LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE

Freistaat
SACHSEN

Mehrländerprojekt
Agrarbezogener Bodenschutz

Schriftenreihe, Heft 15/2010



Ergebnisbericht zum Mehrländerprojekt

„Maßnahmenentwicklung und -umsetzung für den vorsorgenden landwirtschaftlichen Bodenschutz“

Autorenkollektiv

Der vorliegende Bericht ist Bestandteil des Mehrländerprojektes Agrarbezogener Bodenschutz. Das Mehrländerprojekt wird getragen von den Landesanstalten für Landwirtschaft der Bundesländer Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung **4**

Einschätzung der Schadverdichtungsgefährdung und Verfahren zum Schutz des Bodens vor Schadverdichtung auf der Grundlage des mechanischen Bodenverhaltens **5**

Untersuchungen zum Infiltrationsvermögen von Böden nach langjährigem Pflugverzicht und Direktsaat **15**

Nachhaltige Bodenbearbeitungsverfahren unter den Bedingungen Mecklenburg-Vorpommerns – Wirkung langfristig praktizierter unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Nährstoffgehalt des Bodens und den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen **23**

Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung diluvialer Ackerböden Brandenburgs - Aktuelle Schlussfolgerungen aus den Dauerfeldversuchen Groß Kreutz (P60, M4) und der ökologischen Fruchtfolge Güterfelde **31**

Bodengefügeschutz mit optimierter Fahrwerkstechnik **37**

Untersuchungen zu acker- und pflanzenbaulichen Auswirkungen einer dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung **47**

Einleitung

Die Landesanstalten und Landesämter für Landwirtschaft von Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen haben gemeinsam das Projekt „Agrarbezogener Bodenschutz“ bearbeitet. Das im Jahr 2005 begonnene Mehrländerprojekt hatte zum Ziel, die auf dem Gebiet des Erosions- und Bodengefügeschutzes laufenden Aktivitäten zusammenzufassen und gemeinsame Ergebnisse zu publizieren.

Der vorsorgende landwirtschaftliche Bodenschutz hat für den Erhalt der Ertragsfähigkeit unserer Acker- und Grünlandflächen eine herausragende Bedeutung. Dabei gilt es insbesondere, die Grundsätze der guten fachlichen Praxis des Bundesbodenschutzgesetzes und die mit den Direktzahlungen aus Brüssel verknüpften Verpflichtungen für erosionsgefährdete Ackerflächen sowie die Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie zur Minderung des Stoffeintrages in Gewässer mit wirksamen und praktikablen Strategien im landwirtschaftlichen betrieblichen Management umzusetzen.

Die das Bodengefüge schonende Bewirtschaftung ist eine der entscheidenden Voraussetzungen für eine nachhaltige Nutzung von Acker- und Grünlandflächen. Erosionsschutzmaßnahmen vermindern den Verlust von fruchtbarem Boden. Zugleich trägt die Reduzierung des mit dem Bodenaustrag verbundenen Nährstoffverlustes zu einem effizienten Umgang mit immer knapper werdenden Nährstoffvorräten bei.

Eine wichtige Grundlage der nachfolgend zusammengestellten Berichte sind die Dauerversuche, die in den beteiligten Einrichtungen betreut werden. Diese Dauerfeldversuche sind eine realistische und praxisnahe Prüfmethode dafür, ob die natürliche Ressource Boden nachhaltig bewirtschaftet wird. Die Versuche zeigen deutlich, wie genau sich Böden verändern, wenn sie langjährig mit unterschiedlicher Intensität genutzt werden.

Das Infiltrationsvermögen von Böden in konservierender Bodenbearbeitung verzögert bei Starkregen den Abflussbeginn, reduziert den Bodenabtrag und ist zugleich ein wichtiger Baustein für Wasser sparende Bewirtschaftungssysteme. Die veränderte Nährstoffdynamik und die anders gestaffelten Nährstoffgehalte der oberen Bodenschichten bei langjähriger Anwendung von pflugloser Bodenbearbeitung und bei Pflugeinsatz sind für betriebliche Managemententscheidungen wichtig. Die Druckbelastbarkeit von Böden steht im Fokus, damit Bewirtschafter das Schadverdichtungsrisiko ihrer Böden erkennen und vorsorglich abbauen können.

Die Fachbehörden der Länder werden auch künftig in enger Kooperation an ökologisch und ökonomisch sinnvollen und erfolgreichen Lösungen für die landwirtschaftliche Praxis arbeiten.

Einschätzung der Schadverdichtungsgefährdung und Verfahren zum Schutz des Bodens vor Schadverdichtung auf der Grundlage des mechanischen Bodenverhaltens

Dr. Rainer Paul - Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)

Inhaltsverzeichnis

1	Ergebnisse	6
1.1	Verdichtung und Schadverdichtung	6
1.2	Ermittlung der Druckbelastbarkeit	6
1.3	Ermittlung der Druckbelastung	7
1.4	Schadverdichtungsrisiken der Bodenhorizonte	8
2	Bodenschutzplaner	10
2.1	Beschreibung	10
2.2	Nutzung des Bodenschutzplaners	12
3	Lösungsvorschläge zum Schutz des Bodens vor Schadverdichtungen	12
4	Schlussfolgerungen	13
5	Literaturverzeichnis	13

Zielsetzung

Mit einem Anteil von 71 % werden die meisten Ackerflächen in Thüringen von Großbetrieben bewirtschaftet (MATTHES 2008). Diese Betriebe setzen leistungsstarke und schwere Fahrzeuge ein. Die Druckbelastung der Ackerflächen unterscheidet sich deshalb wenig. Deutlich unterschiedlich ist dagegen die Druckverträglichkeit der Böden. Für druckempfindliche Böden ergeben sich daraus Schadverdichtungsrisiken.

Das Ziel des Bodengefügeschutzes ist, das Gefüge der ackerbaulich genutzten Böden in einem durchwurzelbaren und funktionsfähigen Zustand zu erhalten. Dazu wird ein Verfahren erarbeitet, mit dem der Landwirt die Schadverdichtungsrisiken erkennt, die mit seiner Technik auf seinen Flächen entstehen können und er rechtzeitig vor Befahren des Feldes diese Risiken mit den auf seinem Standort wirtschaftlichsten und wirksamsten technischen und pflanzenbaulichen Möglichkeiten abbauen kann.

1 Ergebnisse

1.1 Verdichtung und Schadverdichtung

Gefügeveränderungen als Folge des Bodendruckes entstehen durch die Wirkung von Spannungen, die sich vom Kontaktflächendruck ausgehend dreidimensional im Boden ausbreiten. Sie wirken auf die Partikel ein und verlagern diese, sobald die Spannungen – gleich in welcher Richtung – die bodeneigenen Stütz- und Scherkräfte übersteigen. Die Folgen sind Abnahme des Grobporenvolumens (Ergebnis der Kompression) und Verringerung der Durchlässigkeit (Ergebnis der Scherung). Die Kompression dominiert in feinerdeärmeren Böden und bei geringerem Bodenfeuchtegehalt, die scherende Verformung nimmt mit dem Tonanteil und Wassergehalt zu.

Diese Gefügeveränderungen können zum Schadzustand führen. Dieser ist als der Zustand definiert, bei dem der Boden seine Versorgungs- und Drainagefunktion nicht mehr ausreichend erfüllt und die Ausbreitung der Pflanzenwurzeln behindert. Diese Funktionen hängen wesentlich vom Anteil und der Kontinuität des Grobporensystems (Volumenanteil an Poren > 50 µm) ab. Es sollte ein Grobporenvolumen von 8 % in der Krume und 5 % im Unterboden und ein **kf-Wert** von mindestens 10 cmd^{-1} nicht unterschritten werden.

1.2 Ermittlung der Druckbelastbarkeit

Ausgang der Ermittlung der Druckbelastbarkeit der Thüringer Ackerflächen war der Drucksetzungsversuch im Ödometer mit gestaffelter Belastung an ungestörten Bodenproben (PAUL und ROGASIK 1991). Aus dem Kurvenverlauf der bleibenden Setzung wurde nach dem grafischen Verfahren nach CASAGRANDE die Vorbelastung als Übergang zwischen dem Wiederbelastungs- (Druck ist geringer als Bodenwiderstand) und dem Erstbelastungsbereich (Druck ist größer als der Bodenwiderstand) ermittelt. Nach Entlastung und Rückdehnung folgte zu mehreren Belastungsstufen die Bestimmung des Gasdiffusionskoeffizienten als Maß für die Durchgängigkeit des Porensystems.

Die Gasdiffusionskoeffizienten zeigten, dass sich die Durchlässigkeit des Porensystems nicht proportional zur Setzungskurve verhielt. Entscheidenden Einfluss übte das Gefüge aus.

Krümel- und Bröckelgefüge mit rundlichen und rauflächigen Aggregaten blieben über die Vorbelastung hinaus im Erstbelastungsbereich durchlässig, während sich verfestigte Böden mit Absonderungsgefüge (Polyeder) schon im Wiederverdichtungsbereich als dicht zeigten. Böden mit Kohärentgefüge waren am instabilsten und schon nach geringer Druckeinwirkung dicht (PAUL und ROGASIK 1991).

Die gefügespezifischen Auswirkungen der Druckbelastung auf die Durchlässigkeit veranlasste, nicht die gemessene Vorbelastung als Druckbelastbarkeit eines Bodens anzunehmen, sondern die Vorbelastung, die ein Boden mit den Mindesteigenschaften für Luftkapazität und Durchlässigkeit hätte.

Für die Einschätzung der Druckbelastbarkeit der Thüringer Böden wurden die Regressionen nach dem Modell **DVWK-Merkblatt** 234 (1995) berechnet. Um die Funktionsfähigkeit der Böden zu berücksichtigen, wurden in diese Gleichungen im Unterschied zur Berechnung der Vorbelastung die Mindestwerte für die Parameter Luftkapazität und **kf-Wert** (WERNER und PAUL 1999) eingegeben. Die Druckbelastbarkeit ist in vielen Böden gleich der Vorbelastung, in lockeren Böden aber höher und in verfestigten niedriger. Die Auswirkungen bestehen in einer Minderung des Aufwandes auf sehr lockeren Böden, vor allem aber werden stark verdichtete Böden geschont. In diesen Böden sollen natürliche Regenerierungsprozesse (Anlage von Vertikalporen) unterstützt, vor allem aber soll der Unterboden geschützt werden. Das Befahren einer stark verdichteten Krume erzeugt keine deutlichen Spuren, der Druck wirkt dennoch bis in tiefere Bodenschichten. Verführt das Spurbild zu höherer Belastung, können tiefere Bodenschichten verdichtet werden.

Die Wirksamkeit der Druckbelastbarkeitseinschätzung wird seit 1992 im Langzeitversuch anhand der Gefügeentwicklung auf praxisüblich bewirtschafteten Dauerbeobachtungsflächen sowie an Profiluntersuchungen an weiteren Flächen überprüft.

1.3 Ermittlung der Druckbelastung

Die Druckbelastung ergibt sich aus der Radlast, (Kraft) die über eine Kontaktfläche auf den Boden aufgebracht wird (Kontaktfläche). Von dieser Kontaktfläche aus werden Spannungen in den Boden eingetragen. Im Boden wird die Spannung nach dem Modell SÖHNE (1953) als vertikal gerichtete Hauptspannung für eine bestimmte Tiefe berechnet. Nicht berechnet, aber wirksam sind auch horizontale und tangentiale Hauptspannungen.

Die Radlast resultiert aus der Masse des Fahrzeuges, der Masseverteilung auf die Achsen und der Anzahl der Räder. Bei der Bodenbearbeitung wird der Achslast ein vertikaler Kraftvektor zugerechnet, der sich aus dem Zugwiderstand ergibt (OBERHAUS et al. 2005). Anbaugeräte werden mit ihrer

Masse zuzüglich einer Belastung von 30 % der Gerätemasse als Hebelwirkung der Belastung der Traktorhinterachse zugefügt.

Bei Aufsattelgeräten wird die Stützlast zur Radlast der Traktorhinterachse addiert, die Radlast des Gerätes bzw. Fahrzeuges ergibt sich aus der Masse abzüglich der Stützlast dividiert durch die Anzahl der Räder.

Die Kontaktfläche wird häufig durch Umstäuben des auf dem Ackerboden stehenden Rades mit Kreide als freigebliebene Fläche gemessen (HÖLTKEMEYER 2006). Diese Kontaktfläche erscheint zu groß, vor allem weil Flanken und in Längsrichtung vor- und nachlaufende Flächen einbezogen sind. Diese Flächenteile kommen aber erst in Bodenkontakt, wenn das Rad bereits in den Boden eingesunken ist. Das heißt, dass eine kleinere Teilfläche des Reifens bereits Verformungsarbeit geleistet hat. ZIESAK und MATTHIES (2001) sowie Untersuchungen von DÖLL und SCHNEIDER (2001) und Demonstrationen des DLG-TESTZENTRUMS (2006) finden eine wesentlich kleinere Aufstandsfläche und weisen nach, dass die Aufstandsfläche nicht gleichmäßig beaufschlagt ist. Für das Thüringer Verfahren wird deshalb für Traktorreifen eine quadratische Aufstandsfläche mit der Reifenbreite als Seitenlänge und für Gerätereifen ein quer zur Fahrtrichtung liegendes Rechteck mit der Reifenbreite und 80 % dieses Maßes als Seitenlängen angenommen. Dabei wird ein lastgerechter Reifeninnendruck für Ackerfahrt unterstellt. Der Vergleich mit aufwendigen Modellen ergab keine erheblichen Unterschiede.

1.4 Schadverdichtungsrisiken der Bodenhorizonte

Gefügeveränderungen mit nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen (Bodenschadverdichtungen) sind im Unterboden besonders nachhaltig, da die üblichen Bodenbearbeitungsverfahren in dieser Tiefe nicht wirken. Die Auflockerung mit Tieflockerungsgeräten ist energie- und kostenaufwendig und bleibt auch nur kurzzeitig wirksam. Das Verfahren schafft nur grobe Interaggregatporen, die dichten Aggregate selbst verändern sich nicht. Bereits geringer Druck vernichtet die groben Interaggregatporen, die ursprüngliche Festigkeit stellt sich wieder ein. Infolge der Vernichtung von Vertikalporen ist die Durchlässigkeit meist geringer als vor der Lockerung.



Abbildung 1: Gefügeveränderungen im Boden bei einmaliger Überfahrung mit Traktor und arbeitendem Grubber (15 cm Lockerungstiefe)

Der Schutz des Unterbodens ist deshalb besonders wichtig.

Die intensivsten Gefügeveränderungen betreffen jedoch die Krume. Die Abbildung 1 zeigt das mit der Durchbiegung der weißen Linien. Im Beispiel ist die Krume bis 25 cm von der Gefügeveränderung betroffen.

Die Gefügeveränderungen beginnen mit einer Zunahme der Trockenrohdichte, bei hohem Druck folgt insbesondere auf tonreichen Böden als Folge der intensiven Druck- und Knetwirkung der Spannungen eine Umformung und Verfestigung der Aggregate. Diese Aggregate sind beständig, vor allem im unteren Krumenbereich gelingt eine Auflösung durch natürliche Kräfte nicht, weil ihre Wirkung zu schwach (z. B. Frostwirkung) und die Zeit bis zu nächsten Druckbelastung zu kurz ist (PETELKAU 1991).

Entscheidend ist deshalb auch die Einhaltung der Druckbelastbarkeit der Krume, vor allem der unteren Krumenschicht. Diese Schicht wird während der Vegetationsperiode nicht gelockert. Bei flachlockernden Bodenbearbeitungsverfahren bleibt sie auch dauerhaft ohne mechanische Lockerung. Mit der Berücksichtigung der Druckbelastbarkeit dieser Schicht dürfte auch ein sicherer Schutz der tieferen Schichten und des Unterbodens erreicht werden. Ausnahmen bilden erheblich instabilere (z. B. vernässte) Unterbodenschichten.

2 Bodenschutzplaner

2.1 Beschreibung

Ein Hilfsmittel zur Gestaltung des vorsorglichen Bodenschutzes ist der Bodenschutzplaner. Der Bodenschutzplaner besteht aus den Teilen Erosions- und Gefügeschutz. Der Anwender erkennt Gefährdungen seines Bodens hinsichtlich Bodenabtrag und Bodengefüge und kann Maßnahmen zur Abwehr der Gefährdungen ableiten.

Der Teil Bodengefügeschutz beruht auf der Einschätzung der Druckbelastbarkeit der Thüringer Böden und der Druckbelastung durch die vom Landwirt genutzte Technik.

Die Druckbelastbarkeit der Bodenformen wurde auf die Feldblöcke übertragen, sodass für jeden Feldblock die Druckbelastbarkeit in Krumen und krumennahen Unterboden für mehrere Bodenfeuchtestufen vorliegt. Feldblöcke mit mehreren Bodenformen wurden mit der niedrigsten Druckbelastbarkeit bewertet, wenn die entsprechende Bodenform mehr als 20 % der Feldblockfläche einnimmt.

Die Druckbelastung wird aus Angaben des Landwirtes zu seiner Technik ermittelt.

Aus Druckbelastung und Druckbelastbarkeit des Bodens wird ein Quotient (Druckbelastbarkeitskoeffizient) berechnet. Ein Schadverdichtungsrisiko liegt vor, wenn der Quotient einen Wert > 1,25 annimmt. Die Abweichung vom Idealwert 1 berücksichtigt sowohl modellbedingte Ungenauigkeiten als auch die Wahrscheinlichkeit einer Wiederherstellung der Gefügefunktion nach nur geringer Überschreitung der Druckbelastbarkeit (WERNER, D., WERNER, B. 2001).

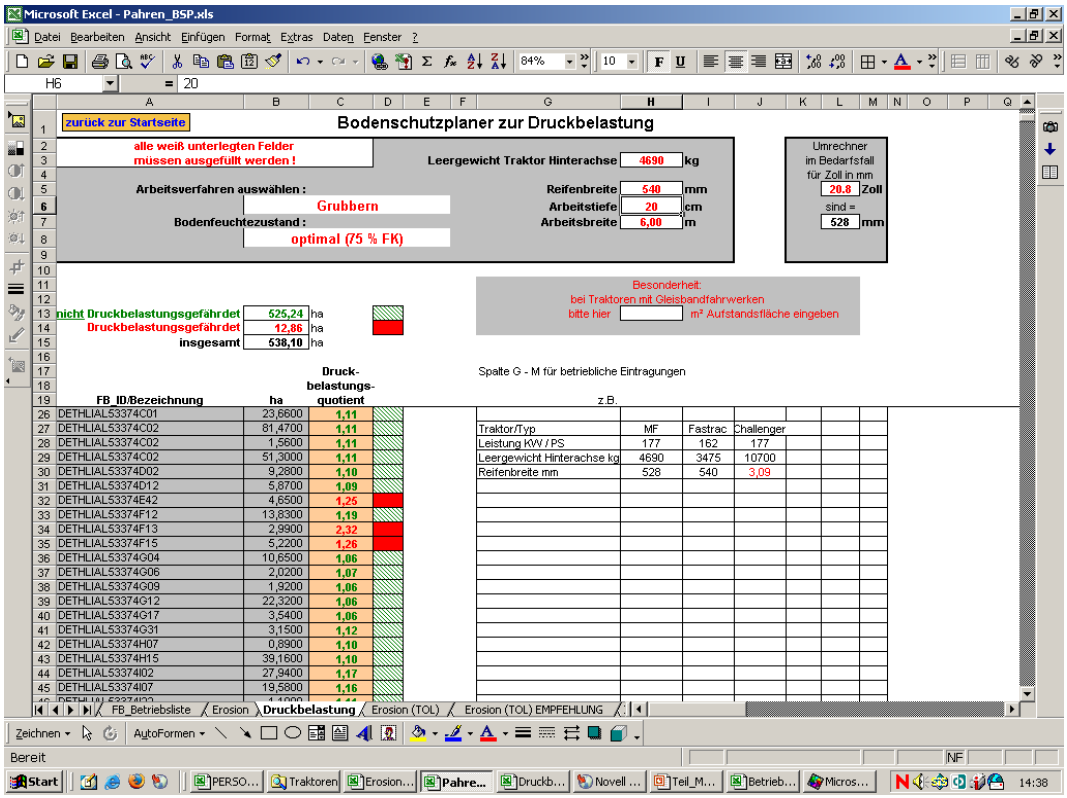


Abbildung 2: Portal Landwirtschaftlicher Bodenschutz

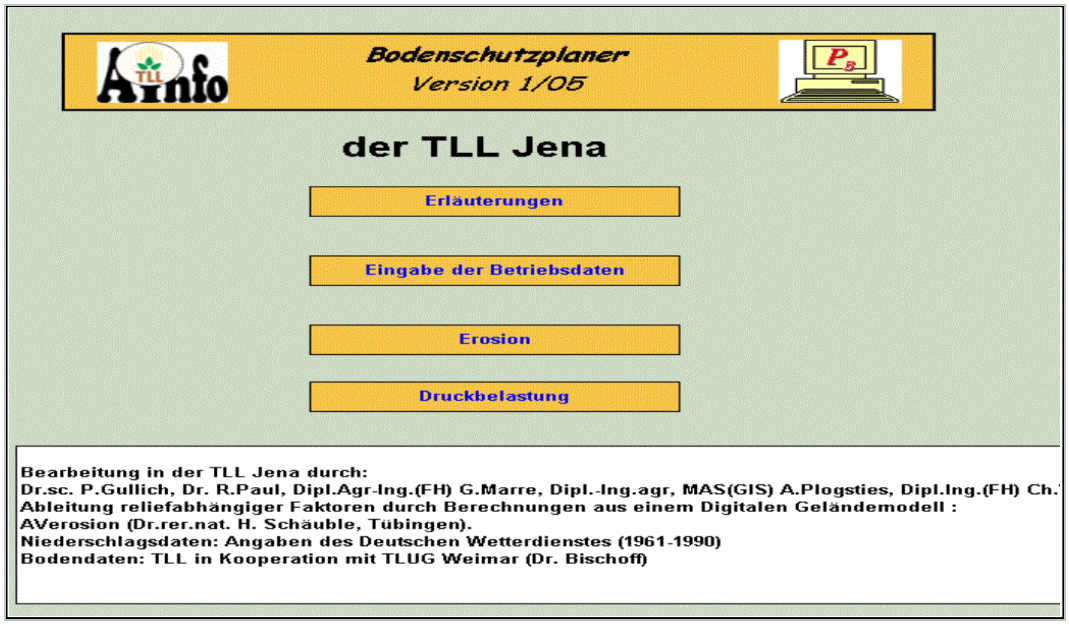


Abbildung 3: Ergebnisblatt des Bodenschutzplaners

2.2 Nutzung des Bodenschutzplaners

Der Nutzer des Bodenschutzplaners gibt zunächst die Feldblockidentifikationen ein. Bei Bedarf kann die betriebsübliche Schlagbezeichnung zugefügt werden.

Das Programm sucht die entsprechende Druckbelastbarkeit aus. Danach sind Angaben zur Technik erforderlich. Für Verfahren der Bodenbearbeitung sind das die Achslast der Traktorhinterachse, die Arbeitsbreite und die Arbeitstiefe. Bei Arbeiten mit Anbaugeräten ist zusätzlich zur Achslast die Masse des Gerätes bei Nutzlast einzugeben, für Transport- und Erntearbeiten die höchste Radlast bei Nutzlast und die Reifenbreite. Auswahl besteht für die Bodenfeuchte in drei Stufen. Das Programm gibt dann die Gefährdung für den jeweiligen Feldblock und den Arbeitsgang als Belastungsquotient aus und markiert diesen farblich: grün, wenn nur ein geringes oder kein Risiko besteht; rot, wenn ein Risiko erkannt wird.

Wichtig ist, alle zu einem Produktionsverfahren gehörenden Arbeiten zu prüfen. Ein wirksamer Abbau der Risiken ist nicht mit der bodenschonenden Ausrüstung einzelner Maschinen zu erreichen. Oft verursachen die Transportfahrzeuge einen hohen Bodendruck, der verbunden mit einem hohem Spuranteil – auch außerhalb der Leitspuren – zu einer ausgedehnten Verdichtung führen kann.

Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens ist auf der Internetseite AINFO der TLL (www.tll.de/ainfo/ai_idx.htm) verfügbar.

3 Lösungsvorschläge zum Schutz des Bodens vor Schadverdichtungen

Der Bodenschutzplaner bietet Lösungen zum Abbau der Schadverdichtungsrisiken für den Feldblock und für die jeweilige Technik an. Variiert werden können die Reifenbreite, die Radlast und die Bodenfeuchte. Dieses Vorgehen setzt voraus, dass Werte und Lösungen eingegeben werden, die realistisch und z. B. bei der Wahl der Reifenbreite auch zulässig sind. Es ist auch darauf zu achten, dass die Maschinen über die erforderliche Zugkraft für die beabsichtigte Arbeit verfügen.

Ist eine Akzeptanz im Rahmen dieser Grenzen nicht erreichbar, ist für die betreffende Fläche eine Maschine geringerer Leistung (damit auch niedrigerer Leermasse) einzusetzen. Weitere Empfehlungen zum Bodenschutz sind nach dem Konzept „Vier Bausteine des Bodenschutzes“ (SOMMER et al. 1998; VDI-RICHTLINIE 6101 2007) Nutzung der technischen Möglichkeiten (moderne Fahrwerkskonstruktionen, Reifen mit geringem Fülldruckbedarf, Regelung des Reifeninnendruckes).

Besonders hervorgehoben sind im Konzept Methoden zur **Anpassung von Arbeitsverfahren** wie z. B.:

- Befahrbarkeit des Bodens beachten (steifplastischer und festerer Konsistenzzustand der Krume, auch Prüfen des Unterbodens mindestens bei Vernässungsneigung)
- Fahrgassen anlegen (Fahrgassen trotzdem im Rahmen der Bodenbelastbarkeit belasten, Bodenfunktionen müssen erhalten bleiben)
- On-land-Fahren beim Pflügen
- Befahrhäufigkeit senken durch Kopplung von Arbeitsgängen (Bodendruck beachten).

4 Schlussfolgerungen

Die Existenz eines Schadverdichtungsrisikos besteht. Die Lösungen zum Abbau der Risiken sind unterschiedlich. Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft schlägt mit dem Bodenschutzplaner ein Verfahren vor, mit dem diese Risiken vorsorglich abgebaut werden können. Maßstab des Verfahrens sind die Druckbelastbarkeit des Bodens und die Belastung.

Die aus dem Bodenschutzplaner abzuleitenden Lösungen sind umsetzbar und im Ergebnis langjähriger Untersuchungen können sie auch als wirksam eingeschätzt werden. Der Bodenschutzplaner beruht jedoch auf Modellvorstellungen. Modellergebnisse erreichen nicht die Präzision von Messungen im Feld. Sie müssen deshalb laufend mit realen Vorgängen verglichen und gegebenenfalls angepasst werden. Eine ständige Weiterentwicklung der Modelle ist auch erforderlich, um den technischen Fortschritt zu berücksichtigen.

5 Literaturverzeichnis

DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1995): DVWK-Merkblatt 234, Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden Teil I.

DIN 19682-10 (2007): Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau - Felduntersuchungen - Teil 10 Beschreibungen und Beurteilung des Bodengefüges. Beuth-Verlag

DÖLL, H.; SCHNEIDER, T. (2001): Deformationscharakteristik landwirtschaftlicher Reifen - Wirkung auf den Bodendruck und den Pflanzenstress. Vortrag VDI-Tagung Landtechnik 2001 in Hannover, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 2001, 127 - 138

HÖLTKEMEYER, V. (2006): Regelung von Reifeninnendruck und Kontaktfläche bei wechselndem Einfluss von Radlast und Boden. Dissertation. Forschungsbericht Agrartechnik 451, Kiel, 153 S.

MATTHES, I.; SCHULZE, A.; HUBOLD, B.: ERSTAUSWERTUNG VON THÜRINGER TESTBETRIEBSERGEBNISSEN 2006/2007. http://www.tll.de/ainfo, 02/2008, 12 S.

OBERHAUS, CH.; BILLER, H.; KEUPER, G.; STACHNIK, P. (2005): Gewichtsübertragung vom Anbaupflug auf den Traktor. Landtechnik 60, 330 - 331

PAUL, R.; ROGASIK, H. (1991): Möglichkeiten und Grenzen der Strukturbeurteilung bindiger Böden mittels Kompressionsgerät. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. Berlin 35 1, 3 - 10

PETELKAU, H.; (1991): Ertragliche Auswirkungen technogener Schadverdichtungen der Ackerkrume. Agrartechnik 41 (2), 54 - 57

SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundl. D. Landtechnik 5, 49 - 63

SOMMER, C. (1998): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion. Bodenschutz 1, 12 - 15

VDI-RICHTLINIE 6101 (2007): Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlicher Böden. Weißdruck 2007.

WERNER, D.; PAUL, R. (1999): Kennzeichnung der Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. Z. Wasser und Boden 51, 10 - 14

WERNER, D.; WERNER, B. (2001): Verdichtung und Regeneration des Gefüges eines schluffigen Tonbodens (Tschernosem): Bodenphysikalische, computertomografische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen. J. Plant Nutr. Soil Sci., 164, 79 - 90

ZIESAK, M. & MATTHIES, D. (2001): Untersuchungen zur last- und innendruckabhängigen Aufstandsfläche von Forstspezialreifen: Investigations towards the load and inflation pressure dependend foot print area of forest tyres FTI, 9 + 10: 104 - 110

Untersuchungen zum Infiltrationsvermögen von Böden nach langjährigem Pflugverzicht und Direktsaat

Joachim Bischoff, Matthias Schrödter, Falko Holz - Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) Sachsen-Anhalt

Inhaltsverzeichnis

1 Zielstellung 16
2 Ergebnisse und Diskussion 17
3 Schlussfolgerungen 21
4 Handlungsempfehlungen - Handlungsbedarf 22
5 Literatur 22

1 Zielstellung

Zunehmende Bedeutung erlangen bodenschonende und wassersparende Anbausysteme. Hierbei sind tragfähige Konzepte für verschiedene Formen der Landbewirtschaftung und für unterschiedliche Standortbedingungen zu entwickeln, da die Probleme und damit die Fragestellungen sehr verschieden gelagert sein können.



Abbildung 1: Die primäre Ursache der Erosion ist durchaus nicht das hangabwärts abfließende Wasser allein, sondern die Tatsache, dass der Acker das Wasser nicht genügend rasch aufnimmt.

Für die trockenen Löss-Standorte werden acker- und pflanzenbauliche Fragestellungen, aber auch die Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften in einem langjährigen Versuch in Bernburg untersucht.

Der Bearbeitung standortspezifischer Probleme der Tieflandböden dienen Versuchsanstellungen in Praxisbetrieben, die letztendlich zu einer Verfahrensoptimierung und einer weiteren Verbreitung dieses Bodenbearbeitungsverfahrens führen sollen.

Ein Beitrag der Landesanstalt Sachsen-Anhalt in einem Mehrländerprojekt mit den Landesanstalten für Landwirtschaft von Bayern, Sachsen und Thüringen war es, das Infiltrationsvermögen und den

Bodenlufthaushalt eines stark tonigen Schluffes (Ut4) und eines schwach lehmigen Sandbodens (Sl2) unter dem Einfluss verschiedener Bearbeitungsmaßnahmen zu untersuchen.

Hierzu wurden in mehrjährigen Praxisversuchen Stechzylinderproben bis in 1 Meter Bodentiefe entnommen und im Bodenlabor der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg analysiert (Tab.1). Die Bodenbearbeitungsvarianten sind: (1) jährlich wendende Bodenbearbeitung, Volldrehpflug mit 90er Doppelpacker (25 cm Arbeitstiefe); (2) Grubber/ Scheibenegge (10 - 15 cm); (3) Scheibenegge (8 - 10 cm) auf schwach lehmigem Sand bzw. auf stark tonigem Schluff Direktsaat, seit 1996 ohne jede Bearbeitung.

Tabelle 1: Untersuchungsmethoden der bodenphysikalischen Parameter.

a: Parameter b: Formelzeichen c: Dimension	a: Verfahren b: Wiederholung je Messtiefe	beschrieben durch
a: Trockenrohdichte b: TRD c: g/cm^3	a: Stechzylinder (250 cm^3) Trocknung bei 105 °C b: n = 6	DIN 19683, Teil 11
a: gesättigte Wasserleitfähigkeit b: kf c: cm/d	a: Stechzylinder (250 cm^3) b: n = 6	DIN 19683, Teil 9
a: Grobporenvolumen b: GPV c: Vol.-%	a: Druckmembranapparatur, Stechzylinder (250 cm³) b: n = 6	ISO 11274

2 Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Grobporenvolumen des Bodens (**GPV**) und der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf-Wert). Zwischen GPV und kf-Wert besteht eine nichtlineare Korrelation, die abhängig von der Bodenbearbeitung unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Auf dem stark tonigen Schluff (Ut4) führte konservierende Bodenbearbeitung bei gleichem Grobporenanteil zu einer höheren gesättigten Wasserleitfähigkeit als die wendende Pflugarbeit. Das liegt an der ausgeprägten Porenkontinuität des weit verzweigten Bioporensystems, das durch eine große Leistungsfähigkeit und vor allem Langzeitstabilität gekennzeichnet ist. Je mehr Regenwurmgänge und Wurzelröhren vorhanden sind, umso rascher geht die Infiltration bei Starkregen vor sich und umso geringer sind die unproduktiven Wasserverluste durch Evaporation, Oberflächenabfluss und die damit verbundenen Bodenstrukturschäden. Vor allem aber bleibt der Übergang von der Krume zum Wasserspeicher im Untergrund offen, sodass der Boden den Regen rasch aufnimmt. Der schwach lehmige Sandboden (Sl2) weist aufgrund seiner Körnung größere Grobporenvolumina und Infiltrationsraten auf als der feinerdereiche Löss. Das trifft auch für den überlockerten und isotropen Bodenzustand nach Pflugfurche im Vergleich zur konservierenden Bodenbearbeitung zu. Jedoch ist

dieser Strukturzustand nicht von Dauer, weil durch verminderte Regenwurmaktivität und Lebendverbauung der Strukturverfall rasch einsetzt. Die Wasserbindung ist in den Grobporen am geringsten, deshalb findet dort auch die stärkste Wasserbewegung durch schnell und langsam fließendes Sickerwasser statt. Fehlt dem Boden die Lebendverbauung der Bodenorganismen zu einer wasserbeständigen Krümelstruktur, dann werden die Grobporen durch die verschlämmende Wirkung der Niederschläge zerstört.

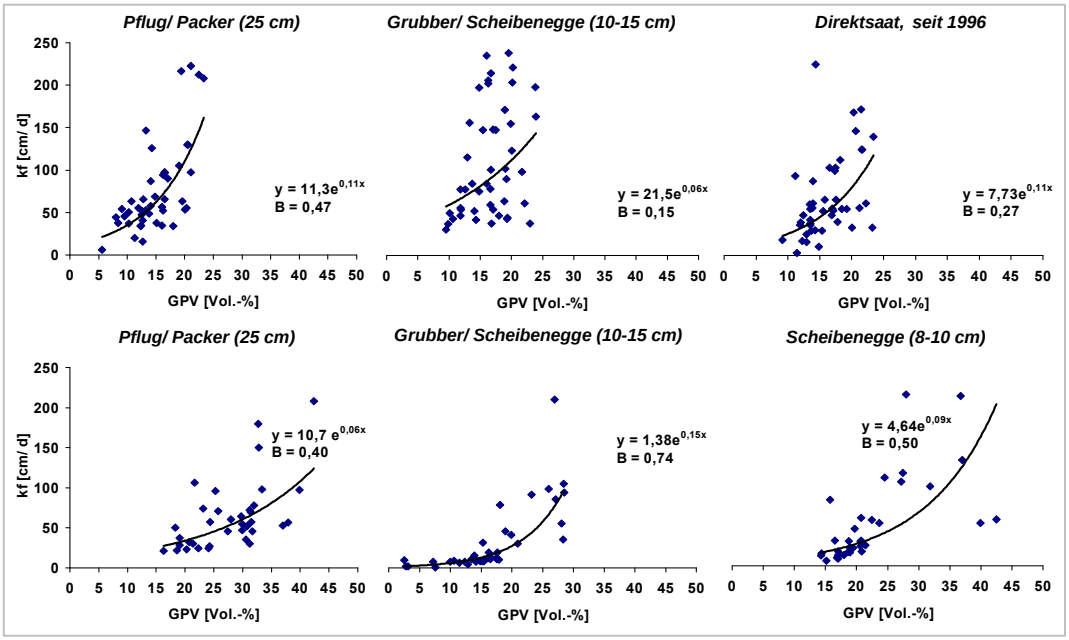


Abbildung 2: Grobporenvolumen [Vol.-%] und gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/Tag] des Bodens; oben ein stark toniger Schluff (Ut4), unten ein schwach lehmiger Sand (Sl2).

Ein kontinuierliches Porensystem mit vielen vertikalen Bioporen zeichnet sich durch eine hohe gesättigte Wasserleitfähigkeit aus. Als „hoch“ werden kf-Werte von größer als 40 cm/Tag verstanden, 10 bis 40 cm/d werden als „mittel“ und kleiner als 10 cm/d als „gering“ bezeichnet. Beide Standorte unterscheiden sich wesentlich in ihrer Reaktion auf die unterschiedlichen Lockerungsintensitäten (Abb. 3 - 6). So führte auf dem schwach lehmigen Sand die nichtwendende Bodenbearbeitung mit nur flacher Lockerung zu einer deutlichen Zunahme der Bodenlagerungsdichte in Unterkrume, Krumenbasis und Unterboden (Abb. 4). Durch die Krumenverdichtung vermindern sich die Luftkapazität (Abb. 6) und gesättigte Wasserleitfähigkeit. Völlig anders als der Sandboden reagiert der relativ strukturstabile stark tonige Schluff auf Pflugverzicht und Direktsaat. Nach Abb. 3 lag die durchschnittliche Trockenrohdichte (**TDR**) in 1 m Bodentiefe bei 1,4 g/cm^3. Verdichtungszonen mit 1,5 g/cm^3 Trockenrohdichte wurden in der Pflugvariante in 24 - 48 cm, in der Grubber/Scheibenegge–Variante in 0 - 30 cm und bei Direktsaat in 0 - 22 cm sowie 32 - 38 cm festgestellt. Die Luftkapazität, also das Porenvolumen, das bei voller Wassersättigung noch luftführend

ist, betrug durchschnittlich 10 Vol.-% in der Pflugvariante, 11 Vol.-% bei Mulchsaat und 10 Vol.-% bei Direktsaat. Weniger als 8 Vol.-% in der Ackerkrume und 5 Vol.-% im Unterboden sind kritisch für die Ertragsbildung (BISCHOFF 2006, 2007; BISCHOFF und HOFMANN 2007). In Abb. 5 wurden die Bodenschichten farblich hervorgehoben, in denen die Luftkapazität weniger als 8 Vol.-% beträgt. Solche Werte weisen die Schichttiefen 24 - 38 cm nach wendender Pflugarbeit, 16 - 22 cm nach Mulchsaat und 0 - 30 cm nach Direktsaat auf. Infolge technogener Einflüsse (u. a. Furchenradbelastung) verringerte sich die Luftkapazität der gepflügten Variante in 24 - 30 cm auf 5,9 Vol.-%.

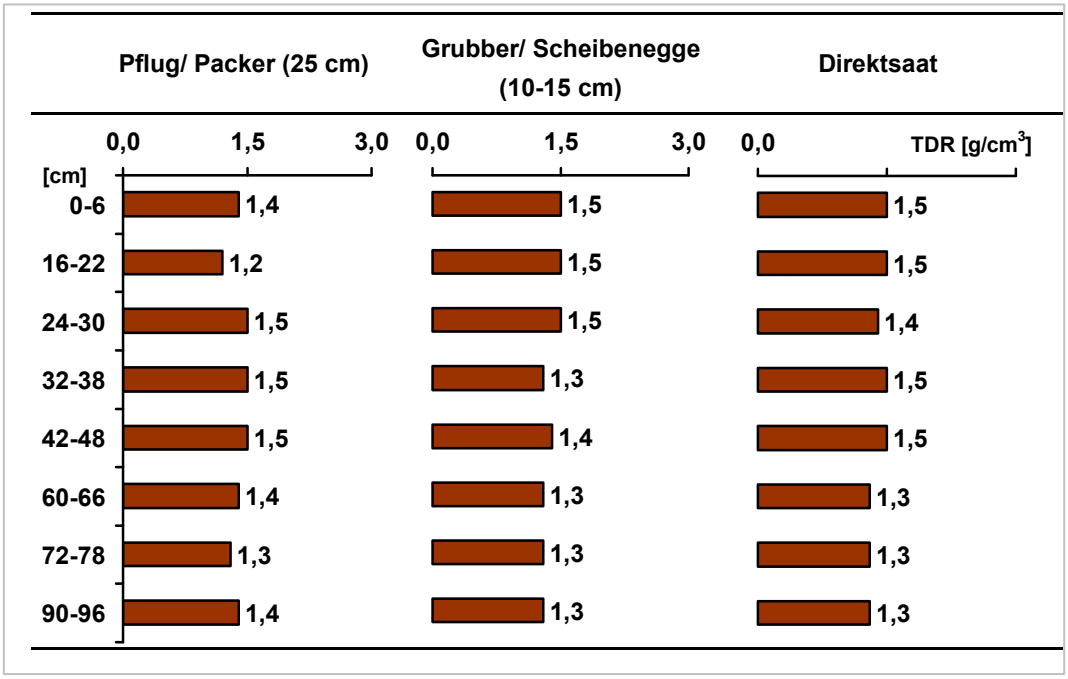


Abbildung 3: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Trockenrohdichte [g/cm^3] eines stark tonigen Schluffes (Ut4).

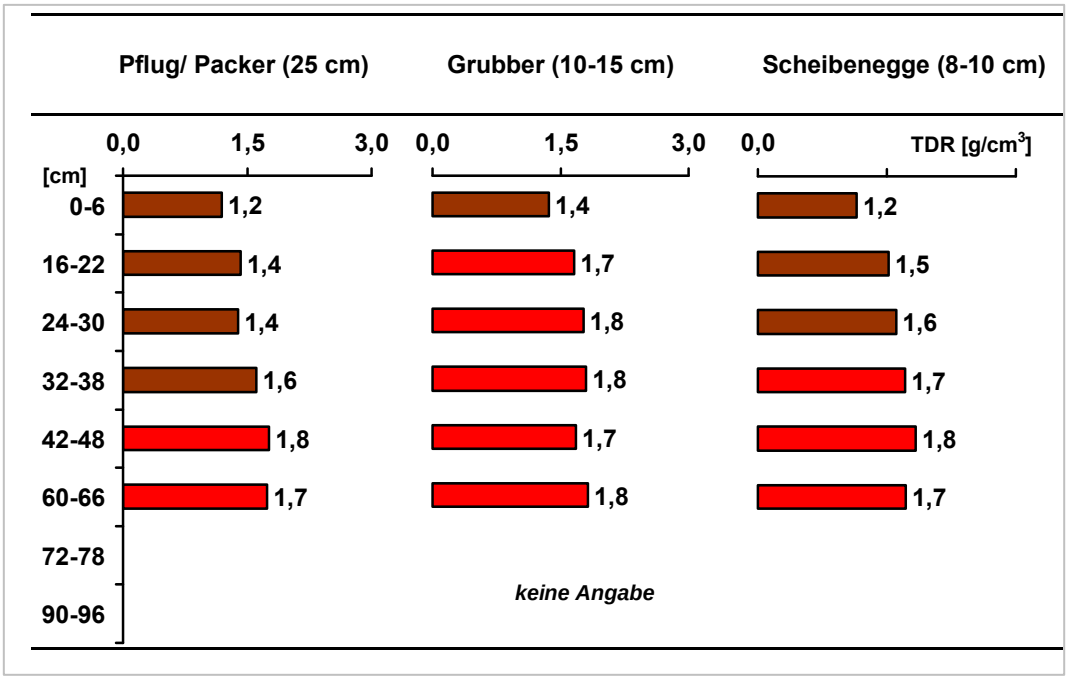


Abbildung 4: **Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Trockenrohdichte [g/cm^3] eines schwach lehmigen Sandes (Sl2).**

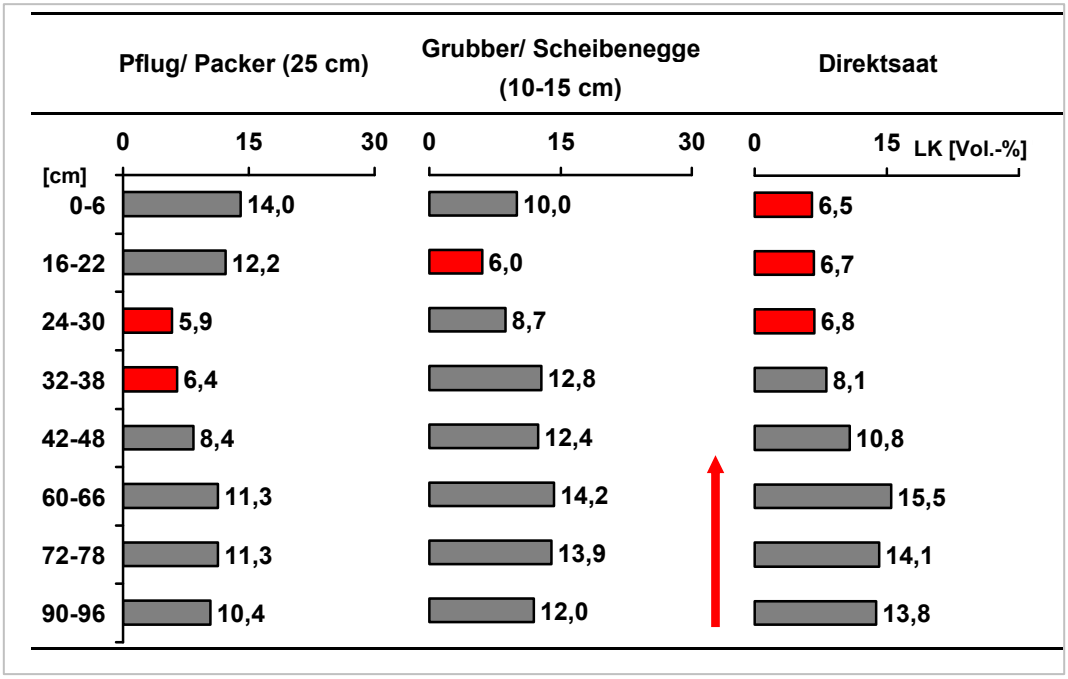


Abbildung 5: **Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Luftkapazität [Vol.-%] eines stark tonigen Schluffes (Ut4).**

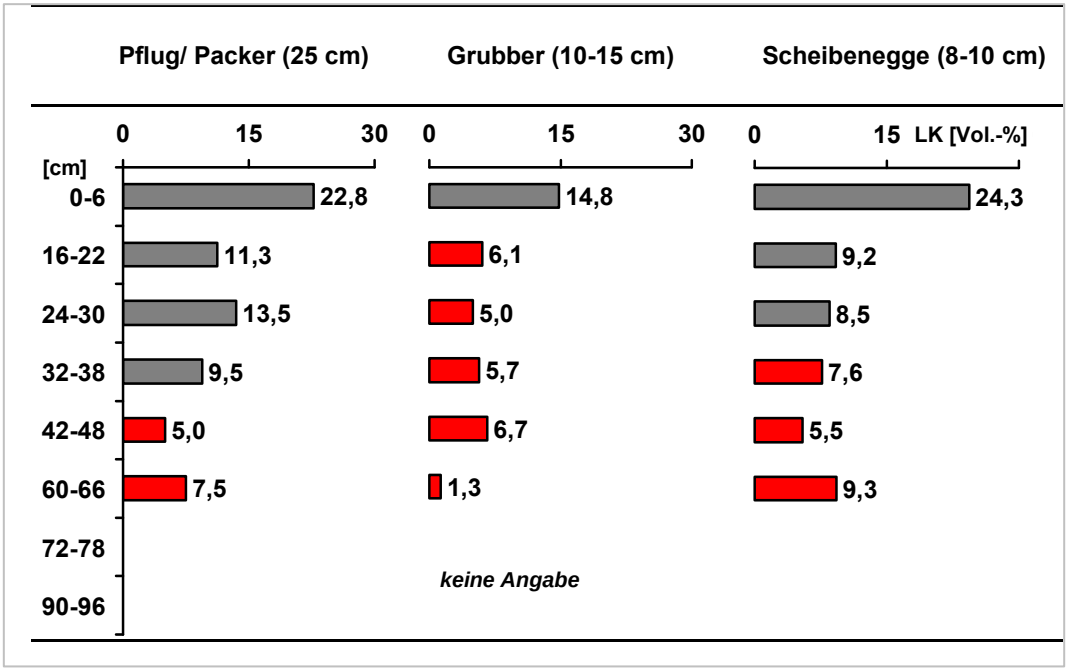


Abbildung 6: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Luftkapazität [Vol.-%] eines schwach lehmigen Sandes (Sl2).

3 Schlussfolgerungen

Die konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat führen gegenüber der wendenden Pflugfurche zum Ansteigen der Bodendichte im unbearbeiteten Krumenboden und zur Abnahme der Luftkapazität. Damit sind auf den verdichtungsempfindlichen Sandböden Einschränkungen bei der Wasserinfiltration verbunden. Der strukturstabile Lösslehm kompensiert diese Verluste bei der Luftkapazität über leistungsfähige und relativ verdichtungsunempfindliche Vertikalbioporensysteme (Wurmgänge und Wurzelröhren). Böden mit derartigen Eigenschaften können aus bodenphysikalischer Sicht ohne wesentliche Einschränkungen der Bodenfunktionen über längere Zeiträume flach bearbeitet werden. Allerdings müsste die Fruchtfolge an die veränderte phytosanitäre Situation im Ackerbau ohne Pflug angepasst werden.

Die strukturinstabilen Sandböden erfordern dagegen eine größere bodenzustandsabhängige Lockerungsintensität und höhere Anteile krumentiefer Lockerungen in der Fruchtfolgerotation. Standortbezogene Bearbeitung von leichten Sandböden ist deshalb oft mit einer Bodenlockerung nach Getreidevorfrucht auf volle Krumentiefe in Kombination mit einer mischenden Oberflächenbearbeitung (Grubber/Scheibeneggekombination) und anschließender Rückverfestigung sowie der Aussaat einer bodenstabilisierenden Zwischenfrucht verbunden.

4 Handlungsempfehlungen - Handlungsbedarf

Die konservierende Bodenbearbeitung kann einen nachhaltigen Beitrag zum vorsorgenden landwirtschaftlichen Bodenschutz leisten. Der oberflächliche Abtrag (Abschwemmung) von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln könnte durch ein verbessertes Infiltrationsvermögen der Böden als Folge eines konsequenten Pflugverzichts vermieden werden.

Mit der Aussaat von Leguminosen in Reinsaat oder Gemenge, Zwischen- oder Hauptfruchtstellung wurden nach Ernte 2008 durch die Landesanstalt Sachsen-Anhalt in Praxisbetrieben Feldversuche angelegt, mit dem Ziel, die Bodenbearbeitungssysteme weiterzuentwickeln.

5 Literatur

BISCHOFF, J. (2006): Wie reagiert der Boden? Neue Landwirtschaft, 1, 48 - 50.

BISCHOFF, J. (2007): Boden vorsichtig lockern. Land & Forst, 41, 19 - 21.

BISCHOFF, J. und HOFMANN, B. (2007): Vorbeugen statt heilen. Neue Landwirtschaft, 6, 38 - 41.

Nachhaltige Bodenbearbeitungsverfahren unter den Bedingungen Mecklenburg-Vorpommerns – Wirkung langfristig praktizierter unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Nährstoffgehalt des Bodens und den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen

Dr. Armin Hofhansel - Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei (LALLF) Mecklenburg-Vorpommern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	24
2	Material und Methoden	24
3	Ergebnisse	26
3.1	Einfluss pflugloser Bodenbearbeitung auf die Nährstoffschichtung im Boden	26
3.1.1	pH-Wert	26
3.1.2	Organische Substanz	27
3.1.3	Phosphorgehalt	27
3.1.4	Magnesiumgehalt	28
3.1.5	Kaliumgehalt	28
3.2	Einfluss pflugloser Bodenbearbeitung auf Erträge landwirtschaftlicher Kulturen	29
4	Zusammenfassung/Schlussfolgerungen	30
5	Handlungsempfehlungen - Handlungsbedarf	30

1 Einleitung und Problemstellung

Pfluglose Bodenbearbeitungsverfahren werden in Mecklenburg-Vorpommern auf ca. 50 % der Ackerfläche praktiziert. Die Dauer des Pflugverzichtes ist dabei sehr unterschiedlich. Neben Betrieben, die ihre Flächen nur nach bestimmten Kulturen oder nur in einzelnen Jahren pfluglos bearbeiten, nimmt der Anteil mehrjährig nicht mehr gepflügter Flächen stetig zu. Die Auswirkungen eines langjährigen Pflugverzichtes werden dabei sehr unterschiedlich bewertet. Während die physikalischen Veränderungen des Bodens für viele Anbaugebiete in Deutschland beschrieben wurden, sind Beeinflussungen der Nährstoffdynamik und der Nährstoffgehalte vor allem in den einzelnen Bodenschichten noch nicht genau bekannt.

Erste Ergebnisse zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Nährstoffgehalte in den oberen Bodenschichten liegen aus Fruchtfolgeversuchen in Gülzow seit 2003 vor. Mit Hilfe der vorliegenden und weiter zu erarbeitenden Versuchsergebnisse soll geklärt werden, wie sich langjährige pfluglose Bodenbearbeitung auf die Nährstoffgehalte im Boden unter norddeutschen Standortbedingungen auswirkt. Daraus abgeleitet sind Empfehlungen für Düngestrategien in pfluglos wirtschaftenden Betrieben herauszuarbeiten.

2 Material und Methoden

Für die Bearbeitung der genannten Problemstellung konnte der in der LFA seit 1994/1995 bestehende langjährige Exaktversuch zur pfluglosen Bodenbearbeitung genutzt werden. Der Boden auf diesem Standort in Gülzow wird durch lehmigen Sand bis stark sandigen Lehm charakterisiert. Die mittlere Ackerzahl beträgt 48. Der Boden ist zeitweise durch Staunässe beeinflusst.

Grundlagen des Langzeitversuches sind zwei Fruchtfolgen, die jeweils auf zwei Feldern zeitlich versetzt durchlaufen werden (Tab. 1). Geprüft werden hier im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung drei Verfahren der pfluglosen Bodenbearbeitung (Tab. 2). Die Grunddüngung erfolgt entsprechend des Versorgungsstatus.

Bei der Versuchsanlage handelt es sich um einen Langparzellenversuch mit fünf Prüfgliedern (Prüfglied 1 und 5 als Standard) in sechsfacher Wiederholung. Der Nährstoffgehalt des Bodens an P_2O_5, K_2O, Mg sowie der pH-Wert und die OS werden in drei verschiedenen Tiefen (0 - 5, 5 - 15, 15 - 30 cm) je Variante vor Vegetationsbeginn bestimmt.

Für die Auswertung der Dauerversuche Fruchtfolge/Bodenbearbeitung wurde 2003 ein spezielles zweifaktorielles PlAFStat-Verfahren „Langparzelle Bodenbearbeitung“ entwickelt. Ziel des Verfahrens ist eine optimierte Bodenausgleichsrechnung über Geostatistik.

Um einen besseren Vergleich über die Kulturen und die verschiedenen Jahre zu ermöglichen, wurden die absoluten Erträge in Relativzahlen umgewandelt. Die Erträge der Pflugvariante wurden dabei als Vergleichswert (relativ = 100) verwendet.

Tabelle 1: Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung – Fruchtfolgen 1994 - 2008

Jahr	Fruchtfolge I		Fruchtfolge II	
	Feld 1	Feld 2	Feld 1	Feld 2
1994	① SG	① SG + Senf	-	-
1995	WW + Senf	Mais	-	-
1996	② Ka	② KGr	① Tr + Senf	① Tr
1997	KGr	ZR	② ZR	② WG (+ Senf)
1998	ZR	WW + Senf	WW	ZR
1999	WW	Ka	WG + Senf	WW
2000	③ WW	③ WW	③ ZR	③ WG (+ Senf)
2001	WRa	WW	WW	ZR
2002	WW	WRa	WG (+ Senf)	WW
2003	WW	WW	Mais	WG (+ Senf)
2004	WRa	WW	WW	Mais
2005	WW	WRa	WG (+ Senf)	WW
2006	WW	WW	Mais	WG (+ Senf)
2007	WRa	WW	WW	Mais
2008	WW	WRa	WG (+ Senf)	WW

① Versuchsvorfrucht, Versuchsanlage im Herbst 1994

② 1. Versuchsabschnitt (1996 - 1999): Blattfruchtfolge (mit 25 % Getreide und Kleegras als Rotationsbrache zur Stilllegung) neben einer Getreidefruchtfolge (mit 67 % Getreide)

③ 2. Versuchsabschnitt (2000 - 2002): Übergang zu konsequenter Ausrichtung auf Agenda 2000. D. h. bei Fruchtfolge I zunehmender Anbau von Raps und Getreide (WW) als Mähdruschfruchtfolge mit evtl. späterem Einschub eines Buntschlages anstelle von Raps für Futter (Mais) oder Kulturen mit geringem Anbauumfang (Kartoffeln) aus Fruchtfolgegründen (nach 2002). Fruchtfolge II: Spezielle Fruchtfolge mit Zuckerrüben und hohem Getreideanteil in Form von Winterweizen und Wintergerste, evtl. Einschub von Mais anstelle der Zuckerrüben aus Fruchtfolgegründen (nach 2002).

Tabelle 2: Bearbeitungsvarianten (Verfahren) des Fruchtfolgeversuches

Stufe		Bodenbearbeitungstechnik
b1:	konventionell (Pflug tief – **Standard**)	Pflug (25 – 30 cm) + Packer; SBB + Rollschardrille
b2:	konservierend (Grubber tief)	Schichtengrubber (25 cm); SBB + Rollschardrille
b3:	konservierend (Grubber flach)	Flügelscharscheibengrubber (15 cm); SBB + Rollschardrille
b4[1)]**:**	konservierend (Grubber flach/Pflug flach)	Flügelscharscheibengrubber/Pflug (15 cm); SBB + Rollschardrille
b5:	konventionell (Pflug tief – **Standard**)	Pflug (25 – 30 cm) + Packer; SBB + Rollschardrille

[1)] ab 2000 „Grubber flach/Pflug flach", Arbeitstiefe 15/15 cm vor Raps (Fruchtfolge I) bzw. Wintergerste (Fruchtfolge II)

3 Ergebnisse

3.1 Einfluss pflugloser Bodenbearbeitung auf die Nährstoffschichtung im Boden

Grundlage für die Diskussion der Ergebnisse zum Einfluss pflugloser Bodenbearbeitung auf die Nährstoffschichtung im Boden sind die mehrjährigen Verrechnungen von 2003 bis 2007. Die statistische Verrechnung der bisherigen Ergebnisse erbrachte nur Einflüsse der Bodenbearbeitung und der Bodenbearbeitungstiefe auf die Nährstoffgehalte in den einzelnen Bodenschichten. Einflussgrößen wie Fruchtfolge, Jahr und Pflanzenart waren bisher statistisch nicht nachweisbar.

3.1.1 pH-Wert

Der pH-Wert war in allen Varianten der konservierenden Bodenbearbeitung trotz gleicher Düngung und Kalkung niedriger als nach konventioneller Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Besonders in den beiden tieferen Schichten waren die Differenzen zur Pflugvariante sehr groß und signifikant.

Weiter wird ersichtlich, dass bei nicht wendender Bodenbearbeitung der pH-Wert mit zunehmender Bodentiefe deutlich abnimmt. Eine Ursache könnten die nicht in die tieferen Bodenschichten eingearbeiteten Kalkmengen sein, andererseits ist das insgesamt geringere Niveau des pH-Wertes wahrscheinlich auf eine erhöhte Freisetzung von Huminsäuren bei der Mineralisierung des organischen Pflanzenmaterials in den oberen Bodenschichten zurückzuführen.

Tabelle 3: pH-Wert im Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung, Gülzow 2003 - 2007

Schichttiefe	Pflug	Grubber tief	Grubber flach	Gr./Pf. flach	GD α = 5%
0 - 5	6,40	6,32	6,20	6,21	0,14
5 - 15	6,34	6,06	6,09	6,16	
15 - 30	6,41	5,99	6,01	6,12	
GD α = 5%	0,19				

3.1.2 Organische Substanz

Die Akkumulation der organischen Substanz in der oberen Bodenschicht nach mehr als zehnjähriger pflugloser Bodenbearbeitung ist im Vergleich zur gepflügten Variante eindeutig nachweisbar. Im Vergleich zur Pflugvariante konnte in den ersten 5 cm des Bodens eine Erhöhung des Gehaltes von ca. 0,2 – 0,3 Prozentpunkten ermittelt werden. Keine Veränderungen sind in 5 - 15 cm Tiefe feststellbar. Dafür sind dann in der Schicht 15 - 30 cm die Werte annähernd um die in der ersten Schicht ermittelte positive Differenz reduziert. Die flache Pflugfurche bis 15 cm hat zu einer Durchmischung bis in diese Tiefe geführt, sodass hier im Vergleich zu den „Grubbervarianten" der Abfall zwischen den ersten beiden Bodenschichten nicht feststellbar war (Tab. 4).

Tabelle 4: Organische Substanz (%) im Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung, Gülzow 2003 - 2007

Schichttiefe	Pflug	Grubber tief	Grubber flach	Gr./Pf. flach	GD α = 5%
0 - 5	1,56	1,85	1,80	1,62	0,08
5 - 15	1,56	1,56	1,59	1,62	
15 - 30	1,55	1,35	1,33	1,40	
GD α = 5%	0,07				

3.1.3 Phosphorgehalt

Der Phosphorgehalt des Bodens wird ebenfalls durch die Intensität der Bodenbearbeitung beeinflusst. Die Auswertung der mehrjährigen Probenahme zeigte, dass bei insgesamt sehr hohem Niveau die konservierenden Bearbeitungsverfahren im Vergleich zur Bodenbearbeitung mit dem Pflug tendenziell niedrigere P-Gehalte aufwiesen und zwar in allen Bodentiefen. Die Varianten 3 und 4 mit der geringsten Bearbeitungsintensität haben sogar signifikant niedrigere Werte. Eine Differenzierung zwischen den einzelnen Bodenschichten ist bisher nicht feststellbar.

Ursache für den etwas erhöhten P-Gehalt in der Pflugvariante könnte die höhere biologische Aktivität und damit die gesteigerte Phosphormobilisierung in der besser gelockerten Pflugvariante sein. Der Einfluss des unterschiedlichen pH-Wertes ist ebenfalls zu berücksichtigen (Tab. 5).

Tabelle 5: **P_2O_5-Gehalt (mg/100g Boden) im Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung, Gülzow 2003 - 2007**

Schichttiefe	Pflug	Grubber tief	Grubber flach	Gr./Pf. flach	GD α = 5%
0 - 5	23,7	22,0	19,6	20,2	2,1
5 - 15	23,7	22,0	20,1	19,9	
15 - 30	23,5	21,1	21,3	20,8	
GD α = 5%	1,6				

3.1.4 Magnesiumgehalt

Konservierende Bodenbearbeitung führte nach Auswertung unserer Versuche zu einer Akkumulation von Magnesium in der obersten Bodenschicht. Während der Pflugeinsatz keine Differenzen im Mg-Gehalt zwischen den Bodenschichten verursachte, waren nach der konservierenden Bearbeitung deutliche Unterschiede sichtbar. Die Mg-Menge, die sich in der oberen Schicht akkumuliert, „fehlt“ in der Schicht von 15 - 30 cm (Tab. 6).

Tabelle 6: **Mg-Gehalt (mg/100g Boden) im Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung, Gülzow 2003 - 2007**

Schichttiefe	Pflug	Grubber tief	Grubber flach	Gr./Pf. flach	GD α = 5%
0 - 5	14,5	19,0	19,0	15,5	1,7
5 - 15	14,6	14,8	15,5	15,9	
15 - 30	14,6	10,7	11,5	13,2	
GD α = 5%	2,5				

3.1.5 Kaliumgehalt

Die deutlichsten Einflüsse der Bodenbearbeitung konnten auf den Kaliumgehalt des Bodens nachgewiesen werden. In den pfluglosen Bearbeitungsvarianten wurde in den Bodenschichten 0 - 5 und 5 - 15 cm Bodentiefe ein signifikant höherer Kaliumgehalt festgestellt als in der gepflügten Variante. Ein Zusammenhang mit der Akkumulation der organischen Substanz und deren Speicher- und Mineralisationsvermögen in diesen Bodenschichten kann eine Ursache dafür sein. In der tieferen Schicht 15 - 30 cm war dagegen der Kaliumgehalt des ungepflügten Bodens signifikant niedriger (Tab. 7).

Tabelle 7: **K_2O-Gehalt (mg/100g Boden) im Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung, Gülzow 2003-2007**

Schichttiefe	Pflug	Grubber tief	Grubber flach	Gr./Pf. flach	GD α = 5%
0 - 5	12,4	21,6	19,7	16,8	1,8
5 - 15	11,3	15,7	14,4	14,2	
15 - 30	13,5	10,3	9,2	10,8	
GD α = 5%	1,7				

3.2 Einfluss pflugloser Bodenbearbeitung auf Erträge landwirtschaftlicher Kulturen

Die Betrachtung der Erträge aller Kulturen seit 1995 zeigt keine eindeutigen Ertragsunterschiede zwischen den untersuchten Bearbeitungsvarianten (Tab. 6) Tendenziell sind aber die Gesamterträge in der pfluglosen Variante im Wechsel mit flacher Pflugfurche etwas niedriger. Diese Tendenz zeigte sich vor allem in den letzten Versuchsjahren. Bei auftretenden Stresssituationen wie z. B. Trockenheit und geringe Nährstoffverfügbarkeit waren die Erträge einiger Kulturen hier geringer. Die Reaktion der angebauten Pflanzenarten auf die Bodenbearbeitung war aber sehr differenziert (Tab. 9).

Tabelle 8: Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Naturalertrag in der landwirtschaftlichen Produktion (relativ), Gülzow 1995 - 2007

Fruchtfolge	Bodenbearbeitung			
	konventionell	konservierend		
	Pflug	Grubber		
	tief	tief	flach	flach[1)]
Ertrag	100	100	100	98

[1)] ab 2000 Grubber flach, aber Pflug flach vor Raps und Gerste

Tabelle 9: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Erträge einzelner Fruchtarten (relativ), Gülzow 1995 - 2007

Fruchtart	n[1)]	Bodenbearbeitung			
		konventionell	konservierend		
		Pflug	Grubber		Grubber/Pflug
		tief	tief	flach	flach[2)]
Winterweizen	15	100	100	100	100
Stoppelweizen	6	100	101	96	91
Wintergerste	7	100	95	98	99
Zuckerrüben	6	100	103	99	101
Winterraps	5	100	107	101	100
Mais (TM)	4	100	95	98	93
Kleegras (TM)	2	100	104	98	97
Kartoffeln	2	100	98	105	101

[1)] n = Anzahl der Anbausituationen

[2)] ab 2000 Grubber flach, aber Pflug flach vor Raps und Gerste

4 Zusammenfassung/Schlussfolgerungen

Die langjährige pfluglose Bodenbearbeitung führt zu deutlichen Veränderungen in der Schichtung der Makronährstoffe, vor allem von Kalium und Magnesium. Der Phosphorgehalt wird durch den Pflugverzicht im Vergleich zur gepflügten Variante leicht reduziert. Ob das auf die geringeren pH-Werte in den ungepflügten Bodenbearbeitungsvarianten zurückzuführen ist, kann noch nicht eindeutig gesagt werden. Ein Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Phosphorgehalt in den einzelnen Bodenschichten wird nicht verursacht.

Die besonders beim Kalium aufgetretenen deutlichen Umverteilungen in den einzelnen Bodenschichten führten zu eindeutigen Veränderungen im Versorgungsstatus. Eine wesentliche Frage für folgende Untersuchungen wird deshalb sein, inwieweit der langfristige Pflugverzicht zu Wachstumsbeeinflussungen der Kulturpflanzen führt.

Es wird anhand der bisher vorliegenden Ergebnisse aber auch deutlich, dass gerade beim Kalium nicht zwangsläufig eine veränderte Düngestrategie gefahren werden muss. Die Ergebnisse zeigen nur eine Umschichtung der Nährstoffe und keine signifikanten Gehaltsveränderungen in der gesamten untersuchten Bodenschicht. Überlegungen, die Bodenprobenahmetiefe für die Grundnährstoffe der Bearbeitungstiefe anzupassen, sollten deshalb abgelehnt werden. Eine flachere als bisher übliche (mind. 20 cm tief) Probenahme würde zu Verfälschungen des Versorgungsstatus des Bodens führen. Um zukünftig falsche Empfehlungen zur Grunddüngung zu vermeiden, sollte sogar eine Probenahmetiefe von 30 cm angestrebt werden.

5 Handlungsempfehlungen - Handlungsbedarf

- Die bisher ermittelten Daten zur Ertragsentwicklung und Nährstoffschichtung im Boden unterstreichen die Notwendigkeit zur Weiterführung der Untersuchungen, um neue Veränderungen abschätzen und beurteilen zu können. Daraus sind Empfehlungen zu notwendigen Konsequenzen für die Bodenbearbeitung abzuleiten (siehe Kaliumgehalte).
- Die in den Versuchen am Standort Gülzow gewonnenen Ergebnisse repräsentieren nur einen kleinen Teil der Standortbedingungen in Deutschland. Eine Zusammenstellung und Interpretation aller in Deutschland vorhandenen Ergebnisse zu dieser Problematik ist empfehlenswert.
- Die in den Versuchen ermittelten Daten und Ergebnisse können bisher nur unzureichend interpretiert werden. Eine Zusammenarbeit mit der Grundlagenforschung ist deshalb anzustreben. Die dafür vorhandenen Möglichkeiten in Deutschland sollten abgeklärt werden.

Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung diluvialer Ackerböden Brandenburgs - Aktuelle Schlussfolgerungen aus den Dauerfeldversuchen Groß Kreutz (P60, M4) und der ökologischen Fruchtfolge Güterfelde

Jörg Zimmer, Bärbel Dittmann - Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF) Brandenburg

Durch das Referat Ackerbau und Grünland des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg werden ausgewählte Fragestellungen der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung anhand der Dauerfeldversuche Groß Kreutz und Güterfelde bearbeitet. Zielstellung ist die Erarbeitung, Aktualisierung und Weiterentwicklung der fachlichen Grundlagen des landwirtschaftlichen Bodenschutzes und des ökologischen Landbaus unter den besonderen Standortbedingungen im Land Brandenburg.

Am Versuchsstandort Groß Kreutz werden die nachhaltigen Auswirkungen von differenzierten Intensitäten organischer und mineralischer Stickstoffdüngung (Dauerfeldversuch M4, seit 1967) und von verschiedener Formen und Intensitäten der organischen Düngung - Stroh, Gründüngung, Gülle, Stalldung - und ihrer Kombinationen (Dauerfeldversuch P60, seit 1959) auf Pflanzenertragsniveau, Bodenhumusgehalt, Humusreproduktion, Nährstoffeffizienz und stoffliche Bodeneigenschaften untersucht. Am Versuchsstandort Güterfelde wird seit 1994 die Nachhaltigkeit von Ertragsniveau, Produktqualität und Nährstoffversorgung in einer nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschafteten 7-feldrigen Fruchtfolge untersucht. Hierbei erfolgt insbesondere die Bestimmung der nachhaltigen Auswirkungen von organischer Düngung mit Stalldung als viehhaltende (ca. 0,7 GV/ha) im Vergleich zu Dungverzicht als viehlose Bewirtschaftungsvariante und von Pflugeinsatz gegenüber nicht wendender Bodenbearbeitung.

Aktuelle Schlussfolgerungen:

1. Auf den diluvialen Ackerböden Brandenburgs kann die Humusreproduktion bereits mit einer mittleren jährlichen Düngung von 15 - 30 dt organischer Dünger-TM ha^{-1} nachhaltig abgesichert werden (Abb. 1).

2. Mit entsprechender Humusreproduktion kann bei einem mittleren jährlichen Gesamt-N-Einsatz an organisch-mineralischer Düngung von 90 - 140 kg N ha^{-1} das standortspezifisch optimale Ertragsniveau (65 - 90 dt TM $ha^{-1}a^{-1}$) langfristig realisiert und gleichzeitig geringe N-Salden, inklusive Boden-N-Änderung und N aus sonstigen Quellen, von unter 60 kg N $ha^{-1}a^{-1}$ erzielt werden.

3. Auf Grund der geringen Viehbesatzdichte (< 0,5 GV ha^{-1}) kann in Brandenburg die Humusreproduktion allein durch Zufuhr organischer Dünger aus der heimischen Tierproduktion nicht abgesichert werden. Insbesondere mit Strohdüngung, aber auch der Kombi-

nation von Stroh- und Gründüngung, stehen jedem Landwirt dennoch ausreichend eigene Möglichkeiten zur Verfügung. In getreidebetonten Fruchtfolgen kann dies bereits durch einen Stroheinsatz von 20 - 30 dt TM $ha^{-1}a^{-1}$ erreicht werden. Eine Zufuhr betriebsfremder organischer Dünger ist nicht erforderlich.

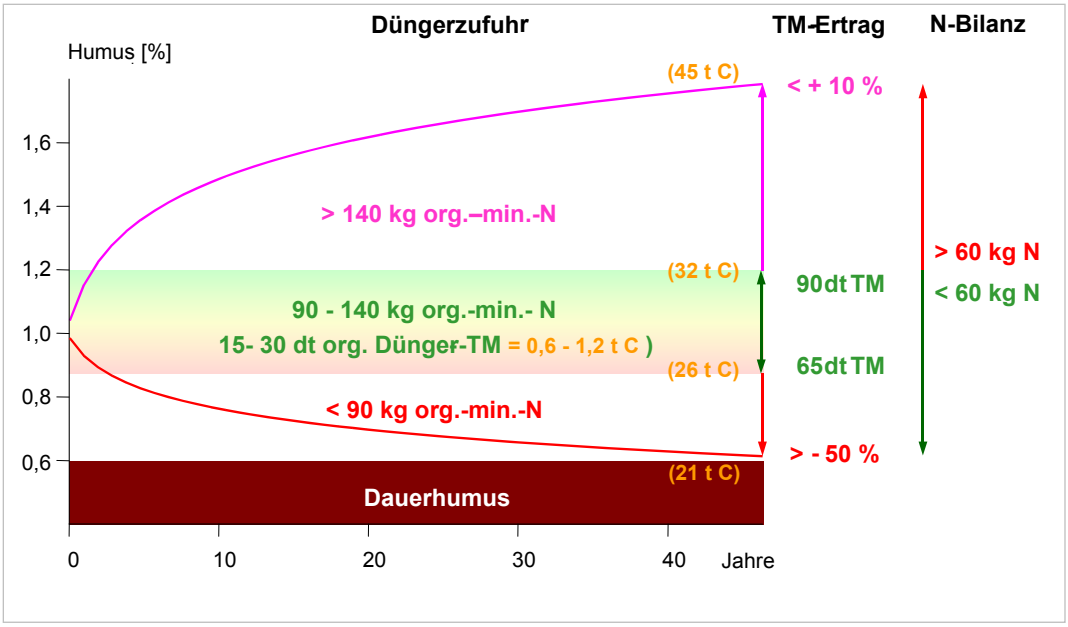


Abbildung 1: Nachhaltige Humusproduktion auf diluvialen Ackerböden Brandenburgs unter Berücksichtigung von Ertrag, Düngung und N-Bilanz (Groß Kreutz, P60/M4, 1959 - 2006, $ha^{-1}a^{-1}$)

4. Humusmehrung ist auf typisch Brandenburger Böden kaum möglich, selbst wenn, dann würde sie nur mit sehr hohem Aufwand an organisch-mineralischer Düngung erzielt werden. Sie ist gleichzeitig mit einer Abnahme der Humusreproduktionsleistungen der organischen Dünger, lediglich geringen Mehrertragseffekten und der billigenden Inkaufnahme von hohen N-Überschüssen infolge geringer N-Ertragseffizienz verbunden. Ein solches Ansinnen praktischer landwirtschaftlicher Bodennutzung ist weder ökologisch vertretbar noch ökonomisch sinnvoll und steht darüber hinaus der guten fachlichen Düngungspraxis entgegen.

5. Die im **M4** für Stalldung bei 25 % TS ermittelten Humus-C-Reproduktionsleistungen unterschreiten in allen Düngungsstufen den aktuellen **VDLUFA**-Richtwert von 40 kg Humus-C je t Stalldung-FM zumeist deutlich (Tab. 1). Die effektivste Humuswirkung wird hierbei bereits bei Einsatz von 50 kg Stalldung-N $ha^{-1}a^{-1}$ erzielt, während alle höheren Stalldungmengen geringere Humus-C-Reproduktionsleistungen aufweisen. Gegenüber alleiniger Stalldunggabe führt die Kombination von Stalldung und N-Mineraldüngung im Mittel aller Düngungsstufen zu einer um 30 % höheren Humus-C-Reproduktionsleistung des Stall-

dungs. Die Effektivität der Humuswirkung von Stalldung wird folglich wesentlich durch den Mineral-N-Einsatz mitbestimmt.

Tabelle 1: Humus-C-Reproduktionsleistung von Stalldung (M4, Groß Kreutz, 1967 - 2006, kg Humus-C t Stalldung-FM-1 bei 25 %TS)

organische Düngung mit Stalldung (kg N / t TM / t FM $ha^{-1}a^{-1}$)	mineralische N-Düngung ($kg\ N\ ha^{-1}a^{-1}$)				
	0	50	100	150	200
0	-	-	-	-	-
50 / 2,2 / 9,2	17	25	22	36	23
100 / 4,4 / 18,4	13	20	19	28	28
150 / 6,6 / 27,6	17	21	19	19	22
200 / 8,8 / 36,8	15	21	15	18	16

[1] berechnet aus Stalldungzufuhr und Differenz der Humus-C-Änderungen der Versuchsvarianten zur Nulldüngungsvariante (Mittelwerte Bodenuntersuchungen 2002/04/06, Lagerungsdichte nach RÜHLMANN (2007), Ackerkrumentiefe 30 cm)

6. Auch die im P60 ermittelten Humuswirkungen von Stalldung, Stroh, Gülle und Gründüngung unterschreiten die aktuellen Richtwerte zur Humus-C-Reproduktionsleistung und das um teilweise mehr als 50 % (Tab. 2). Die für Stalldung gefundenen Einflüsse von N-Mineraldüngung und Stalldungausbringmenge stimmen sehr gut mit den im M4 gefundenen Ergebnissen überein. Die effektivste Humuswirkung wurde auch hier für die geringste Stalldungmenge (43 kg Stalldung-N $ha^{-1}a^{-1}$) ermittelt. Auch weist die Kombination von Stalldung und N-Mineraldüngung (Varianten 8, 12, 14) gegenüber Stalldung ohne NPK im Variantenmittel um 25 % höhere Humus-C-Reproduktionsleistungen auf. Im Vergleich der ermittelten Humuswirkungen von Stroh fällt die Variante 3 ohne N-Ausgleich (74 kg Mineral-N $ha^{-1}a^{-1}$) deutlich ab. Bei höherem Mineral-N-Einsatz (~ 90 kg Mineral-N $ha^{-1}a^{-1}$) vermindert sich die Humus-C-Reproduktionsleistung von Stroh bei 50%-iger Erhöhung der verabreichten Strohmengen um 25 %. Zudem überrascht, dass die Kombination von Stroh mit Gründüngung und Gülle nicht zu einer Verbesserung der Humuswirkung von Stroh führt und in der Tendenz eher vom Gegenteil auszugehen ist.

Tabelle 2: Vergleich der Humus-C-Reproduktionsleistung der organischen Dünger im Dauerversuch P60 (Groß Kreutz, 1959 – 2003/06) mit den aktuellen VDLUFA Richtwerten[1]

Nr.	Düngungsvariante	TS %	kg Humus-C je t Dünger-FM	
			P60	VDLUFA
2	Stalldung (ohne NPK)	25	12	40
8	0,5 Stalldung	25	14	40
12	0,5 Stalldung (N erhöht)	25	19	40
14	Stalldung	25	15	40
3	Stroh ohne N-Ausgleich	86	28	80 – 110
7	Stroh mit N-Ausgleich	86	55	80 – 110
13	2x Stroh ohne N-Ausgleich	86	42	80 – 110
5	Gründüngung	10	2	8
6	Gründüngung mit Stroh	10	4	-
		86	38	-
10	Gülle I mit Stroh	7	4	-
		86	52	-
11	Gülle II mit Stroh	7	4	-
		86	45	-

[1] VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“ (2004)

7. In der Ökologischen Fruchtfolge Güterfelde zeigte sich, dass das Ertragsniveau nach Umstellung auf ökologischen Anbau in allen Versuchsvarianten über den gesamten Versuchszeitraum stabil gehalten werden konnte. Pflugeinsatz wirkt sich positiv auf den Ertrag bei WRoggen und WTriticale aus, während Kleegras auf nicht wendender Bodenbearbeitung mit Mehrerträgen reagiert (Tab. 3). Bei Kartoffeln, Silomais und Lupine erbrachte keine der beiden Bearbeitungsvarianten einen nachhaltigen Ertragsvorteil. Dennoch zeigte sich in Trockenjahren, dass mit Pflugverzicht höhere Erträge, insbesondere bei Kartoffeln und Silomais, realisierbar sind. Grund hierfür dürfte im Wesentlichen eine längere Wasserverfügbarkeit sein. Stalldungeinsatz erbringt gesicherte Mehrerträge von 22 – 27 % bei Getreide, 16 % bei Kartoffeln, 15 % bei Silomais und 5 % beim Kleegras. Lupine, die durch die Symbiose mit Knöllchenbakterien selbst Luftstickstoff bindet, reagiert auf die Stalldungdüngung nicht.

Tabelle 3: Ertragsleistung in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wirtschaftsform (Ökologische Fruchtfolge Güterfelde, 1998 - 2007, dt ha^{-1}) [1]

Wirtschafts-form	Fruchtfolge						
	Kleegras	Kartoffel	Winter-Roggen	Lupine	Winter-Triticale	Silomais	Winter-Roggen + Untersaat
∅	86,1	246,4	27,5	13,2	31,1	89,3	16,9
Pflug wendend	84,1	244,5	**28,5**	13,2	**33,0**	89,7	**18,2** s
Pflug nicht wendend	**88,0** s	248,3	26,5	13,3	29,3	88,9	15,5
viehlos ohne Dung	83,9	227,6	24,2	13,0	28,0	83,0	14,9
viehhaltend mit Dung	**88,2**	**265,1** s	**30,8** s	13,4	**34,2** s	**95,6** s	**18,8** s

[1] Kleegras, Silomais in dt TM ha^{-1}, Getreide, Lupine in dt ha^{-1} bei 86 %TS, Kartoffeln in dt FM ha^{-1}; Stalldung zu Kartoffel und Silomais (200 dt ha^{-1}) und WRoggen und WTriticale (100 dt ha^{-1})

s signifikanter Mehrertrag (α = 0,05)

Nach Ablauf einer Fruchtfolgerotation erfolgte eine systematische Bodenuntersuchung aller Versuchsvarianten einschließlich ihrer Wiederholungen. Die Ergebnisse zeigen, dass pfluglose Bodenbearbeitung in den oberen 15 cm der Ackerkrume zu höheren Humusgehalten führt, während in den unteren 15 cm der Ackerkrume höhere Gehalte bei Pflugeinsatz vorliegen (Tab. 4). Auf insgesamt hohem Nährstoffversorgungsniveau zeigt sich die Art der Bodenbearbeitung in ihrer Wirkung auf die Phosphor- und Kaliumgehalte im Boden differenziert. Der Pflugeinsatz begünstigte die Phosphorgehalte, aber gleichzeitig auch die Kaliumauswaschung aus der Ackerkrume in den Unterboden. Diese Kaliumverluste erfordern für eine ausreichende Versorgung der Pflanzen eine Anpassung des Düngeregimes, das heißt eine bedarfsgerechte Kaliumdüngung, ganz besonders bei Pflugeinsatz. Festzuhalten ist, dass pfluglose Bodenbearbeitung gegenüber Pflugeinsatz mit den in der Ackerkrume höheren Humus- und Kaliumgehalten bodenfruchtbarkeitsfördernd wirkt.

Tabelle 4: Einfluss der Bodenbearbeitung und Wirtschaftsform auf den Humusgehalt (Ökolog. Fruchtfolge Güterfelde, 2002, n=56, adj. Mittelwerte, multiple t-test, α=0,05) [1]

Beprobungstiefe in cm	Corg. (%)					
	viehlos			viehhaltend		
	mit Pflug	pfluglos	$GD(t)_{5\%}$	mit Pflug	pfluglos	$GD(t)_{5\%}$
0 – 15	0,824	0,974	0,06	0,933	1,132	0,06
15 – 30	0,726	0,694	-	0,797	0,734	0,06
30 – 60	0,293	0,241	-	0,238	0,261	-
60 – 90	0,217	0,165	-	0,227	0,238	-

[1] Ausreißertest nach Ascombe/Turkey für P=0,05

Bodengefügeschutz mit optimierter Fahrwerkstechnik

Robert Brandhuber, Dr. Markus Demmel - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Rupert Geischeder, Harain Maschinenbau GmbH

Inhaltsverzeichnis

1 Problemstellung und Versuchsfrage 38
2 Versuchsaufbau und Messmethoden 39
2.1 Feldversuch 39
2.2 Messprogramm 40
3 Ergebnisse 40
3.1 Fahrzeugparameter 40
3.2 Bodenfeuchte bei den Überfahrten 41
3.3 Bodendrücke 41
3.4 Bodengefügeveränderungen 41
3.4.1 Kurzzeiteffekte 41
3.4.2 Langzeiteffekte 43
3.5 Wirkungen auf Erträge und Wasserinfiltration 44
4 Beantwortung der Versuchsfragen 44
5 Literaturverzeichnis 45

Zusammenfassung

In einem 3-jährigen Feldversuch wurden unter praxisnahen Bedingungen die Wirkungen von typischen Überrollsituationen mit selbstfahrenden 6-reihigen Zuckerrüben-Köpfrodebunkern auf das Bodengefüge unterhalb der Krume untersucht. Verglichen wurden ein- und mehrfache Überrollungen mit maximalen Auflasten zwischen 9 und 14 Tonnen mit Radlaufwerken und mit einem Bandlaufwerk. In der Krumenbasis zeigten alle Varianten signifikante Verformungseffekte, in einer Tiefe von ca. 40 cm ausschließlich die Varianten mit Radlaufwerken in Verbindung mit Radlasten über 10 Tonnen. Die Bodenverformungen waren allerdings nicht so stark, dass ein kritischer Zustand mit Verdacht auf eine Schadverdichtung erreicht worden wäre. Die begrenzte Versuchsdauer erlaubte es nicht, einen Trend in Richtung zunehmender Verdichtung durch jährlich wiederkehrende Belastungsimpulse zu bestätigen oder zu widerlegen.

1 Problemstellung und Versuchsfrage

Bei der Zuckerrübenernte kommen Maschinen mit den derzeit höchsten Gesamtgewichten in der landwirtschaftlichen Produktion zum Einsatz. Mähdrescher und Gülleausbringfahrzeuge mit sehr hoher Flächenleistung erreichen Gesamtgewichte, die nur wenig niedriger sind. Für Hersteller, Lohnunternehmer und Landwirte stellt sich die Frage, wie weit die Risiken von Unterbodenverdichtungen durch die Fahrwerksgestaltung verringert werden können. Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurden verschiedene Fahrwerkskonzepte von selbstfahrenden 6-reihigen Köpfrodebunkern (KRB 6) bei praxisnahen Bedingungen in ihren Wirkungen auf das Bodengefüge verglichen.
Es sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Kann die sehr große Aufstandsfläche von Bandlaufwerken das Risiko von Unterbodenverdichtungen gegenüber Radlaufwerken verringern?
- Kann das Risiko von Unterbodenverdichtungen durch eine Verteilung der Lasten auf mehr als vier Räder und der damit verbundenen Vermeidung sehr hoher Radlasten effektiv gesenkt werden?
- Verursachen jährlich wiederholte Belastungen mit jeweils geringen Verformungseffekten über einen längeren Zeitraum dennoch merkliche Gefügeverschlechterungen?

Das Projekt wurde im Verbund mit dem Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen, durchgeführt. Dort wurde in einem zweiten Projekt ebenfalls über einen Zeitraum von drei Jahren Boden- und Ertragseffekte der Überrollungen mit einem KRB 6 bei identischer Fahrwerksgestaltung aber differenzierter Bodenbearbeitung untersucht (KOCH et al. 2007).

2 Versuchsaufbau und Messmethoden

2.1 Feldversuch

Auf einem Lössstandort in Bayern (ca. 700 mm mittlerer Jahresniederschlag) wurde ein Feldversuch mit insgesamt sechs Belastungsvarianten angelegt:

(1) einmalige Rad-Überrollung bei teilgefülltem Bunker
(2) einmalige Rad-Überrollung mit gefülltem Bunker
(3) einmalige Band-Überrollung mit gefülltem Bunker
(4) zweimalige Radüberrollung mit gefüllten Bunker
(5) dreimalige Radüberrollung mit gefülltem Bunker
(6) zweimalige Überrollung mit Band und anschließend mit Rad bei gefülltem Bunker

Ein Kontrollstreifen neben der Versuchsfläche wurde im Herbst 2004 mit Senf eingesät und während der Versuchsdauer nicht weiter bewirtschaftet.

Die Varianten kennzeichnen typische Überrollungsmuster von KRB 6 (siehe Abb. 1). Zwei- und dreiachsige KRB 6 mit Radlaufwerken roden spurversetzt und hinterlassen sowohl einmal wie auch zweimal und durch Anschlussroden auch dreimal überrollte Fahrspuren. Der im Versuch eingesetzte KRB 6 mit Bandlaufwerk auf der Vorderachse und Zwillingsrädern auf der Hinterachse belastet den Boden in Form einer Bandüberrollung, einer Radüberrollung und einer zweimaligen Überrollung von Band und Rad.



Abbildung 1: Fahrwerke und Überrollungsmuster der im Versuch eingesetzten KRB 6

Die Reifeninnendrücke wurden entsprechend der ermittelten Radlast und der Rodegeschwindigkeit (10 km/h zykl.) so niedrig wie nach Reifenbetriebsanleitung zulässig eingestellt. Die Überrollungen im Versuch erfolgten exakt spurtreu (Einmessung und Kontrolle mit RTK-GPS) in jedem der drei Jahre jeweils Anfang November zur Rübenernte. Das Versuchsfeld wurde nicht beregnet. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte vor und während des Feldversuchs überwiegend mit dem Pflug. In den vorausgegangenen Jahren waren nur einmal Rüben angebaut und mit einem KRB 6 geerntet

worden. Die Bodenstruktur wurde ausgangs des Versuchs als gut eingestuft, die in Ackerböden übliche Krumenbasisverdichtung war nur gering ausgeprägt.

2.2 Messprogramm

Gemessen wurden die für die mechanische Belastung relevanten Fahrzeugparameter Radlast und Aufstandsfläche, Bodendrücke bei der Überfahrt (mit Schlauchdrucksonden), Bodengefügekennwerte kurz vor und nach den Überrollungen (in der Krumenbasis direkt unterhalb der Krume und 10 cm tiefer im Unterboden bei in ca. 40 cm Tiefe, beprobt wurde in jedem Jahr ein Drittel der Versuchsfläche quer zu den Parzellen), außerdem Wasserinfiltration und Erträge jeweils im Folgejahr. Schwerpunkt war die Dokumentation der Bodengefügeparameter. Im Versuchszeitraum wurden mehr als 3.000 Stechringe entnommen und untersucht.

3 Ergebnisse

3.1 Fahrzeugparameter

Die maximalen Auflasten je Überrollungssituation beginnen bei 9,1 t in Variante (1) mit nur teilgefülltem Bunker und erreichen 14,7 t in den Band-Varianten (3) und (6) mit vollem Bunker. Die niedrigsten mittleren Kontaktflächendrücke je Überrollung betragen 94 kPa bei einfacher Bandüberrollung, die höchsten liegen zwischen 140 und 150 kPa bei den Radvarianten mit Einfachüberrollung und Mehrfachüberrollung, jeweils mit vollem Bunker (siehe Tabelle 1; 100 kPa = 1 bar).

Tabelle 1: Mechanische Bodenbelastung: Fahrzeugparameter (Mittelwerte 2004 - 2006)

Variante	Dimensionen von Reifen und Band	Auflast [t]	Reifeninnendruck [kPa]	Aufstandsfläche [m²]	Mittl. Kontaktflächendruck [kPa]
(1) Rad	1050/50R32	9,1	130	0,92	100
(2) Rad	1050/50R32	13,1	225	0,94	141
(3) Band	0,89 x 2,0 m	14,7	-	1,61	94
(4) Rad+Rad	1050/50R32 1050/50R32	8,8 11,5	215 200	0,79 0,73	146 122
(5) Rad+Rad+Rad	900/55R32 1050/50R32 1050/50R25	6,0 11,5 8,8	215 215 200	0,64 0,79 0,73	94 146 122
(6) Band+Rad	0.89 x 2.0 m 900/60R32	14,7 10,1	- 165	1,61 0,88	94 118

3.2 Bodenfeuchte bei den Überfahrten

Die Überrollungen fanden in den drei Jahren bei unterschiedlicher Bodenfeuchte statt. Die Bodenfeuchte war 2004 am höchsten (in Krume und Krumenbasis knapp unter Feldkapazität) und 2006 am niedrigsten (ca. 70 % Feldkapazität), die Werte von 2005 lagen dazwischen. Rodebedingungen und Befahrbarkeit wurden aber auch unter den vergleichsweise feuchten Bedingungen von 2004 als ausreichend beurteilt. Wegen des langsamen Vordringens der spätherbstlichen Feuchtigkeitsfront war der Unterboden in allen drei Jahren durchweg trockener als die Krumenbasis. Die räumlich sehr dichte Beprobung offenbarte eine bodenartbedingt hohe räumliche Heterogenität der Bodenfeuchte besonders im Unterboden (BRANDHUBER et al. 2007).

3.3 Bodendrücke

Die bei feuchten Bodenbedingungen im Jahr 2004 in 45 cm Tiefe mit elektronisch aufzeichnenden Schlauchdrucksonden gemessenen Bodendrücke waren unter dem hoch belasteten Rad (Var. 2) erheblich höher unter dem hoch belasteten Band (Var. 3). In 2005 und 2006 waren die Messpeaks allerdings durchwegs zu niedrig für eine Auswertung. Im Frühjahr 2006 wurden deshalb auf einer weiteren Versuchsfläche Bodendrücke in einem systematischen Versuchsansatz in größerem Umfang gemessen - mit gleichem Ergebnis (GEISCHEDER et al. 2007). Unter dem Band nahmen die gemessenen Drücke mit zunehmender Tiefe schneller ab als unter dem Reifenrad.

3.4 Bodengefügeveränderungen

3.4.1 Kurzzeiteffekte

Die vor und nach den Überrollungen erhobenen Gefügeparameter Gesamtporenvolumen, Luftkapazität und pneumatische Leitfähigkeit zeigten ein insgesamt gleichgerichtetes Ergebnis. Die statistische Trennung der Varianten war beim Leitfähigkeitsparameter wegen der größeren Streuung der Werte weniger eindeutig als bei Gesamtporenvolumen und Luftkapazität. Generell ist die Streuung der Gefügemesswerte im Unterboden höher als in der Krumenbasis, eine Folge der stärker ausgeprägten Bodenheterogenität der Versuchsfläche in dieser Tiefe (vorkommende Bodenhorizonte: Al, Bt, Cv, Cn, M).

Dargestellt ist in den Abbildungen 2 und 3 die Luftkapazität, das ist der prozentuale Anteil der weiten Grobporen im Boden (schnell bewegliches Sickerwasser) bei einer Entwässerung mit 60 cm hängender Wassersäule. Die Luftkapazität ist einer der Gefügekennwerte, die nach LEBERT et al. (2004) Hinweise auf Bodenschadverdichtungen geben können. Als kritische Grenze gilt im Unterboden ein Wert von 5 % Luftkapazität.

Die als Säulen dargestellten Mittelwerte repräsentieren Daten von jeweils neun Probenahmestellen im Feld (45 Stechringe je Säule). Die Signifikanz der Effekte der Belastungsvarianten wurde in einer Varianzanalyse mit dem F-Test bestimmt. In den Abbildungen ist die Signifikanz des Gesamteffekts aus allen drei Überrollungen wiedergegeben.

In der Krumenbasis (28 – 33 cm Tiefe), deren Ausprägung zu Versuchsbeginn nur schwach war, waren in allen sechs Varianten Verformungseffekte nachweisbar, jedoch mit unterschiedlich starker Ausprägung (F-Test des Verformungseffekts mit allen drei Überrollungen). Das hoch belastete Rad (Var. 2) verursachte die deutlichsten und weitestgehenden Verformungen (2004 und 2005).

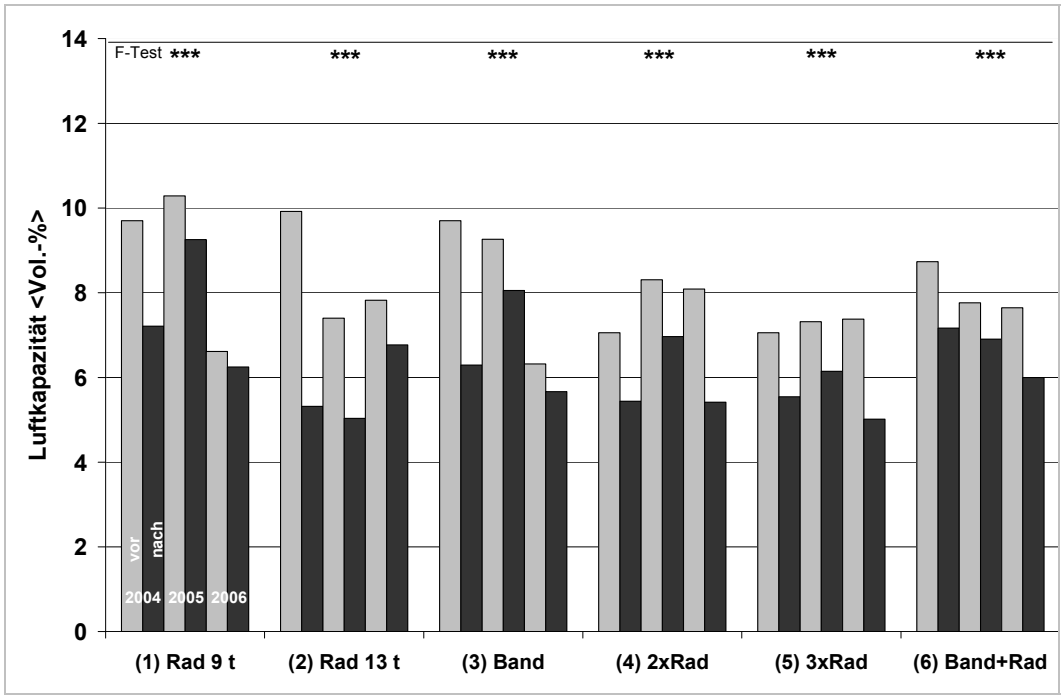


Abbildung 2: Verformungseffekte der Belastungsvarianten in der Krumenbasis (28 – 33 cm Tiefe): Luftkapazität jeweils vor (graue Säule) und nach (schwarze Säule) der Überrollung 2004, 2005 und 2006

Im Unterboden (38 - 43 cm) belegte der F-Test nur mehr in den Varianten (2) mit der höchsten Radlast und den beiden Mehrfachüberrollungen (4) und (5) einen insgesamt signifikanten Verformungseffekt, nicht dagegen in der Radvariante mit niedriger Auflast (1), in der Band-Variante (3) und der Band/Rad-Variante (6). Die drei Varianten mit Verformungseffekten im Unterboden zeichnen sich gleichzeitig durch die höchsten Kontaktflächedrücke aus.

Die beiden Mehrfachüberrollungen unterschieden sich nicht. Den Effekt der Mehrfachüberrollung eindeutig vom Radlasteffekt zu trennen, war nicht möglich. Die Verformungen in Krumenbasis und Unterboden gingen nicht soweit, dass die für die Pflanzenentwicklung kritische Grenze von 5 % Luftkapazität in Krumenbasis oder Unterboden erreicht oder unterschritten wurde.

Nach der 3. Überrollung in 2006 wurden in den Varianten mit hoher Rad- und Bandlast (2 und 3) zusätzlich Stechringe aus einer Tiefe von 48 - 53 cm entnommen. Die Gefügekennwerte beider Varianten lagen vor und nach der Überrollung auf identischem, vergleichsweise hohem Niveau

(Luftkapazität = 10 %). Dieses Ergebnis spricht gegen eine bis in diese Tiefe reichende Verformungswirkung der vorausgegangenen Überrollungen in Variante (2) mit sehr hoher Radlast.

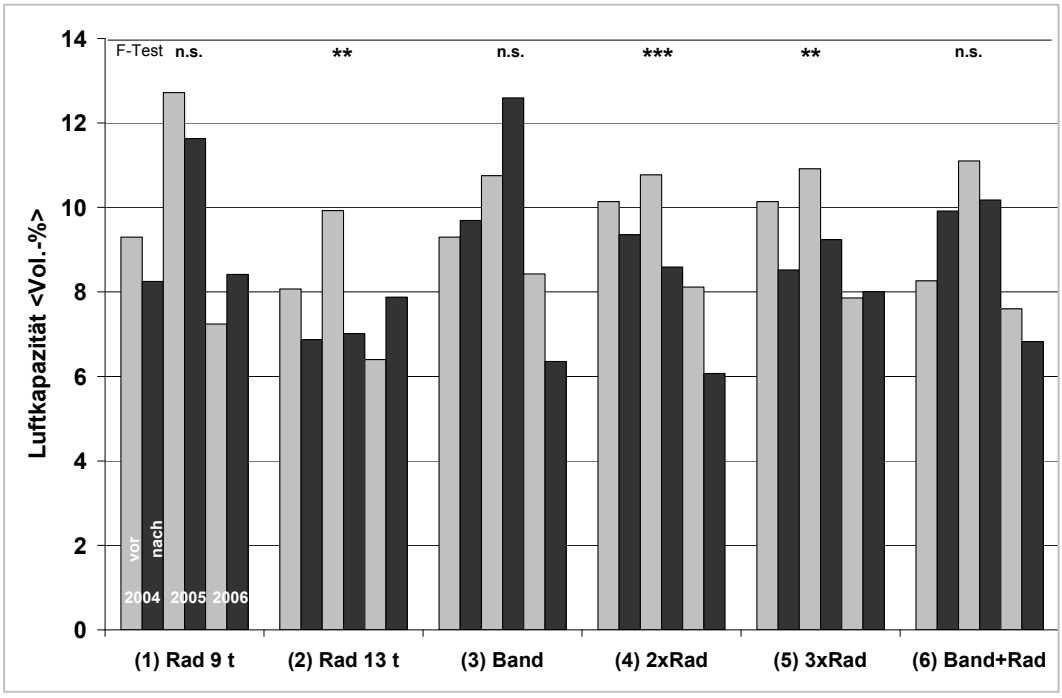


Abbildung 3: Verformungseffekte der Belastungsvarianten im Unterboden (38 – 43 cm Tiefe): Luftkapazität jeweils vor (graue Säule) und nach (schwarze Säule) der Überrollung 2004, 2005 und 2006

3.4.2 Langzeiteffekte

In beiden Tiefen führt der Versuch, einen Trend vom Ausgangswert 2004 bis zur letzten Messung 2006 festzustellen, zu keinem eindeutigen Ergebnis: Die Gefügekennwerte zwischen Versuchsbeginn und -ende unterliegen erheblichen Schwankungen, die offensichtlich nicht nur auf die mechanische Beanspruchung durch die Überrollungen zurückzuführen sind. Im Unterboden fällt der generell höhere Ausgangswert der Luftkapazität vor der Überrollung 2005 gegenüber dem Wert nach der Überrollung 2004 auf. Das Areal der Probenahme von einem Versuchsjahr zum andern wurde aus versuchstechnischen Gründen entlang der definierten Fahrspuren verschoben. In dem 2005 beprobten Streifen wurden im Unterboden im Mittel höhere Schluff- und geringere Tonanteile als in den benachbarten Streifen von 2004 und 2006 gemessen. Der Texturunterschied könnte die höheren Ausgangswerte bei der Luftkapazität in 2005 erklären. Zurückhaltend zu interpretieren sind die Unterbodenwerte von 2006, Überrollungen und Probennahme erfolgten unter ausgesprochenen trockenen Bodenbedingungen, der Probennahmefehler muss höher eingeschätzt werden als unter feuchteren Bedingungen.

Die Zeitreihe ist also zu kurz und das Versuchsdesign ist nicht ausreichend angepasst, um einen Trend im Sinne einer Summierung von Verformungseffekte eindeutig feststellen zu können (siehe SCHWAB et al. 2006).

3.5 Wirkungen auf Erträge und Wasserinfiltration

Zu den möglichen Auswirkungen der Überrollungen auf die Erträge (Sommerweizen und Zuckerrüben 2005, Winterweizen und Zuckerrüben 2006, Hafer 2007) und auf das Vermögen der Böden, Wasser zu infiltrieren, wurden Erhebungen durchgeführt, jedoch mit vergleichsweise geringerem Aufwand (nur drei Versuchswiederholungen für die Ertragsdifferenzierung, Messung der Wasserinfiltration an nur jeweils einem Termin mit Ringinfiltrometer in 2005 und 2006, mit Kleinberegnungsanlage in 2007). Der Versuch war so angelegt, dass verschiedene Fahrwerksvarianten untereinander, nicht jedoch mit einer unbefahrenen Variante verglichen wurden.

Die festgestellten Effekte der verschiedenen Belastungen auf das Bodengefüge in Krumenbasis und Unterboden waren bei Erträgen und Infiltrationsleistung der Böden nicht eindeutig wiederzufinden. Nur im Jahr 2005 setzten sich Variante (5) mit dreimaliger Überrollung durch etwas niedrigere Erträge von den anderen Varianten ab. Ursache waren aber Verdichtungen in der Krume. Diese wirkten sich auch auf die Wasserinfiltration aus mit im Jahr 2005 etwas geringeren Infiltrationsraten in den Varianten mit Mehrfachüberrollungen.

Aus pflanzenbaulicher Sicht muss das Bodengefüge in der Krume in eine abschießende Bewertung alternativer Fahrwerks- und Bodenbelastungsvarianten einbezogen werden.

4 Beantwortung der Versuchsfragen

(1) Das Band verursachte trotz sehr hoher Auflast von 14 t keine signifikanten Verformungen im Unterboden. In Verbindung mit den Ergebnissen der Bodendruckmessungen kann das Risiko von Unterbodenverdichtungen gegenüber einem vergleichbar hoch belasteten Rad deshalb als niedriger eingestuft werden (siehe auch ANSORGE & GODWIN 2008, STAHL et al. 2005). Für hohe Lasten kann das Bandlaufwerk also eine bodenschonende Alternative sein. Einschränkend ist allerdings auf die dokumentierten Verformungseffekte in der Krumenbasis hinzuweisen.

(2) Die einmalige Überrollung mit einer Radlast von 13 t (Variante 2) und die beiden Mehrfachüberrollungen (4) und (5) mit maximalen Radlasten von 11,5 t verursachten signifikante Verformungen im Unterboden. Die demgegenüber geringeren Verformungseffekte der Einzelradlast von 9 t (Variante 1) verweisen auf das bodenschonende Potenzial von Laufwerkskonzepten mit Vermeidung sehr hoher Radlasten (über 10 t) in Verbindung mit abgesenktem Reifeninnendruck. Die Tatsache, dass in allen Belastungsvarianten in der Krumenbasis signifikante Verformungen gemessen wurden, belegt allerdings das grundsätzlich gegebene Risiko von Bodenverdichtungen unterhalb der Krume in dem getesteten Radlastbereich (über 9 t). Weiterhin belegen die Ergebnisse, dass entsprechend hohe Radlasten auch bei Feuchtebedingungen, unter denen Böden üblicherweise befahren werden, zu Bodenverformungen unterhalb der

regelmäßig bearbeiteten Krume führen können. Die Tiefenwirkung war aber unter den im Versuch vorgelegenen Bedingungen begrenzt.

Ein Bewertungsansatz für Fahrwerke und Bodenbelastungen muss auch die Verformungseffekte in der Krume einbeziehen. Die Ergebnisse des Projekts liefern Hinweise, dass Mehrfachüberrollungen mit hohen Lasten Verdichtungen in der Krume verursachen können, die das Wachstum der Folgekultur bei ungünstigen Witterungsbedingungen beeinträchtigen.

(3) Die begrenzte Versuchsdauer erlaubte es nicht, einen Trend in Richtung zunehmender Verdichtung durch jährlich wiederkehrende Belastungsimpulse mit jeweils geringen Verformungen zu bestätigen oder zu widerlegen. Für den Nachweis wären ein deutlich längerer Untersuchungszeitraum und ein speziell an diese Fragestellung angepasstes Versuchsdesign erforderlich.

Die Möglichkeiten, Landmaschinen bodenschonend einzusetzen, sollten unbedingt genutzt werden, um langfristig ein funktionsfähiges Bodengefüge in Krume und Unterboden zu erhalten (siehe Empfehlungen für den bodenschonenden Einsatz von Landmaschinen nach VDI-RICHTLINIE 6101 und DLG-MERKBLATT 344 (BRANDHUBER et al. 2008)).

5 Literaturverzeichnis

ANSORGE, D.; GODWIN, R. (2008): Das Potenzial moderner Fahrwerke zum Tragen hoher Lasten. VDI-Berichte Nr. 2021, Düsseldorf 2008

BRANDHUBER, R., DEMMEL, M., KOCH, H.-J., BRUNOTTE, J. (2008):: Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen – Empfehlungen für die Praxis. DLG Merkblatt 344, DLG e.V., Frankfurt a. M.

BRANDHUBER, R.; GEISCHEDER, R.; DEMMEL, M. (2007): Bodengefügeschutz mit optimierter Fahrwerkstechnik – Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft110, Heft 2, 673 - 674

GEISCHEDER, R.; BRANDHUBER, R.; DEMMEL, M. (2007): Wirkung verschiedener Fahrwerke auf die Bodenstruktur bei gleichem Kontaktflächendruck. Landtechnik 62, 268 - 269

KOCH, H.J.; HEUER, H.; TOMANOVA, O. (2007): Einfluss dreimaliger Befahrung mit einem 6-reihigen Zuckerrübenroder auf Porosität und Funktionalität des Bodens bei differenzierter Bodenbearbeitung. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 110 Heft 2, 695 - 696

LEBERT, M.; BRUNOTTE, J.; SOMMER, C. (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden / Regelung zur Gefahrenabwehr. UBA-Texte 46/04, Berlin

SCHWAB, P.; WEISSKOPF, P.; OBERHOLZER, H.-R.; SCHEID, S.; BERLI, M. (2006): Langzeitbeobachtungen von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften. Pilotprojekt LAZBO. Projektbericht Agroscope FAL Reckenholz, Zürich

STAHL, H.; MARSCHALL. K.; GÖTZE, H. (2005): Bodendruck und Bodenbelastung – Abschlussbericht zum Projekt „Risikomanagement Bodengefüge“. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 15

VDI-RICHTLINIE 6101 (2007): Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf.

Untersuchungen zu acker- und pflanzenbaulichen Auswirkungen einer dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung

Michael Zimmermann, Dr. Walter Schmidt, Harald Börner – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	48
2	Versuchsbeschreibung	48
3	Ergebnisse	50
3.1	Ertrag und Qualität des Erntegutes	50
3.2	Nährstoffgehalte (N und P) im Boden	53
3.3	Physikalische Bodeneigenschaften	56
3.4	Beregnungssimulation	58
4	Schlussfolgerungen	62
5	Literaturverzeichnis	63

1 Einleitung

Die Reduzierung der Bodenerosion ist eine existenzsichernde Aufgabe der sächsischen Landwirtschaft. Die aktuellen Klimaprognosen, in denen für Sachsen unter anderem eine Zunahme der Intensität von erosionsverursachenden Starkniederschlägen vorhergesagt wird, zeigen die Aktualität dieser Problematik.

Im mittleren und südlichen Teil Sachsens sind rund 60 % der Ackerfläche potenziell durch Wassererosion gefährdet und teilweise im Einzeljahr betroffen. Ursache hierfür ist das weitgehend bewegte Relief (z. B. Sächsisches Lösshügelland, Einzugsgebiet des Erzgebirges) mit gleichzeitig schluffreichen, vorwiegend ackerbaulich genutzten Löss- bzw. Verwitterungsböden.

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) verlangt, dass die Leistungsfähigkeit und die natürlichen Funktionen des Bodens erhalten bleiben. Deshalb stellt der Bodenschutz eine zwingende Notwendigkeit dar.

Die zentrale Maßnahme des vorsorgenden Erosionsschutzes ist die dauerhaft pfluglose, d. h. konservierende Bodenbearbeitung. Sie steigert, im Vergleich zur konventionellen bodenwendenden Bearbeitung der Ackerfläche mit dem Pflug, sehr deutlich die Wasserinfiltration. Bei Extremniederschlägen kann der Oberflächenabfluss und der Bodenabtrag deutlich vermindert oder sogar vollständig verhindert werden.

Vor dem Hintergrund dieser Problematik wurde im Jahr 1992 in Sachsen der Versuch E 1 angelegt. Das Ziel besteht darin, die acker- und pflanzenbaulichen Auswirkungen von konventioneller sowie konservierender Bodenbearbeitung mit Mulchsaat (nach Senf-Zwischenfrucht bzw. nach Strohdüngung) zu zeigen und Lösungen für die damit verbundenen Probleme zu entwickeln und zu demonstrieren. Gleichzeitig soll die erosionsmindernde bzw. -verhindernde Wirkung der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung aufgezeigt werden.

2 Versuchsbeschreibung

Der Versuch E 1 befindet sich in Methau/Hermsdorf (Nähe Colditz) im Sächsischen Lösshügelland. Die Versuchsfläche weist eine Hangneigung bis 19 % auf (Abbildung 1). Die Bodenart ist Ut4 (stark toniger Schluff), die Bodenwertzahl 65. Folgende Bodentypen wurden im Hangverlauf von Kuppe bis Hangfuß bestimmt: Pararendzina, Parabraunerde aus Löss, Braunerde-Pseudogley. Die Lössmächtigkeiten im Hangverlauf sind aus Abbildung 2 zu ersehen.



Abbildung 1: Versuch E 1, Methau/Hermsdorf (Foto: M. Zimmermann)

Die Anlage des Versuches erfolgte in drei Versuchsblöcken mit je vier Langparzellen ohne Wiederholungen. Die Ertragserfassung und Bodenbeprobung wurde auf vier Scheinwiederholungen (eine je Hangabschnitt, d. h. Kuppe, Oberhang, Unterhang, Hangfuß) je Einzelparzelle vorgenommen.

Die Versuchsanlage stellt sich seit dem Herbst 1996 wie folgt dar:
F: Fruchtart

- Zuckerrüben
- Winterweizen
- Wintergerste

BB: Bodenbearbeitung (zu jeder Fruchtart):
(BB: Bodenbearbeitung, ZF: Zwischenfruchtanbau, ZR: Zuckerrüben, MS: Mulchsaat, SBB: Saatbettbereitung)

- Variante BB 1: Konventionelle BB mit Pflug (Arbeitstiefe: ca. 25 cm), mit Strohdüngung, ohne ZF-Anbau, ohne MS,
- Variante BB 2: Konservierende, nichtwendende BB mit Grubber (Arbeitstiefe: ca. 10 cm), mit Strohdüngung, mit ZF-Anbau (Senf) und MS zu ZR (mit SBB), MS zu Weizen und Gerste,
- Variante BB 3.1: Konservierende, nichtwendende BB mit Zinkenrotor (Fabrikat Dutzi, Arbeitstiefe: ca. 5 cm) , mit Krumenbasislockerung (20 cm) 1 x je Rotation (zu ZR), mit Strohdüngung, mit ZF-Anbau (Senf) und MS zu ZR (mit SBB), MS zu Weizen u. Gerste,
- Variante BB 3.2: Konservierende, nichtwendende BB mit Zinkenrotor (Fabrikat Dutzi, Arbeitstiefe: ca. 5 cm), mit Krumenbasislockerung (20 cm) 3 x je Rotation, mit Strohdüngung, mit ZF-Anbau (Senf) und MS zu ZR (mit SBB), MS zu Weizen u. Gerste.

Alle Varianten wurden einheitlich gedüngt, die Höhe der N-Gabe wurde mit Hilfe von BEFU bestimmt. Auch die Pflanzenschutzmaßnahmen wurden in allen Varianten einheitlich durchgeführt. Im Einzeljahr erfolgte bei der Beikrautbekämpfung eine differenzierte Herangehensweise zwischen der konventionellen und den konservierend bearbeiteten Varianten.

Zwischen 1992 und 1997 existierten neben der konventionell bearbeiteten Variante (BB 1) lediglich zwei konservierend bestellte Varianten (BB 2 und BB 3.2). Zur Prüfung der Notwendigkeit regelmäßiger Krumenbasislockerung bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung wurde ab 1997 die konservierend bestellte Variante BB 3.1 mit aufgenommen.

Im Herbst 2008 wurde eine erneute Umstellung des Versuches vorgenommen. Die Zinkenrotor-Varianten im Rahmen der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung wurden nicht weitergeführt. Die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung erfolgt nur mit Grubber. Die Pflugvariante wird als Vergleichsvariante weitergeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Ertrag und Qualität des Erntegutes

Die Ertragsbildung auf der Versuchsfläche E 1 wird im Einzeljahr in erheblichem Umfang von den unterschiedlichen Bodenmächtigkeiten im Hangverlauf beeinflusst (Abbildung 2). Insbesondere in Jahren mit Vorsommertrockenheit kommt es infolge ungleicher Wasserversorgung zu deutlichen Ertragsunterschieden. So lagen im Trockenjahr 2003 die Zuckerrübenerträge im Kuppen- und Oberhangbereich bis zu 60 % unter den Erträgen im Senkenbereich. In Jahren mit ausgeglichener Niederschlagsverteilung (z. B. 2002) sind diese Ertragsunterschiede nicht oder kaum feststellbar. Abbildung 1 verdeutlicht die Notwendigkeit bodenerhaltender Maßnahmen insbesondere auf erosionsgefährdeten Ackerflächen. Der Verlust von Boden ist dort mittel- bis langfristig mit erheblichen Ertragseinbußen verbunden. Im schlimmsten Fall hat der Bodenverlust die Aufgabe der ackerbaulichen Nutzung zur Folge.

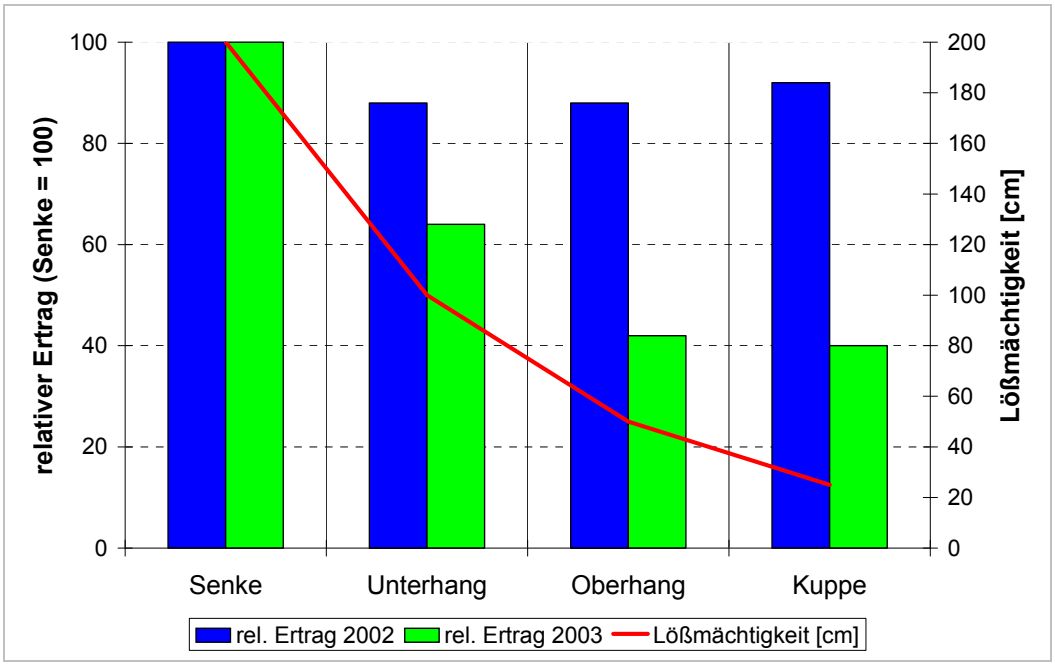


Abbildung 2: **Relative Erträge bei Zuckerrüben im Mittel der Varianten (Ertrag in der Senke: 100 %) in Abhängigkeit der Lössmächtigkeiten im Hangverlauf der Versuchsfläche E1 Methau/Hermsdorf in den Jahren 2002 und 2003**

In der Tabelle 1 sind die Mittelwerte der Erträge der Jahre 2000 – 2008 dargestellt. Der Getreideertrag stellt den auf 86 % TS umgerechneten Kornertrag dar, bei Zuckerrüben handelt es sich um den Rübenkörperertrag.

Die Erträge nach konservierender Bodenbearbeitung lagen in den Einzeljahren teils über, teils unter den Vergleichserträgen nach Pflugeinsatz (BB 1). Im Mittel der Erträge über neun Jahre zeigt sich jedoch, dass die Erträge der pfluglos bearbeiteten Parzellen in etwa auf dem Niveau der Pflugvariante lagen, zum Teil auch darüber (Tab. 1).

Diese Ergebnisse entsprechen auch den Beobachtungen auf Betrieben, die nach Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung in den Anfangsjahren vereinzelt über Ertragsrückgänge berichten, die meist auf Managementfehler zurückzuführen sind. Wird das System der konservierenden Bodenbearbeitung acker- und pflanzenbaulich beherrscht, sind im Schnitt der Jahre keine Ertragsdepressionen zu erwarten.

Tabelle 1: Erträge der Jahre 2000 – 2008, Versuch E 1, Methau/Hermsdorf (ZR: Zuckerrüben, WW: Winterweizen, WG: Wintergerste)

Fruchtart	Variante*	Ertrag [dt/ha]									
		2000	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**Mittel**
ZR	BB 1	720	657	637	516	824	642	675	524	570	**641**
	BB2	685	620	681	547	742	668	759	426	652	**642**
	BB 3.1	744	580	670	514	753	673	740	447	652	**641**
	BB 3.2	668	620	703	535	773	680	632	473	660	**638**
WW	BB 1	77	82	66	60	83	76	74	73	80	**75**
	BB2	69	91	70	60	82	81	73	76	83	**76**
	BB 3.1	73	90	70	59	82	84	77	81	81	**77**
	BB 3.2	77	84	66	58	81	78	70	77	73	**74**
WG	BB 1	70	90	51	50	88	49	50	56	58	**62**
	BB2	76	90	55	58	89	57	58	66	70	**69**
	BB 3.1	67	97	56	57	96	62	56	68	79	**71**
	BB 3.2	53	93	51	58	84	62	55	68	68	**66**

* BB1: Pflug; BB2: pfluglos; BB3.1: pfluglos, Zinkenrotor, 1x Krumenbasislockerung; BB3.2: pfluglos, Zinkenrotor, 3x Krumenbasislockerung

Der ebenfalls berechnete bereinigte Zuckerertrag soll an dieser Stelle nicht dargestellt werden, die Relationen der Zuckererträge in Bezug auf die Bodenbearbeitung entsprechen aber in etwa denen der Rübenkörpererträge. Der in Einzeljahren ermittelte Anteil beiniger Rüben lässt keine Unterschiede zwischen konventionell und konservierend angebauten Rüben erkennen. So wurde z. B. zur Ernte 2006 der höchste Anteil beiniger Rüben auf der Variante „Konventionelle Bodenbearbeitung“ (37,0 % Beinigkeit) ermittelt, im Jahr 2003 auf der Variante „Nichtwendende Bodenbearbeitung mit Grubber“ (13,6 %).

Der jährlich bestimmte Rohproteingehalt im Winterweizenkorn lag im Mittel der letzten neun Jahre bei 10,5 bis 11,1 %. Eine Qualitätsminderung durch Pflugverzicht war nicht feststellbar.

Bei den in Zusammenarbeit mit Referat Pflanzengesundheit, Diagnose des LfULG an Winterweizen-Kornproben des Versuches E 1 (nach Zuckerrüben-Vorfrucht) durchgeführten DON-Gehaltsbestimmungen (Mykotoxinbelastung) traten in den letzten Jahren in keiner der Bodenbearbeitungsvarianten Überschreitungen des Richtwertes von 1.250 µg/kg TS im DON-Gehalt auf. Auch

im Hinblick auf das Auftreten von Fußkrankheiten, DTR, Septoria tritici usw. war kein Einfluss der konservierenden Bodenbearbeitung erkennbar.

3.2 Nährstoffgehalte (N und P) im Boden

Auf der Versuchsfläche wurden jährlich im Frühjahr und im Herbst nach der Ernte Bodenproben zur N_{min}-Bestimmung gezogen. Nach der Ernte erfolgte zusätzlich eine Beprobung zur Analyse der Makronährstoffe. Die Entnahme der Bodenproben (0 - 90 cm Tiefe, Unterteilung in 30-cm-Schichten) fand, wie auch die Beerntung des Versuches, an den vier Hangabschnitten (Kuppe, Oberhang, Unterhang, Hangfuß) statt.

In Tabelle 2 werden die Mittelwerte der N_{min}-Beprobung der letzten neun Jahre gezeigt. Die Auswertung ergab keine eindeutigen Unterschiede zwischen den unterschiedlich bearbeiteten Varianten.

Tabelle 2: N_{min}-Werte (kg N/ha) im Mittel der Jahre 1998 - 2008 im Versuch E 1, Methau/Hermsdorf, 0 - 60 cm Bodentiefe

Fruchtart	Variante*	N_{min} [kg/ha] (Mittelwert 1998 - 2008)	
		Frühjahr	nach Ernte
Zuckerrüben	BB 1	55,8	22,9
	BB 2	45,5	24,7
	BB 3.1	48,0	26,8
	BB 3.2	42,0	23,9
Winterweizen	BB 1	39,1	50,2
	BB 2	45,5	52,3
	BB 3.1	42,5	49,4
	BB 3.2	38,6	47,4
Wintergerste	BB 1	23,1	54,3
	BB 2	21,6	46,5
	BB 3.1	26,9	46,9
	BB 3.2	21,2	45,5

* BB 1:Pflug; BB 2: pfluglos, Grubber; BB 3.1: pfluglos, Zinkenrotor, 1x Krumenbasislockerung; BB 3.2: pfluglos, Zinkenrotor, 3x Krumenbasislockerung

Die Werte zeigen, dass der Gehalt an mineralischem Stickstoff auf den Varianten in den einzelnen Jahren differiert (nicht dargestellt). In den Einzeljahren lagen die Werte der gepflügten Variante teilweise über, zum Teil auch unter denen der pfluglos bearbeiteten Parzellen.

Abbildung 3 zeigt die P-Gehalte auf dem Versuch E 1. Da zu Beginn des Versuches im Jahr 1992 bezüglich der Bodenbearbeitungsvarianten lediglich eine Dreiteilung der Versuchsblöcke vorlag (Varianten BB 1, BB 2 und BB 3.2, s. Versuchsbeschreibung), wird auf die Darstellung der Variante „Dutzi 1“ (Konservierende Bodenbearbeitung mit Zinkenrotor, mit Krumenbasislockerung, 1 x je Rotation; Versuchsvariante BB 3.1 [seit 1997], s. Versuchsbeschreibung) verzichtet.

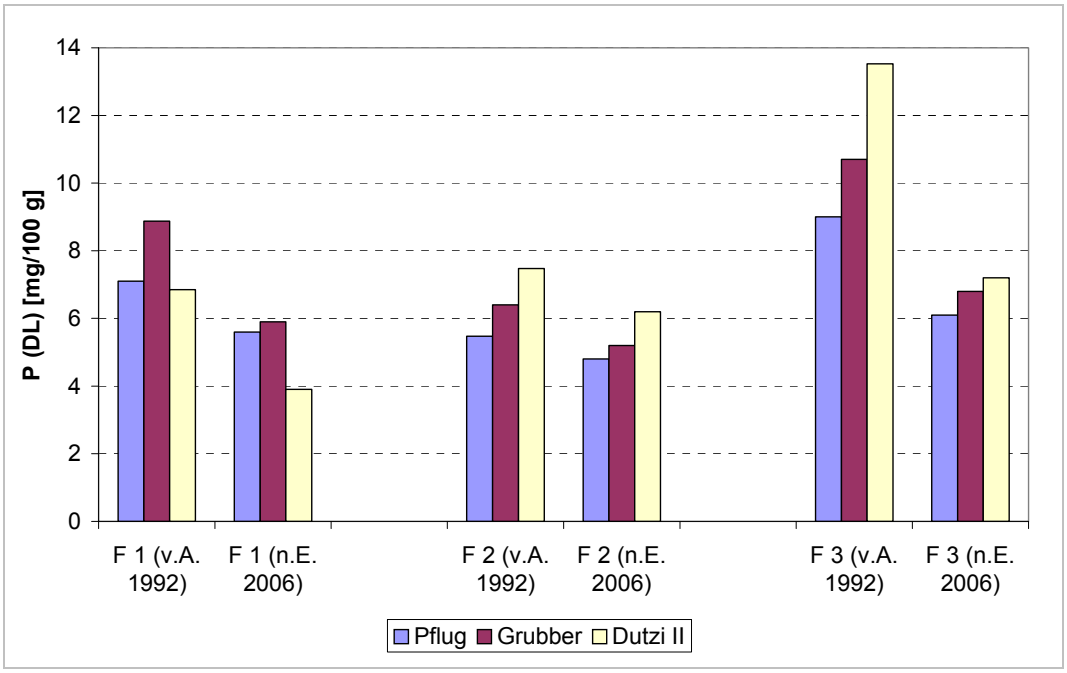


Abbildung 2: P- Gehalt (mg/100 g Boden) in 0 - 30 cm Tiefe vor Versuchsanlage (v. A.) sowie nach Ernte (n. E.) 2006, Versuch E 1, Methau/Hermsdorf (F1 bis F 3: Versuchsblöcke mit Bodenbearbeitungsvarianten Pflug (BB 1), Grubber (BB 2) und Dutzi II (BB 3.2)

Es zeigt sich, dass der P-Gehalt auf allen Versuchsblöcken sank (Abb. 2). Die stärkste Abnahme war im Versuchsblock F 3 zu verzeichnen, dem Versuchsblock mit dem höchsten Ausgangsgehalt an P. Mit Ausnahme der Varianten Pflug (BB 1) und Dutzi II (BB 3.2) (4,8 bzw. 3,9 mg P/100 g Boden) lagen in der Beprobung von Herbst 2006 alle Werte in der angestrebten Versorgungsstufe C (BEFU 2005).

Die Höhe der Grunddüngung war auf dem gesamten Versuch einheitlich. Eine unterschiedliche Wirkung der Bodenbearbeitung (Pflugeinsatz, konservierende Bearbeitung) auf die Entwicklung des Phosphorgehaltes in der Bodenschicht 0 - 30 cm war nicht feststellbar.

Eine differenzierte P-Untersuchung (0 – 10, 10 – 20 und 20 – 30 cm Bodentiefe), die im Mai 2008 vorgenommen wurde, ergab einen Anstieg an löslichem P im obersten Bodenbereich nach dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (s. Abb. 4). Auch der Gehalt an C_t, N_t sowie K (Abb. 5 – 7)

stieg in den oberen 10 cm der pfluglos bearbeiteten Varianten an. Eine Auswirkung dieser erhöhten Nährstoffkonzentrationen auf die Ertragsbildung (in Tabelle 1 dargestellt) war jedoch nicht festzustellen.

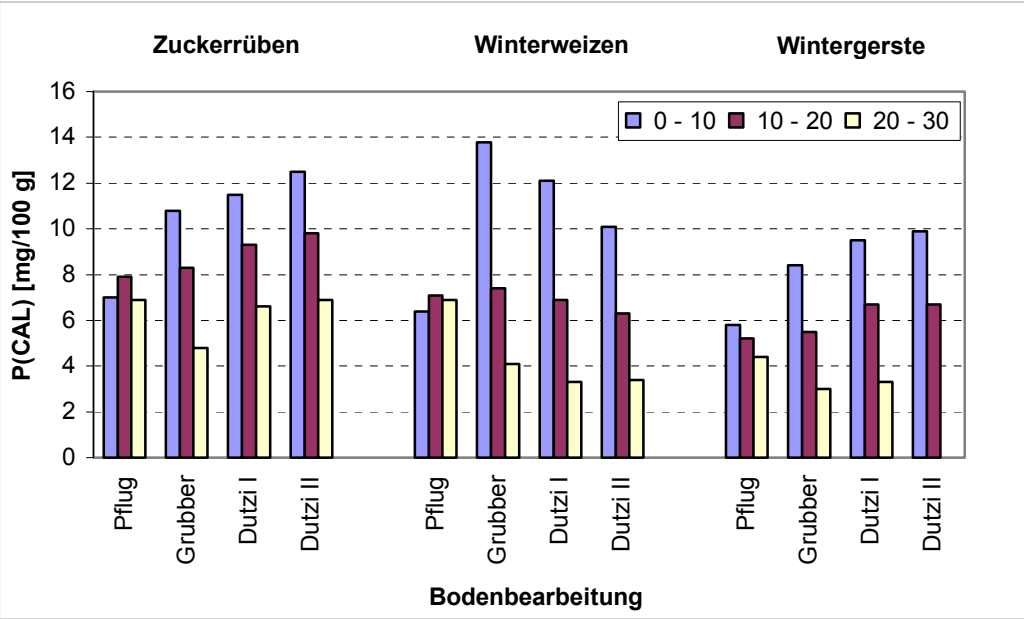


Abbildung 4: **P- Gehalt (mg/100 g Boden) in der Ackerkrume in den Schichten 0 - 10, 10 - 20 und 20 - 30 cm nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Versuch E 1, Methau, Probenahmezeitpunkt 8.5.2008 (16. Versuchsjahr)**

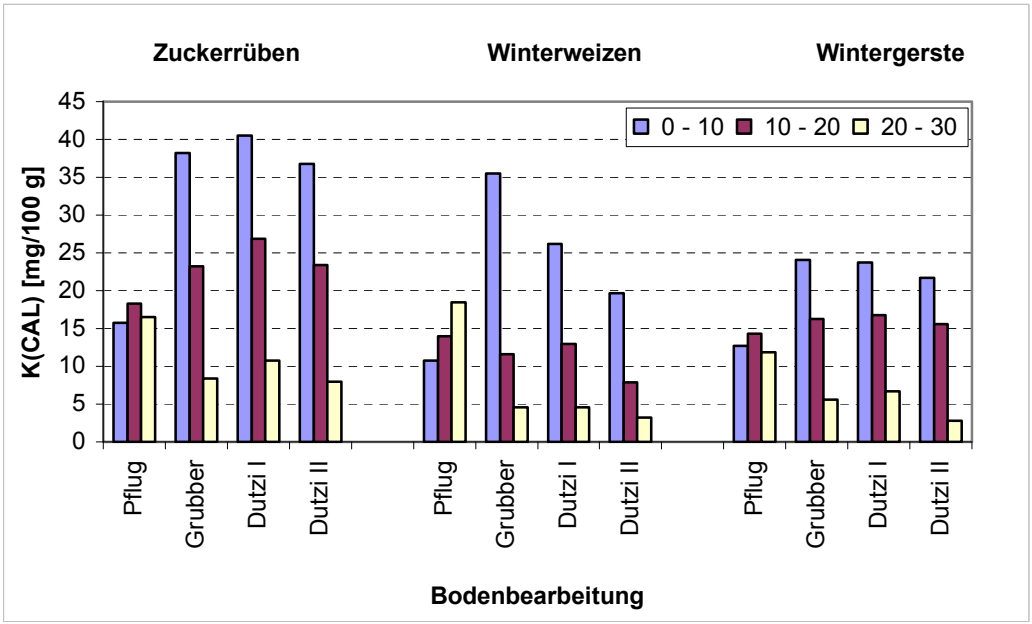


Abbildung 5: **K- Gehalt [mg/100 g Boden] in der Ackerkrume in den Schichten 0-10, 10-20 und 20-30 cm nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Versuch E 1, Methau, Probenahmezeitpunkt 8.5.2008 (16. Versuchsjahr)**

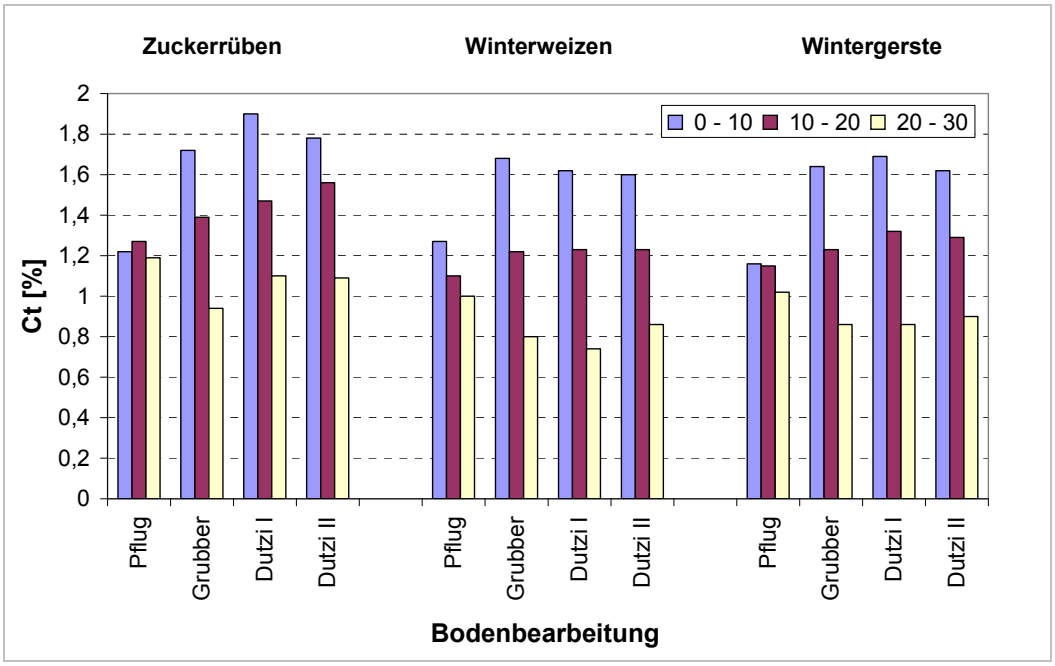


Abbildung 6: **Ct-Gehalt [%] in der Ackerkrume in den Schichten 0 – 10, 10 – 20 und 20 – 30 cm nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Versuch E 1, Methau, Probenahmezeitpunkt 8.5.2008 (16. Versuchsjahr)**

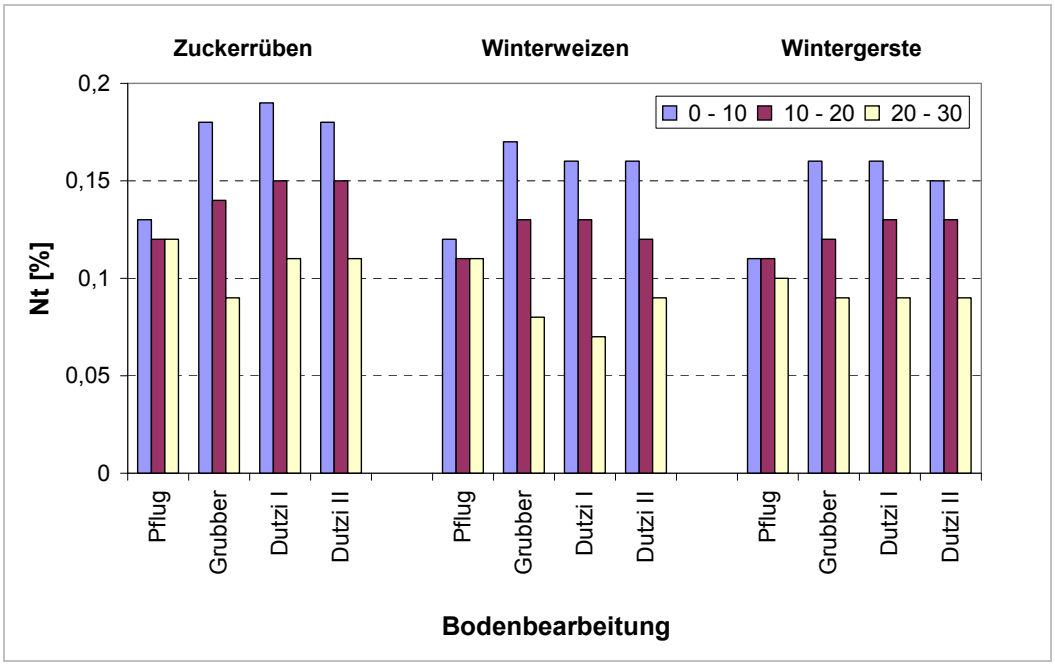


Abbildung 7: **Nt-Gehalt [%] in der Ackerkrume in den Schichten 0 – 10, 10 – 20 und 20 – 30 cm nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Versuch E 1, Methau, Probenahmezeitpunkt 8.5.2008 (16. Versuchsjahr)**

Der Humusgehalt liegt bei ca. 2,2 % und damit etwa so hoch wie vor Anlage des Versuches; die konservierend bearbeiteten Varianten weisen geringfügig höhere Werte als die gepflügte auf.

3.3 Physikalische Bodeneigenschaften

Zusätzlich zu den Nährstoffuntersuchungen wurden im Mai 2008 Stechzylinder in drei Tiefenstufen entnommen. Das Ziel der Erfassung dieser Werte bestand darin, Aussagen über eine mögliche Änderung der Lagerungsdichte nach unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen (mit bzw. ohne Pflugeinsatz) zu treffen.

Einheitlich auf allen Varianten wurde der Krumenbereich (3 - 8 cm) sowie der Bereich unter dem Bearbeitungshorizont (33 - 38 cm) beprobt. Die dritte Entnahmetiefe richtete sich nach der Bearbeitungstiefe, um mit den Stechzylindern in die Bearbeitungssohle zu kommen. Die Beprobungstiefe lag zwischen 15 cm (Grubber, Dutzi I) und 25 cm (Pflug, Dutzi II).

An dieser Stelle soll die gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert, Tab. 3) dargestellt werden.

Tabelle 3: kf-Wert (m/d) in verschiedenen Tiefenstufen nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Versuch E 1, Methau, Probenahmezeitpunkt 8.5.2008 (16. Versuchsjahr); Fruchtart Wintergerste

Bodenbearbeitung	Tiefe (cm)	Geometrischer Mittelwert (m/d)	Standardabweichung
Pflug	3 - 8	9,89	4,35
	22 – 27	1,79	7,21
	33 - 38	7,77	3,72
Grubber	3 - 8	7,63	4,92
	12 – 17	3,34	6,02
	33 - 38	13,11	7,15
Dutzi I	3 - 8	10,95	14,24
	12 – 17	3,12	11,62
	33 - 38	3,80	4,05
Dutzi II	3 - 8	2,43	3,81
	22 – 27	8,40	3,42

Es zeigt sich, dass in keiner der Varianten eine Einschränkung der Funktionsfähigkeit des Bodens hinsichtlich der Wasserleitfähigkeit festzustellen war. Generell war die gesättigte Wasserleitfähigkeit nach KA 5 als „extrem hoch“ zu bezeichnen. Die einzigen Ausnahmen waren bei der Variante

Dutzi II die Krume und auf der gepflügten Fläche die Schicht 22 - 27 cm. Aber da auch hier die verbale Beurteilung „sehr hoch“ lautet, kann von einer Beeinträchtigung der Wasserleitfähigkeit nicht die Rede sein. Möglicherweise zeigt sich aber die Tendenz, dass es in der Pflugsohle zu Verdichtungen kommen kann. Im Projektabschlussbericht „Bodendruck und Bodenbelastbarkeit“ (Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 15 - 10. Jahrgang 2005) kommen Stahl, Marschall und Götze auf dem Standort Methau zu ähnlichen Ergebnissen.

Stechzylinderbeprobungen zur Ermittlung des Porenvolumens, der Trockenrohdichte und der Luftkapazität ergaben ebenfalls, dass sich im Verlauf der 16 Versuchsjahre keine Einschränkung der Funktionalität der pfluglos bearbeiteten Varianten gegenüber der Pflugvariante ergeben hat. Die nachfolgenden Abbildungen 8, 9 und 10 zeigen die Trockenrohdichte, das Gesamtporenvolumen und die Luftkapazität in unterschiedlichen Tiefen; beprobt wurden Oberboden (3 - 8 cm), Bearbeitungssohle (Pflug und Dutzi II: 22 - 27 cm; Grubber und Dutzi I: 12 - 17 cm) sowie der Bereich unter dem Bearbeitungshorizont (33 - 38 cm).

Während hinsichtlich Trockenrohdichte (Abb. 7) und Gesamtporenvolumen (Abb. 9) zwischen der Pflugvariante und den pfluglos bestellten Varianten in allen beprobten Tiefenstufen keine Unterschiede zu erkennen sind, liegt die Luftkapazität (Abb. 10) bei den pfluglos bestellten Varianten in allen beprobten Tiefenstufen über der Pflugvariante. Eine Ausnahme bildet die Luftkapazität der Variante DUTZI II in der Tiefenstufe 3 – 8 cm: Dort liegt die Luftkapazität unter dem entsprechenden Wert der Pflugvariante (s. Abb. 10). Insgesamt belegen die Luftkapazitätswerte eine hohe Funktionalität der zum Untersuchungszeitpunkt seit 16 Jahren pfluglos bestellten Varianten.

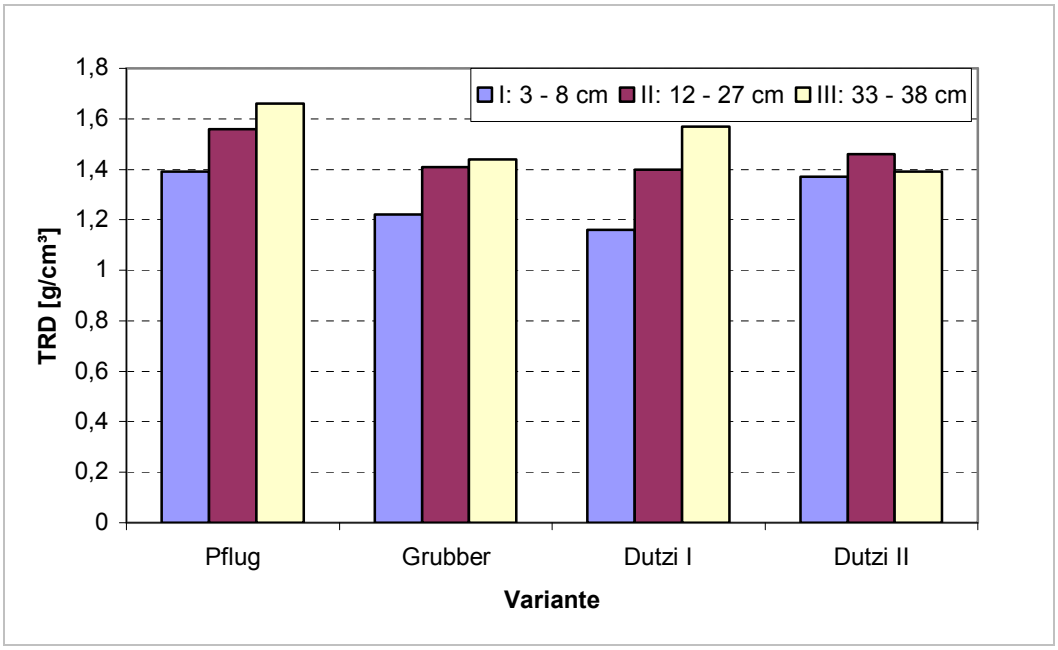


Abbildung 8: **Trockenrohdichte (TRD) (g/cm³) nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Versuch E 1, Methau, Probenahmezeitpunkt 8.5.2008 (16. Versuchsjahr) (Entnahmetiefe II: Grubber und Dutzi I: 12 – 17 cm; Pflug und Dutzi II: 22 - 27 cm)**

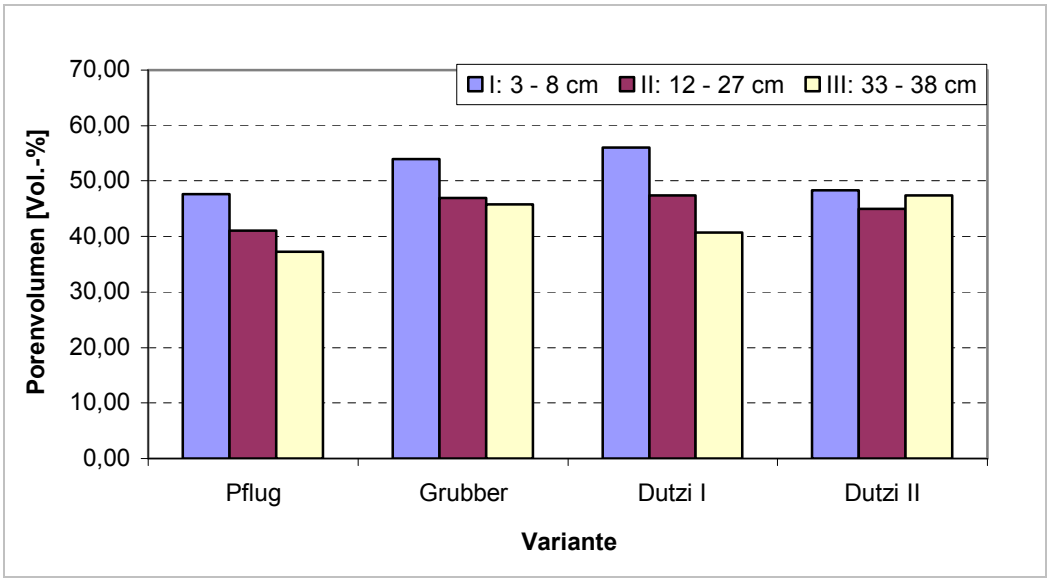


Abbildung 9: **Gesamtporenvolumen (Vol.-%) nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Versuch E 1, Methau, Probenahmezeitpunkt 8.5.2008 (16. Versuchsjahr) (Entnahmetiefe II: Grubber und Dutzi I: 12 – 17 cm; Pflug und Dutzi II: 22 - 27 cm)**

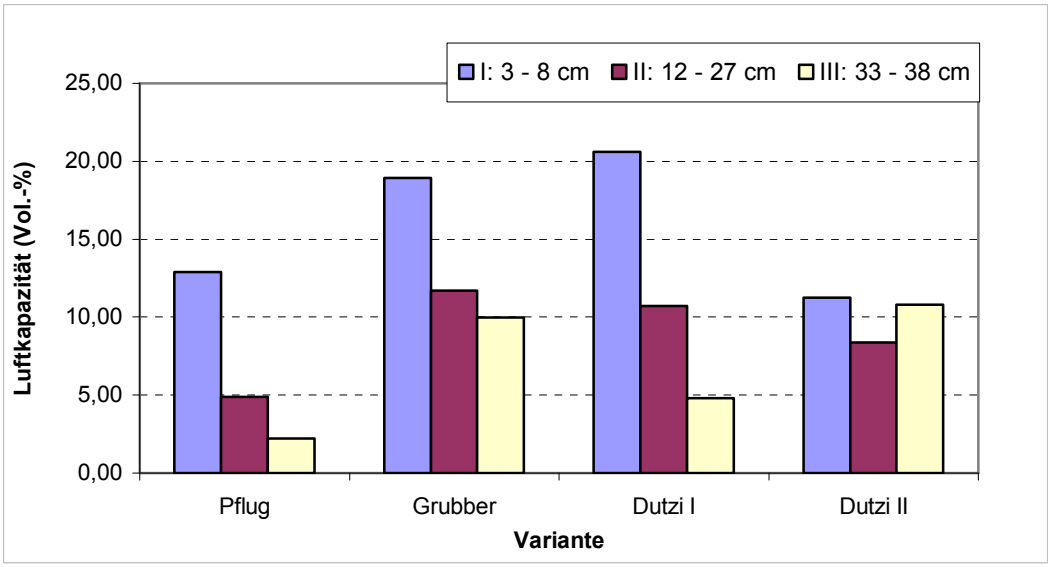


Abbildung 10: Luftkapazität (Vol.-%) nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung, Versuch E 1 Methau, Probenahmezeitpunkt 8.5.2008 (16. Versuchsjahr) (Entnahmetiefe II: Grubber und Dutzi I: 12 – 17 cm; Pflug und Dutzi II: 22 - 27 cm)

3.4 Beregnungssimulation

Simulationen von Starkniederschlägen wurden mit Hilfe einer Kleinberegnungsanlage (1 m² Beregnungsfläche) durchgeführt. Die Regenmenge und -intensität wurde über eine schwenkbare Flachstrahldüse (Typ VeeJet 80/100) gesteuert. Gewählt wurde eine Niederschlagsmenge von 38 mm mit einer Beregnungsintensität von 1,9 mm/min und einer Dauer von 20 Minuten. Dies entspricht für diese Region etwa einem Niederschlagsereignis mit einer statistischen Wiederkehrzeit von 20 Jahren (SCHMIDT et al. 1996). Die Beregnungen wurden auf Parzellen mit einer Hangneigung von 19 % durchgeführt.

Während der Beregnungssimulationen wurden minütlich das oberflächlich abfließende Wasser und der abgespülte Boden aufgefangen. Aus der Differenz zwischen Beregnungsmenge und Oberflächenabfluss wurde die Infiltrationsrate bestimmt.

Die folgende Abbildung 11 zeigt beispielhaft den Infiltrationsverlauf auf einer mit Wintergerste bestellten Fläche in den Varianten „Pflug“ (BB 1) und „Konservierend“ (BB 3.1: konservierende Bodenbearbeitung, Zinkenrotor, 1x Krumenbasislockerung – Dutzi I).

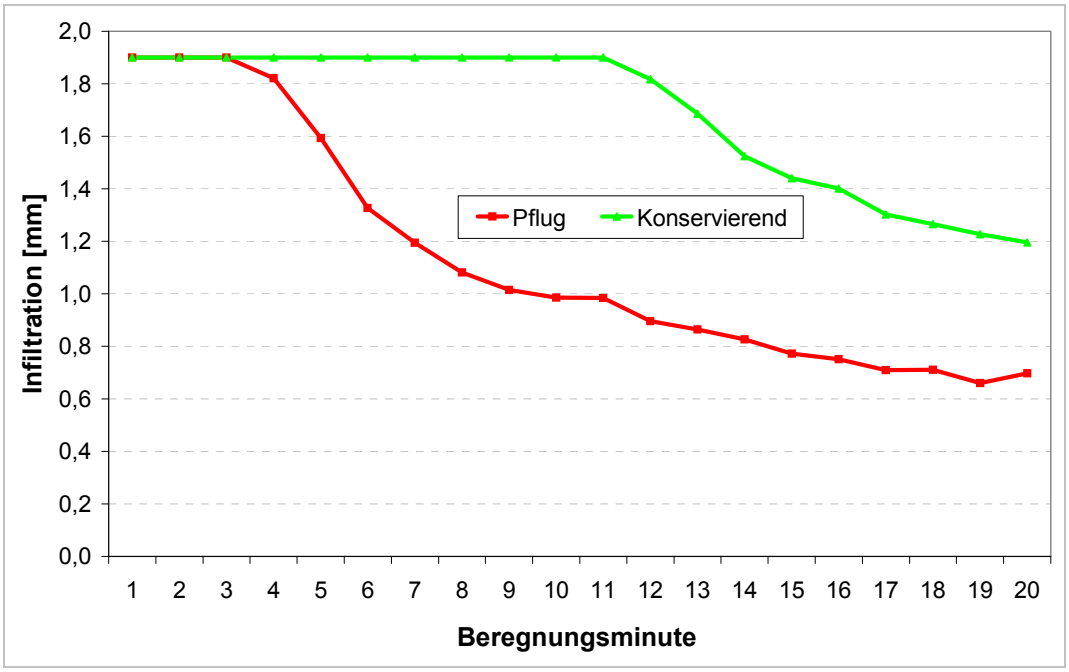


Abbildung 11: Beregnungssimulation am Standort Methau, Wintergerste (Beginn Bestockung), Beregnungsintensität: 1,9 mm/Minute, Konservierend = Variante BB 3.1, Beregnungstermin 05.10.2000

Abbildung 11 zeigt, dass in der konservierend bearbeiteten Variante unter Wintergerste deutlich mehr Wasser infiltrieren kann. Erst ab der 12. Minute beginnt der Oberflächenabfluss (Pflug: 4. Minute).

Deutlich wird, dass zwei Effekte zu der gemessenen Infiltrationssteigerung führen. Zum einen tritt bei konservierender Bodenbearbeitung erst später Oberflächenabfluss auf. Das bedeutet, dass die Infiltrationsrate länger auf einem hohen Niveau verbleibt und es zu einer Verzögerung des Abflussbeginns kommt. Zum anderen bleibt die Infiltrationsrate auch nach längerer Beregnung i. d. R. auf einem höheren Niveau, sodass dauerhaft mehr Wasser in den Boden infiltrieren kann.

Aus einer höheren Bodenbedeckung (Pflug: 17,5 %; konservierend (BB 3.1): 52,3 %) sowie einer erhöhten Aggregatstabilität (Pflug: 12,4 %; konservierend (BB 3.1) 37,7 %) auf der Variante „Konservierend“ resultierte neben einer höheren Infiltrationsrate auch eine starke Absenkung des Bodenabtrages. Während auf der gepflügten Fläche 192,1 g/m² Boden in der in Abb. 11 dargestellten Beregnungssimulation abgetragen wurden, waren es auf der konservierend bearbeiteten Fläche lediglich 25,3 g/m².

Eine Vielzahl von Oberflächenabfluss- und Bodenabtragsmessungen zu anderen Fruchtarten sowie an anderen sächsischen Standorten sowohl im Herbst als auch im Frühjahr bestätigen die oben dargestellten Ergebnisse.

4 Schlussfolgerungen

Im Rahmen des im Jahre 1992 angelegten Bodenbearbeitungsversuches E 1 konnte gezeigt werden, dass die Umstellung von konventioneller auf dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung nicht mit einer Ertragsminderung verbunden ist. Beim Einstieg in die konservierende Bodenbearbeitung müssen allerdings Erfahrungen gesammelt und die Verfahren an den Standort und die regionalen Bedingungen angepasst werden.

Eine unterschiedliche Wirkung der Bodenbearbeitung (Pflugeinsatz, pfluglose Bearbeitung) auf die Entwicklung der Nährstoffgehalte in der Bodenschicht 0 - 30 cm war nicht feststellbar. Eine differenzierte P-Untersuchung (0 – 10, 10 – 20 und 20 – 30 cm Bodentiefe), die im Mai 2008 vorgenommen wurde, ergab einen Anstieg an löslichem P im obersten Bodenbereich nach dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung (s. Abb. 4). Auch der Gehalt an Ct, Nt sowie K stieg in den oberen 10 cm der pfluglos bearbeiteten Varianten an. Eine Auswirkung dieser erhöhten Nährstoffkonzentrationen auf die Ertragsbildung (in Tabelle 1 dargestellt) war jedoch nicht festzustellen.

Die über 16 Versuchsjahre dauerhaft pfluglos bestellten Versuchsparzellen wiesen sowohl im bearbeiteten Krumenbereich als auch in der daran angrenzenden, nicht bearbeiteten Unterkrume mit der Pflugvariante vergleichbare Werte bezüglich Wasserleitfähigkeit, Trockenrohdichte sowie Gesamtporenvolumen auf. Die Luftkapazität lag bei den pfluglos bearbeiteten Varianten über der Pflugvariante. Diese Ergebnisse belegen, dass sich im Verlauf der 16 Versuchsjahre keine Einschränkung der Funktionalität der pfluglos bearbeiteten Varianten gegenüber der Pflugvariante ergeben hat.

Die gute Funktionalität der pfluglos bearbeiteten Varianten kommt auch bei den dort im Rahmen von Regensimulationsversuchen ermittelten hohen Infiltrationsraten zum Ausdruck. Infolge der hohen Wasserinfiltration kommt es bei konservierender Bodenbearbeitung zu einem signifikant verzögerten Abflussbeginn sowie zu einer Reduzierung des Bodenabtrages. Diese mittels Beregnungssimulation erzielten Ergebnisse belegen die erosionsmindernden (und damit boden- und gewässerschonenden) Wirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung als wirksame Maßnahme zum vorsorgenden Schutz von Ackerflächen vor Bodenabtrag und als Beitrag zum Gewässerschutz.

5 Literaturverzeichnis

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Hannover, 5. verbesserte und erweiterte Auflage., 438 S.

BEFU 2005, ANHANG 4 – Grenzwerte für die Versorgung des Bodens; Broschüre der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden (2005), S. 67

SCHMIDT, J., VON WERNER, M., MICHAEL, A., SCHMIDT, W. (1996): EROSION 2D/3D - Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser: Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden-Pillnitz und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg/Sachsen

STAHL, H., MARSCHALL, K., GÖTZE, H. (2005): Bodendruck und Bodenbelastbarkeit. Abschlussbericht zum Projekt „Risikomanagement Bodengefüge"; Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 15 - 10. Jahrgang 2005

Herausgeber:
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:
Dr. Rainer Paul
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Joachim Bischoff, Matthias Schrödter, Falko Holz
Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) Sachsen-Anhalt
Dr. Armin Hofhansel
Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei (LALLF) Mecklenburg-Vorpommern
Jörg Zimmer, Bärbel Dittmann
Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF) Brandenburg
Robert Brandhuber, Dr. Markus Demmel
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Rupert Geischeder
Harain Maschinenbau GmbH
Michael Zimmermann, Dr. Walter Schmidt, Harald Börner
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Redaktion:
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Referat Bodenkultur
Dr. Walter Schmidt
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: +49 341 9174-116
Telefax: +49 341 9174-111
E-Mail: walter.schmidt@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:
30.06.2010

ISSN:
1867-2868

Verteilerhinweis
Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.