aus dem Boden beschreibt. Zur Einstufung dieses Austragspotenzials werden die im Herbst gemessenen Gehalte an Stickstoff im Boden mit tolerierbaren Standardwerten verglichen. Gemäß Gewässerschutzberatung gelten bei durchschnittlichen Niederschlägen in Schleswig-Holstein in Abhängigkeit von der Bodenart die in Tabelle 1 aufgeführten tolerierbaren Maximalwerte.

Tabelle 1: Tolerierbare Stickstoffgehalte im Boden am Ende der Vegetationsperiode (MELUR 2012).

Sand (Mittelsand, Grobsand, Feinsand und schluffiger Sand)	20 kg N/ha
lehmiger Sand (lehmiger Sand und toniger Sand)	30 kg N/ha
Lehm/Ton (sandiger Lehm, schluffiger Lehm, toniger Lehm, lehmiger Schluff, schluffiger Ton und Ton)	40 kg N/ha

Die Gehalte an mineralischem Stickstoff weisen im Herbst im Boden aller Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen starke Schwankungen und auch deutliche Überschreitungen der tolerierbaren Gehalte auf. Im Boden der konventionell bewirtschafteten Ackerstandorte wurden die jeweils tolerierbaren Gehalte an mineralischem Stickstoff im Boden im Herbst bei der in den Marschen gelegenen Untersuchungsfläche BDF06 in vier von fünf Jahren, bei der in der Vorgeest gelegenen Untersuchungsfläche BDF09 in sechs von sieben Jahren überschritten.

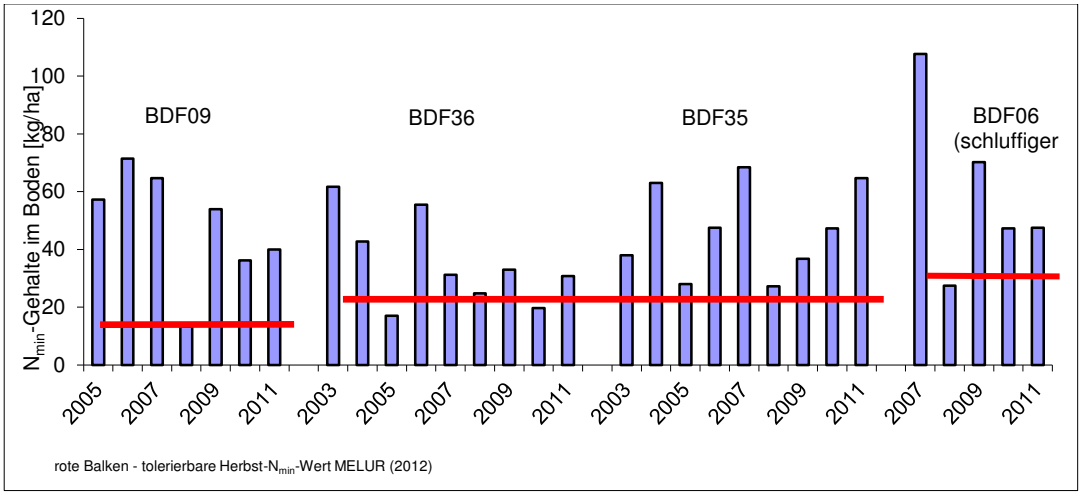


Abbildung 7: Gemessene Herbst-N_{min}-Werte auf den untersuchten Boden-Dauerbeobachtungsflächen sowie tolerierbare Herbst-N_{min}-Werte für die Bodenarten Sand, lehmiger Sand und Lehm/Ton (gemäß MELUR 2012).

Am ökologisch bewirtschafteten Ackerstandort im Östlichen Hügelland (BDF36) überschritt der Gehalt an mineralischem Stickstoff im Boden im Herbst in sechs von neun Jahren die tolerierbaren Gehalte, wobei jedoch in drei Jahren die Gehalte nur unwesentlich überschritten werden. Im Boden des ökologisch bewirtschafteten Grünlandstandortes im Östlichen Hügelland (BDF35) wurden die tolerierbaren Gehalte an mineralischem Stickstoff in sieben von neun Jahren überschritten. Hier wurden unter anderem Luftstickstoff bindende Leguminosen, z.B. Kleegras, angebaut. Besonders kritisch zu sehen sind die Überschreitungen im sandigen Boden des Ackerstandortes in der Vorgeest, da auf diesem sorptionsschwachen Standort eine erhöhte Gefahr einer raschen Verlagerung von Stickstoff, vor allem als Nitrat, in das Grundwasser besteht.

3.4.1.2 Stickstoffbilanzen

Zur Ermittlung der Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser werden die Sickerwassermengen anhand einer Bodenwasserbilanz berechnet. Die Stickstoffeinträge durch Niederschläge betragen in Schleswig-Holstein jährlich zwischen neun und elf Kilogramm je Hektar.

Die Messungen zur Nitratverlagerung sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen im Sickerwasser werden hierfür mit den ermittelten jährlichen Sickerwassermengen in Stickstofffrachten umgerechnet.

Diese werden zu den Frachten in Beziehung gesetzt, die auf Grundlage des durch die Grundwasserverordnung vorgeschriebenen Schwellenwertes für Nitrat von 50 mg NO_3/l berechnet werden (kritische Stickstofffracht).

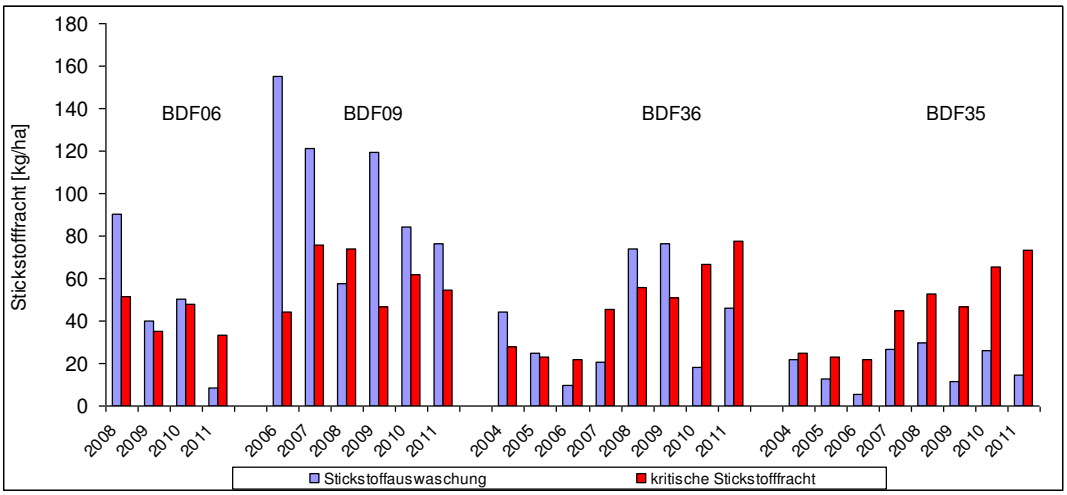


Abbildung 8: Stickstoffausträge und kritische Stickstofffrachten.

Aus Abbildung 8 geht hervor, dass auf dem Geeststandort (BDF09) die kritische Stickstofffracht fast jedes Jahr zum Teil deutlich überschritten wird. Auf dem Marschenstandort (BDF06) mit Boden aus schluffigem Lehm fallen die Überschreitungen geringer aus.

Die kritische Stickstofffracht im Boden auf dem ökologisch bewirtschafteten Ackerstandort (BF36) wird im Vergleich mit den konventionellen Standorten weniger häufig und weniger deutlich überschritten. Der ökologisch bewirtschaftete Grünlandstandort (BDF35) überschreitet in keinem Jahr die kritische Stickstofffracht. Dazu trägt der ganzjährige Pflanzenbewuchs bei, der bei entsprechender Witterung eine stetige Stickstoffaufnahme ermöglicht. Da verlagertes Nitrat im Boden auf dem Weg ins Grundwasser Denitrifikations- also Abbauprozessen unterliegen kann, sind die berechneten Frachten nicht automatisch gleichzusetzen mit Nitrateinträgen in das Grundwasser. Die Ergebnisse sind jedoch deutliche Hinweise auf das Nitrat-Austragspotenzial auf diesen Standorten. Deutlich zeigt sich die Abhängigkeit der Austräge von der Bewirtschaftung und der Bodenart.

3.4.2 Bedeutung der Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser

Nährstoffe werden über das Erntegut entzogen, im Boden gespeichert und mit dem Sickerwasser aus dem Boden ausgetragen. Neben den Bodeneigenschaften spielt für die Höhe der Austräge mit dem Sickerwasser das Mobilitätsverhalten der einzelnen Elemente eine bedeutende Rolle (s. Abbildung 9).

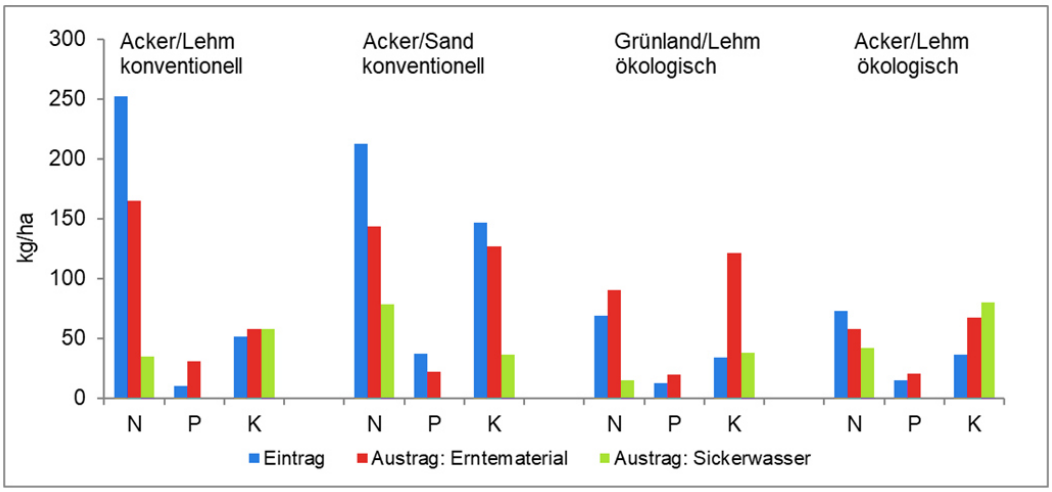


Abbildung 9: Austräge von Stickstoff, Phosphor und Kalium in Abhängigkeit von der Bodenart und von der Bodennutzung.

Aus Abbildung 9 geht hervor, dass bei konventioneller Wirtschaftsweise aufgrund des höheren Düngeniveaus höhere Gehalte an Stickstoff, Phosphor und teilweise Kalium ausgetragen werden als bei ökologischer Anbauweise. Weiterhin ist zu erkennen, dass im Gegensatz zu Stickstoff und Kalium Phosphor kaum mit dem Sickerwasser ausgetragen wird. Phosphor ist ein mit dem Sickerwasser kaum verlagerbares Element. Phosphoreinträge in Gewässer erfolgen neben den Drainagen daher vorrangig über den Eintrag vom Bodenmaterial als Folge von Bodenerosion. Beim Kalium kann ein erheblicher Teil (bis zu über 50 % der Gesamtausträge) mit dem Sickerwasser abgeführt werden.

Diese Ergebnisse sind für die Düngepraxis von besonderer Bedeutung. Um die unvermeidbaren Kaliumverluste mit dem Sickerwasser zu minimieren, ist eine an den Standort und an die Kulturen angepasste Kaliumdüngung besonders wichtig.

3.4.3 Bilanzierung an Arsen und Schwermetallen

Im Rahmen der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung werden Einträge über Depositionen und über Düngemittel sowie Austräge über Pflanzenentzug und über Sickerwasser für die Elemente As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb und Zn, im Sickerwasser außerdem Barium, Molybdän, Antimon, Selen, Vanadium, Thallium und Uran gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) bestimmt.

Die eingetragene und entzogene Menge an Schwermetallen hängt vom Element, von der Bewirtschaftung sowie von den Standortverhältnissen ab. Es können wenige bis einige hundert Gramm der jeweiligen Elemente ausgetragen werden, wie am Beispiel des Standortes in der Vorgeest (BDF09) zu erkennen ist (s. Abbildung 10).

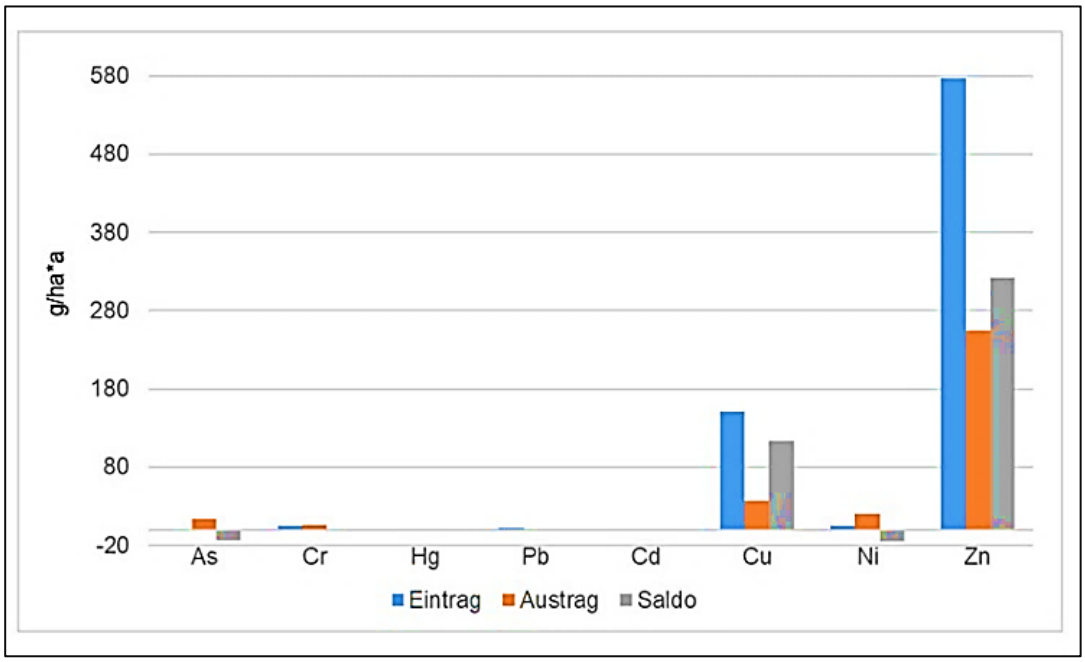


Abbildung 10: Ein- und Austräge sowie Salden von Arsen und Schwermetallen am Untersuchungsstandort BDF06 in der Marsch.

3.5. Oberflächennahe Grundwasserstände

Für die Entwicklung und Veränderungen von Böden spielen das Wasser im Boden und der Wasserhaushalt eine besonders wichtige Rolle. Aus diesem Grund werden an 19 Standorten der Boden-Dauerbeobachtung, an denen zumindest zeitweilig ungespanntes Wasser im Boden zu erwarten ist, in Peilrohren bis in Tiefen von zwei bis drei Metern unter Geländeoberfläche die oberflächennahen Grundwasserstände mittels manueller Ablesung im Turnus von 14 Tagen erfasst.

Nur an einem Standort in einem Naturschutzgebiet war ein starker Anstieg der oberflächennahen Grundwasserstände zu beobachten. An den anderen Standorten konnten zwar leichte Zu- sowie Abnahmen festgestellt werden, die jedoch keine Tendenz ihrer Entwicklung ergeben. Ein absolutes Trockenjahr wie 2018 bildet sich jedoch in den Messwerten eindeutig mit starkem Ausschlag nach unten ab. Einen typischen Verlauf der Wasserstände zeigt Abbildung 11 am Beispiel eines Standortes in der Vorgeest.

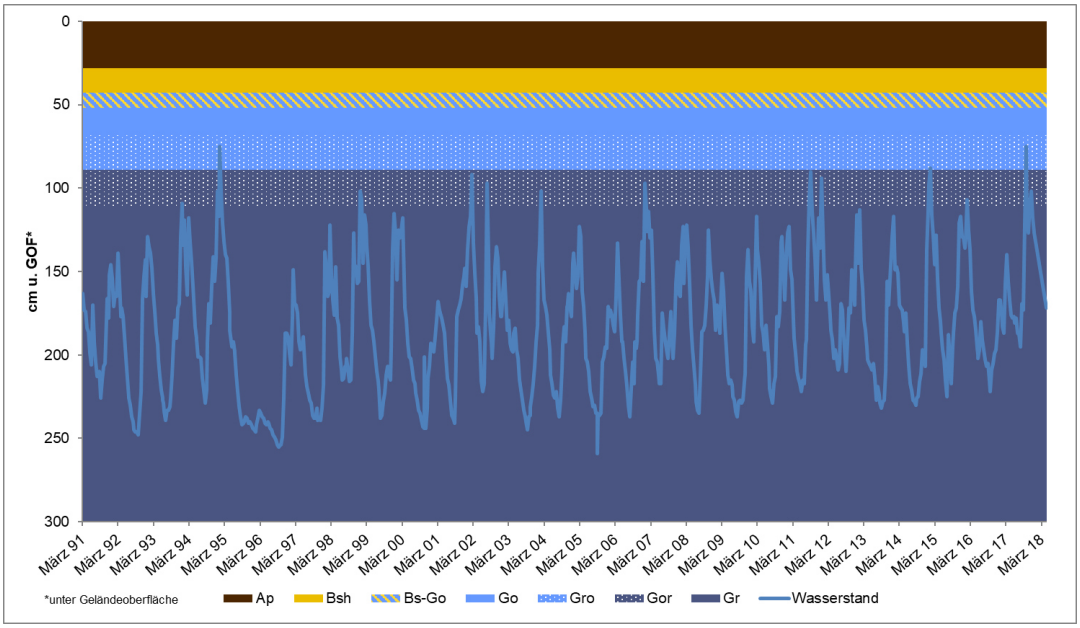


Abbildung 11: Verlauf der oberflächennahen Grundwasserstände an einem Geeststandort.

Abbildung 11 zeigt, dass wie erwartet langjährig im Winter die höchsten und im Sommer die niedrigsten Wasserstände gemessen werden. Die Schwankungsamplitude beträgt in einigen Fällen deutlich über einen Meter.

3.6. Bodenwasser und Bodentemperatur

Um den Einfluss des Klimawandels auf den Boden zu beobachten, werden seit dem Jahr 2017 an zwei landwirtschaftlich genutzten Standorten der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung über das ganze Jahr hinweg in einem stündlichen Messintervall Wassergehalt und Wasserspannung sowie Bodentemperatur erfasst. Dies erfolgt mit einer unter Flur installierten Messanlage, die die Bewirtschaftung nicht behindert. Die von den Messeinrichtungen gelieferten Kennwerte sind von zentraler Bedeutung für die Dokumentation der Auswirkungen von Klimaveränderungen auf den Boden.

Aus Abbildung 12 ist erkennbar, dass an diesem Standort die Wassergehalte im Boden relativ empfindlich auf Niederschlagsereignisse reagieren.

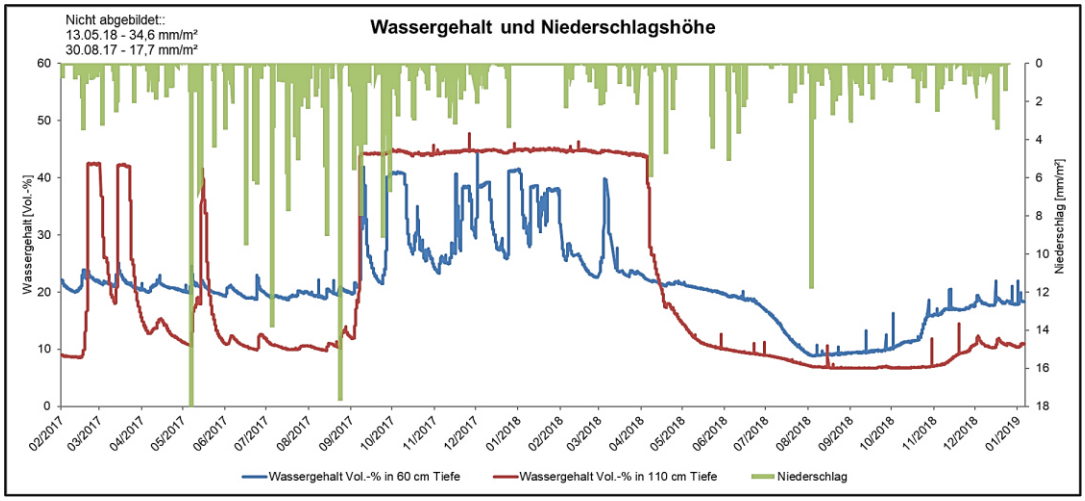


Abbildung 12: Wassergehalt und Niederschlagshöhe an der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche in der Vorgeest (BDF09).

3.7 Biologische Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Umsetzungsprozesse im Boden laufen unter Beteiligung von Bodentieren und Bodenmikroorganismen ab. Vorkommen, Art, Anzahl und Aktivität dieser Organismen zeigen die Beschaffenheit, den Zustand und die Entwicklung des Bodens und des gesamten Standortes an (IFAB 2014; Universität Trier 2004). Auch der Vegetation kommt insbesondere auf naturnahen Standorten und in Wäldern eine diesbezügliche Zeigerfunktion zu (NLU und EFTAS 2008; Abel und Zimmer 2010).

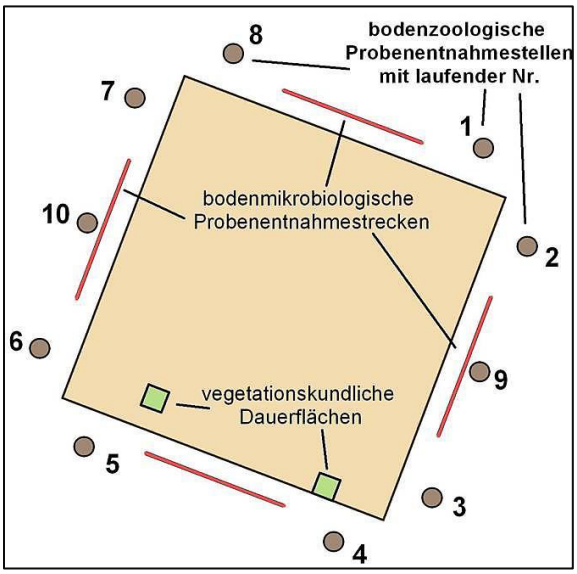


Abbildung 13: Schema der Flächen für bodenbiologische Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen (LLUR 2014).

Mit der Durchführung pflanzensoziologischer, bodenzoologischer und bodenmikrobiologischer Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen, wurde in der ersten Hälfte der 1990er Jahre begonnen.

Für jede Untersuchung werden jeweils andere Stellen unmittelbar außerhalb bzw. auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen aufgesucht, so dass die unterschiedlichen Erhebungen sich nicht gegenseitig beeinflussen (Abbildung 13).

3.7.1 Bodenmikrobiologische Untersuchungen

Bodenmikrobiologische Untersuchungen werden auf allen Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen, die wie beschrieben auch alle Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen umfassen, in einem dreijährigen Turnus jeweils zu Frühjahrsbeginn nach Abschluss der Frostperiode durchgeführt. Die bisher ermittelten Untersuchungsergebnisse der bodenmikrobiologischen Untersuchungen von Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein reichen zwar noch nicht aus, um Entwicklungstendenzen sicher belegen zu können. Hier gilt jedoch ebenfalls: Keine Veränderungen der Kennwerte sind auch eine wichtige Erkenntnis. Besonders hohe Abweichungen von den erwarteten Werten ergeben sich jedoch bei bestimmten Enzymaktivitäten wie der Arylsulfataseaktivität von Grünlandböden, der Argininammonifikation und der Dehydrogenaseaktivität der Auflagen sowie bei der Cellulaseaktivität des Bodens unter Wald (Auflage und Mineralbodenhorizonte), der Sukzessionsflächen und des untersuchten Dünenstandortes. Dies weist auf Veränderungen des Kohlenstoff- und des Stickstoffkreislaufs im Boden hin (LLUR 2014).

3.7.2 Bodenzoologische Untersuchungen

Regenwürmer (Lumbriciden) und Kleinringelwürmer (Enchyträen) charakterisieren die Zersetzergesellschaft im Boden. Bodenzoologische Untersuchungen werden auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen alle sechs Jahre jeweils im Herbst im durchfeuchteten und abgesetzten, jedoch nicht vernässten Boden durchgeführt. Auf landwirtschaftlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen treten die Einflüsse der Bewirtschaftung deutlich zu Tage. Auf nicht landwirtschaftlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen treten die Einflüsse der Standorteigenschaften sowie diffuse anthropogene Einflüsse stärker zutage. Punktuell ergeben sich Hinweise auf den Einfluss klimatischer Veränderungen, die weitere Beobachtung erfordern (LLUR 2014).

3.7.3 Pflanzensoziologische Untersuchungen

Vegetationskundliche und pflanzensoziologische Untersuchungen werden seit Beginn der Boden-Dauerbeobachtung in nutzungsbezogen unterschiedlichen Turni zwischen zwei und fünf Jahren durchgeführt. Die Untersuchungen auf ackerbaulich genutzten Flächen und auf intensiv genutztem Grünland wurden nach gut zehn Jahren zunächst verringert, späterhin eingestellt, da die Aussagefähigkeit der Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf die Anzeige von Bodenveränderungen hier durch nutzungsbedingte Überlagerungen zu gering ist. Boden-Dauerbeobachtungsflächen im Wald, auf extensiv genutztem Grünland sowie mit natürlicher Vegetation werden weiterhin untersucht. Untersuchungen im Wald wurden insgesamt fünf Mal durchgeführt, auf Flächen mit Grünland wurde bis zu sechs Mal, auf Ackerflächen bis zu drei Mal untersucht. Die Untersuchungsergebnisse dokumentieren, dass auf Ackerstandorten die Veränderungen im Bestand der Ackerbegleitflora durch unterschiedliche Kulturarten in den Fruchtfolgen bedingt sind. Vereinzelt führte das Witterungsgeschehen zu drastischen Änderungen.

Auf Grünlandstandorten lassen sich die festgestellten Veränderungen der Vegetationszusammensetzung vorwiegend auf nutzungsbedingte Maßnahmen wie Neu- und Nachsaat sowie Umstellung auf eine extensive Beweidung ohne Düngung zurückführen. Auf einer Düne, die sich in natürlicher Entwicklung befindet, ist ein ansteigender pH-Wert dokumentiert. Der Boden der Boden-Dauerbeobachtungsfläche auf einer ehemaligen Salzwiese trocknet zunehmend ab und süßt aus (LLUR 2014).

3.7.4 Lichenologische Untersuchungen

Zusätzlich zu den vegetationskundlichen Untersuchungen wurden in den Jahren 1992 bis 2009 lichenologische Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen mit dem Ziel durchgeführt, immissionsökologische und klimainduzierte Veränderungen der Standorte zu dokumentieren (LLUR 2014).

4. Schlussbetrachtung

Viele Bodenveränderungen erfolgen nur schleichend und werden erst langsam wirksam und sichtbar. Gerade deshalb ist ein langfristig angelegtes und kontinuierliches Bodenmonitoring so wichtig. Die bisherigen Zeitreihen reichen für einige Parameter noch nicht aus, um statistisch absicherbare Veränderungen oder aber auch die Stabilität von Bodenkennwerten zu belegen. Angesichts der sehr viel längeren, zum Teil weit über hundert Jahre reichenden Zeitreihen beispielsweise zum Wettergeschehen wird aber leicht nachvollziehbar, dass es einen langen Atem braucht, um Veränderungen eines sehr langsam reagierenden Systems zuverlässig zu erfassen.

5. Literatur

Abel & Zimmer GbR (2010): Gesamtgutachten zu lichenologischen Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein für den Zeitraum 2007 bis 2009 mit Darstellung der Entwicklung für den Zeitraum 1992 bis 2009. Gutachter: Diplom-Biologe Holger Abel und Diplom-Biologin Doris Zimmer. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage, Hannover. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart.

Barth, N., Brandtner, W., Cordsen, E., Dann, T., Emmerich, K.-H., Feldhaus, D., Kleefisch, B., Schilling, B. & J. Utermann (2000): Boden-Dauerbeobachtung – Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Ad hoc AG Bodendauerbeobachtung des ständigen Ausschusses Informationsgrundlagen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO). Loseblattwerk Bodenschutz – Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser 32. Lfg. XI/00, 33. Lfg. III/01. Herausgeber: Prof. Dr. Günther Bachmann, Prof. Dr. Wilhelm König und Dr. Jens Utermann. Erich Schmidt.

BBodSchV, Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 – (BGBl. I S. 1554), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 31 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212).

CAU, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (2010): Boden-Dauerbeobachtung Schleswig-Holstein: Auswertung der Projektergebnisse im Hinblick auf Aussagen zu Veränderungen von Böden, Aussagefähigkeit und Optimierung der eingesetzten Untersuchungsverfahren. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Ökologie-Zentrum, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft. Gutachter: Diplom-Geograph Rainer Nerger, Leitung: Prof. Dr. Nicola Fohrer. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.

IFAB, Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH (2014): Gesamtgutachten zu den bodenzoologischen Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein für den Zeitraum 1992 bis 2012. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.

LLUR, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2014): 25 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Schleswig-Holstein.

MELUR, Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2012): … zu viel gedüngt? Erfolgsparameter Herbst N_{min}. Gewässerschutzberatung zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Informationsfaltblatt, 6 Seiten. Fachliche Bearbeitung: Dr. Jürgen Buchholtz, GWS Nord. Kiel.

NLU-Projektgesellschaft mbH & Co. KG und EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH (2008): Gesamtgutachten zu vegetationskundlichen Untersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein. Gutachter: Dipl. Geogr. Dr. Patrick-Johannes Wolf, Dipl. Landschaftsökol. Barbara Schmitt, Dipl. Landschaftsökol. Verena Niegetied und Dipl. Landschaftsökol. cand. Kristin Fleischer. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.

SAG, Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Umweltschutz der Umweltministerkonferenz (1991): Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen – Bericht der Unterarbeitsgruppe ‘Boden-Dauerbeobachtungsflächen‘ im Auftrag der Sonderarbeitsgruppe ‘Informationsgrundlagen Bodenschutz‘. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Herausgeber): Arbeitshefte Bodenschutz 1.

VDLUFA, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2014): Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA Selbstverlag.

Universität Trier (2004): Gesamtgutachten zu bodenmikrobiologischen Untersuchungen an den BDF in Schleswig-Holstein im Zeitraum von 1995 bis 2002. Gutachter: Dr. Markus Quirin und Priv. Doz. Dr. Christoph Emmerling, Universität Trier, Fachbereich VI, Lehreinheit Bio-Geowissenschaften, Fach Bodenkunde. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.

Agrarflächen in Dänemark – wie Politik und Landwirtschaft damit umgehen

Jørgen Popp Petersen
Vorsitzender Landwirtschaftlicher Hauptverein Nordschleswig LHN

Danke für die Einladung zur Berichterstattung über die Agrarflächen/Strukturen der Bodenmärkte und der diesbezüglichen politischen Agenda.

Ich bewirtschafte 12 km nördlich der deutsch/dänischen Grenze einen Familienbetrieb mit 85 ha Geest Ackerfläche mit Bewässerung, 600 Muttersauen mit Verkauf von 30 Kilo Ferkel.

Ich bin Mitglied der deutschen Minderheit in Nordschleswig, und unter anderem Vorsitzender des LHNs, des landwirtschaftliche Hauptvereins Nordschleswig (Kreisbauernverband im dänischen Bauernverband Landbrug og Fødevare)

Darüber hinaus bin ich Stadtratsmitglied in der Kommune Tondern.

Dänemark ist ein Agrarland – das würden heute nicht alle so formulieren (und wir Landwirte empfinden es auch nicht immer so). Fakt ist aber, dass Dänemark das Land ist, das weltweit mit dem höchsten Anteil an bewirtschafteter Fläche ist, etwa 62 %. Grönland dürfen wir leider nicht mit rechnen.

Der Pachtanteil liegt bei 30 % mit steigender Tendenz, Land kostet +- 20.000 Euro pro ha.

Vor der Finanzkrise war das Niveau bis doppelt so hoch, was für viele Betriebe und auch Banken zum Verhängnis wurde. Seit etwa 40 Jahren etablieren sich in Dänemark viele Holländer, vor allen in der Milchwirtschaft. Angeblich gibt es in Holland Landpreise bis zum 6–7 fachen Niveau.

Seit dem Beitritt in die EWG, hatte Dänemark drei Landwirtschaftskommissare. Finn Gundelak, Poul Dalsager und Mariann Fischer Boel. Dänemark produziert Nahrung für etwa 15 Mio. Menschen, hat aber nur 5,7 Mio. Einwohner. Genossenschaften wie Arla, Danish Crown und DLG haben ihren Ursprung und Hauptsitz in Dänemark. Mit 2,6 Mio. ha Agrarfläche 5,6 Milliarden kg Milch, 30 Mill 30 kg Ferkel, davon wird 14 Mill in der EU exportiert. Der Bio-Anteil liegt bei Pflanzenbau und Milch bei 10 und 12 %.

Die natürlichen Gegebenheiten lassen eine intensive Produktion sowie Tradition und Know-how zu.

Im Sozial- und Wohlfahrtsstaat Dänemark sind unter anderem durch Steuern und Abgaben Gehälter und Kosten pro Arbeitsstunde, sowohl in der Verarbeitung als auf den Betrieben, im Verhältnis zu Deutschland, rund 10 Euro höher.

Das Schimpfwort in Dänemark ist nicht Massentierhaltung- das ist eher akzeptiert. Sauberes Grundwasser, Umwelt- und Tierschutz sind in Dänemark die heißen Themen. Die Agenda zur landwirtschaftlichen Nutzfläche der Böden hat sich über der Zeit hinweg erheblich verändert.

Bis 1864 war die Eider die Grenze zwischen Dänemark/Schleswig und Preußen/Deutschland.

In Jütland hatte man angefangen die Heide zu kultivieren. Darauf folgte die Etablierung von „Det Danske Hedeselskab“ in 1866. An der Spitze war der Ingenieur Enrico Dalgas. Mit der Devise, was nach außen verloren wurde, muss von innen neu gewonnen werden, wurde er zum Volkshelden.

In großen Teilen Jütlands wurde der Anteil der bewirtschafteten Fläche von 40 % auf 70 % erhöht, und Maßnahmen wie Melioration, Entwässerung und die Etablierung von Knicks umgesetzt.

Ein Beispiel für die Entwicklung ist die Skjern Au. In den 60er und 70er Jahren wurde die Au zur "Wasserautobahn" verändert. Kurz nach der Durchführung, hat man wieder mit der Renaturierung begonnen.

Boden ist emotional belegt und mit Identität verbunden. Auch in Nordschleswig hatten wir aufgrund der verschiedenen Grenzziehungen einen nationalen Bodenkampf, der von 1864 bis etwa 1980 dauerte. Das gehört glücklicherweise der Vergangenheit an.

Unkritischer Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, und die enormen EWG Getreidelager um etwa 1980 haben eine Kehrtwende gebracht. Von Anfang an hat man die EU-Nitrat Richtlinie in Dänemark sehr ernst genommen. Mit Gülle-Lagerkapazität, Ausbringungstechnik und einer Stickstoffquote von 82 % des Optimums hat man die Richtlinie einhalten können. Heute dürfen wir wieder voll düngen, müssen aber erhebliche Flächen mit Nachsaat etablieren sowie erhebliche feuchte und nasse Flächen zusätzlich neu etablieren.

Ein großer Unterschied, zumindest zu Schleswig-Holstein, ist, dass die Knicks in Dänemark in der Regel nicht unter Naturschutz stehen. Mit dem rasanten Strukturwandel in der Landwirtschaft wird deshalb auch sehr viel Fläche arrondiert. Dies ist eine Herausforderung in der Naturschutz-Debatte. Andererseits hat eine gute Arrondierung sehr große Vorteile für die Wirtschaftlichkeit und auch für die Gesellschaft. Nur einige Stichworte dazu: Straßenbelastung, Zeitaufwand, Effizienz der Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln.

Zur Schutz der Landwirtschaft müssen die Kommunen in den Kommunenplänen „sehr wichtige Landwirtschaftsflächen“ ausweisen. In der Realität hat dieses eine eher kleine, fast keine Bedeutung.

Der ländliche Raum braucht dringend Entwicklung. Wenn endlich jemand investieren will, dann wird dies sehr selten abgelehnt.

Ein Begriff der sehr viel über unsere Flächen benutzt wird, ist robuste oder nicht robuste Bewirtschaftungsflächen. Wenn die Umweltmaßnahmen berücksichtigt werden sollen, sollte man die Flächen auch unterschiedlich behandeln.

Mit Besorgnis beobachten wir die dänische Umsetzung der EU Wasserrahmenrichtlinie. Die Bürgerbeteiligung wurde in der einleitenden Arbeit missachtet. Dadurch war die Beschlussgrundlage fehlerhaft. Dänemark hat zum Beispiel nur 4 % der Wasserläufe als erheblich verändert eingestuft. Deutschland und Polen haben 29 % angemeldet. Baseline und Interkalibrierung haben einen hohen Stellenwert bei den EU Richtlinien.

Historisch gesehen haben wir in Dänemark ein Landwirtschaftsgesetz, um den Boden und auch Landwirte zu schützen. Der ultimative Gegensatz ist das Phänomen „Landgrabbing“. Wir sehen und hören davon, wie Großkapital, z.B. in Afrika, lokale Farmer vertreiben.

Solche Zustände haben wir überhaupt noch nicht. Als Folge der Finanzkrise, in der sowohl Landwirte als auch Banken in akute Kapitalnot gerieten und teilweise immer noch sind. Da hat die Politik bewirkt, dass Landwirte nicht auf dem Bodenmarkt aktiv werden konnten.

Es erfolgt keine Revolution über Nacht. Verhältnismäßig wenig ist bis heute an Externe verkauft worden.

Sichtbar ist es dennoch, man könnte z.B. nach Großbritannien schauen. Ich glaube, dass Innovation und Leute, die sich für eine Region einsetzen möchten, zur Mangelware werden.

Abschließend möchte ich zwei aktuelle Entwicklungen in Dänemark hervorheben, die für Sie interessant sein könnten:

Das Thema Flurbereinigung ist bei uns sehr aktuell. Mit staatlicher Förderung wurde das Werkzeug oft bei Investitionen in die Infrastruktur eingesetzt. Ohne Obmann werden eine Reihe von Nachbarn sich sehr schwer über Flächen einig. Wenn man Ländereien tauscht, meinen die meisten nämlich, dass die eigenen Grundstücke die allerbesten sind. In unserem eigenen Betrieb hatten wir gerade 25 ha mit in einem solchen Projekt. Der Staat möchte ein hoch gelegenes Moor renaturieren und erweitern. Wir hatten vier Felder mit 24 Eckpunkten, bei denen nicht zwei Seiten parallel waren. Es wurde daraus ein viereckiges Feld mit parallelen Seiten.

Der Staat hat die Kosten dafür getragen. Ich werde mindestens 1 ha weniger zu bearbeiten haben und schätzungsweise 10 Arbeitsstunden pro Jahr einsparen.

Bei der Jahrhundert-Dürre in 2018 wollte die Politik keine Darlehen oder Liquidität zu Verfügung stellen. Man wollte stattdessen Maßnahmen ergreifen, die die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe stärken sollten. Deshalb hat man unter dem Begriff: „multifunktionale Flurbereinigung“ einen Betrag von 20 Mill Euro bereitgestellt. Aspekte wie Klima, Straßenverkehr, Nährstoffe, Natur und ländliche Entwicklung müssen in die Projekten mit einbezogen werden. Wenn erst so eine Maßnahme einmal benannt ist, werden auch zukünftig Mittel aus diesem Topf fließen.

Ein anderer aktueller Fall zum Thema Boden, ist eine Vereinbarung zwischen dem dänischen Naturschutzbund und Landbrug og Fødevarer (Bauernverband).

Die Landwirtschaft steht von Fanatikern, Naturorganisationen und der Politik unter ständiger Kritik: Dänemark habe zu wenig Natur, die Landwirtschaft sei zu intensiv und die Landwirte würden ausschließlich an Profit denken und die Leistungen für die Natur vergessen. Durch intensive Sitzungen mit viel Kaffee hat man gemeinsam eine Absprache treffen können. Durch Multifunktionale Flurbereinigung sollen im Laufe einiger Jahre 100.000 ha aus der intensiven Produktion genommen werden. Wichtige Voraussetzungen dafür sind: Es muss auf Freiwilligkeit beruhen und auf der Basis voller Kompensation.

Das heißt im Klartext, dass, solange die Kompensation nicht ausreicht, nichts passieren wird. Der Naturschutzbund hat dies erstmals anerkannt.

In der allgemeinen Diskussion hat man zu diesen Voraussetzungen nie Stellung genommen. Nein, es heißt immer, die Landwirte zerstören die Natur. Wir kommen nicht einmal zu Wort, wenn wir Angst um unsere Existenz haben müssen. Diese Vereinbarung wurde in Dänemark eine "Breaking News", weil das keiner so erwartet hatte. Es war kein Ergebnis eines aktuellen Konflikts, sondern das Ergebnis von intensiven Gesprächen zur Friedenszeit.

Das war aktuelles aus den hohen Norden oder dem südlichen Skandinavien.

Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit.

Jørgen Popp Petersen

Bodenschutz der Zukunft – Schritte zur Sicherung dieser Ressource

Dr. Thomas Straßburger
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Bonn

Unsere Versorgung mit ausreichenden und gesunden Nahrungsmitteln, ein verträglicher Klima- oder Wasserhaushalt, die Artenvielfalt (Biodiversität), all dies fußt auf dem Boden. Wertschätzung erfährt er aber in der Regel erst, wenn er zu einem knappen Gut wird. Dies drückt sich dann über die Bodenpreise in Ballungsräumen oder – mittlerweile bundesweit – über den steigenden Pachtzins landwirtschaftlicher Nutzflächen aus.

Die Leistungen des Bodens, auf und von dem wir leben und den wir vielfältig in unserem Sinne nutzen, nehmen die meisten als etwas Selbstverständliches wahr. Vielleicht weil diese von so essentieller Bedeutung sind, dass ihr Ausbleiben undenkbar erscheint. Und angesichts stets gefüllter Regale beunruhigt es kaum, dass – für alle sichtbar – täglich mehr und mehr Boden verschwindet; wenigstens 1.000 km^2 werden jedes Jahr europaweit überbaut. Ein Gebiet so groß wie Berlin. Und gleichzeitig steigen die Anforderungen an die verbleibende Fläche: Zur Produktion von Lebensmitteln, Viehfutter oder Fasern und zur Energiegewinnung. Auch unser Erholungsbedürfnis will berücksichtigt sein, und es soll dann auch noch ausreichend Lebensraum für Tier und Pflanze übrigbleiben.

Nachteilige Veränderungen des Bodens beunruhigen uns wenig, wenn wir sie denn überhaupt wahrnehmen. Was uns aber stark in Erregung bringt, sind Preissteigerungen, die sich ergeben, wenn die Nachfrage das Angebot übersteigt. Vor allem Preisveränderungen bei Grundnahrungsmitteln nehmen Verbraucher empfindlich wahr. Das führt zu einer hohen Sensibilität bei Preiserhöhungen, global übersteigt die Nachfrage das Angebot. Kommen dann noch unterdurchschnittliche Ernten als Folge von Wetterextremen hinzu, zeigt sich schnell, wie labil unser System ist – und dass Boden eben mehr ist als nur Baugrund.

Die weltweit pro Kopf zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Fläche hat sich seit 1961 von einem halben auf weniger als ein Viertel Hektar reduziert. Insgesamt steht nur etwa ein Zehntel der Landfläche der Erde für den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen zur Verfügung. Diese Fläche ist kaum erweiterbar. Steigt die Weltbevölkerung wie prognostiziert in den nächsten Jahrzehnten um 1,5 Milliarden Menschen, wird die verfügbare Fläche auf ein Zehntel Hektar gesunken sein. Ein Hektar wird 2050 mehr als doppelt so viele Menschen wie heute ernähren müssen. Bodenzerstörung durch Versalzung, Übernutzung, Klimawandel und Überbauung ist dabei noch nicht berücksichtigt.

Während sich der Zustand der Pflanzen- und Tierwelt oder die Luft-und Wasserqualität sichtbar in kurzen Zeiträumen verändern, reagieren Böden langsam. Schäden werden mit erheblicher Verzögerung erkannt. Sie zu beseitigen, erfordert viel Geld und Geduld. Es gilt also, die Leistungsfähigkeit des Bodens nicht zu überfordern, um seine Funktion als Lebensgrundlage für die Zukunft zu erhalten. Diese Zielsetzung ist Ausdruck des Prinzips der Nachhaltigkeit. Gerade die nicht erneuerbare Ressource Boden bedürfte des zielgerichteten, entschlossenen Handelns aller.

Da dies nicht ausreichend der Fall ist, ist es wichtig, den Bodenschutz sowohl in der politischen als auch in der öffentlichen Wahrnehmung als entscheidende gesamtgesellschaftliche Aufgabe – ähnlich dem Klimaschutz – zu verankern.

Neben der jedem verständlichen Bedeutung für die Ernährungssicherheit – der "Uraufgabe" des Bodens – setzt sich allmählich auch die Erkenntnis um die Klimafunktion der Böden durch. Gerade den Moorböden kommt hier entscheidende Bedeutung zu: Sie machen ungefähr 6 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland aus, tragen aber mit rund 37 % überproportional zu den Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft bei. Und Landnutzungsänderungen wie die in den letzten Jahren verstärkt stattgefundene Umwandlung von Grünland in Ackerland lassen in kürzester Zeit den im Boden gespeicherten Humus "in Luft aufgehen" – und verstärken und beschleunigen den Klimawandel.

Noch weniger bekannt ist, dass die Nutzung der Böden und ihr Zustand eine wesentliche Rolle für das Auftreten und die Intensität von Hochwasserereignissen hat. Entscheidend ist hier die Schwammfunktion des Bodens; ist sie nicht gegeben, sickert weniger Niederschlag in den Boden und läuft mehr und mehr oberirdisch ab.

Böden sind vor allem Lebensraum. Sie sind für die Artenvielfalt, sowohl die im Boden als auch die darauf, entscheidend. Und damit auch für das Erreichen der Biodiversitätsziele. Ein wahrer Kosmos an Mikroorganismen und Bodentieren hält den Boden fruchtbar – eine Fabrik des Lebens. Nur wenn dieses Bodenleben intakt ist, lassen sich dauerhaft Erträge und Ernährung sichern.

Die Vielfalt der Einflussfaktoren macht den Schutz des Bodens vor schädlichen Veränderungen gleichzeitig zu einer komplexen umweltpolitischen Herausforderung. Die Bundesregierung spricht den Bodenschutz unter anderem in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, der Strategie für Biologische Vielfalt und der nationalen Anpassungsstrategie an den Klimawandel an. Der 2015 beschlossene Umweltbericht hebt Bodenschutz als wichtiges umweltpolitisches Handlungsfeld hervor: Während das Schutzniveau für Umwelt und Gesundheit in einigen Bereichen erhöht werden konnte, beispielsweise bei der Luftreinhaltung, besteht zum Schutz des Bodens – insbesondere zum vorsorgenden Bodenschutz – weiterer Handlungsbedarf.

Im Folgenden werden einige Bereiche mit Bedeutung für den Bodenschutz dargestellt, beginnend mit einer Beschreibung des gesetzlichen Rahmens. Bodenschutz ist aber kein alleiniges Anliegen des Gesetzgebers. Verantwortung tragen alle. Und er fängt nicht erst mit dem Befahren des Bodens mit dem Traktor an.

Er beginnt weit im Vorfeld und abseits der Fläche; mit einer flächensparenden Raumpolitik, einer Kreislaufwirtschaft, die auf Qualität setzt und damit Fremdstoffeinträge minimiert, schadstofffreien Produktionsketten, der Orientierung von Verbrauchern und Produzenten an regionalen und saisonalen Verhältnissen und nicht zuletzt mit ehrlichem Bemühen zu verstehen, was wir mit unserem Handeln überhaupt bewirken.

Gesetzgebung

Nach wie vor gibt es in der Europäischen Union keinen gemeinschaftlichen Ansatz zu einem wirkungsvollen Schutz der Böden. Die 2006 vorgeschlagene Bodenrahmenrichtlinie hat die Kommission 2014 zurückgezogen, weil eine Einigung auch nach Jahren der Diskussion mit den Mitgliedstaaten nicht möglich erschien. Deutschland hatte sich besonders kompromisslos gegen eine verpflichtende, europaweite Lösung ausgesprochen.

Das Ausklammern des Bodens aus dem Umweltrecht der EU ist bedauerlich und ein politischer Fehler. In seinem Umweltgutachten "Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels" hatte der Sachverständigenrat für Umweltfragen schon 2008, angesichts der Ablehnung der Richtlinie durch einige Staaten, folgende Einschätzung abgegeben: "Das Inkrafttreten der Richtlinie hätte nicht nur der EU ein neues Handlungsfeld im Bereich der Umweltpolitik eröffnet, sondern auch deutliche Impulse für das nationale Recht gebracht, vor allen Dingen im Bereich des bislang unbefriedigend geregelten vorsorgenden Bodenschutzes." Dieses Statement ist nach wie vor gültig. Anders als für den Artenschutz, für Luft- und Wasserreinhaltung gibt es für den Boden keinen gemeinsamen Ansatz.

Wenigstens ist im 7. Umweltaktionsprogramm der EU festgehalten, dass die Mitgliedstaaten so bald wie möglich Vorschläge erarbeiten sollen, wie sich Bodenqualitätsfragen mithilfe eines zielorientierten und risikobasierten Ansatzes innerhalb eines verbindlichen Rechtsrahmens regeln lassen könnten. Dieser Prozess ist noch nicht abgeschlossen und es bleibt abzuwarten, ob und wie sich die neue Kommission zum Bodenschutz aufstellen wird.

Anstelle einer verbindlichen und kohärenten Lösung auf freiwillige Selbstverpflichtung zu setzen, ist keine Option. So existiert seit fast 40 Jahren eine European Soil Charta[1]. Darin wird der zunehmende Verlust der Bodenqualität in vielen Teilen Europas beklagt und der Boden als einer der größten Schätze der Menschheit eingestuft. Was hat das genutzt?

Agrarpolitik

Insofern bietet die Gemeinsame Agrarpolitik den wohl wichtigsten gemeinsamen Ausgangspunkt für Standards und Vorgaben zur Sicherstellung eines annähernd gleichwertigen Schutzniveaus zumindest auf der Landwirtschaftsfläche der 28 Mitgliedstaa-

1 Resolution vom 30. Mai 1972: https://wcd.coe.int/wcd/ViewDoc.jsp?id=654589 sowie Fassung vom 28. Mai 2003: https://search.coe.int/cm/Pages/result_details.aspx?ObjectID=09000016805dfc89

ten. In Deutschland betrifft dies immerhin die Hälfte des Landes. Ein knappes Drittel des Landes ist Waldfläche.

Bedauerlicherweise ist gerade die Agrarpolitik in Bezug auf den Boden – das wichtigste landwirtschaftliche Produktionsmittel – wenig beispielgebend.

Die Landwirtschaft ist nicht der einzige Bodennutzer, und gerade sie leidet unter dem stetigen "Flächenfraß". Während der letzten 60 Jahre hat sich die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland mehr als verdoppelt. Täglich werden mehr als 60 Hektar neu ausgewiesen – meist zulasten der Landwirtschaft und fruchtbarer Böden. Wie die Biodiversitätsziele haben wir auch das Nachhaltigkeitsziel, den Flächenverbrauch bis 2020 auf 30 ha zu senken, nicht erreicht. Stattdessen wurde nun für 2030 mit 30 minus X ein neues Ziel gesetzt. Solange derartige Zielsetzungen aber nicht durch wirksame Maßnahmen untermauert werden, bleiben sie belanglos.

Die Betonung der Rolle der Landwirtschaft im Zusammenhang mit der Zukunft des Bodenschutzes ist durch ihren hohen Flächenanteil und die Nutzungsintensität begründet. Zumal die Landwirtschaft entscheidend das regionale Landschaftsbild prägt.

Regelungen mit Bedeutung für den Bodenschutz finden sich im sog. *Greening*, in den Vorgaben zu *Cross-Compliance* und den über die zweite Säule finanzierten Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen. Insbesondere Cross-Compliance wäre an und für sich ein geeignetes Instrument, um den Bodenschutz wirkungsvoll voranzubringen. Hier finden sich unter der Bezeichnung "Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand" Vorgaben für die Bodenbedeckung, die Vermeidung von Erosion oder den Erhalt des Bodenhumus. Die nationale Umsetzung in Deutschland nutzt jedoch das Potenzial dieser gutgemeinten EU-Mindeststandards in keiner Weise aus. Die Umsetzung orientiert sich nicht (?) an den Notwendigkeiten des Bodenschutzes.

- So gelten die Anforderungen an die Bodenbedeckung lediglich für brachliegendes und stillgelegtes Acker- und Dauergrünland und damit für wenige Flächen.
- Auflagen zur Begrenzung von Erosion gelten erst bei sehr hohen Bodenabträgen von über 15 t/Hektar und greifen dann leider auch nicht immer wirkungsvoll. Besonders bedauerlich ist, dass all die Flächen mit hoher, mittlerer oder geringer Erosionsgefährdung vollkommen unberücksichtigt bleiben. Angesichts einer jährlichen Bodenneubildung von etwa einer 1 t/ha und den erheblichen nachteiligen Auswirkungen von Bodenabträgen ist das nicht nachvollziehbar.
- Besonders deutlich wird das offensichtliche Desinteresse an einer wirkungsvollen Umsetzung geeigneter Standards bei der Erhaltung des Anteils der organischen Substanz im Boden. Seit 2015 wird diese Vorgabe durch das Verbot des Abbrennens von Stoppelfeldern erfüllt! Abbrennen darf man das Stroh zwar nicht, aber abfahren und verkaufen schon. Jede andere Vorgabe wäre vermutlich zielführender, wie z.B. die Forderung nach einem gelegentlichen Anbau bestimmter Zwischenfrüchte und damit verbunden eine Humusbilanzierung.

Abbildung 1: Erhalt der organischen Substanz im Boden: Stroh darf nicht verbrannt, aber zum Verkauf abgefahren werden. Bodenschutz?

Effektiver Bodenschutz sieht anders aus. Diese Beispiele sollen verdeutlichen, wie gering der Stellenwert des Bodenschutzes in der heutigen Landwirtschaftspolitik ist. Und dabei wäre sie *das* Instrument, um geeignete Maßnahmen in der täglichen Praxis zu verankern und als Grundniveau vorzugeben. Flankiert würde es sinnvollerweise durch Programme, mit denen zusätzliches Engagement honoriert würde. Dies folgt dem Gedanken „Öffentliches Geld für öffentliche Leistungen".

Wichtig ist, bodenschonend wirtschaftenden Betrieben für ihren Beitrag zu Gemeinwohlleistungen eine verlässliche und zufriedenstellende ökonomische Perspektive zu bieten. Egal ob sie auf organischen oder mineralischen Böden wirtschaften. Gleichzeitig ist verstärkt Wert auf die praktische Umsetzbarkeit sowie die Kontrollierbarkeit von Maßnahmen zu legen, was derzeit nicht immer gewährleistet ist.

Anzustreben ist künftig eine stärkere Berücksichtigung nachhaltiger Formen der Bodenbewirtschaftung. Maßnahmen müssen zielorientiert und wirkungsvoll dem Schutz des Bodens dienen und nicht – wie so häufig – Bodenschutz als Nebenprodukt abwerfen. Die nationale Umsetzung der Europäischen Agrarpolitik sollte dazu die Grundlagen liefern.

Eine Anmerkung zur Bedeutung der Landschaftselemente für den Bodenschutz: Sie erfüllen nicht nur wichtige Funktionen für den Naturschutz und bereichern das Landschaftsbild. Vor allem ihre Wirkung gegen Wasser- und Winderosion ist offensichtlich. Gefühlt geht der Bestand an Hecken, Baumreihen, Feldgehölzen und auch Feuchtbiotopen trotz des gesetzlichen Schutzes zurück. Zur genehmigten (und ungenehmigten) Beseitigung gesellen sich unsachgemäße "Pflege" und Verluste aufgrund von Wetterextremen hinzu. Die Frühjahrs- und Sommertrockenheiten der letzten beiden Jahre in Verbindung mit hohen Temperaturen haben viele Feldgehölze extrem geschwächt oder sie sind gänzlich verdorrt.

Abbildung 2: Verlust an schützenden Feldelementen als Folge der Trockenheiten der letzten beiden Jahre.

Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW)

Böden speichern rund viermal so viel Kohlenstoff wie die oberirdische Vegetation und mehr als doppelt so viel wie die Atmosphäre. Insgesamt sind über zwei Milliarden Tonnen Kohlenstoff in den landwirtschaftlichen Böden Deutschlands gespeichert. Der Humus in Böden ist damit der größte terrestrische Speicher für organischen Kohlenstoff.

Seit Ende 2018 liegen die Ergebnisse der ersten bundesweit einheitlichen Inventur landwirtschaftlich genutzter Böden vor.

Die Vorräte an organischem Kohlenstoff wurden bis in eine Tiefe von einem Meter erfasst. Bewertet wurde unter anderem der Einfluss von Standort- und Nutzungsfaktoren auf die Humusgehalte. Die Bestandsaufnahme ist für den Bodenschutz von hohem Wert; wenn sie auch eher ein Nebenprodukt des Klimaschutzes ist. Sie dient in erster Linie der Treibhausgas-Emissionsberichterstattung im Rahmen der Klimarahmenkonvention und des Kyoto-Protokolls.

Rund zwei Drittel des organischen Kohlenstoffs befinden sich im Oberboden. Mineralböden haben etwa ein Drittel weniger Humus als Böden unter Grünlandnutzung. Wie oben schon erwähnt, sind Moorböden ein Hotspot für die Treibhausgasbildung. Etwa ein Drittel der Emissionen der Landwirtschaft stammen aus der nicht nachhaltigen Nutzung von organischen Böden, obwohl sie nur 6 % der Fläche ausmachen. Zum Schutz dieser Böden und aus Klimaschutzsicht sind andere Bewirtschaftungsformen zwingend erforderlich. Ein bundesweites Programm könnte die bisherigen unzureichenden Initiativen zum Moorschutz stärken und auf ein Niveau bringen, auf dem nennenswerte Klimaschutzfortschritte erreicht werden.

Vereinfacht kann man sagen, dass wir unsere Böden in Zukunft "dick einpacken" müssen. Dies ist eine simple Folgerung aus der Entwicklung der letzten Jahre, in denen es häufig entweder zu viel oder zu wenig geregnet hat und die uns in Deutschland immer neue Rekordwerte bringen (zuletzt im Juli 2019 mit über 42 Grad). Mulchen war immer schon ein wichtiger Bestandteil guter Bodenbewirtschaftung. Zum Schutz vor Erosion und Verschlämmung oder vor dem Austrocknen wird eine dauerhafte Bedeckung des Bodens, sei es durch Bewuchs oder eine schützende Deckschicht aus Ernterückständen, nicht nur immer wichtiger, sie wird bei den sich für die Zukunft abzeichnenden Wetterverhältnissen die Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Bewirtschaftung.

Lebensmittelabfälle

Pro Kopf werfen wir in Deutschland durchschnittlich 80 Kilogramm Nahrung pro Jahr weg. Der aufwendige Anbau von Lebensmitteln, die dann nicht gegessen werden, führt zur unnötigen Belastung der Anbaufläche. Die Bodennutzung wird dadurch intensiviert, Energie und Wasser werden verschwendet. Nur etwa ein Zehntel der Landfläche steht für den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen zur Verfügung. Ausgehend von der derzeitigen Weltbevölkerung (ungefähr 7,5 Milliarden Menschen) und der weltweit bewirtschafteten Ackerfläche wird sich die pro Kopf verfügbare Fläche bis zum Jahr 2050 durch Bevölkerungszuwachs und Bodenverluste stark reduzieren. Umso mehr ist ein vorsorgender Umgang mit dieser Ressource zwingend.

Die pro Kopf der Bevölkerung zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Fläche hat sich seit 1961 von einem halben Hektar auf weniger als ein Viertel reduziert. Und sinkt kontinuierlich weiter.

Abbildung 3: April 2019 – Frühjahrstrockenheit in Deutschland. Wenig Bodenbedeckung. Stark ausgetrockneter Boden.

Bodenschutz geht alle an

Schritte zum Bodenschutz heißt nicht, ausschließlich auf den Gesetzgeber zu schielen. Jeder kann und soll dazu beitragen. Das Umweltbundesamt hat dafür im Rahmen der Grünen Woche Anfang 2019 viele Anregungen zusammengetragen[2]. Hier einige Beispiele:

- Gründüngung: Die Pflanzen werden erst ausgesät und dann im mehr oder weniger grünen Zustand in den Boden eingearbeitet. Dort wirken sie als natürlicher Dünger, außerdem lockert die Gründüngung den Boden und schützt vor Verschlämmung. (Phacelia), Klee oder Gelber Senf sind bewährte Gründünger, die den Boden verbessern und produzieren außerdem als Bienenweide viel Nektar und Pollen.

2 Broschüre des Umweltbundesamts "Boden schützen leicht gemacht. Mit kleinen Schritten Großes bewirken – im Garten, im Alltag und beim Bauen" https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/boden-schuetzen-leicht-gemacht

- Mulch schützt den Boden vor Austrocknung und Frost. Als Mulchdecke kann z.B. Grasschnitt, Pflanzenreste oder Holzschnitzel verwendet werden. Sie versorgt den Boden zusätzlich mit Nährstoffen.
- Kompostieren im eigenen Garten. Der eigene Komposthaufen liefert dank der unzähligen kleinen Bodenorganismen und Regenwürmer wertvollen Humus. Auch kann Mineraldünger gut durch Kompost ersetzt werden.
- Torffreie Gartenerde verwenden. Für den Hobbygärtner gibt es genug Alternativen. Torfabbau zerstört wertvolle Lebensräume und trägt zum Klimawandel bei.

Abbildung 4: Jedes Jahr dasselbe Bild im Frühjahr: Verkauf von Hochmoortorf als Preisbrecher für den Hobbygarten.

- Kaufen Sie regional und saisonal ein. Das vermeidet lange Transporte und spart Energie und Düngemittel. Der Wunsch nach ständiger Verfügbarkeit jeder Frucht führt auch zu immer mehr Anbau unter Folie. Diese temporäre Bodenversiegelung bringt viele Nachteile mit sich.
- Auf Verpackungen möglichst verzichten. Der Einkauf lässt sich gut in Mehrwegnetzen oder mitgebrachten Behälter verpacken.

- Keine Plastiktüten in die Biotonne. Plastiktüten können in Kompostanlagen weder abgebaut noch vollständig entfernt werden und gelangen in kleinsten Teilchen mit dem Kompost auf die Felder und den Boden, ins Grundwasser und die Meere.

Abbildung 5: Zufälliger Blick in eine Biotonne eines Mehrparteienhauses. Fehlwürfe belasten die Qualität des Komposts.

Es gibt zahlreiche weitere Ansatzpunkte für mehr Bodenschutz. Dazu zählt auch der derzeit noch nicht gegebene, entschlossene Einsatz der Kommunen gegen die Versiegelung von Gartenflächen. Dem Trend zu Kies- und Schottergärten als Steinwüsten ("Gärten des Grauens") sollten die Kommunen aus mehreren Gründen entgegensteuern. Der Verlust an Lebensraum ist das Eine – und gerade in der Zeit des Insektensterbens nicht nachrangig. Zum anderen fehlt diesen Flächen die Kühlfunktion des Bodens und der Vegetation. Sie heizen sich stark auf und belasten das Klima im städtischen Raum zusätzlich. Selbst eine vernachlässigte monotone Grasfläche ist besser als eine Schotterfläche. Zum Teil müssten die Kommunen nur auf die Einhaltung der Bebauungsplan-Vorgaben pochen.

Fremd- und Schadstoffe in Böden

Belastungen durch Fremdstoffe

Im Gegensatz zur Plastikflut in den Weltmeeren sind die die Belastung der terrestrischen Ökosysteme mit Kunststoffpartikeln und deren ökologischen Auswirkungen noch nicht in den öffentlichen Fokus gerückt. Landwirtschaftliche Böden sind vielfach durch Plastikeinträge aus unterschiedlichen Quellen betroffen. Diese können einerseits die Bodenökologie beeinträchtigen und andererseits den Weg in naheliegende Gewässer finden.

Eintragswege für Mikroplastik in Agrarböden sind vor allem die Ausbringung von Klärschlamm und Komposten sowie der zunehmende Foliengebrauch in der Landwirtschaft.

In den Klärschlamm gelangt Mikroplastik über das Abwasser aus Kosmetika, Reinigungsmitteln und Faserabrieb beim Waschen von synthetischen Textilien. Außerdem werden zur Trocknung des Klärschlamms eigens Kunststoffe als Flockungsmittel zugesetzt. Über 90 %, also fast alles, bleibt im Klärschlamm. Knapp ein Viertel davon wird in Deutschland als Dünger auf die Felder aufgebracht. Auch Bioabfälle sind mit Kunststoffen belastet. Nicht nur Unternehmen und Anlagenbetreiber tragen dabei die Verantwortung, natürlich sind auch die Verbraucher gefordert. Durch falsche Entsorgung gelangen viele Kunststoffe in die Biotonnen. Da nur einige Böden mit Klärschlamm, Kompost oder Gärrückständen gedüngt werden, dürfte die räumliche Belastung von Mikroplastik auf kleinem Maßstab sehr heterogen sein. Ähnliches gilt für die Verschmutzung mit Folienresten, da Folien zur Erntebeschleunigung und Ertragssteigerung von Sonderkulturbetrieben eingesetzt werden.

Im Gegensatz dazu verteilt sich die Verschmutzung durch Abfälle (Littering) und Reifenabrieb eher gleichmäßig über alle landwirtschaftlichen Flächen, insbesondere entlang von Straßen, und nimmt in der Nähe zu Ballungsräumen zu.

Notwendig ist es, die Qualität der organischen Abfälle zu sichern, ohne ihre Verwendung in der Landwirtschaft oder dem Landschaftsbau abzuwürgen. Qualitätskompost beispielsweise stellt einen der wertvollsten Dünger für unsere Böden dar und ist ein Grundpfeiler zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit. Die zunehmende Verstädterung und die räumliche Verteilung von städtischem und ländlichem Raum machen eine vernünftige Kreislaufwirtschaft immer wichtiger. Damit werden wertvolle Nährstoffe dem Boden auf breiter Fläche zurückgegeben, seine Struktur gefördert, die Oberfläche geschützt und das Bodenwasser bewahrt.

Plant die Bundesregierung, die zulässigen Grenzwerte für Fremdstoffe in Kompost bzw. Kunststoffe in organischem Dünger so zu verschärfen, dass Einträge von Mikro- und Nanoplastik über Kompost und organischen Dünger in die Böden zukünftig ausgeschlossen sind?

In der Düngemittelverordnung werden Grenzwerte für Düngemittel und Wirtschaftsdünger sowie für Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel vorgegeben. Demnach dürfen Kunststoffe als Fremdbestandteil bis zu einem Anteil von 0,4 Gewichtsprozent Hartplastik und 0,1 Gewichtsprozent Folienplastik enthalten sein.

Abbildung 6: Verunreinigung des Bodens durch Kunststoffeinträge über ausgebrachten Kompost.

Diese Regelung ist unbefriedigend, erlaubt sie doch einen erheblichen Eintrag in den Boden. Gerade weil Plastik, anders als Glas und Metalle, aufgrund des geringen Gewichtes mit viel Volumen enthalten sein darf. Die Bundesregierung ist deshalb in der Abwägung, inwieweit diese Grenzwerte ausreichen oder ob auch hinsichtlich des Inputs von zulässigen Stoffen für die Verarbeitung in Gär- oder Kompostieranlagen zusätzliche Regelungen zu treffen sind.

Belastungen durch Schadstoffe

Cadmium ist ein Beispiel für einen äußerst unerwünschten Schadstoff, der als Bestandteil sedimentärer Phosphatgesteine über Düngemittel auf unsere Felder gelangt. Insbesondere Rohphosphate aus Nordafrika sind hochgradig belastet. Seit der erfolgreichen Reduzierung von Cadmiumeinträgen über die Luft – dank anspruchsvoller Luftqualitätsstandards und der Beschränkung des Einsatzes in Produkten – sind Düngemittel die Haupteintragsquelle für Cadmium. Vor kurzem hat die EU nach Jahren der Diskussion einen Grenzwert für Cadmium in Phosphatdüngern eingeführt.

Mit 60 mg/kg Phosphat liegt dieser über dem bisherigen Wert der deutschen Düngemittelverordnung und ist dreimal höher als der von der EU-Kommission vorgeschlagene Zielwert. Auf einen ehrgeizigeren Wert haben sich die Mitgliedstaaten nicht verständigen können. Die gute Nachricht ist, dass nun ein europäischer Grenzwert besteht. Der deutsche Wert war mit 50 mg zwar etwas anspruchsvoller, lief aber ins Leere, weil er nicht für den großen Block EU-zugelassener Dünger galt. Der von der EU-Kommission vorgeschlagene Wert hätte einen größeren Schub für das Wiedergewinnen von Phosphor aus Klärschlamm bedeutet. Hier liegt mit 60.000 t Phosphor ein großes Potenzial brach, weil es immer noch einfacher oder günstiger (?) ist, den Primärrohstoff abzubauen als ihn umweltfreundlich rückzugewinnen.

Es gibt zahlreiche weitere Beispiele für Umweltschadstoffe, außerhalb der gut bekannten Schwermetalle, die den Boden und damit auch das Wasser und unsere Lebensmittel belasten. Zum Beispiel fluororganische Substanzen, die in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen haben. Die Stoffgruppe der PFC-Verbindungen (per- und polyfluorierte Chemikalien) weist zahlreiche negative Eigenschaften für Mensch und Umwelt auf. Sie sind mobil, haben ein toxisches oder erbgutveränderndes Potenzial und vor allem – sie bauen sich nicht ab. Dadurch reichern sich diese Stoffe zunehmend in der Umwelt an.

Der Preis für ihren Einsatz in der Textilindustrie (wegen der wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften – sie werden gerne in Outdoor-Kleidung verwendet) oder in der Verpackungsindustrie ist zu hoch. Der beste Bodenschutz findet hier notwendigerweise im Vorfeld statt: Durch ein Verbot dieser Stoffgruppe bzw. eine Beschränkung des Einsatzes auf Bereiche, in denen eine Substitution (wie z.B. in der Medizintechnik) nachweislich noch nicht möglich erscheint.

Rohstoffabbau

Zur Schonung von Boden und Landschaft wird es zunehmend wichtig, Primärrohstoffe – wie z.B. Kiese und Sande – durch Sekundärrohstoffe zu ersetzen. Und zwar nicht erst nach der vollständigen Ausbeutung Ersterer, sondern durch eine vernünftige Recyclingwirtschaft, die Ersatzbaustoffe so attraktiv macht, dass sie bevorzugt verwendet werden. Dies bedeutet, ihre Verwendung muss aus Umweltsicht unbedenklich sein und sie müssen vor allem wirtschaftlich sein. Dies soll durch die sogenannte Mantelverordnung erreicht werden, ein Regelwerk zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung und zur Novellierung der Bundesbodenschutzverordnung. Allerdings gestalten sich die inhaltlichen Arbeiten dazu schwierig, und bislang konnten sich Bund und Länder und die Länder untereinander nicht in allen Punkten einigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen: im Bodenschutz ist noch viel Luft nach oben. Angesichts der weltweiten Entwicklung dürfte das Thema immer mehr an Gewicht gewinnen, vermutlich aber weniger als Folge von Einsicht und Voraussicht, sondern als Reaktion auf fortschreitende Verluste an Bodenqualität und Bodenfläche. Das Bundesbodenschutzgesetz ist vor 20 Jahren in Kraft getreten und seitdem unverändert. Es hat seine Stärken, aber auch seine Schwächen.

Abbildung 7: Gewinnung von Rohstoffen führt zu erheblichen Bodenverlusten, hat aber bei guter Steuerung auch Potenzial für das Landschaftsbild.

Abbildung 8: Mehr Strukturierung ausgeräumter Flächen dient auch dem Bodenschutz. Als einfache Faustzahl könnte gelten: Alle 50 m sollte es ein Landschaftselement geben!

Zum Beispiel setzt es der fortschreitenden Versiegelung auch fruchtbarster Böden nichts entgegen, was auch im Vollzug begründet sein mag. Es zu stärken, ist sicherlich ein lohnenswertes Anliegen für die Zukunft.

In Anlehnung an die Steuererklärung auf dem Bierdeckel – hinter der nichts anderes als der nachvollziehbare Wunsch nach Vereinfachung steckt – soll an dieser Stelle abschließend die Idee der 50 in der Landwirtschaft stehen. Warum nicht als Standard mindestens alle 50 m ein Landschaftselement in der zunehmend ausgeräumten Landschaft als Standard setzen? Sei es eine Hecke, ein Baum, ein Findling oder ein Randstreifen etc. Dies dient dem Bodenschutz, dem Artenreichtum und unserem Auge.

"We abuse land because we regard it as a commodity belonging to us. When we see land as a community to which we belong, we may begin to use it with love and respect." – Aldo Leopold

Weitere Hefte aus dieser Schriftenreihe seit 2004

01, 2004 Integrierte ländliche Entwicklung – wirtschaftlicher und landeskultureller Standortfaktor mit regionalem und lokalem Bezug
24. Bundestagung vom 8. bis 10. Oktober 2003 in Fulda

02, 2004 Agrarumweltprogramme – wie weiter?!
25. Bundestagung vom 29. September bis 1. Oktober 2004 in Weimar

03, 2005 Neue Chancen für die Integrierte Ländliche Entwicklung durch die EU-Verordnung ELER?
26. Bundestagung vom 5 bis 7. Oktober 2005 in Göttingen

04, 2006 Ländlicher Raum auf Roter Liste – Herausforderungen und Chancen
27. Bundestagung vom 4. bis 6. Oktober 2006 in Montabaur

05, 2008 Landeskultur in Europa – Lernen von den Nachbarn
28. Bundestagung vom 10. bis 12. Oktober 2007 in Chemnitz

06, 2009 Landeskultur – Motor der Waldentwicklung
29. Bundestagung vom 15. bis 17. Oktober 2008 in Gummersbach

07, 2010 Dörfer ohne Menschen!? – Zwischen Abriss, Umnutzung und Vitalisierung
30. Bundestagung vom 14. bis 16. Oktober 2009 in Würzburg

08, 2011 Energie-Landschaften!? – Fallen oder Chancen für ländliche Räume?
31. Bundestagung vom 29. September bis 1. Oktober 2010 in Husum

09, 2012 Wege in die Zukunft!? Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen
32. Bundestagung vom 31. August bis 2. September 2011 in Mainz

10, 2013 Wandel in den Köpfen!? Wie kann durch Veränderungsprozesse die Zukunft in strukturschwachen Räumen gestaltet werden?
33. Bundestagung vom 25. bis 27. September 2012 in Wetzlar

11, 2014 Energiewende: Wertschöpfung im ländlichen Raum
34. Bundestagung vom 3. bis 5. September 2013 in Jena

12, 2015 Dorfumbau: Dörfer entstehen im Kopf! Wie können die Veränderungsprozesse mit den Menschen gestaltet werden?
35. Bundestagung vom 16. bis 18. September 2014 in Zwickau

13, 2016 Ländlicher Raum. Beweg Dich.EU
36. Bundestagung vom 8. bis 10. September 2015 in Birkenfeld

14, 2016 Flächenkonkurrenz entschärfen: gemeinsam – maßvoll – zukunftsfähig
37. Bundestagung vom 7. bis 9. Juni 2016 in Freising

15, 2017 Idylle Ländlicher Raum? – Der Kampf um die Fläche
38. Bundestagung vom 14. bis 16. November 2017 in Stuttgart

16, 2018 Landentwicklung 4.0 – Digitalisierung in Landentwicklung und Landwirtschaft sowie moderne Beteiligungsverfahren
39. Bundestagung vom 26. bis 28. September 2018 in Bad Berleburg

17, 2019 Auf dem Boden bleiben?! Unsere Böden zwischen Nutzen und Schützen
40. Bundestagung vom 05. bis 07. Juni 2019 in Rendsburg

Sonderhefte

01, 2006 The Rural Area on the Red List.
The contribution of Integrated Rural Development to the creation of employment with special regard to the demographic development in Germany

01, 2006 Ländlicher Raum auf Roter Liste.
Der Beitrag der Integrierten Ländlichen Entwicklung zur Schaffung von Arbeitsplätzen unter besonderer Berücksichtigung der demographischen Entwicklung in Deutschland

02, 2009 Dörfer ohne Menschen!? Zwischen Abriss, Umnutzung und Vitalisierung
Materialien zur Vorbereitung der 30. Bundestagung der DLKG
vom 14. bis 16. Oktober 2009 in Würzburg

03, 2010 Wege in die Zukunft?! Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen
Materialien zur Vorbereitung der 32. Bundestagung der DLKG
vom 31. August bis 2. September 2011 in Mainz

04, 2011 Wandel in den Köpfen?!
Neuausrichtung von LEADER, ILE,
Dorfentwicklung und Ländlicher Bodenordnung
Materialien zur Vorbereitung der 33. Bundestagung 2012 in Wetzlar

05, 2012 Wertschöpfung durch Waldflurbereinigung und ländliche Infrastrukturen
Dokumentation der internationalen Fachtagung zum internationalen Jahr der Wälder 2011

06, 2014 Dorfumbau: Dörfer entstehen im Kopf!
Wie können die Veränderungsprozesse mit den Menschen gestaltet werden?
Materialien zur Vorbereitung der 35. Bundestagung der DLKG im Jahre 2014 in Zwickau

07, 2014 Technikumbau in der Landentwicklung in Deutschland.
Wie kann Landentwicklung durch LEFIS im Zusammenwirken mit ALKIS für die Zukunft gestaltet werden?
Dokumentation der Fachtagung der Arbeitsgruppe Rheinland-Pfalz-Hessen-Saarland der DLKG im Jahre 2014 in Mainz

08, 2016 Visionen der Landentwicklung in Deutschland
Dokumentation der Fachtagung am 26. April 2016 in der Hochschule Mainz

Böden sind auf der ganzen Welt Grundlage allen Lebens und in ihren vielfältigen Funktionen elementar wichtig für Mensch und Natur. Die Allgegenwärtigkeit und die gefühlte Unerschöpflichkeit lässt sie jedoch wenig gefährdet erscheinen, zumal ihre Reaktion auf äußere Einflüsse sehr langsam ist.

Jedoch sind rd. 50 % der Ackerflächen in Deutschland erosionsgefährdet. Hinzu kommen vielfach Belastungen durch Bodenverdichtungen sowie Nährstoffeinträge und Pflanzenschutz. Dies wirkt sich nicht nur auf die Bodenfruchtbarkeit, sondern insbesondere auch auf die Oberflächen- und Grundwasserqualität negativ aus.

Global wird sich die verfügbare Bodenfläche pro Mensch infolge der drastischen Degradation in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern im Zusammenhang mit dem Anstieg der Weltbevölkerung bis 2050 nahezu halbieren. Da Mitteleuropa zu den sichersten und ertragsreichsten Ackerbaugebieten der Welt gehört, gewinnt das Schutzgut Boden auch in diesem Kontext zunehmend an Bedeutung.

Böden sind unverzichtbare Träger aller abiotischen und biotischen Ressourcen. Zur Sicherung der menschlichen Ernährung müssen Pflege und Nutzung in Einklang gebracht werden. Dabei bestehen sehr enge Beziehungen zum Arten-, Klima- und Wasserschutz.

Herausgeber der Schriftenreihe
Deutsche Landeskulturgesellschaft

Preis: 15,00 EUR zuzüglich Versand

© 2019 DLKG