



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung



Bundesinformationszentrum
Landwirtschaft

Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz



Liebe Leserinnen und Leser,

der Boden ist die wichtigste Grundlage für die landwirtschaftliche Produktion.

Der Gesetzgeber hat mit dem 1998 verabschiedeten Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG, § 17) über die Vorsorgepflicht eine Grundlage für den Schutz des Bodens geschaffen.

Die vorliegende Broschüre beruht auf dem im Jahr 2001 erstellten Bund-Länder-Papier „Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion“ (BMVEL, 2001). Der wesentliche Fokus ist hier die Umsetzung der in § 17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes verankerten und allgemein geltenden Grundsätze der Guten fachlichen Praxis zur landwirtschaftlichen Bodennutzung.

Die „Gute fachliche Praxis“ beschreibt die Ansatzpunkte, um mit intelligenten Ackerbausystemen die Bodenfunktionen, wie Produktions-, Filter/Puffer- und Lebensraumfunktion zu schützen. Das heißt konkret, Bodenerosion, schädliche Bodenverdichtungen und Humusabbau sind zu vermeiden.

In der Broschüre werden zunächst die grundsätzlichen Zusammenhänge und wissenschaftlichen Erkenntnisse zum standorttypischen Humusgehalt, zum Themenkomplex Bodenverdichtungen sowie zur Wasser- und Winderosion beschrieben.

Für die landwirtschaftliche Praxis werden dann jeweils anhand von Beispielen konkrete Handlungsempfehlungen zur Vorsorge und zum Erhalt eines standorttypischen Humusgehalts, zur Vorsorge gegen Bodenverdichtungen, sowie zur Vermeidung von Wind- und Wassererosion gegeben. Dabei geht es sowohl um acker- und pflanzenbauliche Vorsorgemöglichkeiten wie auch um organisatorische und technische Maßnahmen.

Abschließend werden Strategien für eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung vorgestellt, wobei speziell auf die Strohverteilung und Stoppelbearbeitung eingegangen wird. Zusätzlich werden Maßnahmen gegen Trespen, Ährenfusariosen, Mäuse und Schnecken aufgeführt.

Mit den in der Broschüre beschriebenen Maßnahmen liegt für die Praxis und Beratung ein ganzes Bündel von Möglichkeiten vor, um aktiv zum Schutz der wertvollen Ressource Boden beizutragen.

Ihr
Bundesinformationszentrum Landwirtschaft



Inhalt

Zu dieser Broschüre	5	Technische Möglichkeiten zur Minderung von Spannungen im Boden	46
1 Einleitung	6	Ausblick und zukünftige Entwicklung	49
Rechtlicher Rahmen des Bodenschutzes	8	Maßnahmenkatalog – 15 Fallbeispiele für Gute fachliche Praxis nach dem Konzept für bodenschonendes Befahren	51
Literatur	10	Acker- und pflanzenbauliche Vorsorgemöglichkeiten ..	51
2 Vorsorge zur Erhaltung des standorttypischen Humusgehaltes	11	<i>Beispiel 1: Auswirkungen auf die Bodenstruktur bei der Zuckerrübenenernte nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung</i>	51
Einleitung	12	<i>Beispiel 2: Erhalt und Verbesserung der Durchwurzelbarkeit durch nichtwendende Bodenbearbeitung vor/nach der Zuckerrübenenernte</i>	52
Humus – Definition, Funktionen und Wirkung	12	<i>Beispiel 3: Biomasselogistik bei Silomais – Bodenzustandsänderung nach Ausbringung von Gärsubstrat</i>	54
Humusgehalte in Böden	13	Arbeitsverfahren bei der Bodennutzung	55
„Standorttypischer“ Humusgehalt	15	<i>Beispiel 1: Auslastung von Ernteverfahren bei der Zuckerrübenenernte/flexible Anpassung der Rodekapazität</i>	55
Ursachen für den Verlust an organischer Substanz	16	<i>Beispiel 2: Mähdrusch – Einfluss von Auslastung/Schlagkraft auf Kosten von Qualitätsparametern und Bodenschonung</i>	56
Maßnahmen für die Humuserhaltung	18	<i>Beispiel 3: Regelfahrspurverfahren – Controlled Traffic Farming</i>	56
Erhaltung des Humusgehaltes durch ausreichende Zufuhr an organischer Substanz	18	<i>Beispiel 4: Verfahrensvergleich bei der Silomaisernte – Parallelverfahren contra Bunkerverfahren</i>	58
Erhaltung des Humusgehaltes durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität	19	Technische Möglichkeiten zur Minderung der Spannungen im Boden	60
Abschließende Betrachtung	20	<i>Beispiel 1: Aufsattel- und Anhänge- statt Anbaugeräte mit vergleichbarer Arbeitskapazität</i>	60
Literatur	21	<i>Beispiel 2: Bandfahrwerke im Vergleich zu Radfahrwerken</i>	61
3 Vorsorge gegen Bodenverdichtungen	24	<i>Beispiel 3: Verfahrensvergleich bei der Silomaisernte – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix</i>	65
Einführung	25	<i>Beispiel 4: Verfahrensvergleich bei der Zuckerrübenenernte – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix</i>	66
Formen der Verdichtung und ihre Ursachen	26	<i>Beispiel 5: Verfahrensvergleich beim Mähdrusch – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix</i>	67
Definition einer Verdichtung	28	<i>Beispiel 6: Verfahrensvergleich bei der Kartoffelernte – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix</i>	68
Ursachen: Auslösende Faktoren für Verdichtung durch Befahren	29	<i>Beispiel 7: Verfahrensvergleich bei der Gülle-/ Gärsubstratausbringung – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix</i>	69
Belastung des Bodens	29	<i>Beispiel 8: Anpassung des Reifeninnendrucks und Vergrößerung der Kontaktfläche</i>	70
Beanspruchung des Bodens	31	Literatur	72
Verformung der Bodenstruktur – Bodenverdichtung	33		
Wirkungen	35		
Bodenverdichtungen erkennen und beurteilen	36		
Konzept für bodenschonendes Befahren	37		
Acker- und pflanzenbauliche Vorsorgemöglichkeiten ..	39		
Erhalt und Steigerung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens/Verbesserung der Tragfähigkeit:	39		
Weitere, die Bodenstruktur stabilisierende Maßnahmen: ...	39		
Arbeitsverfahren bei der Bodennutzung	40		

4	Vorsorge gegen Bodenerosion	77	Orientierungswerte für Wassererosion	97
			Wassererosionsschäden	97
			Abschätzung von Wassererosion	99
			Vorsorgemaßnahmen gegen Wassererosion	99
			<i>Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen</i>	100
			<i>Anpassungsstrategien bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung</i>	102
			<i>Vorsorge gegen Bodenerosion durch Kalkung</i>	104
			<i>Zwischenfruchtanbau</i>	107
			<i>Untersaaten in Mais</i>	108
			<i>Vermeiden hangabwärts gerichteter Fahrspuren</i>	108
			<i>Fahrgassenbegrünung</i>	109
			<i>Vollbegrünungen von Fahrgassen in Zuckerrüben</i>	109
			Ergänzende Maßnahmen gegen Wassererosion	110
			<i>Schlagunterteilung bzw. Hanggliederung durch Fruchtartenwechsel</i>	110
			<i>Grünstreifen und begrünte Abflusswege</i>	110
			<i>Hanguntergliederung im Rahmen der Flurneueordnung</i>	112
			Literatur	
			(einschließlich Literatur zu „Strategien für eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung“ im Anhang)	113
			Anhang	116
			Strategien für eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung	117
			(1) Strohverteilung und Stoppelbearbeitung	117
			(2) Mulch- und Direktsätechnik	117
			(3) Durchwuchs sowie Problemunkräuter und -ungräser	117
			(4) Maßnahmen gegen Trespen	118
			(5) Maßnahmen gegen Ährenfusariosen	118
			(6) Schnecken und Mäuse	118
			Internetadressen	119
			Humus	119
			Humus – Humusversorgung der Ackerböden	119
			Was ist Humus? Die wichtigsten 30 cm im Boden	119
			CARLOS – E-Learning-Plattform zum Thema Boden als Kohlenstoffsenke	119
			Anschriften der Mitglieder der Autoren-/Expertengruppe	120
			KTBL-Veröffentlichungen	123
			Impressum	127
4.1	Sachstand Winderosion	79		
	Bedeutung und Definition	79		
	Verlauf der Winderosion	79		
	Faktoren	81		
	<i>Klimatische Faktoren</i>	81		
	<i>Topographie</i>	81		
	<i>Bodeneigenschaften</i>	82		
	<i>Bearbeitungs-/bewirtschaftungsbedingte Faktoren</i>	82		
	Orientierungswerte	83		
	Schäden durch Winderosion	84		
	Schlussfolgerungen aus dem Sachstandsbericht	86		
	Maßnahmen der Guten fachlichen Praxis zur Vermeidung von Bodenerosion durch Wind	86		
	Abschätzung der Winderosionsgefährdung	86		
	<i>Standörtliche Winderosionsgefährdung</i>	87		
	<i>Nutzungsbedingte Winderosionsgefährdung</i>	87		
	Vorsorgemaßnahmen gegen Winderosion	87		
	<i>Kurzfristige Maßnahmen</i>	88		
	<i>Mittelfristige Maßnahmen</i>	89		
	<i>Langfristige Maßnahmen</i>	90		
	Literatur	91		
4.2	Wassererosion	92		
	Verlauf der Wassererosion	92		
	Auslösende Faktoren der Wassererosion	94		
	Natürliche Faktoren	94		
	<i>Niederschlag</i>	94		
	<i>Topographie</i>	94		
	<i>Bodenzusammensetzung</i>	94		
	Vom Menschen beeinflusste Faktoren	95		
	<i>Langfristige Nutzung (Wald, Grünland, Acker)</i>	95		
	<i>Bodenbedeckung</i>	96		
	<i>Wasseraufnahmefähigkeit</i>	96		
	<i>Bodenverdichtungen in Krume und Unterboden</i>	96		
	<i>Aggregatstabilität, Scherwiderstand</i>	96		
	<i>Bodenfeuchte</i>	96		
	<i>Fremdwasserzufluss von Wegen</i>	96		

Zu dieser Broschüre

Der Boden ist die wichtigste Grundlage für die landwirtschaftliche Produktion. Der Gesetzgeber hat mit dem 1998 verabschiedeten Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG, § 17) über die Vorsorgepflicht eine Grundlage für den Schutz des Bodens geschaffen. Im Rahmen „Guter fachlicher Praxis“ sind die wichtigsten Bodenfunktionen, wie Produktions-, Filter/Puffer- und Lebensraumfunktion zu schützen, d. h. unerwünschte Nebeneffekte, wie z. B. Bodenerosion, Bodenverdichtungen und Humusabbau sind durch intelligente Ackerbausysteme zu vermeiden.

Die Hochwasserkatastrophen im Jahr 2021 im Westen und Süden Deutschlands haben gezeigt, dass alle Anstrengungen bei der Flussregulierung, bei der Siedlungsplanung und bei der Acker- und Grünlandbewirtschaftung erfolgen müssen, um die Bodenfruchtbarkeit als höchstes Gut einer Gesellschaft zu schützen und zu vermehren.

Mit der Bodenbearbeitung bestimmen Praktikerinnen und Praktiker die Eingriffsintensität in den Boden und gestalten mit dem Grad der Lockerung die Tragfähigkeit, den Bedeckungsgrad mit organischen Reststoffen an der Oberfläche, den Humusgehalt und die Förderung der biologischen Aktivität. Der Bodenbedeckungsgrad ist der Schlüsselindikator für Bodenschutz und Bodenschonung. Aufgelockerte Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau, nichtwendende Bodenbearbeitung in Verbindung mit Feldhygiene und an den Bodenzustand angepasster Maschineneinsatz ist das Maßnahmenbündel, das Landwirte und Lohnunternehmer gestalten können.

Die Auswahl der Früchte, das Nacherntemanagement und die Bearbeitungsintensität bestimmen im Wesentlichen den Humusgehalt der Böden. Als Gerüstsubstanz und Nahrungsangebot für die Mikroorganismen ist der Gehalt standorttypisch zu erhalten.



PD Dr. Joachim Brunotte,
Koordinator der
Expertengruppe*

Im Zentrum für bodenschonendes Befahren steht die Anpassung der mechanischen Belastung durch Landmaschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit der Böden – Auslastungsgrade von Maschinen und die Bodenfeuchte bestimmen im Wesentlichen die möglichen Befahrbarkeitstage. DWD, KTBL und Thünen-Institut entwickeln zurzeit eine Online-Anwendung für die Praxis, um den bodenschonenden Maschineneinsatz vor Ort mit den eigenen aktuellen Daten zu planen und durchzuführen.

Das Ausmaß der Bodenverdichtungen wirkt auch in Richtung Infiltration von Regenwasser. Nur eine intakte Bodenoberfläche und Krume können Wasser aufnehmen und an den Grundwasserkörper weiterleiten. Der noch wichtigere Aspekt zur Vermeidung von Bodenerosion ist jedoch der Bedeckungsgrad durch organische Reststoffe. Er bricht die hohe Energie der krümelzerstörenden Regentropfen und fördert die Aktivität der tiefgrabenden Regenwürmer zur Steigerung der Regenverdaulichkeit der Böden. In Verbindung mit begrünten Tiefenlinien und Gewässerrandstreifen kann Bodenerosion weitestgehend verhindert werden, die Hochwassergefahr wird dadurch vermindert. In der Praxis ist es letztendlich immer ein Abwägungsprozess, für den eigenen Standort das Maßnahmenbündel zu wählen, das die Bodenfruchtbarkeit am effektivsten schützt.

* Anschriften der Mitglieder der Autoren-/Expertengruppe, s. Seite 120



Bild: J. Brunotte

1 Einleitung

Autoren: Hubert Honecker und Dr. Meinhard List;
aktualisiert und geändert durch Caroline Hendrichke und
Marion Senger, März 2022

„Boden ist das mit Wasser, Luft und Lebewesen, unter Einfluss der Umweltfaktoren an der Erdoberfläche entstandene und im Ablauf der Zeit sich weiterentwickelnde Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Substanzen mit eigener morphologischer Organisation, das in der Lage ist, höheren Pflanzen als Standort zu dienen und die Lebensgrundlage für Tiere und Menschen bildet.“ (SCHROEDER, 1983)

In Deutschland stehen rund 16,6 Mio. Hektar Boden für die landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung. Davon werden etwa 11,7 Mio. Hektar ackerbaulich und etwa 4,7 Mio. Hektar als Grünland genutzt.

Insbesondere die ackerbauliche Nutzung stellt hohe Anforderungen an die Bewirtschaftung und setzt eine gute Ausbildung in der Landwirtschaft mit Kenntnissen über die Bodenfunktionen und Bodenökologie sowie die spezifischen Bedingungen des Standortes auf dem gewirtschaftet wird voraus, wenn eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung gelingen soll.

Der Boden ist neben Luft und Wasser für die Herstellung von gesunden Lebensmitteln der wichtigste Produktionsfaktor für die Landwirtschaft. „Böden sind Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen, Tiere, Bodenorganismen und den Menschen sowie Bestandteil der natürlichen Wasser- und Stoffkreisläufe. Als wichtiger Teil der globalen Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe sind Böden eng mit dem Klimasystem verzahnt. Dass sich der Zustand der Böden durch Nutzung verschlechtert, ist möglichst zu vermeiden, denn damit werden wichtige Bodenfunktionen beeinträchtigt oder können sogar unwiederbringlich verloren gehen.“ (5. Bodenschutzbericht der Bundesregierung 2021)

Bei der Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln sowie nachwachsenden Rohstoffen ist es Aufgabe der Landwirtschaft, mit dem Boden verantwortungsvoll umzugehen, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und wenn möglich zu stärken. Wichtigstes Ziel dabei ist, dass eine nachhaltige Bewirtschaftung des Bodens und Wirtschaftlichkeit hierbei Hand in Hand gehen.

Im Rahmen der nachhaltigen Bewirtschaftung des Bodens sind die Grundsätze der Guten fachlichen Praxis zu berücksichtigen. Diese beschreiben die Bodenbewirtschaftung als ein sich ständig weiterentwickelndes System, getragen von den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen. Die Gute fachliche Praxis geht hierbei in vielen Bereichen bereits weit über den gesetzlich vorgeschriebenen Rahmen der Acker- und Grünlandbewirtschaftung hinaus.

Besondere Bedeutung kommt dabei den eingesetzten Maschinen und dem durch sie verursachten Bodendruck zu. Bodenschadverdichtungen, insbesondere des Unterbodens, die durch überhöhte Radlasten, Reifeninnendruck

und Überrollungen und durch Befahren in Zeiten hoher Wassersättigung des Bodens entstehen können, sind nur schwer wieder rückgängig zu machen. Eine Befahrung des Bodens unter widrigen Bedingungen entspricht daher oft nicht den Grundsätzen der Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft.

Zur Stärkung und zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und damit des Bodenwertes für die landwirtschaftliche Produktion ist ein wirksamer Schutz des Bodens vor Erosionsereignissen durch Wind oder Wasser unumgänglich. Während in der norddeutschen Tiefebene mit Böden, die einen hohen Sandanteil aufweisen, insbesondere Winderosion zum Problem werden kann, sind die Regionen der Mittelgebirge Deutschlands mit mittleren bis schweren Böden und hängigen Lagen eher durch die Wassererosion gefährdet. Erosionsereignisse treten vor allem auf Ackerland auf und im Wesentlichen dann, wenn der Boden nicht ausreichend mit Reststoffen oder Kulturpflanzen bedeckt ist.

Ein bedeutender Faktor zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit ist darüber hinaus der Humusgehalt des Bodens. Der Humus unterliegt Auf-, Um- und Abbauprozessen. Durch Bodenbearbeitung und den Anbau von Kulturpflanzen wird der im Boden vorhandene Humus verstärkt zersetzt und letztlich abgebaut. Die Pflanzen nutzen die mineralisierten Nährstoffe aus dem Humus für ihr Wachstum. Im Rahmen der Guten fachlichen Praxis ist eine humusschonende, d. h. humuserhaltende oder sogar humusaufbauende Bodenbewirtschaftung Voraussetzung für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit.

Eine komplexe Aufgabe ist die Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und der Bodengesundheit. Qualitativ hochwertige Lebens- und Futtermittel sowie nachwachsende Rohstoffe setzen voraus, dass ein intakter und gesunder Boden vorhanden ist. Dem Bewirtschafteter des Bodens kommt daher die Aufgabe zu, durch ausreichende Nährstoffversorgung und entsprechenden Fruchtwechsel im Anbau den ihm zur Verfügung stehenden Boden in einem optimalen Versorgungs- und Gesundheitszustand zu erhalten. Dabei gilt es bodenbürtige Krankheiten und Schädlinge durch angepasste Bodenbewirtschaftung und wechselnde Kulturen im Anbau soweit wie möglich zu vermindern. Bedingt durch den Klimawandel muss außerdem die Widerstandskraft (Resilienz) des Bodens gestärkt werden.

„Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit sind zwei grundlegende Voraussetzungen menschlicher Existenz auf unserer Erde. Beides auf Dauer zu gewährleisten ist eine weltweite Aufgabe. Nur wenn die Voraussetzungen für ein optimales Pflanzenwachstum erhalten bleiben und wenn die Fruchtbarkeit der Böden in vielen Gebieten noch gesteigert wird, kann die in den kommenden Jahrzehnten weiterwachsende Weltbevölkerung ernährt werden.“ (DR. HELMUT KOHL, 1986)

Rechtlicher Rahmen des Bodenschutzes

Im Rahmen des Fachrechts gilt das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) „zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten“. Die Umsetzung des Gesetzes soll sowohl vorsorgend den Boden schützen, als auch bei eingetretenen Beeinträchtigungen die Funktionen des Bodens wiederherstellen.

Im §1 des BBodSchG werden der Zweck und die Grundsätze des Gesetzes wie folgt festgelegt:

„Zweck dieses Gesetzes ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte so weit wie möglich vermieden werden.“

Insbesondere die Vorsorgepflicht gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen wird im §7 des BBodSchG festgehalten. Hierunter fallen auch Bodenschadverdichtungen durch nicht sachgerechten Maschineneinsatz. Daher ist die Landwirtschaft verpflichtet, im Sinne des BBodSchG im Rahmen der Anwendung der Guten fachlichen Praxis den Maschineneinsatz so zu planen, dass Bodenschadverdichtungen soweit als möglich vermieden werden. Sie dient damit der nachhaltigen Sicherung der Fruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit der Böden als natürliche Ressource. Wie die Vorsorgepflicht nach §7 bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung zu erfüllen ist, wird in §17 des BBodSchG ausgeführt.

Im §17 des BBodSchG werden die Grundsätze der guten fachlichen der landwirtschaftlichen Bodennutzung genannt. Diese umfassen:

- » eine standortangepasste Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung,
- » den Erhalt der Bodenstruktur,
- » die Vermeidung von Bodenverdichtungen,
- » die Verhinderung von Bodenabträgen,
- » den Erhalt von Strukturelementen,
- » die Förderung der biologischen Aktivität des Bodens durch Fruchtfolgegestaltung und
- » die langfristige Sicherung des standorttypischen Humusgehaltes.

Neben dem landwirtschaftlichen Fachrecht sind auch im Förder- und Beihilferecht Festlegungen zum Schutz des Bodens und der Bodenfruchtbarkeit geregelt. Hier liegen oft gemeinschaftsrechtliche Beihilferegelungen zugrunde, deren Tatbestandsvoraussetzungen erfüllt werden müssen, um in den Genuss der aus diesen Rechtsakten resultierenden Zuwendungen zu kommen.

Jeder Empfänger von Direktzahlungen und flächen- oder tierbezogener Zahlungen aus der 2. Säule der EU-Agrarförderung ist verpflichtet, seine Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (GLÖZ-Standards) zu erhalten und Grundanforderungen an die Betriebsführung (GAB) zu beachten. Die GAB beinhalten Rechtsakte, die zum Fachrecht gehören und auch unabhängig von evtl. gewährten Agrarzahlungen gelten. Bei den GLÖZ-Standards handelt es sich um zusätzliche Verpflichtungen für die Antragsteller der genannten EU-Zahlungen. Die Einhaltung der GAB und GLÖZ-Standards wird nach EU-rechtlichen Regelungen systematisch kontrolliert. Bei Nichteinhaltung können die o. g. Agrarzahlungen gekürzt werden. Bei Verstößen gegen die GAB treten diese Kürzungen ggf. neben eventuelle Bußgelder aufgrund des Fachrechts.

In der Förderperiode seit 2014 sind die GLÖZ-Standards in Deutschland im Agrarzahlungen-Verpflichtungengesetz bzw. der Agrarzahlungen-Verpflichtungenverordnung geregelt. Hierzu zählen mit Blick auf den Schutz des Bodens und der Bodenfruchtbarkeit des Ackerlandes Regelungen zu Mindestanforderungen an die Bodenbedeckung, zum Erosionsschutz oder zum Erhalt der organischen Substanz im Boden.

Im Rahmen des GLÖZ-Standard „Mindestpraktiken der Bodenbearbeitung zur Begrenzung von Erosion“ weisen die Länder landwirtschaftlich genutzte Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind aus. Auf als erosionsgefährdet eingestuften Flächen sind Mindestanforderungen bei der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung einzuhalten. Der GLÖZ-Standard „Mindestanforderung an die Bodenbedeckung“ gibt vor, dass brachliegende Flächen, Feldrand-, Waldrand- und Pufferstreifen, die vom Landwirt als sog. ökologische Vorrangfläche ausgewiesen sind, sowie sonstige stillgelegte Flächen, zu begrünen oder der Selbstbegrünung zu überlassen sind. Darüber hinaus gibt es u. a. Anforderungen an Zwischenfrüchte und Gründecken, die als ökologische Vorrangflächen ausgewiesen sind. Zum Schutz des Bodens durch Erhalt der organischen Substanz verbietet der GLÖZ-Standard „Erhaltung des Anteils der organischen Substanz im Boden“ das Abbrennen von Stoppelfeldern.

In der Förderperiode ab 2023 werden die Direktzahlungen an die Beachtung erhöhter Basisanforderungen geknüpft, die sog. Konditionalität. Neu hinzu kommen sog. Öko-Regelungen. Damit können Landwirte im Rahmen der Direktzahlungen zusätzlich Leistungen für Umwelt- und Klimaschutz oder die Biodiversität erbringen, die finanziell ausgeglichen werden.

Die GLÖZ-Standards in der Förderperiode ab 2023 werden im GAP-Konditionalitäten-Gesetz bzw. in der GAP-Konditionalitäten-Verordnung geregelt. Die GAP-Konditionalitäten-Verordnung wird ebenso wie wesentliche Teile des GAP-Konditionalitäten-Gesetzes erst nach Genehmigung des nationalen

Strategieplans durch die Europäische Kommission in Kraft treten. Die folgenden Ausführungen zu den GLÖZ-Standards stehen unter diesem Vorbehalt. Im Hinblick auf ackerbaulich genutzte Böden werden einige GLÖZ-Standards (verändert) fortgeführt, neue treten hinzu. Der GLÖZ-Standard „Verbot des Abbrennens von Stoppelfeldern“ verbietet unverändert das Abbrennen von Stoppelfeldern zum Erhalt der organischen Substanz. Auch der GLÖZ-Standard „Bodenbearbeitung zur Begrenzung der Erosion“ beruht weitestgehend auf dem zuvor geltenden GLÖZ-Standard. Die Länder müssen bei der Ausweisung der wassererosionsgefährdeten landwirtschaftlichen Flächen jedoch verpflichtend einen weiteren Faktor, die Regenerosivität, berücksichtigen. Die Mindestanforderungen an die Bewirtschaftung auf den ausgewiesenen Flächen ändern sich nur geringfügig.

Der GLÖZ-Standard „Mindestanforderungen an die Bodenbedeckung in den sensibelsten Zeiten“ geht über die bisherige Regelung zur Bodenbedeckung deutlich hinaus: Er gilt für alle Ackerflächen und fordert für einen bestimmten Zeitraum im Winterhalbjahr zum Schutz des Bodens die Sicherstellung einer Mindestbodenbedeckung. Zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und -gesundheit gibt der GLÖZ-Standard „Fruchtwechsel auf Ackerland“ einen jährlichen Wechsel der angebauten Hauptkultur auf allen landwirtschaftlichen Parzellen des Ackerlandes im Vergleich zum Vorjahr vor. Ausnahmen hiervon sind unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Ein neuer GLÖZ-Standard zum „Mindestschutz von Feuchtgebieten und Mooren“ schränkt unter anderem Eingriffe in das Bodenprofil ein. Die Länder weisen nach

einheitlichen Kriterien die Gebietskulisse für diesen Standard aus.

Die vorliegende Aktualisierung der Broschüre wurde auf Initiative des BMEL von einer Expertengruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Thünen Institutes und der Länder erarbeitet. Sie gibt die in der Zwischenzeit erarbeiteten neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse wieder und bereitet diese allgemeinverständlich für die landwirtschaftliche Praxis, Beratung und Fachbehörden auf, um den Transfer in die landwirtschaftliche Praxis zu begünstigen.

Zu dem wichtigen Komplex der Befahrbarkeit der Böden mit modernen Maschinen und den daraus resultierenden Druckbelastungen werden Handlungsempfehlungen und Reaktionsoptionen ausgesprochen. Die Bereiche Wind- und Wassererosion werden in einem ausführlichen Kapitel behandelt. Ein Kapitel befasst sich mit dem Thema der organischen Substanz im Boden. Dabei werden Beispiele zur Humusbewirtschaftung des Bodens analysiert und Handlungsempfehlungen zur Sicherung des Bodenumusgehaltes aufgezeigt.

Insgesamt soll die Broschüre den aktuellen Stand des Wissens bodenschonender und nachhaltiger Bodenbewirtschaftung darstellen und damit zur Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft beitragen – sie befasst sich nicht mit dem Vollzug von Handlungsempfehlungen und beinhaltet auch kein Ordnungsrecht. Sie soll dem Leser Orientierung geben und versteht sich als Beitrag zum vorsorgenden Bodenschutz.



Abb. 1.1: Raupenfahrgestänge eines Zuckerrübenroders zur Verringerung des Bodendrucks (Foto: P. Meyer/BLE)

Literatur

BMU (1998): BUNDES-BODEN-SCHUTZGESETZ (BBodSchG) vom 23.03.1998 BGBl I, Nr. 16, S. 502 - 510, zuletzt geändert am 25.2.2021

ANONYMUS (2021): FÜNFTER BODENSCHUTZBERICHT DER BUNDESREGIERUNG

ANONYMUS (2014): Agrarzahlungen-Verpflichtungengesetz vom 2. Dezember 2014 (BGBl. I S. 1928), das durch Artikel 284 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

ANONYMUS (2014): Agrarzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 17. Dezember 2014 (BAnz AT 23.12.2014 V1), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 17. September 2021 (BGBl. I S. 4302) geändert worden ist“

ANONYMUS (2021): GAP-Konditionalitäten-Gesetz vom 16. Juli 2021 (BGBl. I S. 2996)

ANONYMUS: GAP-Konditionalitäten-Verordnung (Endfassung noch nicht veröffentlicht)

KOHL, H. (1985) In BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen; UNSER BODEN, 75 Jahre Agrarforschung der BASF Aktiengesellschaft. Verlag Wissenschaft und Politik, Köln, ISBN 3-8046-8653-2

SCHROEDER, D. (1983): Bodenkunde in Stichworten. 4, revidierte und erweiterte Auflage. Verlag Ferdinand Hirt, CH-Unterägeri, ISBN 3-266-00192-3



Bild: Th. Vorderbrügge

2 Vorsorge zur Erhaltung des standorttypischen Humusgehaltes

Autorinnen und Autoren:

Thomas Vorderbrügge, Michaela Busch, Robert Brandhuber,
Jan Bug, Stefan Schrader, Thomas Weyer

Einleitung

Die Erhaltung der organischen Substanz (Humus) ist ein Grundsatz der Guten fachlichen Praxis (GfP) gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG). Neben der großen Bedeutung für Bodeneigenschaften und -funktionen gewinnt Humus im Boden zunehmend an Bedeutung im Rahmen der Diskussion zum Klimawandel und zu den Folgen des Anbaus von Energiepflanzen. Verluste an Humus durch Erosion, vermehrter Anbau humuszehrender Kulturen, verstärkte

Abfuhr von Ernteresten, z. B. zur energetischen Nutzung, Nutzungswandel (Grünland zu Acker), Eingriffe in den Grundwasserhaushalt oder die Melioration von Mooren (s. Abb. 2.1) können zu einer dauerhaften Beeinträchtigung der Bodenfunktionen sowie der biologischen Vielfalt im Boden führen. Um die Bodenfunktionen und die biologische Vielfalt zu sichern, müssen deshalb Verluste an Humus im Boden vermieden werden.

Humus – Definition, Funktionen und Wirkung

Der Begriff „Humus“ bezieht sich auf die Gesamtheit aller im und auf dem Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Substanzen und deren Umwandlungsprodukte sowie durch anthropogene Tätigkeit eingebrachten z. T. synthetischen organischen Stoff (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2010; AD-HOC-AG BODEN, 2005). Humus ist also gleichbedeutend mit der unbelebten organischen Substanz. Humus umfasst auch Stoffgruppen, die keine Gewebestrukturen mehr aufweisen (LIEBEROTH, 1982). Lebende Pflanzenwurzeln, Bodenorganismen (Edaphon) und Kohle gehören gemäß Definition nicht zum Humus (AD-HOC-AG BODEN, 2005). Bei der Verwendung des Begriffes „Humus“ stehen Funktionalität und Wirkung der organischen Stoffe

im Vordergrund. Da bei der Humusbestimmung der Anteil der lebenden organischen Substanz methodisch nicht ohne weiteres von der toten organischen Substanz abgetrennt werden kann, werden die Begriffe „Humus“ und „organische Substanz“ häufig synonym gebraucht.

Die organische Substanz im weiteren Sinn besteht zu ca. 85 % aus Humus. Davon entfallen ca. 60 bis 90 % auf den sogenannten Dauerhumus, der vergleichsweise langsam um- und abgebaut wird. Er ist das Umsetzungsprodukt der Tätigkeit von Bodentieren und Mikroorganismen. Weitere 10 bis 40 % sind Nährhumus. Dies sind schnell abbaubare Bestandteile, wie Wurzeln abgeernteter Kulturen, eingearbeitete Ernterückstände, Gründüngung und wirtschaftseigener Dünger. Lebende Pflanzenwurzeln sowie Bodentiere und Bodenmikroorganismen haben einen Anteil von ca. 15 % an der organischen Substanz (LfL, 2011). Insgesamt handelt es sich hierbei um Werte, die in Abhängigkeit vom Boden, vom Standort und von der Bewirtschaftung einer starken Streuung unterliegen. Der Humus spielt eine wichtige Rolle für eine Vielzahl der Bodenfunktionen (HANGE & FÜHR, 1992; HÜTTL ET AL., 2007; SAUERBECK, 1984, 1992, 2001; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2010; WESSOLEK ET AL., 2008; WHALEN & SAMPEDRO, 2010).

Große Bedeutung hat er als:

- » Nährstoff- und Energiequelle für Mikroorganismen, Bodentiere und Pflanzen,
- » Lebensraum für Mikroorganismen und Bodentiere,
- » Grundlage der Filter- und Pufferfunktion, insb. für den Grundwasserschutz,
- » Faktor des Ertragspotenzials eines Bodens.

Er ist beteiligt an einer Vielzahl von physikochemischen und physikalischen Austausch- und Speicherprozessen im Boden wie:

- » Gasaustausch,
- » Wasserrückhaltevermögen (vor allem bei sandigen und tonigen Substraten),



Abb. 2.1: Reste von Niedermoor über Feinsedimenten aus Schluff und Ton über Sand und Kies nach Entwässerung und Torfabbau seit Ende des 18. Jahrhunderts (Donaumoos) (Foto: R. Brandhuber, LfL)

- » Wärmespeicherung, Minderung starker Temperaturschwankungen im Oberboden,
- » Stabilisierung des Bodengefüges,
- » Erhöhung der Aggregatstabilität durch die Bildung von Ton-Humuskomplexen aufgrund biologischer Aktivität,
- » Reduzierung der Gefahr einer Verschlammung,
- » Minderung von Oberflächenabfluss und Bodenerosion,
- » je nach den sonstigen Standortbedingungen Nährstoffbindung, -freisetzung oder -verlust, sofern die Nutzpflanzen die Nährstoffe nicht aufnehmen,
- » Schadstoffbindung sowie Ein-, Um- und Abbau von Schadstoffen,
- » Pufferung der Bodenversauerung,
- » kurzfristige Senke und Quelle für Spurengase und Kohlenstoff aus der Atmosphäre,
- » Rückhalt von Pflanzenschutzmitteln gegenüber dem Eintrag ins Grundwasser,
- » Minderung der Krankheitsanfälligkeit der Kulturpflanzen (anti-phytopatogenes Potenzial),
- » ... [diese Aufzählung ist nicht abschließend].

Aufgrund seiner herausragenden Bedeutung für die ökologischen Bodenfunktionen ist die Erhaltung des Humus aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes von besonderer Bedeutung.

Humusgehalte in Böden

Der Humusgehalt beschreibt den Anteil der toten organischen Substanz eines Bodens in Prozent. Er wird zumeist differenziert für verschiedene Bodentiefen ausgewiesen. Die Höhe des Humusgehaltes wird vor allem bestimmt durch Klima (Niederschlag, Temperaturverlauf, klimatische Wasserbilanz), Lage im Relief (Kuppe oder Senke, Höhe über NN, Exposition), Historie der Bewirtschaftung, biologische Aktivität, Vegetation, Wasserhaushalt, Bodenart, Substrat der Bodenbildung und Nutzung.

Bei der Abschätzung (standort-)typischer Gehalte ist zunächst vor allem zu beachten, ob es sich um mineralische Böden (z. B. Pararendzinen oder Parabraunerden aus Löss, Kolluvien), organogene Böden (z. B. Niedermoore), stark grundnässe- oder stauwasser-geprägte Böden oder aber um Böden in einer Aue handelt. Selbst bei gleichen Bodentypen können sich die Humusgehalte (bspw. von Schwarzerden unterschiedlicher Bodenlandschaften) deutlich unterscheiden.

Profile aus Löss



Abb. 2.2: Schwarzerde aus Löss humos bis in den Unterboden (60 cm), kolluvial überprägt;

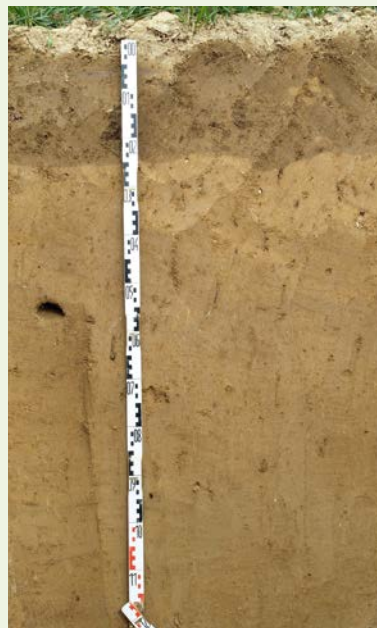


Abb. 2.3: Pararendzina aus Löss (Verlust des Oberbodens und damit des Humus durch Erosion);



Abb. 2.4: tiefgründiges Kolluvium, humusreich bis in den tiefen Unterboden (> 130 cm), am Hangfuß.

(Fotos: Th. Vorderbrügge)

Insbesondere in der landwirtschaftlichen Fachliteratur finden sich allerdings häufig nur Angaben zu den Humusgehalten der Oberböden, der bearbeiteten Krume.

Aus Sicht des Bodenschutzes ist aber unbedingt zu beachten, dass die Formulierung in § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG 1998, § 17 (2) Nr. 7) ausdrücklich den Humusgehalt des Bodens und nicht nur des Oberbodens anführt. Im Sinne des Gesetzes ist somit auch der Humusgehalt des Unterbodens (Kolluvien, Auenböden, tiefgründig humos (s. Abb. 2.2-2.4) und damit eigentlich der Humusvorrat zu erhalten. Dies gilt z. B. bei der Frage der Melioration von organogenen Substraten (Trockenlegung von Niedermooren etc. (SRU, 2012)). Aus Sicht des Vorsorgenden Bodenschutzes und der Beratung, wäre es aber grundsätzlich hilfreich, wenn einige Formulierungen § 17 (2) Nr. 7 präzisiert würden. Erste Vorschläge hierzu liegen vor (VORDERBRÜGGE, 2022).

Die Bedeutung des Humus für Bodenfunktionen ist für verschiedene Bodentiefen unterschiedlich. So fördert ein hoher Humusgehalt in der oberen Krume (Grenzschicht Boden – Atmosphäre) die Aggregatstabilität, das Infiltrationsvermögen und damit den Schutz vor Wassererosion. Der Erhalt von Humusvorräten in tieferen Bodenhorizonten dient dagegen vorrangig dem Klimaschutz.

Die Bestimmung des Humusgehaltes einer Bodenprobe erfolgt im Labor durch Messung des Gesamtkohlenstoffs und des in Karbonaten gebundenen Kohlenstoffs. Die Differenz ergibt den organisch gebundenen Kohlenstoff (C_{org}), das Ergebnis wird in der Regel in Prozent angegeben. Durch Multiplikation mit dem Faktor 1,72 (bzw. 2 bei Torfen und Auflagehumus, nach KA 5 der Ad-hoc-AG Boden (2005)) kann anschließend der Humusgehalt errechnet werden.

Bei der Interpretation von Ergebnissen ist darauf zu achten, ob der Gehalt an organischem Kohlenstoff ($\% C_{org}$) oder der daraus errechnete Humusgehalt angegeben ist. Aus dem Gehalt an Humus oder C_{org} kann mit Hilfe der Trockenrohddichte des Bodens (ggf. unter Berücksichtigung des Steinanteils) der Vorrat an Humus bzw. C_{org} berechnet werden, also die absolute Masse in einem definierten Bodenvolumen, z. B. 9 kg Humus pro m^2 bis zu einer bestimmten Tiefe.

Unterstellt man bspw. für eine 30 cm mächtige Krume eine Rohddichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ Boden und einen Humusgehalt von 2 %, dann beläuft sich der Humusvorrat im Oberboden auf 90 t/ha bzw. 9 kg/m^2 . Ein tiefgründiges Kolluvium mit 2 % Humus in einer 30 cm mächtigen Ackerkrume sowie 1 % Humus bis in 1 m Tiefe und einer durchschnittlichen Rohddichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ Boden speichert ca. 200 t Humus je ha (20 kg/m^2). In Abhängigkeit von Humusgehalt und Rohddichte ergeben sich somit rein rechnerisch Werte zwischen 50 und 250 t Humus/ha ackerbaulich genutzter Fläche.

Die Unterscheidung zwischen Gehalt und Vorrat ist insbesondere beim Vergleich der Wirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme zu beachten, kommt es doch beim Wechsel von wendender zu nichtwendender

Bodenbearbeitung häufig zu Konzentrationsänderungen innerhalb der vormaligen Krume, ohne dass dies auch zu Vorratsänderungen bzw. einer Humuszunahme führen muss (APPEL, 2011; RÖBLER & NOWAK, 2011). Eine korrekte Interpretation der Wirkung von unterschiedlichen Systemen der Bodenbearbeitung auf die Humusgehalte und -vorräte im Oberboden setzt deshalb eine gleichzeitige Ermittlung der Rohddichte voraus (JACOBS & KOCH, 2012).

Die potenziell hohen Vorräte von 50 bis 200 t/ha Humus bedeuten aber auch, dass für Bilanzierungen sowie die Prognose von Zu- oder Abnahme des Humus infolge eines Bewirtschaftungswandels sowohl der Humusvorrat als auch die Rohddichte und ggf. der Steingehalt sehr genau bestimmt werden müssen. Führen doch geringe Abweichungen von 0,1 % in der Bestimmung beim Humus bzw. 0,1 g in der Bestimmung der Rohddichte für eine Ungenauigkeit von mehreren t/ha. Angesichts der Heterogenität vieler Standorte reicht bei einer üblichen Flächenbeprobung eine analytische und mathematische Genauigkeit nicht aus, um z. B. eine Änderungstendenz zu erfassen. Hier könnte man wie folgt verfahren: ein repräsentatives Teilstück von maximal 5 x 5 m einmessen sowie beproben und auf diesem später die Beprobung auch immer wiederholen.

In den letzten Jahren wurde in Deutschland eine Vielzahl von Auswertungen zur Ermittlung der Humusgehalte in den Oberböden ackerbaulich genutzter Standorte durchgeführt. Diese Auswertungen erfolgten bundesweit, länderübergreifend oder aber für einzelne Bundesländer. Im Rahmen ihrer bundesweiten Auswertung von ca. 22.000 Daten fanden z. B. DÜWEL ET AL., 2007, dass die Humusgehalte in Abhängigkeit von Klima, Nutzung und Boden für ackerbaulich genutzte Standorte i. d. R. zwischen 1 und 4 % liegen.

Eine länderübergreifende Auswertung von mehr als 40.000 Proben der Südzucker AG in den süddeutschen Zuckerrübenanbaugebieten ergab mittlere Gehalte (Median) von 2,04 %, wobei die Gehalte in Abhängigkeit von Bundesland, Höhenlage und Bewirtschaftung (viehhaltend, viehlos) deutlich differieren können. Gemäß den Auswertungen ergab sich die Bodenart als ein bedeutender Einflussfaktor auf die Humusgehalte der Mineralböden. So waren die Humusgehalte im Mittel auf schweren Böden (Tone und Lehme) mit 2,42 % deutlich höher als auf leichten Böden (Sande) mit 1,83 %. Die Höhenlage hatte im Bereich bis 400 m nur einen sehr geringen Einfluss auf die Bodenhumusgehalte (Mittelwerte zwischen 2,08 und 2,11 %), im Höhenlagenbereich 400 bis 500 m war jedoch im Mittel ein signifikanter Anstieg der Bodenhumusgehalte auf 2,28 % und auf 2,39 % im Höhenlagenbereich oberhalb von 500 m festzustellen (EBERTSEDER ET AL., 2010).

Mit den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) (JACOBS ET AL. 2018, POEPLAU ET AL. 2020) steht eine aktuelle bundesweite Auswertung zu Humusgehalten- und Humusvorräten der landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland zur Verfügung. Im Prinzip bestätigt sie die bisherigen Auswertungen. Die Frage, ob sich die Humusgehalte im Lauf der Jahre, vor allem klimatisch bedingt, in Deutschland ändern, soll mit der erneuten Beprobung der

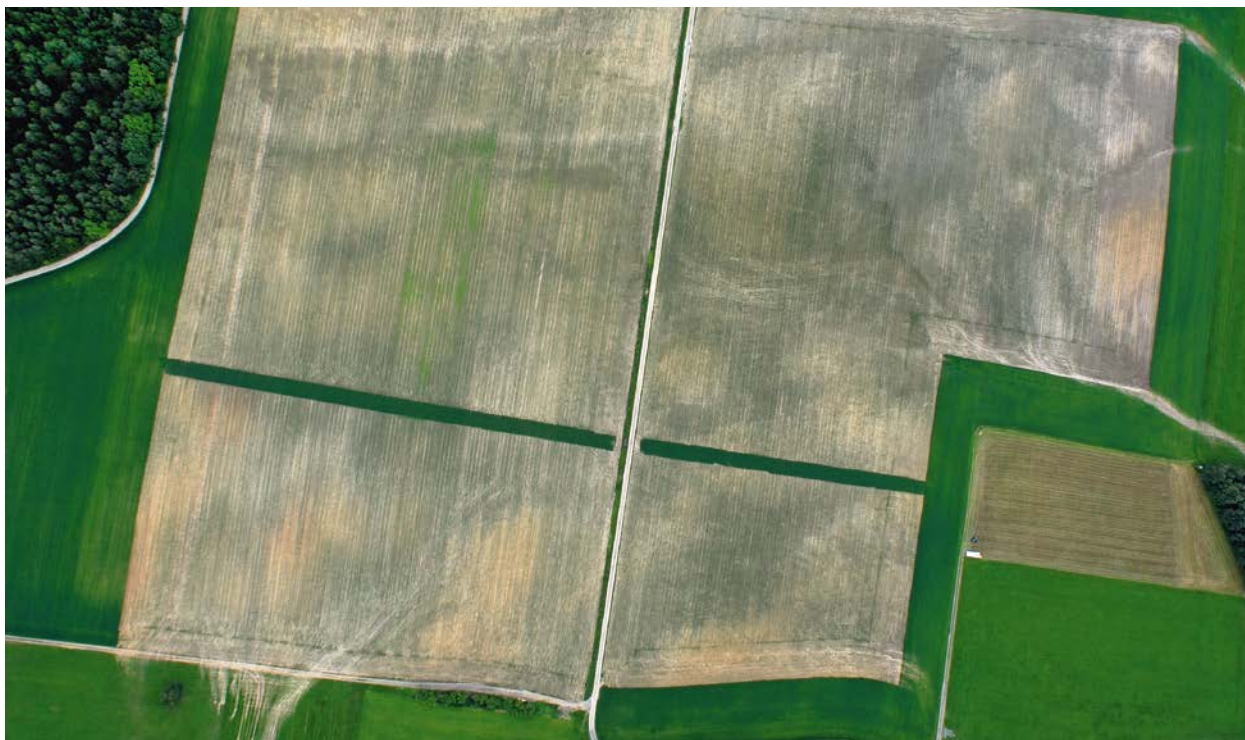


Abb. 2.5: Unterschiedliche Humusgehalte innerhalb eines Schlages (Foto: W. Bauer, Agroluftbild)

BZE-Flächen in den Jahren 2023-2027 festgestellt werden (POEPLAU ET AL., 2022).

Auch für einzelne Bundesländer wie Baden-Württemberg (NEUFELDT, 2005), Bayern (CAPRIEL & SEIFFERT, 2009; CAPRIEL, 2010), Hessen (HEYN, 2011), Niedersachsen (FORTMANN ET AL., 2012; HÖPER & SCHÄFER, 2012), Nordrhein-Westfalen (PREGER ET AL., 2006; KÖNIG, 2009), Rheinland-Pfalz (SAUER & WIESNER, 2021) oder Sachsen-Anhalt (GRABE ET AL., 2003) liegen umfangreiche Auswertungen vor.

Alle Auswertungen sind gekennzeichnet durch eine breite Streuung der Gehalte (zwischen 1 und 4%) in Abhängigkeit von Klima, Bewirtschaftung und Boden. Weiterhin liegen die Gehalte im Schnitt bei ca. 2%, i. d. R. haben dabei die sandigen Oberböden etwas geringere Gehalte als die lehmigen bzw. tonigen Oberböden.

Insgesamt zeigt sich, dass die Gehalte an Humus in den Oberböden unter landwirtschaftlicher Ackerbaunutzung i. d. R. zwischen 1,5 und 3% liegen, abhängig von den jeweiligen standort- und nutzungsbedingten Faktoren. Ein standorttypischer Humusgehalt lässt sich somit nur bedingt bzw. mit großem Aufwand ableiten. Dabei ist zu beachten, dass sich die Gehalte bereits innerhalb eines Schlages mit unterschiedlichen Böden (Pararendzina, Kolluvium) durchaus in einer Größenordnung von 1 bis 5% unterscheiden können (WERNER & BACHINGER, 2009). Damit könnte die gesamte Spannweite der durchschnittlichen bundesweiten Humusgehalte bereits auf einem Schlag ermittelt werden.

Bei Grünlandnutzung liegen die Humusgehalte deutlich höher, organogene Substrate (Moore) haben Gehalte von mehr als 30%.

„Standorttypischer“ Humusgehalt

Die im vorigen Kapitel angeführten Auswertungen zeigen, dass sich ein eindeutiger und allgemeingültiger Zusammenhang zwischen standortkundlichen Parametern und Humusgehalt aus den publizierten Daten nicht zwingend nachweisen lässt. Tendenzen (Einfluss Substrat (Geologie und Bodenart), Klima, Nutzung, Bewirtschaftung, Düngung, Historie etc.) lassen sich für einzelne Datenkollektive durchaus

ableiten. Diese gelten aber zunächst nur für die einzelnen Datenkollektive. So wird von einigen Untersuchungen ein (positiver, linearer) Zusammenhang zwischen Tongehalt (bzw. Feinanteil, d. h. die Summe aus Ton und Feinschluff, HOYER ET AL., 2007; KÖRSCHENS & SCHULZ, 1999) und Humus aufgezeigt, es gibt aber auch die gegenteilige Aussage – ein Zusammenhang sei nicht erkennbar. Offensichtlich



Abb. 2.6: Anschwemmung der leichteren Humusbestandteile in Fahrspuren und im Vorgewende nach Starkregen (Foto: R. Brandhuber, LfL)

überlagern Einflüsse der Bewirtschaftung und von Standorteigenschaften, die bei den Monitoringprogrammen nicht miterfasst werden, das Herausarbeiten eindeutiger Zusammenhänge.

Umso wichtiger ist der Erhalt der Dauerfeldversuche (BAR-KUSKY & JOSCHKO, 2020), die kontinuierliche Auswertung der Ergebnisse der langjährigen Bodendauerbeobachtungsprogramme (HÖPER, 2021) sowie eine länderübergreifende Auswertung einzelner Datenkollektive (MARX & GAUL, 2021).

Bundes- oder landesweit bzw. für einen Einzelschlag gültige standorttypische Humusgehalte gibt es eigentlich nicht, bzw. wären nur mit hohem analytischen Aufwand zu ermitteln.

Gewisse Tendenzen eines Zusammenhanges zwischen Substrat, Bodenart, Nutzung, Höhenlage, Wasserhaushalt und Humusgehalt sind zwar zu erkennen, aber im Prinzip ist z. Zt. nur ein „bewirtschaftungsdifferenzierter“ Humusgehalt vorstellbar. Dieser könnte von der landwirtschaftlichen Fachberatung, z. B. im Rahmen der „Besonderen Ernteermittlung“ (BEE), festgestellt und um Strategien zur Erhaltung ergänzt werden. Eine weitere Grundlage für eine orientierende Bewertung der Humusgehalte könnte der von WESSOLEK ET AL. (2008) vorgeschlagene Ansatz zur Schätzung der Humusgehalte in Abhängigkeit von Substrat, Boden und Klima sein.

Grundsätzlich bleibt aber immer das Problem der Streuung der Humusgehalte innerhalb eines Schlages, denn diese ist absolut häufig größer als lokale, regionale oder überregionale Durchschnittswerte (APPEL ET AL., 2008; KÖRSCHENS & SPITZL, 1978; HIEROLD ET AL., 2012; HÜLSBERGEN & DIEPENBROCK, 2000).

Fazit: Es ist derzeit schwierig, einheitliche bundesweite, also für den Wirkungsbereich des BBodSchG gültige, standortspezifische Humusgehalte von Ober- und Unterböden zu benennen. Ein erster Vorschlag für die Oberbodengehalte liegt vor (DREXLER ET AL., 2020). Der Vorschlag wurde aber bisher, soweit bekannt, in den Gremien des Bodenschutzes (BOVA und LABO)¹ noch nicht diskutiert. Wenn regional ausreichend Daten zu Verfügung stehen, können ggf. relativ breite Spannen von standortspezifischen Humusgehalten im Oberboden, etwa in Abhängigkeit von der Bodenart, angegeben werden, wie dies für Bayern erfolgte.

¹ LABO: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz;
BOVA: Ständiger Ausschuss „Vorsorgender Bodenschutz“

Ursachen für den Verlust an organischer Substanz

Die Ursachen für den Verlust an Humus sind vielfältig. Die Verluste sind durchaus zum einen lokal begrenzt, z. B. die Verlagerung von humosem Bodenmaterial innerhalb eines Schlages durch Bodenbearbeitung und/ oder Erosion. So finden sich i. d. R. bereits auf nur schwach hängigen Ackerschlägen sowohl Bereiche mit hohen als auch mit geringen Humusgehalten. Besonders im Frühjahr zum Zeitpunkt der Abtrocknung sieht man häufig stark unterschiedlich gefärbte Bereiche auf einem Schlag: einerseits die hellen Bereiche an den Hangschultern, in Lösslandschaften befinden sich dort die sogenannten Pararendzinen, andererseits die dunkleren Bereiche am Unterhang oder im Bereich von Tiefenlinien (Kolluvien), in denen das humose Material der Krume abgelagert wurde (s. Abb. 2.5).

Tatsächliche Humus- bzw. Bodenverluste vom Ackerschlag erfolgen durch Wind- oder Wassererosion. Insbesondere die Winderosion kann vor allem auf sandigen Böden zu hohen Humusverlusten führen, sind doch gerade die Humusteilchen so leicht, dass sie mit dem Wind über große Strecken verlagert werden können. Zudem trennt der Wind Humus und mineralische Bodenteilchen. Dadurch bleiben häufig die reinen Sandpartikel zurück. Dies führt zu einer Verringerung des Wasserspeichervermögens der sandigen Oberböden.

Bodenabtrag durch Wassererosion ist eine weitere Ursache für unwiederbringliche Humusverluste. Bei Eingriffen in den Wasserhaushalt eines Standortes wie Drainage oder Grundwasserabsenkung, bei Meliorationsmaßnahmen wie Tiefumbruch, Tiefenlockerung oder Meliorationskalkung, kommt

Tab. 2.1: Ursachen für Humusverluste von ackerbaulich genutzten Standorten und Maßnahmen zur Minderung der Verluste

Ursache	Indikator	Maßnahmen
Erosion	Verlagerung durch Winderosion	Anlage von Hecken siehe Kapitel 4.1 S. 79 ff.
	Verlagerung durch Wassererosion	Präventiv: Bodenbedeckung/Rauhigkeit erhöhen; Bodenbearbeitung reduzieren siehe Kapitel 4.2 S. 92 ff.
	Verlagerung bei Überflutung (Auenböden)	Bodenbedeckung sicherstellen; Verzicht auf Grünlandumbruch
Entwässerung	Luftzufuhr in ehemals durchnässte Bodentiefen; dadurch erhöhte biologische Aktivität und entsprechender Abbau organischer Substanz	Verzicht auf Neuanlage von Drainagen; in Projektgebieten Wiedervernässung ggf. Anbau von Paludikulturen*; Verzicht auf Grünlandumbruch; Umwandlung von Acker in Grünland
Grünlandumbruch	Nutzungswandel	Zwischenfruchtanbau; Wiedereinsaat von Grünland; Klee gras; Stroh auf dem Feld belassen u. v. m.
Bewirtschaftungsänderung (z. B. viehhaltend zu viehlos)	Verringerung der Zufuhr an organischer Substanz	Fruchtfolge mit ausreichend Zufuhr organischer Substanz; Zwischenfruchtanbau; Klee gras; Reduzierung der Bodenbearbeitung
	Fruchtfolge mit hohem Anteil an Hackfrüchten (Marktfrüchte)	Anpassen der Fruchtfolge; Stroh auf dem Feld belassen; Zwischenfrüchte anbauen
Anbau von Energiepflanzen	Abfuhr allen Aufwuchses inklusive Ernteresten (z. B. auch Stroh zur energetischen Verwertung)	Zufuhr „neuer“ Reststoffe/Kompost/Gärrückstände
	Neue Fruchtfolge (40% Mais); Bilanzdefizit	

* Paludikultur („palus“ – lat. „Sumpf, Morast“) ist die nasse Bewirtschaftung von Mooren. Sie schließt traditionelle Verfahren der Moorbewirtschaftung (Rohrmahd, Streunutzung) ein, beinhaltet aber auch neue Verfahren wie die energetische Verwertung von Moor-Biomasse. Dabei ist der Torferhalt oberstes Ziel. In vielen Fällen kommt es sogar zu Torfneubildung, wie z. B. bei Schilfnutzung, bei der die oberirdische Biomasse abgeschöpft wird und die für die Torfbildung gebrauchte unterirdische Biomasse neuen Torf akkumuliert.

es i. d. R. zu einer Intensivierung der Durchlüftung im Unterboden. Diese ist häufig mit einer Steigerung der biologischen Aktivität und damit einer Intensivierung der Umsetzung der organischen Substanz verbunden. Letzteres führt dann zu Humus- und (!) Nährstoffverlusten insbesondere durch den Abbau des Humusvorrates im Unterboden (GENSIOR ET AL., 2012).

Nährstoffverlusten kann man vor allem durch den Anbau tiefwurzelnder Kulturen, die die Nährstoffe aus dem Unterboden aufnehmen, entgegenwirken, der Humusabbau lässt sich damit aber nicht aufhalten.

Ein Landnutzungswandel, z. B. infolge einer Einstellung der Milchviehhaltung und der damit einhergehenden Umstellung auf Ackerbau, führte und führt zu einer Umnutzung von bisherigen Dauergrünlandflächen. Häufig sind für die künftige Nutzung von reinen Grünlandflächen als Ackerflächen vorab ein Eingriff in den Wasserhaushalt (Grundwasserabsenkung, Drainage) und eine Melioration (Kalkung) notwendig. Zudem entfällt zunehmend die organische Düngung mit Wirtschaftsdünger, da die Viehhaltung aufgegeben wurde. Ein Nutzungswandel ist deshalb i. d. R. mit deutlichen Humusverlusten verbunden. Auch der regelmäßige Wechsel zwischen mehrjährigem Grünland und Acker führt durch den vorausgegangenen Grünlandumbruch zu Humusverlusten.

Der Anbau von Kulturen zur Energiegewinnung, z. B. Mais auf vormaligen Grünlandflächen oder die Abfuhr von Stroh zur Energiegewinnung, kann ebenfalls mit Humusverlusten verbunden sein (KBU, 2006). Der Bedarf an Biomasse für sehr große Biogasanlagen führt zu einem Antransport von Biomasse aus einem weiten Umkreis. Eine gleichmäßige Rückfuhr der Gärreste in die Liefergebiete ist wegen der hohen Transportkosten nicht immer gewährleistet. Die komplette Abfuhr des Aufwuchses ohne adäquate Rückfuhr organischer Dünger führt deshalb langfristig zu niedrigeren Humusgehalten, insbesondere dann, wenn die Standorte nur der Produktion von Biomasse zur Energiegewinnung dienen (KBU, 2006).

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass jede Änderung der Bewirtschaftung in Richtung „weniger Verbleib organischer Substanz im und auf dem Boden“ langfristig zu einem gewissen Absinken des vorher vorhandenen Humusgehaltes führen wird. Dieser Prozess könnte schon bei Aufgabe der Tierhaltung, also mit Wechsel vom Futterbau in eine Marktfrucht-Fruchtfolge, in Gang kommen. Im Rahmen des Strukturwandels sind solche Veränderungen gegeben. Allerdings kann allein daraus kein Konflikt mit der Guten fachlichen Praxis konstruiert werden.

Als Orientierung hat der Gesetzgeber deshalb den Begriff des „standorttypischen Humusgehaltes“ eingeführt, der erhalten



Abb. 2.7: Ausbringung von Gärresten mit Schleppschläuchen (Foto: TI Braunschweig)

werden sollte. Die Probleme bei der Festlegung derartiger Humusgehalte bzw. Gehaltsklassen wurden bereits angesprochen. Es sollte deshalb weiter das Ziel verfolgt werden, auf regionaler Ebene Spannen von Humusgehalten benennen zu können, deren Einhaltung die Erhaltung der Bodenfunktionen sicherstellt.

Eine erste Hilfestellung bei der Beurteilung, ob ein Anbauverfahren dem Humuserhalt dient oder nicht, können Humusbilanzen sein, wie sie z. B. vom VDLUFA für Deutschland angeboten werden. Auch die sensorische Beurteilung des

Bodengefüges, wie in Kapitel „Bodenverdichtungen erkennen und beurteilen“ auf Seite 36 beschrieben, kann wertvolle Hinweise auf eine unzureichende Humusversorgung geben.

Die quantitativ gravierendsten Verluste an Humus sind in Deutschland nicht den veränderten Bewirtschaftungsformen auf dem Acker zuzuschreiben, sondern der in der Vergangenheit forcierten Entwässerung organischer Böden (GENSIOR ET AL., 2012). In Tabelle 2.1 auf S. 17 sind wesentliche Ursachen für Humusverluste zusammengestellt und Gegenmaßnahmen angeführt.

Maßnahmen für die Humuserhaltung

Der Gesetzgeber hat durch die Formulierung der Grundsätze der GfP im BBodSchG § 17 (2) Nr. 7 zwei Maßnahmen besonders betont. Einerseits soll durch „eine ausreichende Zufuhr“ an organischer Substanz, andererseits durch die „Reduzierung der Bearbeitungsintensität“ die Humuserhaltung gewährleistet werden. Damit hat der Gesetzgeber die Wege aufgezeigt, die es einem Bewirtschafteter mit betriebsinternen Maßnahmen der Fruchtfolgegestaltung und Düngung bzw. der Bodenbearbeitung relativ einfach und mit relativ geringem Aufwand ermöglichen, seiner Vorsorgepflicht nachzukommen.

Im Folgenden werden Möglichkeiten des Ackerbaus zur Gewährleistung einer „ausreichenden Zufuhr organischer Substanz bzw. Reststoffe“ bzw. der „Reduzierung der Bearbeitungsintensität“ auf den Humusgehalt angeführt.

Erhaltung des Humusgehaltes durch ausreichende Zufuhr an organischer Substanz

Viele ackerbauliche Faktoren haben Einfluss auf den Humusgehalt am jeweiligen Standort:

- » Die Qualität des Eintrags an organischer Substanz (leicht und schnell umsetzbar oder sehr ligninreich und damit sehr langsam umsetzbar),
- » das Landnutzungssystem aus Fruchtfolge (z. B. Anteil an NaWaRo), Düngung und Bodenbearbeitung und schließlich auch
- » das Landbausystem (reiner Ackerbau oder Betriebe mit unterschiedlich intensiver Viehhaltung, ökologisch oder konventionell).



Abb. 2.8: Zwischenlagerung von Kompost für die spätere Ausbringung auf dem Feld (Foto: P. Meyer/BLE)

Klima, Relief und Boden sind – mit Ausnahme des pH-Wertes, welcher durch Kalkung im Zuge der Fruchtfolge reguliert werden kann – die natürlichen und unveränderbaren Gegebenheiten eines Standortes.

Die Qualität der zugeführten organischen Substanz, die Intensität der Bodennutzung sowie das Landbausystem liegen allerdings in der Hand des Anbauers. Unbestritten ist der günstige Einfluss des zellulose- und hemizellulosehaltigen Stroh und die Zufuhr hochwertiger Komposte für die Humusbildung (VDLUFA-Standpunkt, 2004) sowie eine Düngung, welche die Zufuhr hochwertiger organischer Dünger mineralisch ergänzt.

So ergaben z. B. Untersuchungen von KASTEN (2002), dass in viehrefreien Regionen des Rheinlandes (Kreis Kleve) die Humusgehalte von Ackerflächen zu ca. 40% in der Größenordnung von 2,1 bis 2,5% lagen, während in einer vieharmen Kernregion der Köln-Aachener Bucht (Erftkreis und Kreis Neuss) ca. 20% der untersuchten Standorte im Oberboden weniger als 1,7% Humus aufwiesen. Dies belegt den besonderen Einfluss der Düngung, da in den viehrefreien Regionen überwiegend Wirtschaftsdünger eingesetzt und in der vieharmen Region überwiegend mineralisch gedüngt wird. Auch die Untersuchungen von ALBERT (2011) zeigten, dass in einem 1966 angelegten Versuch durch den Verzicht auf organische Düngung die Humusgehalte im Laufe der Jahre nahezu halbiert wurden und sich erst nach ca. 30 Jahren ein neues Gleichgewicht zwischen Humusab- und -aufbau eingestellt hat.

Im Ackerbau kann man den Humusgehalt prinzipiell durch Feldfutterpflanzen oder durch periodische Grasnutzung fördern, weil diese beiden Bewirtschaftungsformen – von der vermehrten Zufuhr an Pflanzenrückständen abgesehen

– mit zeitweiliger Bodenruhe verbunden sind (SAUERBECK, 1992). Für Betriebe, die weder für Feldfutterpflanzen noch für Grünland Verwendung haben, wären entsprechende Fruchtfolgeglieder bzw. Zwischenfrüchte durch die Beratung zu empfehlen.

Hilfe für eine ungefähre Abschätzung der Wirkung einzelner Kulturen auf den Humushaushalt könnten in einer ersten Annäherung die von der VDLUFA publizierten Daten sein (VDLUFA, 2004). Die Methoden der Humusbilanzierung befinden sich z. Zt. aber noch in einer intensiven fachlichen Diskussion.

Erhaltung des Humusgehaltes durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität

Konservierende/nicht wendende Bodenbearbeitung kann zur Steigerung der Humusgehalte in der oberen Krume beitragen, da sie i. d. R. das Bodenleben schont und einen Humusabbau mindert. Unterliegen Böden dagegen einer sehr intensiven Durchmischung bzw. Bodenbearbeitung und bleiben die organischen Reststoffe wie Stroh nur selten auf der Fläche und ist der Anteil humuszehrender Feldfrüchte, wie z. B. Zuckerrüben, Mais und Gemüse hoch, so ist mit einseitigem Humusabbau und negativen Folgen für den Humushaushalt zu rechnen (s. a. PREGER ET AL., 2007).

Eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität muss aber nicht zwingend zu einer Erhaltung bzw. zu einer Erhöhung des Humusgehaltes führen, liegen doch zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Humusgehalt durchaus widersprüchliche Aussagen von „kein Einfluss“ bis „sehr wohl



Abb. 2.9: Intensive Durchwurzelung des Bodens durch Zwischenfruchtanbau (Foto: R. Brandhuber, LfL)



Abb. 2.10: Gleichmäßige Verteilung des Stroh auf der Oberfläche während des Drusches durch den Mähdröschler (Foto: Voßhenrich, TI Braunschweig)

Einfluss“ vor. Dies zeigen Literaturlauswertungen von HÖPER & SCHÄFER (2012) oder ULRICH (2008) HADDAWAY ET AL. (2017), KRAUSS ET AL. (2022), XIAO ET AL. (2021) sowie die Ergebnisse von APPEL (2011) oder HOFMANN ET AL. (2009).

Untersuchungen und Auswertungen im Rahmen der BZE-LW weisen auf eine Verschiebung innerhalb dieser Böden hin (Plus im Oberboden, Minus im Unterboden).

Die Wirkung einer reduzierten Bodenbearbeitung auf den Humusgehalt ist i. d. R. nur durch langjährige und umfangreiche Untersuchungen nachzuweisen. Insbesondere im Rahmen der aktuellen Diskussion zur C-Sequestrierung ist deshalb nicht per se von einer Humuszunahme auszugehen. Der größte Beitrag dürfte ein indirekter sein, da ein Humusverlust durch Erosion auf reduziert bearbeiteten Standorten geringer sein dürfte als auf gepflügten.

Abschließende Betrachtung

Auf Basis der international (FREIBAUER ET AL., 2004; GOBIN ET AL., 2011) und national vorliegenden Daten und Erhebungen können z. Zt. weder der „Status Quo der Humusversorgung“, „optimale Humusgehalte“, „standorttypische Humusgehalte“ noch „Potenziale der Kohlenstoff-Sequestrierung in Böden“ (NIEDER ET AL., 2007) verlässlich abgeleitet werden.

Auch finden sich in einer Vielzahl von Publikationen Hinweise, dass der Nachweis einer Zu- oder Abnahme des Humusgehaltes im Boden oder der Beleg für die Einstellung eines neuen Humusgleichgewichts nur in langjährigen Untersuchungsreihen mit hohem analytischen Aufwand zu leisten ist (AUTORENKOLLEKTIV, 2012).

Ungeachtet dessen gibt es einige grundlegende landwirtschaftliche Maßnahmen, die Humusgehalt und die Humusqualität fördern (CAPRIEL, 2010):

- » Standortgerechte vielfältige Fruchtfolge mit einem ausgewogenen Verhältnis zwischen humuszehrenden (z. B. Zuckerrübe, Kartoffel, Mais, Raps, Sonnenblume, Getreide mit Strohabfuhr) und humusmehrenden (z. B.

Kleegras, Luzerne, Körnerleguminosen, Zwischenfrüchte) Fruchtarten.

- » Ausreichende Versorgung des Bodens mit organischer Substanz. Die Zufuhr von organischer Substanz erfolgt durch die bei der Ernte auf dem Feld verbleibenden Ernterückstände (Wurzeln, Stoppeln, Stroh, Sprossmasse), den gezielten Anbau von Zwischenfrüchten zur Gründüngung und durch Wirtschaftsdünger (Stallmist, Gülle, Kompost).
- » Gleichmäßige Verteilung und Einarbeitung von Pflanzenresten und organischen Düngern.
- » Standort- und bedarfsgerechte Bodenbearbeitung. Eine hohe Bearbeitungsintensität verstärkt den Humusabbau.
- » Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen. Eine gute Bodenstruktur ist die Voraussetzung für die Sauerstoff- und Wasserversorgung und damit für eine optimale mikrobielle Aktivität.
- » Beachtung der Grundsätze der Guten fachlichen Praxis bei Düngungsmaßnahmen.
- » Standortgerechte Kalkversorgung. Die Bodenbakterien schränken ihre Aktivität mit zunehmender Versauerung ein. Die Kalkung hebt den pH-Wert an und fördert damit die mikrobielle Aktivität.

Es zeigt sich, dass es für die Praxis eine Vielzahl von Möglichkeiten gibt, zur Erhaltung des Humusgehaltes seiner Böden beizutragen: Maßnahmen, die nach Stand des Wissens positive Wirkungen auf den Humushaushalt haben. Dazu gehört grundsätzlich, soweit wie möglich, organische Reststoffe (z. B. Stroh nach der Getreideernte) auf dem Ackerstandort zu lassen. Ausschlaggebend ist zudem die gleichmäßige Verteilung der Reststoffe (s. Abb. 2.10) und eine gezielte Aufbereitung – intensiv aufbereiten im Sinne einer beschleunigten Verrottung bei Herbstbestellung. Und wenn eine Sommerung folgt, Stoppel/Stroh lange auf der Ackeroberfläche belassen im Sinne eines verzögerten Abbaus.

In der Reihenfolge Bodenbearbeitung „mit Pflug“ – „konservierend tief/flach“ – „Direktsaat“ wird der Boden durch zunehmende Bedeckung der Oberfläche deutlich stabilisiert gegenüber äußeren mechanischen Einflüssen, wie z. B. durch erosive Niederschläge. Daher sollte die Bearbeitung des Bodens so extensiv sein, wie der jeweilige Standort es zulässt. Diese Vorgehensweise setzt aber einen ganzheitlichen Ansatz voraus, in dem etwa das Befahren des Ackerstandorts mit bodenschonender Bereifung unerlässlich ist. Darauf aufbauen können schließlich alle weiterführenden Maßnahmen der Fruchtfolgegestaltung, der Bestellung, des Pflanzenschutzes, der Düngung und der Ernte.

Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5. Auflage; Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.

ALBERT, E. (2011): Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertrag, Humusgehalt, N-Bilanz, Nmin-Vorrat und N-Einwaschung in Unterflurlysimeter. VDLFUA – Kongressband 67, 340–352.

APPEL, T., BERG, V., LAUFER, O. & BAI, M. (2008): Bewirkt die konservierende Bodenbearbeitung eine Sequestrierung von Kohlenstoff im Boden? In: VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 64/2008, Kongressband Jena, S. 519–528.
<http://www.vdlufa.de>.

APPEL, T. (2011): Weniger Kohlenstoff im Boden nach langjährig pflugloser Bodenbearbeitung. Berichte der DBG <http://eprints.dbges.de/596>

AUTORENKOLLEKTIV (2012): Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archiv of Agronomy and Soil Science*, 1–24.

BARKUSKY, D. & M. JOSCHKO, (2020): Dauerfeldversuche sind unverzichtbar – „C-Sequestrierung - was kann die Landwirtschaft leisten?“ LOP

– Landwirtschaft ohne Pflug; 06/2020, S. 14–22.

BMU (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG); Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

CAPRIEL, P. & SEIFFERT, D. (2009): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern. Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 10, 2009. <http://www.LfL.bayern.de>

CAPRIEL, P. (2010): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 05/2010, 46 S. <http://www.lfl.bayern.de>

DREXLER, S., BROLL, G., DON, A. & H. FLESSA, (2020): Standorttypische Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden Deutschlands. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 75, 200 S.

DÜWEL, O., SIEBNER, C., UTERMANN, J. & KRONE, F. (2007): Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands – Bericht über

länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo BGR. 61 S. <http://www.bgr.bund.de>

EBERTSEDER, TH., MUNZER, M., HORN, D. & MAIER, H. (2010): Ableitung von Einflussfaktoren auf die Humusgehalte von Böden durch flächenbezogene Auswertung von Bodenuntersuchungsdaten. Bericht zur Teilaufgabe 6 für den VDLUFA-F&E-Bericht „Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen“, 28 S. <http://www.humusnetzwerk.de>

FORTMANN, H., RADEMACHER, P., GROH, H. & HÖPER, H. (2012): Stoffgehalte und -vorräte im Boden und deren Veränderungen. In: *GeoBerichte* 23, Hrsg. LBEG Niedersachsen, S. 48–69. http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=31402&article_id=108163&psmand=4

FREIBAUER, A., ROUNSEVELL, M. D. A., SMITH, P. & VERHAGEN, J. (2004): Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122, 1–23.

GENSIOR, A., ROTH, G., & WELL, R. (2012): Landwirtschaftliche Bodennutzung – Eine Bestandsaufnahme aus Sicht der Klimaberichterstattung. *Bodenschutz* 3/12, 81–89.

- GOBIN, A., CAMPLING, P., JANSSEN, L., DESMET, N., VAN DELDEN, H., HURKENS, J., LAVELLE, P & BERMAN, S. (2011): Soil organic matter management across the EU – best practices, constraints and trade-offs, Final Report for the European Commission's DG Environment, September 2011, 180 S.
http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/som/full_report.pdf
- GRABE, M., KLEBER, M., HARTMAN, K.-J. & JAHN, R. (2003): Preparing a soil carbon inventory of Saxony-Anhalt, Central Germany using GIS and the state soil data base SABO_P. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166, S. 642–648.
- HADDAWAY, N.R., HEDLUND, K., JACKSON, L.E., KÄTTERER, TH., LUGATO, E., THOMSEN, I. K., JØRGENSEN, H. B. & P.-E. ISBERG, (2017): How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. Environ Evid 6, 30, 48 S.
<https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>
- HANGE, J. & FÜHR, F. (1992): Rolle der organischen Substanz bei der Festlegung und Entgiftung von Xenobiotika. In: Berichte über Landwirtschaft, 206. Sonderheft, Band 4 der Reihe Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Humushaushalt, S. 82–96.
- HEYN, J. (2011): Humus, Humusgehalte, Humusbilanzierung.
http://www.llh-infonet.de/index.php?option=com_content&view=article&id=652&Itemid=543
- HIEROLD, W., ELLERBROCK, R. H. & STANG, S. (2012): Muster der organischen Bodensubstanz (OBS) auf Ackerflächen – zur Regionalisierung von Menge und Qualität. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 66–67.
- HÖPER, W. & SCHÄFER, W. (2012): Die Bedeutung der organischen Substanz von Mineralböden für den Klimaschutz. Bodenschutz, 3, 12, 72–80.
- HÖPER, H., (2021): Veränderungen der Gehalte und Vorräte an organischer Substanz im Boden der landwirtschaftlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen. In: HÖPER, H. & H. MEESENBURG, (HRSG.): 30 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen, Band 39 der Reihe GeoBerichte, S. 55–64
- HOFMANN, B., BISCHOFF, J., RÜCKNAGEL, J. & CHRISTEN, O. (2009): Einfluss langjähriger Bodenbearbeitung auf C_{org}-Gehalte bei Löß-Schwarzerde und pseudovergleyter Parabraunerde. In: Böden – eine endliche Ressource, September 2009, Bonn.
<http://eprints.dbges.de/334>
- HOYER, U., LEMNITZER, B. & HÜLSBERGEN, K.-J. (2007): Einfluss des ökologischen Landbaus auf unterschiedliche Humuspools im Boden und Schlussfolgerungen zur Humusbilanzierung. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.
<http://orgprints.org/9603>
- HÜLSBERGEN, K. J. & DIEPENBROCK, W. (2000): Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau – Untersuchungen auf einem mitteldeutschen Trockenlößstandort. UZU-Schriftenreihe, Sonderband, Halle/Saale, S. 101–107.
- HÜTTL, F., PRECHTEL, A. & BENS, O. (2007): Humusversorgung von Böden in Deutschland. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 360 13 008. Erschienen in der Reihe „Publikationen des Umweltbundesamtes“, 203 S.
- JACOBS, A. & KOCH, H. (2012): Speicherung von organischem Kohlenstoff unter Mulch- und Direktsaat. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 196–197.
- JACOBS, A., FLESSA, H., DON, A., HEIDKAMP, A., PRIETZ, R., DECHOW, R., GENSIOR, A., POEPLAU, C., RIGGERS, C., SCHNEIDER, F., TIEMEYER, B., VOS, C., WITTNEBEL, M., MÜLLER, T., SÄURICH, A., FAHRION-NITSCHKE, A., GEBBERT, S., JACONI, A., KOLATA, H., LAGGNER, A., ET AL, (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 p, Thünen Rep 64, DOI:10.3220/REP1542818391000
- KASTEN, P. (2002): Spezifischer Bedarf an Humusdüngern bei hackfruchtintensivem Ackerbau nach guter, fachlicher Praxis. In: FRICKE, BURTH und WALLMANN (Eds.): Biomasse und Abfallwirtschaft, Schriftenreihe des ANS. Berlin, 249–262.
- KBU – KOMMISSION BODENSCHUTZ BEIM UBA (2006): Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe – „Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim UBA“. Hrsg.: Umweltbundesamt, 84 S.
<http://www.umweltdaten.de>
- KÖNIG, W. (2009): Humus- und Nährstoffversorgung mitteleuropäischer Böden. In LANUV-Fachbericht 18, Biomasse aus Abfällen, S. 13–18.
<http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe18/fabe18.pdf>
- KÖRSCHENS, M. & SPITZL, M. (1978): Methodische Untersuchungen zur Bestimmung des Ct- und Nt-Gehaltes im Boden. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., Berlin, 22, (11) S. 705–711.
- KÖRSCHENS, M. & SCHULZ, E. (1999): Die organische Bodensubstanz. Dynamik – Reproduktion – ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. UFZ-Bericht Nr. 13/1999, 46 S. + Anhang.
- KRAUSS, M., WIESMEIER, M., DON, A., CUPERUS, F., GATTINGER, A., GRUBER, S., HAAGSMA, WK., PEIGNE, J., CHIODELLI PALAZZOLI, M., SCHULZ, F., VAN DER HEIJDEN, M. G. K., VINCENT-CABOUD, L., WITTEW, R. A., ZIKELI, S. & M. STEFFENS, (2022): Reduced tillage in organic farming affects soil organic carbon stocks in temperate Europe. Soil Tillage Res 216:105262,
<https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105262>
- LIEBEROTH, I. (1982): Bodenkunde. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 3. Auflage 1982. 432 S.

- LFL – BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2011): Humus – Leben aus dem Boden. Info-Broschüre, 10 S.
- MARX, M. & V. GAUL, (2021): Gehaltsspannen von organischem Kohlenstoff in Ackerböden – Ergebnisse aus Deutschland. *Bodenschutz*, 04.21, S. 120–127.
- NEUFELDT, H. (2005): Carbon stocks and sequestration potentials of agricultural soils in the federal State of Baden-Württemberg, SW Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, S. 202–211.
- NIEDER, R., HARTZSCH, M. & DAUCK, H.-P. (2007): Dynamik der organischen Bodensubstanz in Ackerböden: langfristige Entwicklungen in Niedersachsen. *Mitteilungen der DBG*, Band 110, Heft 1, S. 377–378.
- POEPLAU, C., JACOBS, A., DON, A., VOS, C., SCHNEIDER, F., WITTNEBEL, M., TIEMEYER, B., HEIDKAMP, A., PRIETZ, R. & H. FLESSA, (2020): Stocks of organic carbon in German agricultural soils – Key results of the first comprehensive inventory. *Journal of plant nutrition and soil science*, 183(6), 665–681. [Status, BZE Landwirtschaft]
- POEPLAU, C., DON, A. & H. FLESSA, (2022): Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. Braunschweig: Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, 2 S., Project Brief Thünen Inst 2022/02. <https://doi.org/10.3220/PB1641478727000>
- PREGER A., WELP, G., MARQUARDT, U., KOLECZEK, B. & AMELUNG, W. (2006): Humusgehalte in nordrhein-westfälischen Ackerböden: aktueller Status und zeitliche Entwicklung. *Bonner Bodenkundliche Abhandlungen*, Band 45, S. 98.
- RÖBLER, I. & NOWACK, A. (2011): Carbon Wechselwirkung Bodenschutz – Pflanzenschutz – Düngung. *Schriftenreihe, LfULG Sachsen*, Heft 38/2011, 175 S.
- SAUER, T. & TH. WIESNER, (2021): Berechnung der Bodenkohlenstoffvorräte auf Basis der Bodenflächendaten 1:50.000 (BFD50). Hrsg.: Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB), Themenhefte Vorsorgender Bodenschutz, Heft 4: 42 S.
- SAUERBECK, D. (1984): Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemischer Sicht. Stuttgart: Kohlhammer. *Materialien zur Umweltforschung*, 10, Hrsg.: Sachverständigenrat für Umweltfragen, 257 S.
- SAUERBECK, D. (1992): Funktionen und Bedeutung der organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit – ein Überblick. In: *Berichte über Landwirtschaft*, 206. Sonderheft, Band 4 der Reihe Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Humushaushalt, S. 13–29.
- SAUERBECK, D. (2001): CO₂ emissions and C sequestration by agriculture – perspectives and limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60, 253–266.
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. Neu bearbeitet von BLUME, H.-P., BRÜMMER, G. W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. und WILKE, B.-M.; 16. Auflage; Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg. 569 S.
- SRU –SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2012): Moorböden als Kohlenstoffspeicher, Kapitel 7 in: *Umweltgutachten 2012 „Verantwortung in einer begrenzten Welt“*. 718 S. <http://www.umweltrat.de>
- ULRICH, S. (2008): Zum Indikatorwert ausgewählter physikalischer Parameter und Kenngrößen des Kohlenstoffhaushaltes unter Berücksichtigung von Daten aus langjährigen Bodenbearbeitungs- und Düngungsversuchen. *Schriftenreihe der Pflanzenbauwissenschaften des Institutes für Agrar- und Ernährungswissenschaften*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Bd. 3, 141 S. + XXXII S. Anhang.
- VDLUF (2014): Standpunkt – Humusbilanzierung Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland, 20 S. <http://www.vdlufa.de>
- VORDERBRÜGGE, TH., (2022): Denkanstöße für die Evaluierung des Bundes-Bodenschutzgesetzes Konkretisierung von Begriffen des § 17 Absatz 2 zur guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft. In: *Bodenschutz* 1/22
- WERNER, A. & BACHINGER, J. (2009): Humuswirtschaft mit Precision Farming. In: *Humus in Böden – Garant der Fruchtbarkeit*, Substrat für Mikroorganismen, Speicher von Kohlenstoff. *Rundgespräche der Kommission für Ökologie*, Band 35, S. 105–116.
- WESSOLEK, G., KAUPENJOHANN, M., DOMINIK, P., ILG, K., SCHMITT, A., ZEITZ, J., GAHRE, F., SCHULZ, E., ELLERBROCK, R., UTERMANN, J., DÜWEL, O. & SIEBNER, C. (2008): Ermittlung von Optimalgehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden nach § 17 (2) Nr. 7 BBodSchG Boden- Grundwasser. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 202 71 264. Erschienen in der Reihe „Publikationen des Umweltbundesamtes“ 162 S. + XXXVII S. Anhang.
- WHALEN, J. K. & SAMPEDRO, L. (2010): *Soil Ecology and Management*. CAB International, Wallingford, 296 S.
- XIAO, L., KUHN, N. J. ZHAO, R. & L. CAO, (2021): Net effects of conservation agriculture principles on sustainable land use: a synthesis. <https://doi.org/10.1111/gcb.15906>
- Global Change Biology* (2021), Vol.27, Iss.24, pp. 6321–6330. doi: 10.1111/GCB.15906 <https://onlinelibrary.wiley.com/toc/13652486/2021/27/24>



Foto: Arbeitskreis Landwirtschaft, Wasser, Boden im Rhein-Sieg-Kreis (ALWB)

3 Vorsorge gegen Bodenverdichtungen

Autoren: Joachim Brunotte, Robert Brandhuber,
Thomas Vorderbrügge, Stefan Schrader

Einführung

Der Boden dient der Kulturpflanze als Widerlager zur Verankerung durch die Wurzeln sowie als Nährstoff- und Wasserspeicher. Er steuert den Gasaustausch mit der Atmosphäre und ist Lebensraum für die Bodenorganismen, die u. a. Vegetationsreste abbauen und deren Inhaltsstoffe den neuen Kulturen wieder verfügbar machen. Er puffert extreme Klimaschwankungen, bindet potenziell pflanzenschädliche Stoffe wie Metalle oder Organika und mindert den schädigenden Einfluss von Stoffeinträgen aus der Atmosphäre.

Die Vielzahl der im Boden i. d. R. gleichzeitig ablaufenden Prozesse ist an den Raum gebunden, den das Bodengefüge zur Verfügung stellt. Im Verlauf der Bodenentwicklung hat sich durch die bodenbildenden Prozesse bei den meisten Böden ein Bodengefüge herausgebildet, das den Pflanzen ausreichende Durchwurzelbarkeit sowie Standsicherheit bei gleichzeitiger ausreichender Versorgung mit Wasser und Nährstoffen gewährleistet. Solche Böden sind i. d. R. gekennzeichnet durch ein Speichervermögen von 100 bis 200 Liter Wasser pro m² sowie einen hohen Anteil an Luft führenden Poren von 10 bis 15 Vol.-%. Diese Luft und Wasser führenden Poren sind gleichmäßig im Profil verteilt, für die Wurzeln gut zu erreichen und gekennzeichnet durch eine hohe Stabilität und Durchgängigkeit, manche bis tief in den Unterboden. Den Rest des Bodens bilden organische Substanz

(Definition organische Substanz/Humus im Kapitel 2, S. 12), mineralische Festsubstanz und das daran nicht pflanzenverfügbar gebundene Wasser, das sogenannte „Totwasser“.

Durch Einlagerung von feinen Bodenteilchen, bspw. Ton, in die Hohlräume können die Luft und Wasser führenden Poren enger werden. Dadurch kann der Gas- und Wasserhaushalt im Laufe der Zeit so stark beeinträchtigt werden, dass das Wasser im Boden nur noch extrem langsam versickert oder sich sogar aufstaut. Dies ist typisch für die sogenannten Stauwasserböden, die Pseudogleye.

Die Bodenkunde bezeichnet diesen Prozess des Verlustes an Hohlräumen durch Um- und Einlagerung von Bodenteilchen und deren Verfestigung durch physikochemische Prozesse als **Einlagerungsverdichtung**. Weiterhin sind Böden aber i. d. R. in tieferen Bereichen (80 bis 120 cm), im Vergleich zu der Tiefe von 40 bis 80 cm, häufig kompakter und haben weniger Luft und Wasser führende Poren. Dies ist vor allem durch das Eigengewicht des Bodens bestimmt. Die Bodenkunde nennt diesen Vorgang **Sackungsverdichtung**.

Im Zuge der Bodenbewirtschaftung werden Böden ganz bewusst gelockert und verdichtet. So ist die Rückverfestigung überlockter Böden eine notwendige Maßnahme zur Saat,



Bodenoberfläche

- » Mulchauflage
- » offene Bioporen

Oberkrume

- » viele tiefreichende Bioporen
- » gut aggregiert, locker

Unterkrume

- » Aggregate +/- scharfkantig
- » etwas kompakt daher tragfähig
- » ausreichende biog. Perforierung
- » unauffällige Wurzelverteilung

Krumennaher Unterboden

- » etwas kompakt tragfähig
- » ausreichende biog. Perforierung
- » unauffällige Wurzelverteilung

Unterboden

- » unverdichtet, viele Bioporen

Abb. 3.1: Anzustrebendes Bodengefüge (HARRACH, 2011; Foto: Th. Vorderbrügge)

um den Feldaufgang zu sichern. Werden Böden nicht gepflegt, lagern sie grundsätzlich dichter, d. h. die Bodenaggregate lagern komprimierter zusammen, schon aus Gründen der Schwerkraft.

Die Dichte eines gepflegten, stark gelockerten Bodens nimmt auch innerhalb des Jahresablaufes deutlich zu: Je länger die Lockerungsmaßnahme verstrichen ist, umso fester, bzw. dichter lagert dieser Boden. Bodenverdichtung ist zunächst nur eine Erhöhung der Masse pro Volumeneinheit (g/cm^3). Sie ist unkritisch, solange das Porenvolumen nur so stark komprimiert wird, wie der Boden seine Funktionen unbeschadet erfüllen kann. Erst wenn der Boden über seine Belastbarkeit hinaus weiterverdichtet wird, entstehen Bodenschäden im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG; BMU, 1998), die Bodenfunktionen sind dann beeinträchtigt.

Ziel des Bodenschutzes ist die Erhaltung der Bodenfunktionen, d. h. die Bewirtschaftung eines Bodens ist aus Gründen der Vorsorge so zu gestalten, dass die Bodenfunktionen nicht negativ beeinträchtigt werden. Diese Forderung gilt immer, zunächst unabhängig von der Verdichtungsempfindlichkeit der Standorte.

Die Vorsorgemaßnahmen lassen sich grundsätzlich in drei Strategien gliedern, die sowohl boden- wie auch geräteseitig ansetzen:

1. Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen berücksichtigen vor allem die Bodenbearbeitungsintensität und die Fruchtfolge.
2. Bei der Gestaltung der Arbeitsverfahren geht es vor allem um Kampagneauslastung und Fahrwerksauswahl von Erntemaschinen.
3. Zu den technischen Möglichkeiten zählen maßgeblich Fahrzeugparameter wie Rad-/Band-Fahrwerke, Reifennendruckverstellung und Sensorik zur Online-Erfassung kritischer Bodenzustände.

Bodenfunktionen sind beeinträchtigt, wenn ein Boden infolge der Bewirtschaftung so dicht gelagert ist, dass Kulturpflanzen hinter ihrer ansonsten möglichen Entwicklung zurückbleiben, der Gas- und Wasseraustausch deutlich eingeschränkt ist oder Niederschlag nicht mehr als Bodenwasser infiltriert, sondern auf dem Boden abfließt und Bodenmaterial umgelagert wird

Weiterhin kann zunehmende Bodenverdichtung zur Beeinträchtigung der Lebensraumfunktion führen, wodurch die biologische Vielfalt im Boden derart verändert wird, dass es zu einer Einschränkung ökosystemarer Dienstleistungen kommt oder diese gar völlig ausfallen (BEYLICH ET AL., 2010; SCHRADER, 2001). Im Gesetzestext zur Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft, § 17 BBodSchG (BMU, 1998) findet sich solch eine erklärende Ausführung nicht. Dort findet sich nur die Formulierung „**Bodenverdichtungen**“, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen

Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendruckes sollen so weit wie möglich vermieden werden“.

Eine Verdichtung ist jedoch ein Prozess, der zu einem erhöhten Dichtezustand führt. Weiterhin ist eine Verdichtung im Boden immer vorhanden, sie ist praktisch unvermeidbar u. a. aufgrund der Schwerkraft, aber nicht zwingend schädlich für die Bodenfunktionen. Gemeint hat der Gesetzgeber also die Intensität einer Verdichtung, die die Bodenfunktionen spürbar und mit gewisser Dauerhaftigkeit beeinträchtigt und deren Auswirkungen andere Schutzgüter (Wasser, Naturschutzgebiete, biologische Vielfalt etc.) gefährden (VORDERBRÜGGE, 2004).

Den Grad einer Verdichtung, ab dem Bodenfunktionen beeinträchtigt sind, hat der Gesetzgeber nicht definiert (BECKER & TIEDEMANN, 2012). Aus Sicht der Vorsorge ist es also Ziel der Guten fachlichen Praxis, ein Bodengefüge zu schaffen oder zu erhalten, das die Bodenfunktionen sichert und Gefährdungen anderer Umweltgüter ausschließt (Abb. 3.1). So ist etwa bei der Bodenbearbeitung die Lockerungsintensität so vorzunehmen, dass die Tragfähigkeit des Bodens erhalten bzw. verbessert wird. Letzteres gelingt in der Regel nur durch eine zusätzliche biologische Stabilisierung mit Pfahlwurzeln. Weiter hat Vorsorge die aktuelle Verdichtungsempfindlichkeit zu berücksichtigen: Fahrzeugparameter sind an kritische Bodenzustände anzupassen, auch wenn die Flächenleistung dabei sinkt.

Formen der Verdichtung und ihre Ursachen

Oberflächenverdichtung – entsteht vor allem in schluffreichen Substraten mit labilem Bodengefüge, wenn das Gefüge durch Regentropfen bei Starkregen zerschlagen wird (Verschlammung = Verdichtung der obersten 0 bis 3 mm, s. Abb. 3.1a), Befahren oder durch übermäßige mechanische Zerkleinerung bei der Bodenbearbeitung. Dies alles führt zum Zerfall von Aggregaten und durch nachfolgende Austrocknung zur Verkrustung. Die Krusten sind häufig nur wenige mm bis wenige cm stark, unterbrechen aber den Gasaustausch, behindern die Infiltration der Niederschläge und fördern den Oberflächenabfluss. Das Zerschlagen der Aggregate und die anschließende Umlagerung mit dem Niederschlagswasser führen häufig zu einer Trennung der Schluff- und Tonteilchen. Die dünnen Schichten werden meistens als Kruste eingearbeitet und bilden dann in der Krume Trennschichten und Engpässe für den Gas- und Wasseraustausch. Die Trennung von Schluff- und Tonteilchen bleibt dauerhaft erhalten, sofern nicht durch intensive biologische Aktivität und Lebewerbauegung eine Aggregatneubildung erfolgt.

Krumenverdichtung – erstreckt sich auf die gesamte Krume bzw. auf größere Partien derselben. Ursache ist z. B. Bodenbearbeitung oder Befahrung im zu nassen Zustand oder Verpressung des Krumenmaterials in Reifenstollen bei ungenügender Wiederauflockerung. Eine Krumenverdichtung mindert vor allem die Nährstoffaufnahme und führt zu



Abb. 3.1a: Oberflächenverschlammung ist eine Verdichtung der obersten 0-3 mm mit einer stark herabgesetzten Infiltrationsleistung. (Foto: J. Brunotte)

Wasserstau an der Bodenoberfläche, häufig selbst bei Sanden. Insbesondere die Verpressung des nassen Bodenmaterials durch die Stollen kann zu extrem dichten Bodenaggregaten führen (Aggregatverdichtung). Dichte Aggregate werden nur an der Oberfläche umwurzelt, eine Durchwurzelung des Aggregatinneren findet nicht statt.

Dadurch sind im Inneren der Aggregate gebundene Nährstoffe nicht verfügbar und der Gasaustausch wird behindert (reduktive Bedingungen). Diese Aggregate werden durch natürliche Prozesse (Frost, Trockenheit) nicht gänzlich aufgelockert und auch eine mechanische Bodenbearbeitung führt nur zu einer mechanischen Zerkleinerung, aber nicht zu einer Lockerung, damit auch das Aggregatinnere wieder durchwurzelt werden kann.

Verlassene Horizonte – diese Form einer Verdichtung findet sich häufig an Standorten, auf denen im Laufe der Bewirtschaftung die Pflugtiefe langfristig reduziert wurde, statt vormals 35 cm etwa nur noch 28 cm. Weiterhin kann auch der Wechsel von der wendenden zur nichtwendenden Bodenbearbeitung zu einer „verlassenen Krume“ führen, wenn die Bearbeitungstiefe abrupt von 30 auf 15 cm vermindert wird. Diese Zonen, z. B. im Übergangsbereich Krume/ Unterboden, sind kompakt gelagert und beeinträchtigen die Durchwurzelung sowie den Stoffaustausch. Eine mechanische Lockerung dieser Horizonte führt häufig zu einer weiteren Verdichtung statt zur erhofften Gefügeverbesserung. Am erfolgversprechendsten ist eine Bodenbearbeitung mit jährlich wechselnder Tiefe und einer steten langsamen Rücknahme der Bearbeitungstiefe. Dies ermöglicht am ehesten eine biogene Durchporung (Regenwürmer, Pfahlwurzeln), die im Laufe der Zeit die Durchwurzelung der „verlassenen

Bearbeitungshorizonte“ fördert und gleichzeitig für eine Stabilisierung der Bodenstruktur sorgt.

Krumenbasisverdichtung (auch Pflugsohlenverdichtung genannt) – an der Basis der Krume ausgebildet. Position, Ausprägung und zeitliche Veränderung sind deutlich zu erkennen, z. B. in der Statuserhebung, in Südniedersachsen (siehe Abb. 3.11 auf S. 41). Sie entsteht durch Druck- und Schmierwirkung (Schlupf; Einregelung von Bodenteilchen) vom Pflug und den Rädern, insbesondere wenn sie immer in einer bestimmten Tiefe laufen. Sie kann den Gas- und Wasseraustausch sowie die Durchwurzelung beeinträchtigen. Vor allem Hackfrüchte reagieren sehr sensibel (Beinigkeit bei Zuckerrüben) auf eine Krumenbasisverdichtung. Eine gewisse Ausprägung ist allerdings tolerierbar, da sich hohe Lasten dort gewissermaßen abstützen und eine eventuelle Schädigung des Unterbodens gemindert wird – vorausgesetzt die Durchlässigkeit dieses Horizontes für Wasser, Luft, Wurzeln und Regenwürmer ist gewährleistet.

Unterbodenverdichtungen – sind Verdichtungen direkt unterhalb der Krume (krumennaher Unterboden) und im tieferen Unterboden. Hier ist zunächst festzustellen, ob kompakte Bereiche, die die Durchwurzelung behindern und den Stoffaustausch beeinträchtigen, nicht durch die Bodenentwicklung, z. B. Staunässe bei Pseudogleyen, verursacht wurden – pedogene Verdichtung. Häufig sind diese Verdichtungen aber, gerade im krumennahen Unterboden, eine Folge der Bewirtschaftung – anthropogene Verdichtung. Die Ursache einer Unterbodenverdichtung (anthropogen oder pedogen) lässt sich anhand der Abfolge der Schichten (von oben nach unten) klären: Liegt die dichtere Schicht im Unterboden unterhalb einer lockeren Schicht, dann handelt es

sich bei natürlichen Böden eindeutig um eine pedogene Verdichtung, da der Prozess einer anthropogenen Verdichtung keine lockeren Bereiche „überspringen“ kann. Dies gilt aber nicht für geschüttete Böden im Rahmen einer Rekultivierung. Ursache für anthropogene Verdichtungen im Unterboden (häufig in 30/40 cm Tiefe, im Einzelfall bis zu 50 cm Tiefe) sind mechanische Belastungen durch den Lasteintrag der unterschiedlichsten Maschinen, vor allem bei Ernte- und Transportarbeiten.

Definition einer Verdichtung

Im vorherigen Kapitel wurde aufgezeigt, dass die unterschiedlichsten Formen einer Verdichtung auftreten können, dass es „die Verdichtung“ nicht gibt und nicht jede Verdichtung auch gleich Bodenfunktionen beeinträchtigt. Häufig wird der Begriff „Schadverdichtung“ verwendet, wenn zum Ausdruck gebracht werden soll, dass eine Verdichtung offensichtlich den Ertrag mindert oder die Bewirtschaftung erschwert, was an Wachstumsstörungen der Kulturpflanze oder Pfützenbildung auf der Bodenoberfläche sichtbar wird. Der Begriff „Schadverdichtung“ wird in Praxis und Beratung häufig gebraucht, um damit eine evtl. Schädigung von Bodenfunktionen anzudeuten. Das BBodSchG selbst und auch die BBodSchV (BMU, 1999) verwenden diesen Begriff allerdings nicht.

Im BBodSchG (§ 2, Abs. 3) wird im Rahmen der Gefahrenabwehr der Begriff der „Schädlichen Bodenveränderung – (SBV)“ geführt. Dabei handelt es sich um „Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen: Der Gesetzgeber hat allerdings nicht von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, in der BBodSchV Kriterien für die Feststellung einer SBV durch Bodenverdichtung zu benennen. Ob also eine Bodenverdichtung tatsächlich eine SBV im Sinne des Gesetzes ist, wäre nach den allgemein gültigen Vorgaben des BBodSchG §§ 2 und 4 zu prüfen.

Zunächst wäre festzustellen, ob ein nicht pflichtgemäßes Verhalten gemäß § 4 Abs. 1 (BBodSchG) vorliegt, welches eine nachteilige Veränderung einer der in § 2 Abs. 2 aufgeführten Bodenfunktionen verursachen kann. Darüber hinaus müsste die zu erwartende Beeinträchtigung geeignet sein, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für Rechtsgüter des Einzelnen oder der Allgemeinheit herbeizuführen. Erst wenn beide Voraussetzungen erfüllt sind, kann im Sinne des Gesetzes von einer Verdichtung als SBV gesprochen werden.

Nicht ganz unproblematisch ist in diesem Zusammenhang der Nachweis einer Erheblichkeit, d. h. eine bestimmte Intensität, Dauerhaftigkeit und räumliche Ausdehnung der Verdichtung müssten erreicht sein. LEBERT ET AL. (2004) haben Vorschläge gemacht, welche Ausprägungen von bodenphysikalischen Kennwerten im Unterboden Anhaltspunkte

für das Vorliegen einer SBV durch Bodenverdichtung liefern können (Luftkapazität unterhalb 5 Vol.-% in Verbindung mit einer gesättigten Wasserleitfähigkeit kleiner 10 cm/d). Aus bodenbiologischer Sicht stellten BEYLICH ET AL. (2010) anhand einer Literaturlauswertung grundsätzlich negative Effekte auf die mikrobielle Biomasse und C-Mineralisierung bei Bodendichten oberhalb von 1,7 g/cm³ fest.

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BMU, 1998) nennt im § 17 allgemeine Anforderungen an die Vorsorge zur Vermeidung von Bodenverdichtungen in Form der Grundsätze zur Guten fachlichen Praxis. Verbindliche und konkrete Prüf- und Maßnahmenwerte, die beispielsweise zur Beurteilung der Belastung durch Schadstoffe bestehen, existieren für die Beeinträchtigung des Bodengefüges durch Verdichtung nicht. Dies gilt sowohl für die Vorsorge nach „Guter fachlicher Praxis“ als auch für die Gefahrenabwehr nach Eintritt von schädlichen Bodenveränderungen durch Verdichtungen. Der Grund liegt darin, dass sowohl die Beeinträchtigung der Bodenfunktionen als auch der Zusammenhang zwischen einer Bodenschadverdichtung und der Betroffenheit der Schutzgüter von zahlreichen, auch zeitlich variablen Randbedingungen abhängt. Es ist somit kaum möglich, allgemein rechtsverbindliche „Grenzwerte“ festzuschreiben.

Es ist aber sehr wohl möglich, eine schädliche Bodenveränderung in Form einer Schadverdichtung anhand bestimmter Kriterien (z. B. nach LEBERT ET AL., 2004; CRAMER, 2006; BEYLICH ET AL., 2010) für bestimmte Substrate (Tone und Schluffe, außer Sande) einzugrenzen. Demnach liegen Anhaltspunkte für eine Schadverdichtung dann vor, wenn **alle** in Tabelle 3.1 aufgeführten Kriteriengruppen zeitgleich erfüllt sind.

Grundsätzlich kann eine bestehende Schadverdichtung nur durch eine Gefügeansprache vor Ort diagnostiziert werden (siehe S. 36). Ob nach einer Überschreitung der Schadensschwellen bereits eine Bedrohung für die Schutzgüter Wasser, Bodenleben oder Mensch vorliegt, ist im Einzelfall zu entscheiden. Liegen Anhaltspunkte für eine entsprechende Diagnose vor, können im Rahmen der Gefahrenabwehr notwendige Untersuchungen und ggf. Maßnahmen angeordnet bzw. durchgeführt werden.

Tab. 3.1: Kriterien zur Ermittlung einer Schadverdichtung (LEBERT ET AL., 2004)

Kriterien	Schadensschwellen
Luftkapazität (LK)	< 5 Vol.-%
gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf)	< 10 cm/Tag
Feldgefügeansprache der <ul style="list-style-type: none"> » effektiven Lagerungsdichte » Packungsdichte » Spatendiagnose 	Klassen 4 oder 5 (nach Bodenkundlicher Kartieranleitung, AD-HOC-AG BODEN, 2005) Klassen 4 oder 5 (nach DIN 19682-10, 1998) Klassen 4 oder 5 (nach DIEZ & WEIGELT, 2000)

Da die Vermeidung von Schadverdichtungen anhand von Wertevorgaben nicht sinnvoll möglich ist, bildet die Gute fachliche Praxis und speziell die Vorsorge die eigentliche Grundlage zum Schutz vor Bodenverdichtungen. Damit wird klar, dass die jeweils aktuellen Entwicklungen der Technik der Guten fachlichen Praxis und des Wissensstandes anzupassen sind, um Bodenverdichtungen zu vermeiden.

Ursachen: Auslösende Faktoren für Verdichtung durch Befahren

Voraussetzung für eine Analyse sowie für eine Problemlösung ist zunächst das Verständnis der Zusammenhänge zwischen dem maschinenbedingten Lasteintrag (mechanische Bodenbelastung), dem daraus resultierenden Druck auf den Boden (Kontaktflächendruck), die Weitergabe des Druckes im Boden (Bodenbeanspruchung; Bodendruck) und der daraus folgenden Änderung im Bodengefüge, der Bodenverdichtung (s. Abb. 3.2).

Die mechanische Bodenbelastung wird mit der Radlast in t und/oder mit dem Kontaktflächendruck in der Berührungsfläche Laufwerk/Boden in kPa (100 kPa = 1 bar) angegeben.

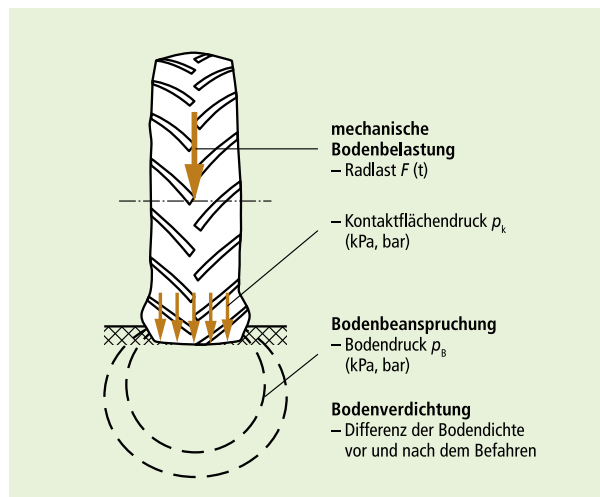


Abb. 3.2: Belastung, Beanspruchung und Verdichtung des Bodens (SOMMER, 1985)

Belastung des Bodens

Die Beurteilung der tatsächlichen Bodenbelastung muss folgende Faktoren berücksichtigen: Radlast, Kontaktflächendruck, Überrollhäufigkeit einzelner Bereiche innerhalb eines Schlages und Spurflächenanteil.

Tab. 3.2: Technische Daten (gemessen) von Traktoren, Ernte- und Transportmaschinen (mit gefülltem Behälter, Korntank, Bunker) (BRUNOTTE, 2012)

Maschine	Reifengröße v: Vorderachse h: Hinterachse	Radlast [t]	Reifeninnendruck [kPa] [bar] Acker (10 km/h)	Straße (40 km/h)	Kontaktfläche [cm ²] Acker (10 km/h)	mittlerer Kontaktflächendruck [kPa]	
Traktor, 120 kW mit angebautem Grubber, 3 m	v	540/65 R24	1,5	60 (0,6)	80 (0,8)	3.300	45
	h	650/65 R38	2,5	80 (0,8)	100 (1,0)	5.210	48
Mähdrescher 240 kW, 7,5 m	v	710/70 R42	9,5	200 (2,0)	200 (2,0)	6.740	141
	h	540/65 R30	2,5	80 (0,8)	120 (1,2)	3.780	66
Feldhäcksler mit Maisgebiss 340 kW, 6 m	v	800/65 R32	6,1	110 (1,1)	210 (2,1)	6.730	91
	h	710/50-26.5	1,9	80 (0,8)	80 (0,8)	2.810	68
Zuckerrübenroder 340 kW, 6-reihig	v	800/65 R32	10,5	250 (2,5)	160 (1,6)	7.140	147
	h	1050/50 R32	12,5	280 (2,8)	160 (1,6)	9.230	135
Traktor 120 kW	v	540/65 R24	2,5	100 (1,0)	140 (1,4)	3.300	76
	h	650/65 R38	3	80 (0,8)	100 (1,0)	5.520	54
Häckselgutwagen 40 m ³	v	710/50 R26.5	5,5	160 (1,6)	280 (2,8)	4.540	121
	h	710/50 R26.5	5,5	160 (1,6)	280 (2,8)	4.540	121
Traktor 180 kW	v	600/65R34	2,54	80 (0,8)	100 (1,0)	4.090	62
	h	710/70R42	4,3	80 (0,8)	100 (1,0)	6.480	66
Gülletankwagen 15 m ³	v	750/60R-30.5	5,76	100 (1,0)	200 (2,0)	5.330	108
	h	750/60R-30.5	5,4	100 (1,0)	200 (2,0)	5.210	104

Werte in der Praxis können abweichen je nach Hersteller und Betriebskennung

Die statische Radlast ist, im Gegensatz zur eigentlich maßgebenden dynamischen Belastung (oft ein Mehrfaches der statischen Radlast; vertikaler Lasteintrag plus Scherung durch Schlupf), durch Wägung relativ leicht zu bestimmen. Rad- bzw. Achslast bilden die Grundlage zur Bestimmung des Lasteneintrages in der Spur. Die Radlasten nehmen mit steigender Leistungsfähigkeit der Maschinen und Fahrzeuge tendenziell zu. Die damit i. d. R. verbundenen größeren Arbeitsbreiten führen dagegen zu einer Verringerung der zurückgelegten Fahrstrecken je Hektar.

Der höheren Bodenbelastung durch zunehmende Radlasten steht also eine Verringerung des belasteten Bodenareals gegenüber. Das bedeutet: Die Kenngrößen Spurfächenanteil, Spurpositionen und Überrollhäufigkeit sind notwendige Ergänzungen zu den Faktoren Radlast und Kontaktflächendruck (bzw. Reifeninnendruck). So können Produktionsverfahren hinsichtlich Bodenbelastung differenziert beurteilt werden (BRUNOTTE & FRÖBA, 2007; VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE siehe S. 43 und Fallbeispiel 4, S. 58).

Für das Verständnis des Zusammenhanges zwischen Druck auf den Boden und Wirkung des Druckes im Boden ist die Kenngröße mittlerer Kontaktflächendruck (kPa) in der Fahrspur von großer Bedeutung. Sie ergibt sich als Quotient aus Radlast und der Größe der Radaufstandsfläche.

In Tabelle 3.2 sind für die heute wichtigsten Ernteverfahren gemessenen Daten zum Lasteintrag auf dem Feld aufgeführt. Diese technischen Daten sind repräsentativ, da sie die heute übliche Landtechnik abbilden und bei Abmessungen und Gewichten die Vorgaben der StVZO für die Straßenfahrt berücksichtigen. In Einzelfällen können geringe Abweichungen von 0,5 bis 1 t Last bzw. 0,2 bis 0,5 bar Reifeninnendruck vorliegen – die Auswirkungen auf die Bodenstruktur wären dann aber marginal.

Bei den Radlasten handelt es sich um statische Werte, die auf einer mobilen Waage ermittelt wurden. Die Reifeninnendrucke p_i sind für die benötigte Tragfähigkeit nach Reifendrucktabellen der Reifenhersteller eingestellt (zwischen den Herstellern kann es Abweichungen geben). Laut VDI-Richtlinie 6101 (VDI, 2014) gelten als Richtwerte:

- » auf gelockertem oder feuchtem Acker (Frühjahr) $p_i < 100$ kPa (100 kPa = 1 bar),
- » auf abgesetztem oder trockenem Boden (Sommer/Herbst) $p_i < 200$ kPa.

Diese Richtlinie ist sowohl für die Landmaschinenindustrie, als auch für Beratung und Landwirtschaft eine richtungweisende Vorgabe, um den „Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden“ zu gestalten.

Die in der Tabelle angegebenen Kontaktflächen sind für die angegebenen Lasten in einem standardisierten Sandbett ermittelt worden. Weil das Messen der Kontaktfläche mitunter

sehr aufwendig ist, existieren als Näherungsverfahren verschiedene Modelle. Da der Reifeninnendruck p_i besonderen Einfluss auf den Kontaktflächendruck hat, sind empirische Gleichungen entwickelt worden (BOLLING & SÖHNE, 1982), deren allgemeine Formel vereinfacht lautet:

$$p_k = 1,25 \times p_i.$$

In erster Näherung liegt der mittlere Kontaktflächendruck auf fester Fahrbahn für Diagonalreifen um den Faktor 1,25 höher als der Reifeninnendruck. Wegen der stärkeren Einfederung und demzufolge vornehmlich längeren Aufstandsfläche steigt der mittlere Kontaktflächendruck sowohl auf fester Fahrbahn als auch auf dem Feld nicht linear zur Radlast. So bedeutet die Radlaststeigerung (Tab. 3.2) von 60 kN (rel. = 100 %) auf 90 kN (rel. = 150 %) für den mittleren Kontaktflächendruck – etwa auf gegrubbertem Acker – eine Zunahme von 130 kPa (rel. = 100) auf 163 kPa (rel. = 125 %).

Da die exakte Kontaktfläche schwer zu bestimmen ist, wird nach RENIUS, 1987 – zum Vergleich von Maschineneinheiten – die Hilfsgröße Projektionsdruck als der Quotient aus Radlast und Projektionsfläche des Reifens verwendet. Tatsächlich stehen auf fester Fahrbahn Projektionsdruck und Kontaktflächendruck in einem engen Zusammenhang, nicht dagegen auf nachgiebigem Boden (OLFE, 1990).

Diserens hat in seinem Modell TASC (= Tyres/Tracks and Soil Compaction; DISERENS, 2002) eine Vielzahl von tatsächlichen Messungen zur Kontaktfläche hinterlegt. Für Breitreifen ist die folgende Formel abgeleitet:

$$A = (0,420 \times B \times D) - (1.120,680 \times p_i) + (0,370 \times F)$$

A: Kontaktfläche [cm²]

B: Reifenbreite [cm]

D: Reifendurchmesser [cm]

p_i : Reifeninnendruck [bar]

F: Radlast [kg]

TASC ist eine Excel-Anwendung, die darüber hinaus auch die Bodenbeanspruchung durch Rad- und Raupenfahrwerke je nach Bodeneigenschaften und Belastungen beurteilt. Zu den erforderlichen Eingabeparametern gehören:

- » die Körnung des Bodens,
- » die Oberbodenfestigkeit,
- » die Auflockerungstiefe,
- » die Reifenbreite,
- » der Reifendurchmesser,
- » die Radlast und
- » der Reifeninnendruck

Die Anwendung eignet sich vorwiegend für Bereifungen mit Traktion-Profil auf abgesetzten Ackerböden mit einer verfestigten Pflugsohle zwischen 20 und 25 cm (DISERENS & SPIESS, 2005).

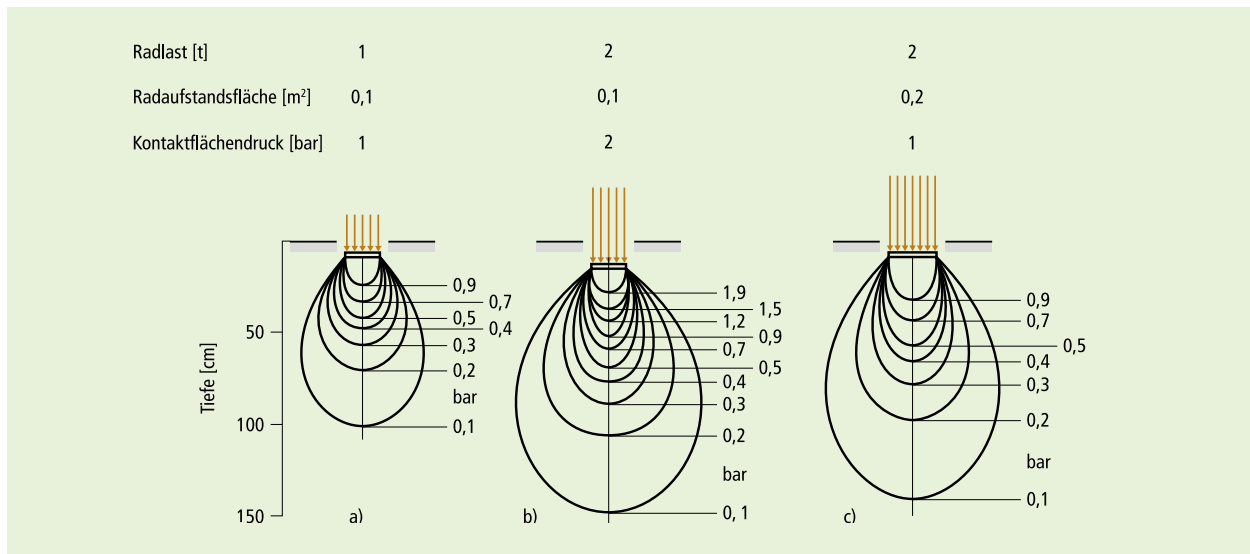


Abb. 3.3: Druckzwiebeln in drei verschiedenen Spuren (BOLLING & SÖHNE, 1982)

Grundsätzlich führt jede Art der Bewirtschaftung zu einer Verdichtung der Krume. Dieser kann durch geeignete Maßnahmen der Bodenbearbeitung und Fruchtfolgegestaltung wieder entgegen gewirkt werden.

Aus der Analyse des Lasteintrages sind allerdings für den Unterboden insbesondere bei feuchtem Bodenzustand folgende Arbeitsgänge kritisch:

- » Das Fahren in der Furche bei der Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug
- » Ernte von Massengütern (Silomais, Kartoffeln, Zuckerrüben), wo hohe Radlasten und häufige Überrollungen der gleichen Flächen auftreten
- » Ausbringung von organischen Düngern durch Fahrzeuge mit hohen Lasten und Reifeninnendrücken, insbesondere im Frühjahr
- » Mähdrescher mit großer Arbeitsbreite und großem Korntank, sowie schmaler Bereifung (620er) zur Einhaltung der maximalen Fahrzeugbreite für die Straßenfahrt.

Beanspruchung des Bodens

Die infolge der Radlasten in Kombination mit der Bereifung auftretenden Kontaktflächendrücke verursachen im Boden Drücke (mechanisch: Spannungen), deren Verlauf im Boden mit den sogenannten „Linien gleichen Bodendruckes“ auch als „Druckzwiebel“ bezeichnet wird. Grundlegende Arbeiten hierzu hat SÖHNE (1953) veröffentlicht. Er berechnete die Spannungen im Boden und veranschaulichte durch die erwähnten „Druckzwiebeln“ den Verlauf des Druckes im Boden (Abb. 3.3).

Für die in Abb. 3.3 angeführten Beispiele einer senkrecht wirkenden Radlast – die Berücksichtigung der Zugkraft hätte Druckzwiebeln zur Folge, die zur Fahrtrichtung schräg nach

hinten verlaufen – sind einige grundsätzliche Aussagen abzuleiten (SOMMER, 1985):

- » Der Bodendruck wird mit größerer Tiefe abgebaut, da er von immer mehr Bodenpartikeln „mitgetragen“ wird. Im Beispiel a) ist der Kontaktflächendruck von 1,0 bar in der Fahrspur auf den Bodendruck von 0,1 bar in 1 m Tiefe abgesunken.
- » Bei gleichem Kontaktflächendruck von 1,0 bar hat eine größere Radlast von 2 t im Beispiel c) eine tiefere Fortpflanzung der 0,1-bar-Druckzwiebel im Vergleich zur geringeren Radlast von 1 t im Beispiel a) zur Folge. Im Fall b) ist der Bodendruck erst in 1,5 m Tiefe auf 0,1 bar abgefallen.
- » Das bedeutet, dass für die Tiefenwirkung des Bodendruckes bei gleichem Kontaktflächendruck die Radlast maßgebend ist. Schwere Maschinen, Geräte und Transportfahrzeuge beanspruchen den Boden bis in größere Tiefen, auch wenn sie im Vergleich zu leichter Technik denselben Kontaktflächendruck aufweisen.
- » Bei gleicher Radlast ist der Kontaktflächendruck für das Ausmaß des Bodendruckes in der Ackerkrume ausschlaggebend. Das bedeutet, dass bei unveränderter Radlast die Umrüstung von einem schmalen Reifen (Fall b) auf einen breiteren oder Zwillingsreifen (Fall c) weniger Auswirkungen auf die Tiefenwirkung zur Folge hat, als vielmehr auf die Minderung des Bodendruckes in Oberflächennähe. Erst durch „überproportionale“ Radverbreiterung (Super-Breitreifen) lässt sich mit erheblich reduziertem Kontaktflächendruck auch die Tiefenwirkung verringern.

Eine der Bedingungen der Anwendbarkeit des Modells von SÖHNE (1953) ist die Gleichmäßigkeit der bodenmechanischen Eigenschaften über das gesamte Bodenprofil – diese Annahme weicht stark von der im Feld vorhandenen Horizontierung von Krume und Unterboden ab. In ihren Untersuchungen stellten LAMANDÉ & SCHJØNNING (2011a)

fest, dass bei unterschiedlichen Bodenwiderständen das Söhne-Modell nicht in der Lage ist, insbesondere bei geringen Wassergehalten, den vertikalen Druck zufriedenstellend zu berechnen. Für die Berechnung der Druckfortpflanzung in häufig bearbeiteten Oberböden wird ein Zwei-Schicht-Modell für Ober- und Unterboden als Alternative zu dem Söhne-Modell benötigt.

Für die Beanspruchung des Bodens und die Bodentragfähigkeit ist die aktuelle **Bodenfeuchte** hauptsächlich verantwortlich – die Festigkeit des Bodens wirkt sich auf die Form der Druckzwiebeln aus. Bei hartem, trockenem, dicht gelagertem Boden haben die Linien gleicher Hauptspannung annähernd Kreisform. Je nachgiebiger der Boden wird, umso schlanker werden die Druckzwiebeln. Durch das seitliche Ausweichen des Bodens konzentriert sich der Druck zur Lastachse, und die Druckzwiebeln reichen tiefer herab. Diese Aussagen gelten für homogenen Boden – bei Berücksichtigung der Horizontale im Feld gibt es allerdings Abweichungen.

Auch Untersuchungen von LAMANDÉ & SCHJØNNING (2011b) belegen, dass die Übertragung von Bodendrücken in Böden sehr stark vom Wassergehalt abhängt. Nach dem modifizierten Elastizitätsmodell von FRÖHLICH (1934) gilt, dass für eine definierte aufgetragene Last auf einen definierten Boden eine Abnahme der Bodenfestigkeit, verursacht durch einen Anstieg des Wassergehaltes, zu einer höheren Konzentration des Druckes unterhalb der Mitte der Last und zu einer tieferen Ausbreitung des Druckes führt.

Am Beispiel eines 6-reihigen Zuckerrübenroders wird die Veränderung der Trockenrohdichte durch Befahrung bei trockenen und feuchten Bodenbedingungen deutlich (Abb. 3.4). Die Niederschlagsverteilung in der Region und die daraus resultierende aktuelle Bodenfeuchte vor Ort gibt die Feldarbeitstage bzw. **Befahrbarkeitstage** vor. Stark davon abhängig sind der Auslastungsgrad der Maschinen und damit das Risiko, den Boden bei feuchten Bedingungen zu schädigen (KTBL, 2011).

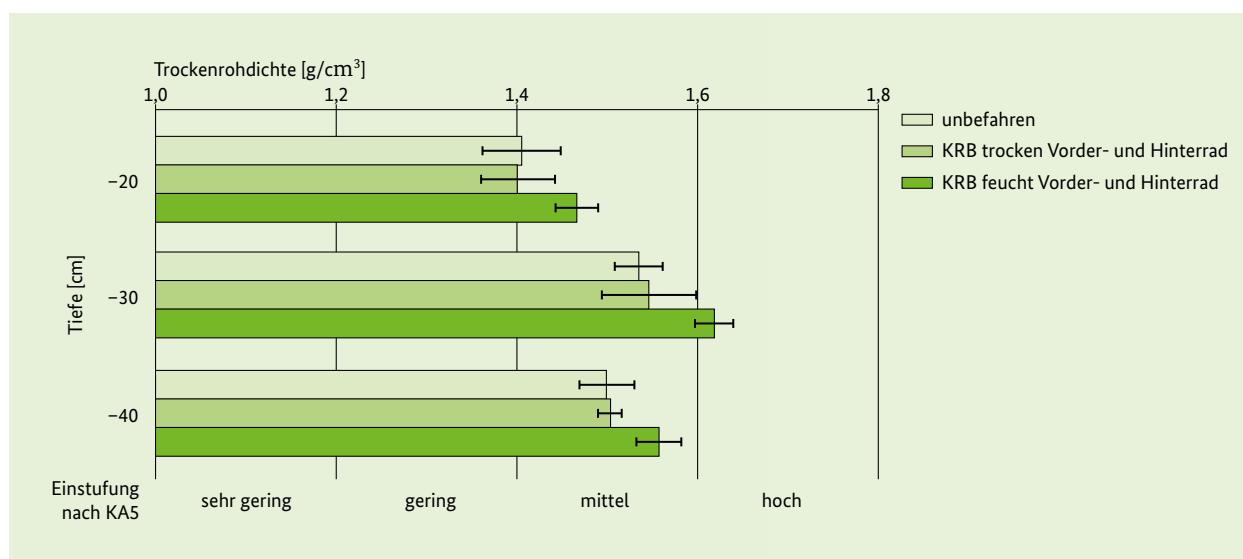


Abb. 3.4: Befahrung mit 6-reihigem Zuckerrübenroder (Köpfrodebunker = KRB) – Einfluss auf die Trockenrohdichte bei unterschiedlicher Bodenfeuchte (KTBL, 2012)

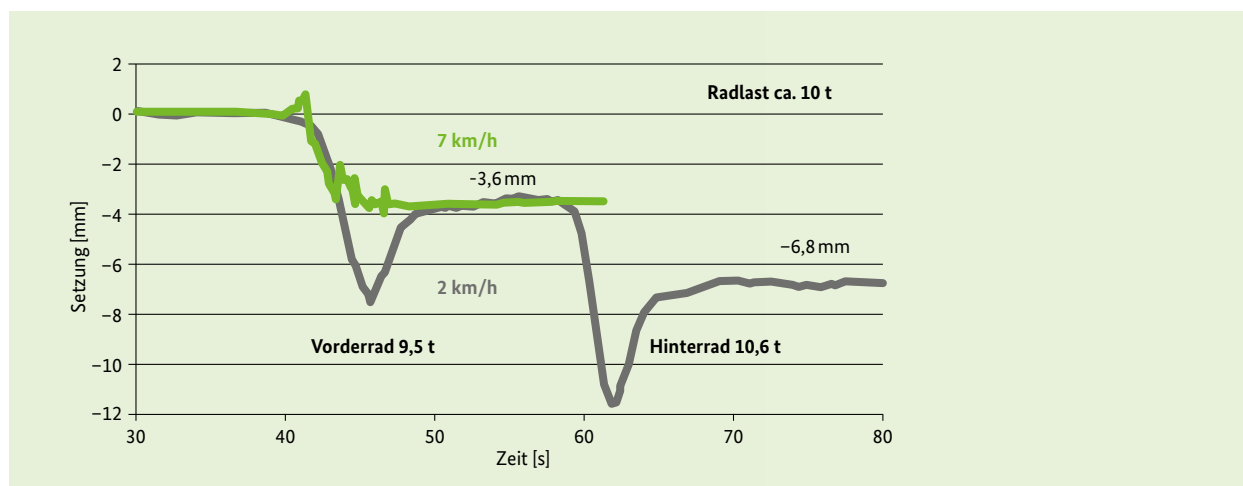


Abb. 3.5: Setzung in 40 cm Tiefe bei 2-facher Überrollung mit 2 und 7 km/h Fahrgeschwindigkeit (BRUNOTTE ET AL., 2006)

Die Druckfortpflanzung hängt aber auch von der zeitlichen Dauer der Belastung ab. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit reichen die Linien gleichen Druckes (Druckzwiebeln) weniger tief in den Boden. Schnelleres Fahren bedeutet demnach mehr Bodenschonung, vorausgesetzt, die Tragfähigkeit entspricht mindestens dem wirksamen Druck (Spannung) – dargestellt in Abb. 3.5 mit Hilfe der Bodensetzung, weil damit der elastische und der plastische Anteil der Verformung deutlich werden. Die normalerweise übliche Bodendruckmessung (Schlauchdrucksonden) stellt im Vergleich zur Setzungsmessung eine Momentaufnahme dar und würde die Veränderungen im Boden nicht anzeigen.

Bei langsamer Fahrgeschwindigkeit (2 km/h) wird die Setzung jedes Lasteintrages deutlich – unter dem Vorderrad werden 4 mm elastische und 3,6 mm plastische Verformung gemessen. Für den Bereich des Hinterrades werden 5 mm elastische und 6,8 mm plastische Verformung angezeigt. Bei schneller Fahrt (7 km/h) sind die Peaks der einzelnen Achsen hingegen nicht zu erkennen und die plastische Verformung ist mit 3,6 mm nur halb so hoch (siehe auch S. 45 ff.).

Schließlich kommt der Überrollhäufigkeit (= die Anzahl der Achsen/Räder, die den Boden überrollen: z. B. 1 Überfahrt mit einem Gülletankwagen mit Tandemfahrwerk bedeutet 4 Überrollungen) besondere Bedeutung zu. Wird der Boden durch mehrfaches Befahren in derselben Spur mit gleicher Radlast und gleichem Kontaktflächendruck wiederholt beansprucht, entspricht dies einer stufenweisen Erhöhung der Radlast.

Die Beanspruchung des Bodens steigt so, als wäre bei jeder Überfahrt die Radlast gestiegen (Abb. 3.6). Wird also von 2 auf 3 Achsen übergegangen und das Gesamtgewicht der Maschine erhöht, steigt die Beanspruchung mit der 3. Achse. Wird dagegen die 3. Achse genutzt, um das Gesamtgewicht von 2 Achsen besser abzustützen und gleichzeitig der Reifennendruck reduziert, können bodenschonende Effekte erzielt werden. Um die Bodenbeanspruchung in ihrer Wirkung umfassend beschreiben zu können, sind deshalb unbedingt

die Überrollhäufigkeit für alle Arbeitsgänge einer Kultur sowie der Anteil der befahrenen Fläche anzugeben (siehe S. 45).

Um den Bodendruck zu mindern, wurde in jüngerer Zeit beim Trend steigender Radlasten die Absenkung des Kontaktflächendrucks als Strategie empfohlen, Stichworte waren Breitreifen, Bandlaufwerke, „low ground pressure“-Systeme. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass bei gleicher Radlast eine Absenkung des Kontaktflächendrucks weniger Auswirkung auf die Tiefenwirkung als vielmehr auf die Minderung des Bodendruckes in der Ackerkrume hat. Unterbodenverdichtungen sind deshalb bei zunehmender Radlast nur mit überproportionaler Reduzierung des Kontaktflächendrucks vorzubeugen. Dies gilt immer bei relativ gleichmäßig ausgebildeten Feuchtezonen über die Horizonte. Ist dagegen die Krume trocken und der Unterboden feucht, müssen zunehmende Radlasten bei konstantem Kontaktflächendruck nicht generell eine zusätzliche Gefährdung des Unterbodens bewirken. Somit liegt eine technische Lösung für eine wirksame Vorsorge gegenüber Bodenverdichtungen in einer Anpassung der Radlast in Kombination mit Reifenbreite und Reifennendruck sowie der Reduzierung der Überrollhäufigkeit.

Verformung der Bodenstruktur – Bodenverdichtung

Überschreitet der Lasteintrag die Eigenstabilität des Bodens, kommt es zu Veränderungen der Bodenstruktur. Primäre Bodenpartikel werden im Bodenvolumen umgelagert, um die aufgebrachte Last durch Erhöhung der Kontaktpunkte abstützen zu können. Dies ist auch eine Erklärung der höheren Tragfähigkeit des Oberbodens bei nichtwendender Bodenbearbeitung (Konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaat) gegenüber konventioneller Bearbeitung mit Pflug.

In Abb. 3.7, S. 34 wird mit Hilfe der Computertomographie die Morphologie einer Bodensäule von 0 bis 35 cm Tiefe dargestellt: links unbefahren, rechts befahren:

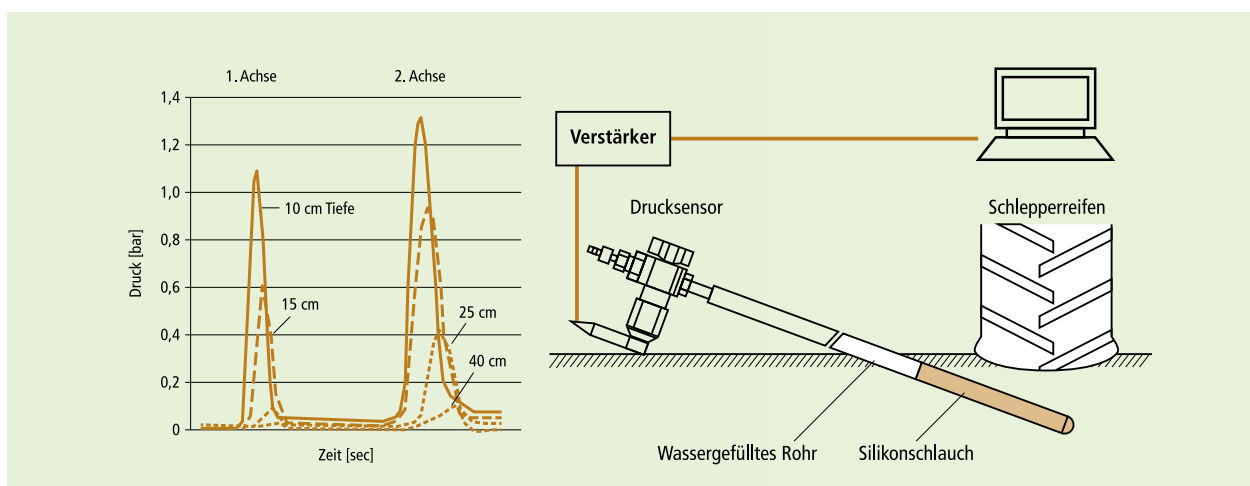


Abb. 3.6: Mehrfache Überrollung der gleichen Spur erhöht den Bodendruck, gemessen mit Schlauchdrucksonden (WEIßBACH, 2003)

Durch die Verdichtung im Krumenbereich hat sich das Porensystem stark verändert, der Unterboden (ab 28 cm Tiefe) blieb aber relativ unberührt. Ursache ist die höhere Tragfähigkeit in der Krumenbasis. Damit Luft- und Wasserleitfähigkeit sowie das Wurzelwachstum gewährleistet bleiben, muss jedoch in dieser kompakt gelagerten Zone (Krumenbasis bzw. Pflugsohle) eine ausreichende Durchporung mit hoher Kontinuität vorhanden sein.

Diese Durchporung wird insbesondere durch Regenwürmer geleistet, deren Häufigkeit bei nichtwendender gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung erheblich erhöht ist (VAN CAPELLE ET AL., 2012a und b). In schluffigen und lehmigen Böden ist dieser Unterschied besonders ausgeprägt (VAN CAPELLE ET AL., 2012). Reagiert das Gefüge elastisch, ist die Bodenverformung reversibel, plastische Verformung hat dagegen eine bleibende Gefügeveränderung zur Folge. Für den Bodengefügeschutz wäre es deshalb sehr hilfreich, bereits während der Arbeitserledigung auf dem Feld abschätzen zu können, ob die Überfahrt irreversible Verdichtungen insbesondere im Unterboden verursacht.

Neue Entwicklungen in der Messtechnik erlauben es, die Setzung des Bodens als Ausdruck der Verdichtung im Boden während der Befahrung ohne Störung der Struktur zu messen und anzuzeigen (siehe auch S. 49 ff.).

Mit Hilfe einer hydrostatischen Niveaumessung (NOLTING ET AL., 2006) wird die Setzung des Bodens durch Befahrung

mit einer Genauigkeit von 0,1 mm angezeigt. Diese Messmethode berücksichtigt alle aktuellen Boden- und Fahrzeugparameter und erlaubt quantitative Aussagen zur tatsächlichen Verdichtung (s. Abb. 3.5, S. 32). Die Abb. 3.8 zeigt die elastische und plastische Verformung bei unterschiedlichem Reifeninnendruck eines Traktorreifens bei 4 t Radlast.

Werden 4 t Radlast mit geringem Reifeninnendruck von 0,8 bar abgestützt (unten), liegt auch nach der 4. Überrollung eine elastische Verformung vor. Bei einem hohen Luftdruck von 2,1 bar (oben) verbleiben 2 mm bleibende Setzung und zeigen eine plastische Verformung an.

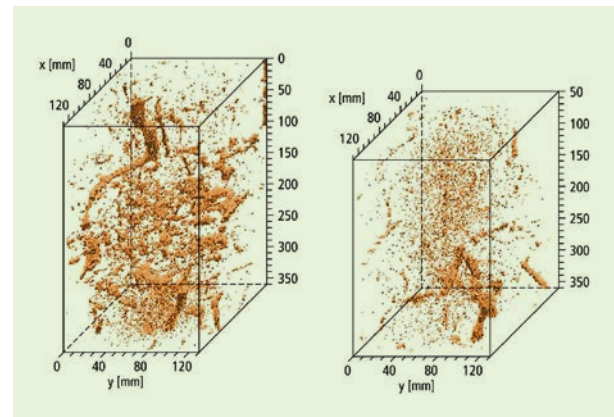


Abb. 3.7: 3-D-Visualisierung eines Makroporensystems nach Pflugfurche ohne Druckbelastung (links) und nach einer Druckbelastung mit 250 kPa (rechts: Bodensäule 50 mm niedriger) (JÉGOU ET AL., 2001)

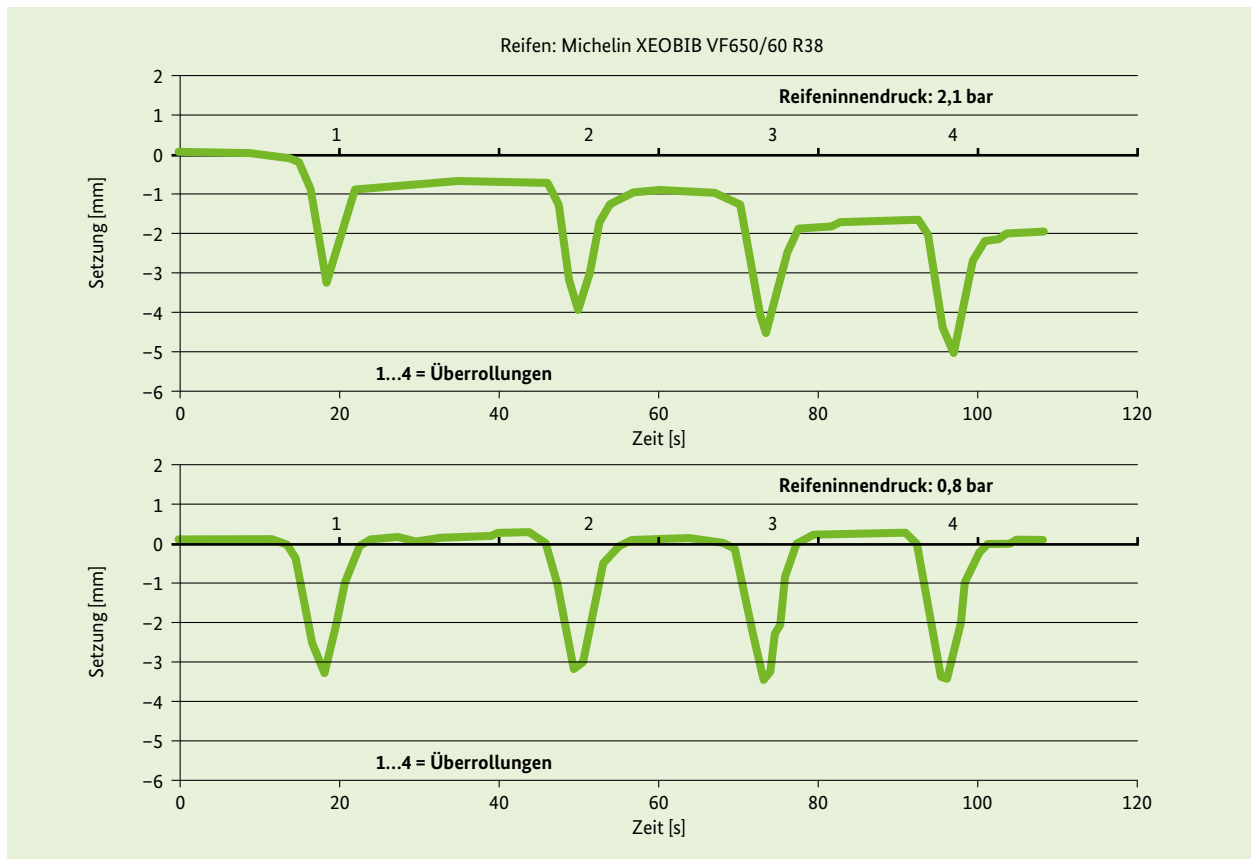


Abb. 3.8: Bodensetzung in 40 cm Tiefe nach 4-facher Überrollung mit unterschiedlichem Reifeninnendruck (NOLTING ET AL., 2006)

Wirkungen

Die Wirkung einer Verdichtung kann sehr unterschiedlich sein und ist durchaus nicht nur mit aufwendigen bodenphysikalischen Messmethoden nachweisbar. Für einen erfahrenen Ackerbauern sind die Folgen einer Verdichtung i. d. R. bereits ohne großen messtechnischen Aufwand zu erkennen. Der beste Indikator für ungünstige Gefügeeigenschaften in der Krume oder im Unterboden ist die Kulturpflanze. Sie reagiert schnell, empfindlich, zuverlässig und für ein geschultes Auge leicht erkennbar auf eine Verdichtung und

deren Verbreitung innerhalb eines Schlages. Weiterhin sind Wasseransammlungen auf der Bodenoberfläche, Verschlämmungen oder Bodenabtrag in Fahrspuren erste und vor allem schlüssige Indizien. In der folgenden Übersicht werden die verschiedenen **Indikatoren** für Verdichtung, typische Schadbilder, typische Merkmale und mögliche Wirkung auf die verschiedenen Bodenfunktionen beschrieben.

Die Zusammenstellung zeigt, dass der Praktiker mit einer Reihe von Indikatoren wichtige Hinweise auf Verdichtungen erhält, die die Bodenfunktionen beeinträchtigen können (Schadverdichtungen). Vor allem die Vegetation ist ein

Tab. 3.3: Indikatoren, Merkmale und Wirkungen einer Verdichtung

Indikator	Schadbild/Merkmal	Wirkung
Vegetation	ungleicher Aufwuchs und verzögerte Entwicklung bei gleicher Bewirtschaftung und gleicher Gründigkeit/Wurzelraum innerhalb eines Schlages oder im Vergleich zu ähnlichen Kulturen im näheren Umfeld auf gleichen Standorten	Ertragsunsicherheit bzw. -minderung
	Chlorose bei gleichem Düngungsniveau	Ertragsunsicherheit bzw. -minderung und gasförmige Verluste an Nährstoffen
	lückiger Bestand mit kürzeren Pflanzen	Ertragsunsicherheit bzw. -minderung
	schnellere Abreife und geringeres TKG	Ertragsunsicherheit bzw. -minderung
Bodenoberfläche	Verschlämmung	Beeinträchtigung des Gas- und Wasserhaushaltes, der Bestandesentwicklung und erhöhter Bodenabtrag; Verlust an Nährstoffen; Beeinträchtigung von Fließgewässern
	Spurrillen: zerfahrene Bodenoberfläche (Spuren kreuz/quer)	Bodenabtrag
	„tiefe“ Fahrspuren und die zugehörigen Aufwölbungen am Rand der Fahrspuren	hoher Aufwand bei der Bodenbearbeitung
	Wasserstau an der Oberfläche	Beeinträchtigung des Gas- und Wasserhaushaltes
	Erosionsrinnen	Beeinträchtigung des Gas- und Wasserhaushaltes, der Bestandesentwicklung und erhöhter Bodenabtrag; Verlust an Nährstoffen; Beeinträchtigung von Fließgewässern
	nur vereinzelte Losungshaufen von Regenwürmern erkennbar	schwache Aktivität der Regenwürmer verbunden mit geringer Umsatzleistung an Vegetationsresten
	unvollständig eingearbeitete bzw. unverrottete Vegetationsreste	Sauerstoffmangel für Pflanzenwurzeln und aerobe Bodenorganismen
Oberboden bzw. Ackerkrume	grobkollig abgelegte Krume; klutige Aggregate, die nur mit großem Kraftaufwand zu zerlegen sind	erhöhter Kraft- und Arbeitsaufwand für die Saatbetteinstellung, ungleichmäßiger Pflanzenaufwuchs, Nährstoffverluste infolge unzureichender Aggregatdurchwurzelung
	Strohmatratzen	Beeinträchtigung der Durchwurzelung und der Bodenorganismen
	Bereiche, die gräulich-blau gefärbt sind und unangenehm riechen	Sauerstoffmangel für Pflanzenwurzeln und aerobe Bodenorganismen
	nur vereinzelte Regenwurmgänge	eingeschränktes Wasseraufnahmevermögen, erhöhter Oberflächenabfluss, Sauerstoffmangel
	Wurzeln vor allem auf den Aggregatoberflächen und nicht in den Aggregaten; Wurzelverzweigungen an der Grenze zum Unterboden	unzureichende Wasser- und Nährstoffaufnahme

Indikator	Schadbild/Merkmal	Wirkung
Krumenbasis	unzersetztes Stroh	Sauerstoffmangel für Pflanzenwurzeln und aerobe Bodenorganismen
	Wasserstau an der Grenze zum Unterboden	eingeschränktes Wasseraufnahmevermögen, erhöhter Oberflächenabfluss, Sauerstoffmangel
	Bereiche, die gräulich-blau gefärbt sind und unangenehm riechen	Sauerstoffmangel für Pflanzenwurzeln und aerobe Bodenorganismen und Schwefelwasserstoffgeruch
	abrupte Abnahme der Wurzeln, keine oder nur wenige Regenwurmgänge	unzureichende Durchwurzelung des Unterbodens, Nährstoffverluste durch Auswaschung, Mindererträge durch eingeschränkte Ausnutzung der Bodenwasservorräte, insbesondere bei Trockenheit
	erhöhter Widerstand, um mit einem Messer in den Boden eindringen zu können	zu hoher mechanischer Widerstand für die Wurzeln, erhöhter Bedarf an Zugkraft und Kraftstoffen bei der Bearbeitung
	klutige, scharfkantige, eng geschlossene Aggregate, die nur mit großem Kraftaufwand zu zerlegen sind	zu hoher mechanischer Widerstand für die Wurzeln, erhöhter Bedarf an Zugkraft und Kraftstoffen bei der Bearbeitung
Unterboden	nur vereinzelte Regenwurmgänge und nur wenig Humuseintrag durch Regenwürmer	gehemmte Austauschprozesse im Oberboden und ungünstige Bedingungen für die vertikale Wurzel ausbreitung
	Wurzeln ungleichmäßig und nicht im gesamten Profil verteilt	
	Bodenaggregate scharfkantig, plattig und eng geschlossen	

deutlicher Indikator. Für den Landwirt lassen sich Beeinträchtigungen in der Vegetationsentwicklung und/oder im Ertrag und damit an den Bodenfunktionen nachweisen. Bodenphysikalische Messwerte liefern oft zusätzlich den wissenschaftlichen Beleg. Deshalb sollte der Praktiker im Rahmen der Vorsorge (Gute fachliche Praxis) das Hauptaugenmerk regelmäßig auf die Vegetation, die Bodenoberfläche (Wasserstau, Losungshaufen von Regenwürmern), die Durchwurzelung, die Zersetzungs Vorgänge der organischen Reste im Oberboden und die biologische Vielfalt im Boden sowie das Wurzelbild richten. Diese Vorgehensweise liefert schnell und plausibel nachvollziehbare Einschätzungen.

Die flächenrepräsentative Messung der bodenphysikalischen Kennwerte wie Rohdichte, Porengrößenverteilung, Wasser- und Luftdurchlässigkeit, ungesättigte Wasserleitfähigkeit, Infiltrationsvermögen und Eindringwiderstand sind sehr zeit- und arbeitsaufwendig und im Prinzip nur bei Wassergehalten, die der Sättigung im Frühjahr (Feldkapazität) entsprechen, durchführbar.

Die Interpretation der Daten im Hinblick auf Schädigung und Beeinträchtigung der Bodenfunktionen erfordert zudem umfangreichen bodenkundlichen Sachverstand und vor allem Erfahrung in der Beurteilung der kausalen Zusammenhänge zwischen Boden, Durchwurzelung und Ertrag.

Bodenverdichtungen erkennen und beurteilen

Flächen, auf denen Beeinträchtigungen der Vegetationsentwicklung zu beobachten sind, sollte man ausweisen, markieren und nach der Ernte eine Feldgefügeansprache durchführen.

Mit der Gefügeansprache lässt sich leicht die Tiefenlage und Ausprägung einer Verdichtung nachweisen. Für die Ansprache gibt es seitens der Agrarverwaltung und aus der angewandten Bodenkunde Leitfäden, die eine Interpretation möglicher Schadbilder erleichtern.

Zu erwähnen sind hier insbesondere:

- » DIEZ (1991) entwickelte ein Schema zur Gefügebeurteilung im Feld, das die „Görbingsche Spatendiagnose“ erweiterte. Gliederungskriterien sind die Gefügeformen (Einzelkorn-, Kohärent-, Krümel-, Bröckel- und Polyedergefüge) und sonstige Merkmale (Wurzeln, Farbe, Geruch, Ernterückstände, Röhren/Klüfte, Übergänge). Die Bewertung orientiert sich an der Eignung für das Pflanzenwachstum und umfasst 5 Stufen (1 = sehr günstig bis 5 = sehr ungünstig). Für bodenkundlich geschultes Personal eine geeignete Methode die Bodenstruktur im Feld zu analysieren. Im Sonderheft „Unser Boden“ von top agrar für die Praxis aufbereitet (TOP AGRAR, 2010).

- » WEYER & BÖDDINGHAUSEN (2009) haben einen Bestimmungsschlüssel zur Erkennung und Bewertung von Schadverdichtungen im Feld entwickelt, der die Spatendiagnose mit einer Profilsprache koppelt. Jedem der insgesamt 11 anzusprechenden Bodenmerkmale (1. Bodenoberfläche, 2. Eindringwiderstand des Bodens, 3. Wurzelwachstum, 4. Bodenaufbau, 5. Rottezustand, 6. Bodenfarbe, 7. Bodengeruch, 8. Bodengefüge, 9. Verfestigungsgrad der Aggregate, 10. Lagerungsdichte, 11. Makroporenanteil) werden anhand von farbigen Abbildungen und des Ausprägungsgrades Zustandsstufen von 1 bis 5 zugewiesen. Stufe 1 beschreibt den besten und Stufe 5 den schlechtesten Zustand – multipliziert mit einem Faktor und aufsummiert, errechnet sich eine Gesamtpunktzahl, die verglichen mit einer Bewertungsskala den ermittelten Verdichtungsstatus des Bodens angibt.
 - » BRUNOTTE ET AL. (2011c) führten Mosaiksteine aus einer Spatendiagnose und einer ausführlich beschriebenen Profilsprache zu einer feldtauglichen Gefügebeurteilung zusammen. Ein wasserfestes Klemmbrett in DIN A3 beinhaltet auf der Rückseite die Vorgehensweise und drei Beispiele (Sand, Lehm, Ton) und auf der Vorderseite die sechs Parameter zur Bewertung des Gefüges: Struktur der Oberfläche, Durchwurzelung, Makroporen, Gefüge und Verfestigung, organische Reststoffe und Farbe und Geruch. Anhand von farbigen Gefügebildern kann der Landwirt bei der Bewertung zwischen 5 Stufen wählen. Durch Addition kommt er zur Gesamtbeurteilung mit der Aussage, ob Vorsorge zum Bodenschutz und optimale Wachstumsbedingungen gegeben sind. Die schriftliche Beurteilung kann als Dokumentation in der Ackerschlagkartei abgeheftet werden.
 - » HARRACH ET AL. (2012) beschreiben in ihrer Methode zur standortgemäßen Bodenbearbeitung das aus Sicht des Bodenschutzes anzustrebende Bodengefüge. Sie zeigen Möglichkeiten der Bodenbewirtschaftung auf, die u. a. für den Bodenschutz immens wichtige Regenwurmaktivität zu fördern und geben Hinweise zur Beurteilung und Kontrolle des anzustrebenden Bodengefüges. Die Broschüre ergänzt die Ausführungen von Harrach (2011) zu den Grundzügen eines Leitbildes „Anzustrebendes Bodengefüge“, an dem eine Vielzahl von Praktikern und Bodenkundlern mitgearbeitet haben (Abb. 3.1, S. 25).
- Aber auch auf Feldern ohne Vegetation lassen sich durch die Beurteilung der Bodenoberfläche, z. B. nach starken Niederschlägen, Flächen hinsichtlich Verschlammung, Bodenabtrag und Wasserstau ausweisen, die im Vergleich zu anderen, verdichtet sind.
- Häufig handelt es sich um dieselben Flächen, auf denen die Vegetationsentwicklung und Ernteergebnisse Beeinträchtigungen zeigen. Die Feldgefügeansprache, ergänzt durch Beobachtungen zum Wachstum und Ertrag der Kulturpflanzen, lassen am ehesten eine Beeinträchtigung der Bodenfunktionen erkennen und das Ausmaß und die Gestaltung von Vorsorgemaßnahmen zur Guten fachlichen Praxis ableiten.

Konzept für bodenschonendes Befahren

Aus Literaturanalysen (SOMMER, 1974; DÜRR ET AL., 1995; KTBL, 1998), wissenschaftlichen Belastungsversuchen und Erfahrungen aus der Praxis und Beratung wurde schon 1998 das „Konzept für bodenschonendes Befahren“ entwickelt (SOMMER, 1998a; SOMMER & BRUNOTTE, 2003). Die Weiterentwicklung dieses Konzeptes im Bereich Bodenwissenschaften und Agrartechnologie ermöglicht heute eine Anpassung der Fahrzeugparameter an die aktuelle Verdichtungsempfindlichkeit der Böden.

Berücksichtigt werden bodenfunktionelle, fahrzeugtechnische und arbeitswirtschaftliche Aspekte zur Vorsorge bei der Bodenschonung.

In Abb. 3.9 (S. 38) sind für die Entstehung von Bodenverdichtungen die wichtigsten Einflussfaktoren, wie bodenbürtige Standortbedingungen, aktuelle Niederschläge, Bodenbearbeitungsintensität und eingesetzte Landtechnik aufgeführt

und für das Konzept „Bodenschonendes Befahren“ die maßgeblichen Strategien, wie

1. Acker- und pflanzenbauliche Vorsorgemöglichkeiten,
2. Weiterentwicklung von Arbeitsverfahren und
3. Technische Möglichkeiten

aufgelistet. Jede Strategie beinhaltet eine Vielzahl von Lösungsansätzen, von denen einige im Grundsatz in diesem Kapitel abgehandelt werden. Detaillierte Handlungsanweisungen werden dann ab S. 51 unter dem Stichwort „Maßnahmenkatalog – 15 Fallbeispiele für Gute fachliche Praxis nach dem Konzept für bodenschonendes Befahren“ entwickelt mit dem Ziel, Bodenverdichtungen zu vermindern (die genannten Beispiele sind lediglich eine Auswahl). Dabei stehen die Erhaltung und die Verbesserung der Bodenfunktionen und insgesamt der Bodenfruchtbarkeit im Vordergrund.

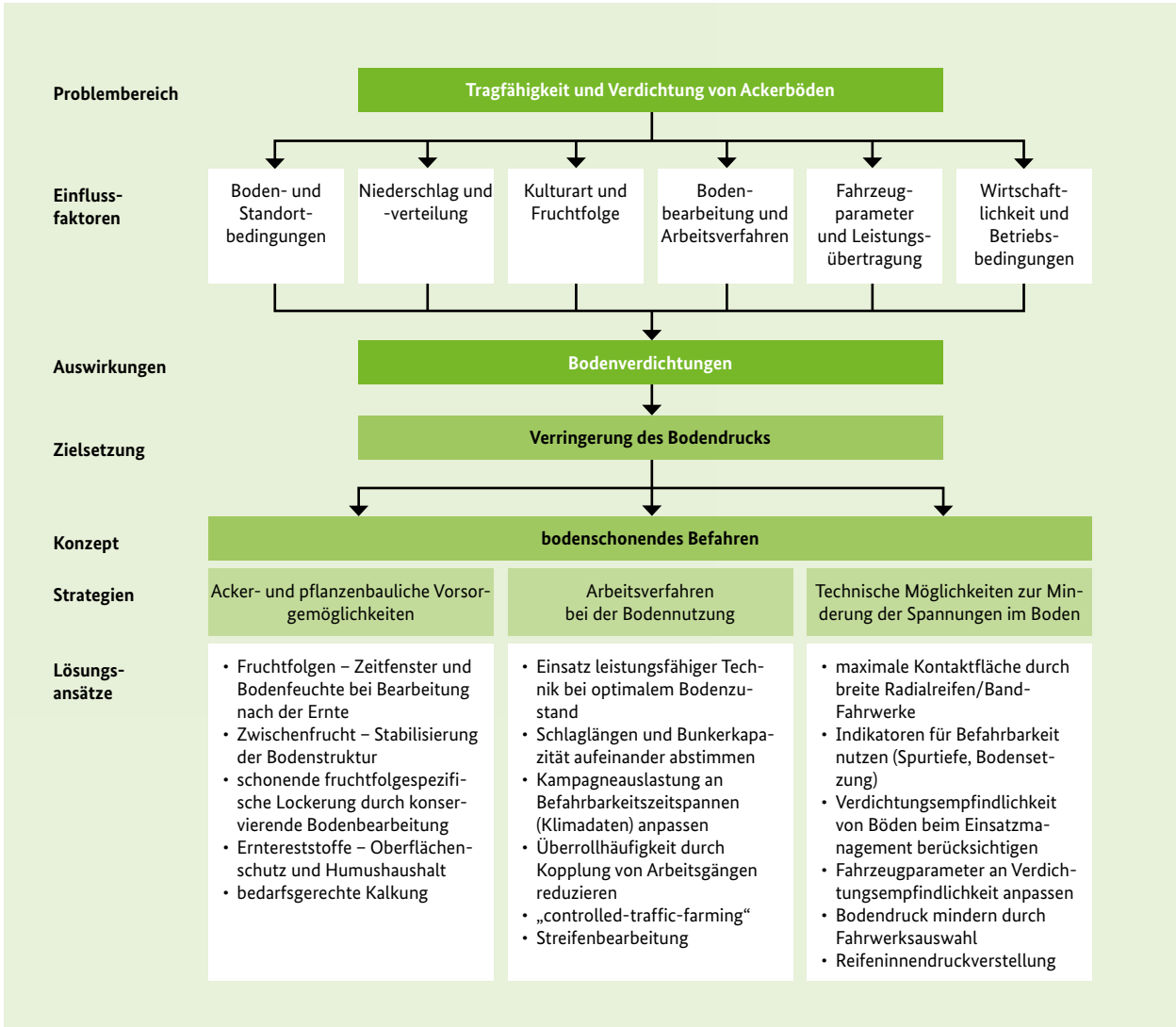


Abb. 3.9: Das Konzept „Bodenschonendes Befahren“ – Einflussfaktoren, Strategien und Lösungsansätze (SOMMER, 1998b, geändert n. BRUNOTTE, 2008)

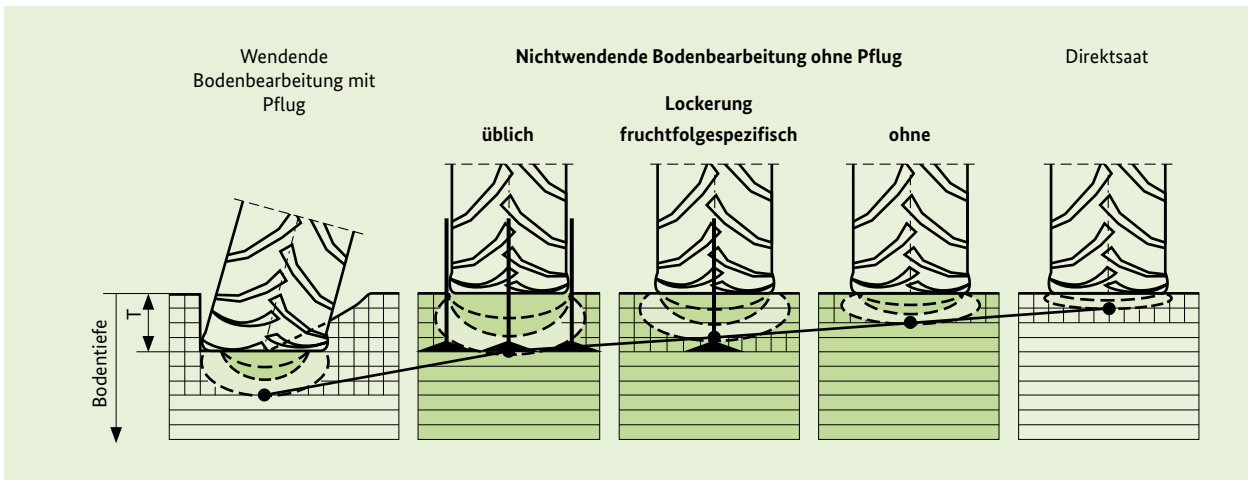


Abb. 3.10: Tiefenwirkung von Bodendruck bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren (SOMMER & BRUNOTTE, 2003)

Acker- und pflanzenbauliche Vorsorgemöglichkeiten

Erhalt und Steigerung der mechanischen Belastbarkeit des Bodens/Verbesserung der Tragfähigkeit:

Eine wichtige Strategie ist, die Belastbarkeit/Tragfähigkeit des Bodens zu erhöhen, also die Fähigkeit des Bodens zu stärken, höhere Lasten zu tragen. Die ersten Anstrengungen reichen bis zu den Anfängen konservierender Bodenbearbeitung in Deutschland Anfang der 80er Jahre zurück. Der Boden wird bearbeitet, um günstige physikalische Bedingungen für das Pflanzenwachstum zu schaffen und dabei ggf. das Bodengefüge nach Verdichtungen zu regenerieren. Der Pflug schafft ein eher überlockertes Gefüge, das wiederum verdichtungsempfindlich ist (SOMMER, 1998b). Der grundsätzliche Ansatz zur Verminderung von Bodenverdichtungen beruht auf der Erhöhung der Bodentragfähigkeit (SOMMER, 1985; TEBRÜGGE, 1988; SOMMER & HARTGE, 1991), indem mit **nichtwendenden Lockerungsgeräten eine schonende Bodenlockerung** erfolgt (GRUBER, 1993; SEMMEL, 1993). Durch die geringere Überlockerung herrscht eine dichtere Bodenlagerung vor, die Bodenpartikel verfügen über eine größere Anzahl Berührungspunkte, die die aufgetragenen Spannungen besser ableiten können.

Für die Bodenbearbeitungsverfahren kann daraus gefolgert werden: die Bodentragfähigkeit steigt von der Bodenbearbeitung mit Pflug => Konservierende Bodenbearbeitung mit krumentiefer Lockerung => Konservierende Bodenbearbeitung ohne Lockerung (max. 10 cm) => Direktsaat ohne Bodenbearbeitung (Abb. 3.10).

Zusätzlich kann die Bodentragfähigkeit insbesondere der Tonminerale durch **Abtrocnung** gesteigert werden, da das Wasser als Gleitfilm fehlt, die Partikel gegeneinander zu verschieben. Trockene Bodenzustände leisten einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der Bodentragfähigkeit. Feldarbeitstage, Druschstage bzw. Befahrbarkeitstage sind deshalb bei Investitionen von Maschinen hinsichtlich Kapazitätsauslastung unbedingt mit zu berücksichtigen.

Die Erhöhung der Bodentragfähigkeit wird anhand einiger wissenschaftlicher Ergebnisse belegt: **Veränderungen im Bodengefüge nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung:** Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat führen gegenüber Pflugbearbeitung zu einer höheren Bodendichte. Diese ist im Sinne der Tragfähigkeit nur zu verantworten, wenn die unbearbeiteten Horizonte durchlässig sind für Luft, Wasser, Regenwürmer und Wurzeln. Beim Pflug können die Bodenfunktionen in der Schlepperradsole ggf. beeinträchtigt sein (LK 5,9 Vol.-%), verursacht durch vertikale Spannungen und Scherwirkungen (Schlupf) des Furchenrades (Tab. 3.4, S. 40). Auch ein Flügelschargrubber kann in der Mulchsaat-Variante (10–15 cm) zu ähnlichen Auswirkungen führen, wie es die Werte in 16 bis 22 cm Tiefe anzeigen (LK 6 Vol.-%).

Wird auf Bodenbearbeitung verzichtet (Direktsaat), ist das Bodengefüge insgesamt homogener und die festen Bodenbestandteile in der Krume lagern dichter. Trotzdem ist das Eindringen von Niederschlägen erleichtert, da stabile Krümel und günstige Porengrößenverhältnisse vorherrschen. Das ist insbesondere auf eine höhere biologische Vielfalt im Boden, verbunden mit höheren Regenwurmdichten bei Direktsaat zurückzuführen (VAN CAPELLE ET AL., 2012a). Die erhöhte Anzahl an Regenwürmern ermöglicht eine vermehrte biogene Neubildung an Bodenaggregaten und Makroporen (SCHRADER, 2001). Vor allem vertikale Bioporen mit hoher Kontinuität verbessern die Wasserführung und weisen eine mittlere bis hohe gesättigte Wasserleitfähigkeit (25 bis 55 cm pro Tag) auf. Durch die Verzahnung mit dem Unterboden gelingt es den Wurzeln, an die Wasser- und Nährstoffvorräte des Unterbodens zu gelangen (BISCHOFF, 2011). Die Erträge der Direktsaat fallen gegenüber den anderen Bodenbearbeitungsvarianten zwar gering ab, deuten aber auf keine Wachstumsstörungen, verursacht durch höhere Dichtlagerung des Bodens, hin.

Weitere, die Bodenstruktur stabilisierende Maßnahmen:

Als eine der wichtigsten begleitenden Lösungsansätze ist die **Gestaltung der Fruchtfolge** zu nennen. Sie dient nicht nur der besseren Auslastung von Maschinen und Geräten, sondern schafft insgesamt größere Zeitfenster, in denen Bodenbearbeitung und Ernte besser an optimale Bodenfeuchtegehalte angepasst werden können. Auch ist durch frühreife Früchte die **Integration von Zwischenfrüchten** eher möglich. Hiermit werden nicht nur die Zufuhr organischer Substanz und damit der Humusgehalt gesteigert (siehe S. 11 ff.), sondern auch die biologische Vielfalt im Boden sowie die Aktivität der Bodenorganismen erhöht. Die Pflanzenwurzeln, insbesondere von Zwischenfruchtgemischen, lockern den Boden bis in unterschiedliche Tiefe und können beim Vorhandensein von Leguminosen Luftstickstoff im Boden binden, was zu einer Einsparung von mineralischen Düngern in der Folgekultur führt. Weiterhin mindern Zwischenfrüchte die Auswaschung von Nährstoffen, regulieren den Wasserhaushalt und können phytosanitäre Effekte bewirken, wie die biologische Reduzierung von Nematoden. Insgesamt haben Zwischenfrüchte eine bodenaufbauende Wirkung, fördern ökosystemare Dienstleistungen durch Bodenorganismen und führen vor dem Hintergrund, Bodenverdichtungen zu vermeiden, zu einer Stabilisierung der Bodenaggregate.

Der Wechsel von Blatt- und Halmfrüchten erleichtert den Einsatz nichtwendender Bodenbearbeitungsverfahren hinsichtlich technischer und phytosanitärer Anforderungen. Die **Aufkalkung** des Bodens als strukturverbessernde Maßnahme soll nur der Vollständigkeit halber hier genannt werden.

Arbeitsverfahren bei der Bodennutzung

Zusammenlegen von Arbeitsgängen: Um die mechanische Belastung von Flächen umfassend darzustellen, helfen u. a. praktische Untersuchungen im Feld. Neben Radlast und Kontaktflächendruck ist die Überrollhäufigkeit in den Arbeitskettens von großer Bedeutung – die Entwicklung hin zu geringer Überrollhäufigkeit durch Gerätekopplung hat in den 1980er Jahren stattgefunden. Die Überrollhäufigkeit definiert die Überrollung des Bodens achsweise: eine Überfahrt mit einem gezogenen Gülletankwagen mit Tandemachsfahrwerk überrollt den Boden demnach 4-mal.

Beispielhaft wird eine Statuserhebung aus Südniedersachsen (BRUNOTTE ET AL., 2008) herangezogen, die einen Zeithorizont von 50 Jahren berücksichtigt und damit die landtechnische Entwicklung recht gut abbildet.

Während 1952 mehrfach einzelne Arbeitsgänge, bestehend aus Egge und Walze zu einer hohen Überrollhäufigkeit durch den Traktor führten und die Lagerungsdichte in der Krume erhöhten (Abb. 3.11), konnten 1982 durch Zusammenlegen von Arbeitsgängen in Form von Gerätekombinationen (Abb. 3.13, S. 38) in Verbindung mit einer erhöhten Schlagkraft durch größere Arbeitsbreiten eine Reihe von Überrollungen eingespart werden – dies führte zu einer geringeren Lagerungsdichte der Krume. Die Entwicklung von 1982 bis 2002 hat hier keinen weiteren Fortschritt gebracht.

Große Arbeitsbreiten beim Pflügen: bei Betrachtung von Krumenbasis und Unterboden fällt die Krumenbasisverdichtung 1982 auf (Abb. 3.11). Durch Krumenvertiefung und Pflugarbeit mitunter bei hohem Schlupf und feuchten Bodenbedingungen entstand eine deutliche Krumenbasisverdichtung. Die Untersuchungen von 2002 – weitere 20 Jahre später – belegen, dass sich dieser Trend aber nicht fortgesetzt hat.

Tab. 3.4: Bodenphysikalische Parameter bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung von stark tonigem Schluff (Ut4) nach 12 Versuchsjahren (BISCHOFF, 2011)

Bodentiefe [cm]	P 25 Pflug/Packer (25 cm Arbeitstiefe)	M 10–15 Grubber/ Scheibenegge (10 bis 15 cm Arbeitstiefe)	DS Direktsaat
	TRD [g/cm ³]	TRD [g/cm ³]	TRD [g/cm ³]
0–6	1,37	1,45	1,51
16–22	1,4	1,52	1,46
24–30	1,51	1,45	1,44
32–38	1,51	1,33	1,46
42–48	1,47	1,35	1,46
60–66	1,37	1,3	1,3
	LK [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	LK [Vol.-%]
0–6	14	10,3	7,4
16–22	12,2	6	6,7
24–30	5,9	8,7	6,8
32–38	6,4	12,8	8,1
42–48	8,4	12,4	10,8
60–66	11,3	14,3	15,5
	kf [cm/Tag]	kf [cm/Tag]	kf [cm/Tag]
0–6	109	53	25
16–22	127	37	42
24–30	40	74	44
32–38	47	114	54
42–48	50	87	39
60–66	89	78	127

TRD = Trockenrohdichte, LK = Luftkapazität, kf = gesättigte Wasserleitfähigkeit

Als Gründe dafür sind anzuführen:

- » eine Zurücknahme der Bearbeitungstiefe aus Kostengründen,
- » Fahren auf der Bodenoberfläche durch die Ausdehnung nichtwendender Bodenbearbeitungssysteme (in Deutschland heute mit einem Anteil von 40 bis 50 %),
- » Bearbeitung bei akzeptabler Bodenfeuchte durch hohe Schlagkraft,
- » technische Detailverbesserungen (Radialreifen mit geringem Innendruck von ca. 1 bar und Schlupfregelung beim Pflügen),
- » das Pflügen mit 4- bzw. 5-scharigen Pflügen gegenüber 2- bzw. 3-scharigen bewirkt eine Gewichtsverlagerung zum Landrad und eine Entlastung des Furchenrades (Abb. 3.12, S. 42).

Die Möglichkeiten, **Arbeitsgänge zu kombinieren**, werden in der „Definition und Einordnung von Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung“ vom KTBL anschaulich dargestellt (Abb. 3.14, S. 43). Da heute Förderprogramme oft an bestimmte Bodenbearbeitungsverfahren geknüpft sind, ist eine klare Definition unbedingt erforderlich.

Die Kombination von Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung und von Saatbettbereitung und Saat bzw. von Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat ist sowohl im System „wendende Bodenbearbeitung“ als auch im System nichtwendende Bodenbearbeitung“ möglich.

Die nichtwendenden Bearbeitungsverfahren haben sich neuerdings weiter differenziert durch die „partielle Bodenbearbeitung“ auch als Streifenbearbeitung bezeichnet. Hier werden die Effekte einer Bodenbearbeitung mit denen der Direktsaat verknüpft, um die Vorteile in Richtung Bodenschutz und Kosteneinsparung zu nutzen. Voraussetzung ist dabei die Nutzung genauester Parallelfahrssysteme im Zentimeterbereich, insbesondere wenn es zu einer Trennung von Bodenbearbeitung/Gülleausbringung und Saat kommt.

Grundsätzlich führt die Kopplung von Arbeitsgängen zu einer Reduzierung der Anzahl Überrollungen und damit zu einer Schonung von Krume und Unterboden. Wichtige Voraussetzungen sind allerdings, dass die Geschwindigkeit der unterschiedlichen Werkzeuge zueinander passt und dass die durch den ersten Geräteteil veränderte Bodenfeuchte an der Oberfläche und im Oberboden ein gutes Arbeitsergebnis des zweiten gekoppelten Werkzeuges, wie z. B. einer Rückverfestigungswalze, zulässt (Abb. 3.14, S. 43).

Die Bodenbearbeitung nimmt nach wie vor eine zentrale Rolle bei der Schonung der Bodenstruktur ein und beeinflusst mit der Lockerungsintensität die Tragfähigkeit des Bodens. Den Verfahren zur Bodenbearbeitung vorgeschaltet sind Maßnahmen, die Anforderungen der Feldhygiene und des Bodenschutzes berücksichtigen. So kann z. B. mit dem Einsatz eines Strohstriegels die Strohquerverteilung des Mähreschers verbessert bzw. die Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz eingeleitet werden.

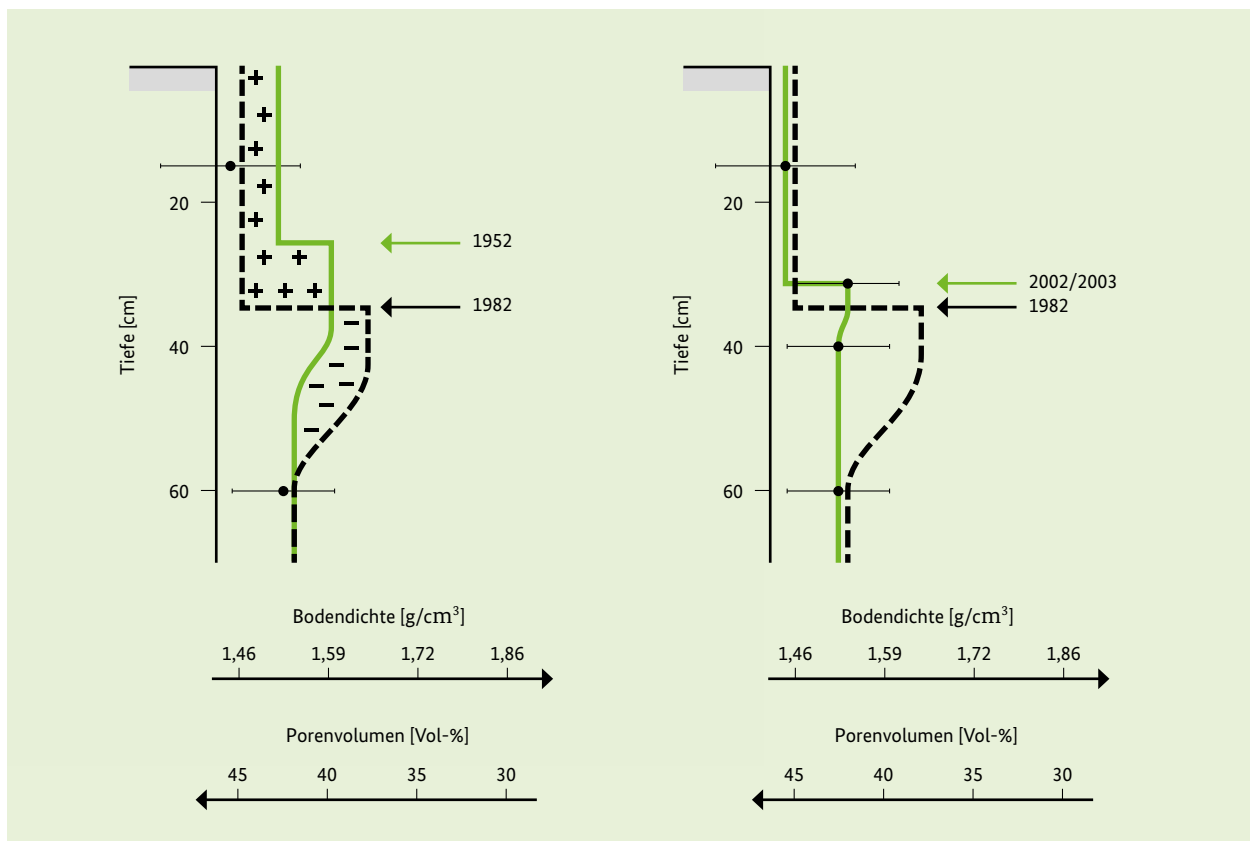


Abb. 3.11: Bodendichte/Porenvolumen von 144 Standorten in Südniedersachsen – tendenzieller Vergleich (RUHM, 1983; n. RUHM zitiert von SOMMER 1985; BRUNOTTE ET AL., 2008)

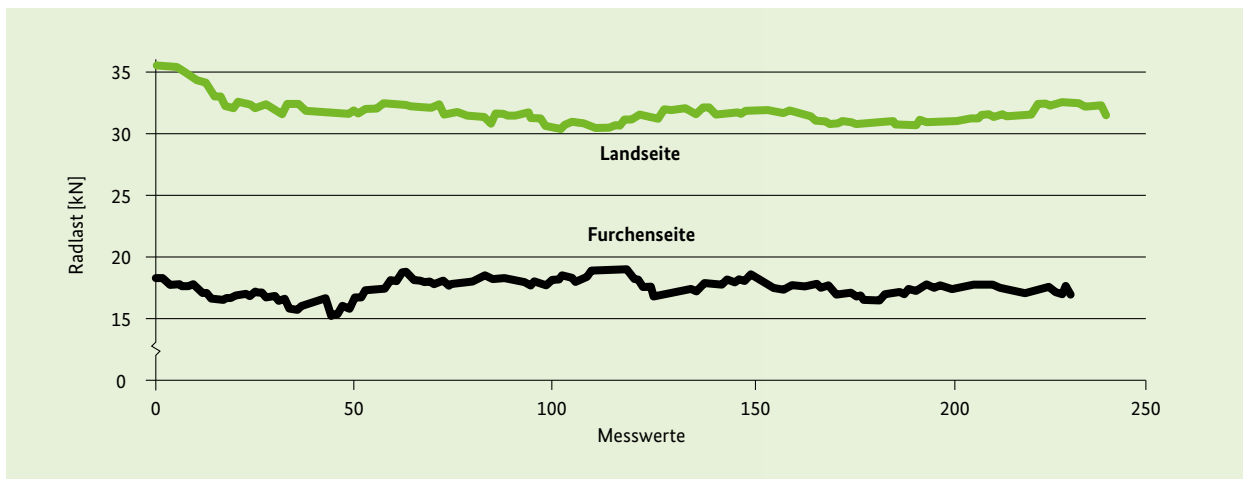


Abb. 3.12: Vergleich der Radlasten Landseite/Furchenseite am Hinterrad eines Traktors beim Pflügen Mittelwerte aus jeweils 6 aufeinanderfolgenden Messfahrten (BRUNOTTE ET AL., 2012)



Abb. 3.13: Messtraktor mit Kurzscheibenegge (Foto: J. Brunotte)

Im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes haben in den letzten Jahren Maßnahmen zur Nachzerkleinerung von Erntereststoffen immer größere Bedeutung bekommen:

Mulchen von Getreidestroh (nach Hochschnitt), Rapsstroh und Maisstoppeln soll die Rottegeschwindigkeit erhöhen, pilzliche Erreger abbauen und Überwinterungsquartiere von Schädlingen zerstören. Damit kann vorsorgend das Gefährdungsrisiko von Fusariosen im Getreide, Phoma bei Raps und Zünsler bzw. Wurzelbohrer bei Mais reduziert werden.

Vor dem Hintergrund der anstehenden Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen ist auch hier eine klare Definition von Maßnahmen zum Mulch und Häckseln wichtig (Abb. 3.15, S. 44). Selbst wenn der Begriff „Mulch“ bei der Bodenbearbeitung als „Mulchsaat mit/ohne Lockerung“ vorkommt, bezeichnet er zunächst das bei der Zerkleinerung von organischen Stoffen entstehende Produkt. Der Arbeitsschritt „Mulchen“ wird zum Kürzen von Aufwuchs/Stoppeln ohne beabsichtigten Bodeneingriff durch Abtrennen, Zerkleinern und flächendeckendes Ablegen von Mulchgut verwendet.

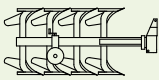


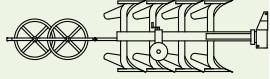
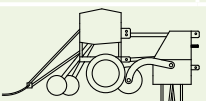

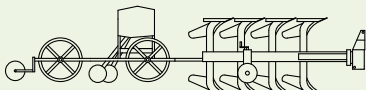
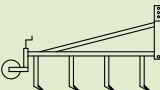


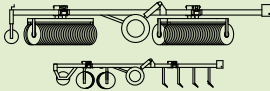
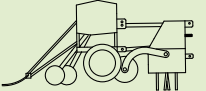

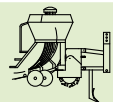
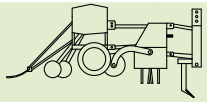
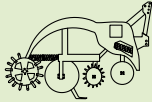
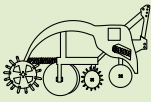
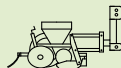
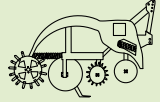

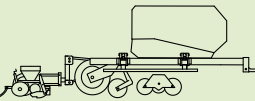
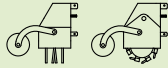
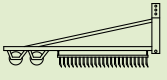

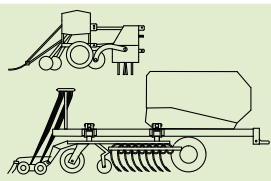
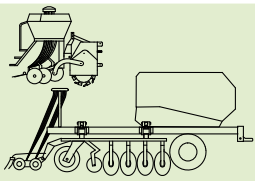
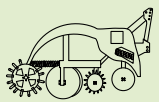
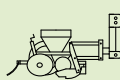
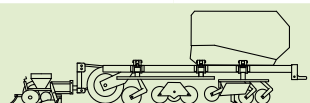
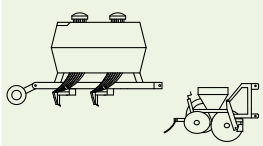
Verfahren	Grundbodenbearbeitung (intensive Lockerung)	Saatbettbereitung	Saat	Ablauf der Arbeitsgänge
Wendende Bodenbearbeitung				Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat getrennt
				Saatbettbereitung und Saat kombiniert
				Alle Arbeitsgänge kombiniert
Nichtwendende Bodenbearbeitung				Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat getrennt
				Saatbettbereitung und Saat kombiniert
				Alle Arbeitsgänge kombiniert
				partielle Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat getrennt
				partielle Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung kombiniert, Saat getrennt
				Alle partiellen Arbeitsgänge kombiniert
Nichtwendende Bodenbearbeitung				Ohne Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat getrennt
				Ohne Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat kombiniert
				Ohne Grundbodenbearbeitung, partielle Saatbettbereitung und Saat getrennt
				Ohne Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat kombiniert
Direktsaat				Ohne Bodenbearbeitung Bei der Saat werden weniger als 1/3 der Reihenweite bearbeitet. Die Bearbeitungstiefe ist die Saatgutablagertiefe.

Abb. 3.14: Verfahrenstechnik und Arbeitsgänge von Bodenbearbeitungs- und Bestellsystemen. Bei partiellen Verfahren werden weniger als 50% der Gesamtfläche bearbeitet. Pflanzenreste bleiben ganzjährig auf der nicht bearbeiteten Bodenoberfläche (KTBL, 2014a)

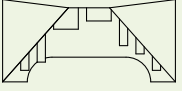
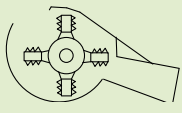
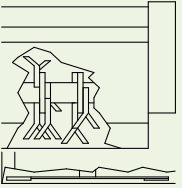
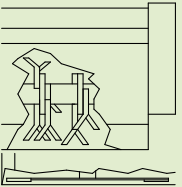

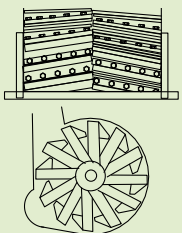
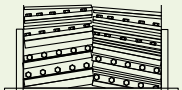
	Arbeitsverfahren	Verfahrenstechnische Betrachtung		Stoffliche Betrachtung	Technische Realisierung	
		Vorarbeits-schritt	Hauptarbeitsschritt	Ergebnis/Produkt	Beschreibung	Piktogramm
Mulchen	Kartoffelkraut mulchen		Abtrennen, Zerkleinern und Ablegen des Kartoffelkrauts	Mulchgut	Schlegelwerkzeug mit freiem Schnitt und an Dammform angepassten Durchmesser der Schlegelbahnen	
	Rübenblatt mulchen		Abtrennen, Zerkleinern und Ablegen der Rübenblätter	Mulchgut	Schlegelwerkzeug mit freiem Schnitt	
	Stoppeln und lose Pflanzenreststoffe mulchen		Abtrennen, Zerkleinern und Ablegen der Stoppeln und lose Reststoffe von Mais, Getreide, Ölfrüchten, Leguminosen,	Mulchgut	Schlegelwerkzeug mit freiem Schnitt Sichelmäher mit freiem Schnitt	
	<ul style="list-style-type: none"> » Landschaftspflegegrün » Zwischenfrüchte » Begleitgrün von Obst- und Weinkulturen » Wiesen und Weiden » mulchen 		Kürzen von Aufwuchs; Abtrennen, zerkleinern und Ablegen von Aufwuchs	Mulchgut	Schlegelwerkzeug mit freiem Schnitt Sichelmäher mit freiem Schnitt	
Häckseln	Strohhäckseln beim Mähdrusch	Abschneiden der Halme durch Schneidwerk, Dreschen und Reinigen	Häckseln und verteilen von Stroh	Mulchgut	Strohhäcksler mit Leitblechen oder Zentrifugalverteiler	
	Futterernte mit Exaktfeldhäcksler	Abschneiden der Halme/Stängel	Zerkleinern von Futterpflanzen	Häckselgut	Trommel- oder Scheibenradhäckselaggregat mit Gegenschneide und optionaler, zusätzlicher Fördereinrichtung	
	Holzernte	Absägen/abschneiden	Zerkleinern von Baumstämmen/Restholz	Häckselgut	Trommelhäckselaggregat mit Gegenschneide und optionaler, zusätzlicher Fördereinrichtung	

Abb. 3.15: Definitionen zu Mulchen, Häckseln, Schreddern, Schröpfen und Schlegeln (KTBL, 2014b)

Das Mulchen kommt im Bereich Landschaftspflege, Zwischenfruchtanbau, Stoppeln von Kulturpflanzen, Wiesen und Weiden sowie im Obst- und Weinbau zum Einsatz. Auch hier ist die Kopplung von Arbeitsgängen, wie z. B. Mulcher im Frontanbau und Kurzscheibenegge im Heckanbau, bei der Zerkleinerung von Zwischenfrüchten vor Zuckerrüben oder Mais durchaus praxisüblich.

Bei der Betrachtung des mechanischen Lasteintrages zählen sowohl die direkten Einflussgrößen wie Radlast, Kontaktflächendruck und Reifeninnendruck, als auch die Verteilung der Spuren über die Fläche in Verbindung mit der Überrollhäufigkeit. Als Indikatoren sind der Spurflächenanteil und die Anzahl Überrollungen zu nennen.

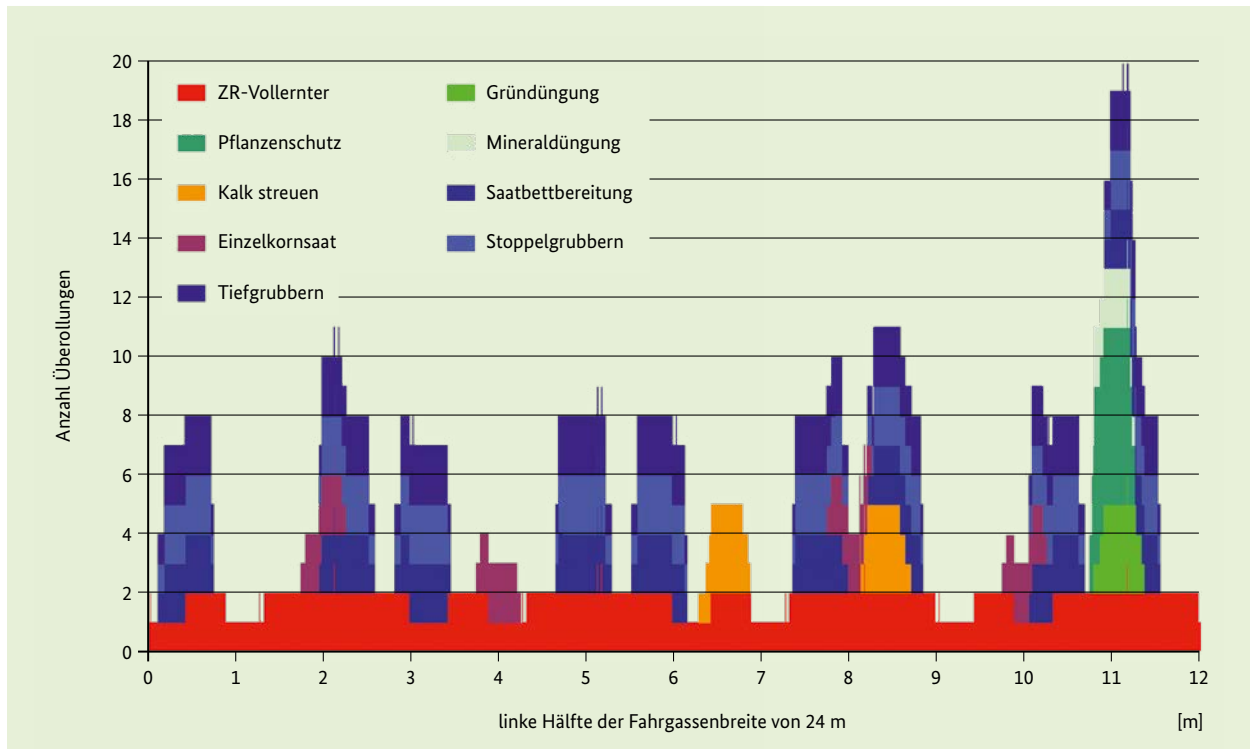


Abb. 3.16: Anzahl Überrollungen und Spurpositionen beim Zuckerrübenanbau (BRUNOTTE & FRÖBA, 2007)

In Abb. 3.16 sind am Beispiel des Zuckerrübenanbaus über 1 Jahr alle Arbeitsgänge dargestellt. Auffallend ist, dass die gesamte Fläche mindestens 1-mal überrollt ist und dass die Fahrgassen durch Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen mit bis zu 18 Überrollungen deutlich herausstechen.

Bei den Arbeitsverfahren insbesondere der Ernte ist die Abstimmung von Bunkerkapazität und Schlaglänge für die Belastung der Fläche von entscheidender Bedeutung. Dies wird in Abb. 3.17 am Beispiel der Zuckerrübenernte deutlich. Bei den kurzen Schlaglängen 400 und 600 m passt das Erntegut einer Hin- und Rückfahrt in den Bunker.

Wird aufgrund kritischer Bodenzustände beidseitig abbunkert, um Radlast und Reifeninnendruck reduzieren zu können, entsteht im Vergleich zum einseitigen Entleeren ein höherer Arbeitszeitbedarf – die Flächenleistung sinkt geringfügig. Passt allerdings die gesamte Runde nicht in den Bunker (z. B. bei 800/1.000 m langen Schlägen), tritt zusätzlicher Arbeitszeitbedarf für das nebenherfahrende Transportfahrzeug auf. Hier ist das beidseitige Abbunkern sowohl vom Arbeitszeitbedarf als auch vom Lasteintrag her sehr viel günstiger zu beurteilen. Diese Trends entstehen unabhängig davon, ob der Ackerschlag 20 oder 60 ha groß ist.

Die **dauerhafte Trennung von Spur- und Anbaufläche** wird als „controlled-traffic-farming“ (= CTF) bezeichnet: Neue Ansätze sind etwa Beetkulturen im Gartenbau, Fahrgassensysteme bis hin zu „controlled-farming-systems“ in Verbindung mit DGPS-Techniken im Ackerbau und Feinerschließungsnetze in der Forstwirtschaft.

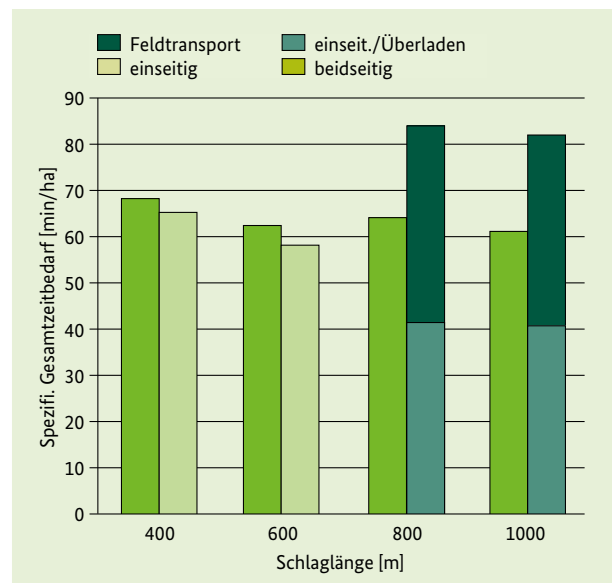


Abb. 3.17: Spezifischer Gesamtzeitbedarf bei der Zuckerrübenernte (sechsstreihig, 24 t Nutzmasse, Ertrag 60 t/ha) mit ein- und beidseitiger Mietenanlage (BRUNOTTE & FRÖBA, 2007)

Dem Konzept von CTF liegt zugrunde, dass 80% der Verdichtungsschäden bei der ersten Befahrung auftreten und dass sich die Bodenstruktur je nach Arbeitsbreite auf ca. 2/3 der Fläche ungestört entwickeln kann. Zielparameter sind erhöhte Wasserinfiltration, verminderte Erosionsanfälligkeit, unbehinderter Gasaustausch, verbesserte Feldaufgänge, intensivere Durchwurzelung, stabilere Erträge und geringerer Energiebedarf bei der Bodenbearbeitung (TULLBERG, 2001; CHAMEN, 2006; HOLPP ET AL., 2011; DEMMEL ET AL., 2010).

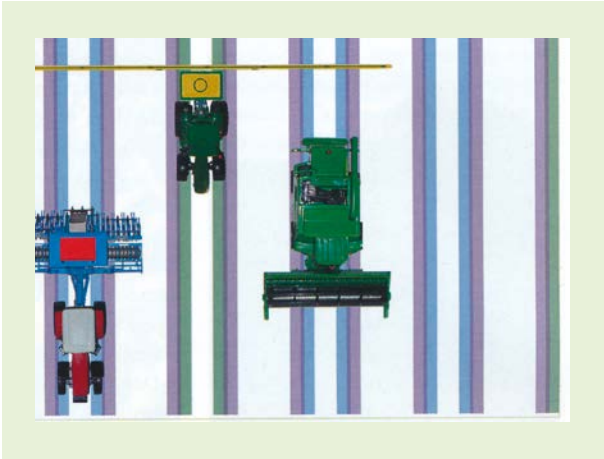


Abb. 3.18: Kontrollierte Befahrung mit aufeinander abgestimmten Arbeitsbreiten. Bestellkombination 6 m, Pflege 18 m, Mähdrrescher 6 m (HOLPP ET AL., 2011)

Die größte Verbreitung hat CTF in Australien mit der Integration aller Arbeitsgänge. In Europa befindet sich CTF noch in der Entwicklungsphase und wird von mehreren Institutionen untersucht. Als Arbeitsgänge werden Bestellung, Pflegemaßnahmen und Ernte von Mähdruschfrüchten berücksichtigt (Abb. 3.18).

Technische Möglichkeiten zur Minderung von Spannungen im Boden

Haben sich die ersten beiden Strategien mit der Erhaltung/ Verbesserung der Tragfähigkeit und der Anpassung von ganzen Arbeitskettens befassen, geht es bei den technischen Möglichkeiten um Detailverbesserungen einzelner Fahrzeugparameter, damit eine **Anpassung an die Verdichtungs-empfindlichkeit der Böden** erfolgen kann. Wichtiger Bestandteil ist dabei die Planung des Maschineneinsatzes bei anstehenden Investitionen und des Ernteeinsatzes sowie die Erfolgskontrolle auf dem Acker.

Jüngere Fahrwerksentwicklungen wie Gummibandlaufwerke, Dreirad- und Fünfradfahrzeuge und Fahrwerke mit Knickgelenk helfen durch kontinuierlich spurversetztes Fahren, die Gesamtlast auf einer breiten Fläche abzustützen und damit die Überrollhäufigkeit zu mindern. Bandlaufwerke sind integraler Bestandteil des Fahrzeugkonzeptes und werden vielfach in Kombination mit Reifen-Fahrwerken eingesetzt.

Abb. 3.19 zeigt für Traktoren, selbstfahrende Arbeitsmaschinen sowie für gezogene Geräte und Transportanhänger

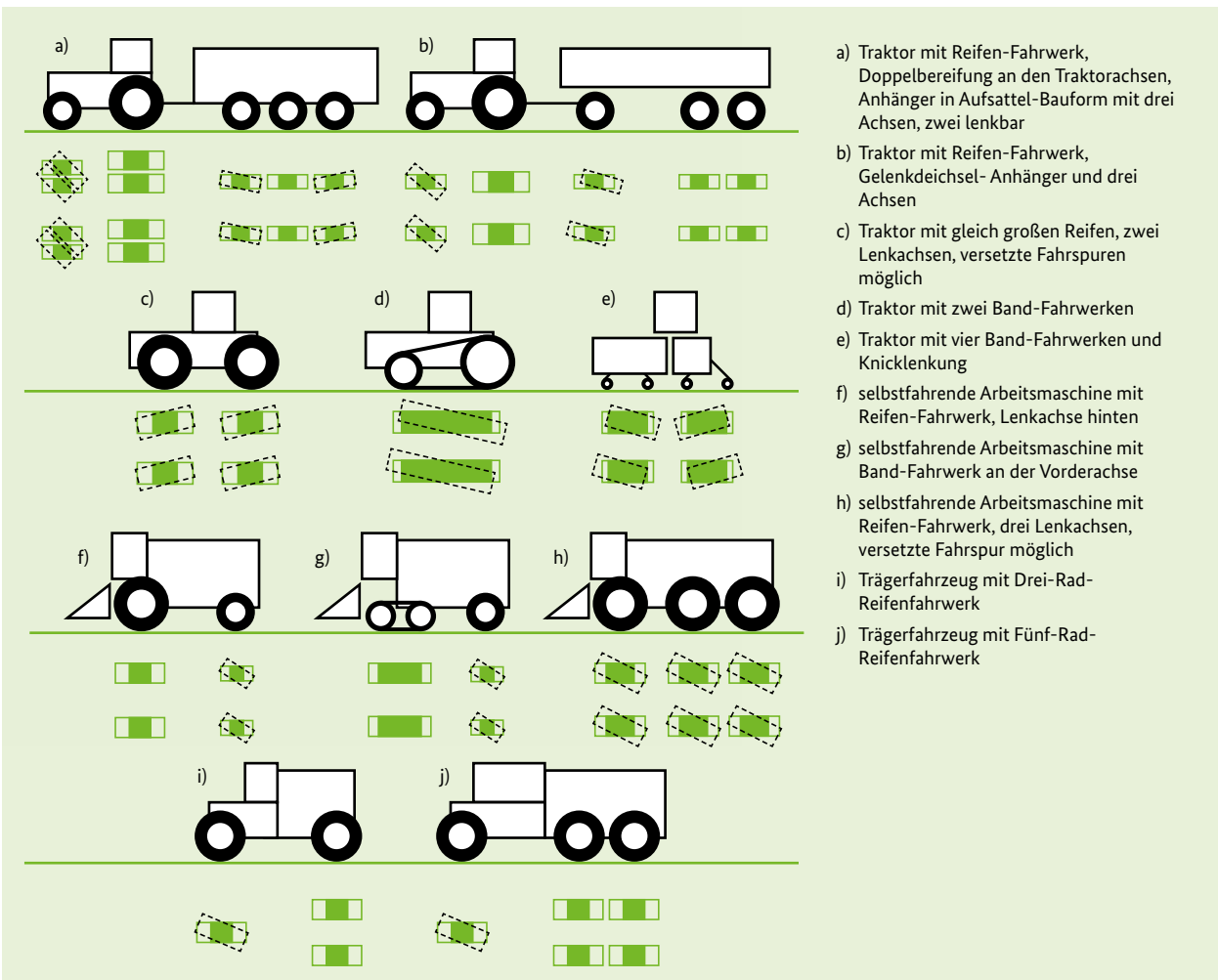


Abb. 3.19: Reifen- und Band-Fahrwerke an landwirtschaftlichen Fahrzeugen (nach FRERICH, 2004; VDI 2007, geändert)

mögliche Fahrzeug-Fahrwerk-Kombinationen (VDI, 2007). Bei der Bodenbearbeitung und Bestandesführung kann durch den Übergang von Anbau- hin zu Aufsattelgeräten die Traktorhinterachse besonders am Vorgewende entlastet werden (BRUNOTTE ET AL., 2011b).

Der Verringerung des Kontaktflächendrucks (in der Berührungsfläche Reifen/Boden) durch Zwillingsräder, Breitreifen und Gummibandlaufwerke wurde in der Vergangenheit große Aufmerksamkeit geschenkt. Bei der Reifenentwicklung lösten Radialreifen die Diagonalreifen ab (Abb. 3.20). Die flexible Flanke der Radialreifen kann stark einfedern, sodass aufgrund verlängerter Kontaktflächenzonen der Kontaktflächendruck sinkt, Triebkraftbeiwert und Fahrkomfort des Reifens steigen. Die Vergrößerung der Aufstandsfläche hat bei gleicher Radlast die Verringerung des Kontaktflächendrucks zur Folge. Dies führt zu geringem Bodendruck insbesondere in der Ackerkrume. Großvolumige Reifen können heute bei einem Kontaktflächendruck von 1 bar (= 100 kPa) Radlasten bis 10t abstützen.

Für die Anpassung des Reifeninnendruckes an veränderte Radlasten stehen heute Hand-, halbautomatische und vollautomatische Reifeninnendruck-Verstellanlagen zur Verfügung. Insbesondere im Bereich der Gülleausbringtechnik werden Verstellanlagen an den Gülletankwagen, die sowohl Straßen- als auch Feldtransport übernehmen, eingesetzt. Dabei stehen Bodenschonung und Haltbarkeit der Reifen im Vordergrund.

Allerdings kann bis heute ohne Kenntnis der dynamischen Radlast das Potenzial der Reifen für eine maximale Bodenschonung nicht ausgeschöpft werden. Am Ende des Kapitels (S. 49) wird eine technische Weiterentwicklung beschrieben,

die den Reifeninnendruck an die dynamische Radlast anpasst und ihn automatisch regelt. Prototypen befinden sich im praktischen Einsatz. Um Maschinen und Geräte grundsätzlich an die Verdichtungsempfindlichkeit von Böden anpassen zu können, ist ein Planungsinstrument für Maschineninvestitionen und -einsatz erforderlich, gefolgt von einer In-situ-Kontrolle auf dem Acker. Das Planungsinstrument ist eine durch ein Expertensystem gestützte **Entscheidungsmatrix**, in die eine Vielzahl von Ergebnissen wissenschaftlicher Belastungsversuche eingeflossen ist. Ein praxistaugliches Multisensorsystem hilft dann, die ausgewählten Maßnahmen in ihrer Effizienz zu überprüfen.

Bei der **Nutzung technischer Möglichkeiten** geht es nicht allein um die Vorstellung und Beschreibung technischer Bauteile und Fahrwerke, sondern gerade auch um Einsatz und Koordinierung von Techniken für einen vorsorgenden Bodenschutz. D. h. wie kann der Maschineneinsatz standortabhängig geplant und durchgeführt werden, bezogen auf die Investition und den praktischen saisonalen Einsatz.

Die Bestimmung der standortabhängigen Verdichtungsempfindlichkeit hat in der Planungsphase großen Einfluss auf die Investition einer Maschine, weil bei der Größe (= Arbeitsbreite, Motorleistung) die Auslastung (= Kampagneleistung) zugrunde gelegt wird. In niederschlagsreichen Regionen stehen weniger Befahrbarkeitstage zur Verfügung, sodass die Auslastungsgrade geringer anzusetzen sind und für einen rentablen Einsatz nur die Nutzungsdauer über die Jahre erhöht werden kann. Es helfen grundsätzlich zwei Instrumente, **Maschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit** anzupassen. Sie können unabhängig vom Standort und von der eingesetzten Technik genutzt werden:

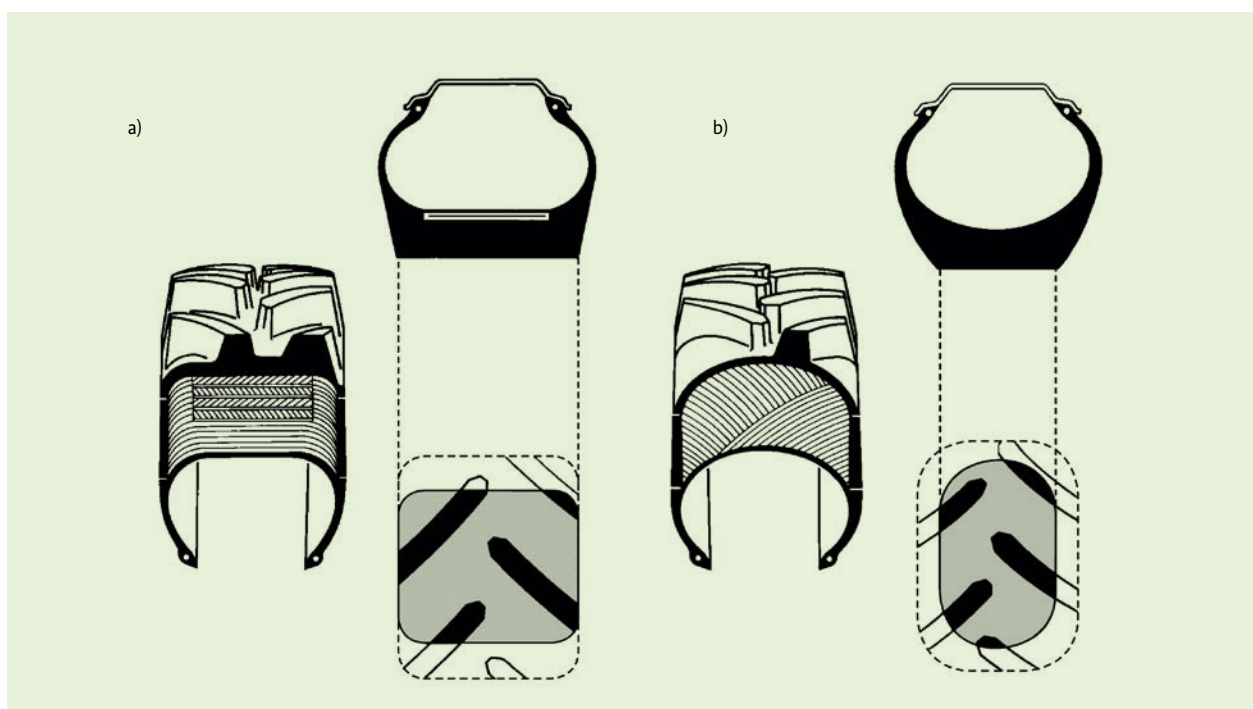


Abb. 3.20: Aufbau und Kontaktfläche eines Radialreifens und eines Diagonalreifens (aus DLG-Merkblatt 356)

- » Entscheidungsmatrix für den standortangepassten Maschineneinsatz als Planungsinstrument,
- » Instrument der Erfolgskontrolle – Multisensorsystem als zukünftige Technologie.

Die Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit zur „Anpassung des Maschineneinsatzes an die standortabhängige Verdichtungsempfindlichkeit“ ist abgeleitet aus regionalen Staturerhebungen und einer Reihe von praxisorientierten Belastungsversuchen (BRANDHUBER ET AL., 2008; BRUNOTTE, 2007; ISENSEE & SCHWARK, 2006; KOCH ET AL., 2002; SOMMER & BRUNOTTE, 2003; VORDERBRÜGGE & BRUNOTTE, 2011; weiterführende Literatur siehe Literaturverzeichnis, S. 72). Sie wurde in ein Expertensystem zur Bodenschonung zusammengeführt (LORENZ ET AL., 2016). Zur Verknüpfung der standortabhängigen Verdichtungsempfindlichkeit von Böden mit der mechanischen Belastung durch Landmaschinen wurde ein Schema von Brunotte et al., (2015, verändert nach Chamen et al., 2003) verwendet und angepasst (vgl. Abb. 3.21). CHAMEN ET AL. (2003) wiesen damit auf EU-Ebene auf die Notwendigkeit einer „Anpassung von Maschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit von Böden“ hin.

Auf der X-Achse ist die standortabhängige Verdichtungsempfindlichkeit abgetragen, die in erster Linie die Bodenfeuchte und Bodenart berücksichtigt. Hierbei werden die Bodenarten sowohl hinsichtlich ihres Ton- und Feinschluffgehaltes, als auch ihrer Wasserretentionsfunktionen klassifiziert (LORENZ ET AL., 2016; AG BODEN, 2005; PETELKAU ET AL., 2000). Dadurch wird es möglich die Einflüsse des Tongehaltes und des unterschiedlichen Verhaltens der Böden bei unterschiedlichen Feuchtgehalten zur Ableitung der

Verdichtungsempfindlichkeit mit zu berücksichtigen. In Abhängigkeit der Bodenart und Bodenfeuchte lässt sich so tagenau die Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens bestimmen und einer der 5 Verdichtungsempfindlichkeitsklassen zuordnen (vgl. Abb. 3.21)

Auf der Y-Achse wird das Ausmaß der mechanischen Belastung anhand von 6 Indikatoren bewertet, die es ermöglichen die Maschinen nach ihrem Lasteintrag von „sehr hoch – sehr gering“ einzustufen (LORENZ ET AL., 2016). Die Vorsorge zum Bodenschutz folgt dem Grundsatz: „Die Maschinenparameter sind nach der Verdichtungsempfindlichkeit des Standortes auszurichten!“. Generell wird durch die Entscheidungsmatrix Befahrbarkeit ein Vergleich zwischen der Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens mit der mechanischen Belastung durch die Maschine oder Verfahrenskette vorgenommen. Übersteigt die mechanische Belastung (Y-Achse) die Belastbarkeit des Bodens (X-Achse), so kommt es zu Bodenverdichtungen. Zur Abgrenzung des Risikos einer schädlichen Bodenverdichtung dient die diagonale Linie in Abb. 3.21. Bei hohen Verdichtungsempfindlichkeiten des Bodens darf nur mit sehr geringen mechanischen Belastungen befahren werden. Bei sehr geringen Verdichtungsempfindlichkeiten kann hingegen auch mit hohen mechanischen Belastungen gefahren werden. Bei sehr hohen Verdichtungsempfindlichkeiten des Bodens oder sehr hohen mechanischen Belastungen ist jedoch auch hier Vorsicht geboten bzw. sollte auf eine Befahrung verzichtet werden. Eine konkrete Beurteilung ganzer Mechanisierungsketten (Mähdrusch, Silomais häckseln, Zuckerrüben roden, Kartoffeln roden, Ausbringung organischer Nährstoffe) erfolgt in den Fallbeispielen zur Guten fachlichen Praxis ab Seite 51.

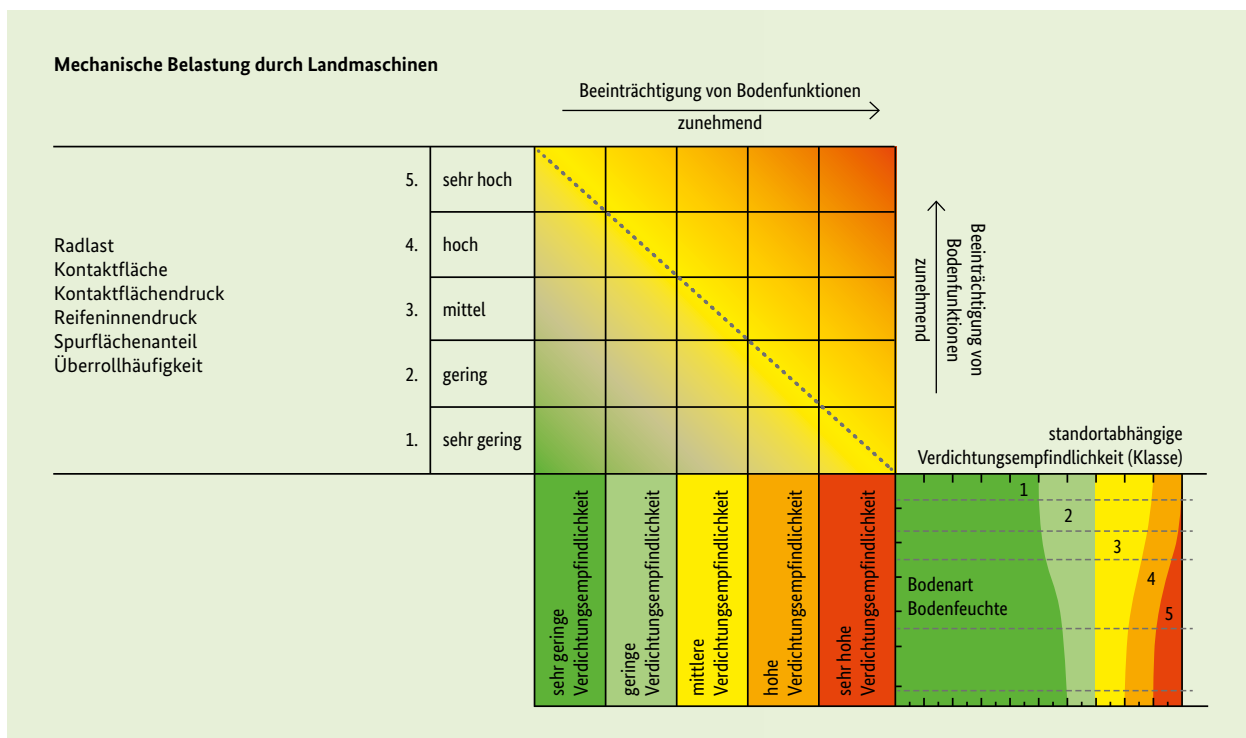


Abb. 3.21: Entscheidungsmatrix für den standortangepassten Maschineneinsatz als Planungsinstrument (LORENZ ET AL., 2016)

Ausblick und zukünftige Entwicklung

Die Entscheidungsmatrix ermöglicht eine grobe Planung des Maschineneinsatzes in Abhängigkeit von der mittleren Niederschlagsverteilung über das Jahr. Der aktuelle Bodenzustand zum Zeitpunkt des Befahrens kann allerdings nur vor Ort berücksichtigt werden. Um die Auswirkungen der Befahrung sichtbar zu machen, kann ein **Multisensorsystem** (Abb. 3.23, S. 50) hilfreich sein. Die Nutzung von Sensorik stellt bei dieser Problematik einen Ausblick zukünftiger landtechnischer Entwicklungen dar. Zurzeit existiert ein Prototyp, der in einer Reihe von Landmaschinen wissenschaftlichen Untersuchungen dient. Der nächste Schritt wäre eine industrielle Produktion.

Um dynamische Befahrungseffekte abzubilden, sind In-situ-Messungen erforderlich. Bekannte etablierte Messungen zum Bodendruck (starre und flexible Sonden => BOLLING, 1987; STAHL ET AL., 2005; LEBERT, 2010) geben einen indirekten Hinweis auf die im Boden unter Last auftretenden Verformungsprozesse. Durch den Bodendruck induzierte Setzungen werden dabei nicht erfasst. Die Verformung des Bodens unter Last wird an der Bodenoberfläche durch Ausbildung einer Fahrspur sichtbar. Aus dem Bestreben, die Fortsetzung dieser vertikalen Bodenbewegung von der Oberfläche in die Tiefe des Bodens zu verfolgen, entstand die grundlegende Idee zur In-situ-Messung der Bodensetzung in unterschiedlichen Tiefen (DANFORS, 1974; ARVIDSSON ET AL., 2001).

Da der Aufwand zur Errichtung derartiger Messstellen sehr hoch war, haben NOLTING ET AL. (2006) eine Schlauchwaage modifiziert und ein hydrostatisches Niveau-Messgerät

entwickelt, das den **1. Baustein des Multisensorsystems** darstellt (Abb. 3.23, S. 50). Die Setzungen im Boden können als Höhenunterschiede mit einer Auflösung von 0,1 mm gemessen werden (siehe Seiten 32, 34, 50, 54).

Durch die Messung zur Bodensetzung allein kann noch keine direkte Aussage über den aktuellen Zustand der Funktionalität des Gefüges getroffen werden, aber es ist eine Prognose möglich, ob durch die Befahrung mit einer Verschlechterung der Ausgangssituation zu rechnen ist.

Die nachgeschaltete Feldgefügeansprache (s. S. 36), ggf. ergänzt durch bodenphysikalische Untersuchungen, gibt Auskunft, ob bereits eine Beeinträchtigung der Bodenfunktionen im Sinne des BBodSchG §17 vorlag bzw., ob es durch die Befahrung zu einer Schädigung gekommen ist (siehe Fallbeispiel „Veränderung der gesättigten Wasserleitfähigkeit bei der Silomaisernte“, Abb. 3.31, S. 57).

Den **2. Baustein des Multisensorsystems** stellt ein Ultraschallsensor unter der Maschinenachse dar (Abb. 3.23, S. 50), der eine Online-Messung der Spurtiefe ermöglicht. Eine Verknüpfung mit der Setzung erfolgt, indem die vertikale Bodenbewegung nach unten mit Hilfe der Setzungsmessung erfasst wird. Zeigt diese eine bleibende Bodensetzung (= plastische Verformung) an, müssen Fahrzeugparameter an den kritischen Bodenzustand angepasst werden. Hierzu ist ein **2. Ultraschallsensor in der Felge (= 3. Baustein des Multisensorsystems)** erforderlich, weil er die aktuelle Reifen-Einfederung misst, die eng korreliert mit der dynamischen Radlast.

Für den Reifenhersteller existiert intern ein Maximalwert, bei dem es zu keiner Schädigung des Reifens kommt und



Abb. 3.22: Ultraschallsensor in der Felge (Foto: Ortmeier, TI)

gleichzeitig eine maximale Kontaktfläche realisiert wird. Aus dieser maximalen Einfederung werden die Werte in den Reifentabellen abgeleitet, die bei einer bestimmten Radlast und Fahrgeschwindigkeit einen konkreten Reifeninnendruck vorschreiben.

Die **Reifen-Einfederung** ist demnach der Regelparameter, der eine Reifendruck-Verstellanlage in eine **vollautomatische Reifeninnendruck-Regelanlage** verwandeln kann. Damit würde beim Regeln des Reifeninnendruckes die dynamische Radlast berücksichtigt und die maximal mögliche Kontaktfläche eingestellt, bei gleichzeitiger Vermeidung von

Reifenschäden. Mit dieser Technologie wird im Sinne des Bodenschutzes unter den gegebenen Rahmenbedingungen der geringstmögliche Bodendruck realisiert – hier ist die Landtechnikindustrie gefordert, diese Innovation zukünftig in die Landmaschinen einzubauen.

Beispiele zur Anwendung von Entscheidungsmatrix und Erfolgskontrolle werden im folgenden Kapitel ab S. 51 „Maßnahmenkatalog – 15 Fallbeispiele für Gute fachliche Praxis“ ausgeführt und belegen den Nutzen für die Bodenschonung. Bei der Messung der Bodensetzung handelt es sich um keine neue Methode (ARVIDSSON ET AL., 2001), sondern lediglich

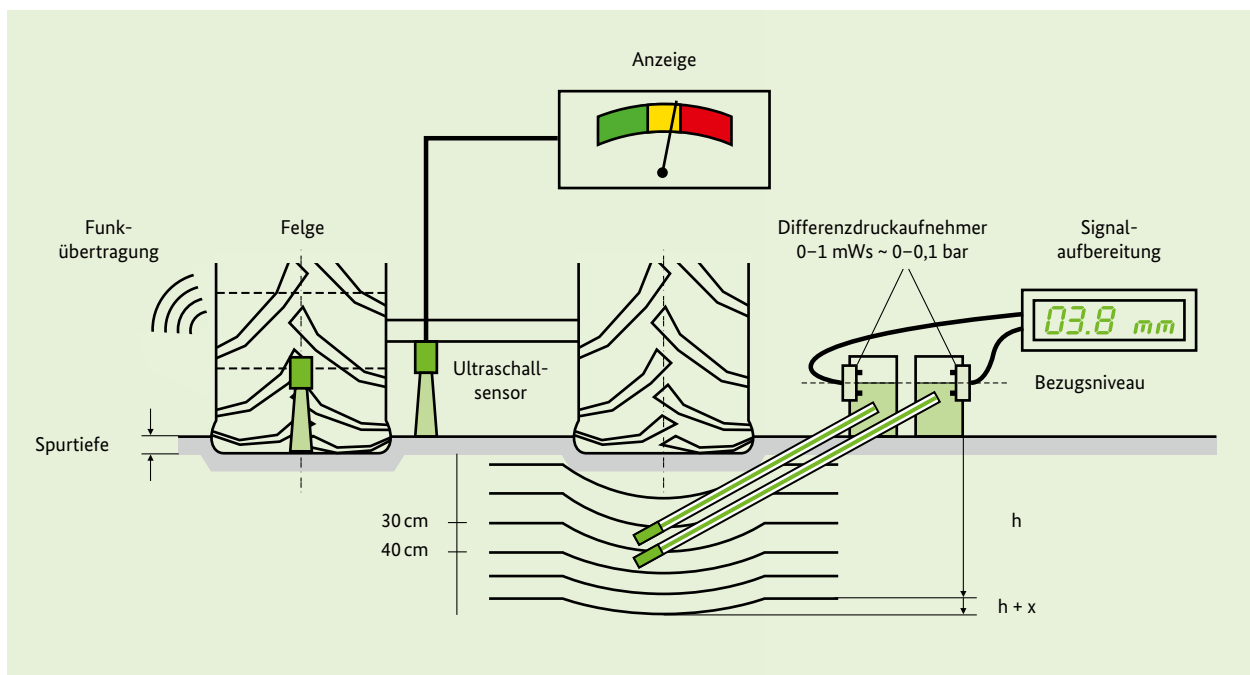


Abb. 3.23: Hydrostatische Setzungsmessung und Multisensorsystem an landwirtschaftlichen Maschinen – Prototyp (NOLTING ET AL., 2006)

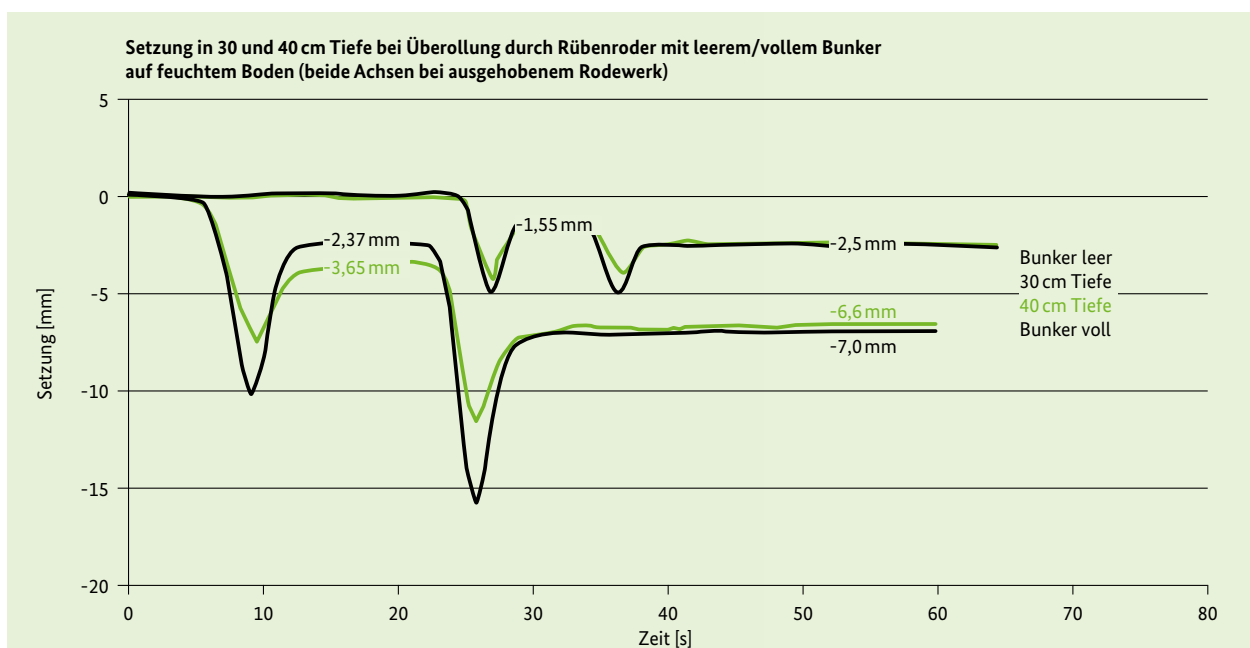


Abb. 3.24: Bodensetzung unter 6-reihigem Köpfrödebunker bei unterschiedlicher Bunkerfüllung (nach Pflugfurche zu Rüben) (NOLTING, 2006)

um eine Modifikation, die in kurzer Zeit eine Vielzahl von reproduzierbaren Messungen zulässt. Während es sich bei den bekannten Bodendruckmessungen um eine Momentaufnahme handelt (siehe S. 29 ff.), kann mit der Bodensetzung eine Veränderung angezeigt werden und ebenso, ob eine elastische bzw. plastische Verformung vorliegt. Die Bodensetzung in z. B. 40 cm Tiefe gibt die Fortsetzung der vertikalen Bodenbewegung von der Oberfläche in die Tiefe an. Damit wird die Spurtiefe hinsichtlich des Unterbodenschutzes interpretierbar.

Abb. 3.24 zeigt die Bodensetzung in 30 und 40 cm Tiefe bei unterschiedlicher Bunkerfüllung. Bei leerem Bunker (6 t) verursacht der Rübenroder 4 cm Spurtiefe, die in beiden Tiefen zu einer bleibenden Setzung (= plastische Verformung) von 2,5 mm führt. Bei vollem Bunker (10 t) werden 9 cm Spurtiefe erzeugt mit einer bleibenden Setzung von 7 mm in 30 cm Tiefe und 6,6 mm in 40 cm Tiefe. Inwieweit dies zu einer Beeinträchtigung der Bodenfunktionen führt, muss jeweils durch weitere bodenphysikalische Untersuchungen geklärt werden.

Maßnahmenkatalog – 15 Fallbeispiele für Gute fachliche Praxis nach dem Konzept für bodenschonendes Befahren

Während im vorherigen Kapitel grundsätzliche wissenschaftliche Erkenntnisse zur Veränderung der Bodenstruktur beim Befahren des Bodens mit Landmaschinen vorgestellt wurden, geht es in diesem Kapitel um praktische Beispiele und Maßnahmen zur Bodenschonung. Sie sollen auf der einen Seite die Vielzahl der standort-, betriebs- und fruchtfolgespezifischen Möglichkeiten aufzeigen und andererseits die Berater, Landwirte und Lohnunternehmer inspirieren, in bodenschonende Techniken zu investieren bzw. Arbeitsketten so umzugestalten, dass kritische Bodenzustände bei der Bewirtschaftung berücksichtigt werden.

Acker- und pflanzenbauliche Vorsorgemöglichkeiten

Beispiel 1: Auswirkungen auf die Bodenstruktur bei der Zuckerrübenenernte nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung

- (1) **Skizze:** Die Tragfähigkeit/Befahrbarkeit nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung kann überprüft werden im Rahmen eines Befahrungversuches mit hohen Radlasten, z. B. eines 6-reihigen Köpfrödebunkers. Als Parameter eignen sich visuelle Parameter, wie die Spurtiefe, als auch Bodenparameter, wie Bodendruck und Bodensetzung.

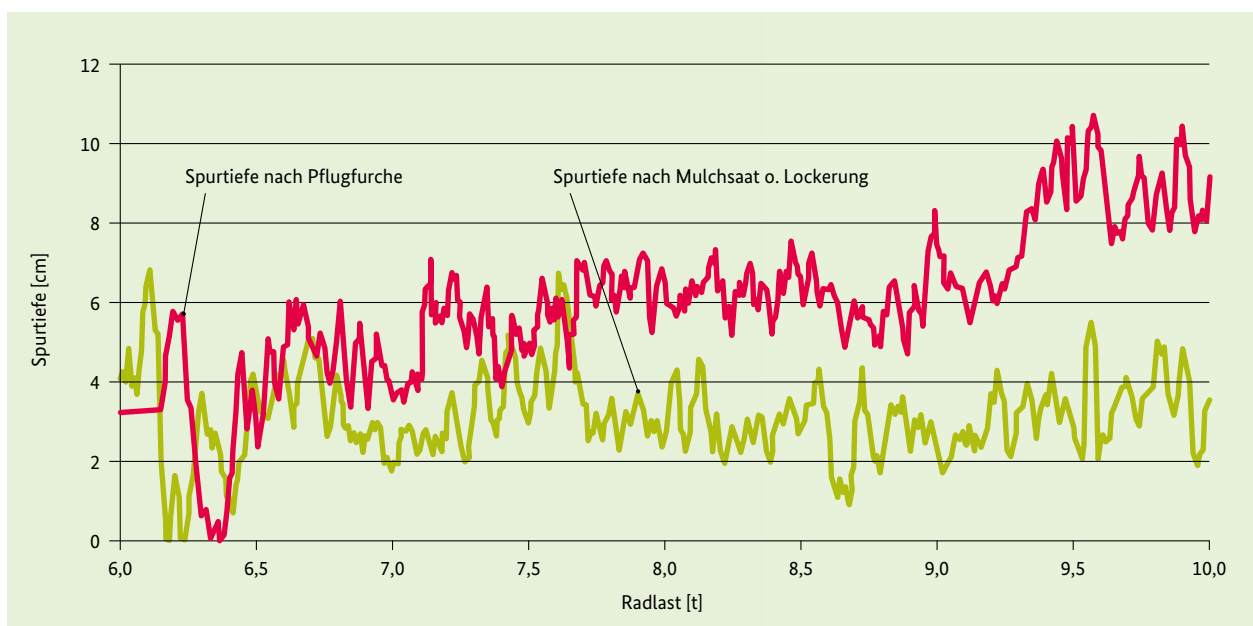


Abb. 3.25: Spurtiefe eines 6-reihigen Köpfrödebunkers nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von der Bunkerfüllung (SOMMER ET AL., 2001a)

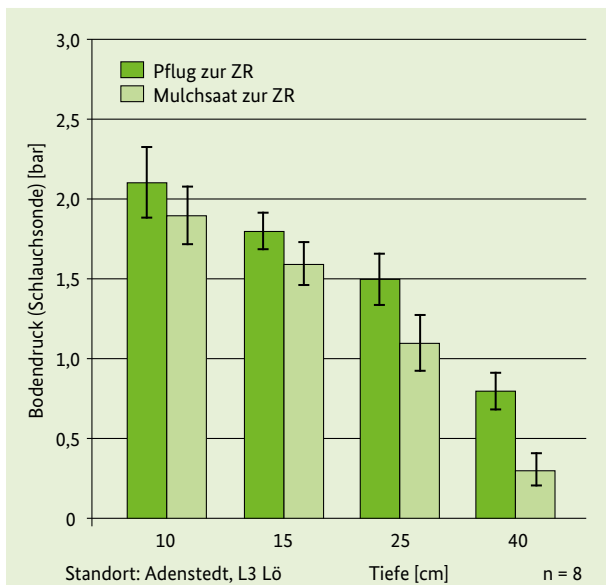


Abb. 3.26: Bodendruck unter dem Vorderrad eines 6-reihigen Köpfrödebunkers bis in 40 cm Tiefe – Ut3, Löss (SOMMER ET AL., 2001b)

- (2) **Nachweis der Wirkung:** Die Spurtiefe kann an der Bodenoberfläche als sichtbarer Ausdruck der Befahrbarkeit genutzt werden – ein Parameter, der für den Praktiker hilfreiche Information liefern kann. Die Spur fasst die Summe aller Kräftewirkungen in der Kontaktfläche Reifen/Boden zusammen und ist damit das Ergebnis der Interaktion zwischen der aktuellen Bodenstabilität (Bodenfeuchte, Humus, Lagerungsdichte, Aggregation) und maschinenspezifischen Parametern (Reifenbauart, -innendruck, Kontaktfläche, Radlast, Triebbradschlupf, Überrollhäufigkeit).

Abbildung 3.25 (siehe S. 51) zeigt den Verlauf der Spurtiefe nach Pflug und Mulchsaat ohne Lockerung mit zunehmender Bunkerfüllung eines Rübenrodgers. Während die Spurtiefe nach konservierender Bodenbearbeitung bei einer Radlaststeigerung von 6 auf 10 t nahezu konstant bleibt, steigt sie nach konventioneller Bodenbearbeitung von 4 auf 9 cm an. Aufgrund dichter Ausgangslagerung und stabilerer lebendverbauter Aggregate wird durch konservierende Bodenbearbeitung eine bessere Tragfähigkeit erreicht. Der Boden wird unter einem Reifen nach mehreren Seiten verdrängt. Da sich der Boden in keinem geschlossenen Behälter befindet, kann er zur Seite, nach vorn und hinten und nach unten ausweichen. Vor dem Hintergrund eines vorsorgenden Unterbodenschutzes sind besonders die vertikalen Bodendrucke wichtig. Sie wurden mit flexiblen Sonden (= Bollingsonden) gemessen. Bei Pflugfurche beträgt der Bodendruck unter 11 t Radlast (800/65 R 32) in 10 cm Tiefe 2,2 bar – er entspricht damit etwa dem Reifennendruck von 2,3 bar (Abb. 3.26). Nach Pflug wird der Druck bis auf 0,8 bar in 40 cm Tiefe abgebaut. In der Mulchsaat ohne Lockerung beträgt der Bodendruck im nahen Unterboden nur noch 0,3 bar – ein Zeichen für einen verbesserten Unterbodenschutz.

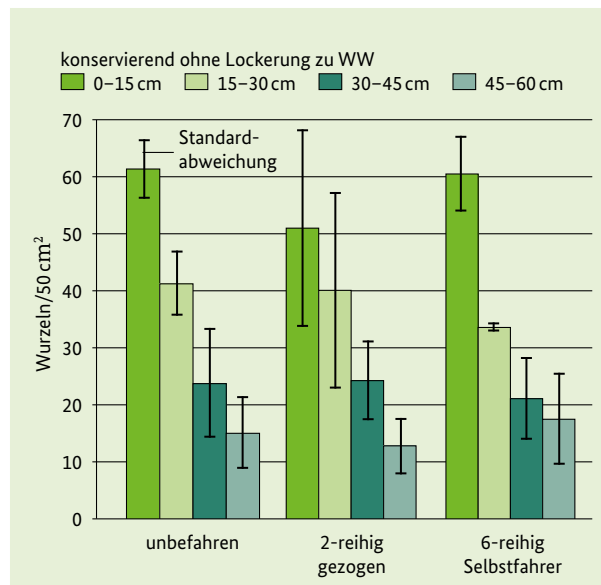


Abb. 3.27: Wurzeldichte bei Winterweizen nach Befahrung mit unterschiedlichen Zuckerrüben- Köpfrödebunkern (SOMMER ET AL., 2001b)

- (3) **Akzeptanz der Maßnahme:** In erosionsgefährdeten Gebieten wird heute ein Großteil der Zuckerrüben nach konservierender Bodenbearbeitung bestellt. Der Effekt einer verbesserten Tragfähigkeit wird von den Betriebsleitern zunehmend geschätzt. Bei der Einsatzplanung darf dies allerdings nicht dazu führen, dass Mulchsaatflächen immer dann gerodet werden, wenn gepflügte Flächen nicht mehr befahrbar sind. Da Bodenverdichtungen unter der Oberfläche visuell vom Praktiker kaum bemerkt werden, ist die Berücksichtigung der **Spurtiefe der Indikator** zur Sensibilisierung für Verdichtungen – dies gilt, seitdem mit Sensoren die Wirkung auf den Unterboden angezeigt werden kann (Abb. 3.23, S. 50). Die Spurtiefe wird online in der Kabine angezeigt, die Bodensetzung kann mit einem Handgerät (Prototyp) an repräsentativen Stellen im Acker gemessen werden. Dieses Konzept wird von der landwirtschaftlichen Praxis starren Reglementierungen vorgezogen. Eine industrielle Produktion ist zeitnah zu fordern.

Beispiel 2: Erhalt und Verbesserung der Durchwurzelbarkeit durch nichtwendende Bodenbearbeitung vor/nach der Zuckerrübenenernte

- (1) **Skizze:** Bei den Ernteverfahren hat es insbesondere bei Getreide, Zuckerrüben und Mais eine Entwicklung von Traktor gezogenen Maschinen mit geringer Arbeitsbreite hin zu Selbstfahrern mit großer Arbeitsbreite und großvolumigem Bunker gegeben. Mehrreihige Ernte und züchterischer Fortschritt beim Ertrag führten zu einer Steigerung der Gesamtmassen und Radlasten. Breite Reifen und eine Reduzierung der Überrollhäufigkeit infolge neuer Fahrwerkskonstruktionen versuchen negativen Auswirkungen auf Bodenstruktur und Pflanzenentwicklung entgegenzuwirken.

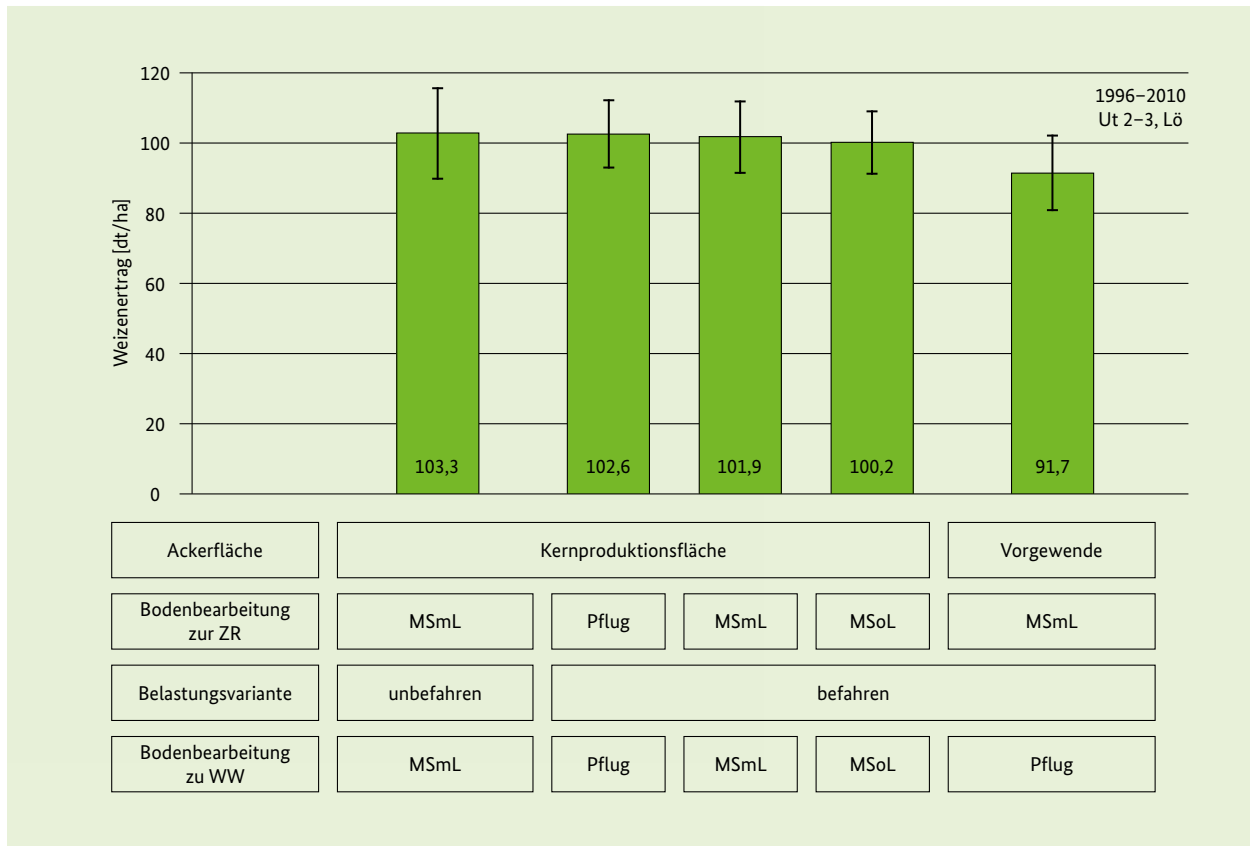


Abb. 3.28: Unterschiedliche Bodenbearbeitung nach Zuckerrüben (ZR) zu Weizen (WW) – Weizenertrag nach unterschiedlicher mechanischer Belastung auf der Kernproduktionsfläche und dem Vorgewende (MSmL/MSoL = Mulchsaat mit/ohne Lockerung) (BRUNOTTE ET AL., 2011a)

(2) **Nachweis der Wirkung:** Zur Einstufung der Ernteverfahren helfen neben zahlreichen bodenphysikalischen Kennwerten auch pflanzenbauliche Parameter. So kann gezeigt werden, dass beim Selbstfahrer die höhere Radlast von 10 t mit 1-facher Überrollung gegenüber der gezogenen Maschine mit geringerer Radlast von 1 bis 5 t und 6-facher Überrollung das **Wurzelwachstum** nicht stärker beeinträchtigt (Abb. 3.27). Das bedeutet, dass bei geringerer Radlast die Mehrfachbefahrung wie eine stufenweise Erhöhung der Radlast wirken kann (siehe auch TIJINK & SPOOR, 2004). So ist die Wurzelentwicklung nach 2-reihig gezogener Erntetechnik mit geringer Radlast nicht besser als nach 6-reihig selbstfahrender Erntetechnik. Der Vergleich beider Ernteverfahren mit dem unbefahrenen Zustand deutet auf die stabile Bodenstruktur nach konservierender Bodenbearbeitung bei mittlerer Feuchte („feu 3“) hin.

Unterschiedliche Bodenbearbeitung vor Zuckerrüben erzeugt verschiedene Tragfähigkeiten für die Ernteverfahren. Der wichtigste Messparameter für den Landwirt ist der Ertrag der Folgefrucht Weizen – eine mechanische Lockerung von 10 – 25 cm Tiefe war im Mittel der 15 Jahre tendenziell ertragswirksam (Abb. 3.28).

In der Kernproduktionsfläche hat der Weizenertrag im Vergleich zur Kontrolle „unbefahren“ kaum auf die Befahrung reagiert. Nur bei flacher Bearbeitung (MSoL = Mulchsaat ohne Lockerung bis 10 cm) ergibt sich eine geringe Ertragsminderung von ca. 3 dt/ha, die statistisch nicht abzuschließen ist. Demnach ist bei Weizen-

preisen von 20 Euro/dt eine krumentiefe Lockerung mit Pflug bzw. Grubber im Mittel der Jahre rentabel. Treten allerdings hohe Radlasten in Kombination mit hoher Überrollhäufigkeit auf, wie am Vorgewende, ist mit einem Minderertrag von ca. 10 % zu rechnen. Die Bodenbearbeitung nach Zuckerrüben in der Kernproduktionsfläche hat demnach eventuelle Verdichtungen in der Ackerkrume repariert, sodass die Ertragsfunktion nicht geschädigt wurde. Die Ertragsdepression im Vorgewendebereich, wo der Roder mehrfach an die Rübenmiete gefahren ist, deutet auf eine Beeinträchtigung der Bodenstruktur im nahen Unterboden hin. Dieser Unterschied zeigt, dass die Zuordnung der mechanischen Belastung auf Teilflächen des Ackerschlags außerordentlich wichtig ist (DUTTMANN ET AL., 2013).

(3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Die Untersuchungen zum Wurzelwachstum weisen darauf hin, dass die geringen Radlasten des 2-Reihers nicht in jedem Fall die bodenschonendere Technik charakterisieren, da hohe Überrollhäufigkeiten mitunter den positiven Effekt geringer Radlasten mindern können. Der Einsatz mehrreihiger Selbstfahrer hat bei Berücksichtigung der Regeln „Guter fachlicher Praxis“ flächig zu keinen Ertragsdepressionen geführt. Arbeitswirtschaftliche Vorteile verbunden mit einer gesteigerten Rentabilität haben zu einer starken Ausdehnung der 6-reihigen Köpfrödebunker geführt, sodass heute mehr als 90% der Rübenfläche damit gerodet werden. Damit der einzelne Betrieb in einer

Rodegemeinschaft keine negativen Auswirkungen durch zu hohe Auslastungsgrade zu spüren bekommt, ist die Rodeleistung in einer Kampagne moderat zu gestalten. Wenn nach Regentagen mit einer Rodepause reagiert werden kann, ist eine hohe Akzeptanz bei den Landwirten für den Einsatz solcher Großmaschinen zu erreichen.

Beispiel 3: Biomasse Logistik bei Silomais – Bodenzustandsänderung nach Ausbringung von Gärsubstrat

- (1) **Skizze:** Wegen der steigenden Verbreitung von Biogasanlagen wurde der Silomais in vorhandene Fruchtfolgen aufgenommen. Aus phytosanitären Gründen (Maiszünzler, Mykotoxine bei Weizen, Rhizoctonia bei Zuckerrü-



Abb. 3.29: Bodensetzung in 30 cm Tiefe bei Befahrung mit Traktor + Gülletankwagen nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung (BRUNOTTE, 2013)

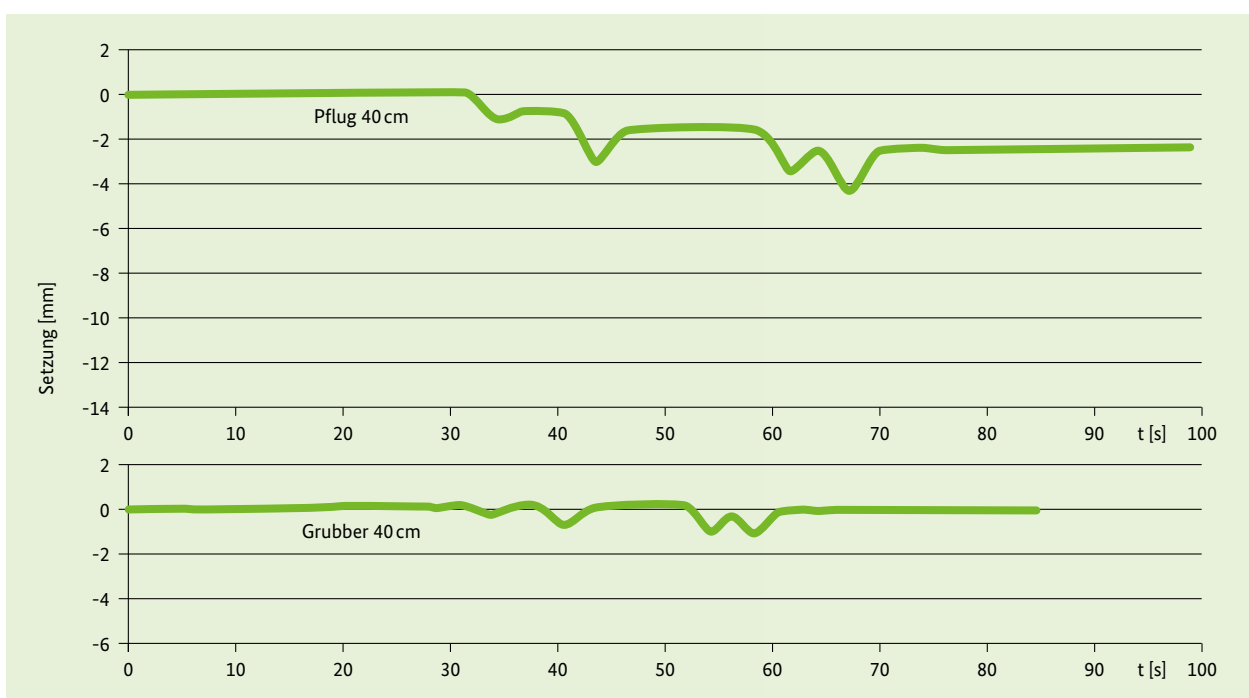


Abb. 3.30: Bodensetzung in 40 cm Tiefe bei Befahrung mit Traktor + Gülletankwagen nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung (BRUNOTTE, 2013)

ben) wird vielerorts von der Beratung eine Pflugfurche vor und nach dem Mais empfohlen. Für den Bodenschutz bedeutet dies in Hanglagen eine Zunahme der Wassererosion und generell ein höheres Risiko von Bodenverdichtungen bei der **Ausbringung von Gärsubstrat**.

(2) **Nachweis der Wirkung:** Die Ausbringung von Gärsubstrat erfolgt mit einem Traktor gezogenen Tandemgüلتankwagen (Traktor, v: 600/70 R 34 = 1,45 bar, h: 710/75 R 42 = 1,35 bar) und Tandemfass (17 m³, 750/60 R 30.5 = 1,2 bar; siehe auch Tab. 3.2, S. 29). Nach Pflugfurche waren deutliche Spuren von > 15 cm Tiefe zu sehen. Die Fortsetzung der vertikalen Bodenbewegung führte zu folgenden Belastungsspitzen in der Unterkrume und im nahen Unterboden. Die 4 Achsen werden deutlich aufgezeichnet und die Peaks nehmen mit jeder zusätzlichen Überrollung zu (Abb. 3.29). Nach Pflug wird in 30 cm Tiefe eine maximale Bodensetzung von > 12 mm angezeigt – es verbleiben 10 mm, die eine plastische Verformung bedeuten. Bei Mulchsaat bleibt von den 3 mm nur 1 mm zurück, die Spurtiefe bewegte sich im Bereich der Stollenhöhe. Im nahen Unterboden (40 cm) bleiben von den 4 mm beim Pflug 2 mm als plastische Verformung bestehen. Bei Mulchsaat liegt eine elastische Verformung vor (Abb. 3.30).

(3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Obwohl bei der Ausbringung von Gärsubstrat eine Trennung des Straßen- und Feldtransportes realisiert wurde (daher rühren die geringen Reifeninnendrucke des Güلتankwagens), ist bei Pflugvorbereitung und 4 Überrollungen des Ausbringfahrzeuges mit Schäden an der Bodenstruktur zu rechnen. Langfristig sollte die nichtwendende Bodenbearbeitung in Verbindung mit dem Maisanbau mehr realisiert werden. Dafür hat insbesondere eine Verbesserung der Feldhygiene zu erfolgen, indem Erntereste vom Getreide bzw. Mais zusätzlich gemulcht werden, um eine schnellere Rotte zu erreichen – hierfür fehlt bisher in der Praxis weitestgehend die Akzeptanz. Auch liefert beim Ausbringen der Gülle ein Selbstfahrer mit Hundegang und angebauter Scheibenegge eine durchaus bodenschonende Alternative, da nur eine Überrollung stattfindet – diese Techniken werden inzwischen mehrfach eingesetzt.

Arbeitsverfahren bei der Bodennutzung

Beispiel 1: Auslastung von Ernteverfahren bei der Zuckerrübenenernte/flexible Anpassung der Rodekapazität

(1) **Skizze:** Insbesondere Ernteverfahren stehen im Zwiespalt zwischen Rentabilität und Bodenschonung. Die teure Spezialmaschine, vom Maschinenring oder Lohnunternehmer angeboten, fordert für akzeptable Arbeitserledigungskosten eine hohe Auslastung pro Kampagne bzw. Jahr. Große Arbeitsbreiten und volumi-

nöse Bunker reduzieren zwar die Überrollhäufigkeiten, führen aber zu einer hohen mechanischen Belastung der Bodenstruktur. In der Region Amberggau, westliches Harzvorland, betreibt eine Rodegenossenschaft vier 6-reihige Zuckerrübenroder. In der Region sind Lehm-böden (bis 85 % Schluff) und Tonböden (bis 40 % Ton) in mehr oder weniger kupiertem Gelände verbreitet, und es fallen 750 bis 850 mm Niederschlag pro Jahr.

Drei Strategien charakterisieren die Berücksichtigung von Bodenschutzbelangen:

1. Die Maschinen nur mit 650 statt mit 850 ha/Kampagne auslasten;
2. Die Roder nutzen nur den eigenen Bunker. Ein parallelfahrendes Transportfahrzeug wird nur eingesetzt, wenn der Bunker die Schlaglänge nicht fasst;
3. In der Einsatzregion mit ca. 50 km Durchmesser erlaubt das Vorhandensein von vier Maschinen einen flexiblen Einsatz je nach Niederschlagsverteilung in der Region. Eine angepasste Abfuhrlogistik ist eine wichtige Voraussetzung für diese Strategie.

(2) **Nachweis der Wirkung:** In der Rodegenossenschaft rodet ein Köpfrödebunker ca. 650 ha/Kampagne mit einer Rodeleistung von 12 ha/12-Stunden-Tag. Die Zeitspanne von September bis November umfasst theoretisch 92 Tage. Bei Berücksichtigung der 40-jährigen mittleren Niederschlagsverteilung stehen für das Gebiet ca. 54 „Befahrbarkeitstage“ (SCHÄFER, 2011) zur Verfügung, die für 650 ha gebraucht werden.

Treten trotz der moderaten Auslastung aufgrund extrem feuchter Witterung in Ausnahmejahren Engpässe auf, wird die Rodearbeit mit verminderter Leistung fortgesetzt. Um die Erntemaschine an die höhere Verdichtungsempfindlichkeit des Standortes anzupassen, wird der Bunker nur halb gefüllt und der Reifeninnendruck mit Hilfe großer Ventile an die verminderte Last angepasst.

Reduzierung von Last und Erhöhung von Kontaktfläche ermöglichen die notwendige Bodenschonung. Voraussetzung für diesen Lösungsansatz ist, dass der Ackerschlag nicht länger als 400 bis 500 m ist. So kann an beiden Vorgewenden abgebunkert werden, wenn Lkw-taugliche Feldwege vorhanden sind. Bei einer gesteigerten Kampagneleistung von 800 ha würden die Rodekosten von 220 Euro/ha auf 200 Euro/ha sinken, es müssen aber statt 54 Tage 66 Tage, also 12 Tage mehr in der Kampagne gerodet werden (statische Betrachtung; unterschiedliche Auslastung in h/Tag zu Beginn und am Ende der Kampagne nicht berücksichtigt). Diese 12 zusätzlichen Rodetage fallen im Mittel der Jahre in den Bereich der „Nichtbefahrbarkeitstage“ mit entsprechend negativen Auswirkungen auf die Bodenstruktur und evtl. steigenden Arbeitserledigungskosten bei der Bestellung der Folgefrucht.

Infolge des feuchteren Bodens müsste bei der Weizenbestellung vom Grubber auf den Pflug übergegangen werden, was 30 Euro/ha höhere Kosten verursachen würde. Die evtl. auftretenden Ertragsminderungen, aufgrund höherer Bodenfeuchte beim Roden und bei der

Weizenaussaat, sind hier nicht berücksichtigt (konnten bisher nur beim Vergleich von Fläche und Vorgewende nachgewiesen werden (BRUNOTTE, 2007). Werden zur Steigerung der täglichen Rodeleistung permanent parallel fahrende Transportfahrzeug eingesetzt, steigt die mechanische Belastung durch die Verdopplung der Überrollhäufigkeit enorm an. Durch die höhere Belastung sinken die „Befahrbarkeitstage“ auf 37 ab – eine Steigerung der Kampagneleistung ist so nicht zu erzielen. Stattdessen würden die Rodekosten ansteigen. Würde eine gesteigerte Flächenleistung an 54 Tagen mit permanenten Parallelfahrern erfolgen, drohen die Regeln Guter fachlicher Praxis mit hoher Wahrscheinlichkeit verletzt zu werden.

- (3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Die herabgesetzte Ausnutzung der Jahresleistung schafft den Puffer, um auf Witterungsextreme mit Rodepausen zu reagieren und die Bodenstruktur des einzelnen Landwirts zu schonen. Dies hilft, die Aufwendungen bei der Folgebestellung zu halten und evtl. Ertragsdepressionen zu vermeiden. Vor diesem Hintergrund ist in der Rodegenossenschaft Ambergau der einzelne Betrieb gern bereit, 20 Euro/ha höhere Rodekosten zu zahlen. Diese fallen in Wirklichkeit gar nicht an, wenn die geringere Auslastung/Jahr nach Abschreibung der Maschine durch Nutzung eines weiteren Jahres angehängt wird.

Beispiel 2: Mähdrusch – Einfluss von Auslastung/ Schlagkraft auf Kosten von Qualitätsparametern und Bodenschonung

- (1) **Skizze:** Im langjährigen Mittel fallen im Klimagebiet 5/6 im Haupterntemonat August 77 mm Niederschlag (KTBL: Klimagebiete für Feldarbeitstage, vgl. dazu KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/21). Je nach Region schwanken die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage, d.h. Mähdruschstunden, stark (KTBL, 2014c). Die Planung von Investitionen kann demnach nicht nur trockene Erntebedingungen zugrunde legen. Parameter, wie Fixkosten, Trocknungskosten, Qualitätsminderung, Vertragserfüllung und Fruchtfolge nehmen Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg. Als Hypothese wird formuliert: „ein Mähdrescher wird statt mit 400 ha nur mit 300 ha/a ausgelastet.“ Dies kann ein Betrieb bzw. der Zusammenschluss mehrerer Betriebe sein (= Annahme 1).
- (2) **Nachweis der Wirkung:** Durch die höhere Auslastung des Mähdreschers von 400 gegenüber 300 ha/a entstehen zwar 14 Euro/ha geringere Fixkosten (= 52 statt 66 Euro/ha für AfA und Zins => 5.600 Euro/a), annähernd diese Summe ist aber als höherer Restwert bei dem Mähdrescher mit geringerer Auslastung am Ende der Nutzungszeit zu erzielen. Dadurch kann diese Kalkulation beim Vergleich der unterschiedlichen Auslastungsgrade vernachlässigt werden. Es bleibt die Betrachtung der Qualitätsparameter.

Es entstehen höhere Trocknungskosten von ca. 2 Euro/dt, da die 100 ha Mehr an Getreide mit höheren Feuchtegehalten komplett getrocknet werden müssen (= Annahme 2: => 100 ha x 80 dt/ha = 8.000 dt x 2 Euro/dt = 16.000 Euro).

Weiter treten bei verspäteter Getreideernte Qualitätsverluste auf. Kann eine Partie nicht mehr als Brotgetreide, sondern nur noch als Futtergetreide vermarktet werden (= Annahme 3), können wie in 2010 bis zu 5 Euro/dt geringere Verkaufspreise erzielt werden. Wird für unser Beispiel nur 3 Euro Minderpreis/dt für 8.000 dt angenommen, entsteht ein Verlust von 24.000 Euro. Verschärft wird dieser Sachverhalt noch bei Abschluss von Qualitätsweizen-Vorkontrakten.

Eine durch hohe Mähdrescherauslastung verspätete Ernte verzögert die Verrottung der Reststoffe, verkürzt die Zeit für Bodenbearbeitungsmaßnahmen und lässt weniger Zeit für den Anbau von Zwischenfrüchten. Dies kann sich nachteilig auf die pfluglose Bestellung der folgenden Winterung auswirken – diese Effekte sind jedoch schwer monetär zu beurteilen.

Wird ein Teil der Mähdruschernnte unter feuchten Bedingungen durchgeführt, steigt auch die Gefahr, den Oberboden in seiner Struktur beim Befahren zu beeinträchtigen. Statt einer flach mischenden Stoppelbearbeitung müssen die Spuren unterfahren werden, mit leicht erhöhten Kosten für die tiefere Lockerung in Höhe von 15 Euro/ha x 100 ha = 1.500 Euro.

Bei feuchten Erntebedingungen können also zusätzliche Kosten für Trocknung, Qualitätsminderung und Bodenbearbeitung in Höhe von 41.500 Euro entstehen.

- (3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Betriebswirtschaftlich werden hohe Auslastungsgrade bei den Erntemaschinen gefordert – dies hat unter den Betriebsleitern eine hohe Akzeptanz, da die Rentabilität bei der Einkommenssicherung eine große Rolle spielt. Ein weitaus besseres Ergebnis lässt sich allerdings erzielen, wenn die nicht realisierte Erntefläche pro Jahr (hier 100 ha) am Ende der Nutzungsdauer angehängt wird, vorausgesetzt, es kommt im technischen Fortschritt zu keinen bahnbrechenden Neuerungen.
- Durch eine hohe Auslastung in Jahren mit ungünstigen Witterungsbedingungen, können zusätzliche Kosten von 415 Euro/ha (41.500 Euro: 100 ha) entstehen. Wird zum Schluss die Eintrittswahrscheinlichkeit solcher ungünstiger Erntebedingungen von 1-mal in 10 Jahren (= Annahme 4) berücksichtigt, fallen tatsächlich 41,50 Euro/ha zusätzliche Kosten in jedem Jahr an.
- Die Akzeptanz für reduzierte Auslastungsgrade pro Jahr ist bisher sehr gering, sollte aber vor dem Hintergrund von Qualitätssicherung und Bodenschonung zukünftig mehr Berücksichtigung finden.

Beispiel 3: Regelfahrspurverfahren – Controlled Traffic Farming

- (1) **Skizze:** Die Idee von Regelfahrspurverfahren, auch als Controlled Traffic Farming (CTF) bezeichnet, versucht

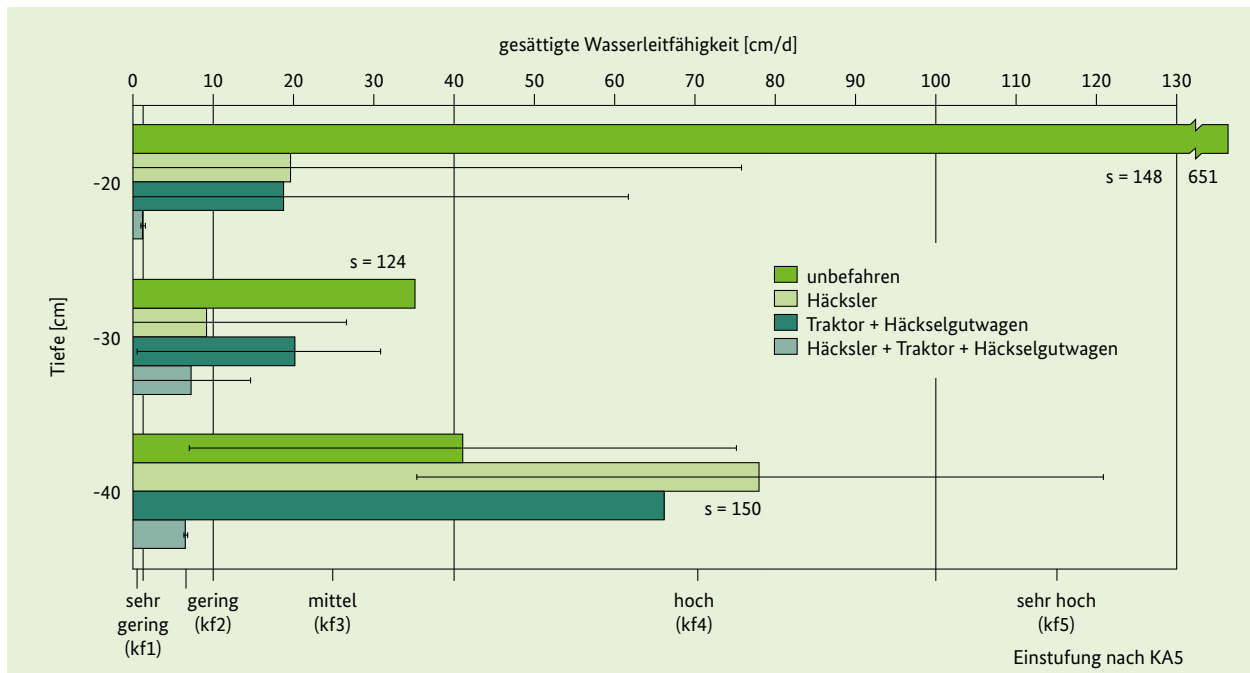


Abb. 3.31: Änderung der gesättigten Wasserleitfähigkeit durch Befahrung bei der Silomaisernnte (Ut 2-3, Lö) (BRUNOTTE ET AL., 2011a)

den Widerspruch zwischen einem für die Anforderungen des Pflanzenwachstums optimalen Bodenzustand und den Auswirkungen des Fahrens auf dem Feld dadurch aufzulösen, dass die Bereiche für das „Wachsen“ der Pflanzen und das „Fahren“ der Landmaschinen räumlich getrennt werden.

Dieses Prinzip wird im Feldgemüsebau als Beetenbau praktiziert. Für den großflächigen Anbau von Körner- und Hackfrüchten sollen Regelfahrspurverfahren diese strikte Trennung durch die Konzentration allen Fahrverkehrs im Feld auf feste Fahrspuren bewirken.

Seit etwa 10 Jahren bieten neue technische Entwicklungen die Chance, diese Idee erfolgreich umzusetzen: hochgenaue, GPS basierte Lenksysteme für Landmaschinen, leistungsfähige Traktoren, Bestellsysteme mit 6, 9 und 12 m Arbeitsbreite und Erntemaschinen mit gleichen Schnittbreiten eröffnen die Möglichkeit, Regelfahrspurverfahren zu realisieren.

Die Umsetzung ist in unterschiedlicher Intensität und Ausprägung möglich, automatische Lenksysteme helfen enorm bei der Realisierung von CTF. Mechanische Anzeigesysteme (Spuranzeiger, Nachauflaufmarkierungen) sind insgesamt aufwendiger. Mit zunehmender Verbreitung automatischer Lenksysteme wird die Beibehaltung der Lage der Fahrgassen/Pflegespuren immer häufiger praktiziert. Beobachtungen haben gezeigt, dass sie durch das häufige Befahren auch nach intensiver Bearbeitung in ihrer Struktur gestört bleiben und zumindest im Folgejahr das Pflanzenwachstum negativ beeinflussen.

Bei einer „ortsfesten“ Pflegespur wird diese negative Auswirkung nicht ertragsrelevant. Eine weitere Möglichkeit ist die Vorplanung der Fahrwege für (alle) Feldarbeiten mit Hilfe geeigneter Programme (Schlagkartei mit GIS-Funktionalität), um die Fahrwege im Feld in Abhängigkeit von den Arbeitsbreiten und den Kapazitäten

(Behälterfassungsvermögen) zu minimieren. Es können alternative Wenderegime Anwendung finden, Abschaltzonen für Säegeräte, Mineraldüngerstreuer und Pflanzenschutzspritzen definiert, und günstige Bereiche für die Ein- und die Ausfahrt aus dem Feld festgelegt werden. Beim „idealen“ Regelfahrspurverfahren CTF werden alle Gerägearbeitsbreiten aufeinander abgestimmt bzw. vereinheitlicht und alle Bewirtschaftungsmaßnahmen auf möglichst wenigen, identischen Fahrspuren durchgeführt. Bei einem System für Mähdruschfrüchte mit 9 m Arbeitsbreite für Bodenbearbeitung, Aussaat und Ernte erfolgt der Pflanzenschutz mit 27 m oder 36 m. In die Systembreite von 9 m lassen sich bei Bedarf auch Geräte mit 4,5 m Arbeitsbreite integrieren (intensive Bodenbearbeitung). Ein ähnliches Modell lässt sich auch mit 6 m Systembreite (Mähdrusch 6 m oder 12 m, Pflanzenschutz 24 m oder 30 m) realisieren. Im nicht arrondierten Betrieb ist es (in Deutschland und Westeuropa) nicht möglich, Traktoren und Mährescher mit identischer Spurweite einzusetzen, da die StVZO für die Straßenfahrt nicht einzuhalten wäre. Deshalb ist es bei CTF unter unseren Verhältnissen notwendig, Traktoren und Erntemaschinen mit bodenschonenden Reifen/Fahrwerken einzusetzen.

- (2) **Nachweis der Wirkung:** Die Nutzung von automatischen Lenksystemen ohne Regelfahrspurverfahren ermöglicht es, Überlappungen bei allen Feldarbeiten zu vermindern und die Gerägearbeitsbreite auch bei der Arbeit in Beeten vollkommen auszunutzen. Durch die Reduzierung der Überlappungen im Bereich von 5 bis 10% wird auch der Anteil der überfahrenen Fläche, die einer erhöhten Bodenbelastung und damit einem Verdichtungsrisiko ausgesetzt ist, um den gleichen Anteil reduziert. Diese Reduzierung der Bodenbelastung kommt besonders am

Vorbeet zum Tragen, wenn auf Schwalbenschwanzwendung verzichtet werden kann. Automatische Lenksysteme für Traktoren und Erntemaschinen verursachen variable Kosten von etwa 0,25 Euro/ha (BRUNOTTE ET AL., 2011b). Die intensiv befahrenen und zumeist stark in ihrer Struktur gestörten (verdichteten) Pflegespuren machen etwa 3 bis 5 % der Fläche eines Feldes aus. „Ortsfeste“ Fahrgassen vermeiden eine negative Auswirkung auf den Pflanzenertrag in diesen Bereichen.

Die Potenziale einer optimalen Abstimmung zwischen Schlaggröße, Schlagform und Maschinenkenngrößen bezüglich Bodenschonung und Kosteneinsparung haben Brunotte und Fröba (BRUNOTTE & FRÖBA, 2007) detailliert dargestellt. Die Vorplanung der Fahrspuren und das „Abarbeiten“ dieser Planung mit Hilfe automatischer Lenksysteme machen einen Teil dieser Potenziale auch bei gegebener Schlaggröße, Schlagform und Mechanisierung nutzbar. Besonders in Australien hat sich CTF seit 2000 stark verbreitet. Es wird geschätzt, dass 2009 etwa 3 Millionen Hektar Ackerfläche mit Regelfahrspurverfahren bewirtschaftet wurden. Die australischen Ackerbauern erwarten sich dadurch eine erhöhte Wasserinfiltration, lockerere Bodenstrukturen, einen ungehinderten Gasaustausch, eine verminderte Erosionsanfälligkeit, verbesserte Feldaufgänge, eine intensive Durchwurzelung und dadurch stabilere und höhere Erträge. LI ET AL. (2004) haben in einer mehrjährigen Untersuchung in Australien bei Getreide Mehrerträge von durchschnittlich knapp 10% nachgewiesen, obwohl im Bereich der Fahrspuren (14% Flächenanteil bei 9 m System-Arbeitsbreite) nichts wächst. Daneben konnten sie einen deutlichen Rückgang der Erosion und nach 2 bis 3 Jahren des Zugkraftbedarfes bei der Bodenbearbeitung um 40% belegen.

- (3) Akzeptanz der Maßnahme: Je nach Ausprägung und Anforderung erfolgt die Anwendung von CTF in der Landwirtschaft sehr unterschiedlich. Entscheidend sind die Verfügbarkeit von hochgenauen Lenksystemen auf den Schlüsselmaschinen bzw. auf allen Maschinen eines Betriebes, das Interesse des Betriebsleiters und der Wille und die Disziplin aller Beteiligten an der Umsetzung. Über Jahre hinweg werden „ortsfeste“ Fahrgassen von einer großen Anzahl von Landwirten praktiziert, die hochgenaue Lenksysteme auf ihren Betrieben einsetzen. Die darauf aufbauende Vorplanung der Fahrwege bei der Feldbestellung setzt entsprechende Software (geographische Schlagkartei mit Planungswerkzeugen) voraus. Bisher ist das Angebot hierfür gering und die Planungswerkzeuge sind noch unzureichend. Die bisherigen Anwender leisten Pionierarbeit und führen die Optimierung zumeist „händisch“ im „Trial-and-Error“ Verfahren durch.

Obwohl bereits erste Betriebe, mit großen Flächen und kritischen, da druckempfindlichen Böden, versuchen, ein „ideales“ Controlled Traffic Farming umzusetzen, muss es zunächst gelten, die in Australien festgestellten und auch bei uns erwarteten Effekte zu verifizieren. Derzeit untersuchen

Forschungsvorhaben in England, Dänemark, der Schweiz, der Slowakei und Deutschland, wie sich Regelfahrspurverfahren unter europäischen Verhältnissen (Boden, Klima, Fruchtfolgen, Mechanisierung) umsetzen lassen und ob ähnliche Effekte wie in Australien erzielt werden können. Darüber hinaus besteht bei uns die große Herausforderung, Hackfrüchte wie Zuckerrüben und Kartoffeln in das System zu integrieren (DEMME ET AL., 2010).

Beispiel 4: Verfahrensvergleich bei der Silomaisernnte – Parallelverfahren contra Bunkerverfahren

- (1) **Skizze:** Beim Silomaisanbau ist neben der Gärsubstatausbringung die Mechanisierungskette der Ernte hinsichtlich Bodenschonung zu betrachten. Heute ist das einphasige Verfahren verbreitet, bei dem das Erntegut auf parallel fahrende Häckselgutwagen gefördert wird. Darin unterscheidet sich die Maisernnte grundsätzlich von der Rübenernte. Relevant für den Bodenschutz ist die Frage, ob die höhere Anzahl Überrollungen im Vergleich zur Bunkermaschine zu einer Beeinträchtigung von Bodenfunktionen führen kann.
- (2) **Nachweis der Wirkung:** Die Messung unter dem Maishäcksler führt in 30 cm Tiefe zu einer maximalen Setzung von 2,7 mm und der Boden federt bis auf 0,75 mm zurück. In 40 cm sind die Ausschläge bei der Befahrung geringer – der Boden federt elastisch zurück, sodass keine bleibende Setzung gemessen wird. Das Ergebnis der Setzungsmessung wird beispielhaft anhand der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf) validiert (Abb. 3.31, S. 57). In 20 cm ist die Minderung von kf durch die Befahrung von sehr hoch auf mittel (Einstufung nach der bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5, AD-HOC-AG, 2005) deutlich zu spüren – die lockere Lagerung der Krume ist dafür verantwortlich. Der Horizont „Krumenbasis“ (30 cm) ist durch jahrelange Bewirtschaftung insgesamt dichter. Die Wasserleitfähigkeit nimmt von der Stufe „mittel“ auf „gering“ ab – belegt also die bleibende Setzung von 0,75 mm. Im nahen Unterboden sind insgesamt die Kennwerte wieder leicht erhöht. Die Werte des Häckslers liegen höher als unbefahren und weisen auf die natürliche Streuung der Standorte bzw. der Horizonte hin. Dies entspricht der vollelastischen Setzungsmessung in 40 cm Tiefe. Weiter ist der Einfluss der Mehrfachüberrollung durch Häcksler und Transportfahrzeug deutlich zu erkennen – die Leitfähigkeit nimmt von der Stufe „hoch“ auf „gering“ ab.
- Die Ursache für die oben dargestellte tatsächliche Belastung einer Ackerfläche ist, neben der Radlast und dem Reifeninnendruck, zu finden in der räumlichen Verteilung der Fahrspuren (= Spurfächenanteil) und der Überrollhäufigkeit (= Anzahl Achsen in einer Spur). Den folgenden Aussagen liegt zugrunde: Frischmasseertrag 500 dt/ha, Schlagabmessungen 5 ha, 316 m lang, Arbeitsbreite Häcksler 4,5 m, Transportfahrzeug bzw. Bunker können die Erntemenge einer kompletten Überfahrt aufnehmen.

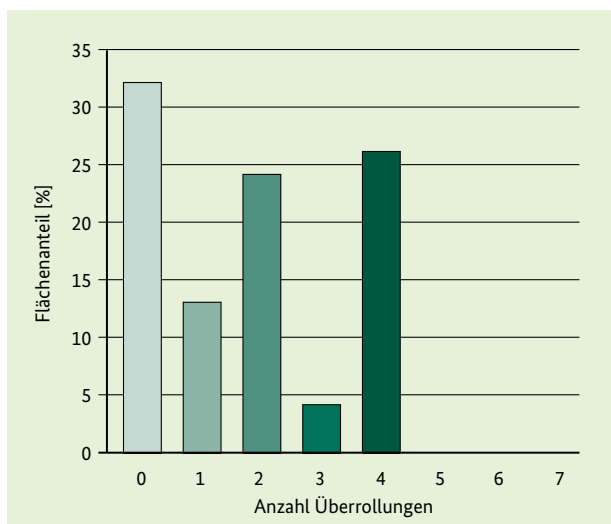


Abb. 3.32: Spurflächenanteil der unterschiedlichen Überrollhäufigkeit bei Spur versetzter Fahrt des Transportfahrzeuges (FRÖBA, 2012; KTBL, 2012c)

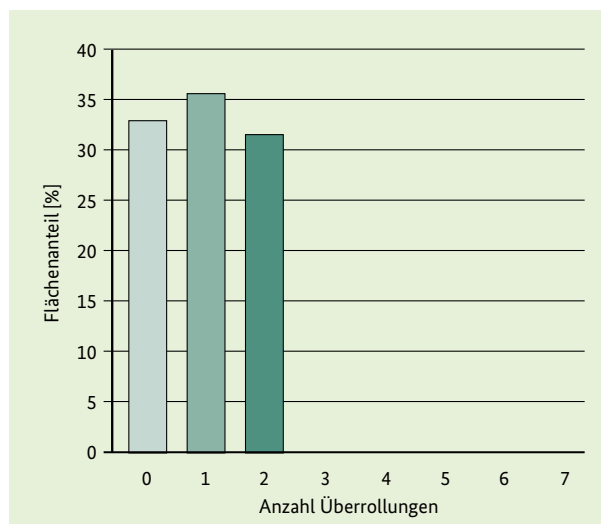


Abb.: 3.33: Spurflächenanteil bei Überrollhäufigkeit eines Bunkerhäckslers bei Spur versetzter Fahrt durch Hundeganglenkung (FRÖBA, 2012; KTBL, 2012c)

Für die Darstellung (Abb. 3.32) wird die Befahrvarian- te herausgegriffen, bei der der Traktor (h: 710/70 R38) mit Häckselgutwagen (710/50 R26.5) Spur versetzt zum Häckslers (v: 800/65 R32) fährt. 32% der Fläche sind unbefahren und 68% überrollt. Der Häckslers überrollt 24% der Fläche zweifach mit 1 bar Reifeninnendruck. Kritisch sind dagegen die 26% Spurfläche mit 4-facher Über- rollung durch Traktor und Häckselgutwagen, weil der Reifeninnendruck des Tandemanhängers mit > 3,5 bar an die hohe Geschwindigkeit von 40 bis 50 km/h auf der Straße angepasst ist.

Eine Trennung von Acker- und Straßentransport mit Umschlag des Erntegutes am Feldrand würde das Parallelverfahren bodenschonender gestalten, da eine Reduzierung des Reifeninnendruckes beim Traktor auf 1 bar und beim Häckselgutwagen auf 1,5 bar zu erreichen wäre. Damit könnte die Forderung der VDI-Richtlinie 6101 (VDI, 2007) nach maximal 2 bar bei Ernteverfahren eingehalten werden.

Beim Übergang vom Parallelverfahren zum Bunker- verfahren erfolgt am Feldrand die Gutübergabe auf Straßentransportfahrzeuge (durch stationäre/mobile Überladetechnik). Die Lasten von Häckslers und Bunker stützen sich auf 800/65 R32 und 710/50 R26.5 Reifen ab und lassen Reifeninnendrucke von 1 bis 1,5 bar reali- sieren. Die unbefahrene Fläche von 33% entspricht der beim Parallelverfahren (Abb. 3.33). Es sind aber 36% nur 1-fach und 32% der Fläche nur 2-fach mit geringem Reifeninnendruck überrollt.

Die Kopplung von geringem Reifeninnendruck und geringer Überrollhäufigkeit macht dieses Verfahren zur bodenschonendsten Variante. Es fallen allerdings zusätzliche Kosten beim Einsatz des Bunkerhäckslers in Höhe von 40 Euro/ha an, da u. a. die Ernteleistung (t/h bzw. ha/h) durch das Überladen am Feldrand sinkt. Wenn nach der Aberntung von Blattfrüchten (Silomais, Kartoffeln, Zuckerrüben) eine Sommerung folgt, wird in der Praxis oft auf eine Bodenbearbeitung im Herbst

verzichtet. Die skizzierten Spurflächenanteile von 50 bis 100% bergen allerdings ein erhöhtes Risiko für Was- sererosion, da die Infiltrationsleistung in den Spuren stark herabgesetzt ist. Im Sinne „Guter fachlicher Praxis“ empfiehlt es sich, einen Bearbeitungsgang vor Winter durchzuführen, der die Spuren aufricht und eine raue Oberfläche über Winter schafft.

- (3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Der Einstieg in die Maisernte ist mit parallelfahrenden Transportfahrzeugen erfolgt, z. T. sogar mit vorhandenen Ladewagen oder Gliederzügen. Da die Flächenleistung und die kosten- günstige Ernte im Vordergrund stehen, wird es freiwillig im engen Radius um die Biogasanlage keinen Wechsel zur Trennung von Feld-Straßentransport geben. Anders dagegen, wenn die Landkreise aufgrund der Verkehrs- sicherheit diese Trennung vorschreiben. Auch finden Bodenschutzargumente bisher kaum Berücksichtigung. Würden die Transportfahrzeuge nur auf dem Acker fah- ren, könnte man den Reifeninnendruck auf unter 1,5 bar erheblich verringern. Der Einsatz des Bunkerhäckslers, als bodenschonendste Variante, wird zurzeit wegen der reduzierten Ernteleistung und aus Kostengründen kaum realisiert.

Offensichtlich besteht ein Zielkonflikt zwischen phytosanitären Anforderungen und Bodenschutzan- forderungen. Zur Erzielung eines hohen Grades bei der Bodenschonung müssten die parallel fahrenden Trans- portfahrzeuge eine neue Spur neben dem Häckslers an- legen. Dies führt allerdings dazu, dass 40% der Stoppeln beim Mulchen nicht erfasst werden. Dieser zusätzliche Arbeitsgang von 50 Euro/ha ist also nicht nur teuer, sondern auch ineffizient – er findet keine breite Akzeptanz in der Praxis. Vor dem Hintergrund wird häufig der Pflug eingesetzt, der allerdings das Problem der Feldhygiene nur sehr kurzfristig löst und eine geringe Tragfähigkeit des Bodens beim Anbau der Folgefrucht, z. B. Weizen, schafft.

Technische Möglichkeiten zur Minderung der Spannungen im Boden

Beispiel 1: Aufsattel- und Anhänge- statt Anbaugeräte mit vergleichbarer Arbeitskapazität

(1) **Skizze:** Wegen der guten Wendigkeit werden besonders in kleinstrukturierten Gebieten meist angebaute Arbeitsgeräte eingesetzt. Angebaute Geräte erhöhen zudem die Triebkraft des Traktors, da Vertikalkräfte vom Gerät auf den Traktor übertragen werden. Bei Geräten, die keine oder nur geringe Zugkraft erfordern, ist dieser Effekt ohne Bedeutung.

Aufsattel- und Anhängegeräte sind wegen der schlechteren Wendigkeit eher auf großen Flächen üblich. Die Traktoren müssen bei gleicher Arbeitsbreite zur Übertragung der Triebkräfte schwerer sein. Bei aufgesattelten Geräten helfen sogenannte Traktionshilfen, die einen Teil der Vertikalkräfte während der Arbeit auf den Traktor übertragen, um die benötigte Traktormasse zu reduzieren. Da die auftretenden Radlasten – im Vergleich zu angebauten Geräten beim Wenden – niedriger sind, kann der Reifeninnendruck geringer sein und die übertragbare Zugkraft wird damit vergrößert. Bei aufgesattelten und angehängten Arbeitsgeräten zur Ausbringung von Betriebsmitteln werden in der Regel

größere Vorratsbehälter (Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutzflüssigkeit) als bei angebauten Geräten verwendet. Damit sind geringere Beladezeiten und höhere Feldflächenleistungen möglich.

Durch Heckanbaugeräte wird die Vorderachse entlastet, und es muss ein Frontballast verwendet werden, um die Mindestvorderachslast einzuhalten und ein sicheres Fahren zu gewährleisten.

(2) **Nachweis der Wirkung:** Bei angebauten Arbeitsgeräten können leichte Traktoren für Zugarbeiten eingesetzt werden. Beim Wendevorgang mit ausgehobenem Gerät auf dem Vorgewende treten höhere mechanische Belastungen im Vergleich mit aufgesattelten und angehängten Geräten auf. Für die Straßenfahrt mit Bestellkombinationen, deren Saattguttank gefüllt ist, muss der Reifeninnendruck an diese Maximalbelastung angepasst werden und ist damit für den Feldeinsatz viel zu hoch.

Günstiger zu beurteilen sind angehängte oder aufgesattelte Geräte, die einen sehr viel geringeren Reifeninnendruck am Traktor zulassen. Dies führt auf der Fläche und insbesondere am Vorgewende zu einer erheblichen Minderung der Bodenbelastung.

Abb. 3.34 zeigt die dynamischen Radlasten, gemessen mit einem Sensorsystem im Reifen (vgl. S. 49 und Abb. 3.23 auf S. 50), am Beispiel des gleichen Grubbers in angebaute und angehängter Variante. Im Kernfeld sind die

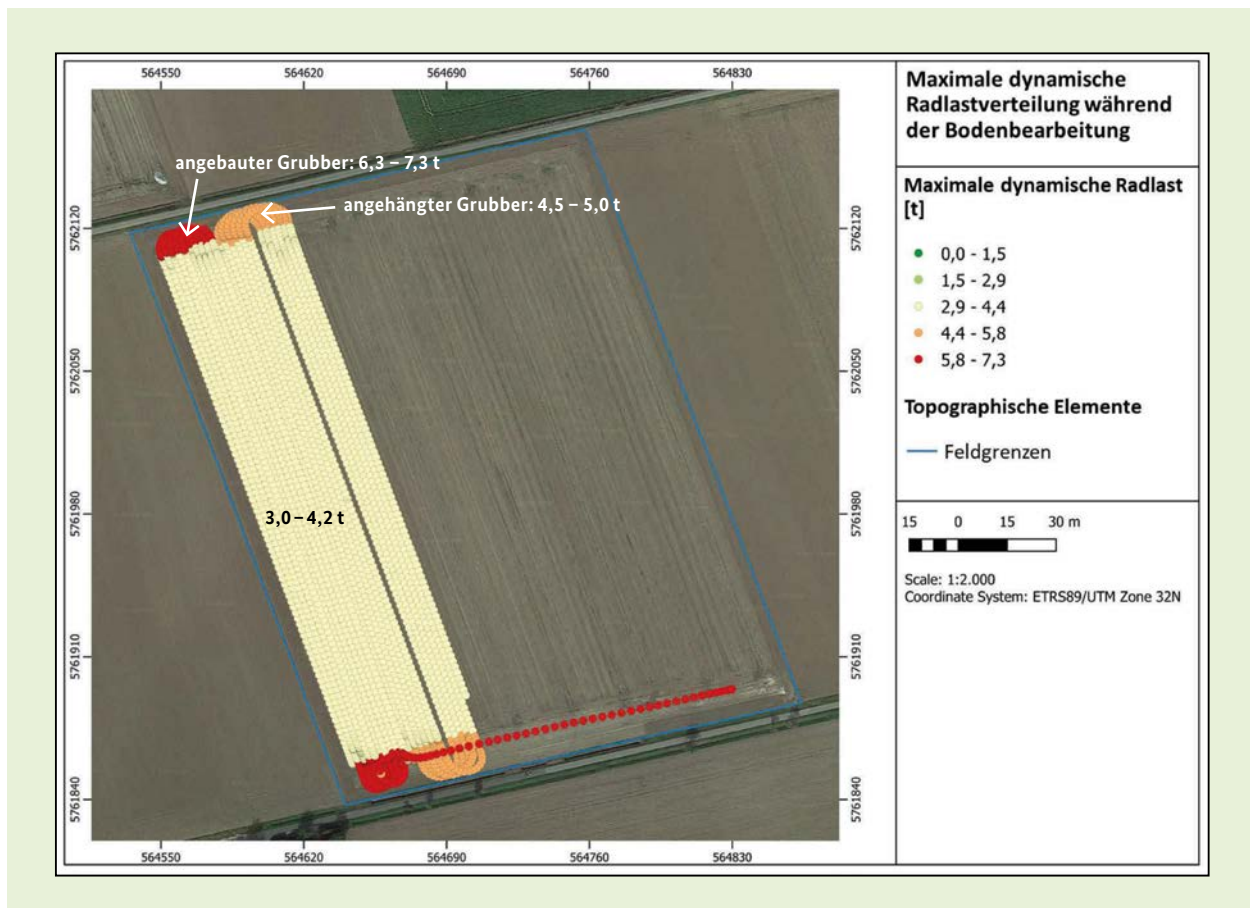


Abb. 3.34: Dynamische Radlasten beim Grubbern mit angebautem (ausgehoben) und angehängtem Grubber (LORENZ, 2022)

Unterschiede zwischen den beiden Techniken gering. Im Vorgewende treten jedoch beim ausgehobenen Gerät erheblich größere dynamische Radlasten auf der Hinterachse auf, als beim angehängten. Diese können bis zu ca. 2 t höher sein, als beim angehängten Grubber.

- (3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Die weiterhin wachsenden Betriebe in ganz Deutschland, verbunden mit größeren Transportentfernungen und gestiegenen Ansprüchen an die Feldflächenleistung, und die steigende Nutzung von Dienstleistern führen zu einer ständig steigenden Verbreitung von aufgesattelten und angehängten Geräten. Größere Betriebe und Dienstleister können die in der Anschaffung teureren Maschinen ausreichend auslasten und damit meist noch zusätzlich die Arbeiterledigungskosten senken. Die Vermeidung von Folgekosten, wie Ertragseinbußen oder erhöhter Aufwand zur Bodenbearbeitung, fördern zusätzlich die Akzeptanz der Maßnahme.

Beispiel 2: Bandfahrwerke im Vergleich zu Radfahrwerken

- (1) **Skizze:** Bandfahrwerke haben im Vergleich zu Radfahrwerken größere Aufstandsflächen (z. B. 17.800 cm² statt 10.000 cm² bei Reifen), woraus sich rechnerisch ein geringerer Kontaktflächendruck ergibt. Je nach Fahrwerkskonstruktion entstehen unter den Umlenk- und Tragrollen allerdings Druckspitzen, die Lauffläche verweilt auch länger auf der entsprechenden Bodenstelle. Bandfahrwerke werden vornehmlich verwendet, wenn mit breiten Reifen (z. B. bauartbedingt bei Mähdreschern mit Tangentialdreschwerk) die Vorgaben der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung zur Fahrzeugbreite für die Straßenfahrt (3 m oder 3,5 m bei vereinfachter Ausnahmegenehmigung in vielen Bundesländern) nicht einzuhalten sind oder die Vertikallast am Fahrwerk die potenzielle Tragfähigkeit von Reifen übersteigt (z. B. Zuckerrübenroder mit 15 t Vertikallast) oder wenn

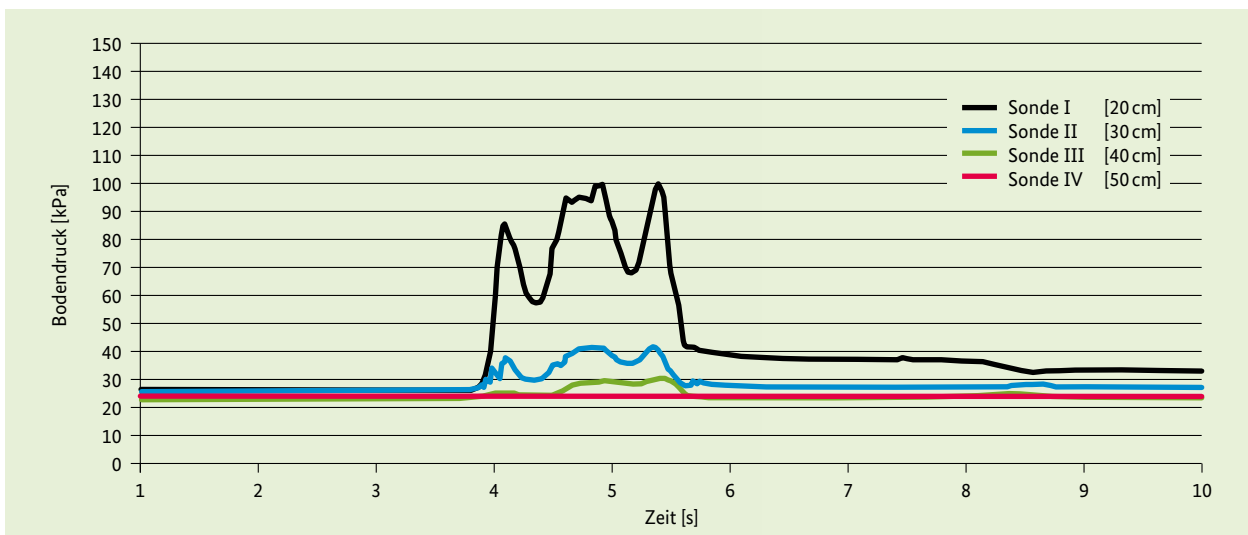


Abb. 3.35: Bodendrücke bei Überrollung mit Bandfahrwerk (Auflast 11,3 t, Bandlänge x -breite: 2.000 x 890 mm (GEISCHEDER, 2011))

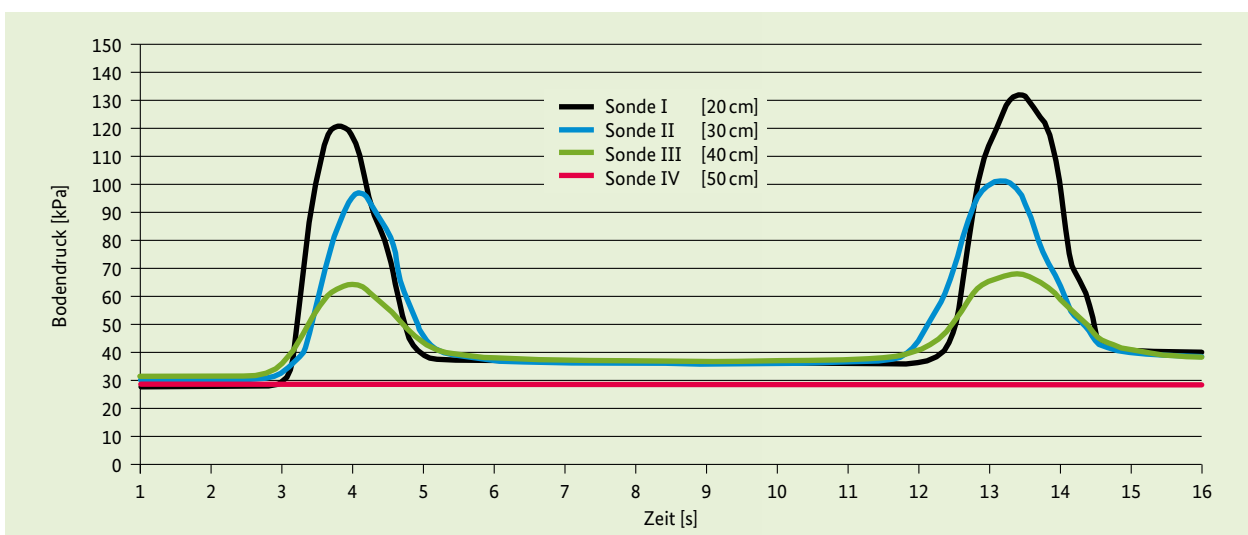


Abb. 3.36: Bodendrücke bei Überrollung mit zwei Rädern (Radlast je 5,2 t, Radialreifen 1.050/50 R32, Reifeninnendruck = 70 bar) (GEISCHEDER, 2011)

Großtraktoren schwere Zugarbeiten auf dem Acker verrichten sollen. Der Schlupf ist dann geringer als bei Radschleppern.

- (2) **Nachweis der Wirkung:** Die Wirkungen von Bandfahrwerken auf Bodendruck und Bodengefüge im Vergleich zu Radfahrwerken wurden in den letzten Jahren von verschiedenen Forschungsgruppen untersucht (GEISCHEDER, 2011; BRANDHUBER ET AL., 2010; GEISCHE- DER ET AL., 2007; ANSORGE & GODWIN, 2007; STAHL ET AL., 2005; BRUNOTTE ET AL., 2004). Die wissenschaftlichen Untersuchungen kamen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass die Bodendrücke unter Bandfahrwerken mit der Tiefe schneller abgebaut werden als unter Radfahrwerken. Verdichtungen durch höhere Bodendrücke waren unter Rädern im Unterboden nicht in allen Fällen nachweisbar.

Folgend werden einige Untersuchungsergebnisse vorgestellt:

Vergleich einzelner Fahrwerkskomponenten/ Fahrwerke

Vergleich Band (1-mal-Überrollung mit 11 t Auflast) mit Rad (2-mal-Überrollung mit je 5 t Radlast):

Böden einer Versuchsfläche im Raum Ingolstadt, Bayern (sandiger Lehm, Pflugfurche, Wassergehalt ca. 32 Vol.-%, entspricht 100 % Feldkapazität) wurden jeweils mit einer Gesamtlast von ca. 11 t überrollt, die auf 1 Band und alternativ auf 2 Räder verteilt war (Geischer 2011). Der aus den Aufstandsflächen von Band und Rädern ermittelte mittlere Kontaktflächendruck lag in beiden Varianten bei etwa 70 kPa. Die Ergebnisse der Bodendruckmessungen (mit Schlauchdrucksonden) zeigen (Abb. 3.35/3.36, S. 61), dass die einmalige Überrollung mit Bandfahrwerk eine geringere Tiefenwirkung des Bodendrucks verursachte als die Überrollungen mit 2 Rädern. Im Unterboden reichte der Bodendruck in keiner der beiden Varianten aus, um Änderungen der gemessenen bodenphysikalischen Parameter zu bewirken.

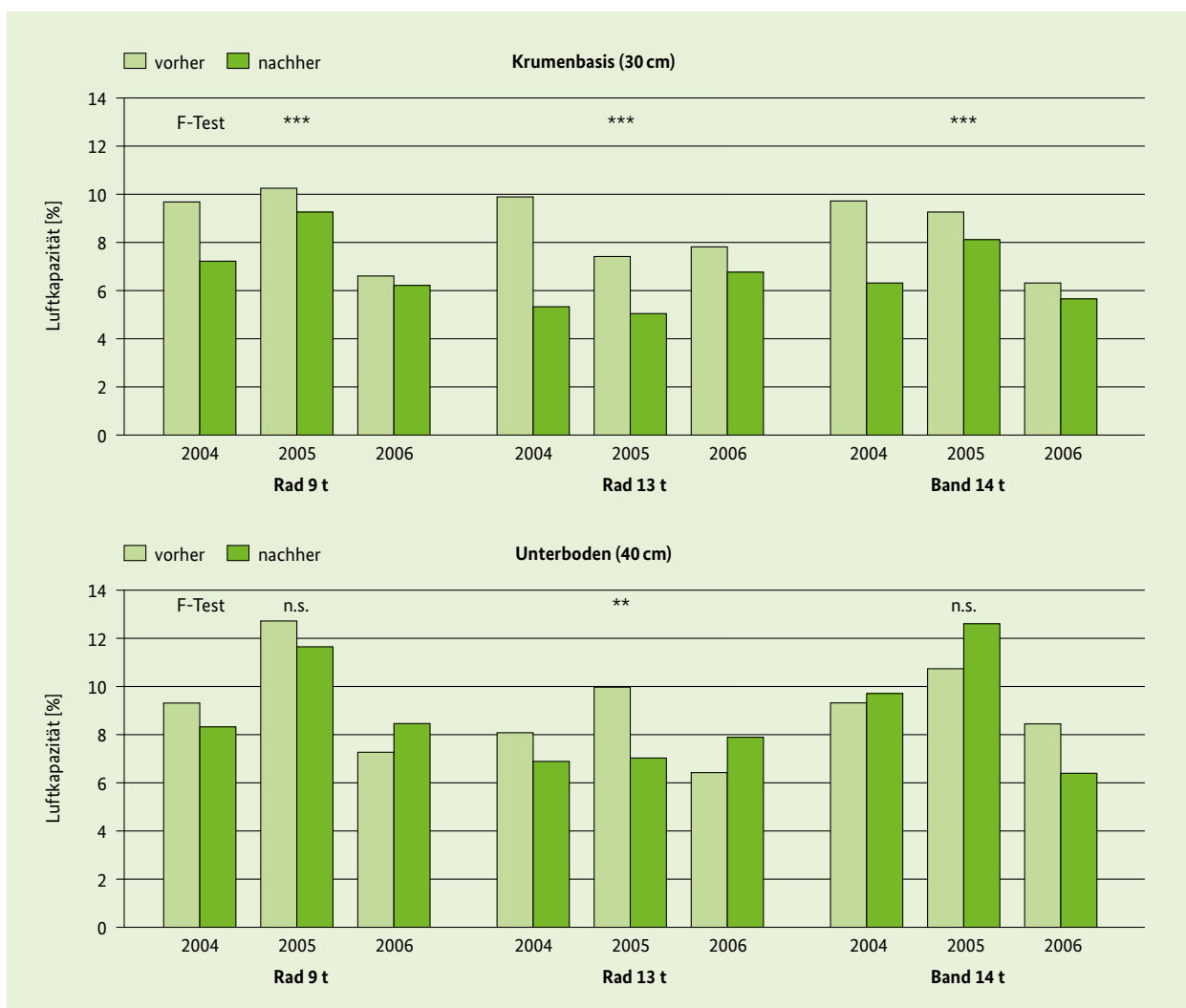


Abb. 3.37: Luftkapazität in 28 bis 33 cm (oben) und 38 bis 43 cm Tiefe (unten) jeweils vor (helle Säule) und nach (dunkle Säule) den Überrollungen in den Jahren 2004, 2005 und 2006 (GEISCHEDER, 2011)

Vergleich Band (1-mal-Überrollung mit 14 t) mit Rad (1-mal-Überrollung mit 13 t und alternativ mit 9 t):

In **Südostbayern** wurden Lösslehm Böden nach Pflugfurche in denselben Spuren über drei Jahre im Herbst mit einem Bandfahrwerk (14 t Auflast) und zwei Radvarianten (Einfachüberrollung mit 13 t und alternativ mit 9 t Radlast, Reifennendrucke nach Reifendrucktabelle eingestellt) überrollt (BRANDHUBER ET AL. 2010). Dafür kamen 6-reihige Zuckerrüben-Köpfrodebunker

zum Einsatz. Untersucht wurden Gefügeveränderungen in der Krumbasis (30 cm) und im Unterboden (40 cm Tiefe). In der Krumbasis (30 cm) führten alle drei Varianten zu signifikanten Verringerungen der Luftkapazität (= schnell drainende Grobporen), und nach den Überrollungen (F-Test über alle 3 Jahre) im Unterboden (40 cm) ergab sich nur bei der Radüberrollung mit 13 t Radlast (Variante 2) ein signifikanter Verformungseffekt (Abb. 3.37).

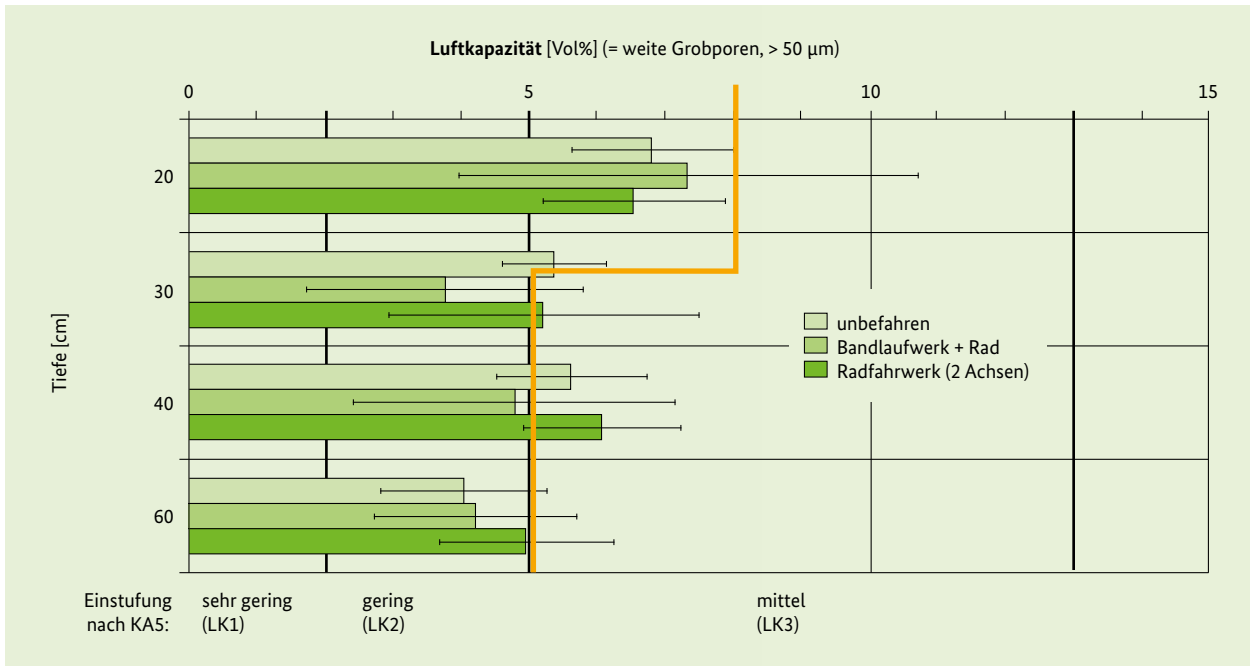


Abb. 3.38: Luftkapazität – Vergleich Bandfahrwerk mit Radfahrwerk beim Köpfrodebunker in 20/30/40/60 cm Tiefe (BRUNOTTE ET AL. 2004)

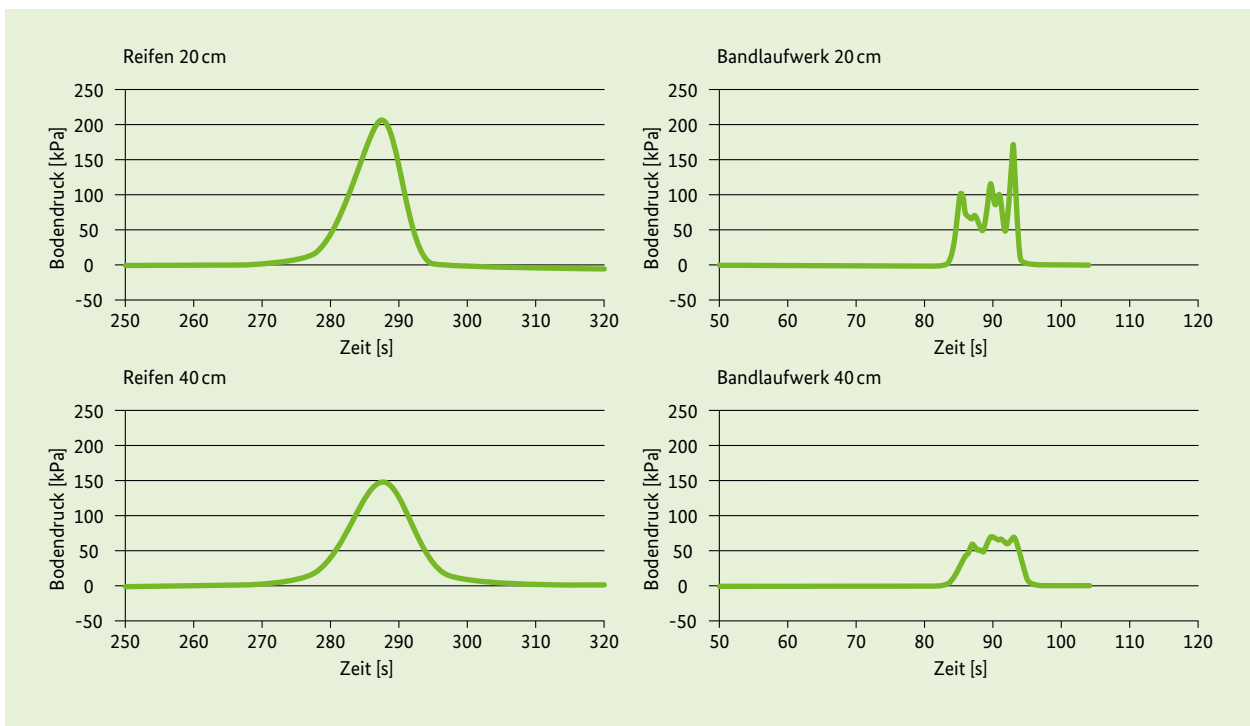


Abb. 3.39: Bodendruck – Vergleich Bandfahrwerk mit Radfahrwerk bei Überrollung durch Köpfrodebunker 6-reih. mit vollem Bunker in 20/40 cm Tiefe. Hinterachse bei ausgehobenem Rodewerkzeug auf feuchtem Boden. Mittelwerte aus jeweils 4 Messungen. (BRUNOTTE ET AL., 2004)

Die Messergebnisse streuten im Jahr 2006 wegen der ausgeprägt trockenen Böden stark. Die Verformungen führten jeweils zu keinen Gefügeausprägungen, die als „Schadverdichtungen“ zu bewerten gewesen wären. Nach drei Jahren waren auch keine akkumulativen Verdichtungseffekte nachweisbar.

Vergleich Band + Rad mit Rad + Rad: In einem 3-jährigen Feldversuch in Südniedersachsen wurden Fahrwerke von Rübenrodern nach nichtwendender Bodenbearbeitung verglichen: Bandfahrwerk 890 x 2.000 mm + Reifen 900/60 R32; Radfahrwerk: 800/65 R32 + 1050/65 R32. Am Versuchsstandort lagern die Böden kompakt, die Befahrung reduziert die Luftkapazität deshalb kaum (Abb. 3.38, S. 63). In der Krumenbasis gehen die Werte insgesamt weiter zurück. Im Unterboden (40/60 cm) verändert die Befahrung die Luftkapazität nicht weiter.

Vergleich Band (1-mal-Überrollung mit 15 t) mit Rad (1-mal-Überrollung mit 12 t): In Südniedersachsen wurden bei der Zuckerrübenenernte auch Bodendruckmessungen durchgeführt (nach 120 mm Niederschlag => Wassergehalt 32 Vol.-%). Zur Zuckerrübe erfolgte eine Mulchsaat mit krumentiefer Lockerung.

Abbildung 3.39, S. 63 zeigt in 20/40 cm Tiefe die Druckspitzen des Hinterrads des Rübenroders (Radlast 12 t), die geringfügig tiefer reichen als die 4 Druckspitzen vom Bandfahrwerk (15 t). Insgesamt ist das Niveau der Bodendrucke in 40 cm Tiefe erheblich reduziert, da die Krumenbasis (30 bis 35 cm Tiefe) die Lasteinträge abpuffert.

Bei der Bewertung von Landmaschinen mit Bandlaufwerken hinsichtlich Bodenschonung ist noch auf zwei Aspekte hinzuweisen:

- » Wesentliche Steuerungsgröße für das Risiko von Bodenverdichtungen ist die Bodenfeuchte. Maschinen mit Bandfahrwerken können ihre Arbeit oft noch verrichten, wenn Radfahrwerke wegen hoher Bodenfeuchte nicht mehr vorwärts kommen. Bei derart hoher Bodenfeuchte können aber auch Fahrzeuge mit Bandfahrwerken erhebliche Verdichtungen verursachen. Diese Technik sollte also nicht dafür genutzt werden, die Zeitfenster für die Arbeitserledigung in Richtung höhere Bodenfeuchte auszudehnen oder die Nutzlasten zu erhöhen, sondern den Boden zu schonen.



Abb. 3.40: Silomaisenernte, hier mit Feldhäcksler und hinterherfahrendem Häckselgutwagen (Foto: P. Meyer,/BLE)

- » Beim Wenden können Maschinen mit Bandfahrwerken in der Krume Strukturschäden durch Verschmieren und Abscheren verursachen. Besonders in kleinstrukturierten Gebieten mit kurzen Schlägen und damit hohem Anteil an Vorgewende kann dies nachteilig sein.

(3) Akzeptanz des Verfahrens: Landmaschinen mit Bandfahrwerken werden für große Erntemaschinen und in der obersten Leistungsklasse der Traktoren angeboten. Sie sind in der Anschaffung teurer als entsprechende Radfahrzeuge. Ihr Einsatz beschränkt sich deshalb überwiegend auf Fälle, wo diese Maschinen überbetrieblich oder auf Großbetrieben auszulasten sind und technologische oder arbeitswirtschaftliche Vorteile gegeben sind. Bei Mähdreschern der höheren Leistungsklasse mit Tangentialdreschwerk wird oft das Bandfahrwerk ausgewählt, weil bei Rädern zur Abstützung von Vertikallasten > 10 t nur 620er Reifen montiert werden können. In Verbindung mit hohen Reifeninnendrücker (> 3,0 bar) wäre ein bodenschonendes Befahren nur bei trockenen Verhältnissen möglich. Bei Zuckerrübenrodern bestimmt das Rodesystem das Fahrwerk; Reinigungsstrecken, die über die gesamte Arbeitsbreite reichen, fordern eine geringe Bauhöhe, die nur mit dem Bandfahrwerk zu erreichen ist. Großtraktoren, die für schwere Zugarbeiten auf dem Acker eingesetzt werden, dürfen auf der Straße wegen Überschreiten der zulässigen Fahrzeugbreite nicht mit bodenschonenden Zwilling- bzw. Drillingsrädern fahren. Traktoren mit Bandfahrwerken bieten sich hier als Alternative an.

Beispiel 3: Verfahrensvergleich bei der Silomaisernte – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix

Am Beispiel der Silomais- und Zuckerrübenerte wird die Entscheidungsmatrix zu Beginn ausführlich behandelt. Bei den folgenden Verfahrensketten (Mähdrusch, Kartoffelernte, Gülle- und Gärrestausbringung) erfolgt nur noch eine Kurzbeschreibung des Planungsinstrumentes zu der betreffenden Abbildung.

- (1) Skizze:** Die Entscheidungsmatrix (Abb. 3.21, S. 48, Abb. 3.41) ist ein Planungsinstrument für die Investition von Maschinen und für den praktischen Einsatz. Am Beispiel der Silomaisernte werden unterschiedliche Arbeitsketten in ihrem Beitrag zur Bodenschonung anhand bodenphysikalischer und pflanzenbaulicher Parameter eingestuft. Als Belastungsparameter wurden berücksichtigt: Radlast, Kontaktfläche, mittlerer Kontaktflächendruck, Reifeninnendruck, Spurflächenanteil, Überrollhäufigkeit, Schlaglänge und Bodenbearbeitung.
- (2) Nachweis der Wirkung:** Die Kontrolle ist immer die unbefahrene Ausgangsvariante, z. B. in der Krumenbasis mit einer Wasserleitfähigkeit von 35 cm/d, also der Stufe „mittel“ (s. Abb. 3.31, S. 57, gesättigte Wasserleitfähigkeit). Erfolgt durch die Befahrung mit dem Feldhäcksler + Traktor + Häckselgutwagen eine Minderung in 30 cm Tiefe auf 8 cm/d, so liegt nur noch die Stufe „gering“ vor. Die Verknüpfung aller oben genannten Kennwerte ermöglicht eine relativ präzise Einstufung des Verfahrens „Silomaisernte“. Das Ergebnis wird mit einer horizontalen Geraden durch das Quadratraster

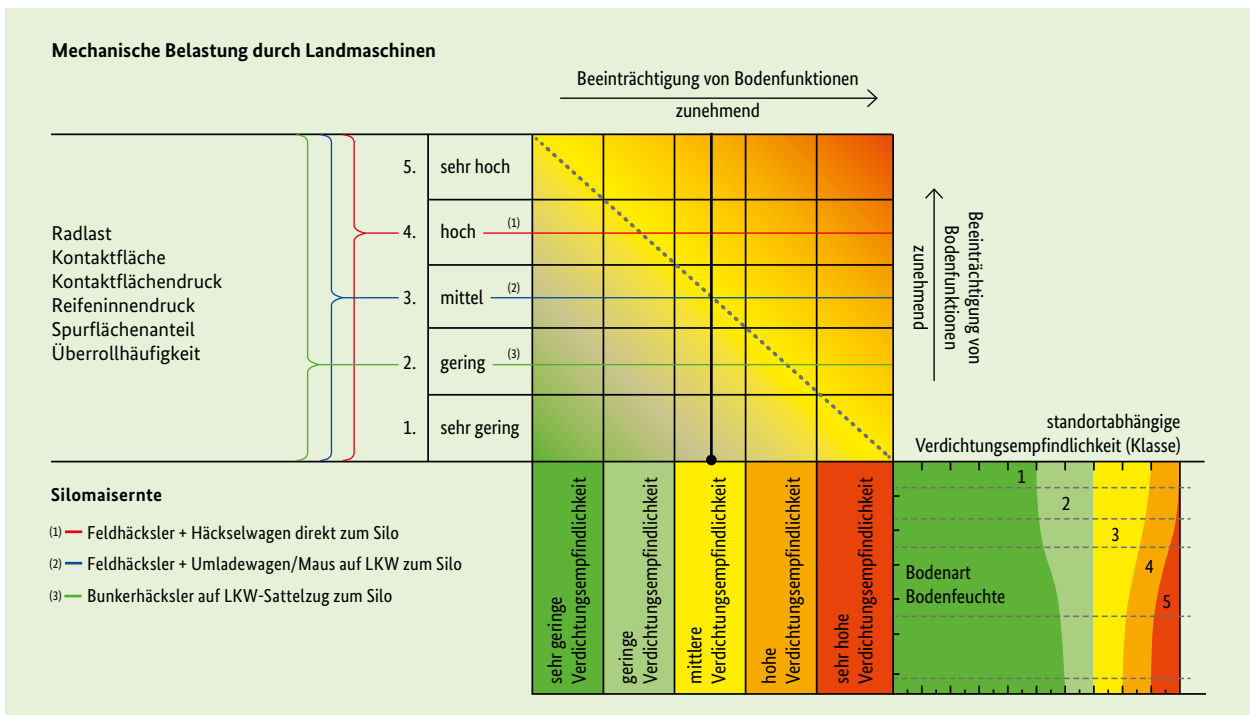


Abb. 3.41: Expertengestützte Entscheidungsmatrix zur Einstufung von standortabhängiger Verdichtungsempfindlichkeit (X-Achse) und mechanischer Bodenbelastung (Y-Achse) am Beispiel der Silomaisernte (LORENZ ET AL., 2016)

gezogen. Der Schnittpunkt mit der standörtlichen Verdichtungsempfindlichkeit erlaubt Aussagen, ob durch die Befahrung Bodenfunktionen gefährdet werden können. Der zu betrachtende Beispielstandort toniger Schluff (Ut3, Lö) mit 700 mm/a Niederschlag und 70 bis 80% Feldkapazität während der Erntezeit, ist in seiner Verdichtungsempfindlichkeit in der Stufe „mittel“ einzuordnen (= schwarze vertikale Gerade in Abb. 3.41, S. 65). Die herkömmliche einphasige Verfahrensvariante bei der Silomaisernnte ist charakterisiert durch parallel fahrende Transportfahrzeuge, bestehend aus Traktor und Häckselgutwagen. Sie folgen in der Regel der zuvor angelegten Spur des Häckslers. Aufgrund der Überrollhäufigkeit und des auf Straßenfahrt abgestimmten hohen Reifeninnendruckes von > 3 bar, ist die mechanische Belastung als „hoch“ einzustufen, u. a. belegt durch die Wasserleitfähigkeit in der Stufe „gering“ (s. Abb. 3.31, S. 57). Der Schnittpunkt 1 der durchgezogenen horizontalen Maschinengeraden (rot) mit der vertikalen Standortgeraden liegt im „kritischen“ Bereich. Infolgedessen kann die Verfahrensvariante im Mittel der Fälle kaum bodenschonend auf dem skizzierten Standort eingesetzt werden. Ein Befahren im „günstigen“ Bereich (Schnittpunkt 2) gelingt nur, wenn die mechanische Belastung in die Stufe „mittel“ (blau) verschoben wird. Dazu muss es zu einer Trennung von Feld- und Straßentransport kommen. Dies erlaubt, dass beim Häckselgutwagen der Reifeninnendruck von > 3 bar auf unter 1,5 bar gesenkt werden kann, weil er nur noch auf dem Acker fährt. Das Erntegut wird mittels stationärer oder mobiler Verladestation am Feldrand auf Lkws überladen. Der Einsatz von speziellen, breit bereiften Überladewagen würde die Situation weiter entspannen. Eine weitere Verbesserung der Bodenschonung kann mit einem Bunkerhäcksler erzielt werden, der am Feldrand direkt auf Lkw-Züge überlädt. Der dann erreichte Schnittpunkt 3 (grün) zeigt eine weitere Schonung der Bodenfunktionen an und würde einen Einsatz auch bei zunehmender Feuchte (FK 80 bis 90 %) zulassen. Durch die Hundeganglenkung dieser Technikvariante wird die Überrollung auf 1- bis 2-mal reduziert und es wären Reifeninnendrucke von < 1,5 bar möglich. Voraussetzung ist, dass die Schlaglänge an die Bunkerkapazität angepasst wird (BRUNOTTE & FRÖBA, 2007; BRUNOTTE ET AL., 2011b).

- (3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Die vorgestellte Entscheidungsmatrix ist ein relativ neues Instrument für die Praxis. Die Herangehensweise erscheint den Praktikern plausibel. Die Einschätzung der Verdichtungsempfindlichkeit der eigenen Ackerschläge mit Hilfe der Feldge-

fügeansprache (s. Abb. 3.49, S. 76) wird in Seminaren und auf Feldtagen gut angenommen. Die Einstufung der Mechanisierungsketten durch wissenschaftliche Untersuchungen und Befahrungsversuche wird in der Praxis geteilt – eigene Messergebnisse für die mechanische Belastung liegen den Landwirten nicht vor. Zukünftig wird es darauf ankommen, Daten zum Standort (Bodenart, Kultur, Witterung => Deutscher Wetterdienst DWD) mit der Planung von Investitionen und dem Maschineneinsatz zu verschneiden, um eine Anpassung der mechanischen Belastung an die Verdichtungsempfindlichkeit der Böden zu erreichen. Dafür wird zurzeit eine online-Anwendung vom Thünen-Institut, vom DWD und vom KTBL entwickelt, die Landwirte und Lohnunternehmer an ihrem Standort nutzen können.

Beispiel 4: Verfahrensvergleich bei der Zuckerrübenerte – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix

- (1) **Skizze:** Anhand der Entscheidungsmatrix werden die typischen Verfahrensvarianten der Zuckerrübenerte bezüglich ihrer mechanischen Belastung eingestuft (Abb. 3.42).
- (2) **Nachweis der Wirkung:** Anders als bei der Silomaisernnte erfolgt die Rübenerte mit 6-reihigen Bunkermaschinen (2-achsig = 22 t, 3-achsig = 30 t Bunkerinhalt) in der Regel ohne parallel fahrende Transportfahrzeuge. Dementsprechend ändert sich das Gesamtgewicht der Erntemaschine mit zunehmender Erntestrecke, die Überrollhäufigkeit bleibt gering (DUTTMANN ET AL., 2013). Zur Steigerung der Flächenleistung und zur Senkung von Rodekosten wird ggf. ein selbstfahrendes Transportfahrzeug bzw. ein Traktor mit Heckkippanhänger eingesetzt. Dadurch werden ca. 30 bis 45 Sekunden Entladezeit bei der Bunkermaschine eingespart. Zu der 1- bis 2-maligen Überrollung der Erntemaschine (2-achsig) kommen auf einem Teil der Produktionsfläche 2 bis 5 Überrollungen und eine Erhöhung des Spurflächenanteils hinzu. Radlasten von 3 bis 12 t + 3 bis 7 Überrollungen stellen eine eher „hohe“ mechanische Belastung für den Boden dar. Bodenschonender erfolgt die Zuckerrübenerte, wenn die Schlaglänge der Bunkerkapazität entspricht. So kann ein Ackerschlag von z. B. 500 m Länge durch Hin- und Rückfahrt eines 2-achsigen KRB (700 m eines 3-achsigen KRB) gebunkert und am Vorgewende mit

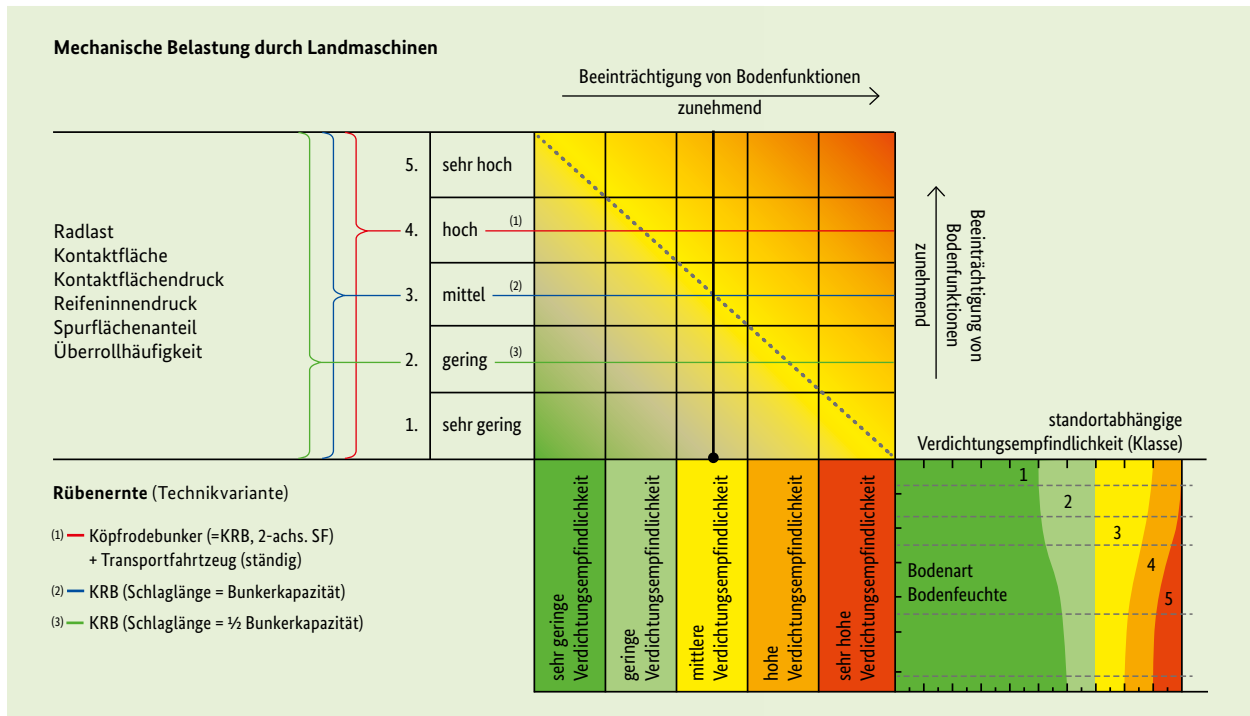


Abb. 3.42: Expertengestützte Entscheidungsmatrix zur Einstufung von standortabhängiger Verdichtungsempfindlichkeit (X-Achse) und mechanischer Belastung (Y-Achse) am Beispiel der Zuckerrübenernte (LORENZ ET AL., 2016)

Feldweg entleert werden (BRUNOTTE & FRÖBA, 2007).

Durch die nur 1- bis 2-malige Überrollung entsteht eine „mittlere“ mechanische Belastung. Ist der Grad der Bodenschonung zu erhöhen aufgrund einer gestiegenen Verdichtungsempfindlichkeit (durch zunehmende Bodenfeuchte) des Standortes, kann die Bunkerkapazität nur noch halb ausgeschöpft werden. Das ermöglicht eine Fortsetzung der Ernte mit allerdings geringerer Flächenleistung und erhöhten Kosten.

Durch die verminderte Radlast kann der Reifeninnendruck gemindert (siehe Abb. 3.23, S. 50) und damit das Maß der Bodenschonung erhöht werden. Diese Anpassungsstrategie gelingt nur, wenn die Zuckerrüben an beiden Vorgewenden abgebunkert werden können bzw. der halbe Bunkerinhalt mit einem Transportfahrzeug über Feldwege an die andere Seite transportiert werden kann.

- (3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Die Regel ist das Verfahren „Rübenernte ohne ständiges Transportfahrzeug, allerdings mit Ausschöpfung der Bunkerkapazität“. Ein ständiges Transportfahrzeug bleibt die Ausnahme und ist aus Bodenschutzgründen auch nicht zu empfehlen. Das günstigste Verfahren hinsichtlich Bodenschonung findet bisher auch wenig Zustimmung, da die Flächenleistung sinkt und die Transportkosten zunehmen. Eine wichtige Voraussetzung ist die moderate Kampagneauslastung der Maschine, um Tage mit reduzierter Leistung verkraften zu können (siehe Fallbeispiel 1 auf S. 55).

Beispiel 5: Verfahrensvergleich beim Mähdrusch – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix

Kurzbeschreibung: Insbesondere bei der Mähdruschernte ist eine Beurteilung der Lasten nur innerhalb einer Leistungsklasse sinnvoll. Da Großmähdrischer die höchsten Lasten bedeuten, wurde die Leistungsklasse 9–10 m Arbeitsbreite bei 360 kW zugrunde gelegt. Obwohl in dieser Leistungsklasse am häufigsten Überladewagen auf dem Acker anzutreffen sind, wurden diese nicht berücksichtigt, da nur die Mähdrischer in ihrer Ausstattung betrachtet werden. Wie bei der Rübenernte, bedeutet die Fahrtstrecke mit annähernd gefülltem Korntank die höchste mechanische Belastung für den Acker bei allerdings sehr viel geringerem Spurflächenanteil. Hohe Leistungsklasse fordert eine große, breite Dreschtrommel – liegt sie tangential in der Maschine, verbleibt wenig Platz für großvolumige Bereifung bis zu einer Transportbreite von 3,5 m. Die Tragfähigkeit der relativ schmalen 620er Reifen wird über einen hohen Innendruck von > 3 bar hergestellt. Insbesondere bei feuchter Krume und nach Pflugfurche sind u. a. tiefe Fahrspuren ersichtlich, sodass die mechanische Belastung als „hoch“ einzustufen ist (Abb. 3.43, rote Gerade). Bodenschonender sind die folgenden drei Fahrwerke:

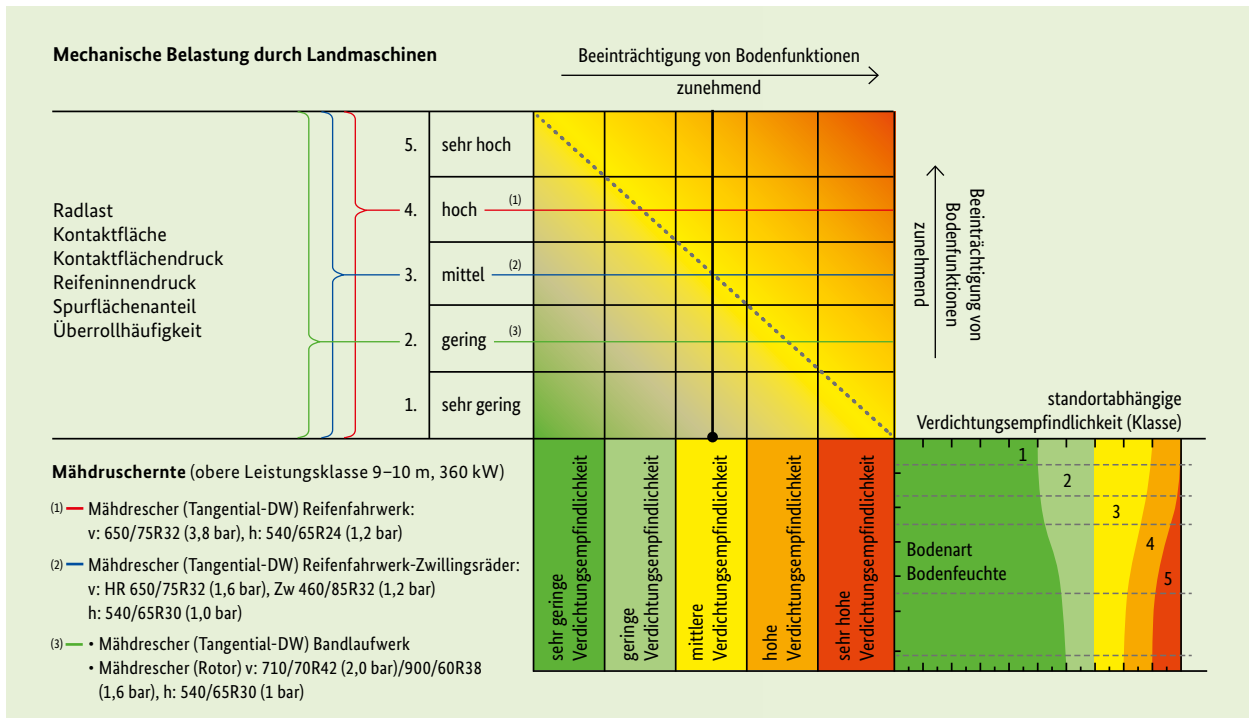


Abb. 3.43: Expertengestützte Entscheidungsmatrix zur Einstufung von standortabhängiger Verdichtungsempfindlichkeit (X-Achse) und mechanischer Belastung (Y-Achse) am Beispiel der Mähdruschernte (LORENZ ET AL., 2016)

1. Tangential-Dreschwerke mit Abscheiderotoren erreichen durch die Montage von Zwillingsrädern Reifeninnendrucke von < 2 bar. Da An- und Abbau und Straßentransport (auf einer Halterung vor dem Schrägförderer des Mähdröschers) aufwendig sind, ist der Einsatz nur auf arrondierten Betrieben bzw. auf großen Flächen durchführbar (vgl. Abb. 3.43, blaue Gerade).
2. Alternativ werden bei Tangential-Dreschwerken mit Abscheiderotoren Bandlaufwerke eingesetzt, die die Last auf eine große Kontaktfläche abstützen und die maximale Transportbreite auf der Straße einhalten. Allerdings steigt auf jeder Seite die Last um ca. 1,5 t und zusätzlich erhöht sich der Anschaffungspreis.
3. Liegt in dieser Leistungsklasse allerdings ein Rotor-dreschwerk vor, ist bauartbedingt durch längsliegende Druschorgane ausreichend Platz an den Seiten, breite und hohe Reifen zu montieren und aufgrund des hohen Luftvolumens den Innendruck auf unter 2 bar abzusenkten.

2) und (3) unterschieden sich hinsichtlich der mechanischen Belastung nur unwesentlich, die bei beiden als gering eingestuft werden kann (vgl. Abb. 3.43, grüne Gerade).

Beispiel 6: Verfahrensvergleich bei der Kartoffelernte – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix

Kurzbeschreibung: Bei der Kartoffelernte erfolgt der Verfahrensvergleich anhand 2-reihiger Erntetechnik, weil hier eine breite Differenzierung in der Praxis vorzufinden ist. Der **Rodelader** wird von einem 90 kW Traktor gezogen, der mit schmalen Rädern (300er) zwischen den Dämmen fährt. Ein parallel fahrender Heckkippanhänger nimmt die Kartoffeln auf. Die hohe mechanische Belastung für den Boden ergibt sich aus dem hohen Reifeninnendruck des Traktors vor dem Rodelader, dem an die Straßenfahrt angepassten Innendruck des Heckkippanhängers (> 2,5 bar) und der hohen Überrollhäufigkeit / Spurflächenanteil beider Fahrzeuge bei einer 2-reihigen Ernte (Abb. 3.44, rote Gerade). Der 2-reihige **Bunkerroder** ist durch breitere Bereifung und geringeren Innendruck am Traktor und Roder, geringere Überrollhäufigkeit und geringeren Spurflächenanteil hinsichtlich Bodenschonung günstiger als die oben beschriebene Verfahrensvariante zu beurteilen (Abb. 3.44, blaue Gerade). Einen weiteren Vorteil bringt der selbstfahrende 2-reihige Bunkerroder, der durch die 800er Reifen beim Innendruck unter 2 bar liegt und die geringste Überrollhäufigkeit / Spurflächenanteil aufweist (Abb. 3.44, grüne Gerade).

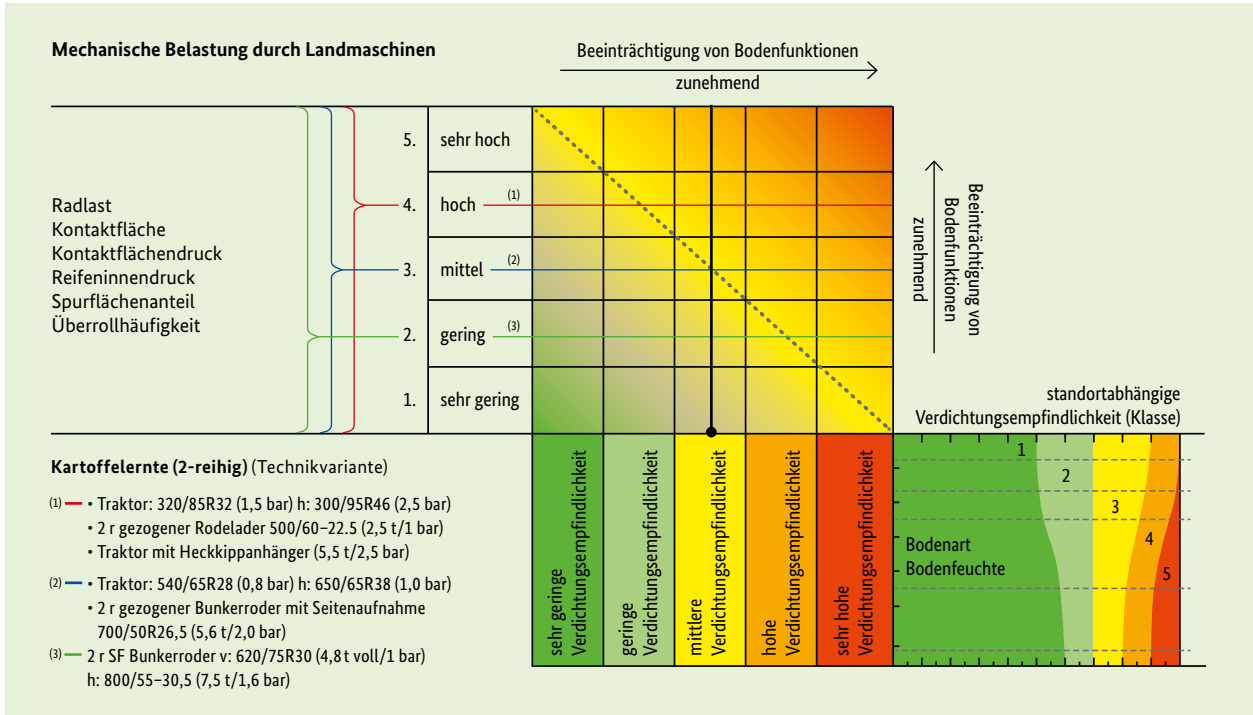


Abb. 3.44: Expertengestützte Entscheidungsmatrix zur Einstufung von standortabhängiger Verdichtungsempfindlichkeit (X) und mechanischer Belastung (Y) am Beispiel der Kartoffelernte (LORENZ ET AL., 2016)



Abb. 3.45: 2-reihiger Rodelader (Foto: P. Meyer/BLE)

Beispiel 7: Verfahrensvergleich bei der Gülle-/ Gärsubstratausbringung – Beitrag zur Bodenschonung anhand der Entscheidungsmatrix

Kurzbeschreibung: Bei der Ausbringung organischer Dünger gibt es Parallelen zur Silomaisernnte. Wird der Straßen- und Feldtransport ohne Reifendruckverstellanlage von ein und demselben Fahrzeug übernommen (oft bei Eigenmechanisierung gegeben), so kommt es bei **Tridem-Güлетankwagen** mit > 3 bar Reifeninnendruck durch die hohe Überrollhäufigkeit zu einer „hohen“ mechanischen Belastung der Standorte (Abb. 3.46, rote Gerade). Die Gefährdung des Ackers ist

insbesondere dann hoch, wenn im zeitigen Frühjahr bei noch feuchtem Unterboden gefahren wird.

Erfolgt eine Trennung vom Straßen- und Feldtransport und bringt ein selbstfahrender **Güлетankwagen** mit Hundegan- genkung den organischen Dünger aus, wird die Bodenschonung verbessert (Abb. 3.46, S. 70, blaue Gerade). Obwohl die Radlasten auf > 10 t ansteigen, kann durch die nur 1-malige Überrollung und den Reifeninnendruck von max. 2 bar dieses Ergebnis erreicht werden. Ein Selbstfahrer bietet sich zusätzlich an, in einem Arbeitsgang die Einarbeitung der Gülle mit Scheibenegge/ Flachgrubber vorzunehmen.

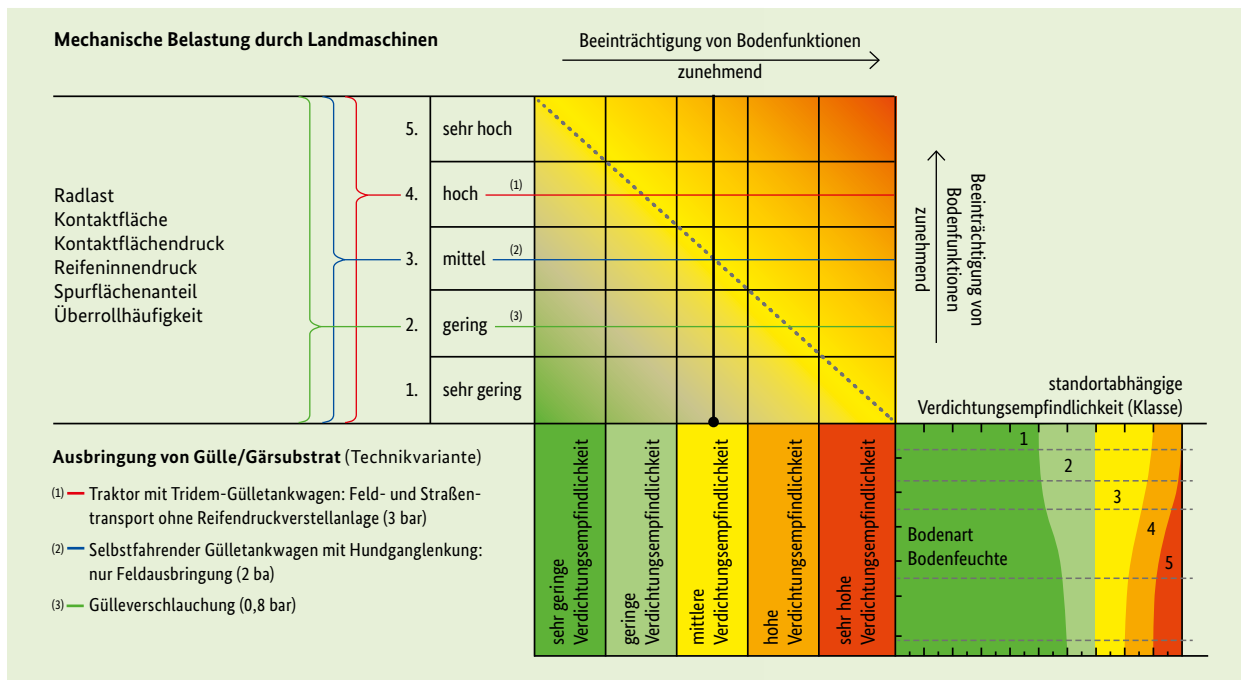


Abb. 3.46: Expertengestützte Entscheidungsmatrix zur Einstufung von standortabhängiger Verdichtungsempfindlichkeit (X-Achse) und mechanischer Belastung (Y-Achse) am Beispiel der Gülle-Gärssubstratausbringung (LORENZ ET AL., 2016)

Die bodenschonendste Variante ist natürlich die **Gülleverschlauung**, weil hier nur der Traktor mit 650er Reifen und 0,8bar Innendruck einen geringen Teil der Fläche zweimal überrollt (Abb. 3.46, grüne Gerade). Durch die geringe mechanische Belastung kann sich das Zeitfenster für die Ausbringung vergrößern und damit erhöht sich der Handlungsspielraum der Landwirte – es stehen mehr Befahrbarkeitstage für eine bodenschonende Ausbringung zur Verfügung.

Diese technischen Lösungen gehen allerdings mit erhöhten Investitionskosten einher. Mit zunehmender Schlaggröße übersteigen die Kosten des Tridem-Pumpentankwagens allerdings die der Gülleverschlauung – der Gülle selbstfahrer ist immer die günstigste Lösung. Die Gülleverschlauung stellt durch die notwendige hohe Auslastung eher eine überbetriebliche Alternative dar. Die Forschung ist gefordert den Nutzen aus dem bodenschonenden Befahren zu monetarisieren, um insgesamt eine Akzeptanzsteigerung bei den landwirtschaftlichen Betrieben zu erreichen.

Beispiel 8: Anpassung des Reifeninnendrucks und Vergrößerung der Kontaktfläche

(1) **Skizze:** Höhere Tragfähigkeiten von Reifen können durch ein größeres Luftvolumen oder durch einen höheren Reifeninnendruck realisiert werden. Da ein höherer Reifeninnendruck den Boden stärker belastet, werden großvolumige Reifen eingesetzt. Das größere Volumen wird wegen des meist begrenzten Bauraums in erster Linie durch breitere Reifen bei gleichem Reifen- und Felgendurchmesser realisiert. Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten weisen sie eine höhere Tragfähigkeit bei gleichem Reifeninnendruck auf. Im Umkehrschluss ermöglichen

diese Reifen bei gleicher Radlast mit deutlich niedrigerem Reifeninnendruck zu fahren. So ist z. B. bei einem Standardreifen 20.8R42 ein Reifeninnendruck von 1,4 bar nötig, um bei 10km/h eine Radlast von 5.000 kg abzustützen. Wird bei nahezu gleichem Reifendurchmesser ein Breitreifen 710/70R38 eingesetzt, ist nur ein Reifeninnendruck von 0,8 bar erforderlich. Derartige Breitreifen gehören heute bei vielen Traktormodellen zur Grundausstattung (Abb. 3.48).

Mit dem geringen Reifeninnendruck für die Arbeit auf dem Feld ist die Tragfähigkeit für die Straßenfahrt bei hoher Fahrgeschwindigkeit nicht ausreichend. Es ist deshalb eine Anpassung des Reifeninnendrucks vorzunehmen. Als Ergänzung oder Alternative zu breiteren Reifen werden von der Industrie unterschiedliche Möglichkeiten zur Anpassung des Reifeninnendrucks angeboten. Die Angebotspalette reicht von preisgünstigen, einfachen Lösungen mit hohem Arbeits- und Zeitbedarf bis hin zu deutlich teureren Reifeninnendruckverstellanlagen mit hohem Bedienkomfort. Als Einstieg in den variablen Reifendruck kann man mit Schnellkupplern in der Felge Erfahrungen sammeln. Die 4 Schnellkuppler, das Manometer und der Füllschlauch kosten ca. 200 Euro. Für Reifeninnendruck-Verstellanlagen sind bei einem Traktor Mehrkosten von 3.500 bis 12.000 Euro zu erwarten. Für Anhänger ist für die erste Achse mit zusätzlichen Kosten von 3.000 bis 4.000 Euro und für jede weitere Achse mit Kosten von 1.500 bis 2.000 Euro zu rechnen. Besonders für den Anhängerbetrieb mit häufigen Füllvorgängen empfiehlt sich ein Zusatzkompressor, der mit 3.000 bis 6.000 Euro zu Buche schlägt.

(2) **Nachweis der Wirkung:** Nimmt die Verdichtungsempfindlichkeit der Böden z. B. nach Niederschlägen zu, ist die mechanische Belastung durch die Maschinen zu

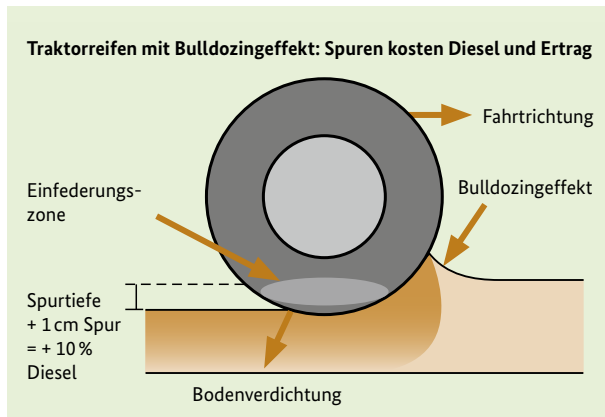


Abb. 3.47: Bulldozingeffekt bedeutet, dass der Reifen im Boden „bergauf“ fährt (VOLK 2008, verändert)

reduzieren, um Bodenverdichtungen vorzubeugen. In diesem Fall könnte z. B. bei einer Erntemaschine das Bunkervolumen nur halb ausgeschöpft werden. Der bodenschonende Effekt wird allerdings nur erreicht, wenn der Reifeninnendruck an die verminderte Last angepasst wird.

Ein 1050er Reifen braucht bei einer Last von 12,5 t 2,5 bar Reifeninnendruck und stützt sich auf einer Kontaktfläche von 9.200 cm² ab. Bei 9 t Last und 2,5 bar werden 20% Kontaktfläche verschwendet und damit das Potenzial des Reifens zur Bodenschonung nicht ausgeschöpft. Inwieweit zukünftig bei Erntemaschinen eine automatische an die Bunkerfüllung angepasste Reifeninnendruckregelung zu erreichen ist, wird die zukünftige Entwicklung zeigen. Dies gelingt nur, wenn eine kontinuierliche Radlastmessung (über die Reifeneinfederung durch Ultraschall) die Bunkerfüllung berücksichtigt und der Reifeninnendruck angepasst wird. Größere Kontaktflä-

chen zwischen Reifen und Boden lassen die Reifen weniger einsinken. Die Spurtiefe bedeutet Bodenverdrängung nach unten und zur Seite und durch Schlupf nach hinten. Gleichzeitig fährt der Traktor bei der Spurbildung mit den Reifen fortwährend gegen einen Erdwall. Dieses kraftzehrende und permanente Bergauffahren im Ackerboden wird Bulldozingeffekt genannt (Abb. 3.47). Kann die Spurtiefe um einen Zentimeter reduziert werden, bedeutet dies etwa 10% Kraftstoffeinsparung, da zwei Effekte genutzt werden. Einerseits wird der Bulldozingeffekt reduziert und andererseits ist ein geringerer Schlupf zur Zugkrafterzeugung notwendig. Geringerer Schlupf bedeutet auch geringeres „Eingraben“ der Räder. Beim Gülleausbringen ab Hof und direktem Einarbeiten mit dem Güllegrubber sind ab etwa 3.000 h Ausbringzeit die Arbeiterledigungskosten beim Einsatz von Breitreifen und einer vom Traktorsitz aus zu betätigenden Reifennendruckverstellung geringer, verglichen mit einem Gespann ohne Breitreifen und ohne Reifennendruckverstellung. Positive Sekundäreffekte wie beispielsweise bessere Ertragsstabilität und weniger Aufwand bei der Bodenlockerung sind hier noch nicht berücksichtigt.

- (3) **Akzeptanz der Maßnahme:** Großvolumige Reifen sind bei modernen Landmaschinen in der Regel bereits Standard. Einschränkungen gibt es bei Erntemaschinen durch die Beschränkung der Breite für die Fahrt auf öffentlichen Straßen.

Anlagen zur Verstellung des Reifeninnendruckes vom Fahrersitz aus haben besonders bei der Gülleausbringung bereits eine große Verbreitung erreicht. Verstärkt wird die Marktdurchdringung auch für andere Bereiche durch immer weitere Anbieter dieser Technik bei der Erstausrüstung der Maschinen.



Abb.: 3.48: Traktor mit Kraftstoffmessung bei Zugarbeiten mit verschiedenen Reifeninnendrücken (Foto: L. Volk)

Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung – 5. Auflage; Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.
- ANSORGE, D. & GODWIN, R. J. (2007): Raupen und Reifen. Landtechnik 62 (1), 30–31.
- ARVIDSSON, J., TRAUTNER, A., VAN DEN AKKER, J. J. H., SCHJØNNING, P. (2001): Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvestors in southern Sweden. II Soil displacement during wheeling and model computations of compaction. Soil Tillage Research 60, 79–89.
- BECKER, B. & TIEDEMANN, M. (2012): Bundes-Bodenschutzgesetz. Kommentar – Stand 4.2012. 1. Ordner, z. Zt. ca. 1.800 Seiten; Loseblattwerke RS Schulz Verlag.
- BEYLICH, A., OBERHOLZER, H.-R., SCHRADER, S., HÖPER, H. & WILKE, B.-M. (2010): Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. Soil and Tillage Research 109, S. 133–143.
- BISCHOFF, J. (2011): Langzeitversuch auf Löß-Schwarzerde. Landwirtschaft ohne Pflug H 5, S. 34–39.
- BMJ-BUNDESMINISTERIUM FÜR JUSTIZ (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) (BGBl. I S. 1.554).
- BMU-BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG), Bundesgesetzblatt I 1998, 502, FNA 2129, GESTA NO 18. 2004.12.09.
- BOLLING, I. (1987): Bodenverdichtung und Triebkraftverhalten bei Reifen – neue Meß- und Rechenmethoden. München, Forschungsbericht Agrartechnik, Arbeitskreis Forschung und Lehre Max-Eyth-Ges. (133), 274 S.
- BOLLING, I. & SÖHNE, W. (1982): Der Bodendruck schwerer Ackerschlepper und Fahrzeuge. Landtechnik 37, 2, S. 54–57.
- BRANDHUBER, R. (2005): Bodengefüge – Status und Veränderungen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 8, S. 57–60.*
- BRANDHUBER R., DEMMEL, M., KOCH, H.-J. & BRUNOTTE, J. (2008): Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen – Empfehlungen für die Praxis. DLG-Merkblatt 344:19 p.
- BRANDHUBER, R., DEMMEL, M. & GEISCHEDE, R. (2010): Bodengefügeschutz mit optimierter Fahrwerkstechnik. Schriftenreihe des LfULG, Heft 15/2010, S. 38–45.
- BRUNOTTE, J. (2013): Bodenschonendes Befahren bei der Silomaisernt. In: Logistik rund um die Biogasanlage, KTBL-Schrift 490, Darmstadt, S. 49–62
- BRUNOTTE, J. (2007): Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off, und Mykotoxinbildung im Getreide. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 305, ISBN 978-3-86576-029- 6, 159 S.
- BRUNOTTE, J. (2008): Messungen der aktuellen Befahrbarkeit durch online-Sensoren – eine Lösung für die Praxis? In: Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf. Institut für Landwirtschaft und Umwelt (ilu), H 15, S. 101–110, ISBN3- 926898-29-1.
- BRUNOTTE, J. (2012): Anpassung der mechanischen Belastung an die Verdichtungsempfindlichkeit von Böden. In: Management der Ressource Wasser, KTBL-Schrift 492, S. 107–116.*
- BRUNOTTE, J. & FRÖBA, N. (2007): Schlaggestaltung – kostensenkend und bodenschonend. KTBL-Schrift 460, 178 S.*
- BRUNOTTE, J., WEISSBACH, M., RO-GASIK, H., ISENSEE, E. & SOMMER, C. (2000): Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-erntetechnik. Zuckerrübe 49 (1), S. 34–40.*
- BRUNOTTE, J. & WAGNER, M. (2001): Bodenschonung und Kosteneinsparung. KTBL-Schrift 266, 117 S.*
- BRUNOTTE, J., LORENZ, M., NOLTING, K., VOSSHENRICH, H.- H. & SOMMER, C. (2004): Entwicklung eines Befahrbarkeitssensors – Einfluss unterschiedlicher Fahrwerksausstattungen am Rübenroder auf Bodendruck und Bodenstruktur. Jahresbericht FAL 2004, S. 125.
- BRUNOTTE, J., SOMMER, C., ISENSEE, E. & WEISSKOPF, P. (2005): Der Boden unter Druck. Landtechnik 60 (3), S. 150–151.*
- BRUNOTTE, J., LORENZ, M., NOLTING, K., VOSSHENRICH, H.- H. & SOMMER, C. (2006): Entwicklung eines Befahrbarkeitssensors. Jahresbericht der FAL, S. 51.
- BRUNOTTE, J., NOLTING, K., LORENZ, M., SOMMER, C. & ISENSEE, E. (2007b): Befahrbarkeitssensor – Flexibles Einsatzmanagement und Bodenschonung während der Ernte. Zuckerrübe 56 (5), S. 246–249.*
- BRUNOTTE, J., LORENZ, M., SOMMER, C., HARRACH, T. & SCHÄFER, W. (2008): Verbreitung von Bodenschadverdichtungen in Südniedersachsen. Berichte über Landwirtschaft 86 (2), S. 262–283.*
- BRUNOTTE, J., VORDERBRÜGGE, T., NOLTING, K. & SOMMER, C. (2011a): Mechanische Verdichtungsempfindlichkeit für Ackerflächen (Unterboden) – Validierung von Pedotransferfunktionen zur Ableitung der Verdichtungsempfindlichkeit bzw. zur Ausweisung „sensibler Gebiete“ in Europa und ein praxisorientierter Lösungsansatz zur Guten fachlichen Praxis: Teil IV: Ein

praxisorientierter Lösungsansatz zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen. *Landbauforsch* 61 (1), S. 51–74.*

BRUNOTTE, J., DEMMEL, M., FRÖBA, N., UPPENKAMP, N. & WEISSBACH, M. (2011b): Boden schonen und Kosten senken. *KTBL-Heft* 89, Darmstadt, 64 S.*

BRUNOTTE, J., SENGER, M., VON HAAREN, M., HEYN, J., BRANDHUBER, R., VOSSHENRICH, H., EPPERLEIN, J., VORDERBRÜGGE, T. ORTMEIER, B. & LORENZ, M. (2011c): Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker. Braunschweig, vTI, Tafel, 3. Auflage.

BRUNOTTE, J., NOLTING, K., FRÖBA, N. & ORTMEIER, B. (2012): Bodenschutz beim Pflügen: Wie hoch ist die Radlast am Furchenrad? *Landtechnik* 67 (H 4), S. 265–269.

BRUNOTTE, J. & ORTMEIER, B. (2012): Expertengestützte Entscheidungsmatrix zur Einstufung von standortabhängiger Verdichtungsempfindlichkeit (X-Achse) und mechanischer Belastung (Y-Achse) an verschiedenen Beispielen. Unveröffentlicht. Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Braunschweig.

CHAMEN, T. (2006): Controlled traffic farming. *Literaturreview and appraisal of potential use in the U.K.*, HGCA Research Review, London, 59 S.

CHAMEN, W. T. C., ALAKUKKU, L., PIRES, S., SOMMER, C., SPOOR, G., TIJINK, F. G. J. & WEISSKOPF, P. (2003): Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A Review. Part 2. Equipment and field practices. *Soil and Tillage Research* 73, S. 161–174.

CRAMER, B. (2006): Überprüfung von Bewertungsmodellen zur Identifikation und Prognose von Schadverdichtungen auf Ackerböden in Nordrhein-Westfalen. *Bonner Bodenkundl. Abhandlungen*, 44, 198 S.

DANFORS, B. (1974): Packning i alven. *Special-meddelande/Jordbrukstekniska institutet* 24.

DEMMEL, M. BRANDHUBER, R. & WILD, M. (2010): Wie viel schaden Verdichtungen? *Landwirtschaft ohne Pflug*, Heft 11/12, S. 17–22.

DIEZ, TH. (1991): Beurteilung des Bodengefüges im Feld: Möglichkeiten, Grenzen und ackerbauliche Folgerungen. *Berichte über Landwirtschaft*, SH 204, S. 96–103.

DIEZ, TH. & WEIGELT, H. (2000): Bodenstruktur erkennen und beurteilen. Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising-München. DIN 19682-10 (1998): Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau – Felduntersuchungen – Teil 10: Beschreibung und Beurteilung des Bodengefüges. Deutsches Institut für Normung, DIN 19682-10. Beuth, Berlin.

DISERENS, E. (2002): Ermittlung der Reifen-Kontaktfläche im Feld mittels Rechenmodell. *FAT* Nr. 582, 11 S.

DISERENS, E. & SPIESS, E. (2005): TASC – eine PC-Anwendung zur Vorbeugung von Schadverdichtungen. *Agrarforschung* 12 (1), S. 22–27.

DUMBECK, G. (1986): Bodenphysikalische und funktionelle Aspekte der Packungsdichte von Böden. *Dissertation, Gießener Bodenkundliche Abhandlungen* Bd. 3, 236 S.*

DÜRR, H.-J., PETELKAU, H. & SOMMER, C. (1995) *Literaturstudie „Bodenverdichtung“*. UBA-Texte 55/95, 203 S.

DUTTMANN, R., BRUNOTTE, J. & BACH, M. (2103): Evaluierung der schlagintensiven Bodenbelastung durch Befahrung und Ableitung von Optimierungshilfen für den Praktiker. *Landbauforschung* (63) S. 171–189

EPPERLEIN, J. & JOSCHKO, M. (2002): Population von Regenwürmern nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung und vor/ nach Befahren mit Zuckerrüben-Vollerntern. *Schriftliche Mitteilung*, Berlin.*

FRERICHS, L. (2004): *Lehrblätter zur Vorlesung Agrartechnik I*. RWTH Aachen. FRÖBA, N. (2012): *schriftliche Mitteilung*, KTBL Darmstadt.

FRÖHLICH, O. K. (1934): *Druckverteilung im Baugrunde*. Springer-Verlag, Wien.

GEISCHEDER, R. (2011): *Bodenbelastung und Bodenbeanspruchung unterschiedlicher Fahrwerkskonfigurationen*. *Dissertation TU München*. <http://d-nb.info/1016035055/34>

GEISCHEDER, R., BRANDHUBER, R. & DEMMEL, M. (2007): Wirkung verschiedener Fahrwerke auf die Bodenstruktur bei gleichem Kontaktflächen-Druck. *Landtechnik* 62, S. 268–269.

GRUBER, W. (1993): *Befahrbarkeit von Ackerböden*. *KTBL-Arbeitspapier* 190, S. 52–58.

HARRACH, T. (2011): *Schutz der Ackerböden vor Verdichtung und Erosion durch reduzierte Bodenbearbeitung und Förderung der Regenwurmmaktivität – Mit Grundzügen eines Leitbildes „Anzustrebendes Bodengefüge“*. *Bodenschutz*, H. 2, S. 49–53.

HARRACH, T. & VORDERBRÜGGE, T. (1991): Die Wurzelentwicklung von Kulturpflanzen in Beziehung zum Bodentyp und Bodengefüge. In: *Berichte über Landwirtschaft* 204, S. 69–82.*

HARRACH, T., HEYN, J., VORDERBRÜGGE, T. & SCHNEIDER, M. (2012): *Angepasste Bodenbearbeitung, Förderung der Regenwurmmaktivität und anzustrebendes Bodengefüge zum Schutz der Ackerböden vor Verdichtung und Erosion*. Heft 05/12 *Fachinformationen Pflanzenproduktion*, LLH Hessen, ISSN 1610-6873, 22 S.

HOLPP, M., ANKEN, T. & HENSEL, O. (2011): *Satelliten bringen Luft in Direktsaatböden*. *Landwirtschaft ohne Pflug*, Heft 5, S. 28–33.

ISENSEE, E., WEISSBACH, M., SOMMER, C. & BRUNOTTE, J. (2001): *Bodenschonung mit moderner Technik – Grundlagen und Empfehlungen*. *DLG/KTBL-Arbeitsunterlagen B/ 2001*, 30 S.*

- ISENSEE, E. & SCHWARK, A. (2006): Langzeitwirkung von Bodenschonung und Bodenverdichtung auf Ackerböden. *Berichte über Landwirtschaft* 84 (1), S. 17–48.
- JÉGOU, D., BRUNOTTE, J., ROGASIK, H., CAPOWIEZ, Y., DIESTEL, H., SCHRADER, S. & CLU-ZEAU, D. (2001): Impact of soil compaction on earthworm burrow systems using X-ray computed tomography: preliminary study. *European Journal of Soil Biology* 38, S. 329–336.*
- KOCH, H.-J., BRANDHUBER, R., STOCKFISCH, N. & SCHÄFERLANDEFELD, L. (2002): Bodenschutz bei Zuckerrüben- und Gülleausbringung. *Zuckerrübe* 1, S. 34–37.
- KTBL-KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2014a): Bodenbearbeitungs- und Bestellsysteme. [https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Pflanzenbau/Bodenbearbeitungund-Bestellsysteme.pdf](https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Pflanzenbau/Bodenbearbeitung/Uebersicht-Bodenbearbeitungund-Bestellsysteme.pdf). (Die Seite ist nicht mehr aufrufbar)
- KTBL-KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2014b): Definitionen zu Mulchen, Häckseln, Schreddern, Schröpfen und Schlegeln. https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Pflanzenbau/Mulchen/Definition_Mulchen_Haeckseln.pdf. Zugriff am 30.10.2014
- KTBL-KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz – Schlussfolgerungen für Gute fachliche Praxis. *Arbeitspapier* 266, 130 S.
- KTBL-KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2012): Management der Ressource Wasser. *KTBL-Schrift* 492, 156 S.
- KTBL-KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2014c): *KTBL – Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/15*, Darmstadt.
- LAMANDÉ, M. & SCHJØNNING, P. (2011a): Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part I: Site description, evaluation of the Söhne model, and the effect of topsoil tillage. *Soil and Tillage Research*, Volume 114, Issue 2, S. 57–70.
- LAMANDÉ, M. & SCHJØNNING, P. (2011b): Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part II: Effect of tyre size, inflation pressure and wheel load. *Soil and Tillage Research* 114, S. 71–77.
- LEBERT, M. (2010): Entwicklung eines Prüfkonzeptes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. *UBA-Texte*, 51/10, ISSN 1862-4804, 96 S.
- LEBERT, M., BRUNOTTE, J. & SOMMER, C. (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden – Regelungen zur Gefahrenabwehr. *UBA-Texte* 46/04, ISSN 0722-186 X, 122 S.
- LI, Y. X., TULLBERG, J. N., FREEBAIRN, D. M. & CIESIOLKA, C. A. (2004): Effect of controlled traffic and conservation tillage on runoff and crop yield. Paper number 041071, 2004 ASAE Annual Meeting.
- LORENZ, M., BRUNOTTE, J., VORDERBRÜGGE, T., BRANDHUBER, R., KOCH, H.-J., SENGER, M. FRÖBA, N. und LÖPMEIER, F.-J. (2016). Anpassung der Lasteinträge landwirtschaftlicher Maschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens – Grundlagen für ein bodenschonendes Befahren von Ackerland. *Landbauforschung Applied Agricultural and Forestry Research* 66(2), 101-143, DOI: 10.3220/LBF1473334823000.
- NOLTING, K. (2006): Bodensetzung unter 6-reihigem Köpfrdebunker bei unterschiedlicher Bunkerfüllung (nach Pflugfurche zu Rüben), schriftliche Mitteilung.
- NOLTING, K., BRUNOTTE, J., LORENZ, M. & SOMMER, C. (2005): Entwicklung eines Online-Sensorsystems zur Erkennung der aktuellen Befahrbarkeit von Ackerböden. *BMBF-Projekt* 03300316. *Projektbericht* 2006, 30 S.*
- NOLTING, K., BRUNOTTE, J., LORENZ, M. & SOMMER, C. (2006): Bewegt sich was? Setzungsmessungen im Unterboden unter hoher Radlast. *Landtechnik* 61 (4), S. 190–191.*
- OLFE, G. (1990): Schlepperausstattung und Schlepperverwendung in der Landwirtschaft bei unterschiedlichen betrieblichen Verhältnissen. München-Weihenstephan: Selbstverl., XII, 216 p, München, Technische Univ, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau, Diss, Forschungsber Agrartechn Arbeitskr Forsch Lehre MEG 195.
- RENIUS, K. T. (1987): *Traktoren. Technik und ihre Anwendung*, München, BLV.
- ROGASIK, H., JOSCHKO, M. & BRUNOTTE, J. (1994): Nutzung der Röntgen-Computertomographie zum Nachweis von Gefügeveränderungen durch Mulchsaat. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 73, S. 111–114.*
- RUHM, E. (1983): Schlechte Voraussetzungen für eine gute Ernte. *Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung* (4), S. 3–4.
- SCHÄFER, W. (2011): Bodenverdichtung – Gefährdung der Funktionen des Bodengefüges. Tagung vom 5.–6.12.2011 des LBEG in Hannover, „20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen“.
- SCHÄFER-LANDEFELD, L., & BRANDHUBER, R. (2001): Regressionsmodelle zur Bestimmung der mechanischen Vorbelastung von Böden – ein tragfähiges Konzept? *Bodenschutz* 2, S. 48–52.*
- SCHRADER, S. (2001): Ackerboden als Nutz- und Schutzgut aus ökologischer Sicht. *Wasser und Boden* 53, S. 4–8.

- SEMMELE, H. (1993): Auswirkungen kontrollierter Bodenbelastungen auf das Druckfortpflanzungsverhalten und physikalisch-mechanische Kenngrößen auf Ackerböden. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Nr. 26. Universität Kiel.
- SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung und Bodenverformung unter Schleppeifen. Grundlagen der Landtechnik 5, S. 49–63.
- SOMMER, C. (1974): Die Verdichtungsempfindlichkeit zweier Ackerböden – ein Beitrag zum Verhalten von Böden unter vertikaler Belastung im Saugspannungsbereich bis pF 2.7. Diss. TU Braunschweig, Landbauforschung Völkenerode SH 26.
- SOMMER, C. (1985): Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Verminderung. Landtechnik 40 (9), S. 378–384.
- SOMMER, C. (1998a): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion. Bodenschutz 1, S. 12–16.
- SOMMER, C. (1998b): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Habilitation, Braunschweig/Kassel. Landbauforschung Völkenerode, SH 191.*
- SOMMER, C. & HARTGE, K.-H. (1991): Verdichtung und Befahrbarkeit von Böden. Ber. über Landwirtschaft, 204. Sonderheft: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd. 2: Bodengefüge, S. 104–117.
- SOMMER, C., BRANDHUBER, R., BRUNOTTE, J. & BUCHNER, W. (2001a): Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen. Bund-Länder Papier, BMVEL Bonn, S. 14–41.*
- SOMMER, C., BRUNOTTE, J. & ORTMEIER, B. (2001b): Bodenverdichtung – Felduntersuchungen zu Lösungsansätzen. Zuckerrübe 6, S. 364–371.*
- SOMMER, C. & BRUNOTTE, J. (2003): Lösungsansätze zum Problembereich Bodenschadverdichtung in der Pflanzenproduktion. Landnutzung und Landentwicklung 44, H 5, S. 220–228.
- STAHL, H., MARSCHALL, K. & GÖTZE, H. (2005): Bodendruck und Bodenbelastung – Abschlussbericht zum Projekt „Risikomanagement Bodengefüge“. Schriftenreihe Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 10 (15), 127 S.
- TEBRÜGGE, F. (1988): Bodenbearbeitungssysteme im Vergleich. Landtechnik 43 (9), S. 364–366.
- TIJINK, F. G. J. & SPOOR, G. (2004): Technische Leitlinien zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen. Zuckerindustrie 129 (9), S. 647–652.
- TOP AGRAR – Hrsg. (2010): Unser Boden – begehrt – zerstört – geschützt. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster Hiltrup, 42 S.
- TULLBERG, J. (2001): Controlled traffic for sustainable cropping. Proceedings of the 10th Australian Conference, 28.01.–01.02.2001, Hobart, Tasmania.
- VOLK, L. (2008): Diesel sparen beim Fahren. In: Neue Landwirtschaft. Januar 2008, S.48–52
- VAN CAPELLE, C., SCHRADER, S. & BRUNOTTE, J. (2012a): Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data. European Journal of Soil Biology 50, S. 165–181.
- VAN CAPELLE, C., SCHRADER, S. & BRUNOTTE, J. (2012b): Bodenleben erhalten und fördern – Bodenbearbeitungsintensität steuert die funktionelle Vielfalt der Bodenorganismen. Landwirtschaft ohne Pflug 1/2 2012, S. 17–22.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (2014): Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden. VDI-Richtlinie 6101, Düsseldorf, 68 S.
- VORDERBRÜGGE, T. (2004): Vorschlag zur Ableitung von Bodenwerten für die Beurteilung von Bodenschadverdichtungen gemäß den Vorgaben des Bundes-Bodenschutzgesetzes. Bodenschutz 2/04, S. 44–52.*
- VORDERBRÜGGE, T. & BRUNOTTE, J. (2011): Mechanische Verdichtungsempfindlichkeit für Ackerflächen (Unterboden) – Validierung von Pedotransferfunktionen zur Ableitung der Verdichtungsempfindlichkeit bzw. zur Ausweisung „sensibler Gebiete“ in Europa und ein praxisorientierter Lösungsansatz zur Guten fachlichen Praxis. Landbauforschung Vol. 61, No. 1 03.2011, 74 S.
- WEISSBACH, M. (1994): Wirkung von Fahrwerken auf den Boden, insbesondere im Grenzbereich Boden/Pflanze. Dissertation, Universität Kiel, 227 S.*
- WEISSBACH, M. (2003): Landtechnische Untersuchungen zur Wirkung bodenschonender Fahrwerke an Schleppern und Arbeitsmaschinen mit verschiedenen Radlasten. Habilitation, Universität Kiel, ISBN 3-8325-0518-0, 197 S.*
- WEYER, T. & BOEDDINGHAUS, R. (2009): Bodenverdichtung vermeiden – Bodenfruchtbarkeit erhalten und wiederherstellen. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Referat Öffentlichkeitsarbeit, Düsseldorf.
- WILDE, TH. (1999): Regeneration von Ackerböden nach starker landtechnischer Belastung. Dissertation, Universität Kiel, 169 S.*


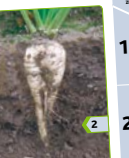

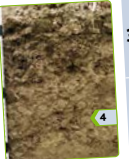

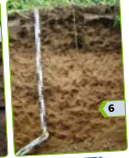


* Weiterführende Literatur zur Entscheidungsmatrix „Anpassung vom Maschineneinsatz an die standortabhängige Verdichtungsempfindlichkeit“.

Datum:		Ackererschlag:		(3. Auflage)	
6 PARAMETER vorwiegend am Profilwand zusätzlich am Aushub durchführbar		EIGENSCHAFTEN		unverändert	
1 Struktur der Oberfläche	<ul style="list-style-type: none"> • intakte stabile Aggregate • organische Reststoffe Länge, Durchmesser, Verteilung optimal für Rotte/Regenwürmer • Belüftungsoptimal (Flacher zur Bodenmitte) • Reststoffe in RW-Gänge hinwurzeln • RW-Lösung vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> • Vererdung • Erosion (Wasser/Wind) • Verkrustung • grobkübig bei Saat • Verkrustung 	++	+	0
	Zustandswerte				
2 Durchwurzelung des Bodens	<ul style="list-style-type: none"> • durchgängig über alle Horizonte • Wurzelverteilung gleichmäßig • intensive, kulturspezifische Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • gekrümmte Wurzeln/Beispiel bei hohem mechanischen Widerstand (Wurzelschutz auf Krümelbasis oder auf Strohhalm) • Wurzelfalt auf verdichteten Schichten oder auf Aggregate-Oberflächen (siehe auch Bild 4) 	++	+	0
	Zustandswerte				
3 Makroporen/Bioporen	<ul style="list-style-type: none"> • RW-Lösung an der Oberfläche/ im Profil • viele Regenwurmgänge in der Profilwand und im Profilderen vorhanden → Verzahnung von Ober- und Unterboden • neu angelegte RW-Gänge im Bearbeitungs-horizont vorhanden • aber RW-Gänge im Unterboden mit RW-Lösung und hohem Materialverlust 	<ul style="list-style-type: none"> • auf der Bodenoberfläche keine offenen Bioporen • in Krume wenig vertikale RW-Gänge • Makroporen enden von oben an der Krume-basis, keine Verbindung zum Unterboden • auch im Unterboden nur wenige Bioporen 	++	+	0
	Zustandswerte				
4 Gefüge und Verfestigung	<ul style="list-style-type: none"> • Gefüge porös, locker, fein aggregiert • bei Druck zwischen Fingern zerfallend • zerfällt bei Abwurfprobe zerkrümelnd • Messerzieht in die Profilwand ohne Widerstand möglich • Die Unterkrume soll kompakter (= bessere Tragfähig-keit), aber biegsamerlich perforiert sein 	<ul style="list-style-type: none"> • Gefüge fest zusammenhängend, dicht gelagert, stark verfestigt, scharfkantig • große, scharfkantige Aggregate nach Abwurfprobe • Wurzelfalt an Aggregateoberflächen • Messer schwer hineinzuwickeln (Pflücker beachten) 	++	+	0
	Zustandswerte				
5 Organische Reststoffe	<ul style="list-style-type: none"> • nach Saat gleichmäßig an der Oberfläche verteilt • gleichmäßig in die Krume eingearbeitet • Vollhumus in der Krume gut verrottet • gleichmäßige Wurzelverteilung 	<ul style="list-style-type: none"> • nach Saat ungleichmäßige Streuungsverteilung • Reststoffe konzentriert an der Oberfläche oder in Horizonten (Strohhorizont) • unverteilter Reststoffe von früheren Jahren • Wurzelbau auf Strohhalm 	++	+	0
	Zustandswerte				
6 Farbe und Geruch	<ul style="list-style-type: none"> • Farbe kann Hinweis für Horizontbeschreibung, Luft- und Wasserhaushalt sowie Humusgehalt sein • gleichmäßige Farbe innerhalb der Horizonte • Boden riecht erdigen erdig → im Oberboden ist der Geruch ausgeprägter als im Unterboden 	<ul style="list-style-type: none"> • Blau und grau gefärbte Bereiche in den Horizonten als Zeichen für Reduktionszonen (durch starke Verdichtung, Sauerstoff-mangel für vergabene Reststoffe) • Restflocken enthalten nach zeitweiligem Luftkontakt • übermäßig fauliger Geruch 	++	+	0
	Zustandswerte				
Gesamtbewertung:					

Abb. 3.49: Die einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker ist ein Instrument der Betriebsführung, mit dem langfristig Veränderungen an der Bodenstruktur festgestellt bzw. kritische Befahrungszustände analysiert werden können. Nur so gelingt die Anpassung der Maschinen an die Verdichtungsempfindlichkeit von Böden im Sinne Guter fachlicher Praxis.

Einfache Feldgefügeansprache für den Praktiker (3. Auflage)

Analyse des Gefüge-Zustands und Planung der geeigneten Vorgrünung

Datum:		Ackererschlag:		(3. Auflage)	
6 PARAMETER vorwiegend am Profilwand zusätzlich am Aushub durchführbar		EIGENSCHAFTEN		unverändert	
1 Struktur der Oberfläche	<ul style="list-style-type: none"> • intakte stabile Aggregate • organische Reststoffe Länge, Durchmesser, Verteilung optimal für Rotte/Regenwürmer • Belüftungsoptimal (Flacher zur Bodenmitte) • Reststoffe in RW-Gänge hinwurzeln • RW-Lösung vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> • Vererdung • Erosion (Wasser/Wind) • Verkrustung • grobkübig bei Saat • Verkrustung 	++	+	0
	Zustandswerte				
2 Durchwurzelung des Bodens	<ul style="list-style-type: none"> • durchgängig über alle Horizonte • Wurzelverteilung gleichmäßig • intensive, kulturspezifische Durchwurzelung 	<ul style="list-style-type: none"> • gekrümmte Wurzeln/Beispiel bei hohem mechanischen Widerstand (Wurzelschutz auf Krümelbasis oder auf Strohhalm) • Wurzelfalt auf verdichteten Schichten oder auf Aggregate-Oberflächen (siehe auch Bild 4) 	++	+	0
	Zustandswerte				
3 Makroporen/Bioporen	<ul style="list-style-type: none"> • RW-Lösung an der Oberfläche/ im Profil • viele Regenwurmgänge in der Profilwand und im Profilderen vorhanden → Verzahnung von Ober- und Unterboden • neu angelegte RW-Gänge im Bearbeitungs-horizont vorhanden • aber RW-Gänge im Unterboden mit RW-Lösung und hohem Materialverlust 	<ul style="list-style-type: none"> • auf der Bodenoberfläche keine offenen Bioporen • in Krume wenig vertikale RW-Gänge • Makroporen enden von oben an der Krume-basis, keine Verbindung zum Unterboden • auch im Unterboden nur wenige Bioporen 	++	+	0
	Zustandswerte				
4 Gefüge und Verfestigung	<ul style="list-style-type: none"> • Gefüge porös, locker, fein aggregiert • bei Druck zwischen Fingern zerfallend • zerfällt bei Abwurfprobe zerkrümelnd • Messerzieht in die Profilwand ohne Widerstand möglich • Die Unterkrume soll kompakter (= bessere Tragfähig-keit), aber biegsamerlich perforiert sein 	<ul style="list-style-type: none"> • Gefüge fest zusammenhängend, dicht gelagert, stark verfestigt, scharfkantig • große, scharfkantige Aggregate nach Abwurfprobe • Wurzelfalt an Aggregateoberflächen • Messer schwer hineinzuwickeln (Pflücker beachten) 	++	+	0
	Zustandswerte				
5 Organische Reststoffe	<ul style="list-style-type: none"> • nach Saat gleichmäßig an der Oberfläche verteilt • gleichmäßig in die Krume eingearbeitet • Vollhumus in der Krume gut verrottet • gleichmäßige Wurzelverteilung 	<ul style="list-style-type: none"> • nach Saat ungleichmäßige Streuungsverteilung • Reststoffe konzentriert an der Oberfläche oder in Horizonten (Strohhorizont) • unverteilter Reststoffe von früheren Jahren • Wurzelbau auf Strohhalm 	++	+	0
	Zustandswerte				
6 Farbe und Geruch	<ul style="list-style-type: none"> • Farbe kann Hinweis für Horizontbeschreibung, Luft- und Wasserhaushalt sowie Humusgehalt sein • gleichmäßige Farbe innerhalb der Horizonte • Boden riecht erdigen erdig → im Oberboden ist der Geruch ausgeprägter als im Unterboden 	<ul style="list-style-type: none"> • Blau und grau gefärbte Bereiche in den Horizonten als Zeichen für Reduktionszonen (durch starke Verdichtung, Sauerstoff-mangel für vergabene Reststoffe) • Restflocken enthalten nach zeitweiligem Luftkontakt • übermäßig fauliger Geruch 	++	+	0
	Zustandswerte				
Gesamtbewertung:					

Bewertung der Analyse

Zusammenfassende Beurteilung aus den 6 Parametern

- Gefüge in Ordnung, Vorgrüne erfüllt (max. 12 mal +)
- Gefüge noch mäßig/etwas Vorgrüne notwendig
- Gefüge kritisch, Vorgrüne ggf. erforderlich (max. 12 mal -)



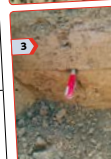


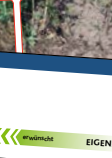









Foto: W. Schäfer

4 Vorsorge gegen Bodenerosion

Autorinnen und Autoren:
Michaela Busch (Winderosion), Walter Schmidt,
Robert Brandhuber, Jan Bug (Wassererosion)

Wasser- und Winderosion können bei nicht standortangepasster Bodenbewirtschaftung die Produktions-, Lebensraum- und Regelungsfunktionen der Böden (On-Site-Wirkungen) sowie auch benachbarte und weiter entfernte Ökosysteme durch Nähr- und Schadstoffeinträge (Off-Site-Wirkungen) beeinträchtigen (BORK, 1991; NOLTE & WERNER, 1991; WERNER & WODSAK, 1994; FRIELINGHAUS ET AL., 1999; GROSS, 2002; BLUME ET AL., 2010).

So gehen durch Erosion unwiederbringlich Ackerboden, Humus und Nährstoffe verloren. Das verringert die Ertragsfähigkeit von Böden und führt auch in Deutschland schon heute in Trockenjahren z. B. in Hangbereichen mit nur noch geringen Bodenauflagen zu spürbaren Ertragseinbußen.

Außerhalb von Ackerflächen werden durch abgetragenes Bodenmaterial und abfließendes Wasser Straßen verunreinigt, Gräben verfüllt, Gebäude beschädigt sowie Gewässer durch Nährstoffe und Sediment belastet. Daher gilt die Bodenerosion weltweit als großes Problem und Ursache der teilweise irreversiblen Bodendegradierung mit erheblichen sozialen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Folgen (MONTGOMERY, 2010).

Aus diesen Gründen ist nach dem Bundes- Bodenschutzgesetz Erosion möglichst zu vermeiden.

Zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) muss die Landwirtschaft durch erosionsverhindernde Maßnahmen die Phosphoreinträge in Gewässer wirksam verringern. Seit 2005 bestehen zudem im Rahmen von Cross-Compliance-Mindestanforderungen zum Erosionsschutz.

Umfang und Auswirkungen der durch Wasser- und Winderosion transportierten Bodenmengen sind in einzelnen europäischen Regionen je nach Klima, Naturraum und Landnutzung differenziert zu beurteilen (RICHTER (Hrsg.), 1998).

In Deutschland sind die Böden in vielen Regionen durch Wind- und Wassererosion (WURBS & STEININGER, 2011) potenziell gefährdet. In den meisten Fällen kann mit geeigneten, dem Erosionsrisiko angepassten Maßnahmen, wie z. B. schonende Bodenbearbeitung oder Erhaltung der schützenden Bodenbedeckung, Vorsorge betrieben werden.

Zu einer tatsächlichen Gefährdung kommt es immer dann, wenn keine angemessene Vorsorge getroffen wird. In Einzelfällen sind die Niederschläge oder Windgeschwindigkeiten so stark, dass ein Restrisiko bei besonderen Wetterlagen bestehen bleibt. Voraussetzung für eine erfolgreiche Vorsorge ist eine qualifizierte Beratung bzw. ein entsprechender Wissenstransfer. Die landwirtschaftlichen Beratungsstellen sind laut § 17 BBodSchG beauftragt, den Landwirten die entsprechenden Grundsätze der guten fachlichen Praxis zu vermitteln und ihnen die Risiken einer unangepassten Landnutzung für den Boden und seine Funktionen sowie für die Umwelt deutlich zu machen.

Das Bodenschutzrecht öffnet zudem den Weg, erosionsmindernde Maßnahmen in Einzelfällen im Rahmen der Gefahrenabwehr nach Feststellung schädlicher Bodenveränderungen oder Umweltschäden und nach erfolgter Beratung anzuordnen.

Bodenerosion ist die Abtragung von Bodenmaterial, die über den Umfang natürlicher Abtragungsprozesse hinausgeht. Bei dem Prozess werden Bodenteilchen zuerst abgelöst, dann transportiert und zuletzt deponiert. Als Ablösungs- und Transportmedium dienen entweder Wasser (Wassererosion) oder Wind (Winderosion). Ferner kann auch die Bearbeitung selbst zu Bodenverlagerung führen (Bearbeitungserosion). Bodenerosion wird durch die Bewirtschaftung, vor allem auf Ackerflächen begünstigt. Folgen der Bodenerosion treten am Ort (On-Site-Schäden) und außerhalb der Flächen (Off-Site) auf.

4.1 Sachstand Winderosion

Bedeutung und Definition

Unter dem Begriff der **Winderosion** wird der durch den Menschen verstärkte, über das natürliche Maß hinausgehende Abtrag von Boden durch Wind zusammengefasst. Das Ausmaß des Bodenabtrages ist dabei das Resultat des Zusammenwirkens klimatischer, pedologischer und topographischer Faktoren auf der einen Seite, sowie der Landnutzung und der damit in Beziehung stehenden Bodenbedeckung auf der anderen.

Wind transportiert Bodenbestandteile mit unterschiedlichem Äquivalentdurchmesser, ähnlich wie Wasser, abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit. So lassen sich für die Bodenerosion durch Wind drei unterschiedliche Transportarten unterscheiden: der rollende Transport auf der Bodenoberfläche (Reptation), der springende Transport in Höhen bis 50 cm (Saltation) und der Transport feiner Bodenbestandteile direkt in der Luft (Suspension).

Grundsätzlich werden feine Bodenbestandteile vermehrt und weiter transportiert als größere. Überdies weisen sie einen überproportionalen Nährstoffgehalt auf, sodass Erosionsflächen langfristig einer Nährstoffverarmung unterliegen.

Bodenabtrag durch Wind ist ein sowohl historisch als auch aktuell in weiten Teilen der Erde zu beobachtender Prozess. Dies gilt auch für Deutschland. Die Reduzierung der natürlichen Bodenbedeckung durch menschliche Landnutzung führte und führt besonders in Regionen mit erhöhtem bodenbürtigem Erosionsrisiko und hoher klimatischer Erosivität zu erheblichen, ereignisbezogenen Bodenausträgen. Auch wenn im Zuge landwirtschaftlicher Bodennutzung Bodenoberflächen zeitlich begrenzt vegetationsfrei den angreifenden Kräften des Windes ausgesetzt sind, kann es bei

entsprechenden Faktorenkombinationen zu Boden- und Nährstoffverlusten durch Wind kommen (BACH, 2008; DUTTMANN ET AL., 2011).

Die Europäische Umweltagentur schätzt, dass rund 42 Mio. ha der europäischen Festlandfläche durch Winderosion betroffen sind (EEA 1998, 2003). Für Deutschland wird die durch Winderosion betroffene Fläche auf 4,1 Mio. ha beziffert (FUNK & REUTER, 2006), dies entspricht ca. 15% der gesamten land- und forstwirtschaftlich genutzten Fläche.

Auf unbedeckten Ackerflächen im norddeutschen Tiefland konnten ereignisbezogenen Abträge von 4 t pro ha in 3 Tagen gemessen werden (FRIELINGHAUS ET AL., 2002). Für Gebiete mit gemäßigttem Klima geben BEINHAEUER und KRUSE (1994) Bodenabträge von 40 t pro ha als zehnjähriges Extremereignis an. Die durchschnittliche jährliche Bodenverlagerung durch Winderosion auf lehmigen Sanden beträgt ca. 300 t pro ha und Jahr, auf sandigen Lehmen ist mit Transportraten von 200 t pro ha und Jahr zu rechnen (FANGMEIER ET AL., 2006).

Auch wenn Bodenverlagerung in diesem Zusammenhang nicht zwangsläufig mit einem Austrag von Boden aus der Quellfläche zu verstehen ist, so ist doch davon auszugehen, dass die Ton- und Schlufffraktion ebenso wie die Humusbestandteile des Bodens überproportional ausgetragen und lediglich die mineralischen, sandigen Kornfraktionen flächenintern umgelagert werden. Eine Zufuhr von Bodenmaterial aus Nachbarflächen kompensiert den flächeninternen Schaden eher nicht, denn auch hier kommt es beim Transport zu einer Entmischung und damit überproportional zu einer Ablagerung von an Nährstoffen verarmter Mineralbodensubstanz.

Verlauf der Winderosion

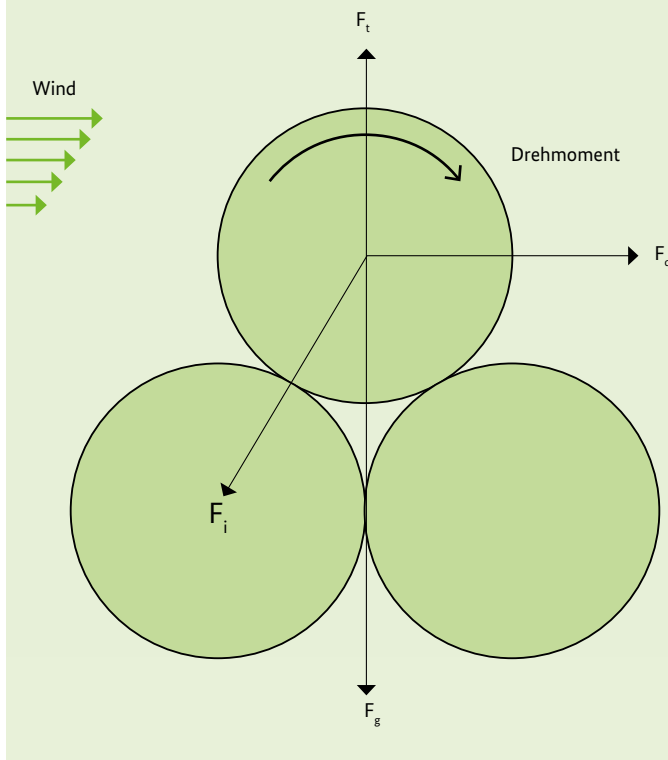
Der Verlauf der Winderosion lässt sich in die Loslösung der Partikel an der Oberfläche, also der eigentlichen Erosion, deren Transport mit dem Wind und die zeitlich und räumlich versetzte Ablagerung der Bodenpartikel, der Akkumulation, unterscheiden.

Je nach Korngrößenzusammensetzung, Gehalt an organischer Substanz und aktueller Bodenfeuchte kommt es bei

unbedeckter Bodenoberfläche ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit zur Loslösung von Sand, Schluff, Ton und partikulärer organischer Substanz.

Die Größe der Mineralpartikel entscheidet über die zur Erosion und zum Transport benötigte Schwellenwindgeschwindigkeit. Analog zum Transport im Wasser gilt auch für das Transportmedium Wind: Je größer die zu transportierenden

Exkurs: Der Verlauf der Winderosion auf Partikelebene



Sind Bodenpartikel einer turbulenten Strömung ausgesetzt, wirken auf diese aerodynamische Schub- und Hubkräfte (F_d , F_t), die Gravitationskraft (F_g) sowie interpartikuläre Kohäsionskräfte (F_i). Überwiegen die aerodynamischen Bewegungskräfte (F_d und F_t) gegenüber den beharrenden Kräften (F_g und F_i), werden Partikel aus dem Bodenverband gelöst und mit dem turbulenten Luftstrom verfrachtet.

Die Eigenschaften der Strömung, insbesondere deren Geschwindigkeit und Böigkeit, sind dabei ausschlaggebend für die durch die aerodynamischen Kräfte in das System eingetragene Energie. Die beharrenden Kräfte wiederum ergeben sich aus den Oberflächen- und Materialeigenschaften. Die Loslösung erfolgt initial durch das direkte Einwirken der aerodynamischen Kräfte, sekundär kommt es zu einem zusätzlichen Energieeintrag durch den Wiederaufprall transportierter Partikel.

Abb. 4.1: Auf ein erodierbares Teilchen einwirkende Kräfte im Modell (BUSCH, 2008)

Bodenbestandteile, desto höher die zu ihrem Transport benötigte Windgeschwindigkeit. Tonpartikel bilden hier eine Ausnahme, wengleich diese besonders klein und leicht sind, nimmt die Schwellenwindgeschwindigkeit ab einer Unterschreitung des Teilchen-Äquivalentdurchmessers von 0,04 mm aufgrund der wirkenden Interpartikelkräfte, wieder zu.

In Abhängigkeit der Partikelgröße/-masse lassen sich drei Transportmodi mit charakteristischen vertikalen und horizontalen Transportdistanzen unterscheiden: Reptation, Saltation und Suspension (vgl. Kapitel 4.2 Wassererosion, S. 92). Bei aggregierten Böden entscheidet die relative Feld-Korngröße über die zum Transport notwendige Initialgeschwindigkeit und weniger die absolute Korngrößenzusammensetzung, wie sie im Labor mit entsprechenden Methoden zu bestimmen ist.

Die Reptation hat einen Anteil von 7 bis 25% am Gesamttransport, 50 bis 80% entfallen auf den Saltationstransport und 3 bis 38% auf die Suspension (CHEPIL, 1945; BAGNOLD, 1954; FANGMEIER ET AL., 2006). Verbleiben Partikel mit großem Äquivalentdurchmesser trotz Reptationstransport meist auf der Erosionsfläche, kommt es im Zuge der Saltation zu einer verstärkten flächeninternen, mitunter auch über die Schlaggrenzen hinausreichenden Umlagerung an Bodenpartikeln mittlerer Korngröße. Feine Bodenbestandteile, mit einem überproportionalen Anteil an Nährstoffen, und Humus



Abb. 4.2: Bodenabtrag durch Winderosion (Foto: H.-E. Kape)

werden hingegen aufgrund ihrer geringen Korndurchmesser suspendiert im Luftstrom transportiert und meist aus der Quellfläche gänzlich ausgetragen.

Ist die Transportkapazität der Luftströmung erreicht, werden nur mehr Partikel in dem Maße aus dem Bodenverband gelöst, wie umgekehrt transportierte Teilchen aus der Strömung auf die Bodenoberfläche zurückfallen. Nimmt die Windgeschwindigkeit wieder ab, zum Beispiel vor einem zu

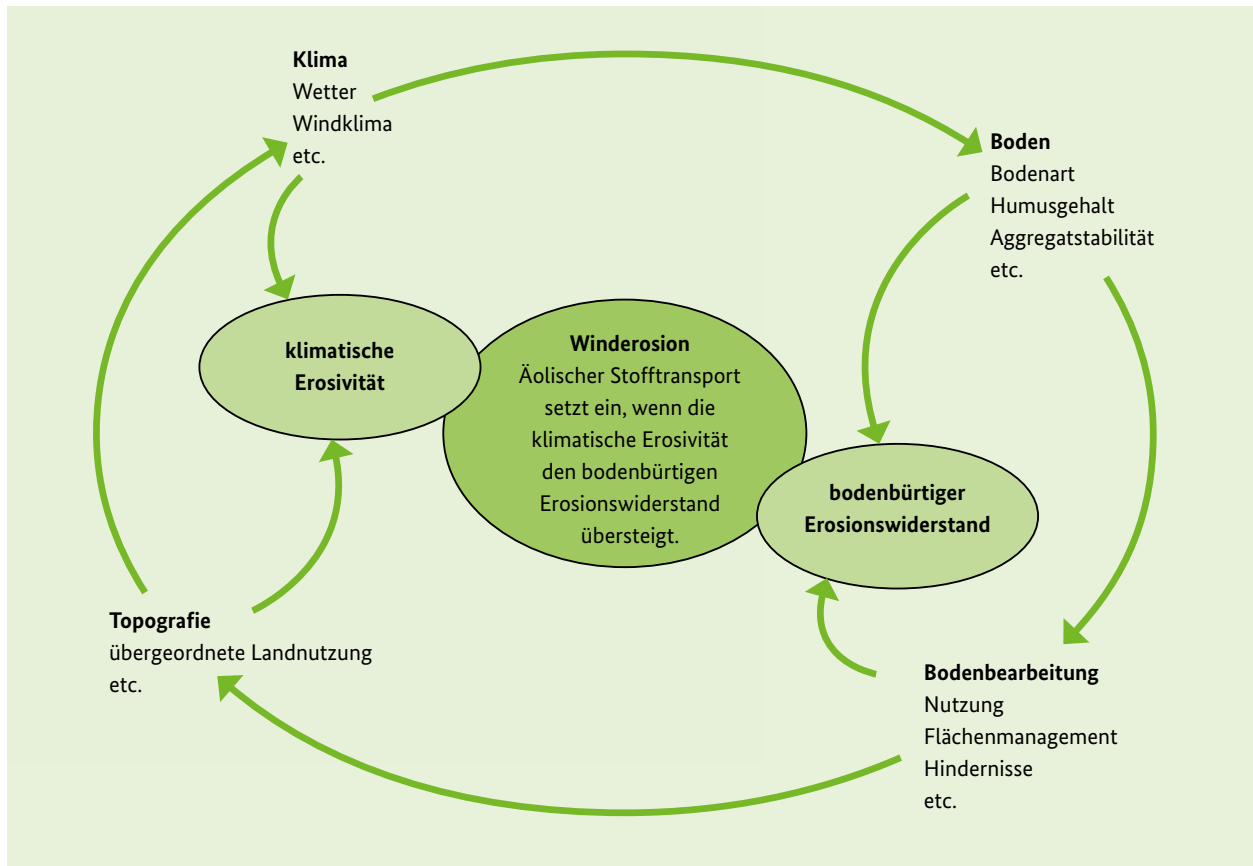


Abb. 4.3: Haupteinflussfaktoren für Winderosion

überströmendem Hindernis oder infolge einer Vergrößerung des Strömungsquerschnittes, kommt es zur Ablagerung des transportierten Materials.

Die flächeninternen wie -externen Schäden durch Winderosion werden ab Seite 83 ausführlich behandelt.

Faktoren

Die wichtigsten Faktoren für das Auftreten von Bodenerosion durch Wind zeigt Abbildung 4.3. Üblicherweise unterscheidet man auf der einen Seite zwischen den Faktoren, die die klimatische Erosivität am Standort bestimmen und den Faktoren, die den bodenbürtigen Erosionswiderstand bedingen auf der anderen Seite.

Klimatische Faktoren

Windgeschwindigkeiten von mehr als 6 m/s bis 8 m/s (gemessen in 10 m über Geländeoberfläche) gelten in Zeiten trockener Witterung als Auslöser windbedingter Stofftransporte. Der flächenhafte Bodenabtrag wird dabei nicht nur durch die mittlere Windgeschwindigkeit gesteuert, sondern vielmehr durch die zeitlich-räumliche Heterogenität der Strömungsgeschwindigkeit, d. h. deren kleinräumige

und kurzfristige Turbulenz. Verwirbelungen der bodennahen Luftschicht können bereits in kleinen Böen zu einer deutlichen Zunahme der Windgeschwindigkeit und einem räumlich wie zeitlich begrenztem Überschreiten der substratspezifischen Schwellenwindgeschwindigkeit führen. Eine Zunahme der klimatischen Erosivität ist innerhalb der Westwindzone im Jahresverlauf meist im Winter und Frühjahr zu beobachten. Eine erhöhte Winderosionsgefährdung besteht insbesondere dort, wo zusätzlich eine ggf. zeitlich begrenzte, negative klimatische Wasserbilanz vorherrscht.

Topographie

Die Topographie der Landschaft sowie deren allgemeine Windoffenheit beeinflussen das Auftreten windbedingter Bodenverlagerung. Topographisch gegliederte, kleinstrukturierte Landschaften begünstigen insgesamt eine Anhebung des Windfeldes, sodass die Windgeschwindigkeit direkt an der Bodenoberfläche reduziert wird.

Wälder und Grünlandflächen sind aufgrund der ganzjährig geschlossenen Vegetationsdecke von Winderosion nicht betroffen. Die potenzielle Winderosionsgefährdung nimmt mit zunehmendem Ackerflächenanteil an der Landnutzung gegenüber den Gebieten zu, in denen überwiegend Waldbau oder Grünlandwirtschaft betrieben wird. Dies gilt ebenso für Intensität und Häufigkeit der Bodenbearbeitung.



Abb. 4.4: Windschutzhecken sind wertvolle Landschaftselemente (Foto: P. Meyer/BLE)

Bodeneigenschaften

Sandige Böden, insbesondere solche, die überwiegend aus Mittel- und Feinsanden zusammengesetzt sind, haben eine erhöhte Erosionsdisposition. Diese wird durch den charakteristisch geringen Grobskelettanteil zusätzlich begünstigt. Neben der Korngrößenzusammensetzung entscheidet auch der Humusgehalt über die Gefährdung des Standortes. Wirken höhere Humusgehalte in mineralischen Böden häufig stabilisierend, sind degradierte Moore mit ihrem hohen Anteil an organischer Substanz besonders verwehungsgefährdet.

Windbedingte Stofftransporte sind im Allgemeinen auf Partikel mit einem Äquivalentdurchmesser $< 0,6$ mm beschränkt. Dies erklärt sich aus dem Zusammenhang von Strömungsgeschwindigkeit und transportierbarem Partikeldurchmesser. Stabile Aggregate an der Bodenoberfläche tragen zu einer Reduzierung der Erosionsgefährdung bei. Die Aggregate müssen einerseits den Kräften der einwirkenden Luftströmung widerstehen, andererseits gegenüber dem Angriff der saltierend transportierten Teilchen stabil sein. Die Aggregatstabilität des Mineralbodens wird durch einen zunehmenden Tongehalt und eine Erhöhung der bodenorganischen Substanz gefördert.

Bodenart und Humusgehalt wirken zudem auf die Wasserhaltefähigkeit des Standortes und damit auf die aktuelle Bodenfeuchte an der Oberfläche. Je trockener ein Boden, insbesondere dessen Oberfläche, desto stärker erosionsgefährdet ist der betrachtete Standort.

Aufgrund der geringen ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit grob texturierter Böden ist der Wassergehalt der direkten Oberfläche dieser Substrate nahezu unabhängig von der Bodenfeuchte der unterlagernden Bodenschichten (PURI ET AL., 1925). Aus diesem Grund korreliert der Feuchtezustand der Bodenoberfläche, ausgenommen im kurzen Zeitraum direkt nach einem Niederschlagsereignis, eng mit der relativen Luftfeuchte. Dies unterstreicht die allgemeine Bedeutung trockener Witterungslagen für den Bodenabtrag durch Wind und Luftmassen mit hoher Strömungsgeschwindigkeit bei gleichzeitig geringer relativer Feuchte im Besonderen.

Bearbeitungs-/bewirtschaftungsbedingte Faktoren

Über die aktuelle Flächennutzung und das Flächenmanagement beeinflusst der Mensch sowohl direkt als auch indirekt die aktuelle Winderosionsgefährdung eines Schlags. Dabei sind der Grad der Bodenbedeckung (allgemein und jahreszeitlich differenziert), die Bodenbearbeitung und die Bearbeitungsrichtung relativ zur Windrichtung (hier sowohl vorherrschende als auch speziell bei geringer Luftfeuchte) von Bedeutung.

Der Grad der Bodenbedeckung durch Pflanzen oder Pflanzenrückstände bestimmt das Risiko windbedingter Stofftransporte, welches ab einem Bodenbedeckungsgrad von > 25 % als deutlich reduziert gilt (BMVEL, 2002).

Tab. 4.1: Winderosion: Orientierungswerte (BMVEL, 2002)

Windgeschwindigkeit	> 6 m/s bis 8 m/s (10 m ü. Geländeoberfläche)
Luftfeuchte	gering
Bodenart	Sande, insbesondere Feinstsande mit geringen Ton- und/oder Schluffgehalten; Anmoor, vermulmt
Humusgehalt	auf Mineralböden gering; auf degradierten organischen Böden hoch
Windoffenheit der Landschaft	< 5 km lineare Landschaftselemente je km ² in waldarmen Regionen; Orientierung der Landschaftselemente möglichst senkrecht zur erosiven Windrichtung
Oberflächenrauigkeit gering Bodenbedeckung	< 25 %

Im Jahresverlauf ist insbesondere in Zeiten erhöhter klimatischer Erosivität auf eine ausreichende Bodenbedeckung zu achten. Der Anbau von Sommerkulturen sowie Reihenfrüchten und einige Sonderkulturen tragen zu einer Verstärkung der aktuellen Gefährdung auf Flächen mit erhöhter Erosionsdisposition bei. Hier sind insbesondere Mais, Rüben, Kartoffeln und Spargel als solche Kulturen zu nennen, die, angebaut in Regionen mit erhöhtem bodenbürtigem Erosionspotenzial, ein gezieltes Flächenmanagement zum Schutz vor Winderosion bedürfen.

Im Zuge des Flächenmanagements sollte darauf geachtet werden, dass eine möglichst raue Bodenoberfläche hinterlassen wird. Je rauer die Oberfläche, desto stabiler ist diese gegenüber dem angreifenden Wind. Einerseits wird die Windgeschwindigkeit an der Oberfläche stärker abgebremst und die Transportkapazität der Strömung damit begrenzt, andererseits erfolgt im Lee (windabgewandte Seite) der

Rauhigkeitselemente aufgrund der dort reduzierten Windgeschwindigkeit eine Sedimentation transportierten Materials.

Orientierungswerte

Tabelle 4.1 zeigt wesentliche Einflussgrößen, die Hinweise geben, ob Gegenmaßnahmen gegen Winderosion erforderlich sind. Aufgrund der kleinräumigen und zum Teil auch kurzzeitigen Variabilität der genannten Faktoren können diese jedoch ausdrücklich nur als Orientierungswerte verstanden werden. Bei Über- bzw. Unterschreitung einer oder mehrerer Faktoren sind eine intensive und maßgeschneiderte Gefährdungsbeurteilung und die Entwicklung eines Maßnahmenkataloges im Sinne der Guten fachlichen Praxis dringend anzuraten.



Abb. 4.5: Erosion auf einem Getreideschlag bei Bollhagen (Foto: H.-E. Kape)

Schäden durch Winderosion

Neben dem reinen Massenverlust an Boden tragen vielfältige flächeninterne und flächenexterne Auswirkungen des Erosions- und Akkumulationsprozesses zur Standortveränderung und Funktionenbeeinträchtigung des Bodens bei (vgl. Tabelle 4.2).

Grundsätzlich muss bei der Betrachtung der flächeninternen Schädwirkungen der Winderosion räumlich weiter unterschieden werden in Netto-Erosions- und Netto-Akkumulationssteilflächen. Im Gegensatz zur Bodenerosion durch Wasser, die als gefälleabhängiger und damit räumlich gerichteter Prozess abläuft, handelt es sich bei der Bodenerosion durch Wind um einen in unterschiedliche Richtungen wirkenden Prozess: Wechselnde Transportrichtungen und damit auch Erosions- und Akkumulationsflächen führen langfristig zu einem kleinräumigen Mosaik aus Teilflächen, deren Materialsaldo für die betrachtete Zeitspanne negativ bzw. positiv sein kann.

Flächenintern sind in erster Linie die unter dem Sammelbegriff „Bodendegradation“ zu subsumierenden Effekte des Winderosionsprozesses auf den Boden zu nennen. Die Bodenstruktur wird nachhaltig durch den selektiven Austrag feiner und/oder organischer Bodenbestandteile geschädigt. Neben einer Verschiebung des Korngrößenspektrums ist eine relative Nährstoffanreicherung in den Netto-Erosionsflächen zu beobachten.

Für die landwirtschaftliche Flächennutzung bedeutet dies in erster Linie eine negative Beeinflussung des Bodenwasserhaushaltes sowie der Wasserspeicherkapazität und der Bodenazidität sowie einen langfristigen Rückgang der Standortproduktivität.

Die beschriebenen Effekte wirken über lange Zeiträume, häufig maskiert die regelmäßige Durchmischung der Krume die negativen Auswirkungen. Auch die heute als Standard

Tab. 4.2: Auswirkungen windbedingter Stofftransporte in Agrarlandschaften (GOOSSENS, 2003, verändert)

On-Site-Effekte	Off-Site-Effekte
<p>Bodendegradation</p> <ul style="list-style-type: none"> » Austrag von Feinmaterial durch selektiven Transport, Anreicherung gröberer Materials » Austrag von organischer Substanz » Nährstoffaustrag » Abnahme der Wasserkapazität im Oberboden » Schädigung der Bodenstruktur » Anregung der Versauerung des Oberbodens 	<p>kurzfristige Effekte</p> <ul style="list-style-type: none"> » Abnahme der Sichtweite, Gefährdung des Verkehrs » Materialdeposition auf Straßen, in Gräben und entlang von Hecken » Staubdeposition in Häusern, Fahrzeugen etc. » Eindringen von Staub in technische Anlagen und Maschinen » Qualitätsverlust durch Staubakkumulation auf landwirtschaftlichen Nutzpflanzen
<p>Schäden durch Abrasion</p> <ul style="list-style-type: none"> » direkte Abrasion der Pflanzenoberfläche, dadurch Ertragsrückgang und Qualitätsverluste » Infektion der Pflanzen mit eingewehten Krankheitserregern, die an Bodenpartikel gebunden sind » Förderung der Stauffreisetzung durch Saltation 	<p>langfristige Effekte</p> <ul style="list-style-type: none"> » Atemwegserkrankungen durch das Einatmen von Stäuben » Aufnahme äolisch transportierter Partikel durch Pflanzen und Tiere; Belastung der Nahrungskette » Deposition von Schwermetallen und anderen chemischen Verbindungen » Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser durch Sedimenteintrag » Eutrophierung von Grund- und Oberflächenwasser » Eintrag in unbelastete Ökosysteme
<p>weitere Schädwirkungen</p> <ul style="list-style-type: none"> » Eintrag von Krankheitserregern und Bodenbestandteilen in bislang nicht infizierte Bereiche landwirtschaftlicher Nutzflächen » Akkumulation äolisch transportierten Materials geringerer Qualität » Sandakkumulation an Feldgrenzen, Verfüllung von Drainagegräben » Überdeckung von Pflanzen • Verlust von Saatgut und auflaufenden Feldfrüchten 	



Abb. 4.6: Schäden durch Winderosion: Überdeckung von Pflanzenbeständen durch Akkumulation von Mineralboden auf einem Getreideschlag bei Bollhagen, Mecklenburg-Vorpommern (Fotos: H.-E. Kape)



Abb. 4.7: Sandakkumulation am Feldrand mit Überdeckung eines Radweges (Foto: H.-E. Kape)



Abb. 4.8: Akkumulation von Mineralboden durch Wind zwischen Saatreihen (Foto: W. Schäfer)



Abb. 4.9: Austrag von Mineralboden und organischer Substanz aus einer Erosionsfläche (Foto: W. Schäfer)

durchgeführten Düngegaben überdecken häufig den Rückgang des natürlichen Ertragspotenzials durch die Winderosion. Ebenso erschwert die jährliche witterungsbedingte Variabilität der Erträge die unmittelbare Wahrnehmung der negativen Folgen des Sediment- und Nährstoffaustrages.

Lässt sich die Bodendegradation meist erst nach Jahren deutlich erkennen, sind die direkten Auswirkungen des windbedingten Sedimenttransportes auf den sich entwickelnden Pflanzenbestand für den Landwirt bereits während des Erosionsereignisses sichtbar. Freigelegte und sogar ausgeblasene Saat sowie durch die umherfliegenden Sandkörner verletzte Pflanzen sind direkte Zeugen des Prozessgeschehens.

Die durch Winderosion verursachten Schäden zu quantifizieren ist nur schwer möglich. Dies hängt mit der, gegenüber

den Schäden durch Wassererosion, erschwerten Kartierung von Schadensereignissen zusammen, aber auch mit dem Prozessgeschehen als solchem und der z. T. großen räumlichen Erstreckung von Erosions- und Akkumulationsgebieten.

Die Europäische Umweltagentur (EEA, 2003) beziffert den ökonomischen Schaden auf den betroffenen Flächen in Europa auf 53 Euro pro ha. Schlagextern kommen Schäden in der Größenordnung von 32 Euro pro ha hinzu. Eine räumliche Einordnung der Schadwirkung ist aufgrund des komplexen Transportprozesses nicht möglich. Einschränkend muss ebenfalls erwähnt werden, dass derartige Schätzungen mit großen Unsicherheiten behaftet sind, da zuverlässige Methoden zur Quantifizierung des windbedingten Nährstoffaustrages als wesentlicher Faktor der Standortdegradation bislang fehlen (vgl. BACH, 2008).

Schlussfolgerungen aus dem Sachstandsbericht

- » Die einzelnen Erosionsformen und Erscheinungen sind zum Teil sehr unterschiedlich und nur bedingt direkt wahrnehmbar und/oder messbar. Viele Schäden werden erst über lange Zeiträume hinweg deutlich sichtbar. Nichtsdestoweniger müssen die Risiken für Boden, Mensch und Umwelt im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes auch dann Berücksichtigung finden, wenn diese nur mittelbar abzuleiten sind.
- » Vorsorgemaßnahmen müssen immer standortangepasst und nutzungsabhängig gewählt und durchgeführt werden. Das Expertenwissen der Landwirte hinsichtlich der betroffenen Flächen und der zu ergreifenden Gegenmaßnahmen, die als Grundlage für einen effektiven Bodenschutz gegen Winderosion dienen können, sollten unbedingt genutzt und mit Hilfe der landwirtschaftlichen Beratung weiterentwickelt werden.
- » Die Ursache für die lokal festgestellte Zunahme von Erosionsereignissen liegt in der Regel in dem ungünstigen Zusammentreffen nicht standortangepasster Landwirtschaft und erosionsfördernder Wetterlagen. Der zentrale Einfluss der Witterung und von Großwetterlagen, die das Auftreten von Winderosion begünstigen, darf jedoch keineswegs vergessen werden.
- » Vorsorge gegen Bodenerosion durch Wind gehört auf gefährdeten Standorten zu den Grundprinzipien guter fachlicher Praxis in der Landwirtschaft. Nicht zuletzt bei der akuten Gefahrenabwehr muss die Vielfalt der Bodenfunktionen in ihrer Komplexität in die Maßnahmenwahl einbezogen werden. Auch ein Abwägen zwischen den Zielen des Bodenschutzes und anderer Schutzziele in der Agrarlandschaft erscheint hier angebracht und sinnvoll.

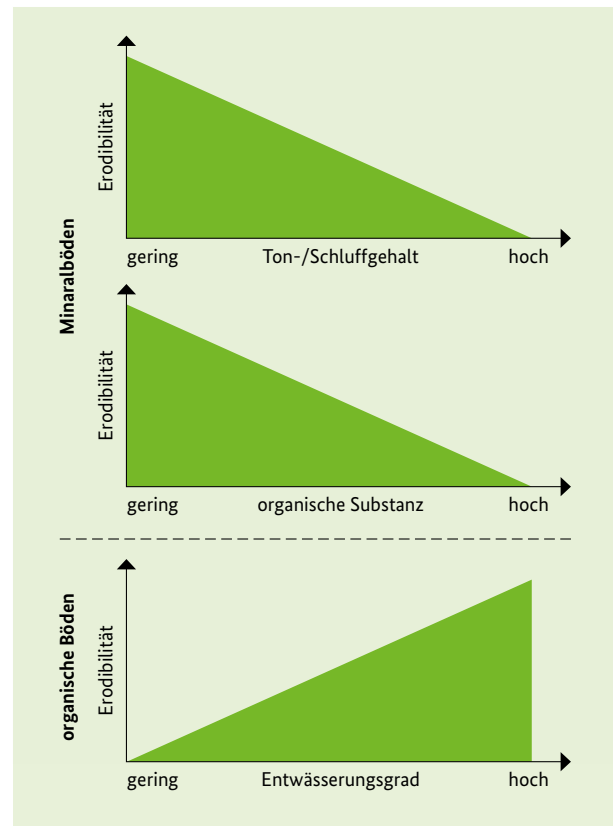


Abb. 4.10: Einflussfaktoren auf die Erodibilität eines Standortes

- » Aufgrund der hohen Komplexität der Winderosion und ihrer Einflussfaktoren ist eine fundierte Beratung durch Fachleute als Baustein des vorsorgenden Bodenschutzes auf Betriebsebene unerlässlich. Dabei sollte Beratung im Sinne der Guten fachlichen Praxis den Schutz des Bodens immer auch als Querschnittsaufgabe begreifen und übergreifend nach Minderungsstrategien und Lösungsansätzen suchen.

Maßnahmen der Guten fachlichen Praxis zur Vermeidung von Bodenerosion durch Wind

Zur Entwicklung eines Maßnahmenkataloges „Gute fachliche Praxis gegen Bodenerosion durch Wind“ ist eine entscheidende Grundlage, zunächst die standörtliche Winderosionsgefährdung zu ermitteln und im Anschluss den Einfluss der Nutzung zu berücksichtigen.

Abschätzung der Winderosionsgefährdung

Es gibt einige wenige Ansätze, die Erosionsdisposition einer Fläche qualitativ zu ermitteln (vgl. BLUME ET AL., 2000; MÜLLER & WALDECK, 2011). Das Standardverfahren stellt die DIN 19706: 2004 dar.

Im Gegensatz zur Wassererosion gibt es aufgrund der hohen Komplexität des Winderosionsprozesses bislang international kein wissenschaftlich akzeptiertes Standardverfahren zur Quantifizierung windbedingter Sediment- und Nährstofftransporte (BACH, 2008).

Bestehende physikalisch basierte Modelle zeigen für eng definierte Randbedingungen gute Ergebnisse. Diese Modelle sind jedoch nach wie vor als Expertenwendungen anzusehen und dienen der Vertiefung des Prozessverständnisses für windbedingte Sediment- und Nährstofftransporte. Weitere Forschung ist hier dringend notwendig, um den Schritt von der qualitativen Gefährdungseinschätzung hin zu einer verlässlichen Abschätzung der abgetragenen, um- und aufgelagerten Sedimentmassen zu gehen. Erst eine fundierte, quantitative Beschreibung äolischer Stofftransporte in Agrarlandschaften eröffnet die Möglichkeit der direkten Quantifizierung des ökologischen und ökonomischen Schadens.

Standörtliche Winderosionsgefährdung

Die standörtliche Winderosionsgefährdung ist das Produkt aus der Erosionsempfindlichkeit des Bodens (Erodibilität) und der Erosionskraft von Witterung oder Klima (Erosivität). Sie kann mit unterschiedlichem zeitlichem Bezug sowohl die aktuelle Gefährdung einer Fläche benennen, als auch eine langfristige Aussage über die potenzielle, standörtliche Winderosionsdisposition zum Ergebnis haben. Für eine Betrachtung der aktuellen Gefährdung ist eine Berücksichtigung weiterer Daten, insbesondere von Informationen über den Bodenfeuchtezustand, sinnvoll.

Die Erodibilität des Bodens ergibt sich vereinfacht aus der Bodenart des Oberbodens und dem Gehalt an organischer Substanz. Die Richtungen der Wirkungsbeziehungen sind für Mineralböden sowie für organische Böden der Abbildung 4.10 zu entnehmen. Für Mineralböden gilt: Das Erosionsrisiko eines Standortes ist negativ korreliert mit dessen Gehalt an organischer Substanz und dem Ton- und/oder Schluffgehalt des Oberbodens. Wohingegen auf organischen Böden der Entwässerungsgrad den Treiber für die Erodibilität des Standortes darstellt.

Die klimatische Erosivität nimmt in grober Näherung mit zunehmender Entfernung von den Küsten ab und ist in den Landschaftsräumen mit atlantisch geprägtem Klima am größten. Sie zeigt darüber hinaus eine positive Korrelation mit der Höhenlage. Die höchste potenzielle, standortabhängige Winderosionsgefährdung ist in küstennahen Gebieten mit überwiegend sandigem Ausgangssubstrat und/oder stark entwässerten und bewirtschafteten organischen Böden gegeben.

Überblicksdarstellungen finden sich für Westdeutschland in RICHTER (1965) und sehr stark vereinfacht für Gesamtdeutschland in AUERSWALD (2006).

Nutzungsbedingte Winderosionsgefährdung

Die potenzielle, standortabhängige Winderosionsgefährdung betrachtet die grundlegende Gefährdung eines trockenen und vegetationsfreien Bodens, durch Windeinwirkung abgetragen und verlagert zu werden.

Die fehlende Bodenbedeckung wirkt dabei in doppelter Sicht verstärkend auf den Bodenerosionsprozess: Durch die einerseits wenig ausgeprägte Rauigkeit der überströmten Grenzfläche kommt es nur zu einer geringen Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche und einer direkten, hohen Krafteinwirkung in diesem Bereich. Andererseits führt die direkte Sonneneinstrahlung auf die Bodenoberfläche zu einer starken Erwärmung und forciert dadurch die Evaporation (Verdunstung). Die daraus resultierende Abnahme der Bodenfeuchte an der Oberfläche verstärkt die Erosionsdisposition des Bodens durch die Herabsetzung der durch das Bodenwasser ausgeübten Adhäsionskräfte.

Die aktuelle Winderosionsgefährdung entspricht der potenziellen Gefährdung immer dann, wenn die Bodenoberfläche bei hoher klimatischer bzw. witterungsbedingter Erosivität ohne Bedeckung den angreifenden Kräften der Windströmung ausgesetzt ist.

Auf Flächen mit erhöhter Winderosionsgefährdung ist in besonderem Maße auf eine standortangepasste Bewirtschaftung zu achten. Gute fachliche Praxis muss auf diesen Flächen bedeuten, nutzungsbedingte Zeiten fehlender oder geringer Bodenbedeckung insbesondere dann zu vermeiden, wenn sie mit einer erhöhten Erosivität synchron auftreten.

Vereinfachend kann man sagen: Das Erosionsrisiko nimmt entlang des Gradienten Sommerung – Winterung – ganzjährig deckende Kultur und mehrjähriges Ackerfutter ab.

Eine zunehmende Winderosionsdisposition ist in der Regel hingegen zu erwarten entlang des Gradienten Getreide und Ölfrüchte – Leguminosen, Mais und Rüben – Kartoffeln, Spargel und weitere Sonderkulturen.

Vorsorgemaßnahmen gegen Winderosion

Ziel des vorsorgenden Bodenschutzes gegenüber Winderosion muss es sein, entsprechend den Worten des Gesetzgebers (vgl. BBodSchG), jegliche Art schädlicher Bodenveränderung zu vermeiden und die natürliche, nicht erneuerbare Ressource Boden so zu nutzen, dass sie in ihrer Funktionenvielfalt erhalten und/ oder wiederhergestellt wird.

Mit der Guten fachlichen Praxis kommt dem Landwirt eine aktive Rolle bei der Erfüllung dieses Nachhaltigkeitsgebotes im Acker- und Pflanzenbau zu. Diese Grundsätze sind jedoch nur in Teilen materiell konkretisierte Anforderungen und bedürfen, insbesondere für den Bereich der Winderosion, einer weiteren Ausführung.



Abb. 4.11: Eine mögliche Maßnahme als Schutz vor Winderosion ist die Stallmistauflage (Schlag links mit Stallmistauflage, Schlag rechts ohne; Sperrfristen und Aufbringungsbeschränkungen der DüV sind zu beachten, z. B. in roten Gebieten Sperrfrist 1.11. bis 31.1.)



Abb. 4.12: Erosionsvermeidung durch Stallmist auf der Bodenoberfläche (Fotos: H.-E. Kape)

Die Vorsorgemaßnahmen gegen Winderosion lassen sich in drei Komplexe gliedern:

- » Komplex 1 – pflanzenbauliche Maßnahmen,
- » Komplex 2 – Bodenstruktur-Maßnahmen (vgl. S. 90) und
- » Komplex 3 – Landschaftsstruktur bzw. strömungsphysikalische Maßnahmen (vgl. S. 90).

Aus Sicht der Flächennutzung erscheint jedoch, nach dem zeitlichen Muster der Umsetzbarkeit, eine Gliederung in kurzfristig zu realisierende Maßnahmen sowie mittel- und langfristig zu etablierende Maßnahmen ebenso sinnvoll. Der konkrete Handlungsrahmen Guter fachlicher Praxis stellt vornehmlich direkt wirksame Maßnahmen (vgl. Kapitel „Kurzfristige Maßnahmen“) sowie, mit einigen Einschränkungen, die Maßnahmen mit mittlerer zeitlicher Reichweite (vgl. Kapitel „Mittelfristige Maßnahmen“) dar.

Kurzfristige Maßnahmen

Kurzfristig wirksame Maßnahmen zur Vorsorge gegen Winderosion sind für die Landwirte in der Regel leicht umzusetzen. Nach einer flächenscharfen Gefährdungsbeurteilung können individuelle Maßnahmenpakete geschnürt und umgesetzt werden, die einen wirksamen Schutz des Bodens gewährleisten. Gefährdungsbeurteilung und Maßnahmenplanung müssen abhängig von den naturräumlichen Gegebenheiten vor Ort und dem pflanzenbaulichen Gesamtzusammenhang ggf. jährlich wiederholt werden.

Die pflanzenbaulichen Maßnahmen (Komplex 1) haben zum Ziel, den Zeitraum fehlender oder geringer Bodenbedeckung insbesondere in Zeiten erhöhter klimatischer Erosivität zu reduzieren. Bereits ein Bodenbedeckungsgrad von > 25 % bietet einen wirksamen Schutz.

Gute fachliche Praxis ist eine gezielte Fruchtartenauswahl, die im potenziellen Gefährdungszeitraum vegetationslose Brachezeiten minimiert sowie einen schnellen Bestandesabschluss gewährleistet. Verfahren zur Erhöhung der Saatkichte bei Gleichstandsart, bspw. Reihenengsaat, stellen nur dann Gute fachliche Praxis zur Verminderung von Bodenabträgen durch Wind dar, wenn oberirdische Pflanzen im Zeitraum erhöhter klimatischer Erosivität zu einer Erhöhung der Rauigkeit und Reduktion der Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche beitragen können.

Auch der Anbau von Zwischenfrüchten und die Anlage von Untersaaten sind ein sinnvoller Weg, nicht nur die Bodenbedeckung räumlich und zeitlich zu erhöhen, sondern auch die Humusversorgung des Standortes zu verbessern.

Auf besonders erosionsanfälligen Flächen sind Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung (Mulchsaat, Direktsaat sowie Streifenbearbeitung gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung und feinkrümeliger Saatkulturbereitung zu bevorzugen. Dies gilt vor allem auch dann, wenn Kulturen mit einem erhöhten Erosionsrisiko angebaut werden.

Grundsätzlich sollte der Landwirt darauf achten, dass die Bodenoberfläche auch nach der Bodenbearbeitung möglichst rau hinterlassen wird. So kann die Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche wirksam reduziert werden. Die Oberflächenrauigkeit kann auch durch eine veränderte Bearbeitungsrichtung zusätzlich erhöht werden. Es entspricht den Grundsätzen Guter fachlicher Praxis, auf erosionsgefährdeten Flächen die Bodenbearbeitung quer zur Windrichtung durchzuführen. Insbesondere in Dammkulturen ist eine Ausrichtung der Dämme quer zur Hauptwindrichtung aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes gegen Winderosion auf Standorten mit erhöhter bodenbürtiger Erodibilität Standard der Guten fachlichen Praxis.

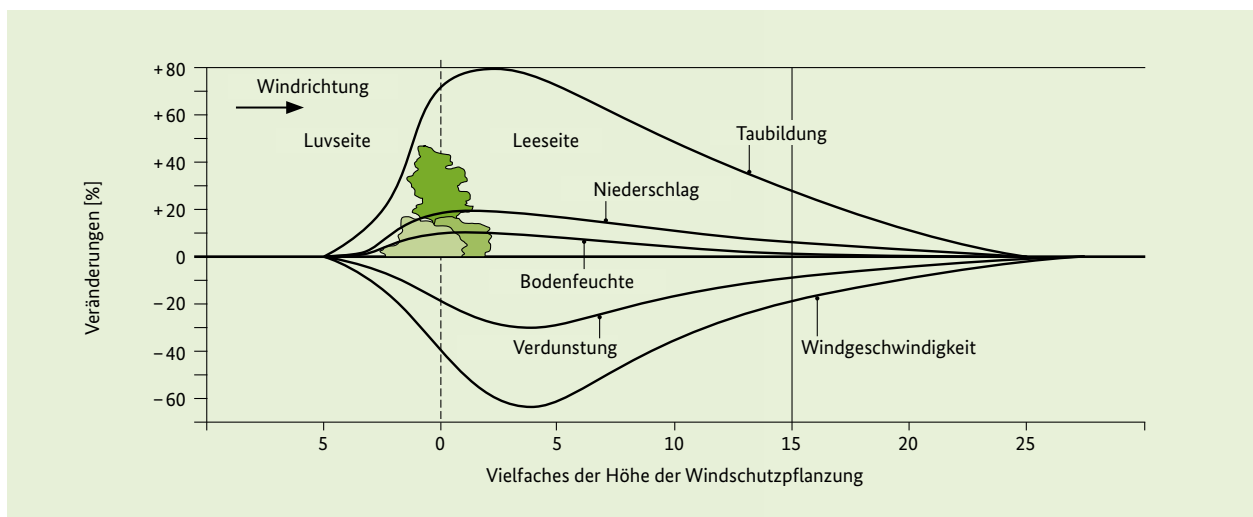


Abb. 4.13: Wirkungen von Hecken auf das Standortklima und den Wasserhaushalt (aus: aid 1994 Erosionsschäden vermeiden, Bonn (S. 30)).

Die Akzeptanz der hier exemplarisch vorgestellten Maßnahmen kann als hoch bezeichnet werden. Positive ökonomische Nebeneffekte und stabile bzw. steigende Erträge wirken in diesem Zusammenhang zusätzlich fördernd. Eine konkrete Handlungsempfehlung muss jedoch die Standortgegebenheiten berücksichtigen und hinsichtlich ihrer Eignung, Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit individuell geprüft werden.

Mittelfristige Maßnahmen

Mittelfristige Maßnahmen sind für den Landwirt, ebenso wie die kurzfristigen, überwiegend leicht umzusetzen. Im Gegensatz zu den kurzfristigen Maßnahmen ist deren Wirksamkeit meist schwerer und nicht direkt, zeitnah zu beurteilen. Sie ordnen sich in den Handlungsrahmen ein, entfalten ihre Minderungswirkung jedoch erst über einen langen Zeithorizont hinweg.

Die Reduzierung der Erosivität des Windes und der Erodibilität des Bodens stellen mittelfristige Maßnahmen zur



Abb. 4.14: Einfluss von Strömungshindernissen auf Bodenerosion und -akkumulation: Ablagerung von erodiertem Mineralboden hinter einem Knick (Verwehungsfall Ellbeck, 1989) (Foto: W. Hassenpflug)

Vorsorge gegen Bodenerosion durch Wind auf Betriebsebene dar.

Lineare Landschaftselemente, wie Hecken, Knicks, Gehölzpflanzungen, aber auch dammartige Lesesteinhaufen, können in waldarmen Regionen einen entscheidenden Beitrag zum Schutz vor Winderosion leisten und sind im Sinne des Vorsorgegedankens des Bundes-Bodenschutzgesetzes als besonders wertvoll zu bewerten.

Der Landwirt kann durch die gezielte Anlage von Windschutzhecken oder Knicks entlang von Flächen mit besonders hoher Erosionsdisposition effektiv die Erosivität des Windes reduzieren. Die Bedeutung und der Wirkungsgrad linearer Windschutzpflanzungen muss jedoch differenziert betrachtet werden. Neben den einmaligen Investitionen zur Anlage entstehen langfristig Kosten für die Pflege und den zweckorientierten Erhalt der Hecken. Darüber hinaus geht die Neuanlage dieser Flurelemente immer auch einher mit einem gewissen Verlust an landwirtschaftlicher Nutzfläche. Nichtsdestoweniger überwiegen die positiven Effekte von Hecken und Knicks nicht nur aus Sicht des Schutzes vor Bodenerosion; sie stellen nicht nur ein Strömungshindernis dar, sondern tragen ihren Teil zu einem verbesserten Kleinklima und Bodenwasserhaushalt bei.

Auf die Bedeutung von Hecken für die Biodiversität und zur Schaffung von Biotop-Verbundnetzen sei hier nur am Rande hingewiesen. Windschutzhecken und Knicks tragen jedoch nur in optimalem Pflegezustand und guter Bestandesentwicklung maximal zum Windschutz bei. Innerhalb des Pflegezyklus sind Zeiten geringer Bestandeshöhen gleichbedeutend mit einem minimierten Erosionsschutz.

Der Schutzbereich einer Hecke korreliert mit deren Höhe; insbesondere auf sehr großen Schlägen ist eine Schlagteilung mittels Windschutzpflanzung in einem Abstand von 200 bis 300 m senkrecht zur Hauptwindrichtung mittelfristig als vorrangige Maßnahme zur effektiven Herabsetzung der Winderosionsgefährdung zu betrachten. Die Anlage linearer



Abb. 4.15: Ortslage mit mehrgliedrigem Windschutznetz (Gemeinde Joldelund, Kreis Nordfriesland, Schleswig-Holstein). Forstliche Windschutzpflanzung, Knicks (Wallhecken) und Windschutzhecken wurden hier als hierarchisches Netzwerk zur landschaftsübergreifenden Reduktion der Winderosionsgefährdung der landwirtschaftlichen Nutzflächen angelegt. (Foto: Digitale Orthophotos (dop40), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2012)

Windschutzpflanzungen ist für den Landwirt nur ein Baustein im vorsorgenden Bodenschutz gegen Winderosion, dessen Wirksamkeit sich erst nach längerer Zeit voll entfaltet und auch dann aufgrund der alternierenden Hindernishöhe zeitlich stark variiert.

Dem Komplex 2 „Bodenstruktur-Maßnahmen“ (vgl. S. 88) zuzuschreibende Maßnahmen, die im engeren Sinne der Guten fachlichen Praxis nach Verständnis des §17 BBodSchG entsprechen, sind solche, die zu einer Reduzierung der Erodibilität (Erodierbarkeit) des Bodens beitragen.

- » Durch meliorative Maßnahmen zur Optimierung der Humusversorgung (s. Kapitel „Vorsorge zur Erhaltung des standorttypischen Humusgehaltes“, Seite 11 ff.) und die Berücksichtigung des Kalkbedarfs erzielt der Landwirt mittelfristig eine Verbesserung der Bodenstruktur.
- » Eine gezielte Fruchtfolgegestaltung und eine angepasste Bewirtschaftung zielen auf einen vermehrten Verbleib von Bestandesresten zur Humusakkumulation auf der Fläche.
- » Diesem Zweck können auch eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität und eine Förderung der Boden- Biodiversität dienen.

Deutlich messbare Effekte im Sinne einer Erhöhung der Humusgehalte und/oder der Aggregatstabilität sind durch derartige Maßnahmen jedoch nur mittel- bis langfristig zu erwarten. Im Sinne Guter fachlicher Praxis sind diese Maßnahmen immer durch direkt wirksame Methodenbausteine zu ergänzen.

Langfristige Maßnahmen

In Regionen mit höchster Winderosionsdisposition kann es trotz einer Flächennutzung im Konsens mit dem Handlungsrahmen Guter fachlicher Praxis weiterhin zu z. T. schweren Erosionsereignissen kommen. Zur Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen durch Winderosion sind in diesen Fällen überbetriebliche Maßnahmen (Komplex 3 Landschaftsstruktur bzw. strömungsphysikalische Maßnahmen, vgl S. 88) zu ergreifen. Auch wenn diese, sowohl in ihrer Umsetzung als auch in ihrer Wirksamkeit, als langfristig zu bezeichnende Maßnahmen nicht direkt in den Methodenkanon Guter fachlicher Praxis in der Landwirtschaft einzuordnen sind, sollen sie an dieser Stelle doch kurz angerissen werden.

Langfristige Maßnahmen zur Reduktion der Winderosionsgefährdung sind meist nur mit politischer Unterstützung und Bereitstellung von zusätzlichen Finanzmitteln möglich. Ziel

derartiger Planungen kann z. B. eine Flurneueordnung sein, die durch einen neuen Zuschnitt der landwirtschaftlichen Nutzflächen die Feldlänge senkrecht zur Hauptwindrichtung reduziert, sodass die Angriffsfläche/-länge des Windes reduziert wird. Kombiniert man Flurneueordnungsprogramme mit der Planung eines hierarchischen Netzwerkes von Aufforstungen und Windschutzpflanzungen, entwickelt sich

über die Zeit hinweg eine Landschaft mit erhöhter Rauigkeit auf allen Maßstabsebenen (vgl. Abbildung 4.15).

Ein erfolgreiches Beispiel in diesem Zusammenhang stellt das Programm Nord, als strukturpolitische Maßnahme in Schleswig-Holstein (1953 bis 1988) dar (WIEBE, 1979; DUTTMANN ET AL., 2011).

Literatur

AID (1994) Erosionsschäden vermeiden, Bonn, S.30.

AUERSWALD, K. (2006): Germany. In: BOARDMAN, J. & POESEN, J. (Hrsg.): Soil Erosion in Europe. John Wiley und Sons, Chichester, S. 213–230.

BACH, M. (2008): Äolische Stofftransporte in Agrarlandschaften. Experimentelle Untersuchungen und räumliche Modellierung von Bodenerosionsprozessen durch Wind. Kiel.

BAGNOLD, R. A. (1954): The physics of blown sand and desert dunes, Methuen. London.

BEINHAUER, R. & KRUSE, B. (1994): Soil erosivity by wind in moderate climates. In: ECOLOGICAL MODELLING, 75/76, S. 279–287.

BLUME, H.-P., DELLER, B., FUHRMANN, K., LESCHBER, R., PAETZ, A. & WILKE, B.-M. (2000): Handbuch der Bodenuntersuchung. Weinheim.

BMVEL – BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2002): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bonn.

BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO) (2018): Bodenerosion durch Wind – Anleitung zur Kartierung aktueller Erosions- und Akkumulationsformen. Magdeburg

CHEPIL, W. S. (1945): Dynamics of wind erosion: I Nature and movement of soil by wind. In: Soil Science, 60, S. 305–320.

DUTTMANN, R., HASSENPFUG, W., BACH, M., LUNGERSHAUSEN, U. & FRANK, J.-H. (2011): Winderosion in Schleswig-Holstein. Kenntnisse und Erfahrungen über Bodenverwehungen und Windschutz. In: GEOLOGIE UND BODEN, Heft 15, Flintbek.

DUTTMANN, R. & M. KUHWARD (2018): Wirkungen der Bodenerosion auf Bodeneigenschaften und Ertrag in: Handbuch der Bodenkunde, 45. Ergänzungslieferung 2018. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester; doi: 10.1002/9783527678495.hbbk2017006

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (Hrsg.) (2004): Bodenbeschaffenheit: Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind (DIN 19706:2004). Berlin.

EEA – EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR (Hrsg.) (1998): Europe's environment. The 2nd Assessment. Kopenhagen.

EEA – EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR (Hrsg.) (2003): Europe's environment. The 3rd Assessment. Kopenhagen.

FANGMEIER, D., ELLIOR, W., WORKMAN, S., HUFFMAN, R. & SCHWAB, G. (2006): Soil and water conservation engineering. Delmar Learning, Clifton Park.

FRIELINGHAUS, M., BRANDHUBER, R., GULLICH, P. & SCHMIDT, W. A. (2002): Vorsorge gegen Bodenerosion. In: BMVEL (Hrsg.): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bonn, S. 42–60.

FUNK, R. & REUTER, H. (2006): Wind erosion. In: BOARDMAN, J. & POESEN, J.

(Hrsg.): Soil erosion in Europe. Wiley, Chichester, S. 563–582.

GOOSSENS, D. (2003): On-site and off-site effects of wind erosion. In: WARREN, A. (Hrsg.) Wind erosion on agricultural land in Europe. Brüssel, S. 29–38.

GROSS, J. (2002): Quantifizierung winderosionsbedingter Staubtransporte in Agrarlandschaften Niedersachsens. Geosynthesis 12, Hannover.

MÜLLER, U. & WALDECK, A. (2011): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIMIS®). In: LBEG – LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE, GeoBerichte, Heft 19, Hannover.

PURI, A. N., CROWTHER, E. M. & KEEN, B. A. (1925): The relation between the vapour pressure and water content of soil. In: THE JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE, 15, S. 68–88.

RICHTER, G. (1965): Bodenerosion. Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungen zur Deutschen Landeskunde 152, Bad Godesberg.

WIEBE, D. (1979): Das Programm Nord. Kulturlandschaftswandel durch raumwirksame Staatstätigkeit in Schleswig-Holstein. Schöningh, Paderborn.

4.2 Wassererosion

Verlauf der Wassererosion

Wassererosion ist die Verlagerung von Bodenpartikeln durch oberflächlich abfließendes Wasser. Dieser Verlagerung geht der sogenannte Splash-Effekt voraus (Abb. 4.16), der durch auf die Bodenoberfläche auftreffende Regentropfen ausgelöst wird. Oberflächenabfluss entsteht, wenn das Wasserangebot an der Bodenoberfläche größer ist als die Wasseraufnahmefähigkeit bzw. die Infiltrationskapazität des Bodens. Das Wasser kann aus Niederschlägen, aus der Schneeschmelze sowie aus Wasserzufluss von höhergelegenen Flächen oder Bereichen stammen. Die Infiltrationskapazität des Bodens wird durch Verschlammung (Abb. 4.17) herabgesetzt. Verschlammung entsteht durch die Prozesse Splash-Erosion (Abb. 4.16) und Luftsprengung. Ferner kann ein weitgehend wassergesättigter Boden (z. B. infolge eines vorherigen Regens) eine begrenzte Infiltrationskapazität aufweisen.

Splash-Erosion: Durch Regentropfen, die mit hoher Energie auf die Bodenoberfläche fallen, werden Bodenaggregate zerschlagen.

Luftsprengung: Ausgetrocknete Bodenaggregate werden durch unterschiedlich schnell eindringendes Wasser und damit einhergehende Komprimierung der Luft in den Poren destabilisiert und zerbersten. Die Aggregate zerfallen und Einzelkörner werden an der Bodenoberfläche verteilt.

Frisch bearbeiteter Boden mit feiner Aggregierung verschlammmt sehr leicht. Große, nach oben offene Poren sind dann nicht mehr vorhanden, Regenwasser kann nicht schnell genug in den Boden eindringen. Dadurch sammelt sich Wasser auf der Bodenoberfläche und läuft den Hang hinab. Die durch Splash-Erosion und Luftsprengung losgelösten Teilchen werden mitgenommen. Wenn das oberflächlich

abfließende Wasser gleichmäßig auf dem Hang abfließt, entstehen flächenhafte Erosionsformen (Flächenspülung, Kleins-trillen, s. Abb. 4.18).

Die Bodenoberfläche ist hangabwärts oft durch gerichtete Bewirtschaftungsmuster wie Fahrspuren, Saatreihen oder Vorgehende (Abb. 4.19 + 4.20) geprägt, dort konzentriert sich der Oberflächenabfluss. Es entstehen

- » Erosionsrillen (2–10 cm tief) (Abb. 4.22),
- » Erosionsrinnen (10–40 cm tief) (Abb. 4.21) und
- » Erosionsgräben (Tiefe > 40 cm) (BUG & MOSIMANN, 2012).

Beim nächsten Niederschlag ist die Bodenoberfläche bereits verschlammmt und die Abflusslinien sind ausgeprägt, sodass sich die Bodenverlagerung beschleunigt. Nimmt die Hangneigung hangabwärts ab und wechselt zum konkaven Unterhang, verlangsamt sich die Fließgeschwindigkeit und die Bodenab-lagerung beginnt. Zuerst sedimentieren die groben Bodenteilchen, die feineren Bestandteile werden weiter transportiert. Liegt der Hang unmittelbar an einem Gewässer, ist oft ein direkter Bodenaustrag aus der Fläche und Eintrag in das Gewässer zu beobachten (FRIELINGHAUS & WINNIGE, 2000).

Den Ablauf der Bodenerosion durch Wasser fasst Abb. 4.23, S. 94 zusammen.

Eine wichtige Folge der Bodenerosion durch Wasser ist die Profilreduzierung in den Kuppen- und Hangbereichen. Gerade hier verschlechtern sich die Anbaubedingungen infolge der Wassererosion enorm und die Ertragsleistung der Ackerflächen geht zurück.



Abb. 4.16: Aggregatzerstörung durch Regentropfen (Splash-Erosion) (Foto: LfULG)

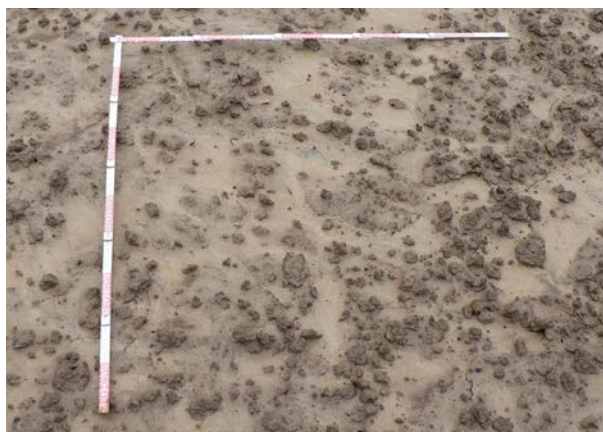


Abb. 4.17: Erosionsauslösende Verschlammung (Foto: LUH)



Abb. 4.18: Flächenhafte Erosionsform (Foto: LUH)



Abb. 4.19: Lineare Erosion im Vorgewende (Foto: LUH)



Abb. 4.20: Lineare Erosion in Fahrgassen (Foto: LUH)



Abb. 4.21: Rinnenerosion (Foto: W. Bauer, Agroluftbild)



Abb. 4.22: Flächenhaft-lineare Erosionsform (überwiegend Rillenerosion in Gefällrichtung) (Foto: LfULG)

Auslösende Faktoren der Wassererosion

Die wichtigsten Faktoren für das Auftreten von Bodenerosion durch Wasser zeigt Abb. 4.25. Man kann natürliche und bewirtschaftungsbedingte Einflussfaktoren unterscheiden.

Natürliche Faktoren

Niederschlag

Auslöser der Wassererosion sind Niederschläge, die eine bestimmte Intensität und eine bestimmte Höhe überschreiten. Als erosiv gelten (nach SCHWERTMANN ET AL., 1990) alle Niederschläge mit einer Gesamtregenhöhe von mehr als 10 mm, oder, falls weniger als 10 mm, mit einer 30-Minuten-Intensität größer 10 mm/h. Die höchste Erosivität der einzelnen Niederschläge liegt in Deutschland im Zeitraum Mai bis September, so dass der Bodenabtrag in dieser Zeit vom Grad der Bodenbedeckung durch die Pflanzenbestände bzw. die Mulchauflage bestimmt wird.

Im Winter existieren Risiken vorrangig bei langanhaltenden Niederschlägen (Gesamtregenhöhe > 15–20 mm) auf gesättigten oder gefrorenen, unbedeckten Böden sowie bei plötzlicher Schneeschmelze. In diesen Fällen kann es auch im Winter zu Bodenabschwemmungen kommen.

Topographie

Hangneigung, -länge und -form wechseln häufig und sind unterschiedlich kombiniert. Ihr Einfluss auf den Bodenabtrag ist groß. Zunehmende Hanglänge und -neigung fördern den Bodenabtrag. Bereits ab einer Hangneigung > 2% kann Bodenabtrag einsetzen. Vor allem bei Neigungen > 8–10% sind häufig hohe Bodenabträge zu beobachten. Hangabwärtsgerichtete Dellen, Rinnen und Hohlformen in den Hängen bilden Leitlinien für den Oberflächenabfluss. Deshalb bilden sich dort bevorzugt Abflussbahnen aus, die – einmal angelegt – immer wieder aktiv werden können (Abb. 4.26, S. 96).

Bodenzusammensetzung

Die Stabilität der Bodenaggregate und die Infiltrationskapazität sind weitgehend durch die Korngrößenzusammensetzung des Bodens bestimmt, modifiziert durch den Humusgehalt. Je höher der Anteil an Schluff und Feinsand und je geringer der Humusgehalt, umso erosionsanfälliger ist der Boden. Als besonders anfällig gegenüber Wassererosion gelten Lössböden mit Schluffanteilen über 70% sowie Sandböden mit hohem Feinsandanteil. Der Wassererosion entgegen wirkt ein höherer Skelettanteil im Boden, da die

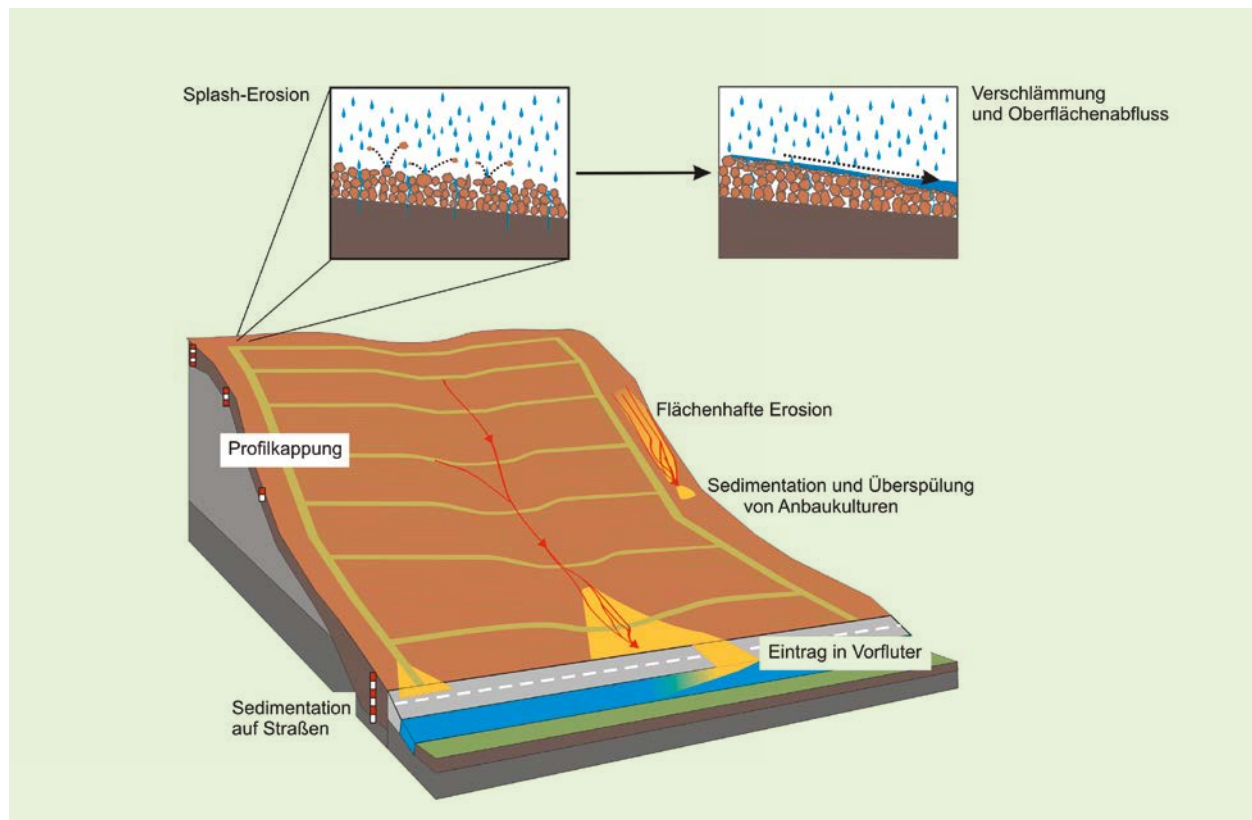


Abb. 4.23: Schema der Wassererosion (verändert nach BUG & MOSIMANN, 2012)

verschlammbare Fläche eingeschränkt wird. Ein steigender Anteil an Ton über 20% erhöht die Kohäsion und Stabilität gegenüber Niederschlägen. Dadurch werden auf tonreicheren Böden bei Oberflächenabfluss vorrangig feine Bodenteilchen abgeschwemmt.

Vom Menschen beeinflusste Faktoren

Langfristige Nutzung (Wald, Grünland, Acker)

Zwischen langfristiger Wald-, Grünland- oder Ackernutzung treten große Unterschiede in der Erosionsgefährdung auf. Ein dichter Baumbestand verhindert, dass Niederschläge ungebremst den Boden erreichen. Eine dichte Grünlandnarbe schützt ebenfalls die Bodenoberfläche vor dem Aufprall der Regentropfen. Ackerland ist hingegen in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung, z.B. bei konventioneller Bodenbearbeitung mit dem Pflug und anschließender Saatbettbereitung, längere Zeit im Jahr nicht ausreichend bedeckt und daher stark gefährdet.



Abb. 4.24: Rinnenerosion in reliefbedingten linearen Abflussbahnen. (Foto: W. Bauer, Agroluftbild)

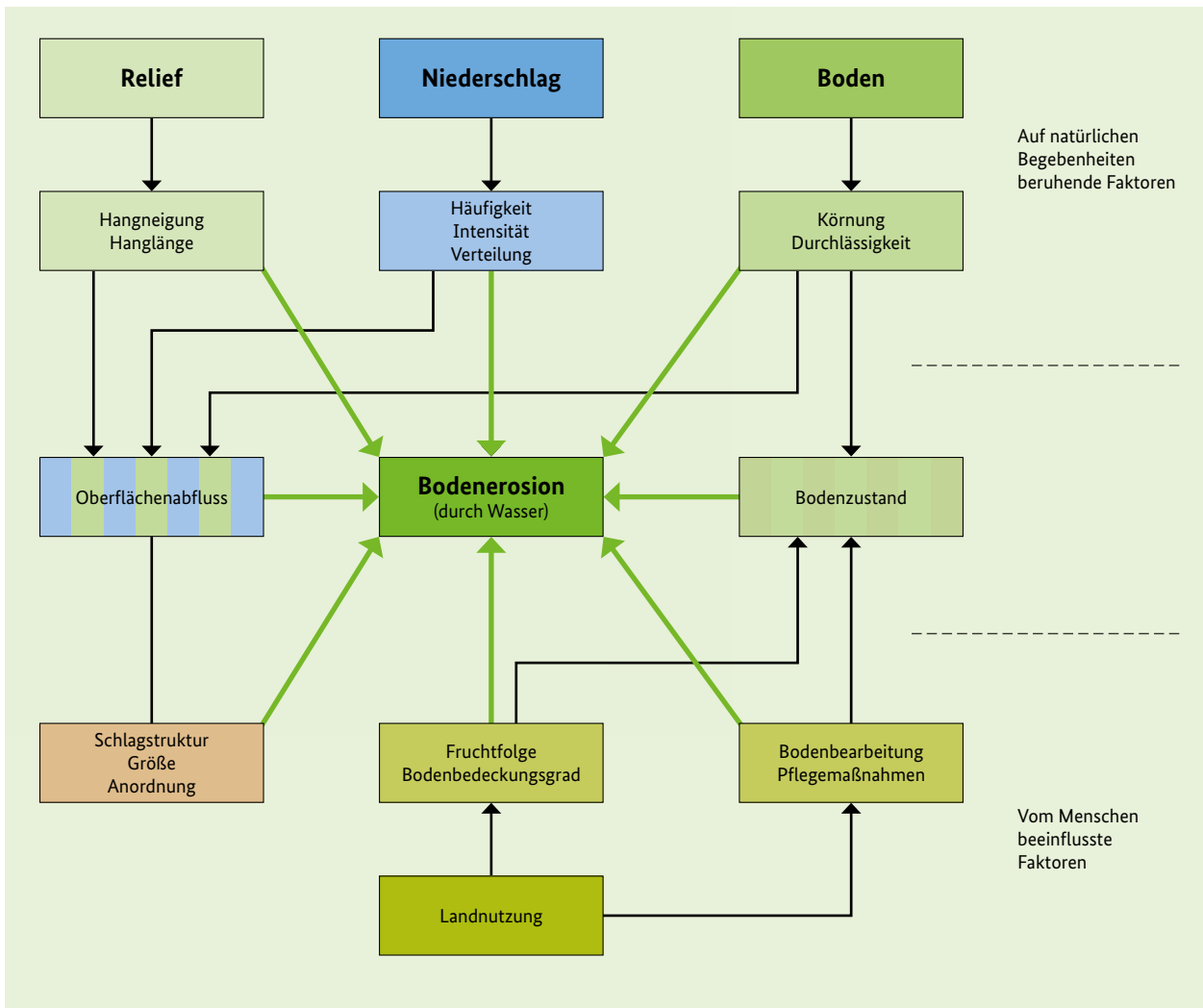


Abb. 4.25: Die wichtigsten Faktoren der Bodenerosion durch Wasser (angelehnt an MOSIMANN ET AL., 1991)

Bodenbedeckung

Die tatsächliche Wassererosionsgefährdung wird von der Bodenbedeckung durch Pflanzen oder Pflanzenreststoffen bestimmt. Das Risiko nimmt mit zunehmender Bedeckung ab. Eine gute Schutzwirkung beginnt bereits bei mehr als 30% gleichmäßig verteilter Bodenbedeckung. Dadurch sind die Zeiten, in denen eine erhöhte Gefährdung vorliegt, bei schnell und gut deckenden Fruchtarten wie Getreide begrenzt. Besonders anfällig bleiben Flächen mit Reihenfrüchten, wie Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln beim Anbau auf gefährdeten Hängen, wenn sie nach konventioneller Bearbeitung mit dem Pflug bestellt werden. Intensive Sommerniederschläge sind besonders erosiv, sodass für diese Fruchtarten eine zusätzliche Bodenbedeckung zwischen den Reihen in Form von Stroh und/oder Zwischenfrüchten notwendig wird (Abb. 4.39, S. 101, 4.43, S. 103). Dies gilt auch für mit Gemüse bzw. Sonderkulturen bestellte Ackerflächen.

Wasseraufnahmefähigkeit

Je höher die Oberflächenrauigkeit ist, desto mehr Wasser kann in den vielen kleinen Mulden gespeichert und umso länger der Abfluss verzögert werden. Daher ist eine frisch gepflügte, schollige Oberfläche weniger gefährdet als ein feines Saatbett vor oder nach der Aussaat. Allerdings ist diese Wirkung nicht gleichwertig mit einer stabilen Bodenbedeckung. Für die Infiltration, d. h. die schnelle Aufnahme und Abführung von Niederschlägen, sind die schnell dränenden Poren (ehemalige Wurzelgänge, vertikale Regenwurmgänge von *lumbricus terrestris*) und die durch die Bodenstruktur bestimmte Durchgängigkeit der Grobporen von der Bodenoberfläche bis in die unteren Bodenschichten verantwortlich. Bei Bodenstrukturschäden kann diese Kapazität erheblich vermindert sein und nicht mehr ausreichen.



Abb. 4.26: Zuckerrübenfeld mit Erosionsspuren im Mai (Foto: LUH)

Bodenverdichtungen in Krume und Unterboden

Die aktuelle Erosionsgefährdung steigt an, wenn verdichtete Areale, wie z. B. Fahrspuren oder verdichtete Vorgewende vorhanden sind, die die zügige Versickerung des Niederschlagswassers in tiefere Bodenschichten verhindern. Niederschlagswasser sammelt sich auf der Bodenoberfläche und fließt hangabwärts.

Aggregatstabilität, Scherwiderstand

Böden mit erhöhter Wassererosionsgefährdung zeichnen sich in der Regel durch eine geringe Aggregatstabilität und einen geringen Scherwiderstand aus. Destabilisierend wirken niedrige Ton-, Humus- und Kalkgehalte im Boden sowie eine verminderte mikrobiologische Aktivität. Nach intensiver Saatbettbereitung ist die Erosionsanfälligkeit dieser Böden besonders hoch.

Bodenfeuchte

Die aktuelle Bodenfeuchte bestimmt die Wasseraufnahmefähigkeit von Böden und damit das Ausmaß des erosionsauslösenden Oberflächenabflusses. Der Einfluss der aktuellen Bodenfeuchte wird besonders im Winter deutlich. Die Poren sind dann wassergefüllt, die Aufnahmekapazität ist weitgehend erschöpft. Daraus resultiert gleichzeitig ein verringerter Scherwiderstand. Winterniederschlag wirkt deswegen erosiv, weil er auf gesättigten Boden fällt und das Bodengefüge besonders instabil ist.

Fremdwasserzufluss von Wegen

Das Wegenetz in der Flur sollte darauf ausgerichtet sein, größere Wassermengen schadlos abführen zu können (Wegseitengräben, ausreichend dimensionierte Durchlässe). Ist dies nicht der Fall, kann Fremdwasser punktuell in Ackerflächen einströmen und dort Rinnen- und Grabenerosion auslösen.

Tab. 4.3: Orientierungswerte für Wassererosion

Parameter	Wann tritt Wassererosion auf?
Niederschlag	> 5 mm je Stunde
Boden	Schluffe sowie sandige Lehme und lehmige Sande
Hanglängen	> 50 m*
Hangneigung	> 4 %*
Bodenoberfläche	fehlende Bodenbedeckung

* In Einzelfällen kann bereits bei geringerer Hanglänge und -neigung starke Wassererosion auftreten.

Orientierungswerte für Wassererosion

Für den Beginn der Wassererosion können einige Orientierungswerte angenommen werden. Diese geben Hinweise, ab wann diesem Problem erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken ist.

Wassererosionsschäden

Die deutlichsten Spuren der Wassererosion sind durch Bodenverlagerung verursachte größere Rillen-, Rinnen- und Grabensysteme auf Äckern. Meist können auch Schäden

direkt an den Pflanzenbeständen registriert werden. Alle Schäden, die auf der Ackerfläche selbst entstehen, werden als On-Site-Schäden bezeichnet. Darunter fallen:

- » Verletzung, Entwurzelung (Abb. 4.27), Überdeckung und Vernichtung von Kulturpflanzen (Abb. 4.28).
- » Wegspülen von Saatgut, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln vom Ausbringungsort und Ablagerung an unerwünschter Stelle (Abb. 4.29 + 4.30).
- » Erschwertes Befahren der Äcker durch tiefe Erosionsrinnen (Abb. 4.31 + 4.32).

On-Site-Schäden durch Wassererosion (Fotos: LUH)



Abb. 4.27



Abb. 4.28



Abb. 4.29



Abb. 4.30



Abb. 4.31



Abb. 4.32

Nicht unmittelbar sichtbare Schäden sind:

- » Verlust an durchwurzelbarer Bodensubstanz und damit vermindertes Wasserspeicher-, Filter- und Puffervermögen.
- » Verarmung des Bodens an Humus und Pflanzennährstoffen im Abtragsbereich, Akkumulation von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln im Ablagerungsbereich.
- » Minderung der Erträge und der Ertragsfähigkeit, Zunahme der Flächenheterogenität.

Schäden am Boden durch Wassererosion beschränken sich nicht nur auf die Ursprungsflächen. Als Off-Site-Schäden werden die Folgen von erosionsbedingten Stoffausträgen aus den „Quellflächen“ bezeichnet.

Off-Site-Schäden:

- » Einträge in benachbarte Ackerparzellen (Abb. 4.33).
- » Einträge in benachbarte Vorfluter 4.34 + 4.35) und Biotope (Abb. 4.36) oder andere Nachbarsysteme, die in diesen zu Verschiebungen im jeweiligen Stoffhaushalt und zu erheblichen Schäden führen.
- » Verschmutzung von angrenzenden Straßen, Wegen, Gräben (Abb. 4.37 + 4.38).

Off-Site-Schäden durch Wassererosion

Abb. 4.33 (Foto: LUH)



Abb. 4.34 (Foto: LfULG)



Abb. 4.35 (Foto: LUH)



Abb. 4.36 (Foto: R. Brandhuber, LfL)



Abb. 4.37 (Foto: LUH)



Abb. 4.38 (Fotos: LUH)



Abb. 4.38a: Drohneneinsatz zur Erosionsmessung (Foto: J. Brunotte)

Abschätzung von Wassererosion

Das Risiko für das Auftreten von Bodenerosion kann mit Modellen berechnet und bewertet werden. International sowie national gilt die in den USA entwickelten Universal Soil Loss Equation (USLE) bzw. ihre deutsche Anpassung, die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) als wissenschaftlich akzeptiertes Standardverfahren. Zur Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser ist die ABAG als DIN-Verfahren 19708 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V., 2017) genormt.

Für die im Rahmen der Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung notwendige Einteilung der Erosionsgefährdung wurden ABAG-Faktoren verwendet. Diese Einteilung bietet eine grobe Übersicht über die standörtliche Gefährdung. Weiter gehende Erosionsgefährdungskarten auf verschiedenen Maßstabsebenen (z. B. für Deutschland: WURBS & STEININGER, 2011; BADEN-WÜRTTEMBERG, 1995) wurden ebenfalls mit der ABAG erstellt.

Für die Umsetzung auf Betriebsebene ist eine Einschätzung der Erosionsgefährdung auf dem Einzelschlag erforderlich. MOLLENHAUER ET AL. (2006) stellen dabei die üblichen Methoden in den verschiedenen Bundesländern vor. Eine Hilfestellung für die parzellenscharfe Einschätzung der Abtragsgefährdung im Feld auf Basis der ABAG liefern unter anderem MOSIMANN & SANDERS (2003), BILLEN ET AL. (2005), BRANDHUBER ET AL. (2012), LFL (2012).

Die Erosionsgefährdung kann auch mit Hilfe von physikalischen Modellen bestimmt werden. Ein Beispiel hierfür ist

EROSION 3D (SCHMIDT ET AL., 1996). Das Modell berechnet die raumzeitliche Verteilung der Erosion und Deposition sowie den Sedimentaustrag aus einem Einzugsgebiet. Im Gegensatz zur ABAG modelliert das Modell EROSION 3D erosive Einzelereignisse.

Heute sind Drohnen mit hochauflösenden Kameras in der Lage, durch eine Befliegung vor und nach einem Erosionsereignis das tatsächliche Abtragsgeschehen zu quantifizieren.

Dadurch könnte für ganze Regionen das Erosionsausmaß (in Tonnen pro ha) gemessen werden.

Vorsorgemaßnahmen gegen Wassererosion

Gemäß § 17 BBodSchG soll Erosion möglichst vermieden werden. In diesem Sinne sind wirksame Schutzmaßnahmen anzuwenden, welche die Gute fachliche Praxis auf erosionsgefährdeten Standorten darstellen (s. Übersicht 4.1, S. 100).

Diese Vorsorgemaßnahmen sind situations- und standortbezogen einzeln oder in Kombination zu ergreifen, wenn ein potenzielles oder tatsächliches Erosionsrisiko besteht. Dies bedeutet, dass auf Ackerschlägen, die z. B. aufgrund geringer Hangneigung als potenziell wenig gefährdet eingestuft werden, in einem einzelnen Jahr (z. B. beim Anbau von Mais) wegen des hohen Nutzungsrisikos trotzdem Bodenschutzmaßnahmen durchgeführt werden sollten. Dem Landwirtschaftsbetrieb steht das in Übersicht 4.1 zusammengestellte Bündel an Maßnahmen zur Verfügung, um Bodenabträge im Sinne der Vorsorge zu vermeiden.

Im Sinne der Guten fachlichen Praxis können zum Schutz von Ackerflächen vor Wassererosion acker- und pflanzenbauliche sowie ergänzende Maßnahmen unterschieden werden (Übersicht 4.1).

Acker- und pflanzenbauliche Schutzmaßnahmen richten sich darauf, die Mobilisierung der Bodenpartikel zu verhindern oder zumindest stark einzuschränken. Eine Bedeckung schützt den Boden vor dem Aufprall der Regentropfen – je näher an der Bodenoberfläche umso besser. Besonders erosionsmindernd wirkt eine möglichst flächendeckende Mulchauflage, da sie zusätzlich den Abfluss bremst und die Wasserfilmdicke erhöht. Mulch mit 30 bis 50% Bedeckung gewährt meist einen ausreichenden Erosionsschutz (s. Abb. 4.39). Erreicht werden kann dies durch das Zurücklassen von Pflanzenreststoffen (z. B. Stroh) auf den Ackerflächen und/oder durch den Anbau von Zwischenfrüchten mit einer nachfolgenden Mulchsaat, d. h. der Aussaat der Folgefrucht unter aufliegende Pflanzenreste im Rahmen der pfluglosen bzw. konservierenden Bodenbearbeitung.

Acker- und pflanzenbauliche Schutzmaßnahmen richten sich darauf, die Mobilisierung der Bodenpartikel zu verhindern oder zumindest stark einzuschränken. Eine Bedeckung schützt den Boden vor dem Aufprall der Regentropfen – je näher an der Bodenoberfläche umso besser. Besonders erosionsmindernd wirkt eine möglichst flächendeckende Mulchauflage, da sie zusätzlich den Abfluss bremst und die Wasserfilmdicke erhöht. Mulch mit 30 bis 50% Bedeckung gewährt meist einen ausreichenden Erosionsschutz (s. Abb. 4.39). Erreicht werden kann dies durch das Zurücklassen von Pflanzenreststoffen (z. B. Stroh) auf den Ackerflächen und/oder durch den Anbau von Zwischenfrüchten mit einer nachfolgenden Mulchsaat, d. h. der Aussaat der Folgefrucht

unter aufliegende Pflanzenreste im Rahmen der pfluglosen bzw. konservierenden Bodenbearbeitung.

Um einen Bedeckungsgrad von 30% zu erreichen, muss auf eine zu intensive Saatbettbereitung verzichtet werden. Güllegaben, z. B. vor der Maisaussaat, sollten daher möglichst mit einem Injektionsverfahren oder im Rahmen der Streifenbearbeitung in den Boden eingebracht werden.

Aktiver Erosionsschutz kann auch darin bestehen, dass auf den Anbau von Reihenfrüchten verzichtet wird (z. B. Klee gras oder Luzerne statt Silomais) oder dass besonders gefährdete Ackerflächen zugunsten anderer, weniger erosionsempfindlicher Nutzungen, wie z. B. Grünland oder Wald, aufgegeben werden.

Bei den ergänzenden Maßnahmen gegen Wassererosion (ab S. 110) geht es darum, bereits mobilisierte Partikel daran zu hindern, mit dem Oberflächenabfluss auf angrenzende Flächen oder in Oberflächengewässer zu gelangen. Zu diesen Schutzmaßnahmen zählen z. B. Grünstreifen oder Hecken ebenso wie optimierte Schlaggrößen und Entwässerungssysteme. Auf die verschiedenen erosionsmindernden Maßnahmen der Übersicht 4.1 wird nachfolgend eingegangen.

Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Wassererosion auf Ackerflächen wird durch eine möglichst dauerhafte Bodenbedeckung sowie eine stabile Bodenstruktur vermindert (NITZSCHE ET AL., 2000; DEUMLICH & FUNK, 2012).

Übersicht 4.1: Einzeln bzw. in Kombination anwendbare Maßnahmen der Guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenerosion durch Wasser (BMELV, 2001)

Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen gegen Wassererosion

- » Konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat und Streifenbearbeitung im Sinne des Belassens einer bodenschützenden Mulchauflage sowie des Erhalts stabiler Bodenaggregate möglichst im gesamten Fruchtfolgeverlauf, mindestens jedoch zu einzelnen, von Erosion besonders betroffenen Fruchtarten (insbesondere Mais, Zuckerrüben) im Sinne eines flächenhaft wirkenden Schutzes.
- » Minimierung der Zeitspannen ohne Bodenbedeckung u. a. durch Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfrüchte sowie Untersaaten.
- » Vermeidung oder Intervallbegrünung hangabwärts gerichteter Fahrgassen.
- » Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen.

Ergänzende Maßnahmen gegen Wassererosion

- » Schlagunterteilung bzw. Hanggliederung durch Fruchtartenwechsel.
- » Dauerbegrünung von besonders gefährdeten Acker(teil)flächen bzw. Hangdellen und -rinnen.
- » Auf den Schutz vor Bodenerosion ausgerichtete Flurneuordnungsverfahren: Bewirtschaftung quer zum Hang, Anlage quer zum Gefälle laufender Grün- sowie Flurgehölzstreifen, Anlage von Wegseitengraben und ausreichend dimensionierten Durchlässen, ggf. Schaffung von Sedimentationsraum im Hangbereich.

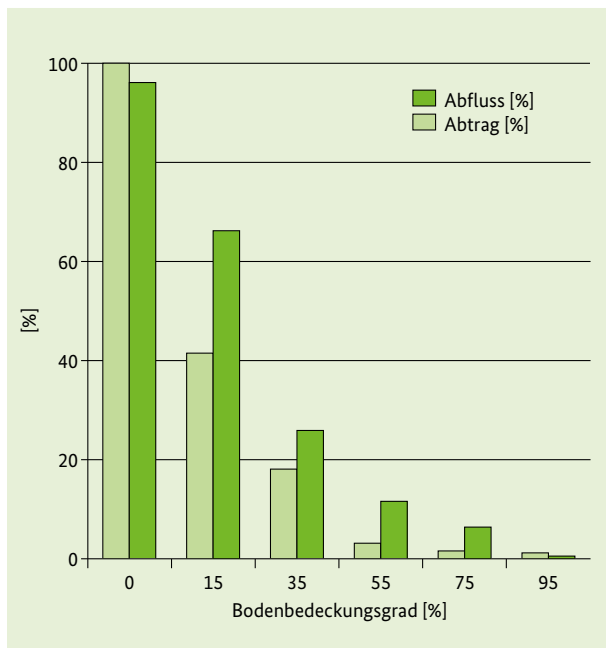


Abb. 4.39: Relative Veränderung des Wasserabflusses und des Bodenabtrags durch Regen in Abhängigkeit von der Bodenbedeckung (nach ROTH ET AL., 1992)

Durch eine entsprechende Fruchtfolgegestaltung lassen sich im Fruchtfolgeverlauf die Zeiträume ohne Bodenbedeckung reduzieren. Ökonomische Rahmenbedingungen können allerdings einer in diesem Sinne gestalteten Fruchtfolgegestaltung entgegenstehen. Ein Landwirt kann jedoch durch Zwischenfruchtanbau, durch das Belassen von Stroh und Ernteresten (z. B. in Verbindung mit konservierender Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat) sowie durch das Belassen von Untersaaten nach der Ernte der Deckfrucht eine erosionsmindernde Bodenbedeckung zwischen zwei Hauptfrüchten sicherstellen.

Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat – Definition und Wirkung

Wesentliches Kennzeichen der konservierenden Bodenbearbeitung (s. Übersicht 4.2) ist der Einsatz nicht wendender Bodenbearbeitungsgeräte (z. B. Scheibeneggen, Grubber, s. Abb. 4.40). Sie belassen den Ackerboden weitgehend in seinem Aufbau. Gleichzeitig verbleiben Erntereststoffe, wie z. B. Stroh oder Reste von Zwischenfrüchten (= Mulchmaterial), an der Bodenoberfläche oder werden flach eingearbeitet (Abb. 4.40). Die Aussaat der Folgefrucht erfolgt mit spezieller Mulchsaattechnik unter die aufliegende Mulchschicht.

Eine Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung wird als Direktsaat bezeichnet (Abb. 4.41). Hierfür sind spezifische Direktsämaschinen erforderlich. Diese öffnen Säschnitte, in die das Saatgut abgelegt wird. Als Folge des Verzichtes auf jegliche Bodenbearbeitung zeichnen sich Direktsaatflächen durch eine dichte Bedeckung aus Pflanzenresten aus.

Im Gegensatz zur konservierenden Bodenbearbeitung wird mit dem Pflug der Boden bis auf Krumentiefe (i. d. R. bis 30 cm Bodentiefe) gewendet und gelockert (s. Übersicht 4.2). Pflanzen- bzw. Erntereste, Unkräuter usw. werden in den Boden eingearbeitet. Dadurch hinterlässt das Pflügen eine reststofffreie, vegetationslose Ackeroberfläche als Voraussetzung für die störungsfreie Aussaat der Folgefrucht mit herkömmlicher Drilltechnik.

Die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung und die Direktsaat sind die wirkungsvollsten Maßnahmen gegen Bodenerosion durch Wasser (Tabelle 4.4 S. 102, Abb. 4.44 S. 103) und Wind auf Ackerflächen (SOMMER, 1999). Durch den Verzicht auf die Bodenwendung mit dem Pflug verbleiben stabile Bodenaggregate sowie bodenbedeckendes

Übersicht 4.2: Definition der Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren (nach KTBL 1998)

Konventionelle – wendende Bodenbearbeitung

Lockerung und Wendung des Bodens mit dem Pflug auf Krumentiefe (bis ca. 30 cm Bodentiefe), Herstellung einer unbedeckten Bodenoberfläche für die störungsfreie Drillsaat der Folgefrucht.

Konservierende – nichtwendende Bodenbearbeitung (Abb. 4.40)

Lockerung des Bodens mit nichtwendenden Bearbeitungsgeräten (z. B. Scheibeneggen, Grubber usw.), Belassen einer mit Pflanzenresten (Mulch) bedeckten Bodenoberfläche für die Mulchsaat der Folgefrucht. (Foto: F. Wolfarth, TI)



Direktsaat (Abb. 4.41)

Aussaat der Folgefrucht mit Direktsämaschinen ohne Bearbeitung der Ackerfläche. (Foto: B. Ortmeier, TI)



Tab. 4.4: Auswirkung der Bodenbearbeitung auf Bodenparameter (Bodenbearbeitungsversuch der Südzucker AG in Lüttewitz, Sächsisches Lößhügelland (Bodenart Ut3/Ut4), Beregnungssimulation 2000 (8. Versuchsjahr); Fruchtfolge Zuckerrüben – Winterweizen – Winterweizen, keine Strohabfuhr) (nach NITZSCHE ET AL., 2002)

Parameter	Einheit	Pflug	Konservierend	Direktsaat
Infiltrationsrate	[%]	40 ¹⁾	70	86
Rel. Bodenabtrag	[%]	100 ²⁾	20	2
Mulchbedeckung	[%]	1	13	77
Aggregatstabilität	[%]	20	22	25
Humus ³⁾	[%]	2,0	2,2	2,5
Regenwürmer	Anzahl pro m ²	125	312	358
davon Tiefgräber	L. terrestris	4	37	29
Makroporen ⁴⁾	Zahl pro m ²	264	493	775

Arbeitstiefen [cm]: Pflug: 30; Konservierend: 20 (mit Grubber), Direktsaat: 0.

1) Beregnungsversuch: 38 mm Niederschlag in 20 Min = 100 %,

2) Bodenabtrag Pflug: 536,3 g/m² = 100 %,

3) Bodenschicht 0 – 5 cm,

4) Porendurchmesser > 1 mm

Mulchmaterial in Form von Ernte- und Strohreststoffen an der Oberfläche. Diese Mulchauflage schützt den Ackerboden insbesondere in einem aufwachsenden Pflanzenbestand mit noch geringem Bedeckungsgrad (z. B. Mais, s. Abb. 4.42), aber auch zu einem späteren Zeitpunkt (s. Abb. 4.43) flächenhaft vor den erodierenden Einwirkungen von Niederschlägen. Dies ist durch Feldversuche, Beregnungsversuche und Messungen im Rahmen von Monitoringprogrammen umfassend belegt (BRUNOTTE ET AL., 1999a u. b, FRIELINGHAUS ET AL., 2000; s. Tab. 4.4, Abb. 4.44 und 4.45).

Neben der Bodenbedeckung ist dafür auch die im Vergleich zu gepflügten Flächen deutlich gesteigerte Wasserinfiltration als Folge der Änderungen wichtiger Bodenparameter verantwortlich (Tab. 4.4). So wird auf dauerhaft konservierend bestellten Ackerflächen z. B. die Verschlammungsanfälligkeit des Bodens durch die Verbesserung und Stabilisierung der Struktur der Bodenaggregate, durch höhere Humusgehalte im oberen Krumenbereich und eine schützende Mulchauflage an der Bodenoberfläche vermindert (Tab. 4.4). Gleichzeitig sorgt ein höherer **Regenwurmbesatz** (und hier insbesondere tiefgrabende Regenwürmer (KRÜCK ET AL., 2001)) für eine größere Zahl wasserableitender, infiltrationsverbessernder Grob- bzw. Makroporen (Tab. 4.4).

Infolgedessen vermindert die konservierende Bodenbearbeitung die Bodenerosion durch Wasser auf Ackerflächen und den damit verbundenen P-Austrag im Vergleich zu gepflügten Flächen um bis zu 90 %. Im Einzelfall werden durch konservierende Bodenbearbeitung sowohl die Wassererosion als auch der P-Austrag ganz verhindert. Die verbesserte Wasserinfiltration sorgt zudem für eine effizientere Nutzung von Niederschlägen. Dies kann im Hinblick auf den Klimawandel und den damit evtl. verbundenen ausgeprägteren Trockenperioden von Bedeutung sein.

Regelmäßig mit dem Pflug bearbeitete Flächen sind wesentlich erosionsanfälliger als Mulchsaatflächen (s. Abb. 4.44). Durch einen Pflugeinsatz gehen alle in Tabelle 4.4 dargestellten erosionsmindernden Effekte der konservierenden Bodenbearbeitung und Direktsaat verloren und müssen dann erst wieder aufgebaut werden. Voraussetzung für den dauerhaft wirksamen Schutz von Ackerflächen vor Wassererosion ist daher die dauerhafte Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung bzw. der Direktsaat.

Messungen zeigen, dass durch konservierende Bewirtschaftung der lineare Bodenabtrag um 50 % reduziert werden kann (Abb. 4.45). Die Wirkung ist sowohl bei Sommer-, als auch bei Winterfrüchten nachweisbar. Die Messungen zeigen aber auch, dass es bei konservierender Bearbeitung unterschiedlich hohe Abträge in Abhängigkeit von der Anbaukultur gibt.

Anpassungsstrategien bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung

Eine dauerhaft flache Bearbeitung z. B. mit dem Grubber (Arbeitstiefe < 10 cm) kann bei bestimmten Böden zur Ausbildung infiltrationshemmender und daraus resultierenden erosionsverstärkenden Verdichtungsschichten unterhalb des Bearbeitungshorizontes führen. In diesen Fällen ist zu prüfen, ob eine einmalige, etwas tiefer gehende Lockerung Abhilfe schaffen kann. Eine zu intensive Bearbeitung (z. B. in Form mehrerer Grubberarbeitsgänge) kann dagegen das Erosionsrisiko infolge steigender Verschlammungsanfälligkeit und geringerer Mulchbedeckung merklich erhöhen. Der Erhalt der Bodengare und der Mulchbedeckung der Vorfrüchte erfordert dann situationsbedingt eine Begrenzung



Abb. 4.42: In Mulchsaat mit schonender Saatbettbereitung gesäter Mais – Keimblattstadium (Foto: R. Brandhuber, LfL)



Abb. 4.43: In Mulchsaat ohne Saatbettbereitung gesäter Mais (Foto: LfULG)



Abb. 4.44: Bodenerosion infolge von Oberflächenabfluss auf gepflügter, dadurch verschlammter Ackerfläche mit geringer Infiltration (linker Bildbereich) im Vergleich zu konservierend bearbeiteter, strukturstabiler Ackerfläche mit hoher Infiltration (rechter Bildbereich) (Gewitterniederschlag mit 55 mm Regen/45 min, Sächsisches Lößhügelland, Bodenart Ut3) (Foto: LfULG)

der Anzahl der Arbeitsgänge und der Bearbeitungsintensität sowie -tiefe.

Die höchste Wasserversickerung und der geringste Bodenabtrag durch Wasserosion finden sich auf Direktsaatflächen mit dichter Mulchbedeckung und vielen stabilen Bodenkrümeln (s. Tab. 4.4 und Abb. 4.47, 4.48).

Dies bedeutet:

Je weniger eine Mulchsaatfläche bearbeitet wird, desto größer sind die infiltrationsverbessernden und erosionsmindernden Wirkungen.

Gemessener linearer Bodenabtrag $t \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

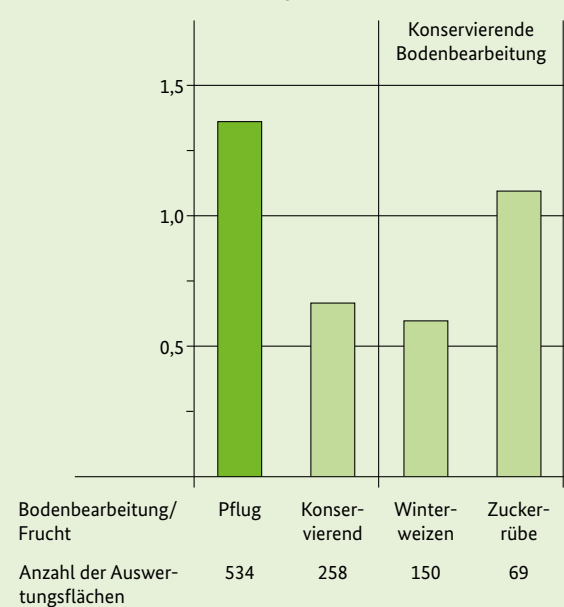


Abb. 4.45: Gemessener jährlicher linearer Bodenabtrag in Niedersachsen, aufgeschlüsselt nach Bodenbearbeitung und bei konservierender Bodenbearbeitung nach Anbaufrucht (MOSIMANN ET AL., 2012)

Direktsaat und eine zielgerichtete Bearbeitung zur angebauten Fruchtart können sehr gut bei der Streifenbearbeitung kombiniert werden. Bei diesem Bestellverfahren wird die Bodenbearbeitung z. B. zu Mais, zu Raps sowie zu Zuckerrüben auf die Ackerflächenbereiche beschränkt, in denen die Aussaat erfolgt (DEMME ET AL., 2012; SANDER, 2009; BISCHOFF, 2011; BISCHOFF, 2012a; BISCHOFF, 2012b; KT-BL, 2021). Infolgedessen bleiben mindestens 60 bis 70 % und damit der größere Teil der Ackerfläche mulchbedeckt (Abb. 4.46, S. 104).

Untersuchungen belegen: Im Gegensatz zur ganzflächigen Saatbettbearbeitung zur Mulchsaat kann durch Streifenbearbeitung eine mit Direktsaatflächen vergleichbare sehr gute



Abb. 4.46: Streifenbearbeitung vor der Maisaussaat (Foto: LfULG)

Wasserversickerung (Abb. 4.47) erreicht werden. Bodenerosion findet kaum noch statt (Abb. 4.48).

Insgesamt ist darauf hinzuweisen, dass die dauerhaft konservierende, d. h. pfluglose Bestellung als zentrale Maßnahme eines nachhaltigen Erosions- und Bodengefügeschutzes in der Landwirtschaft veränderte bzw. neue Anbaustrategien und ggf. auch Anpassungen in der Fruchtfolge verlangt. Der Bodengefügeschutz stellt zudem Anforderungen an die Landtechnik. Diese betreffen z. B. den Umgang mit dem Stroh auf den abgeernteten Flächen, die Stoppelbearbeitung, die Durchwuchs-, Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsbekämpfung, die Auswahl und Beschaffung geeigneter Sätechnik, die Düngung, eine spezifische, möglichst viestaltige Fruchtfolge, die Anwendung neuer, ebenfalls erosionsmindernder Anbauverfahren, (z. B. die Gleichstandsart bei Mais (DEMME ET AL., 2000)). Hierzu werden von den landwirtschaftlichen Fachbehörden des Bundes und der Länder Lösungen und Empfehlungen erprobt und entwickelt. Sie bilden die Grundlage für die umfassende und dauerhafte Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung möglichst im gesamten Fruchtfolgeverlauf. Strategien für die erfolgreiche dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitung werden im Folgenden dargestellt.

Die dauerhafte Anwendung der Direktsaat bzw. der konservierenden Bodenbearbeitung ist im Einzeljahr und im Einzelfall an die Anwendung nichtselektiver Herbizide gebunden. Steht der Wirkstoff Glyphosat nicht mehr zur Verfügung, muss die Unkraut- und Ungrasbekämpfung ausschließlich mechanisch erfolgen. Das bedeutet, dass 2–3

zusätzliche Arbeitsgänge bei Mulchsaaten auf Basis Stroh erforderlich sind, mit dem Ergebnis geringerer Bedeckungsgrade an der Bodenoberfläche und stärkeren Humusabbaus. Dadurch kann Oberflächenverschlammung und Bodenerosion weniger effektiv vorgebeugt werden. Die klassische Direktsaat ohne jegliche Bodenbearbeitung wird unter den geschilderten Bedingungen kaum noch erfolgreich möglich sein.

Wird eine Zwischenfrucht nach Getreide vor den erosionsanfälligen Sommerkulturen ausgesät, kann auf Glyphosat nur verzichtet werden, wenn die Zwischenfrucht bei optimalen Auflaufbedingungen ihren unkrautunterdrückenden Effekt voll entfaltet. Aufgrund der Keimverzögerung beim Ausfallgetreide gelingt dies allerdings nur selten.

Um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und zu fördern, ist die Erosionsgefahr bestmöglich zu verhindern. Das gelingt in der vegetationslosen Zeit bis zum Reihenschluss der Sommerkulturen mit einem hohen Bodenbedeckungsgrad aus Strohresten und/oder Zwischenfrüchten – nicht-selektive Herbizide helfen die Bodenbearbeitungsintensität zu reduzieren und die Bodenbedeckung zu erhalten.

Vorsorge gegen Bodenerosion durch Kalkung

Auf unbedeckten Boden aufschlagende Regentropfen (s. Abb. 4.16, S. 92) können Bodenaggregate zerstören, vor allem nach intensiver Bodenbearbeitung, bei zu geringem Humusgehalt und bei mangelnder Kalkversorgung. Die Folge davon ist die im voranstehenden Abschnitt beschriebene

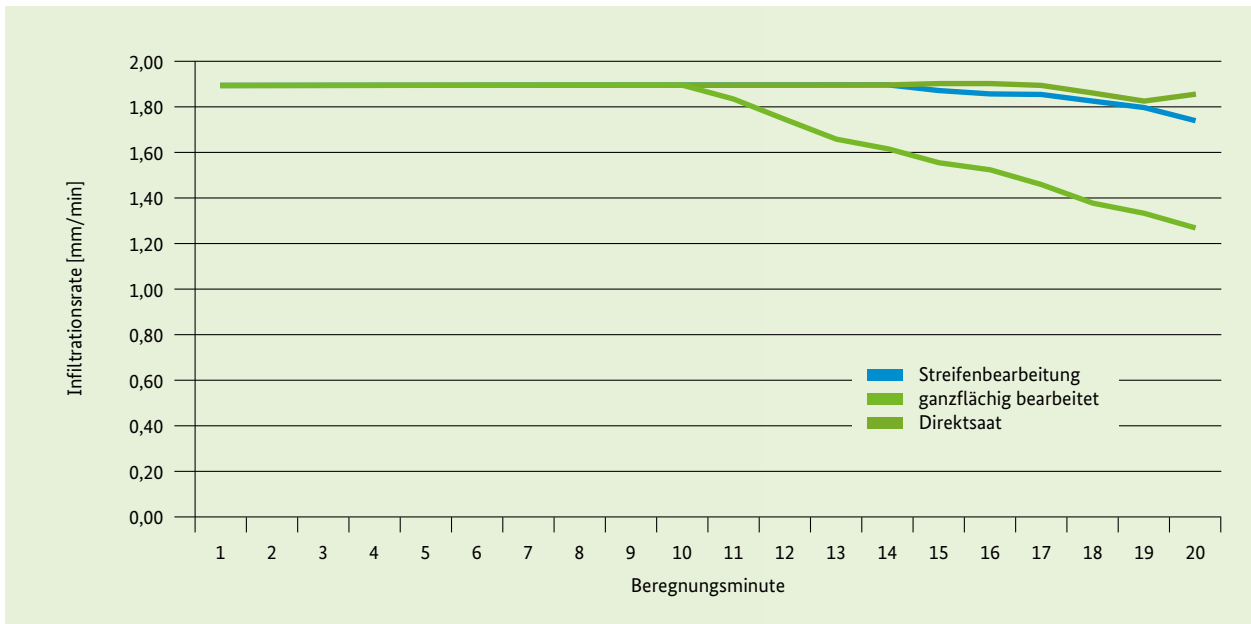


Abb. 4.47: Infiltration bei Beregnungssimulation (38 mm/20 min) nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Mulchsaatfläche (SCHMIDT, 2015)

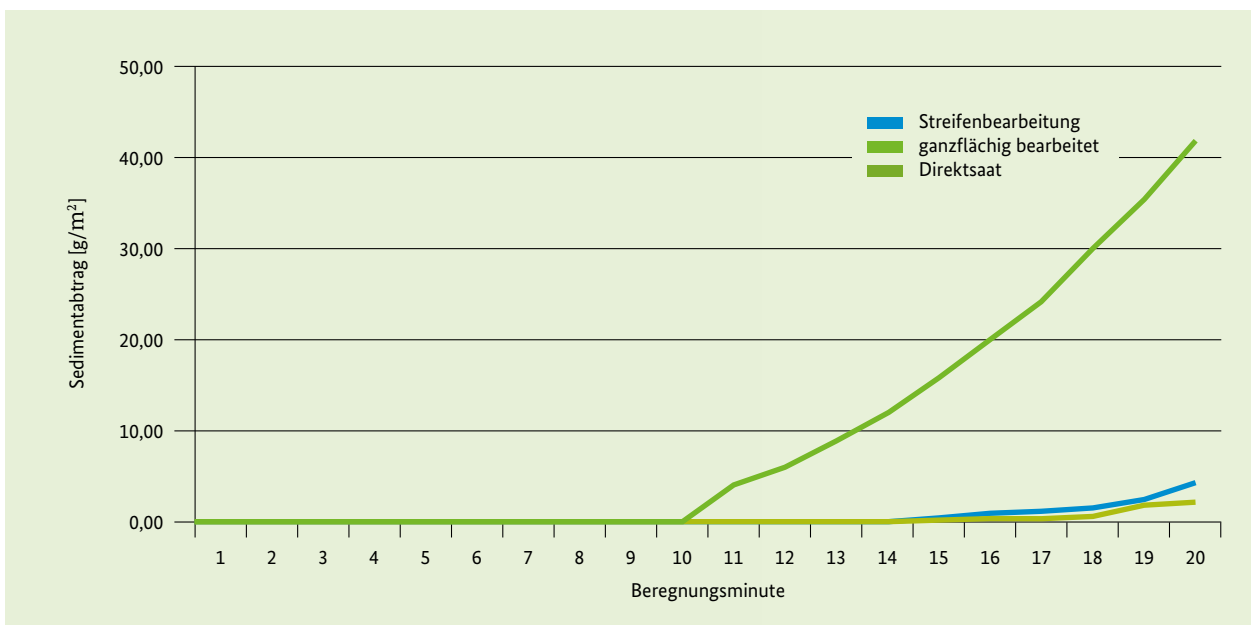


Abb. 4.48: Sedimentabtrag bei Beregnungssimulation (38 mm/20 min) nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Mulchsaatfläche (SCHMIDT, 2015)

versickerungshemmende Verschlammung von Ackerböden (s. Abb. 4.49, S. 106). Sie ist in erster Linie für die Wassererosion auf Ackerflächen verantwortlich.

Mulchsaat- und Direktsaatverfahren schützen die Böden vor Wassererosion durch Bodenbedeckung, günstige Lebensbedingungen für tiefgrabende Regenwürmer, höheren Humusgehalt und die Ausbildung stabiler Bodenaggregate (s. ab S. 99 und Tab. 4.4, S. 102). Eine zweite unverzichtbare Maßnahme für stabile Bodenaggregate und gegen Verschlammung ist die bedarfsgerechte Kalkung der Ackerböden (Abb. 4.50, S. 106).

Mit der Ernte der Kulturpflanzen und insbesondere durch Auswaschung verlieren landwirtschaftlich genutzte Böden Calcium, das durch Kalkdüngung wieder ersetzt werden

muss. Durch die Kalkung werden dem Boden zweifach positiv geladene Calcium- und je nach Kalkform auch Magnesium-Ionen zugeführt. Insbesondere die Calcium-Ionen bewirken die Tonflockung, d.h. die Verbindung zwischen Calcium-Ionen und negativ geladenen Tonteilchen. Die zweiwertigen Ionen festigen zudem als Brücken zwischen Ton- und Humusteilchen (Ton-Humuskomplexe, s. Abb. 4.51, S. 107) das Krümelgefüge. Die Vernetzung zwischen zweiwertigen Calcium-Ionen und Ton- sowie Humusteilchen nimmt mit steigender Calcium-Konzentration in der Bodenlösung zu. Die Porenwinkel werden bei fortschreitender Austrocknung des Bodens durch Kalk „vermörtelt“ und widerstehen durch Verhaken und Verfestigung dem Aggregatzerfall (HAYNES & NAIDU, 1989; BRONICK & LAL, 2005; MÜLLER, 2014).

Bedarfsgerechte Kalkung schafft also wesentliche Voraussetzungen, dass Böden ihr standortbedingtes Potenzial an Aggregatstabilität, Wasserspeicherfähigkeit, Infiltrationsvermögen und Luftführung ausschöpfen können. Davon profitieren auch die Bodenorganismen. Bedarfsgerechte Kalkung hat eine positive Wirkung auf das Bodenleben (STEVEN & SCHNUG, 2005), was wiederum die Bildung stabiler Bodenaggregate befördert (SIX ET AL., 2004). Langjährige Feldversuche mit Abstufung von Kalkgaben belegen die beschriebenen physikalischen Effekte insbesondere bei verschlammungsanfälligen Lössböden (SCHUHBAUER, 1981; BECHER, 2001; MÜLLER, 2014). Neben der physikalischen und biologischen Wirkung von Kalkdüngung ist auch auf die verbesserte Löslichkeit von Makro- und einigen



Abb. 4.49: Verschlämmung durch Bodenaggregatzerfall nach ergiebigen Regenfällen, hohe Erosionsanfälligkeit (Foto: LfULG)

Mikronährstoffen und die geringere Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen hinzuweisen (chemische Wirkung) (DLG-Merkblatt 353, 2009).

Bezüglich einer sachgerechten und standortangepassten Kalkung (Kalkform, Kalkmenge usw.) sei auf die entsprechenden Düngungsempfehlungen wie z. B. des VDLUFA e. V. verwiesen.

Schutz vor Bodenerosion in Fruchtfolgen mit fallweisem Pflugeinsatz

Die möglichst dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung stellt aufgrund ihrer flächenhaften Wirkung die zentrale Maßnahme eines wirksamen und umfassenden Erosionsschutzes auf Ackerflächen dar (SOMMER, 1999).

Allerdings ist die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung insbesondere in Futterbaubetrieben mit hohem Maisanteil in der Fruchtfolge aus phytosanitären Gründen, teils auch wegen des Maisanbaus in Lagen mit später Bodenerwärmung, nicht einfach umsetzbar.

Vorsorgemaßnahmen gegen Ährenfusariosen in Mais-Weizen-Fruchtfolgen ohne Pflugeinsatz werden am Kapitelende unter der Überschrift „Ährenfusariosen“ vorgestellt. Nicht jeder Betriebsleiter ist aber bereit, diesbezügliche Risiken einzugehen und nutzt weiterhin den Pflug für einen reinen Tisch nach Mais. In Regionen mit hohem Anteil an Mais in der Fruchtfolge und hohem Viehbesatz ist der Pflugeinsatz nach Mais deshalb nach wie vor übliche Praxis.



Abb. 4.50: Ausbringung von Kalkdünger (Foto: LfULG)

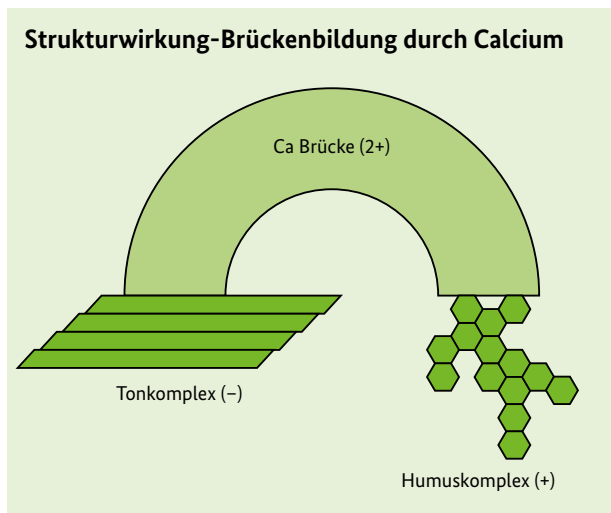


Abb. 4.51: Schema einer Kalk-Humus-Brücke
(Quelle: H. Molitor, persönliche Mitteilung)



Abb. 4.52 : Phaceliablüte mit Hummel (Foto: P. Meyer/BLE)

In erosionsgefährdeten Gebieten muss die Lücke in der Bodenbedeckung nach Getreide und vor Mais dann unbedingt mit einer Zwischenfrucht geschlossen werden, Gülle sollte im Frühjahr vor Mais mit einem Injektionsverfahren in den Boden eingebracht werden. Bei der Maisbestellung ist Mulchsaat ohne Saatbettbereitung der Vorzug zu geben. Unter diesen Voraussetzungen lässt sich ein hoher Mulch-Bedeckungsgrad nach der Maissaat erreichen,

Der Maisanbau ist so auch unter fallweiser Verwendung des Pfluges mit hinreichendem Schutz vor Bodenerosion möglich. Die Pflugfurche nach Mais mit anschließender Bestellung von Winterweizen bietet allerdings keinen guten Schutz vor Erosion im Winter.

Das System Maismulchsaat mit Pflugeinsatz nach Mais setzt einen Fruchtwechsel voraus mit Getreide vor Mais. Folgt Mais auf Mais, so kann die Einsaat von Grünroggen die Voraussetzungen für Mulchsaat schaffen. Auch im ökologischen Landbau wird überwiegend der Pflug zur Grundbodenbearbeitung eingesetzt. Eine meist geringere Pflugtiefe, Fruchtfolgen mit Klee grasuntersaaten und geringem Anteil an Reihenfrüchten senken das Erosionsrisiko. Kritische

Fruchtfolgeglieder sind jedoch Reihenfrüchte wie Kartoffeln und Feldgemüse. Forschung und Beratung befassen sich deshalb auch im ökologischen Landbau mit Bodenbearbeitungsverfahren ohne oder mit temporärem Pflugeinsatz (H. SCHMIDT, 2010).

Zwischenfruchtanbau

Zwischenfrüchte schützen die Bodenoberfläche einerseits als Pflanzenbestand und andererseits als Mulch (s. Abb. 4.53 u. 4.54, S. 108) bis zur nächsten Kultur vor der erodierenden Wirkung von Wasser und Wind. Sie tragen zu einer möglichst dauerhaften Bodenbedeckung in der Fruchtfolge bei. Dies gilt vor allem für lange Brachezeiten zwischen Winter- und Sommerfrüchten, in denen Zwischenfrüchte zudem für den Aufbau und den Erhalt einer die Wasserversickerung fördernden Bodenstruktur sorgen. Dies reduziert wirksam die Wassererosion. Hinweise zum Zwischenfruchtanbau finden sich in Übersicht 4.3. Untersuchungen zeigen, dass abfrierende Zwischenfrüchte bzw. Zwischenfruchtgemenge zu keiner Beeinträchtigung der Wasserversorgung der nachfolgenden Sommerkultur führen (SCHMIDT ET AL., 2012a).

Übersicht 4.3: Hinweise zum Zwischenfruchtanbau

- » Kosten- und arbeitszeitparende Kombination der Zwischenfruchtaussaats (Senf, Phacelia usw.) mit der Stoppelbearbeitung (z. B. Grubber mit aufgebauter Säeinrichtung) oder Mähdruschsaat der Zwischenfrüchte
- » Bei trockenen Bedingungen: Walzengang nach Aussaat zur Keimförderung
- » Verzicht auf wasserzehrende Bodenbearbeitungsgänge vor der Aussaat der Zwischenfrucht
- » Aussaat auch von Zwischenfruchtgemengen (Vorteile: höhere Biomasse und Wurzelserträge, Aufwuchsrisikominderung durch Gemengepartner, Erhöhung der Biodiversität, effektivere Unterdrückung von Unkraut und Ausfallgetreide; Nachteile: feinkörniges Saatgut erfordert ggf. eine intensivere Saatbettbereitung, höhere Saatgutkosten) (SCHMIDT & GLÄSER, 2012b)
- » Die Zusammenstellung der Zwischenfruchtgemenge muss in Abhängigkeit der Folgefrucht (z. B. Mais oder Zuckerrüben) erfolgen und sicherstellen, dass nach dem Abfrieren ausreichend Masse für die Mulchdecke verbleibt.



Abb. 4.53: Zwischenfruchtanbau als Beitrag zum Schutz vor Wassererosion (Foto: LfULG)



Abb. 4.54: Abgefrorene Senfzwischenfrucht als Beitrag zum Schutz vor Wassererosion (Foto: R. Brandhuber, LfL)



Abb. 4.55: Untersaat im Mais (Foto: F.-F. Gröblichhoff)

Untersaaten in Mais

Untersaaten (s. Abb. 4.55) bedecken den Boden und mindern dadurch die Wassererosion. Dies gilt vorrangig für in Reihen bestellten Mais. Allerdings wird die Untersaat aus Konkurrenzgründen meist erst im 4- bis 5-Blattstadium des Mais gesät. Damit ist er in seinen frühen Entwicklungsstadien, in denen er besonders erosionsanfällig ist, nicht wirksam vor Erosion geschützt. Weitaus effizienter ist die Maismulchsaat nach einer Zwischenfrucht.

Neue Verfahren kombinieren die Untersaat mit der Maissaat in einem Arbeitsgang (SPITZ, 2011). Untersaaten können für die Mulchsaat von Folgefrüchten genutzt werden (BUCHNER, 2000). Aber hier müssen erst noch entsprechende Erfahrungen durch die Landwirte gesammelt werden. Dies gilt z. B. für die Mulchsaat von Winter- oder Sommergetreide, Mais usw. in eine Mulchschicht aus Gras.

Nachstehend aufgeführte Gründe sind mitverantwortlich für den aktuell geringen Untersaatenanbau:

- » Abnehmende Bedeutung des Grasanbaus (z. B. nach Getreide oder Mais) zu Futterzwecken.
- » Kosten und Arbeitszeitaufwand für die Ausbringung der Grasuntersaat z. B. zu Mais (unterschiedliche Aussaattermine: Grasaussaat ab dem 4- bis 5-Blattstadium des Mais).
- » Erschwernis der mechanischen und chemischen Unkrautbekämpfung in Maisbeständen.
- » Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser zwischen Hauptfrucht und Untersaat.

Vermeiden hangabwärts gerichteter Fahrspuren

Hangabwärts gerichtete Fahrspuren sind oftmals die Auslöser von Bodenabtrag durch Wasser. Dies gilt für die Fahrgassen für Düngung und Pflanzenschutz, aber auch Fahrspuren, die z. B. bei der Bestellung entstehen (s. Abb. 4.56). Verdichtungen in Fahrspuren sollten daher möglichst vermieden werden, indem Ackerflächen möglichst in tragfähigem Zustand sowie mit bodenschonender Bereifung (s. Ausführungen im Kapitel 3, ab S. 24) befahren werden. Konservierende Bodenbearbeitung erhöht die Tragfähigkeit von Böden. Dies vermindert die Bildung von tiefen Fahrspuren.

Am wirksamsten lassen sich hangabwärts gerichtete Fahrspuren durch die Anlage der Hauptarbeitsrichtung quer zum Hang vermeiden. Allerdings verhindert z. B. ein stark kuppertes Gelände mit sich ständig ändernden Hangneigungen, wie wir es in vielen erosionsgefährdeten Gebieten vorfinden, dass durchgehend quer zum Hang gearbeitet werden kann. Auch fehlen häufig Feldwege an den neuen Vorgewenden.

Werden Kartoffeln quer zum Hang angebaut, kann es in hangabwärts gerichteten Hangrinnen bei Wasserabfluss zum Durchbrechen der querlaufenden Dämme kommen. Dies kann durch die temporäre Begrünung der Hangrinne bei

gleichzeitigem Verzicht auf den Kartoffelanbau in diesem Bereich der Ackerfläche verhindert werden. Den Abfluss zwischen den Dämmen zumindest zu bremsen gelingt mit dem Einsatz eines Querdammhäufers, der dort in kurzen Abständen kleine Querdämme und Vertiefungen schafft (BILLEN ET AL., 2011).

Auf stärker geneigten Ackerflächen sind bei einer Querbearbeitung zusätzlich die Bearbeitung bzw. die Bestellung und die Beerntung erschwert. Gleichzeitig steigt die Unfallgefahr an. Für Schläge, die in Gefällerrichtung bewirtschaftet werden müssen, bietet sich die sogenannte Stotterfahrgasse, d. h. die intervallweise Begrünung der Fahrgassen, an, um den Oberflächenabfluss zu bremsen (s. Abb. 4.57).

Fahrgassenbegrünung

Rillenerosion in Fahrgassen tritt regelmäßig auf und verursacht Bodenabtrag bis zu mehreren Tonnen pro Hektar und Jahr. Durch Intervallbegrünung (Abb. 4.57) lässt sich die Erosion in hangabwärts gerichteten Fahrgassen um bis zu 80 % vermindern. Intervallbegrünungen reduzieren den Bodenabtrag in den Fahrspuren je nach Hangneigung, Fahrspurverlauf, Fahrspurtiefe, Verdichtung und Feuchtezustand um 25 bis 80 %. Bei konventioneller Bearbeitung verringert sich der Bodenabtrag bei einer Intervallbegrünung mit 25 % Anteil um etwa 40 %.

Die Wirkung der Begrünung ergibt sich vor allem aus der Verbreiterung des Fließquerschnitts und der Verminderung der Ablaufgeschwindigkeit. Durch den verlangsamten Abfluss lagert sich in den begrünnten Intervallen Feinerde ab. Die Wirkung der Intervallbegrünung auf die Rillenerosion in Fahrgassen bei unterschiedlichen Hangneigungen und Bodenbearbeitungsverfahren zeigt Abb. 4.59 (siehe S. 110). Die Bodenbearbeitung beeinflusst auch das Ausmaß der Bodenabträge in den Fahrspuren. Bei konservierender Bearbeitung wirken die pflanzlichen Reststoffe auch in den Fahrspuren hemmend auf den Abfluss. Dadurch akkumuliert zusätzlich Feinerde vor kleineren Mulchansammlungen. Fahrspuren in konservierender Bearbeitung weisen schon unbegrünt etwa bis 80 % weniger Abtrag auf als Fahrspuren in konventioneller Bewirtschaftung. Konservierende Bearbeitung vermindert die Erosion also auch in den Fahrspuren und macht eine Begrünung bei geringeren Hangneigungen überflüssig.

Vollbegrünungen von Fahrgassen in Zuckerrüben

Die Fahrgassen in Zuckerrübenslägen werden im Allgemeinen durch das Abschalten einer Drillreihe pro Radspur bei der Aussaat angelegt. In diesen Fahrgassen bietet sich zum Erosionsschutz eine Vollbegrünung mit Wintergerste an. Wird die Wintergerste als Kurztagspflanze direkt nach der Rübensaat ausgesät, erzeugt sie sehr schnell eine dichte vegetative Masse. In den konventionell bearbeiteten Varianten verringerte sich der Abtrag bei ansonsten gleichen Ausgangsbedingungen in den Fahrspuren alleine durch die



Abb. 4.56: Hangabwärts gerichtete Fahrspuren – Auslöser von Wasserosion (Foto: R. Brandhuber, LfL)



Abb. 4.57: Fahrgasse mit Intervallbegrünung (MOSIMANN ET AL., 2007)



Abb. 4.58: Rinnenerosion in Fahrgassen (Winterweizen im Winter) (Foto: R. Brandhuber, LfL)



Abb. 4.59: Wirkung der Intervallbegrünung auf die Rillenerosion in Fahrgassen mit unterschiedlichen Hangneigungen und Bodenbearbeitungsverfahren (Kultur Winterweizen) (BUG & MOSIMANN, 2012)

Begrünung mit Wintergerste im Vergleich zur unbegrünten Spur um rund 73 % (bei etwa gleichen Abflussmengen (SANDERS, 2007)).

Ergänzende Maßnahmen gegen Wassererosion

Die acker- und pflanzenbaulichen Erosionsschutzmaßnahmen können durch nachstehende Maßnahmen ergänzt werden:

- » Schlagunterteilung bzw. Hanggliederung durch Fruchtartenwechsel.
- » Dauerbegrünung von Hangdellen bzw. -rinnen und von gefährdeten Acker(teil)flächen durch Anlage von Grünland, Anbau schnellwachsender Hölzer (Kurzumtriebsplantagen usw.).
- » Anlage (und Erhalt!) querlaufender Grünstreifen bzw. Ranken, Flurgehölzstreifen oder Wege mit Wegseitengräben.

Schlagunterteilung bzw. Hanggliederung durch Fruchtartenwechsel

Unter Schlagunterteilung versteht man die Gliederung eines Ackerschlaes in Teilbereiche quer zum Hang, die abwechselnd mit Winter- bzw. Sommerkulturen bestellt werden (s. Abb. 4.60). Der Anbau unterschiedlicher Fruchtarten (evtl. ergänzt durch querlaufende Grün-/Stilllegungsstreifen)

verhindert, dass sich der gesamte Hang in einem einheitlichen, möglicherweise abflussbegünstigenden Bodenzustand befindet (z. B. Saatbettzustand der Ackerfläche mit fehlender oder nur geringer Bedeckung).

Wichtig ist, dass ein wirksamer wasserrückhaltender, und damit erosionsmindernder Effekt der Schlagunterteilung nur in Kombination mit der möglichst dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/Direktsaat zu allen im Verlauf einer geneigten Ackerfläche angebauten Fruchtarten erreicht werden kann. Bei einer durch Pflugeinsatz verschlammten Ackeroberfläche ist der erosionsmindernde Effekt der Schlagunterteilung nur gering.

Grünstreifen und begrünzte Abflusswege

In reliefbedingten schlaginternen Tiefenlinien (Hangrinnen) fließt Oberflächenwasser zusammen, das bei entsprechenden Niederschlägen eine hohe Erosivität und Transportkapazität erreichen kann. Ohne schützende Bodenbedeckung und bei mangelndem Zusammenhalt der Bodenaggregate können dann ausgeprägte lineare Erosionsformen mit starker Tiefenerosion bis hin zum Grabenreißen entstehen (VOSS ET AL., 2010).

Die dauerhafte Begrünung (Abb. 4.61) schützt die Bodenoberfläche in der Hangrinne gegen die erosive Kraft des abfließenden Wassers, die erhöhte Rauigkeit verringert die Fließgeschwindigkeit, sodass sich erodiertes Bodenmaterial absetzen kann. Die Hangrinnenbegrünung schützt jedoch

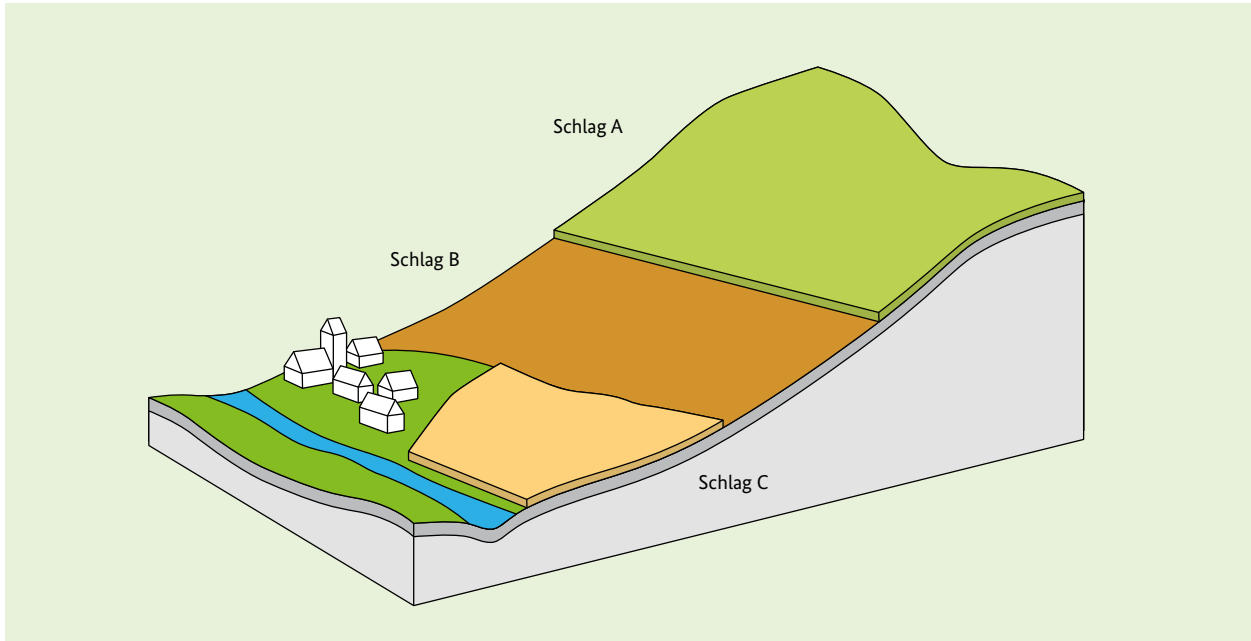


Abb. 4.60: Schlagunterteilung an einem erosionsgefährdeten Hang (VOSS ET AL., 2010)

nicht die umliegende Ackerfläche vor Wasserosion. Deshalb muss auch die Hangrinnenbegrünung unbedingt mit der möglichst dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung/ Direktsaat auf den umgebenden Ackerflächen kombiniert werden.

Eine optimale Erosionsschutzwirkung ist durch die Umwandlung stark gefährdeter Ackerflächen in Dauergrünland zu erzielen. Eine mit Dauergrünland vergleichbare Erosionsschutzwirkung ist mit der Direktsaat, ggf. in Kombination mit Streifenbearbeitung, zu erzielen (Abb. 4.48, S. 105).

Auf den zum Schutz vor Erosion angelegten Dauergrünlandflächen können Photovoltaik-Freiflächenanlagen angelegt werden. Damit wäre mit der Dauerbegrünung eine Einnahmemöglichkeit durch die Stromerzeugung verbunden (S. 112).

Im Unterhang bzw. am Gewässerrand (s. Abb. 4.62, S. 112) angelegte Grün-, Brache- und Flurgehölzstreifen ermöglichen die Sedimentation mitgeführter Bodenteilchen. Die Wirksamkeit der Streifen hängt von der Oberflächenabflussgeschwindigkeit, der Rauigkeit des Grünstreifens und dessen Breite ab. Zur Minderung des Sedimenteintrages müssen



Abb. 4.61: Begrünte Hangrinne (Foto: LfULG)



Abb. 4.62: Stilllegungsstreifen (Foto: LfULG)



Abb. 4.63: Den Bach begleitendes Grünland dient dem Sedimentrückhalt (Foto: W. Bauer, Agroluftbild)



Abb. 4.64: Abflussbremsende Wirkung von Grünstreifen bzw. Ranken – i. d. R. begrenzt auf Abfluss in kleineren Abflussrinnen (Foto: W. Bauer, Agroluftbild)

Grünstreifen ausreichend dimensioniert sein (Abb. 4.63). Der Bodenabtrag auf der oberliegenden Ackerfläche bleibt aber unbeeinflusst. Kommt es zum konzentrierten Wasserabfluss in Hangrinnen, kann es zum punktuellen Überströmen von Grünstreifen kommen. Die Folge davon ist ein Sedimenteintrag in Gewässer.

Hanguntergliederung im Rahmen der Flurneueordnung

Die Unterteilung von geneigten Ackerschlägen mit großen Hanglängen durch Gebüschstreifen verzögert den Wasserabfluss, die Anlage querlaufender Wege mit Gräben sorgt für eine schadlose Wasserableitung. Derartige Maßnahmen sind in der Regel Flurneueordnungsmaßnahmen vorbehalten; sie ermöglichen dann auch eine Querbewirtschaftung von Ackerflächen.

Hang- bzw. schlagunterteilende Gehölzstreifen und Hangrinnenbegrünung bremsen den Oberflächenabfluss als Auslöser von Rinnen- und Grabenerosion. Das Infiltrationsvermögen auf der Ackerfläche wird aber nicht beeinflusst. Daher müssen erosionsmindernde Flurneueordnungsmaßnahmen Hand in Hand gehen mit acker- und pflanzenbaulichen Schutzmaßnahmen (z. B. konservierende Bodenbearbeitung, Mulchsaat, Zwischenfruchtanbau), die durch eine flächenhaft erhöhte Wasserinfiltration den erodierenden Oberflächenabfluss entweder verhindern oder aber auf ein geringes Ausmaß begrenzen.

In dieser Kombination tragen Hanggliederungselemente mit dazu bei, dass das auf konservierend bestellten Flächen bei Starkregenereignissen trotz hoher Infiltrationsrate noch abfließende Wasser aufgehalten und schadlos abgeleitet werden kann. Der erosionsauslösende Übertritt von Wasser auf darunter liegende Ackerflächen wird meistens verhindert. Grünstreifen, Ranken usw. können kleinere Abflussrinnen stoppen, größere aber nicht (s. Abb. 4.64) – ein Beleg für den notwendigen Flächenschutz.

Für die Flurneueordnungsplanung bzw. für die Klärung der Frage, inwieweit in Ergänzung zur konservierenden Bodenbearbeitung eine Hang- bzw. Schlaggliederung und/oder die Begrünung von Hangrinnen einen zusätzlichen Erosionsschutz im Sinne der Umsetzung der EU-WRRL bewirken, stehen entsprechende Modelle (Modell EROSION 2D/3D (SCHMIDT ET AL., 1996), GIS-Anwendungen der ABAG u. a.) für wassererosionsgefährdete Gebiete und Algorithmen für winderosionsgefährdete Gebiete (s. S. 79) zur Verfügung. Methodische Grenzen jeder Anwendung müssen dabei berücksichtigt werden.

Flurneueordnungsverfahren erfordern umfangreiche Abstimmungen zwischen Landbesitzern, Flächennutzern bzw. Landpächtern. Sie sorgen damit i. d. R. erst längerfristig für einen entsprechenden Schutz vor Wassererosion.

Literatur

(einschließlich Literatur zu „Strategien für eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung“ im Anhang)

- ALSEN, K., DÖLGER, D. (2003): Schnecken – zweigleisig bekämpfen. DLG-Mitteilungen, 6/2003, S. 42–45.
- BARTELS, G. (1999): Höhere Kosten bei Stoppelweizen. Landwirtschaft ohne Pflug, 2/1999, S. 13–14.
- BÄUMLER, W. (2000): Beutegreifer dezimieren Feldmäuse. Landwirtschaft ohne Pflug, 5/2000., S. 5–8.
- BECHER, H. (2001): Influence of long-term liming on aggregate stability of a loess derived soil. Int. Agrophysics 15, S. 67–72.
- BILLEN, N., ARMAN, B., HÄRING, G. (2005): Der heimliche Verlust der Bodenfruchtbarkeit durch Wassererosion – Pflanzenbaulich-standortkundliche und betriebswirtschaftliche Bewertung von Bodenerosion mit Maßnahmen zu deren Vermeidung für Landwirte und Berater, Landesanstalt für Pflanzenbau Baden- Württemberg LAP (Hrsg.), Arbeitshilfe für die umweltverträgliche Landbewirtschaftung, Nr. 1.
- BILLEN, N., AURBACHER, J., RIMLY, T. (2011): Kartoffelbau 3/2011 (62. Jg.), S. 34–37.
- BISCHOFF, J. (2011): Neues zu Strip-Till. Neue Landwirtschaft, 7/2011, S. 40–41.
- BISCHOFF, J. (2012a): Weite Reihe – tiefe Wurzeln? Landwirtschaft ohne Pflug, 03/2012, S. 29–35.
- BISCHOFF, J. (2012b): Strip-Till-Verfahren bei Mais – Erosionsschutz verbessern und Stickstoffeffizienz steigern. Mais, 4/2012 (39. Jg.), S. 162–165.
- BLUME, H.-P., HORN, G.-R., THIELEBRUHN, S. (2010): Handbuch des Bodenschutzes. Wiley VCH Verlag GmbH.
- BMELV (2001): Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Broschüre, 24 Seiten, Hrsg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn.
- BORK, H.-R. (1991): Bodenerosionsmodelle – Forschungsstand und Forschungsbedarf. – Berichte über Landwirtschaft. NF. Sonderheft. 205: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Bd. 3. Bodenerosion. Paul Parey Verlag. Hamburg.
- BRANDHUBER R., AUERSWALD, K., LANG, R., MÜLLER, A., RIPPEL, R. (2012): ABAG interaktiv, Version 1.0. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- BRONICK, C., LAL, R. (2005): Soil structure and management: a review. Geoderma 124, S. 3–22
- BRUNOTTE, J., WINNIGE, B., FRIELINGHAUS, M. & SOMMER, C. (1999a): Der Bodenbedeckungsgrad – Schlüssel für Gute fachliche Praxis im Hinblick auf das Problem Bodenabtrag in der pflanzlichen Produktion. Bodenschutz, 2/1999, S. 57–61.
- BRUNOTTE, J., SCHÄFER, B., WOLLENWEBER, D. (1999b): Mulchsaat: Balsam für Böden und Rüben. Top agrar/1999, S. 54–59.
- BUCHNER, W. (2000): Erosion dauerhaft abwehren. Mais, 4/2000 (28. Jg.), S. 144–148.
- BUG, J., MOSIMANN, T. (2012): Modellierung der linearen Bodenerosion. In: Geosynthesis 15, Hannover, 94 S.
- DEBRUCK, J. (1999): Goldene Regeln beim Umgang mit Stroh. Landwirtschaft ohne Pflug, 3/1999, S. 15–16.
- DEMMELE, M., KIRCHMEIER, H., BRANDHUBER, R. (2012): Strip Tillage ermöglicht neue Strategien. Landwirtschaft ohne Pflug, H. 12/2012, S. 12–18.
- DEMMELE, M., HAHNENKAMM, O., KORMANN, G., PETERREINS, M. (2000): Gleichstandsart bei Silomais. Landtechnik 3/2000 (55. Jg.), S. 201–211.
- DEUMLICH, D., FUNK, R. (2012): Schutzgut Boden im Maisanbau – Möglichkeiten und Grenzen der Guten fachlichen Praxis. Mais, 4/2012 (39. Jg.), S. 156–161.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V. (2017): DIN 19708 Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. EL-TITI, A. (2009): Schnecken – ein (un)beherrschbares Problem? Top agrar, 7/2009, S. 44–48.
- DLG-MERKBLATT (2009): Hinweise zur Kalkdüngung, 73 Seiten, Hrsg.: DLG e. V., Eschborner Landstr. 122, 60489 Frankfurt am Main, Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft, DLGAusschuss für Pflanzenernährung, DLG-Prüfungskommission Düngekalk und Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLFG), Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg; 4., ergänzte und überarbeitete Auflage, 2009 (Stand 11/2009).
- FRICKE, K. (2011): Schneckenbekämpfung im Ackerbau – mechanisch und chemisch. ACKERplus, 7/2011, S. 49–56.
- FRIELINGHAUS, M., BORK, H.-R. (1999): Schutz des Bodens. In: Buchwald, K., Engelhardt, W. (Hrsg.) Bonn. Economica Verlag. ISBN 3-87081-512-4. 169 S.

- FRIELINGHAUS, M., WINNIGE, B. (2000): Maßstäbe bodenschonender landwirtschaftlicher Bodennutzung. Erarbeitung eines Bewertungs- und Entscheidungssystems zur Indikation der Wassererosion. UBA-Texte. 43-00, ISSN 0722-186X.
- GARBE, V., RODEMANN, B., BARTELS, G. (2000): Erfolgreich gegen Fusarien. Mais, 4/2000 (28. Jg.), S. 160-163.
- HAYNES, R., NAIDU, R. (1998): Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, S. 123-127
- KREYE, H., GARBE, V., BARTELS, G., BRUNOTTE, J., HOPPE, H.-H. (1999a): Risikofaktor Stoppelweizen. *DLG-Mitteilungen*, 114(3), S. 48-52.
- KREYE, H., GARBE, V., BARTELS, G., BRUNOTTE, J., HOPPE, H.-H. (1999b): Pflanzenschutz im Weizen bei konservierender Bodenbearbeitung. *Getreide Magazin*, 4/1999, S. 180-183.
- KRÜCK, S., NITZSCHE, O., W. SCHMIDT, W. (2001): Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. *Landwirtschaft ohne Pflug*, 1/2001, S. 18-21.
- KTBL (Hrsg.) (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz – Schlussfolgerungen für Gute fachliche Praxis. *Arbeitspapier* 266, Darmsadt, 130 S.
- KTBL (Hrsg.) (2021): Streifenbearbeitung – Eine Bestandsaufnahme aus Forschung und Beratung. *Schrift* 521, Darmstadt, 116 S.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Prognose von Bodenerosion. *Workshop*. Karlsruhe, 141 S. LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2012): Bodenerosion. Wie stark ist die Bodenerosion auf meinen Feldern? LfL –Informationen, 9 S.
- MOLLENHAUER, K., FELDWISCH, N., SCHOLTEN, T., SCHOLZ, K. (2006): Bodenerosion durch Wasser – Bewertungsmethodik und Instrumente der deutschen Bundesländer. *BVB-Materialien* 14, Berlin, 151 S.
- MONTGOMERY, D. R. (2010): Dreck – warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert. *Oekom-Verlag München*, ISBN 978-3-86581-197-4; 347 S.
- MOSIMANN, T., BUG, J., B. STEINHOFF, B. (2012): Zwölf Jahre Bodenerosionsmonitoring in Niedersachsen: Wie hoch ist der Bodenabtrag und was trägt Dauerbeobachtung zur Modellierung der Bodenerosion und des Stofftransports in die Gewässer bei? *Tagungsband: 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen*. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. *GeoBeichte* 23, S. 95-110.
- MOSIMANN, T., CROLE-REES, A., MAILLARD, A., NEYROUD, J.-A., THÖNI, A., ROHR, W. (1991): Bodenerosion im Schweizerischen Mittelland. *Ausmaß und Gegenmaßnahmen*. Nationales Forschungsprogramm „Nutzung des Bodens in der Schweiz“, Bd. 51, Liebefeld-Bern, 262 S.
- MOSIMANN, T., SANDERS, S. (2003): Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater in Niedersachsen. *Ackerbaugebiete im südlichen Niedersachsen*. Hannover, 29 S. Mosimann, T., S. Sanders & J. Brunotte (2007): Erosionsminderung in Fahrgassen – Wirkung der Intervallbegrünung in Weizen und Zuckerrüben bei verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren, *Pflanzenbauwissenschaften* 11(2): 57-66.
- MÜLLER, R. (2014): Fachgerechte Kalkdüngung zu Mais. *Mais* 1/2014 (41. Jg.), S. 26-28.
- NITZSCHE, O., SCHMIDT, W., RICHTER, W. (2000): Minderung des P-Abtrags von Ackerflächen durch konservierende Bodenbearbeitung. *Mittlg. Bodenkundl. Gesellsch.* 92, S. 178-181.
- NITZSCHE, O., KRÜCK, S., ZIMMERLING, B., SCHMIDT, W. (2002): Boden- und gewässerschonende Landwirtschaft in Flusseinzugsgebieten. *Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft*, Heft 11 – 7. Jahrgang, S. 1-22.
- NOLTE, CH., WERNER, W. (1991): Stickstoff- und Phosphateintrag über diffuse Quellen in Fließgewässer des Elbeinzugsgebietes im Bereich der ehemaligen DDR. *Agrarspectrum*. Bd. 19. Frankfurt/M.
- RICHTER, G. (HRSG.) (1998): *Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems*. Darmstadt: Wiss. Buchges., 199, ISBN 3-534-1257-6, 264 S.
- ROTH, C. H., BRUNOTTE, J., SOMMER, C. (1992): Die Bedeutung von Verschlammungen und Verdichtungen auf Lößböden. *Zuckerrübe* 39 (1), S. 50-57.
- SANDER, G. (2009): Schlitzsaat lässt Rüben tiefer wurzeln. *Top agrar*, 3/2009, S. 90-93.
- SANDERS, S. (2007): Erosionsmindernde Wirkung von Intervallbegrünungen in Fahrgassen. *Untersuchungen im Weizen- und Zuckerrübenanbau mit Folgerungen für die Anbaupraxis*. *Geosynthesis* 13, Hannover, 139 S.
- SCHMIDT, A., MÜLLER, E., BÖTTCHER, F., SCHMIDT, M. (2012a): Welche Art für welchen Zweck? *Panorama Zwischenfrüchte*. In: *DLG-Mitteilungen* 08/2012, S. 70-73.
- SCHMIDT, A., GLÄSER, H. (2012b): Gemengeanbau mit vielen Vorteilen. *Landwirtschaft ohne Pflug*, 6/2012, S. 18-26.
- SCHMIDT, D. (1999): Trespen in der Fruchtfolge bekämpfen. *Landwirtschaft ohne Pflug*, 2/1999, S. 10-12.
- SCHMIDT, H. (2010): *Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen – Praxisbeispiele & Forschungsergebnisse*. *Wissenschaftliche Schriftenreihe Ökologischer Landbau*, Bd. 6, Verlag Dr. Köster, Berlin.

- SCHMIDT, J., VON WERNER, M., MI-
CHAEL, A., SCHMIDT, W. (1996): ERO-
SION 2D/3D – Ein Computermodell zur
Simulation der Bodenerosion durch
Wasser. Hrsg.: Sächsische Landes-
anstalt für Landwirtschaft, Dresden-
Pillnitz und Sächsisches Landesamt
für Umwelt und Geologie, Freiberg/
Sachsen.
- SCHMIDT, W. (2012): Drum prüfe wie
der Mais sich bette. Bodenbearbeitung
zur Maisausaat. Acker plus, 01/2012,
S. 54–57.
- SCHMIDT, W. (2015): Nachhaltiger
Schutz vor Bodenerosion durch acker-
bauliche Maßnahmen. In: Tagungs-
band „Jahr des Bodens“ – Schwere
Maschinen, enge Fruchtfolgen, Gärres-
te – eine Gefahr für die Bodenfrucht-
barkeit? – Fachtagung - 13. Kultur-
landschaftstag – 18. und 19.06.2015,
Würzburg, S. 40 – 53. Hrsg.: Bundesmi-
nisterium für Ernährung und Land-
wirtschaft (BMEL) und Bayerische Lan-
desanstalt für Landwirtschaft (LfL)
link: [https://www.lfl.bayern.de/iab/
boden/103775/index.php](https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/103775/index.php)
- SCHUHBAUER, G. (1981): Die Ände-
rung von Eigenschaften verschiedener
Böden Bayerns durch Meliorationskal-
kung. Dissertation Rheinische Fried-
rich-Wilhelms-Universität Bonn, Insti-
tut für Bodenkunde, 369 S.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W.,
KAINZ, M. (1990): Bodenerosion durch
Wasser: Vorhersage des Abtrags und
Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2.
Aufl. Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- SIX, J., BOSSUYT, H., DEGRYZE, S.,
DENEK, K. (2004): A history of research
on the link between (micro) aggrega-
tes, soil biota, and soil organic matter
dynamics. Soil & Tillage Research 79,
S. 7–31.
- SOMMER, C. (1999): Konservieren-
de Bodenbearbeitung – ein Konzept
zur Lösung agrarrelevanter Boden-
schutzprobleme. Bodenschutz 1/1999,
S. 15–19.
- SPITZ, H. (2011): Untersaaten in Mais-
fruchtfolgen – Ausbringung in einem
Arbeitsgang mit der Maisausaat. mais
1/2011 (38. Jg.), S. 29.
- STEMANN, G. (2012): Strohmanage-
ment in Mulch- und Direktsaatsyste-
men. Standardrezepturen neu über-
denken. Landwirtschaft ohne Pflug,
7/2012, S. 28–33.
- STÖVEN, K., SCHNUG, E. (2005): Kal-
kung und Bodenleben. Landbaufor-
schung Völkenrode, Special Issue 286,
S. 113–119.
- VDLUFA STANDPUNKT (2000): Be-
stimmung des Kalkbedarfs von Acker-
und Grünlandböden, 8 Seiten, Hrsg.:
Verband Deutscher Landwirtschaftli-
cher Untersuchungs- und Forschungs-
anstalten (VDLUFA e. V.), LUFA Speyer,
Obere Langgasse 40, 67346 Speyer.
- VOSS, J., SCHWAN, A., HEYNE, W.,
MÜLLER, N. (2010): Entwicklung von
Umsetzungsstrategien und -planun-
gen für eine natur- und bodenschutz-
gerechte dauerhafte Begrünung von
besonders erosionswirksamen Abfluss-
bahnen. Schriftenreihe des LfULG,
13/2010.
- VOSSHENRICH, H.-H. (1995): Vergleich
zwischen Pflug-Kreiselleggen- Drillsaat
und Frässohlensaat. Forschungsbericht
Agrartechnik des AK Forschung und
Lehre, Max-Eyth-Gesellsch. Agrartechni-
k im VDL, Band 280, Universität Kiel.
- WERNER, W., WODSAK, H.-P. (1994):
Regional differenzierter Stickstoff-
und Phosphoreintrag in Fließgewässer
Deutschlands unter besonderer Be-
rücksichtigung des Lockergesteinsbe-
reichs der ehemaligen DDR. Agrarspec-
trum. Bd. 22, Frankfurt/M.
- WURBS, D., STEININGER, M. (2011):
Wirkungen der Klimaänderungen auf
die Böden – Untersuchungen zu Aus-
wirkungen des Klimawandels auf die
Bodenerosion durch Wasser. Hrsg.
Umweltbundesamt; UBA-Texte Nr.
16/2011;
- UBA-FBNr: 001463FKZ / ProjektNr:
3708 71 2052011



Foto: Thünen-Institut/C. Waitkus

Anhang

- » Strategien für eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung
- » Internet-Adressen
- » Anschriften der Mitglieder der Autoren-/Expertengruppe

Strategien für eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung

(1) Strohverteilung und Stoppelbearbeitung

Bei konservierender Bodenbearbeitung verbleiben Ernterückstände in z. T. großen Mengen auf der Ackeroberfläche. Mulch- und Direktsätechnik arbeiten jedoch nur störungsfrei, wenn eine gute Strohverteilung beim Drusch der Getreidevorfrucht sichergestellt und anschließend eine zielgerichtete Stoppelbearbeitung vorgenommen wird. Ansonsten können langes und feuchtes Stroh, dicke Strohaufgaben bzw. ungleichmäßig verteiltes oder eingearbeitetes Stroh bei Zinkenschar-Sämaschinen zur Haufenbildung und Verstopfung führen.

Auch Scheibenschar-Sämaschinen können derartige Strohaufgaben nicht durchtrennen. Das Stroh wird hier in den Säschlitz eingedrückt und kann die Keimung hemmen. Gleichzeitig bewirken dicke Stroh- und Mulchaufgaben über dem Saathorizont, dass Keimpflanzen (z. B. Rapspflanzen) lange Hypokotyle ausbilden müssen, um an die Bodenoberfläche zu kommen. Das kann die Pflanzen schwächen, sodass sie anfällig gegenüber Frost und Krankheiten werden, ungleichmäßige Feldaufgänge sind die Folge.

Strohverteilung und Stoppelbearbeitung sind also bei konservierender Bodenbearbeitung von entscheidender Bedeutung (DEBRUCK, 1999). Je kürzer das Stroh (2 bis 3 cm), je weiter das Stroh vom Samen entfernt und je länger der Zeitraum zwischen Ernte und Saat ist, umso geringer ist die Gefahr einer Keimhemmung (VOSSHENRICH, 1995).

Für eine gute Strohverteilung muss die Häckselqualität und -verteilung beim Mähdrusch optimiert werden. Hierzu zählen eine optimierte Einstellung der Streuverteilerichtung, scharfe Häckselmesser usw. am Mähdescher. Bei großen Schnittbreiten sollte der Stoppelhochschnitt und ein zusätzlicher Arbeitsgang mit dem Strohhäcksler bzw. einem Mulcher erwogen werden. Voraussetzung hierfür ist eine gute Arbeitsqualität des Mulchers. Sie ermöglicht bei guter Bodenaktivität die Bearbeitungsintensität deutlich zu reduzieren (STEMANN, 2012).

Durch eine Stoppelbearbeitung werden Ausfall- und Unkraut-/Ungrassamen zur Keimung angeregt. Diese können vor der Aussaat der Folgefrucht chemisch oder mechanisch beseitigt werden, was ggf. den Verzicht auf selektive Herbizide in der nachgebauten Fruchtart ermöglicht.

Schwierig gestaltet sich die Rapsmulchsaat auf strohreichten Flächen. Durch die flache Aussaat behindern hohe Strohannteile im Keimbett bzw. dichtere Strohaufgaben leicht die Wasserversorgung der Rapsamen (VOSSHENRICH, 1995). Aus diesem Grund kann vor der Rapsmulchsaat ein tieferer,

stroheinmischer Grubberstrich empfehlenswert sein. Damit steigt allerdings das Erosionsrisiko, da Mulchmaterial eingearbeitet wird und nicht auf der Oberfläche verbleibt. Dies lässt sich mit Streifenbearbeitung verhindern, der Boden wird nur im Bereich der Rapsreihen bearbeitet. Der Rest der Ackerfläche bleibt unbearbeitet (Abb. 4.46, S. 104).

(2) Mulch- und Direktsätechnik

Konservierende Bodenbearbeitung ist ohne entsprechende Mulch- bzw. Direktsätechnik nicht erfolgreich praktikierbar. Daher muss in neue Technik investiert werden. Dies bedeutet u. U. eine erhebliche finanzielle Belastung für den Einzelbetrieb und schränkt die Anwendung erosionsmindernder Bestellverfahren ein. Eine Lösung bietet hier die Mulchsaat durch einen Lohnunternehmer oder die gemeinsame Nutzung von Sätechnik über einen Maschinenring.

Die heute von verschiedenen Herstellern angebotene Mulch- und Direktsätechnik weist einen hohen Entwicklungsstand auf, im Einzelnen sind jedoch noch technische Verbesserungen notwendig für die störungsfreie Mulch- und Direktsaat bei stärkeren Mulchaufgaben aus Stroh- oder Zwischenfruchtresten.

Zur Sicherstellung eines guten Feldaufgangs, etwa bei Zuckerrüben, ist daher gegenwärtig i. d. R. immer noch eine Saatbettbereitung vor der Mulchsaat empfehlenswert. Hier muss der Landwirt zwischen der Schaffung günstiger Aussaat- und Keimbedingungen einerseits und dem Schutz von Ackerflächen vor Erosion andererseits abwägen. Die Streifenbearbeitung bietet jedoch auch hier die Möglichkeit, die Bodenbearbeitung zur Zuckerrübe auf das Nötigste zu beschränken. Dadurch wird die Wassererosion auf Rübenflächen stark gemindert oder sogar ganz verhindert (Abb. 4.48, S. 105). Gleichzeitig bietet die Streifenbearbeitung die Möglichkeit einer tieferen Bodenlockerung im Wachstumsbereich der Rübenpflanze als Grundlage für ein gutes Wachstum der Rübe.

(3) Durchwuchs sowie Problemunkräuter und -ungräser

Folgt Wintergerste pfluglos nach Winterweizen, wird Durchwuchsweizen oft zum Problem. Damit ist oftmals die Ernte erschwert. Außerdem ist bei ungleicher Abreife von Gerste und Weizen nur eine betriebsinterne Verwertung der Wintergerste als Futter möglich. Daher sollten vorbeugend nachfolgende Maßnahmen sowohl gegen Durchwuchs als auch

gegen Problemunkräuter und -gräser auf pfluglos bestellten Flächen praktiziert werden:

- » Keimförderung von Ausfallgetreide durch eine flachmischende Stoppelbearbeitung sofort nach der Getreideernte (z. B. mit Schwerstriegel, Scheiben-/Spatenrollegge, Flachgrubber; bei trockenen Bodenbedingungen grundsätzlich mit einem keimfördernden Walzengang).
- » Durchwuchsmindernde Fruchtfolgegestaltung z. B. durch den Nachbau von Triticale bzw. von Sommergetreide nach Winterweizen. Dies schafft Zeit für eine zielgerichtete Stoppelbearbeitung und die Beseitigung von Ausfallweizen. Ein Wechsel zwischen Winter- und Sommergetreide erlaubt sowohl im Herbst als auch im Frühjahr eine wirksame Bekämpfung von Ausfallgetreide, Unkräutern und Ungräsern. Noch effektiver ist der zusätzliche Wechsel von Blatt- und Halmfrüchten hinsichtlich der Bekämpfung von Ungräsern wie Quecke, Tresse usw. (KREYE ET AL., 1999b; SCHMIDT, 1999). Gleichzeitig werden dadurch auch Ausfallgetreide in der Blattfrucht bzw. Unkräuter, wie z. B. Disteln, in der Halmfrucht beherrschbar. Deshalb sollten derartige Fruchtfolgen, soweit es die Markt- bzw. Betriebssituation zulässt, bei konservierenden Bestellverfahren vorzugsweise praktiziert werden.
- » Anbau von Weizen nach Weizen: Bei Stoppelweizen erhöht sich jedoch, insbesondere bei konservierender Bodenbearbeitung, die Infektionsgefahr durch *Drechslera tritici repentis* (DTR), dessen Erreger auf Strohresten überdauern. Eine vorbeugende Maßnahme ist der Nachbau wenig DTR-anfälliger Weizensorten (BARTELS, 1999; KREYE ET AL., 1999a; KREYE ET AL., 1999b).

(4) Maßnahmen gegen Trespen

Bei pflugloser Bestellung können, insbesondere in getreidereichen Fruchtfolgen, Trespen zum Problem werden. Hier sind vorbeugend vorrangig nachfolgend aufgeführte acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zu ergreifen (Kreye et al., 1999b; Schmidt, 1999):

- » Intensive Feldkontrolle,
- » konsequentes Säubern des Mähdeschers vor dem Umsetzen auf andere Ackerschläge zur Verhinderung weiterer Verbreitung der Tresse,
- » Wechsel zwischen Blatt- und Halmfrucht, da in der Blattfrucht eine Trespenbekämpfung mit Gräserherbiziden problemlos möglich ist,
- » Feldrandkontrolle und Feldrandhygiene z. B. durch das Mulchen von Feldrändern bzw. von Ackerrändern beim Auftreten von Trespen als Schutzmaßnahme gegen das Eindringen von Trespen auf die Ackerflächen,

- » Bekämpfung bzw. Niederhaltung von Trespennestern (z. B. mit einem nichtselektiven Herbizid oder hierfür zugelassenen Gräserherbiziden) in Getreide bereits vor der Samenbildung. Derartige Bereiche sollten zusätzlich beim Drusch ausgespart werden.

(5) Maßnahmen gegen Ährenfusariosen

Ährenfusariosen (z. B. *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*) führen bei Weizen und Triticale zu Mindererträgen und ggf. zur Mykotoxinbelastung des Erntegutes, insbesondere nach Vorfrucht Mais. Für Getreide sind Mykotoxingrenzwerte festgelegt. Deshalb ist Fusarienbefall bei Getreide möglichst durch nachstehende Maßnahmen zu vermeiden:

- » Anbau wenig fusariumanfälliger Winterweizen- sowie Triticalesorten.
- » Ausnutzung morphologischer Merkmale der Weizensorten, die einer Fusariuminfektion entgegen wirken (Pflanzenlänge, Internodienlänge zwischen Fahnenblatt und Ähre, Ähreninfektion begünstigendes Mikroklima im Ährenbereich durch Begrannung).
- » Anbau von Sommergetreide (Anfälligkeit von Hafer beachten!) statt Winterweizen, besser von Blattfrüchten.
- » Förderung der Maisstrohrotte durch intensive Maisstrohzerkleinerung z. B. mit Schlegel- und Sichelmulcher und Einmischung der Erntereststoffe auf halbe Krummentiefe (Ziel: Rotteförderung von Maisstroh und damit dauerhafte Beseitigung von Infektionsherden), auch zur Bekämpfung des Maiszünslers eine hoch wirksame Maßnahme.
- » Gefügestabilisierung und Förderung der mikrobiellen Umsetzungsaktivität im Boden durch Integration mehrjähriger Futterpflanzenanbaus oder durch Anbau von Zwischenfrüchten im Fruchtfolgeverlauf in Kombination mit dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung.
- » Fungizidbehandlung in der Weizenblüte bei Witterungsbedingungen mit hohem Befallsrisiko.

(6) Schnecken und Mäuse

In Einzeljahren können Schnecken und Mäuse unabhängig vom Bestellverfahren zum Problem werden. Auf dauerhaft pfluglos bestellten Getreideflächen ist wegen der höheren Bodenfeuchte sowie wegen des größeren Nahrungsangebotes potenziell mit größeren Schäden durch Schnecken zu rechnen. Der längerfristige Verzicht auf eine tiefere Lockerung im Rahmen pflugloser Bestellverfahren und die damit verbundene Bodenruhe fördert das Auftreten von Mäusen (BÄUMLER, 2000). Aus diesem Grund ist es wichtig, dass im Rahmen

des pfluglosen Ackerbaus vorbeugende Maßnahmen gegen Schnecken und Mäuse durchgeführt werden.

Maßnahmen gegen Schnecken

(ALSEN & DÖLGER, 2003; EI-TITI, 2009; FRICKE, 2011)

- » Optimales Strohmanagement (Häcksellänge, Verteilung).
- » Wechsel zwischen Winterung und Sommerung, Abtöten von Ausfallgetreide und Unkräutern im Herbst (Nahrungsentzug).
- » Zerquetschen, Verletzen und Verschütten von Schnecken durch Stoppelbearbeitung mit Grubber, Scheibenegge usw.
- » Beseitigung von Hohlräumen durch konsequentes Walzen.
- » Größere Aussaatiefe bei Getreide.
- » Frostbearbeitung (z. B. mit Schwerstriegel) auf Zwischenfruchtflächen (-> Freilegen von Schnecken und Schneckeneiern mit nachfolgender Frosteinwirkung, Wasserentzug usw.).

- » Ausbringen von Branntkalk (z. B. vor der Winterrapsausaat).
- » Nützlingsförderung (Laufkäfer) durch dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung.
- » Schneckenkorneinsatz, ggf. Randbehandlungen.

Maßnahmen gegen Mäuse

- » Förderung der natürlichen Feinde (Greifvögel usw.).
- » Störung der Mäuse durch Grubbereinsatz (Arbeitstiefe > 15 cm) zu Winterraps und Wintergetreide bzw. zu Sommerfrüchten nach Feldkontrolle.
- » gute Strohverteilung sowie sorgfältige Stoppelbearbeitung.
- » vielgestaltige Fruchtfolge mit häufigem Wechsel zwischen Winter- und Sommerfrüchten mit Abtöten von Ausfallgetreide und -raps sowie Unkräutern im Herbst (Entzug der Futtergrundlage).
- » Mulchen von Ackerrandstreifen mit Kontrolle angrenzender Feldrandbereiche und ggf. Ausbringung von Fraßgiften in Mäuselöcher mit Legeflinte.

Internetadressen

Humus

Die Informationen wurden im Auftrag des Bundesverbands Boden e. V. zusammengestellt, gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
<https://www.bodenwelten.de/navigation/humus>

Humus – Humusversorgung der Ackerböden

Informationen, Publikationen und Abbildungen über die Bildung, Zusammensetzung und Qualität von Humus und über standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Ein Angebot der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.
<https://www.lfl.bayern.de/Humus>

Was ist Humus? Die wichtigsten 30 cm im Boden

PDF-Version des Fachbeitrags „Was ist Humus? Die wichtigsten 30 cm im Boden“ zum Thema Bodenfruchtbarkeit und Humus von Dipl.-Ing. agr. Michael Baumecker, Humboldt-Universität, Berlin. Der Artikel erschien im DSV-Magazin „Innovation“, Ausgabe 3/2009.
https://www.agrar.hu-berlin.de/de/institut/einrichtungen/freiland/thyrow/download/2009_dsv-innovation_3-09.pdf

CARLOS – E-Learning-Plattform zum Thema Boden als Kohlenstoffsenke

Die Lernplattform der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin vermittelt naturwissenschaftliches Grundwissen, gibt Einblicke in Methoden zur Quantifizierung der Kohlenstoffflüsse und stellt politische Ansätze vor, den Boden in seiner klimatischen Bedeutung nachhaltig zu nutzen und zu schützen.
<https://www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/carlos/>

Anschriften der Mitglieder der Autoren-/Expertengruppe



Robert Brandhuber
Leiter der Arbeitsgruppe Bodenphysik, Bodenmonitoring und Koordinator des Arbeitsbereichs Boden an der LfL
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) – Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
Lange Point 12, 85354 Freising
robert.brandhuber@LfL.bayern.de



Dr. Michaela Busch,
ehemals Leiterin der Stabsstelle Boden des Johann Heinrich von Thünen-Instituts
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig



Thorsten Breitschuh
Agrarberater
breitschuh.werdershausen@t-online.de
Verband für Agrarforschung und Bildung Thüringen e. V. (VAFB)
Thüringen e. V. Naumburger Str. 98 a, 07743 Jena
usl@tll.thueringen.de



Dr. Alexander von Chappuis (i. R.)
Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) e. V. –
Fachzentrum Landwirtschaft,
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main



PD Dr. Joachim Brunotte
Leiter der AG Technik in der Pflanzenproduktion und beim Bodenschutz am Thünen-Institut für Agrartechnologie
Thünen-Institut für Agrartechnologie,
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
Tel.: 0531 596 4494 (4102)
joachim.brunotte@thuenen.de



Florian Ebertseder
Leiter der Arbeitsgruppe Bodenphysik, Erosionsschutz und Bodenmonitoring
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau (IAB 1a)
Lange Point 6
85354 Freising



Dr. Jan Bug
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe im Geozentrum Hannover,
Fachbereich 2.2
Informationsgrundlagen
Grundwasser und Boden
Stilleweg 2, 30655 Hannover
jan.bug@bgr.de



Dr. Jens Grube
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt
j.grube@ktbl.de



Wilfried Henke (i. R.)
Wissenschaftsredakteur
Bundesinformationszentrum
Landwirtschaft
in der Bundesanstalt für Ernährung
und Landwirtschaft
Deichmanns Aue 29, 53179 Bonn
bzl-fachmedien@ble.de



Dr. Meinhard List
Bundesministerium für Ernährung
und Landwirtschaft (BMEL),
Referat 616,
Rochusstraße 1, 53123 Bonn
meinhard.list@bmel.bund.de



Caroline Hendrichke
Bundesministerium für
Ernährung und Landwirtschaft,
Ref. 711 Pflanzenbau
Rochusstraße 1, 53123 Bonn
Caroline.Hendrichke@
bmel.bund.de



Dr. Marco Lorenz
Thünen-Institut für
Agrartechnologie
Bundesallee 47, 38116 Braunschweig
marco.lorenz@thuenen.de



Hubert Honecker (i. R.)
Bundesministerium für Ernährung
und Landwirtschaft (BMEL),
Ref. 711 Pflanzenbau
Rochusstraße 1, 53123 Bonn
711@bmel.bund.de



Prof. Dr. Thomas Mosimann (i. R.)
Institut für Physische Geographie
und Landschaftsökologie
Leibniz Universität Hannover
Schneiderberg 50, 30167 Hannover



Dr. Frank Höppner
Julius Kühn-Institut (JKI),
Institut für Pflanzenbau und
Bodenkunde
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
frank.hoepfner@jki.bund.de



Berthold Ortmeier (i. R.)
Thünen-Institut für
Agrartechnologie
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig



Dr. Walter Schmidt
Leiter des Referates 72
Pflanzenbau im
Sächsischen Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Landwirtschaft,
Waldheimerstraße 219, 01683 Nossen
walter.schmidt@smul.sachsen.de



Dr. Thomas Vorderbrügge (i. R.)
Hessisches Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und Geologie,
Wiesbaden
Rheingaustraße 186,
65203 Wiesbaden



Prof. Dr. Stefan Schrader
Leiter der AG „Strukturelle und
Funktionelle Bodenzologie“ am
Thünen-Institut für Biodiversität
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
stefan.schrader@ti.bund.de



Prof. Dr. Thomas Weyer
Fachhochschule Südwestfalen, Soest,
Fachbereich Landwirtschaft
Lübecker Ring 2, 59494 Soest
Postfach 1465, 59474 Soest
weyer@fh-swf.de



Marion Senger
Pflanzenschutz-
Reduzierungsstrategie
LWK Niedersachsen
Geschäftsbereich Landwirtschaft
FB 3.10 Pflanzenbau
Wunstorfer Landstraße 9
30453 Hannover
marion.senger@
lwk-niedersachsen.de

KTBL-Veröffentlichungen



Grenzdörffer, G.

Drohnen in der Landwirtschaft

Übersicht und Potenzial

2022, 124 Seiten, ISBN 978-3-945088-86-9, Bestell.-Nr. 11527, 23 €

In dieser Schrift erfahren Landwirtinnen und Landwirte sowie potenzielle Dienstleister - auch für Einsteiger gut verständlich - wie landwirtschaftliche Fernerkundung funktioniert und welche Drohnentechnik zur Verfügung steht. Kosten und Flächenleistungen werden genauso beschrieben wie die besonderen rechtlichen Anforderungen.



Grube, J.

Streifenbodenbearbeitung

Eine Bestandsaufnahme aus Forschung und Beratung

2021, 116 Seiten, ISBN 978-3-945088-79-1, Bestell.-Nr. 11521, 22 €

Die Schrift richtet sich an Vertreter der landwirtschaftlichen Beratung sowie an praktische Landwirte und Lohnunternehmer. Sie gibt einen Überblick über den Stand der Versuche zum Thema Streifenbodenbearbeitung in Forschung und Beratung.

Bestellhinweise

Besuchen Sie auch unseren Internet-Shop www.ktbl.de

Porto- und Verpackungskosten werden gesondert in Rechnung gestellt.

Preisänderungen vorbehalten. Wir freuen uns auf Ihre Bestellung. Senden Sie diese bitte an:

KTBL, Bartningstraße 49, D-64289 Darmstadt | Tel.: +49 6151 7001-189 | Fax: +49 6151 7001-123

E-Mail: vertrieb@ktbl.de | www.ktbl.de

BZL-Medien



Bodentypen – Nutzung, Gefährdung, Schutz

Ausgehend von der Entstehungsgeschichte der Bodentypen informiert das Heft über deren Eigenschaften wie zum Beispiel die Korngrößenverteilung, den pH-Wert und den Humusgehalt. Farbfotos von Bodenprofilen veranschaulichen die wichtigsten Merkmale 25 ausgewählter Bodentypen. Landwirte und Berater erfahren, für welche Art der Bewirtschaftung der jeweilige Typ am besten geeignet ist und wo er seine Stärken und Schwächen hat. Außerdem erhalten sie darauf abgestimmte Tipps zur Bodenbearbeitung und zur Düngung.

Broschüre, 92 Seiten, 6. Auflage 2019, Bestell-Nr. 1572



Böden in der Landwirtschaft

Das Poster stellt acht Bodentypen vor, die landwirtschaftlich genutzt werden, sowie einen Weinbergsboden. Jedes ausgewählte Bodenprofil ist typisch im Hinblick auf seine Verbreitung innerhalb einer bestimmten Agrarlandschaft. Neben der Horizontabfolge wird jeweils die mögliche landwirtschaftliche Nutzung beschrieben.

Poster, DIN A1 gefalzt auf DIN A4, Erstauflage 2019, Bestell-Nr. 0046



Zwischen- und Zweitfrüchte im Pflanzenbau

Zwischen- und Zweitfrüchten verbessern den Boden durch verbleibende Pflanzenreste auf dem Acker. Außerdem schützen sie Umwelt und Gewässer, weil durch sie Bodenerosion und Nährstoffaustrag vermindert und Biodiversität erhöht wird. In dieser Broschüre lesen Sie, wie Sie Zwischenfrüchte in Ihre Anbausysteme integrieren können: durch Unter- und Stoppelsaaten, Sommer- und Winterzwischenfruchtbau oder durch Zweitfruchtanbau. Dieser wird heute zunehmend durch den Anbau von Futter- oder Energiepflanzen praktiziert.

Broschüre, 140 Seiten, 2. Auflage 2018, Bestell-Nr. 1060



Integrierter Pflanzenschutz

Das Heft macht das Konzept des integrierten Pflanzenschutzes verständlich. Sie lesen nicht nur, wie man Pflanzenschutz durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen realisieren kann. Auch wie Sie Nützlinge schützen, fördern und einsetzen, kommt zur Sprache. Ebenfalls ein wichtiges Thema: der sachgerechte chemische Pflanzenschutz nach dem Schadensschwellenprinzip.

Heft, 52 Seiten, 7. Auflage 2018, Bestell-Nr. 1032



Hecken und Raine in der Agrarlandschaft – Bedeutung – Anlage – Pflege

Seit Jahrhunderten prägen Feldraine und Hecken die Agrarlandschaft. Unzählige Tiere und Pflanzen finden hier ihren Lebensraum. Es lohnt sich also, diese Saumbiotope zu erhalten oder sie als Lebensraum neu zu schaffen. Die Broschüre will Landwirtschaft, Beratung und Naturschutz zu gemeinsamem Handeln aufrufen. Praktische Beispiele führen die vielfältigen Funktionen von Hecken und Rainen vor Augen. Das Heft zeigt auch, wie man Saumbiotope anlegt und was bei Erhalt und Pflege zu beachten ist.

Broschüre, 100 Seiten, Erstauflage 2018, Bestell-Nr. 1619



Lebendige Böden – fruchtbare Böden

Die Broschüre beschreibt Maßnahmen, die Bodenlebewesen gezielt fördern und ihre Leistungen für die landwirtschaftliche Produktion nutzbar machen. Außerdem informiert sie über die Vielfalt der Bodenorganismen und ihre Lebensbedingungen: Welche Rolle spielen Bodenlebewesen für die Funktionstüchtigkeit von Böden? Wie wirken sich die landwirtschaftlichen Eingriffe auf das Bodenleben aus? Davon ausgehend werden die Beteiligung verschiedener Bodenlebewesen an den Prozessen im Boden anschaulich erklärt und Ökosystemleistungen abgeleitet

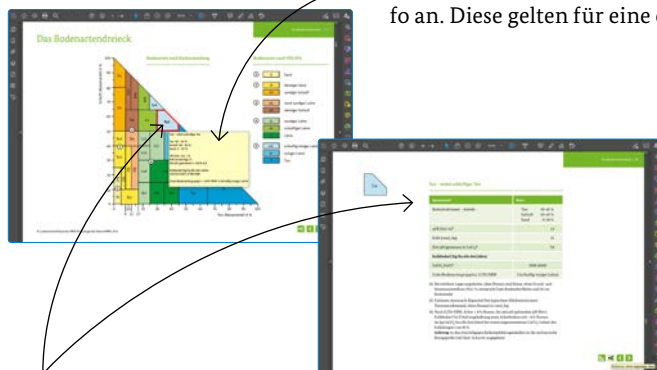
Broschüre, DIN A4, Erstauflage 2022, 48 Seiten, Bestell-Nr. 1020



Das Bodenartendreieck

Die interaktive Download-Version (pdf) bietet grundlegende Informationen zu jeder Bodenart. Die Bodenart beschreibt die Zusammensetzung des Feinbodens und ist damit ein wesentlicher Indikator für die Bodeneigenschaften. Größe und Zusammensetzung der Bodenpartikel bestimmen entscheidend die Bodeneigenschaften und die Möglichkeiten für die landwirtschaftliche Nutzung.

Bewegung des Mauszeigers über das jeweilige Segment zeigt bereits Infos als Quickinfo an. Diese gelten für eine einfache Standardsituation.



Ein Klick auf das Segment liefert detaillierte Infos zur Bodenart. Die komplexen Zusammenhänge wurden vereinfacht zusammengefasst und anhand etablierter Regelwerke für NRW aufgearbeitet. Die Buttonleiste unten rechts ermöglicht komfortable Navigation.

Als ergänzende Information werden in der Download-Version ein Bestimmungsschlüssel sowie wichtige Hinweise zur Durchführung einer Fingerprobe vorgestellt. Mit ihr lässt sich eine Bodenprobe vor Ort ohne weitere Hilfsmittel einer Bodenart zuordnen.

Interaktive pdf, Erstauflage 2021, Bestell-Nr. 0244



Download über den QR-Code

Was bietet das BZL?

Internet

www.landwirtschaft.de

Vom Stall und Acker auf den Esstisch – Informationen für Verbraucherinnen und Verbraucher

www.praxis-agrar.de

Von der Forschung in die Praxis – Informationen für Fachleute aus dem Agrarbereich

www.bzl-datenzentrum.de

Daten und Fakten zur Marktinformation und Marktanalyse

www.bildungsserveragrar.de

Gebündelte Informationen zur Aus-, Fort- und Weiterbildung in den Grünen Berufen

www.nutztierhaltung.de

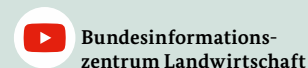
Informationen für eine nachhaltige Nutztierhaltung aus Praxis, Wissenschaft und Agrarpolitik

www.oekolandbau.de

Das Informationsportal rund um den Öko-Landbau und seine Erzeugnisse.

Social Media

Folgen Sie uns auf Twitter, Instagram und YouTube



Medienservice

Alle Medien erhalten Sie unter www.ble-medienservice.de



Unsere Newsletter

www.landwirtschaft.de/newsletter

www.praxis-agrar.de/newsletter

www.oekolandbau.de/newsletter

www.bmel-statistik.de/newsletter

Impressum

3614/2022

Herausgeberin

Bundesanstalt für Landwirtschaft
und Ernährung (BLE)
Präsident: Dr. Hanns-Christoph Eiden
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Telefon: +49 (0)228 6845-0
Internet: www.ble.de, www.landwirtschaft.de,
www.praxis-agrar.de

Redaktion

Dr. Volker Bräutigam
Rainer Schretzmann
Wilfried Henke (i. R.)
alle Bundesinformationszentrum
Landwirtschaft in der BLE,
Referat 412 – Fachkommunikation,
Bundeszentrum Weidetiere und Wolf

Text

Kapitel 1: H. Honecker, M. List,
Caroline Hendrichke, Marion Senger
Kapitel 2: Th. Vorderbrügge, M. Busch,
R. Brandhuber, J. Bug, S. Schrader,
Th. Weyer
Kapitel 3: J. Brunotte, R. Brandhuber,
Th. Vorderbrügge, S. Schrader
Kapitel 4.1 Winderosion: M. Busch
Kapitel 4.2 Wassererosion: W. Schmidt,
R. Brandhuber, J. Bug

Gestaltung

Arnout van Son, Alfter

Titelbild

Joachim Brunotte

Umschlagseite hinten:

© Krzysztof – stock.adobe.com: U4
© rightdx – stock.adobe.com: U4
© Countrypixel – stock.adobe.com: U4
© Kletr – stock.adobe.com: U4

Druck

Kunst-und Werbedruck GmbH & Co. KG,
Hinterm Schloss 11,
32549 Bad Oeynhausen

Das Papier besteht zu 100% aus Recyclingpapier.

Nachdruck und Vervielfältigung – auch auszugsweise
– sowie Weitergabe mit Zusätzen, Aufdrucken
oder Aufklebern nur mit Zustimmung der
BLE gestattet.

Stand September 2022

© BLE 2022

Bestellungen an:

BLE-Medienservice
c/o IBRo Versandservice GmbH
Kastanienweg 1
18184 Roggentin
Telefon: +49 (0)38204 66544
Telefax: +49 (0)228 8499-200
bestellung@ble-medienservice.de

Alle Medien auch als Download: www.ble-medienservice.de



Das Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (BZL) ist der neutrale und wissenschaftsbasierte Informationsdienstleister rund um die Themen Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Imkerei, Garten- und Weinbau – von der Erzeugung bis zur Verarbeitung.

Wir erheben und analysieren Daten und Informationen, bereiten sie für unsere Zielgruppen verständlich auf und kommunizieren sie über eine Vielzahl von Medien.

www.praxis-agrar.de