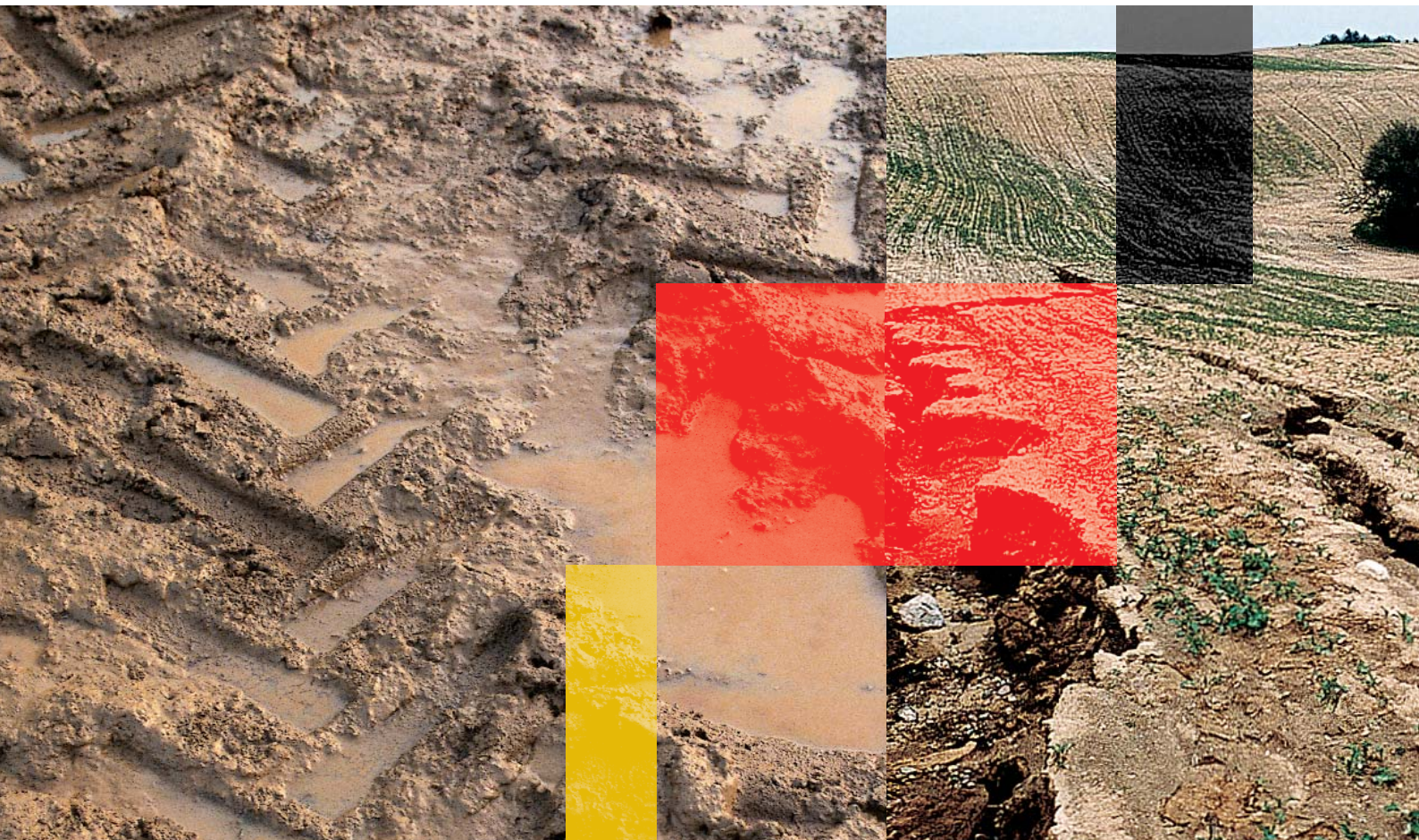




Bundesministerium für
Verbraucherschutz, Ernährung
und Landwirtschaft

Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion



Herausgeber:

Bundesministerium für Verbraucherschutz,
Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL)
Referat 516
Postfach, 53107 Bonn
Internet: <http://www.verbraucherministerium.de>

Text:

BMVEL

Gestaltung:

maenzen kommunikation GmbH, 51149 Köln

Nachdruck: Druckpunkt Offset GmbH, 50126 Bergheim

August 2002

Gute fachliche
Praxis zur
Vorsorge gegen
Bodenschadverdichtungen
und Bodenerosion

Initiative

Dieses Bund-Länder-Papier geht auf eine Initiative der **Acker- und Pflanzenbaureferenten des Bundes und der Länder** zurück. Von ihnen wurde eine Expertengruppe beauftragt, die die in § 17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes verankerten und allgemein geltenden Grundsätze der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung weiterentwickelt, mit regionalen Daten und Erfahrungswerten ergänzt und zu einer Handreichung für Beratung und Praxis ausbaut.

Die Problembereiche „Bodenschadverdichtung“ und „Bodenerosion“ werden dabei in den Vordergrund gestellt. Dieses einerseits wegen ihrer besonderen Bedeutung für den Bodenschutz, und andererseits, weil mit ihnen gleichzeitig die anderen der in § 17 dieses Gesetzes verankerten und damit im Zusammenhang stehenden Grundsätze angesprochen werden.

Diesem Auftrag haben sich unter Leitung von Dr. W. Däschner und Dr. K.-J. Künkel, beide Referat Acker- und Pflanzenbau des BMVEL, Experten von Bund und Ländern unterzogen. Die Gruppe der Bodenspezialisten der Länder hat wesentlichen Anteil am zu Stande kommen des Papiers, das von den Acker- und Pflanzenbaureferenten sowie von den Abteilungsleitern „Pflanzliche Erzeugung“ des Bundes und der Länder gebilligt wurde.

Mitglieder der Expertengruppe: **G. Bachmann, H. Böken, R. Brandhuber, G. Breitschuh, J. Brunotte, W. Buchner, W. Däschner, J. Eisele, Mo. Frielinghaus, P. Gullich, W. Henke, J. Heyn, A. Jürgens, K.-J. Künkel, W.-A. Schmidt, C. Sommer**

Initiative	2
1. Gliederung	3
2. Einleitung	5
2.1 Problemstellung	6
2.1.1 Vorsorgender Bodenschutz durch gute fachliche Praxis	7
2.1.2 Regelungen zur Gefahrenabwehr nach Bodenschutzrecht	8
2.1.3 Aufgabenstellung des Bund-Länder-Papieres	9
2.2 Literatur	10
3. Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen	12
3.1 Sachstand	12
3.1.1 Definition und Bedeutung	12
3.1.2 Bestimmung von Bodenverdichtung	15
3.1.3 Auslösende Faktoren für Schadverdichtung durch Befahren	16
3.1.4 Verbreitung von Schadverdichtungen	18
3.1.5 Schadverdichtungen im Unterboden – ein EU-Lösungsansatz	21
3.1.6 Modelle zur Abschätzung der potenziellen Verdichtungsgefährdung	22
3.1.6.1 Das Verfahren „Vorbelastung“	22
3.1.6.2 Das Verfahren „Belastungsquotient“	23
3.1.6.3 Das Verfahren „SchadverdichtungsGefährdungsklassen (SVGK)“	23
3.1.7 Technische Entscheidungshilfen zur aktuellen Befahrbarkeit in situ	24
3.1.8 Schlussfolgerungen aus dem Sachstand	24
3.2 Maßnahmen der guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen	25
3.2.1 Handlungsempfehlungen zum Konzept für bodenschonendes Befahren	25
3.2.1.1 Anwendung und Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten	25
3.2.1.2 Anpassung von Arbeitsverfahren	26
3.2.1.3 Verbesserung der Tragfähigkeit des Bodens	28
3.2.1.4 Begrenzung der mechanischen Belastung	29
3.3 Beispiele für Schutzmaßnahmen in Fruchtfolgen	30
3.3.1 Gefügestabilisierung am Beispiel ausgewählter Fruchtfolgen	31
3.3.1.1 Fruchtfolge (Niedersachsen): Zuckerrüben – Winterweizen – Winterweizen – Wintergerste	31
3.3.1.2 Fruchtfolge (Nordrhein-Westfalen): Silomais – Winterweizen – Winterroggen/ Triticale – Ackerfutterbau	32
3.3.2 Ein Beratungsbeispiel für den Ansatz „Druckbelastungsquotient“ (Thüringen)	32
3.3.3 Ein Beratungsbeispiel für den Ansatz „Schadverdichtungs- Gefährdungsklassen“ (Brandenburg)	34
3.4 Literatur (verwendete und weiterführende Literatur)	38

4.	Vorsorge gegen Bodenerosion	42
4.1	Sachstand	42
4.1.1	Bedeutung und Definition	42
4.1.2	Verlauf der Wassererosion	42
4.1.2.1	Faktoren, die zur Bodenverlagerung führen können	44
4.1.2.2	Orientierungswerte	45
4.1.3	Verlauf der Winderosion	45
4.1.3.1	Faktoren, die zur Bodenverlagerung führen können	46
4.1.3.2	Orientierungswerte	47
4.1.4	Sichtbare und nicht sichtbare Erosionsschäden und tatsächliche Gefährdung	48
4.1.5	Schlussfolgerungen aus dem Sachstand	50
4.2	Maßnahmen der guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenerosion	50
4.2.1	Abschätzung (Indikation) der Wasser- und Winderosionsgefährdung	50
4.2.1.1	Bewertung der standortbedingten Gefährdung/potenzielle Gefährdung [A]	52
4.2.1.2	Bewertung der nutzungsbedingten Gefährdung/Nutzungsrisiko [B]	52
4.2.1.3	Bewertung der tatsächlichen Erosionsgefährdung und Konsequenzen [C]	55
4.2.2	Vorsorgemaßnahmen gegen Bodenerosion: Lösungen, Umsetzung und mögliche Probleme	55
4.2.2.1	Allgemeine acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen	56
4.2.2.2	Erosionsmindernde Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren	57
4.2.2.3	Erosionsmindernde Flurgestaltung	60
4.3	Beispiele für Schutzkonzepte aus den Bundesländern	61
4.3.1	Schutz vor Wassererosion in Bayern	61
4.3.2	Schutz vor Wassererosion in Mecklenburg-Vorpommern	65
4.3.3	Schutz vor Wassererosion in Niedersachsen	72
4.3.4	Schutz vor Wassererosion in Nordrhein-Westfalen	77
4.3.5	Schutz vor Winderosion in Brandenburg	79
4.3.6	Schutz vor Bodenerosion in Sachsen	86
4.4	Literatur (verwendete und weiterführende Literatur)	88
5.	Schlussfolgerungen	92
5.1	Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen (Kurzfassung)	94
5.2	Vorsorge gegen Bodenerosion (Kurzfassung)	97
6.	Glossar	100
7.	Anschriften der Mitglieder der Expertengruppe und der Autoren des Bund-Länder-Papiers	102

Inhalt Kapitel 2

Seite

2. Einleitung	5
<i>K.-J. Küinkel, G. Bachmann u. H. Böken</i>	
2.1 Problemstellung	6
2.1.1 Vorsorgender Bodenschutz durch gute fachliche Praxis	7
2.1.2 Regelungen zur Gefahrenabwehr nach Bodenschutzrecht	8
2.1.3 Aufgabenstellung des Bund-Länder-Papieres	9
2.2 Literatur	10

2. Einleitung

K.-J. Küinkel, G. Bachmann u. H. Böken

2.1 Problemstellung

Die Landwirtschaft nutzt die Umweltgüter Boden, Wasser und Luft zur Bereitstellung von kostengünstigen Nahrungsgütern in hoher Qualität. Sie steht damit in einer besonderen Verantwortung für die Natur.

Auf über 60% der Landesfläche produziert die Landwirtschaft Nahrungsgüter, Futtermittel und nachwachsende Rohstoffe. Das kann sie nachhaltig nur tun, wenn die Agrarökosysteme intakt sind und der Flächenverbrauch für nicht-landwirtschaftliche Zwecke sowie die Umweltbelastung in vertretbaren Grenzen gehalten werden. Nachhaltige landwirtschaftliche Produktion setzt zudem die **Erhaltung und Verbesserung der Produktionsbedingungen, die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in Verbindung mit der Stärkung der ländlichen Räume als Wirtschaftsstandorte sowie die Erhaltung der Stabilität und Funktionssicherheit der sozialen Systeme in den ländlichen Räumen** voraus. Das Augenmerk der Landwirte im Acker- und Pflanzenbau gilt in diesem Zusammenhang vor allem

- der Erhaltung und Verbesserung der Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit der Böden ,
- der Schonung der fossilen Produktionsressourcen und ihrem sinnvollen Ersatz durch regenerative Ressourcen,
- der Verbesserung der Effizienz des Ressourceneinsatzes und Vermeidung umweltbelastender Stoffverluste in den Produktionsprozessen,
- der Erhaltung der biologischen Vielfalt und der Funktionsfähigkeit der Agrarökosysteme durch landespflegerische Maßnahmen und
- den vielfältigen Maßnahmen zum vorsorgenden Schutz des Bodens.

Zu den Leitbildern eines vorsorgenden Bodenschutzes gehört (Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz beim BMU, 2000) die Erhaltung der Leistungsfähigkeit der Böden und ihrer natürlichen Funktionen, weil Böden eine knappe und nicht erneuerbare natürliche Ressource sind.

Die Böden stehen als Bestandteil des Naturhaushalts (Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre) in Wechselbeziehungen zum Ertrag der Kulturpflanzen, zur Ernährung der Menschen und letztlich auch zur gesamten Volkswirtschaft, erfüllen also Funktionen in den ökologischen Kreisläufen und in sozioökonomischen Systemen (BUCHWALD, K. & W. ENGELHARDT, 1999). Deshalb zielt das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) auf die **Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Bodenfunktionen**.

Die für die landwirtschaftliche Bodennutzung wichtigsten Funktionen des Bodens sind die

- **Produktionsfunktion**, weil die Böden mit ihrer stets erneuerbaren Fähigkeit zur Biomasseproduktion die Lebensgrundlage der Menschen sind;
- **Lebensraumfunktion**, da die Böden Lebensraum für die Menschen und für Flora und Fauna in ihrer genetischen Vielfalt bieten;
- **Regelungsfunktion**, denn die Böden regeln den Wasserkreislauf, die abiotische und biotische Stoffumwandlung (insbesondere den mikrobiellen Abbau organischer Stoffe einschließlich des Abbaus von Schadstoffen), die physikalische und chemische Pufferung, Filterung und Speicherung sowie die Grundwasserneubildung;
- **Archivfunktion** der Natur- und Kulturschichte.

2.1.1 Vorsorgender Bodenschutz durch gute fachliche Praxis

Mit dem In-Kraft-Treten des **Bundes-Bodenschutzgesetzes** (BBodSchG) ist neben der **Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen** auch die **Abwehr von Gefahren aus schädlichen Bodenveränderungen** rechtlich geregelt. Ziel des vorsorgenden Bodenschutzes nach § 1 BBodSchG ist es, bei Einwirkungen auf den Boden Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte soweit wie möglich zu vermeiden.

Art und Umfang der Vorsorge zum Schutz der Böden ist im Einzelnen unter § 7 BBodSchG beschrieben. Zur Erfüllung der Vorsorgepflicht im Rahmen der landwirtschaftlichen Bodennutzung verweist § 7 auf die Regelungen des § 17 (1) und (2) BBodSchG. Dort wird die **gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung** angesprochen. Sie dient der nachhaltigen Sicherung der Fruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit der Böden als natürliche Ressource. Unter Leistungsfähigkeit ist dabei, unter Rückgriff auf die nach § 2 (2) Nr. 3c definierte Funktion des Bodens als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung, auch die Ertragsfähigkeit des Bodens zu verstehen.

Für die im Einzelnen in § 17 (2) angesprochenen Kriterien, wie Bodenstruktur, Bodenverdichtung, Bodenabträge (Erosion), naturbetonte Strukturelemente der Feldflur, biologische Aktivität des Bodens und standorttypischer Humusgehalt, nennt das Bundes-Bodenschutzgesetz Grundsätze für die gute fachliche Praxis in der landwirtschaftlichen Bodennutzung. **Der Erfüllung dieser Grundsätze kommt die durch das Gesetz vorgesehene Vorsorgepflicht nach.** Das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft hat die Grundsätze in der Broschüre „Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung“ (BMVEL 1999), und durch Bekanntmachung im Bundesanzeiger Nr. 220a vom 21.11.98 für die landwirtschaftliche Beratung und Praxis in einem ersten Schritt konkretisiert. Vertiefende Hinweise werden in diesem Bund-Länder-Papier mitgeteilt. Vorsorgende Maßnahmen gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion fördern gleichzeitig die standortangepasste Bodenbearbeitung, die Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur, die biologische Aktivität sowie den standorttypischen Humusgehalt der Böden.

Die Qualität der landwirtschaftlich genutzten Böden hinsichtlich ihrer Schadstoffgehalte wird von § 17 nicht angesprochen. Deshalb nennt die Bodenschutz- und Altlastenverordnung

(BBodSchV) in Anhang 2 in Verbindung mit den §§ 3 und 4 BBodSchV eine Reihe von Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten zum Wirkungspfad Boden- Nutzpflanze (für Ackerbau und Grünland) und enthält in § 12 auch **weitere Anforderungen mit Bezug zur landwirtschaftlichen Bodennutzung**. Zu den dafür notwendigen Abwägungen sind die Maßnahmen der guten fachlichen Praxis hinsichtlich ihrer physikalischen, biologischen und chemischen Wirkungen im Agrarökosystem zu bewerten.

In der landwirtschaftlichen Praxis findet eine **ständige Beeinflussung der vielfältigen dynamischen Prozesse in der Natur** statt. Deshalb ist auch die Ausgestaltung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft durch Dynamik und Handlungsvielfalt geprägt (Grünbuch für eine nachhaltige Land- und Forstwirtschaft des DBV, 2000).

Die allgemein geltenden **Grundsätze und Handlungsempfehlungen der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung müssen konsequent weiterentwickelt und mit regionalen Daten und Erfahrungswerten zu Handreichungen für Beratung und Praxis so ausgestaltet** werden, dass sie als Grundlage für die von dem Landwirt zu treffenden Entscheidungen über entsprechende Maßnahmenabfolgen genutzt werden können.

Zur **Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen ist die Integration der geeigneten Handlungsempfehlungen in ein Gesamtkonzept für Praxis und Beratung** erforderlich, und es sind auch **konkrete Handlungshilfen zur Vorsorge gegen die Bodenerosion in ein Gesamtkonzept** zu stellen. In dem vorliegenden Bund-Länder-Papier werden dafür Bausteine vorgelegt.

In diesem Zusammenhang muss auch die Möglichkeit der Ableitung bodenbezogener Richtwerte für Druckbelastungen und / oder technischer Normen für die eingesetzte Landtechnik geprüft werden. Die schonende Bodenbearbeitung ist als ein besonderes Qualitätsmerkmal in die landwirtschaftliche Bodennutzung wirkungsvoll und machbar zu integrieren.

Wichtige Voraussetzung für die **Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion** ist die Vertiefung der Kenntnisse über die **physikalische Beschaffenheit der Böden auf regionaler bis schlagspezifischer Ebene**.

Diese bisher genannten Anforderungen befinden sich in voller Übereinstimmung mit dem Gutachten 2000 des Rates der Sachverständigen für Umweltfragen und dem Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates Bodenschutz des BMU.

2.1.2 Regelungen zur Gefahrenabwehr nach Bodenschutzrecht

Art und Umfang der **Gefahrenabwehr** zur Verhinderung **schädlicher Bodenveränderungen und Altlasten** sind in § 4 BBodSchG geregelt. Schädliche Bodenveränderungen können sowohl durch Schadstoffe, als auch durch biologische oder physikalische Einwirkungen entstehen. Ergänzend zu § 4 BBodSchG regelt § 17 (3), welche Vorschriften für den landwirtschaftlichen Bereich diese Pflichten zur Gefahrenabwehr konkretisieren, und zwar mit dem Wortlaut: „Die Pflichten nach § 4 werden durch die Einhaltung der in § 3 Abs. 1 BBodSchG genannten Vorschriften erfüllt; enthalten diese Vorschriften keine Anforderungen an die Gefahrenabwehr und ergeben sich solche auch nicht aus den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis nach Absatz 2 (des § 17 BBodSchG), so gelten die übrigen Bestimmungen dieses Gesetzes.“

Die zitierte Regelung bedient sich folgender Argumentationsschritte:

1. Als landwirtschaftliche Fachvorschriften nennt § 3 Abs. 1 BBodSchG die Vorschriften des Düngemittel- und des Pflanzenschutzrechts, des Zweiten Kapitels des Bundeswaldgesetzes und der Forst- und Waldgesetze der Länder, des Flurbereinigungsgesetzes über das Flurbereinigungsgebiet (auch in Verbindung mit dem Landwirtschaftsanpassungsgesetz); schließlich wird auch auf die Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes über das Aufbringen von Abfällen zur Verwertung als Sekundärrohstoffdünger oder von Wirtschaftsdüngern im Sinne des § 1 des Düngemittelgesetzes verwiesen.
2. Für die Landwirtschaft ergeben sich die Pflichten zur Gefahrenabwehr im Rahmen des Anwendungsbereiches des BBodSchG daher vorrangig aus den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis. Dies bedeutet, dass die genannten Grundsätze nicht nur durch Beratung vorsorgend vermittelt werden können, sondern dass ihre Einhaltung – wenn ein im Einzelfall festgestellter Gefahrentatbestand gegeben ist – von der zuständigen Behörde gegenüber den Landwirten auch angeordnet werden kann.
3. Nach Feststellung des Bundesrates (BR-Drs. 244/99 Ziff. 40) enthalten die in § 3 Absatz 1 BBodSchG genannten Vorschriften keine Anforderungen an die Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund

schadungsdüngern im Sinne des § 1 des Düngemittelgesetzes verwiesen.

Im Düngemittelgesetz ist in § 5 Abs. 1 eine Ermächtigung für das BMVEL enthalten, dass gewerbsmäßiges Inverkehrbringen bestimmter Stoffe nach § 1 Nr. 2a bis 5 und bestimmter Düngemittel nach § 2 Abs. 3 sowie Anwendung bestimmter Stoffe nach § 1 Nr. 1 bis 5 verboten oder beschränkt werden können, soweit dies zum Schutz der Fruchtbarkeit des Bodens oder Gesundheit von Menschen, Haustieren oder Nutzpflanzen oder zur Abwehr von Gefahren für den Naturhaushalt erforderlich ist. **Die übrigen in § 3 Abs. 1 BBodSchG genannten Fachvorschriften enthalten keine Anforderungen an die Gefahrenabwehr beim Vorliegen von schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten.**

Vorsorge		Gefahrenabwehr
Schadenseintritt ist auf Grund praktischer Vernunft ausgeschlossen, wohl aber möglich	Schadenseintritt ist bei Anhalten weiterer Einwirkungen (z. B. Stoffeinträge) zu besorgen	Schadenseintritt ist hinreichend wahrscheinlich
----- Zunehmendes Risiko für das Schutzgut ----->		
Bereich des Restrisikos	↔ Beginn des unerwünschten Risikos	↔ Beginn des nicht mehr hinnehmbaren Risikos
Praktisch sicher nach dem aktuellen Stand des Wissens und bei Einzelstoffbetrachtung und / oder einschließlich unwägbarer Risiken und bei Vielstoffbetrachtung	Z. B. für Wirkungspfad Boden-Mensch: extrapolierte Dosis ohne schädliche Wirkung für empfindliche Personengruppen	Z. B. für Wirkungspfad Boden-Mensch: extrapolierte Dosis mit Gefahrenbezug im ungünstigen Fall der Exposition

↑
Vorsorgewert

↑
Prüfwert
und / oder:
Maßnahmenwert,
soweit die Dosis mit
Gefahrenbezug zuverlässig im
Boden nachgewiesen wird

Tabelle 1: Einteilung von bodenspezifischen Risikobereichen und von Bodenwerten (Quelle: Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz beim BMU, 2000)

von Bodenerosion. Daher wurde vom Bundesrat die Aufnahme einer Regelung zur "Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser" in die BBodSchV (§ 8) beschlossen.

Die Grundsätze der guten fachlichen Praxis der Landbewirtschaftung nach § 17 BBodSchG stellen ebenfalls keine materiell konkretisierte Anforderung in diesem Sinn dar; somit gelten für die Gefahrenabwehr nach § 17 Absatz 3 BBodSchG die übrigen Bestimmungen des BBodSchG. Darauf stellt auch schon die Regelung nach § 10 (2) BBodSchG ab, die Voraussetzungen für Ausgleichszahlungen an den Landwirt bei zur Gefahrenabwehr angeordneten Maßnahmen nennt.

In Tabelle 1 ist die **Vorgehensweise für die Einhaltung bodenspezifischer Risikobereiche** von Bodenwerten zu stofflichen Belastungen dargestellt (Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz beim BMU, 2000). Es läßt sich deutlich die **Trennung zwischen der Vorsorge** und der Notwendigkeit zur **Gefahrenabwehr** bei einem zunehmenden Risiko für das **Schutzgut** ablesen.

Von den sieben in § 17 (2) angesprochenen Kriterien ist bislang nur der Bodenabtrag durch Wasser hinsichtlich der materiellen Maßstäbe zur Gefahrenabwehr konkretisiert worden. Daneben sind auf Schadstoffe bezogene Regelungen durch eine Reihe von Prüf- und Maßnahmewerten präzisiert. Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) enthält in § 8 Vorschriften für die Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser. Davon ist insbesondere dann auszugehen, wenn durch Oberflächenabfluss erhebliche Mengen Bodenmaterials aus einer Erosionsfläche geschwemmt werden und weitere Bodenabträge derselben Art zu erwarten sind.

Dessen ungeachtet ist **unter Vorsorgegesichtspunkten jeder Bodenverlust als irreversible Beeinträchtigung** zu betrachten. Deshalb wird es als notwendig erachtet, für die Praxis und Beratung Handlungsempfehlungen zur Verminderung insbesondere von **Schäden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (Onsite-Schäden)** bereitzustellen.

Entsprechend der Entschließung des Bundesrates zur BBodSchV „... ist zu prüfen, inwieweit auch die Aufnahme von **Regelungen zur Abwehr schädlicher Bodenveränderungen durch nutzungsbedingte Verdichtungen der Böden** in die BBodSchV notwendig und möglich ist.“ In diesem Zusammenhang ist die Wirksamkeit der vorliegenden standort- und nutzungsbezogenen Handlungsempfehlungen für Praxis und Beratung zu bewerten.

Die **Nachhaltigkeitsstrategie für die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft des BMVEL** sieht vor, dass unter Beachtung der **ökologischen** und ressourcenbezogenen Anforderungen, der **ökonomischen** Dimension und aus **sozialer** Sicht auch eine weitere Verbesserung des Bodenschutzes durch die Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion erreicht und nachhaltig gewährleistet wird. Die Produktionsverfahren unter Einschluss von Maßnahmen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion sind so zu gestalten, dass mit möglichst geringem Energie- und Kostenaufwand hohe Erträge bei guter Produktqualität erzeugt werden, ohne die Stabilität der betroffenen Ökosysteme und/oder benachbarter Ökosysteme negativ zu beeinflussen.

Ressourcenschonende Produktionsverfahren bewirken vor allem Einsparungen von technischen, chemischen und biologischen Produktionsmitteln sowie von Energie. Damit ist **ressourcenschonende Bodennutzung ein wesentlicher Baustein nachhaltiger Landbewirtschaftung** (Bodenbearbeitung und Bodenschutz, KTBL-Arbeitspapier 266, 1998).

Um **landwirtschaftliche Produktionsverfahren** hinsichtlich ihrer Eignung zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion bewerten zu können, sind geeignete Indikatoren erforderlich. Indikatoren werden auch für die **Beurteilung des Ausgangszustandes**, also der tatsächlichen Gefährdung, benötigt. Soweit diese Indikatoren entwickelt und hinreichend verifiziert bzw. validiert sind, werden sie der Praxis und Beratung zur Nutzung verfügbar gemacht.

2.1.3 Aufgabenstellung des Bund-Länder-Papieres

Zusammenfassend ergibt sich als Aufgabenstellung für das vorliegende **Bund-Länder-Papier**:

1. **Abschätzung der standortbedingten potenziellen Gefährdung** hinsichtlich Schadverdichtung und Erosion. Sie ist Voraussetzung, um in Verbindung mit der zu ermittelnden **aktuellen Gefährdung zum Zeitpunkt der Bodenbearbeitungs-, Bestell-, Ernte- und Transportmaßnahme** die geringstmögliche Druckbelastung auf den Boden zu erreichen. Zur Erzielung eines optimalen Schutzes vor Bodenerosion ist sie, in Verbindung mit der einzuschätzenden **nutzungsbedingten tatsächlichen Gefährdung im Verlaufe einer Fruchtfolge**, Voraussetzung für eine wirksame Maßnahmenkombination.
2. **Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Schutzmaßnahmen** für die Vorsorge

gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Dabei sind die folgenden **Handlungsempfehlungen** zu den Grundsätzen Nr. 3 und 4 des § 17 Abs. 2 des BBodSchG weiter auszugestalten, um sie im Einzelfall konkretisieren und umsetzen zu können:

- **Bodenverdichtungen** sind, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, des Bodengefüges, der Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks, soweit wie möglich zu vermeiden;
- **Bodenabträge** sind durch eine standortgemäße Nutzung, insbesondere durch Berücksichtigung der Hangneigung, der Wasser- und Windverhältnisse sowie der Bodenbedeckung, möglichst zu vermeiden.

Die Handlungsempfehlungen und Schutzmaßnahmen müssen von vornherein und unter Beachtung des Restrisikos bzw. des unerwünschten Risikos darauf gerichtet sein, das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu verhindern, die durch die jeweilige Bodennutzung selbst oder in deren Einwirkungsbereich hervorgerufen werden können. Die Handlungsempfehlungen nennen auch Maßnahmen zur Gefahrenabwehr für den Fall, dass schädliche Bodenveränderungen bereits eingetreten oder zu erwarten sind bzw. dass für ihr Eintreten ein nicht mehr hinnehmbares Risiko besteht.

3. **Bereitstellung von Indikatoren** für die Beurteilung des Ausgangszustandes und Bewertung der Wirksamkeit der Maßnahmen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung und Bodenerosion.

Zur Erreichung der Zielsetzungen sollen notwendige und praktisch erprobte Methoden, Instrumente, Modelle und Computerprogramme sowie Vorgehensweisen dienen, welche hinreichend ausführlich für die Nutzung in Praxis und Beratung beschrieben werden. Beispiele für konkrete Lösungen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion aus den Ländern dienen der Anregung und Wissensübertragung.

Die entsprechenden **Handlungsempfehlungen** müssen in Verbindung mit geeigneten und erprobten **Bodenzustandsindikatoren**

- standortangepasst,
- wissenschaftlich abgesichert,
- aufgrund praktischer Erfahrungen geeignet, durchführbar, als notwendig anerkannt und wirtschaftlich tragbar sein.

Die Ausführungen zur guten fachlichen Praxis sollen zudem das **Problembewusstsein für die Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und**

Bodenerosion sowie die Akzeptanz notwendiger Maßnahmen fördern. Das Bund-Länder-Papier zielt auf Landwirte, Berater, Behörden und die Ausbildung.

Für die Nutzer und die Öffentlichkeit soll deutlich werden, dass insbesondere die Handlungsempfehlungen der guten fachlichen Praxis und die Indikatoren im ökosystemaren Sinne den Umweltqualitätszielen für den Boden, die Atmosphäre und Hydrosphäre sowie der anzustrebenden Biodiversität und Habitatvielfalt in der Agrarlandschaft gleichzeitig Rechnung tragen.

2.2 Literatur

ANONYM (1997): Düngemittelgesetz vom 15. November 1977 BGBl I, S. 2134, zuletzt geändert am 17.12.1999, BGBl I, S. 2451.

ANONYM (1998): BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ vom 24.3.1998 BGBl I, Nr. 16, S. 502-510.

ANONYM (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 BGBl I, Nr. 36, S. 1554-1582.

BML (1998): Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz. Broschüre des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten mit dem Wortlaut der im Bundesanzeiger Nr. 220a vom 21.11.1998 bekanntgegebenen Grundsätze für die Durchführung der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz.

BML (1999): Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung nach § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17. März 1998. Bekanntmachung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten vom 23.2.1999. In: ROSENKRANZ, D.; BACHMANN, G.; EINSELE, G.; HARREß, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz. Kennziffer 8021; Erich Schmidt Verlag, Berlin.

HOLZWARTE, F.; RADTKE, H.; HILGER, B.; BACHMANN, G. (2000): Bundes-Bodenschutzgesetz/Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Handkommentar; Erich Schmidt Verlag, Berlin.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BODENSCHUTZ IM BMU (2000): Wege zum vorsorgenden Bodenschutz: Fachliche Grundlagen und konzeptionelle Schritte für eine erweiterte Boden-Vorsorge; Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Inhalt Kapitel 3

Seite

3. Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen 12

C. Sommer, R. Brandhuber, J. Brunotte u. W. Buchner

3.1 Sachstand 12

3.1.1 Definition und Bedeutung 12

3.1.2 Bestimmung von Bodenverdichtung 15

3.1.3 Auslösende Faktoren für Schadverdichtung durch Befahren 16

3.1.4 Verbreitung von Schadverdichtungen 18

3.1.5 Schadverdichtungen im Unterboden – ein EU-Lösungsansatz 21

3.1.6 Modelle zur Abschätzung der potenziellen Verdichtungsgefährdung 22

3.1.6.1 Das Verfahren „Vorbelastung“ 22

3.1.6.2 Das Verfahren „Belastungsquotient“ 23

3.1.6.3 Das Verfahren „SchadVerdichtungsGefährdungsklassen (SVGK)“ 23

3.1.7 Technische Entscheidungshilfen zur aktuellen Befahrbarkeit in situ 24

3.1.8 Schlussfolgerungen aus dem Sachstand 24

3.2 Maßnahmen der guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen 25

3.2.1 Handlungsempfehlungen zum Konzept für bodenschonendes Befahren 25

3.2.1.1 Anwendung und Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten 25

3.2.1.2 Anpassung von Arbeitsverfahren 26

3.2.1.3 Verbesserung der Tragfähigkeit des Bodens 28

3.2.1.4 Begrenzung der mechanischen Belastung 29

3.3 Beispiele für Schutzmaßnahmen in Fruchtfolgen 30

3.3.1 Gefügestabilisierung am Beispiel ausgewählter Fruchtfolgen 31

3.3.1.1 Fruchtfolge (Niedersachsen): Zuckerrüben – Winterweizen –
Winterweizen – Wintergerste, J. Brunotte 31

3.3.1.2 Fruchtfolge (Nordrhein-Westfalen): Silomais – Winterweizen –
Winterroggen / Triticale – Ackerfutterbau, W. Buchner 32

3.3.2 Ein Beratungsbeispiel für den Ansatz
„Druckbelastungsquotient“ (Thüringen), R. Paul 32

3.3.3 Ein Beratungsbeispiel für den Ansatz
„SchadVerdichtungsGefährdungsklassen“ (Brandenburg), H. Petelkau u. K. Seidel 34

3.4 Literatur (verwendete und weiterführende Literatur) 38

3. Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen

C. Sommer, R. Brandhuber, J. Brunotte u. W. Buchner

3.1 Sachstand

In der pflanzlichen Produktion steigen mit größer werdenden Ackerbaubetrieben sowie mit der zunehmenden Bedeutung des überbetrieblichen Einsatzes von Maschinen und Geräten die Anforderungen an Zugkraft und Leistungsbedarf. Diesen genügen heute leistungsstarke Ackerschlepper, Erntemaschinen und Transportfahrzeuge. Höhere Zugkräfte oder größere Bunkerkapazitäten haben allerdings höhere Radlasten zur Folge. Sie nehmen zwar bei heutigen Schleppern mit der Leistung nur degressiv zu, erreichen jedoch in der Klasse ab 150 kW über 4 t, bei selbstfahrenden Erntemaschinen sogar 12 t.

Derart hohe Radlasten bergen das Risiko von Bodenschadverdichtungen auch in größeren Bodentiefen in sich, wenn Böden unter feuchten Bodenbedingungen befahren werden. Um die Produktions-, Regelungs- und Lebensraumfunktionen der Böden nachhaltig zu sichern, müssen Bodenschadverdichtungen vorsorgend vermieden werden.

3.1.1 Definition und Bedeutung

Bodenverdichtung ist eine Gefügeveränderung. Sie äußert sich in einer funktionalen Änderung der Eigenschaften des Porensystems. Sie wird beim Befahren durch Druck- und Schubspannungen im Boden ausgelöst. Im häufigsten Fall dominieren Druckspannungen, und die Verdichtung äußert sich in einer Dichtezunahme bzw. Abnahme des Porenvolumens. Bei Dominanz der Schubspannungen kann die Verdichtung aber auch eine Folge der Umverteilungen des vorhandenen Porensystems bei gleichbleibendem Porenvolumen sein. Bodenverdichtung ist also ein komplexer Vorgang, bei dem das Bodengefüge sein Volumen und / oder seine Gestalt ändert, je nachdem, welche Art der Belastung auf den Boden einwirkt

und in welchem Gefügestand der Boden sich vor der Belastung befand.

Umfassende Übersichtsbeiträge zu der Problematik „Bodenverdichtung“ liegen vor: Barnes et al. (1971), Korda (1987), Berichte über Landwirtschaft (1991), Soane und van Ouwerkerk (1994), Horn et al. (2000). Nach Dürr et al. (1995) stellen Bodenverdichtungen ein zunehmendes Problem in der pflanzlichen Produktion dar. Voraussetzung für eine Problemanalyse sowie für die Ableitung von Problemlösungen ist zunächst die strikte Unterscheidung zwischen der mechanischen Belastung, der Beanspruchung und der Verdichtung des Bodens (Abb. 1).

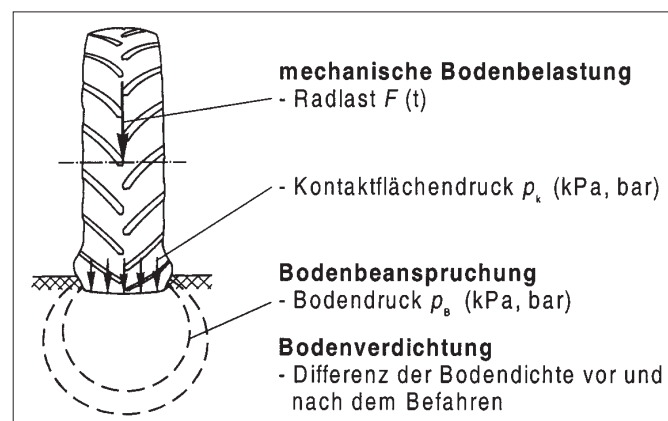


Abb. 1: Zur Belastung, Beanspruchung und Verdichtung des Bodens (Sommer, 1985)

Die Belastung wird mit der Radlast in t und / oder mit dem Kontaktflächendruck in der Berührungsfläche Laufwerk / Boden in kPa (100 kPa = 1 bar) angegeben. Die Folgen einer Belastung sind während des Befahrens mechanische Spannungen (Söhne, 1953) im Boden – die Bodenbeanspruchung. Wenn die Bodenbeanspruchung die Eigenstabilität des Bodengefüges übersteigt, sind die Folgen eine Abnahme und eine

Gestaltsänderung des Porenraumes (Porenvolumen, Porenziffer). Das Ausmaß hängt von einer Reihe von internen und externen Bodenparametern ab (Horn, 1981). Je tragfähiger (dicht, trocken) der Boden während des Befahrens ist, um so geringer sind die Folgen einer Belastung. Wenn ein „minimaler“ Wert für zulässiges – mit Blick auf Pflanzenwachstum, Ertrag und weitere Bodenfunktionen – Porenvolumen (z. B. 40 Vol.-% in Abb. 2) vorzugeben wäre, ließe die Verdichtungskurve theoretisch den maximal zulässigen Bodendruck (280 kPa in Abb. 2) abgreifen.

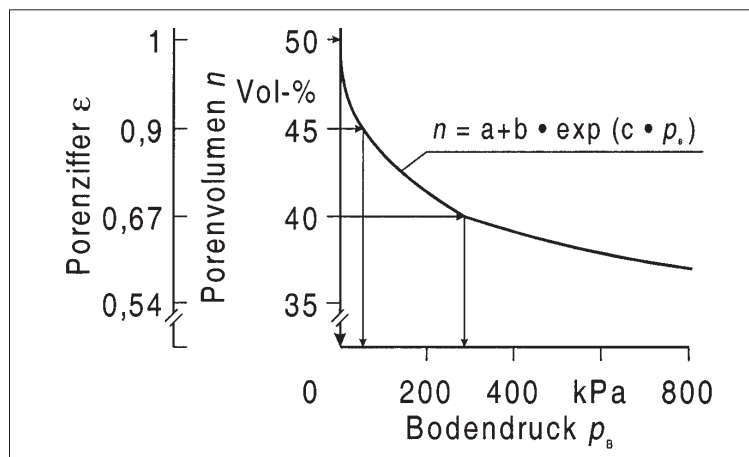


Abb. 2.: Die Verdichtungskurve eines Bodens: Abnahme der Porenziffer in Abhängigkeit vom Bodendruck im Kompressionstest (Sommer, 1974)

Es gibt jedoch für einen Boden nicht die Verdichtungskurve schlechthin. Böden haben je nach Gefügeausprägung und Bodenfeuchte unterschiedliche Verdichtungsverhalten. Ein aus einer Verdichtungskurve abgeleiteter – theoretischer – maximal zulässiger Druck hätte immer nur für einen konkreten Gefüge- und Feuchtezustand Gültigkeit. Außerdem können Porenvolumen/ Bodendichte auch nur als grobe Bewertungsparameter dienen (Letey, 1984). Mit ihnen sind die Ansprüche der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand nicht ausreichend zu beschreiben (nach Hartge und Sommer, 1980, und Mc Kyes, 1985, gibt es das optimale Porenvolumen nicht), da sie nur indirekten Einfluss nehmen. Entscheidend sind die direkten Einflussgrößen (Bodenwasserhaushalt, Luft, Wärme, mechanischer Widerstand), welche im Bodenprofil räumlich und zeitlich variieren. Deshalb kommt dem aktuellen Bodenzustand zum Zeitpunkt des Befahrens bei der praxisrelevanten Lösung des Problems Verdichtung in der pflanzlichen Produktion besondere Bedeutung zu.

Nur in schwach aggregierten sandigen und bearbeiteten Krümelböden bestehen engere Beziehungen zwischen Bodenlagerungsdichte (im Folgenden: Bodendichte) und pflanzenbaulich relevanten Bodeneigenschaften wie Makro-

porosität, Luftpermeabilität und Durchdringungswiderstand. Bodendichtewerte sind deshalb nur bodenart- und bearbeitungsspezifisch interpretierbar. Zahlreiche Bemühungen, substratspezifische Sollwerte der Bodendichte (bzw. Porosität) als Zielgrößen für die Steuerung der Bodenbearbeitung zu verwenden, scheiterten auch daran, dass es bis heute nicht gelungen ist, einfache Messverfahren zu entwickeln.

Als **Bodenschadverdichtung** wird diejenige Bodenverdichtung bezeichnet, deren Gefügeveränderung negative Auswirkungen auf Bodenfunktionen hat. Eine Zunahme der Bodendichte ist grundsätzlich noch keine Schadverdichtung, führt doch der linke Ast der Ertragsparabel (Abb. 3) mit zunehmender Bodendichte zu höherem Pflanzenertrag. Dies ist der Grund, warum der Landwirt etwa bei zu lockerem Saatbett eine „Rückverfestigung“ (mit Packer oder Walze) vorsieht, die für die Wasserversorgung des Keimlings und der jungen Pflanze von außerordentlicher Bedeutung sein kann. Erst nach Erreichen eines Dichtemaximumbereichs führt weitere Dichtezunahme zu einem Ertragsrückgang.

Die **Aggregation** von Böden hat im Hinblick auf Bodenverdichtung eine besondere Bedeutung. Gut strukturierte, in stabile Aggregate gegliederte Böden weisen einen erhöhten Widerstand gegen Verformung auf. Die Scherfestigkeit aggregierter, bindiger Böden umfasst zusätzlich zur substratabhängigen Komponente einen durch die Aggregatstabilität bedingten Anteil. Höhere Belastung zerstört die Aggregatstruktur. Werden stark verdichtete Bodenhorizonte und -schichten durch Bearbeitungswerkzeuge aufgebrochen, entstehen Aggregatgemische aus Bruchstücken (Fragmente), die sich sowohl in der Größenverteilung als auch vor allem in ihrer „inneren Dichte“ von gegliederten Aufbau- und Absonderungsstrukturen unterscheiden.

Der **Wasser- und Lufthaushalt** der Böden wird durch Schadverdichtungen gravierend beeinflusst. Die *Porengrößenverteilung* ändert sich in der Weise, dass weite Grobporen zu wasserhaltenden engen Grobporen und kapillaren Mittelporen verengt werden. Bei mäßiger Verdichtung steigt die *Feldkapazität* (als Volumenanteil) zunächst an. Fortschreitende Verdichtung führt jedoch zu einem Rückgang des *Wasserspeichervermögens*.

Insbesondere in kolloidreichen Böden vermindert sich bei starker Verdichtung der pflanzennutzbare Wasservorrat bei Feldkapazität (nFK) durch überproportionalen Anstieg des

gefügeabhängigen hygroscopisch gebundenen Totwassers.

Die Schadverdichtung reduziert Porendurchmesser und Porenkontinuität. Daraus resultieren:

- Rückgang der *Wasserleitfähigkeit* im gesättigten und ungesättigten Boden (Wasserstau bei Nässe, ungenügender Wasserfluss bei Trockenheit);
- Eingeschränktes *Infiltrationsvermögen* (Erosionsgefahr, Unterbrechung des Gasaustausches);
- Zu geringe *Luftkapazität und Luftdurchlässigkeit* (gestörte Boden- und Wurzelatmung bei hoher Feuchte, behinderte Wurzel ausbreitung);
- Unzureichendes Potenzial für den Gaswechsel durch Diffusion (Sauerstoffmangel für Pflanzenwurzeln und aerobe Bodenlebewesen, Reduktionszonen, Denitrifikation).

Zur Beschreibung des **Stabilitätszustandes des Bodengefüges** wird in der Bodenmechanik von unterschiedlichen Arten der Verdichtung ausgegangen. Eine Normalverdichtung liegt vor, wenn sich ein Gleichgewicht zwischen der Eigenlast und dem aus Kohäsions- und Reibungskräften bestehenden Scherwiderstand des Bodens eingestellt hat. Eine zusätzliche mechanische Belastung, die den Verformungswiderstand des Bodens übersteigt, bewirkt eine Überverdichtung. Der Zustand der Normalverdichtung liegt bei Ackerböden grundsätzlich nur im gelockerten Krumbereich vor, während natürlich gelagerte Unterböden durch Belastungen landwirtschaftlicher Nutzung sowie durch sommerliche Austrocknung überverdichtet sind.

Schon im Hinblick auf die **Produktionsfunktion** des Bodens – s. Abb. 3 – ist es deshalb nicht leicht, eine Schadverdichtung genau zu ermitteln. Aus dem grundsätzlichen Zusammenhang zwischen dem relativen Pflanzenertrag und der Bodendichte ist qualitativ zu schließen, dass zunehmende Bodendichte am rechten Ast der Parabel zu Schadverdichtungen führen muss, da erhebliche Ertragsminderungen die Folge sind. Nach Petelkau (1984) ergeben sich für bearbeitete Ackerböden relativ straffe, substratabhängige Zusammenhänge zwischen Pflanzenertrag und Bodendichte für bestimmte Bodenbedingungen. Er gibt „obere Grenzwerte des optimalen Lagerungsdichtebereichs“ für die Ackerkrume bearbeiteter Flächen an. Werte darüber hinaus wären demnach als Schadverdichtungen hinsichtlich des Pflanzenertrags anzusehen. Sie müssen jedoch aus o. g. Gründen (grober Bewertungsparameter!) durch zusätzliche Angaben ergänzt werden, etwa zur Luftkapazität (Czeratzki, 1972) und zur Luft- und Wasserdurchlässigkeit (Werner

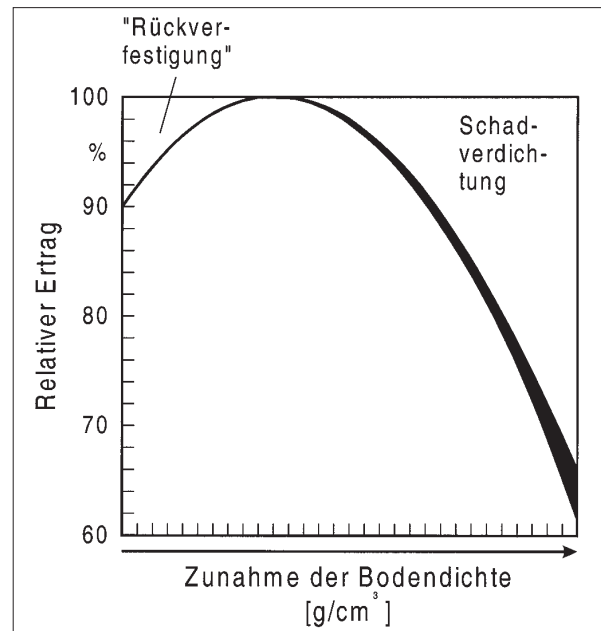


Abb. 3: Beziehung zwischen Pflanzenertrag und Bodendichte für eine Bodenart und Bodenfeuchte

und Reich, 1993). Je nach Ausprägung der Schadverdichtung ist mit Ertragsausfällen von 5-40 % zu rechnen (Dürr et al., 1995). Häufig sind Ertragsdifferenzen im Feld zwischen „befahren“ und „unbefahren“ gering und statistisch nicht abzusichern. So kann Düngung die Wirkung einer Schadverdichtung überdecken.

Schlepperradsohlen (Krumbasisverdichtungen unterhalb der Bearbeitungstiefe) können funktionale Gefügeeinschränkungen darstellen, deren technische Beseitigung bei gleichbleibenden Bewirtschaftungsbedingungen kaum dauerhaft möglich ist. Im trockenen Zustand sind sie Hindernisse für die Wurzeln, im feuchten Bodenzustand verringern sie die vertikale Wasserdurchlässigkeit und fördern die Vernässung der darüber liegenden Schicht. In Jahren mit sehr feuchtem Frühsommer und sehr trockenem Spätsommer sind sie allerdings bei lehmigen Sandböden förderlich für die Wasserverfügbarkeit der Pflanzen. Ihre mögliche Schadwirkung hängt also nicht nur von den rein physikalischen Bodenbedingungen ab, sondern steht in Wechselwirkung mit dem Klima.

Das Risiko für Unterbodenschadverdichtungen hat generell in den vergangenen Jahren durch den Einsatz von hohen Radlasten (etwa bei Zuckerrübenrodern) unter feuchten Bedingungen zugenommen. Håkansson (1994) hat darauf mit langjährigen Feldversuchen hingewiesen. Derzeit wird hierzu ein EU-weites „Concerted Action“-Programm durchgeführt.

Die Auswirkungen von Bodenschadverdichtung auf die **Regelungsfunktionen** des Bodens beziehen sich auf die mechanische Rückhaltung von Stoffen, die Adsorption als Bodenaustau-

scher, die chemische Fällung als Pufferung, die Umwandlung oder den Abbau als Transformation (Blume, 1990), die Stoffverlagerung sowie, für den Landschaftswasserhaushalt, auf Oberflächenabfluss, Versickerung u. a.. In groben Poren werden Partikel mit dem Sickerwasser abwärts verlagert, in kleineren Poren dagegen gefiltert. Die Pufferungseigenschaften hängen vor allem von Tonmineralen und Huminstoffen ab, der Um- und Abbau organischer Stoffe wird maßgeblich vom Luft-, Wasser- und Wärmehaushalt des Bodens bestimmt, die wiederum von der Dichtlagerung des Bodens beeinflusst werden.

Wird die Ausbreitung der Wurzeln infolge Schadverdichtung beeinträchtigt, sinkt die Wasser- und damit Nährstoffaufnahme. Dies kann zu erhöhten Nährstoffverlusten durch Auswaschung und Denitrifikation führen (Dürr et al., 1995). Vertikal orientierte, kontinuierliche Makroporen im Bodenprofil bei dichter Bodenmatrix können zu einem Verlagerungsrisiko führen.

Bodenschadverdichtungen engen den **Lebensraum** der meisten Bodentiere ein (Larink et al., 1995). Dies bedeutet einen Rückgang der Arten- und Individuenzahlen. Für Regenwürmer gilt, dass offenbar die flachgrabenden Formen Verdichtungen besser vertragen als die tiefgrabenden. Stark verdichteter Boden wird bei einer Ausweichmöglichkeit gemieden, da dort auch bei feuchtem Boden der notwendige Energieaufwand, welcher von den Tieren aufzubieten ist, zu hoch ist. Auch die Bodenmikroorganismen können durch Verdichtung beeinträchtigt werden. Dies steht im Zusammenhang mit den entsprechenden Veränderungen des Nahrungsangebots, der Nahrungsverteilung, des Wasser- und Lufthaushaltes im Boden. Schließlich tragen Bodenschadverdichtungen zur Förderung von Erosionsprozessen bei.

Als **Bodenschadverdichtung** wird diejenige Bodenverdichtung bezeichnet, deren Gefügeveränderung negative Auswirkungen auf die Produktionsfunktion (Ertrag, Kosten), die Regelungsfunktion (Infiltration, Stoffverlagerung) und die Lebensraumfunktion (Bodentiere) des Bodens hat.

Für die Kennzeichnung einer **Bodenschadverdichtung** reicht die Angabe eines Wertes zur Bodendichte im Normalfall alleine nicht aus. Angaben zum Bodenwassergehalt, zur Luft- und Wasserleitfähigkeit, zur Wärmekapazität sowie zum mechanischen Bodenwiderstand müssen hinzukommen.

Bodenschadverdichtungen können insbesondere durch zu hohe Radlasten/Kontaktflächendrücke und mehrfaches Überrollen derselben Spur sowie in der Krumbasis durch das Furchenrad beim Pflügen entstehen, wenn beim Befahren der Boden zu feucht bzw. zu locker ist.

3.1.2 Bestimmung von Bodenverdichtung

Methoden zur Bestimmung von Bodenverdichtung sind in Methodenbüchern beschrieben (etwa: Hartge und Horn, 1992) und z. T. standardisiert. Grundlage ist weniger die enge Definition „Zunahme der Bodendichte“, sondern vielmehr die weitere Definition nach Altemüller (1962). Er versteht das Bodengefüge als „die Ordnung der Bodengemeingeteile, betrachtet als Bauelemente des Bodens in gestaltlicher, in funktionseller und in genetischer Hinsicht, unabhängig von den Größenordnungen und unabhängig von der stofflichen Beschaffenheit“. Demnach gehört zu einer Schadverdichtung nicht nur die Zunahme der Bodendichte in g/cm^3 , sondern wesentlich sind die Auswirkungen auf Bodenfunktionen.

Durch Verdichtung nehmen Größe und Anzahl der Makroporen ab, und es ändern sich Form und Kontinuität der Poren (Ehlers et al., 1983). Dürr et al. (1995) fassen die Aussagen zu Messparametern für die Kennzeichnung einer Bodenverdichtung zusammen.

Grundlegende Einsichten in verdichtungsbedingte Veränderungen der Porenraumgliederung bieten mikromorphologische Gefügeuntersuchungen mittels Dünn- oder Anschlifftechnik, (Elektronen-) Mikroskopie, Röntgenanalytik und Computertomographie in Verbindung mit Bildauswertesystemen.

Mit verschiedenen Methoden zur Messung der **Bodenfestigkeit** ist messgerätespezifisch der Verformungswiderstand des Bodens gegen Druck-, Scher- und Zugbeanspruchung zu kennzeichnen. Bodenfestigkeitsmesswerte sind mehrfaktoriell vom Bodensubstrat, vom Bodenwassergehalt, von der Lagerungsdichte und vom Strukturzustand abhängig.

Die größte Verbreitung zur Messung haben *Penetrometer* gefunden. Sonden mit meist kegelförmigen Spitzen werden manuell, mittels Motorkraft oder hydraulisch in den Boden getrieben. Die benötigte Kraft wird tiefenabhängig gemessen und als Eindring- bzw. Durchdringungswiderstand registriert. Bei Untersuchungen der Bodenverdichtung durch Fahrwerke eignen sich Penetrometer für Vergleichsuntersuchungen vor und nach der Bodenbelastung in engem Raster. Sie ermöglichen die Auswahl charakteristischer Probenahmestellen für aufwendigere bodenphysikalische Messungen. Bei Berücksichtigung des Substrat- und Feuchteprofils lassen sich auf sandigen Standorten Festigkeitsmesswerte auf die Bodendichte zurückführen.

Um die Verteilungen des mechanischen Bodenwiderstandes auf landwirtschaftlichen

Flächen zu ermitteln, wurden traktorgezogene Horizontalsonden zur schichtweisen, mobilen Messung des Durchdringungswiderstandes entwickelt. Bodenfestigkeitsmessungen werden vorrangig mit dem Ziel vorgenommen, Wurzelwachstum hemmende Bodenschichten zu kennzeichnen bzw. die Notwendigkeit von Lockerungsmaßnahmen festzustellen.

Diez (1991) entwickelte ein einfach zu handhabendes Schema zur Gefügebeurteilung im Feld, das die "Görbingsche Spatendiagnose" weiterentwickelt, vereinfacht und objektiviert. Beurteilt werden das Gefüge der Oberfläche, der Krume und des Unterbodens. Gliederungskriterien sind die Gefügeform (Einzelkorn, Kohärent-, Krümel-, Bröckel- und Polyedergefüge) und sonstige Merkmale (Wurzeln, Farbe, Geruch, Ernterückstände, Röhren/Klüfte, Übergänge). Die Bewertung orientiert sich an der Eignung des Gefüges für das Pflanzenwachstum und umfasst fünf Stufen (1 = sehr günstig, 5 = sehr ungünstig). Die Einordnung der Merkmale wird durch Beschreibung, Größenangaben und bildliche Darstellungen zu objektivieren versucht. Das Beurteilungsschema ist geeignet, in der für praktische Bedürfnisse gebotenen Schnelligkeit Gefügemängel und gefügebedingte Wachstumsstörungen näherungsweise zu erkennen, daraus die notwendigen Eingriffe in das Bodengefüge abzuleiten und das Ergebnis der Bearbeitungsmaßnahmen zu kontrollieren.

Die technologische Verdichtung land- und forstwirtschaftlicher Böden erfolgt durch die Einwirkung von Fahrwerken und Bearbeitungswerkzeugen in Form von Momentbelastungen. So kommt es beim wiederholten Befahren derselben Spuren und bei gleicher Belastungshöhe zu weiteren Verdichtungszunahmen. Die Häufigkeit technologischer Kurzzeitbelastungen ist in der mechanisierten Pflanzenproduktion demzufolge ein bedeutender Verdichtungsfaktor. Dazu werden in jüngerer Zeit Untersuchungen mit Druckmesskörpern in situ eingesetzt (Horn und Semmel, 1994; Arvidsson und Andersson, 1997).

Als **Methoden** zur Bestimmung von Boden(schad)verdichtung werden im Wesentlichen entweder Bodenproben (zum "Vor- und Nachvergleich") entnommen oder "zerstörungsfreie" Möglichkeiten (Penetrometer o. ä.) eingesetzt. Mit so ermittelten Ergebnissen ist es möglich, nach dem Befahren Gefüge- bzw. Funktionsänderungen zu ermitteln und entsprechend zu bewerten. Für den Praktiker stehen letztlich nur die Handsonde und die Bodensprache unter Zuhilfenahme des Spatens zur Verfügung.

3.1.3 Auslösende Faktoren für Schadverdichtung durch Befahren

Für die folgenden Ausführungen ist an Abb. 1 anzuknüpfen.

Belastung des Bodens

Für die Betrachtung der *Bodenbelastung* ist es im Hinblick auf die Ableitung praxisrelevanter Schlussfolgerungen wichtig, die Belastung des Bodens sowohl mit der **Radlast** als auch mit dem **Kontaktflächendruck** und der **Überrollhäufigkeit** anzusprechen.

Die statische *Radlast* ist, im Gegensatz zur eigentlich maßgebenden dynamischen Belastung plus Radschlupf, durch Wägung relativ leicht zu bestimmen. Rad- bzw. Achslast bilden die Grundlage zur Bestimmung der Bodenbelastung in der Spur. Während diese mit steigender Leistungsfähigkeit der Maschinen und Fahrzeuge ansteigt, ändern sich die Verhältnisse mit größeren Arbeitsbreiten, wenn die durchschnittliche Bodenbelastung je ha betrachtet wird (Olfe und Schön, 1986). Die Fahrstrecken je ha nehmen mit steigender Schlepperleistung ab, das flächenbezogene Produkt, das aus Masse der Schlepper-Geräte-Kombination und Fahrstrecke (Håkansson, 1994) bei den Feldarbeiten in Abhängigkeit von der Schlepperleistung gebildet wird, nur wenig zu. Diese Kenngrößen werden zur vergleichenden Beurteilung von gesamten Produktionsverfahren verwendet (Olfe, 1995). Dazu ist es erforderlich, die Höhe, die Häufigkeit und die Verteilung der auftretenden Kräfte zu bestimmen.

Die Radlasten sind abhängig von

- ▶ der technischen Auslegung der verwendeten Schlepper, Maschinen und Geräte,
- ▶ der angewandten Produktionstechnik, durch die Art und Häufigkeit der durchzuführenden Arbeiten bestimmt werden,
- ▶ der Bodennutzung, da für die einzelnen Kulturen die anzuwendenden Produktionstechniken sehr unterschiedlich sein können,
- ▶ der Schlepper- und Maschinenausstattung der Betriebe.

Heutige Belastungen in der Spur zeigt Abb. 4 in Abhängigkeit von der eingesetzten Motornennleistung.

Bei der Zuckerrübenenernte ergeben sich heute Fahrzeugparameter nach Abb. 5.

Aus der Höhe der Radlast und der Größe der Radaufstandsfläche ergibt sich als Quotient der mittlere *Kontaktflächendruck* P_K in der Fahrspur. Beispiele für die Änderung des Kontaktflächendrucks bei einer Radlast von 2,6 t zeigt Abb. 6. Für den Kontaktflächendruck ergibt sich in die-

sem Beispiel bei einer Normalbereifung ein Wert von 1,73 bar und bei einer Zwillingbereifung von 0,84 bar. Die noch größere Aufstandsfläche von 8.300 cm² des betrachteten Terra-Reifens führt in der Spur zu einem Kontaktflächendruck von 0,51 bar.

Betrag und Richtung dieser Belastungskenngröße hängen von einer Reihe von Parametern (neben Radlast, Triebkraft und Aufstandsfläche: Reifeninnendruck, Reifenbauart, Schlupf, Fahrgeschwindigkeit und Schwingungen) wie auch von Bodeneigenschaften ab. Da der Reifeninnendruck P_i besonderen Einfluss auf den Kontaktflächendruck P_k hat, sind empirische Gleichungen entwickelt worden (Bolling und Söhne, 1982), deren allgemeine Form vereinfacht lautet:

$$p_k = 1,25 \cdot p_i \dots$$

In erster Näherung liegt der mittlere Kontaktflächendruck um den Faktor 1,25 höher als der Reifeninnendruck. Allerdings sind solche Formeln ohne Einbeziehung von Bodenparametern nur sehr bedingt anwendbar, zumal auch die tatsächlich druckübertragende Reifenfläche unberücksichtigt bleibt. Da die exakte Kontaktfläche schwer zu bestimmen ist, wird n. Renius – zum Vergleich von Maschineneinheiten mit Vorteil – als Hilfsgröße der Projektionsdruck als der Quotient aus Radlast und Projektionsfläche des Reifens verwendet. Tatsächlich stehen auf fester Fahrbahn Projektionsdruck und Kontaktflächendruck in engem einfachen Zusammenhang, nicht dagegen auf nachgiebigem Boden.

Für Entscheidungen des Praktikers auf dem Feld im Hinblick auf eine "tolerierbare" Belastung ist wichtig, dass auf abgesetzten Ackerböden der Kontaktflächendruck in erster Näherung die Spurtiefe bestimmt. An ihr liest der Landwirt die Befahrbarkeit des Ackers ab, die maßgeblich von dem Bodenzustand abhängt.

Die Analyse der **Bodenbelastung** ergibt, dass die Bodenbearbeitung, insbesondere das Pflügen (wenn dabei in der Furche gefahren wird), in erheblichem Maße zur Gesamtbelastung beiträgt. Sehr hohe Belastungen treten außerdem bei der Ernte der Hackfrüchte und der Ackerfutterpflanzen sowie bei der Ausbringung von Gülle und Stallmist auf. Auch bei Übergabe des Erntegutes an nebenherfahrende Transportfahrzeuge wird der Boden stark belastet.

Die Vorbeugung gegen mögliche Bodenschadverdichtungen sollte an solchen Belastungsschwerpunkten ansetzen.

Beanspruchung des Bodens

Infolge eines aufgebracht Kontaktflächendruckes treten im Boden mechanische Spannungen

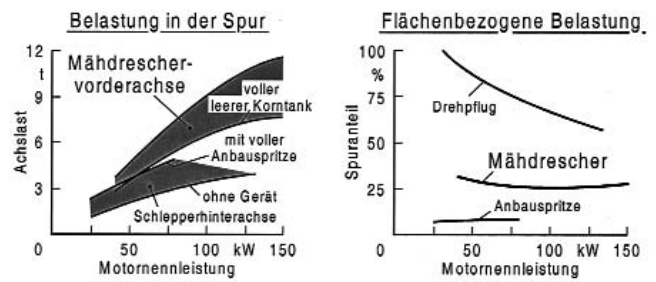


Abb. 4: Bodenbelastung bei ausgewählten Maschinen und Arbeiten (Olfe, 1995)

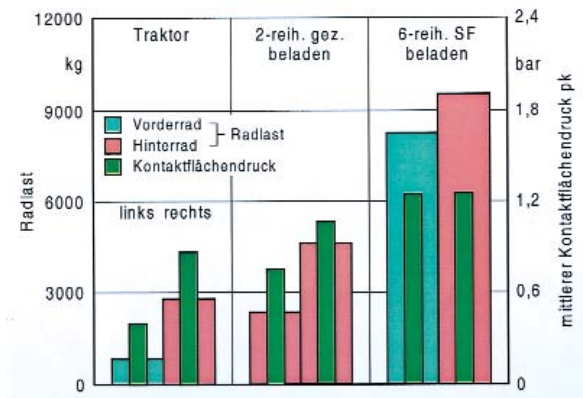


Abb. 5: Fahrzeugparameter von Zuckerrübenrodesystemen (Brunotte et al. 2000)

gen auf, deren Verlauf mit den Linien gleichen Bodendruckes (sogen. Druckzwiebeln) angegeben werden können. Söhne (1953) hat grundlegende Arbeiten auf dem Gebiet der landtechnischen Bodenmechanik veröffentlicht sowie die Spannungen im Boden für den landwirtschaftlichen Anwendungsfall berechnet und interpretiert.

Für die in Abb. 7 betrachteten einfachsten Beispiele einer senkrechten 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 die größere Radlast von 2 t im Beispiel b) 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





		Normal- bereifung 18.4-R - 38	Zwillings- bereifung 18.4-R - 38	Trelleborg TWIN 650 160 - 38	Terra-Reifen 66x43.00 - 25
					
Radlast	[t]	2,6	2 x 1,3	2,6	2,6
Reifeninnen- druck	[bar]	1,2	0,8	0,8	0,4
Aufstands- fläche	[m ²]	0,15	0,31	0,30	0,83
Kontakt- flächendruck	[bar]	1,73	0,84	0,87	0,51

Abb. 6: Kontaktflächendruck in Abhängigkeit von der Aufstandsfläche bei gleicher Radlast von 2,6 t

beanspruchen den Boden bis in größere Tiefen, auch wenn sie im Vergleich zu leichten 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 (Terra-Reifen) lässt sich mit erheblich reduziertem Kontaktflächendruck auch die Tiefenwirkung verringern.

Auch hängt die Druckfortpflanzung von der zeitlichen Dauer der Belastung sowie dem Wassersättigungsgrad des Bodens ab. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit reichen die Linien gleichen Druckes weniger tief in den Boden. Schnelleres Befahren bedeutet demnach Bodenschonung, vorausgesetzt, die Tragfähigkeit entspricht mindestens der wirksamen Spannung.

Schließlich kommt der Überrollhäufigkeit besondere Bedeutung zu: Wird der Boden durch mehrfaches Befahren in derselben Spur mit gleicher Radlast und gleichem Kontaktflächendruck wiederholt beansprucht, so entspricht dies einer stufenweisen Erhöhung der Radlast. Der Bodendruck steigt so, als wäre bei jeder Überfahrt die Radlast erhöht worden (Abb. 8).

Um den **Bodendruck** zu mindern, war in jüngerer Zeit bei steigendem Trend der Radlasten die Absenkung des Kontaktflächendruckes **die** Strategie gewesen (Breitreifen, Bandlaufwerke, "low ground pressure"-Systeme). Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass bei gleicher Radlast eine Absenkung des Kontaktflächendruckes weniger Auswirkung auf die Tiefenwirkung als vielmehr auf die

Minderung des Bodendruckes in der Ackerkrume hat. Unterbodenschadverdichtungen sind deshalb bei zunehmender Radlast nur mit überproportionaler Reduzierung des Kontaktflächendruckes vorzubeugen.

Den eigentlichen Schlüssel für das Problem unter feuchten Bedingungen stellt jedoch die vernünftige Begrenzung von Radlast, Kontaktflächendruck und Überrollhäufigkeit dar.

3.1.4 Verbreitung von Schadverdichtungen

Ruhm (1983) untersuchte die Bodendichte an 144 Ackerstandorten zu Anfang der 80er Jahre und verglich die Ergebnisse auf denselben Flächen mit Messungen aus den 50er Jahren (Abb. 9). In der Krume liegt das Porenvolumen wegen des geringeren Spurenanteils infolge größerer Arbeitsbreiten nach 30 Jahren höher. Zu beiden Zeitpunkten wurden Schlepperradsohlenverdichtungen nachgewiesen. Nach 30 Jahren hatten sich Unterschiede ergeben: 1982 lag die Sohle im Durchschnitt ca. 10 cm tiefer als 1952 und war ca. 3 Vol.-% dichter gelagert. Es wäre zu prüfen, ob sich diese Tendenz bis 2002 fortsetzt. Diese Abnahme des Porenvolumens unterhalb der Bearbeitungsgrenze war die Folge höherer Radlasten und Radschlupf insbesondere beim Pflügen.

Sonderhoff (1988) führte Untersuchungen zur Bodenstruktur unterschiedlich intensiv belasteter landwirtschaftlicher Flächen durch. Stark befahrene Marschböden unter Ackernutzung heben sich deutlich von natürlich belassenen Böden ab. Schlepperradsohlen sind in Ackerflächen, welche über Jahrzehnte gepflügt wurden, verbreitet (Abb. 9); in sandigen Substraten sind sie besonders stark ausgeprägt. Ausnahmen bilden stark tonige Böden. Die Untersuchungen führen zu dem Schluss, dass die Verdichtung insgesamt das

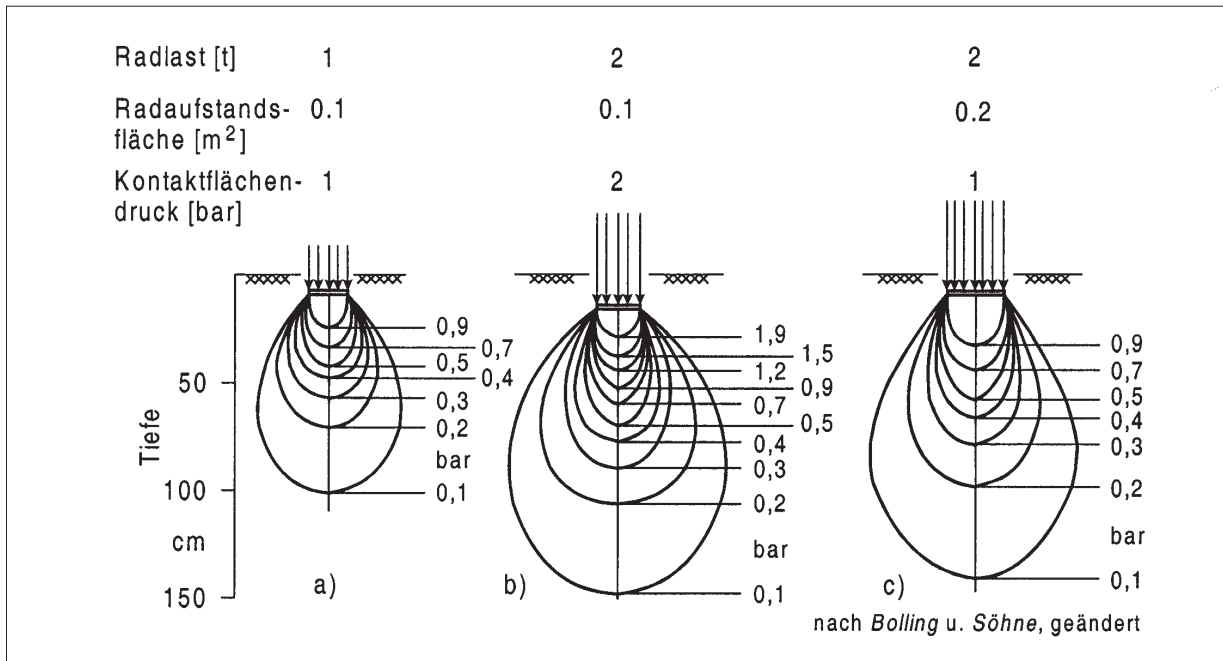


Abb. 7: Druckwiebeln in drei verschiedenen Spuren (Bolling und Söhne, 1982)

Pflanzenwachstum nicht beeinträchtigt und nur in mehrfach belasteten, schwer bearbeitbaren Böden mit Luftmangel zu rechnen ist.

Eine umfassende Aufnahme und Beurteilung von Bodeneigenschaften führten Horn et al. (1991) durch. Sie untersuchten die mechanische Belastbarkeit repräsentativer ackerbaulich genutzter Böden und einiger Waldböden auf 37 Standorten. Sie kommen zu dem Schluss, dass die unter Ackernutzung stehenden Böden dichte, verfestigte Horizonte als Folge anthropogener Eingriffe in die Bodenstruktur durch Befahrung und Bodenbearbeitung aufweisen. Vor allem in den Tiefenbereichen der Schlepperradsöhlen (25 bis 30 cm) und darunter liegen Dichtezonen mit reduzierten Durchlüftungsbedingungen und hohen Eindringwiderständen vor.

Das Problem 'Schadverdichtung' ist in landwirtschaftlich genutzten Böden ein Phänomen, das bewirtschaftungsbedingt und situationspezifisch auftritt, wenn der Boden unter feuchten Bedingungen mit schweren Maschinen, Geräten und Ackerwagen (Ernte im feuchten Spätherbst, Gemüsebauflächen mit Beregnung u. a.) befahren wird. Auch die Wirkung des Furchenrades beim Pflügen ist hinsichtlich der Bildung von Schadverdichtungen ein wichtiger Faktor.

Niedermoore nehmen in Deutschland eine Fläche von etwa 1 Mio. ha ein, darunter 450.000 ha in Nordostdeutschland (Prochnow et al., 1999). Diese Standorte erfüllen wichtige ökologische Funktionen im Wasser- und Nährstoffhaushalt der Landschaft sowie als Lebensraum für Pflanzen- und Tierarten. Sie werden überwiegend landwirtschaftlich und als Grünland genutzt.

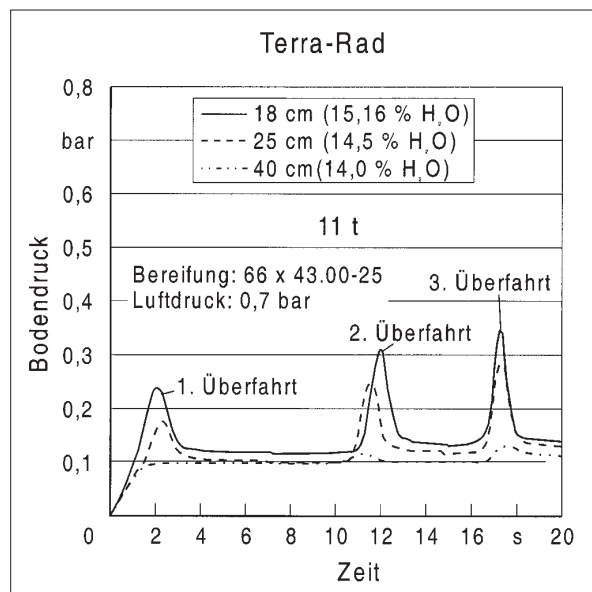


Abb. 8: Mehrfache Überrollung der gleichen Spur erhöht den Bodendruck

Niedermoorgrünland gehört zu den bewachsenen organischen Böden. Diese sind hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit im Gegensatz zu mineralischen Ackerböden dadurch charakterisiert, dass sich an der Oberfläche eine durchwurzelte Schicht mit hoher Festigkeit befindet, während der darunter liegende Torf eine wesentlich geringere Festigkeit aufweist. Die Zerstörung der Grasnarbe durch mechanische Belastung führt daher zu einer erheblichen Abnahme der Tragfähigkeit und ist sowohl aus fahrmechanischen als auch aus ökologischen Gründen zu vermeiden. Die kritische Fahrspurtiefe, bei der die Grasnarbe durchbricht, ist abhängig von der Tiefe der durchwurzelten Schicht und beträgt auf Niedermoorgrünland in der Mehrheit der Fälle 7 cm.

Das angepasste Befahren von Niedermoorgrünland ist vor allem ein ökonomisches Problem. Auch wenn die Technikanpassung anhand der Standortbedingungen erfolgt und hinsichtlich der Kosten optimiert wird, entstehen Mehraufwendungen. Erhebungen in Niedermoorgebieten Brandenburgs zeigen, dass der vorhandene Technikbestand überwiegend hohe und sehr hohe Belastungen verursacht. Damit besteht zwangsläufig die Notwendigkeit zur starken Absenkung der Grundwasserstände während der Bewirtschaftungszeitspannen mit

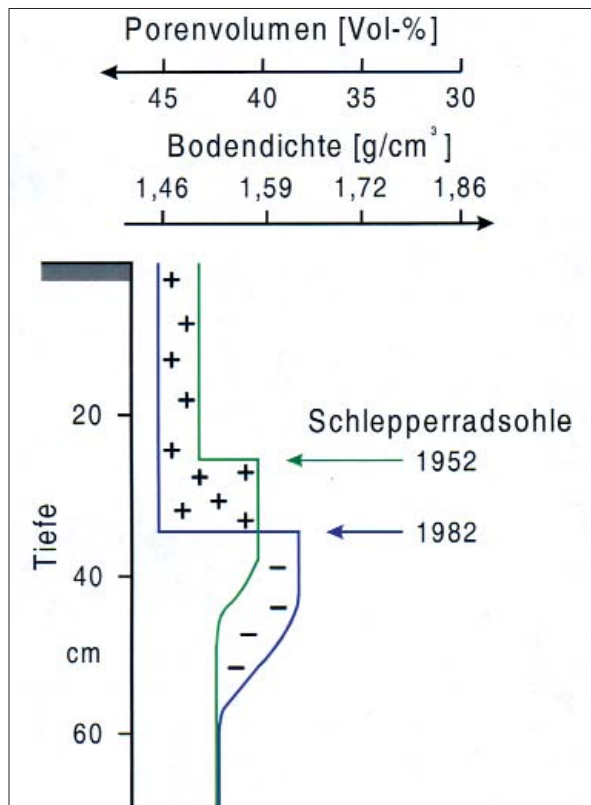


Abb. 9: Bodendichte und Porenvolumen in Ackerkrumen und Unterböden: ein tendenzieller Vergleich auf 144 Standorten in Niedersachsen (n. Ruhm; zit. von Sommer, 1985)

den entsprechenden negativen Folgen für die Niedermoorstandorte. Technikanpassung ist daher ein wesentliches Erfordernis für die Erhaltung und schonende Nutzung der Niedermoore. Die Mehrkosten liegen weit unter früheren Schätzungen. Wenn angepasste Technik vorhanden ist, wird deren Einsatz in Abhängigkeit von den Standortbedingungen im Mittel um 24-52 DM/ha teurer als bei den gegenwärtig verwendeten Maschinen (DLG-Merkblatt 323, 2001).

Im Forst stellt die Bodenverdichtung ein Problem infolge von Maschinenbewegungen auf Waldwegen, Rückewegen, Rückegassen und im Bestand dar. Systematische, flächenhafte Erhebungen gibt es für den Forstbereich nicht (Hildebrand, 1983; Matthies, 1999).

Verdichtungen in Weinbergböden durch den Einsatz schwerer Maschinen wie auch in den

Spezialkulturen Obst-, Gemüse- und Hopfenbau nehmen zu. Regional begrenzt stellt die Bodenverdichtung bei der landwirtschaftlichen Rekultivierung im Braunkohletagebau ein Problem dar. Bodenschadverdichtungen können ferner auf Truppenübungsplätzen und bei lokalen Rekultivierungs- und Baumaßnahmen auftreten. Hintergrund der in den 80er Jahren forcierten Erhebungen war vor allem die beobachtete Ertragsunsicherheit als Folge physikalischer Bodenschäden auf zahlreichen Produktionsschlägen in der unteren, zeitweise nicht bearbeiteten, Ackerkrume und im Krumenbasisbereich.

Der intensive Feldgemüsebau zeichnet sich durch starke Belastungen infolge hoher Schlagkraft bei der Bodenbearbeitung, der Pflege und der Ernte aus (Künkele, 1996). Der Anbau mehrerer Kultursätze hintereinander macht es nötig, den Boden dann zu befahren, wenn es die Kulturarbeiten erfordern. Dabei kann nicht immer Rücksicht auf eine günstige Bodenfeuchte genommen werden. Das Gemüse wird im vollen Wachstum geerntet, wodurch die potenzielle Ernteperiode bei vielen Kulturen nur wenige Tage währt. Bei der Ernte wird der Boden zudem häufig mit hohen Lasten befahren, da große Transportmengen anfallen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass auch in Freilandgemüsebaubetrieben mit einer Gefährdung der Böden durch die Bewirtschaftung zu rechnen ist (Rütemann, 1996). Um eine gute Bodenqualität und Ertragsleistung der Böden nachhaltig zu gewährleisten, kann der Praktiker zwischen einer Vielzahl von Handlungsalternativen entscheiden. Vorrangig sind zur Vermeidung von Verdichtungen im Ober- und Unterboden die Lasten gering zu halten und die Fahrzeugaufstandsflächen zu vergrößern. Dem Freilandgemüseanbauer bleibt ein weiterer Handlungsspielraum in Bezug auf das Anbauverfahren, die Verfahrenstechnik und die fahrzeugtechnischen Parameter, durch die er zu einer Reduzierung der Bodenverdichtungen beitragen wird. Um einen entscheidenden Schritt in Richtung umweltschonende Kulturtechniken zu gehen, ist eine Abstimmung des Produktionsverfahrens auch im Hinblick auf bodenschonende Maßnahmen (geeignete Anbauplanung und Geräteauswahl) nötig, wobei jeder Betrieb entsprechend der eigenen Möglichkeiten dazu beitragen kann.

Für Löss- und lehmige (tonige) Verwitterungsböden wurde ein diagnostisches Konzept entwickelt, das zur Stützung einer morphologischen Gefügebewertung neben der Bodendichte bzw. Porositätsparameter die Einbeziehung eines Leitfähigkeitparameters (gesättigte Wasserleitfähigkeit, k_f) wegen der hier ausgeprägten Gefügeabhängigkeit des Regulationsvermögens beinhaltet (Gullich et al., 1990). Für Sandstandorte hingegen

Tiefe cm	Löss-Gebiet		Flussauen	Buntsand- steingebiet	Mittel- gebirgsraum
	Schwarzerden	Parabraunerden Pseudogleye	Auelehme	Braunerden Ranker	Braunerden Pseudogleye (mit Skelett)
20-30	30...40	10	20	35	0...5
30-40	20...30	0...5	10...15	30	0...5
40-50	2...5	0	0	5	0

Tab. 2: Verbreitung technogener Schadverdichtungen in Thüringen und Sachsen (Anteil der Bodengruppen in %, n. Werner u. Reich, 1993)

erwies sich die Verwendung der Bodendichte oder auch des Durchdringwiderstandes als ausreichend. Ergebnisse von Schlaguntersuchungen auf Areale gleicher Bodengruppierung zu übertragen, war unter genossenschaftlichen Produktions- und Bodennutzungsbedingungen ein methodisch sinnvoller Ansatz.

Auf der Basis der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung schätzte Schmidt (1990) die von Verdichtung der Krumbasis ("Schlepperradssole") und des Unterbodens betroffene Fläche auf etwa 28 % der LF. Am Beispiel der Bundesländer Thüringen und Sachsen zeigt Tabelle 2 die aus Felduntersuchungen hochgerechnete Verbreitung nutzungsbedingter Schadverdichtung, definiert durch < 10 Vol.-% Luftkapazität und < 10 cm/Tag gesättigte Wasserleitfähigkeit, in vier Bodenregionen (Werner und Reich, 1993).

Einschätzungen der Verbreitung und des Ausprägungsgrades von Schadverdichtungen in Deutschland bezogen sich meist auf den Bodenhorizont direkt unterhalb der Bearbeitungstiefe. Schlepperradsollen zunehmender Mächtigkeit und Verbreitung wurden untersucht und über Jahre sogenannte Raddruckversuche durchgeführt, um Auswirkungen auf Bodengefüge und Pflanzenertrag festzustellen. Aus den 80er Jahren liegen Angaben vor, wonach vor dem Einzug neuer Technik ein hoher Anteil der Ackerfläche als krumbasisverdichtet einzustufen war. Die Auswirkungen auf den Pflanzenertrag wurden unter Berücksichtigung der jährlich durch Raddruck betroffenen Ackerkrume mit 10-25 % Verlust angegeben. Beim Niedermoorgrünland, im Gartenbau und im Forst liegen spezielle Bedingungen und Probleme vor.

3.1.5 Schadverdichtungen im Unterboden – ein EU-Lösungsansatz

Mit zunehmenden Radlasten steigt die Gefahr von Bodenschadverdichtungen im Unterboden (unterhalb der üblichen Bearbeitungstiefe) insbesondere deshalb, weil die Bodenfeuchte zum Zeitpunkt des Befahrens vom Landwirt dort

noch weniger eingeschätzt werden kann als in der Ackerkrume.

Im Rahmen einer "EU-Concerted Action on Subsoil Compaction" ist dieses Problem in drei Workshops diskutiert sowie der Stand der Kenntnisse veröffentlicht (Horn et al., 2000) worden. Die Überlegungen der Arbeitsgruppe "Equipment and field practices to avoid subsoil compaction" der genannten EU-Aktivität (Chamen et al., 2001) zielen auf praktikable Entscheidungshilfen. Die Anfälligkeit von Böden gegenüber Verdichtung aufgrund von Textur und Packungsdichte (susceptibility soil texture, packing state) sowie die Empfindlichkeit (Sommer, 1974) unter Einbeziehung der Bodenfeuchte (vulnerability wetness state) rücken in den Vordergrund. Wäre eine entsprechende Bodenzustandsklassifizierung mit maximalen Werten für den Reifeninnendruck, der vom Fahrer von Landmaschinen leicht zu kontrollieren und heute auch technisch zu regeln ist (Reifeninnendruckregelungsanlagen), zuzuordnen (Abb. 10), könnten (über Reifentabellen) max. Radlasten vorgegeben werden. Die Reifenindustrie bekäme Anreize, noch bodenschonendere Reifen zu entwickeln.

Dieser anwendungsorientierte Lösungsansatz versteht sich als eine notwendige Ergänzung/Alternative zu Ergebnissen von Modellen, solange letztere unter Praxisbedingungen nicht ausreichend validiert sind. Auf diesem Wege kann die Akzeptanz für Vorsorgestrategien in Landwirtschaft und Beratung verbessert werden.

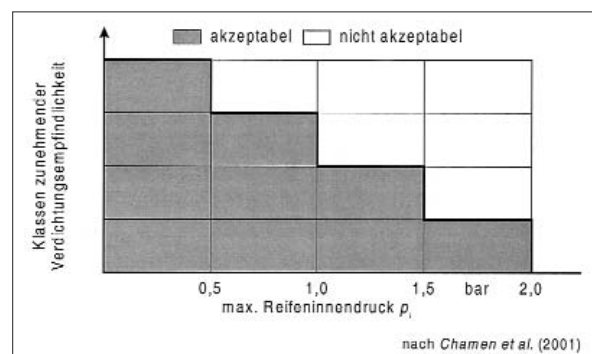


Abb. 10: Klassen zunehmender Verdichtungsempfindlichkeit und Zuordnung max. Reifeninnendrucke

3.1.6 Modelle zur Abschätzung der potenziellen Verdichtungsgefährdung

Mathematische Modelle dienen der Problemanalyse und werden zur Beschreibung und Vorhersage von Bodenverdichtung mit dem Ziel verwendet, aufwendige Messungen einzuschränken und das Verhalten des Bodens zu simulieren (Dürr et al., 1995). Die Analyse des Gefährdungspotenzials soll Erkenntnisse liefern, auf welchen Flächen und wie häufig Verdichtungsgefahr eintritt. Eine Verminderung der Eintrittswahrscheinlichkeit wirkt mittel- und langfristig bodenschützend, und daraus abgeleitete Maßnahmen haben deshalb Vorsorgecharakter.

Böden haben in Abhängigkeit von ihren Eigenschaften unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber mechanischen Belastungen. Zustand und Prozesse der Verdichtung hängen von einer Vielzahl von Bodeneigenschaften (Bodenart, Humus- und Carbonatgehalte, Steingehalte und die Feuchtigkeit u. a.) sowie der Auflast ab. Die Darstellung der potenziellen Verdichtungsempfindlichkeit in verfügbaren Karten wird über die Bodenart abgeleitet und kennzeichnet Standorte mit Böden hoher Verdichtungsempfindlichkeit (Niedersächsisches Amt für Bodenforschung, 1999). Es werden, ausgehend von unterschiedlichen Datengrundlagen, verschiedene Schätzmodelle erarbeitet, deren Anwendung derzeit erprobt wird.

Im Folgenden werden drei Verfahren beschrieben, die heute besonders in der Diskussion stehen und in gewissem Umfang empirische Modellansätze benutzen.

3.1.6.1 Das Verfahren "Vorbelastung"

Die Abschätzung horizontspezifischer Bodenstabilität wird in einem Verfahren nach DVWK (1995) mittels der sogen. Vorbelastung vorgenommen. Die Vorbelastung (kPa) wird aus einem Drucksetzungsdiagramm über den einaxialen Druckversuch bestimmt. Die Setzung wird dabei gegen den Logarithmus des zugehörigen Drucks aufgetragen. Die Vorbelastung wird dann nach dem Casagrande-Verfahren als derjenige Punkt der Drucksetzungskurve ermittelt, bei dem die Wiederverdichtungsgerade in die Erstverdichtungsgerade übergeht. Sie stellt ein Maß dar für die unter den gegebenen Versuchsbedingungen maximale, vertikale Belastbarkeit, bis zu der noch eine reversible Bodenverformung stattfindet. Eine bleibende Zunahme der Verdichtung findet erst bei Belastungen oberhalb der Vorbelastung statt. Neben der Messung wird die Vorbelastung auch für zwei Feuchtestufen ($\text{feu } 4 = \text{pF } 1.8$ und $\text{feu } 3 = \text{pF } 2.5$) anhand multipler Regressionsgleichungen angegeben.

Der im Boden wirksame, vertikale Druck unter Fahrzeugen wird nach dem Newmark-Verfahren unter der Annahme einer kreisrunden Reifen-Boden-Kontaktfläche berechnet. Durch Gegenüberstellung des Bodendrucks mit der Vorbelastung sollen die Belastungsparameter Radlast und Kontaktfläche korrigiert werden, die in diesem Modellansatz alleine den Kontaktflächen-druck bestimmen. Dieser Ansatz wird derzeit vom DVWK für die Aufstellung von Richtwerten zum Schutz des Unterbodens weiter verfolgt.

Das Konzept 'Vorbelastung' basiert auf dem Grundgedanken, den aktuellen Zustand des Bodengefüges zu erhalten und weitere Verdichtungen nicht zuzulassen. Es ist das einzige Konzept, das eine rein mechanische Gefügebeurteilung durchführt. Aus der Sicht der praktischen Anwendung des Konzeptes sind einige Fragen noch zu klären:

- a) Die Druckberechnung nach Newmark basiert auf der Annahme einer starren, kreisrunden lastübertragenden Kontaktfläche. Eine bodenschonende Kraftübertragung durch sich verformende Reifen findet keine Berücksichtigung. Dadurch kann es zur Überschätzung des Bodendrucks kommen. Die daraus berechneten maximal zulässigen Kontaktflächendrücke sind dann nicht realistisch. Das hat eine Empfehlung von sehr geringen Radlasten zur Folge. Im Gelbdruck des DVWK-Merkblattes zur Gefügebeurteilung Teil III werden deshalb mit der Methode maximal tolerierbare Radlasten von 0,4-2,3 t angegeben, mit denen heutige Landbewirtschaftung kaum möglich ist.
- b) Eine möglicherweise bereits geschädigte Bodenstruktur, z. B. bei sehr hoher Vorbelastung, würde nicht als Bodenstrukturschaden erkannt und konserviert, anstatt regenerative Maßnahmen einzuleiten.
- c) Bei der Verwendung des Vorbelastungskonzeptes muss Berücksichtigung finden, dass eine Betrachtung der mechanischen Bodenreaktion allein auf der Basis des vertikalen Spannungseintrags und der vertikalen Verformung nicht vollständig ist. Die Effekte von Scherbelastungen und Knetungen bleiben unberücksichtigt, spielen aber für die Gefügebeanspruchung eine wesentliche Rolle.
- d) Schließlich muss bei der Verwendung des Vorbelastungskonzeptes bedacht werden, dass die Ermittlung der Vorbelastung im halblogarithmischen Maßstab nicht ganz exakt möglich ist. Auch die Vorbelastungsmessung ist nur eine größenordnungsmäßige Einstufung. Bei der Verwendung von multiplen Regressionsgleichungen wird die Unschärfe des Parameters noch verstärkt. Das Regressionsmodell im DVWK-Merkblatt 234 (1995) wurde von Lebert (1989) für Anwendungen im Kartierungsmaßstab von 1:50.000 und 1:25.000 ent-

wickelt und kann nicht bedingungslos für die Verwendung im Feldmaßstab herangezogen werden.

Das Verfahren 'Vorbelastung' schätzt die potenzielle Verdichtungsgefährdung eines Bodens bei einer Feuchte von 100 % Feldkapazität ab.

Mit entsprechendem Kartenmaterial kann das Konzept von der landwirtschaftlichen Beratung unter Beachtung der o. g. Punkte für die Erarbeitung von mittel- bis langfristigen Überlegungen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen herangezogen werden.

3.1.6.2 Das Verfahren "Belastungsquotient"

Das Konzept 'Belastungsquotient' ist eine Weiterentwicklung des Konzeptes 'Vorbelastung' unter stärkerer Berücksichtigung praxisrelevanter Belange. Mit dem Verfahren wird ein Beratungsansatz gewählt, der von der potenziellen Verdichtungsgefährdung und vom Vorsorgeprinzip ausgeht und vorbeugende Maßnahmen gegen das Eintreten schädlicher Bodenveränderungen in den Mittelpunkt der Beratung stellt.

Bei diesem Ansatz werden die Verdichtungsrisiken voreingeschätzt. Als Gefährdungsmaß dient der Druckbelastungsquotient. Dieser ergibt sich aus einer Einschätzung der Druckbelastbarkeit nach Modellen von Lebert (1989) und der Druckbelastung, die sich aus der Fahrzeugmasse einschließlich der Masse der Anbaugeräte bzw. der Zusatzbelastung der Hinterachse, aus dem Zugwiderstand der gezogenen Geräte, der Aufstandsfläche der Bereifung und der Spannungsausbreitung im Boden nach dem Modell von Söhne (1953) ergibt.

Söhne und Lebert berücksichtigten in Verformungsexperimenten Einflussfaktoren wie die Bodenfeuchte, die Bodenart, die Bodendichte und vor allem den Gefügestand. Paul (1993) hat den Ansatz so modifiziert, dass die Druckbelastbarkeit an der Untergrenze des optimalen Gefügestandes beschrieben werden kann. Damit wird weder ein unnötig lockerer Bodenzustand gefordert noch eine bereits bestehende Schadverdichtung konserviert, sondern jener Gefügestand des Bodens angestrebt, der eine ausreichende Luftkapazität und Wasserleitfähigkeit garantiert.

Der Druckbelastungsquotient wird für belastungsintensive Arbeiten berechnet. Dabei werden zwei Bodenfeuchtestufen unterstellt, die sich aus der langjährigen örtlichen Niederschlagsverteilung und dem Zeitpunkt der Arbeiten ergeben, bei dem Bodenwassergehalte bei pF 2.5 und 75 % bzw. 50 % dieses Wassergehaltes vorliegen. Aus-

genommen sind die Arbeiten, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zu einer dieser Bodenfeuchtesituationen durchgeführt werden. Der Bodenfeuchtegehalt bei pF 1.8 wird ausgeschlossen, weil die bindigen Böden (Schwarzerden und Parabraunerden der Thüringer Bucht) bei diesem Wassergehalt augenscheinlich nicht befahrbar sind. Es wird die Spannungssituation in 15 cm (bzw. für die für den Arbeitsgang 'Pflügen' in 30 cm) Bodentiefe berücksichtigt.

Das Verfahren 'Druckbelastungsquotient' ermöglicht eine Abschätzung der potenziellen Verdichtungsgefährdung (= Risiko einer Gefügeschädigung) unter Berücksichtigung von Boden, Klima, Produktionsverfahren sowie der angewandten Landtechnik.

Aus den erkannten Gefährdungsschwerpunkten können Handlungsempfehlungen zur Vorsorge abgeleitet werden.

3.1.6.3 Das Verfahren "SchadverdichtungsGefährdungsklassen (SVGK)"

Bei dem Verfahren 'SVGK' bemessen Petelkau et al. (2000) Schadverdichtungen qualitativ und quantitativ mittels substratspezifischer "Bereiche der optimalen Lagerungsdichte" für Ackerkrumen der Grundmoränenlandschaft Brandenburgs. Innerhalb dieser Lagerungsdichtebereiche sind die bodenphysikalischen Parameter wie Makroporenanteil, Wasserhaltevermögen, Leitfähigkeit für Luft und Wasser und Diffusibilität auf einem Niveau, das gute Durchwurzelbarkeit und hohe Pflanzenerträge ermöglicht, wie in langjährigen Vegetationsversuchen nachgewiesen wurde.

Der Ansatz geht davon aus, Kontaktflächen drücke, Radlasten und Überrollhäufigkeit standortabhängig so zu bestimmen, dass bei Einhaltung von Richtwerten mit großer Wahrscheinlichkeit keine Schadverdichtungen in Unterböden hervorgerufen werden. Außerdem sollen durch Befahren verursachte Verdichtungen der Ackerkrume so begrenzt werden, dass sie sich durch Bodenbearbeitung und Witterungseinflüsse kurzfristig beseitigen lassen.

Grundlage der Richtwerte für die zulässige Bodenbelastung durch Fahrwerke bilden die Ergebnisse von umfangreichen Kompressions- und Scherversuchen, bei denen das druck- und feuchteabhängige Verdichtungsverhalten unterschiedlicher Böden bei Momentbelastung ermittelt wurde. Für die Modellierung der Druckfortpflanzung im Boden sind die Verfahren von Newmark und Belkowski et al. (1989) angewendet worden. Danach könnte grundsätzlich die Belastbarkeit für jeden Boden und für jeden Feuchtezustand ermittelt werden. Aus Gründen der praktischen Anwendbarkeit sind die Böden nach ihrer differenzierten Belastbarkeit jedoch in

fünf Schadverdichtungsklassen (SVGK) gegliedert worden. Dem zwingenden Gebot des vorbeugenden Bodenschutzes folgend, können und sollten (nach Petelkau et al., 2000) für diese SVGK Landmaschinen und Transportfahrzeuge mit spezifischer Eignung für die Einhaltung der jeweiligen zulässigen Belastung aus dem verfügbaren Maschinenpark zugeordnet bzw. in Zukunft entwickelt werden.

Das Verfahren 'SVGK' schätzt für Standortverhältnisse der Grundmoränenlandschaft die potenzielle Verdichtungsgefährdung ab. Gemessen an substratspezifischen Lagerungsdichtegrenzwerten, wird die zulässige Fahrwerksbelastung (Kontaktflächendruck, Radlast, Überrollhäufigkeit) im jeweils vorliegenden Bodenfeuchtezustand mittels Tabellen und Berechnungsformeln ermittelt. Im Sinne des vorbeugenden Bodenschutzes soll das Verfahren vor allem eine mittelfristige Entscheidungshilfe für die Ausrüstung der Betriebe mit bodenschonenden Maschinen und Transportmitteln sowohl für den betrieblichen als auch für den überbetrieblichen Einsatz sein.

3.1.7 Technische Entscheidungshilfen zur aktuellen Befahrbarkeit in situ

Nach heutigem Kenntnisstand können den Landwirten auf der Basis von Ergebnissen von Modellberechnungen zur Einschätzung der potenziellen Gefährdung kurz- bis mittelfristige Vorsorgemaßnahmen empfohlen werden. Allerdings stehen heute für die Praxis kaum technische Hilfsmittel zur Verfügung, mit denen ein Landwirt im konkreten Fall vor bzw. während des Befahrens eines Feldes seinen Entscheidungsspielraum (ja/nein, automatisches Absenken des Reifeninnendruckes, Bunkerkapazität bei der Ernte nicht voll ausschöpfen, u. a.) ausnutzen könnte. Das liegt an dem Umstand, dass heute kein Messverfahren zur Verfügung steht, das auf dem Feld dem Fahrer die Empfindlichkeit des Bodens gegenüber Befahren anzeigt oder gar in einen Regelkreis einfließen lässt. Die aktuelle Bodenfeuchte wird derzeit in keinem der skizzierten Modellverfahren einbezogen.

Näher an der Praxis liegt ein Verfahren, mit dem als erste Zwischenlösung die Spurtiefe kontinuierlich gemessen (s. Abb. 19) und zur Anzeige in der Fahrerkabine gebracht wird. In der Spurtiefe fließen mehrere Einflussfaktoren, die für Bodenschadverdichtungen maßgeblich sind (wie Radlast, Reifenbauart, Reifeninnendruck, Ausgangslagerung des Bodens, Bodenfeuchte), zusammen. Erste Ergebnisse zeigen, dass eine solche Entscheidungshilfe von den Landwirten angenommen wird (Brunotte et al., 2000).

3.1.8 Schlussfolgerungen aus dem Sachstand

Das Problem Bodenschadverdichtung kann heute nicht als gelöst dargestellt werden. Dies liegt insbesondere an den sehr komplexen Systemen "Fahrzeug-Boden" und "Boden-Pflanze", in deren Zentrum der Boden mit seinen unterschiedlichen physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften steht. Die Komplexität erschwert die Aufklärung der direkten Beziehungen zwischen der Wirkung, die von einem Laufwerk auf den Boden ausgeübt wird, und den Auswirkungen auf die Bodenfunktionen. Unter dem Blickwinkel pflanzenbaulicher Produktionsverfahren wirkt sich Bodenschadverdichtung auf physikalische Kennwerte und damit auf die Produktions-, Regelungs- und Lebensraumfunktion negativ aus.

In der Landwirtschaft dient der Ackerboden dem Pflanzenwachstum und als Fahrbahn für Maschinen/Geräte. Der Trend zunehmender Radlasten (heute bis zu 12 t) kann beim Einsatz unter feuchten Bodenbedingungen in der Ackerkrume und im Unterboden zu Schadverdichtungen führen, denen im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft vorgebeugt werden muss. Schadverdichtungen in der Krumbasis haben in den vergangenen Jahrzehnten zugenommen. Solche (nach dem Befahren) festzustellen, ist mit bekannten bodenphysikalischen Messmethoden möglich. Mit empirischen Modellen unterschiedlicher Ansätze wird versucht, **Gefährdungspotenziale für Bodenschadverdichtungen** abzuschätzen. Daraus können kurz- bis langfristige Maßnahmen im Sinne der Vorsorge abgeleitet werden.

Vorgeschlagene Richtwerte (etwa zur Radlast in t bzw. zum Kontaktflächendruck in bar nach den Verfahren 'Vorbelastung' bzw. 'SVGK') zur mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden erfüllen die Kriterien für die Umsetzung als 'gute fachliche Praxis' derzeit nicht. Sie bedürfen noch einer umfassenden Validierung und einer Erfolgskontrolle der aus den Modellen abgeleiteten quantitativen Empfehlungen unter Feldbedingungen auf verschiedenen Standorten.

In-situ-Entscheidungshilfen zur **aktuellen Belastbarkeit** müssen den Bodenfeuchtezustand während des Befahrens und damit die spezifischen Situationen auf dem Feld einbeziehen (Abb. 11). Für bodenschutzorientierte Landwirtschaft sind technische (DLG-Arbeitsunterlage, 2001) und ackerbauliche Lösungen bekannt (heute im Betrieb machbar bzw. mittelfristig anwendbar, KTBL, 1998), deren Akzeptanz noch verbessert werden muss. Hinzu kommen Lösungsansätze, die es weiterzuentwickeln gilt (KTBL, 1998). Diese Ansätze müssen standort-

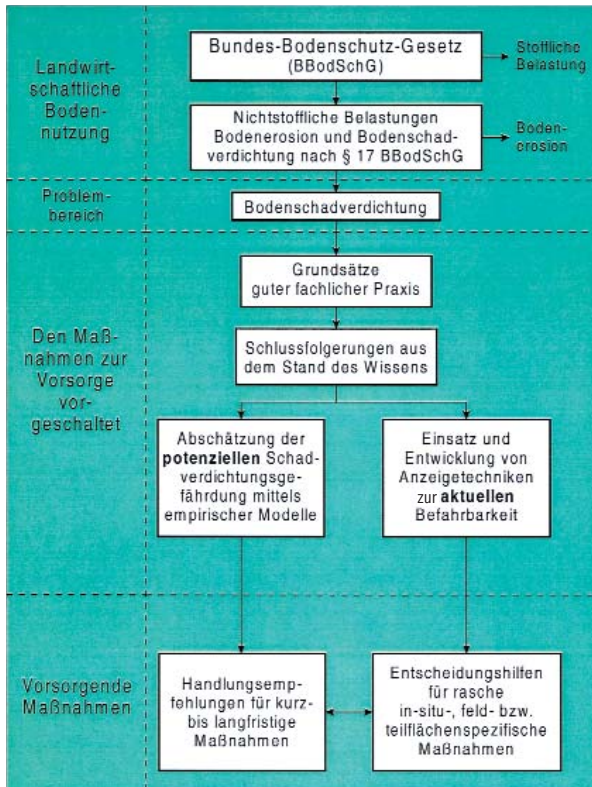


Abb. 11: Zur guten fachlichen Praxis: Grundsätze, Gefährdungspotenziale und aktuelle Entscheidungshilfen im Falle des Problem-bereichs 'Bodenschadverdichtung'

und betriebspezifisch zu einem Konzept für bodenschonendes Befahren zusammengeführt werden (Sommer, 1998).

Im Folgenden werden Konzept und Einzelmaßnahmen erläutert und Lösungsansätze, die praxisgerecht umzusetzen wären, aufgezeigt.

3.2 Maßnahmen der guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen

3.2.1 Handlungsempfehlungen zum Konzept für bodenschonendes Befahren

Literaturanalysen (Sommer, 1974; Dürr et al., 1995; KTBL, 1998) und Erfahrungen aus der Praxis haben dazu geführt, ein Konzept aus vier Bausteinen zusammenzustellen (Sommer, 1998):

- ▶ Anwendung und Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten
- ▶ Anpassung der Arbeitsverfahren
- ▶ Verbesserung der Tragfähigkeit des Bodens
- ▶ Begrenzung der mechanischen Bodenbelastung.

Das vorgeschlagene Konzept "Bodenschonendes Befahren" (Abb. 12) zeigt dem Landwirt bzw.

Berater Handlungsempfehlungen auf, die betriebs-, standort- und teilflächenspezifisch zur Anwendung kommen können.

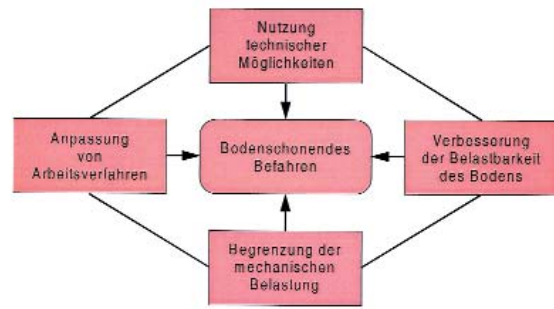


Abb. 12: Die vier Bausteine des Konzeptes für bodenschonendes Befahren (Sommer, 1998)

3.2.1.1 Anwendung und Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten

Der Verringerung des Kontaktflächendruckes (in der Berührungsfläche Fahrwerk/Boden) wurde in jüngerer Zeit große Aufmerksamkeit geschenkt. Zu den schon lange bekannten Gitter- und Zwillingrädern kamen Breit- und Terra-Reifen hinzu. Die **Vergrößerung der Radaufstandsfläche** hat bei gleicher Radlast die Verringerung des Kontaktflächendruckes zur Folge (Abb. 13).

Dies führt zu geringerem Bodendruck insbesondere in der Ackerkrume. Großvolumige Reifen können heute bei einem Kontaktflächendruck von 1 bar (100 kPa) Radlasten bis 5 t abstützen. Jüngere Entwicklungen sind Gummibandlaufwerke, Dreispurfahrzeuge und Fahrwerke mit Knickgelenk, welche die Gesamtlast auf breite Aufstandsfläche bzw. auf drei, vier oder fünf Terra-Reifen über die gesamte Fahrzeugbreite verteilen (Abb. 14). Dies schont auch aufgrund geringerer Überrollhäufigkeit den Boden und hinterlässt eine ebene Ackeroberfläche mit positiven Folgen für eine sich anschließende Bestellung.

Weitere Möglichkeiten können helfen, das Problem zu mindern. Dazu gehören die **regelbare Anpassung des Reifeninnendruckes** an den Zustand der Fahrbahn (Boden, Straße), wobei auf dem Ackerboden möglichst niedrige Reifeninnendrucke (Tab. 3) anzustreben sind, der Einsatz von Aufsattel- statt Anbaugeräten und die Verwendung von Anhängegeräten (z.B. Anhängespritze) zur Reduzierung der Hinterachslast des Traktors (z. B. Aufsattelgrubber, -pflug) sowie der Allradantrieb und eine Schlupfanzeige.

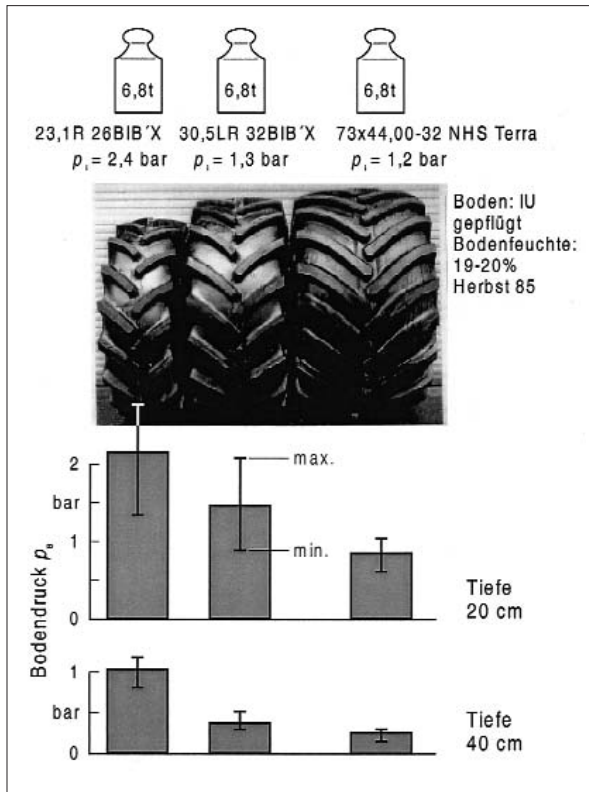


Abb. 13: Gemessener Bodendruck unter drei verschiedenen Reifen bei einer Radlast von 6,8 t und Reifeninnendruck $p_i = 2,4, 1,3, 1,2$ bar (von links)

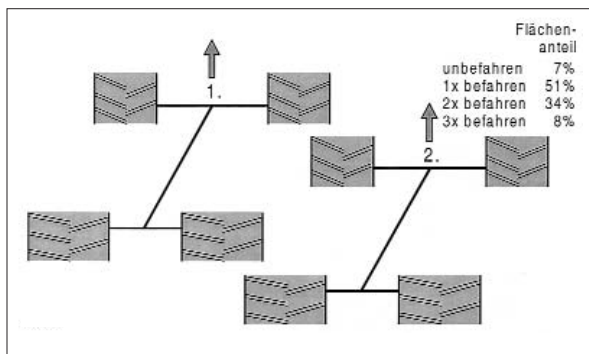


Abb. 14: Das Knickgelenk ermöglicht die Abstützung der Gesamtlast auf fast die gesamte Arbeitsbreite

3.2.1.2 Anpassung von Arbeitsverfahren

Die bekannten und weiterzuentwickelnden Möglichkeiten sind wie folgt zusammenzufassen (KTBL, 1998):

Fahren außerhalb der Furche beim Pflügen (Onland-Pflügen)

Die heute angebotenen Pflüge verfügen auch schon bei geringen Arbeitsbreiten (3-scharig) über Vorrichtungen, die sowohl das Fahren in der Furche, als auch außerhalb der Furche erlauben. Wird außerhalb der Furche gefahren, kommt es zu einer geringen Beanspruchung des Unterbodens (Abb. 15). Evtl. Krümenverdichtungen werden durch die Bodenbearbeitung wieder aufgebrochen. Probleme für die Traktion ergeben sich nur bei sehr lockerem bzw. feuchtem Oberboden. Der erhöhte Schlupf führt zur Zerstörung der Oberflächenkrümel. Dann ist es sinnvoller, in der Furche zu fahren, um über eine gute Verzahnung von Reifen und Furchenkanten ausreichend Zugkraft zu entwickeln (Herbst 1998). Die Lenkhilfe für das Onland-Pflügen ist nach wie vor eine wichtige Forderung.

Zusammenlegen von Arbeitsgängen – Grundbodenbearbeitung und Bestellung in einem Arbeitsgang

Leistungsstarke Schlepper mit ausreichender Hubkraft ermöglichen die Einsparung von Arbeitsgängen durch Gerätekopplung. Dies dient primär den Zielen Kosteneinsparung und Bodenschonung. Besonders bei konservierender Bodenbearbeitung können Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Aussaat in einem Arbeitsgang durchgeführt werden (Abb. 16):

- Zur Bodenschonung fährt der Schlepper mit Breitreifen.

Radlast	Fahrbahn	Reifenart	p_i (bar)
3 t	Straße	18.4 R 38	1,6
		Acker	0,8
	Straße	650/65 R 38	0,98
		Acker	0,5
	Straße	800/65 R 32	0,5
		Acker	0,5
6 t	Straße	18.4 R 38	4,41
		Acker	2,98
	Straße	650/65 R 38	2,9
		Acker	1,9
	Straße	800/65 R 32	1,7
		Acker	1,1

Tab. 3: Richtwerte für minimale Reifeninnendrucke p_i (bar) gängiger Reifen

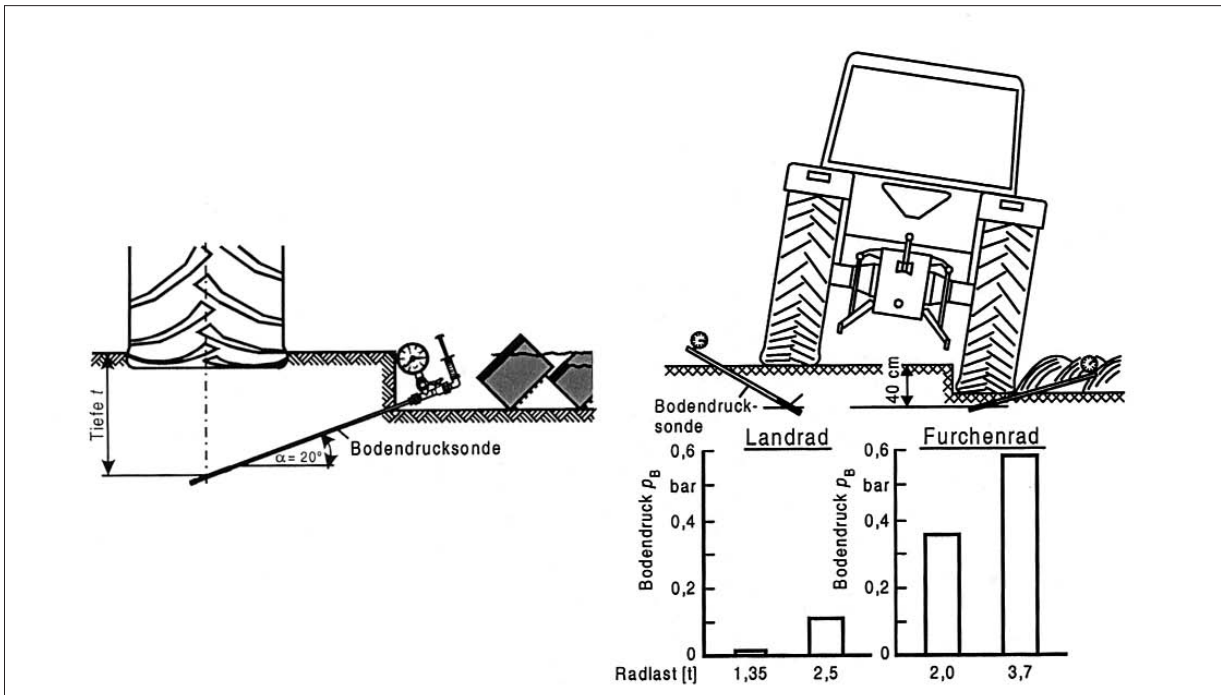


Abb. 15: Onland-Pflügen (links): der Bodendruck ist in 40 cm Tiefe geringer als beim Fahren in der Furche unter dem Furchenrad (rechts)

- ▶ Mit dem Schichtengrubber erfolgt die schonende Lockerung bis auf die eingestellte Tiefe (oft ist eine krumentiefe Lockerung 1x in der Rotation ausreichend). Der gelockerte Boden wird bei der Bestellung nicht mehr befahren. Er kann durch die Wurzeln der Folgefrucht stabilisiert werden.
- ▶ Der Kreiselgrubber vermischt organische Rückstände mit dem Boden und ebnet die Oberfläche ein.
- ▶ Durch die Keilringwalze erfolgt eine streifenweise Rückverfestigung in der Saatzeile. Dies verbindet kapillaren Wasseraufstieg für die Keimung mit hoher Infiltrationsleistung für Niederschläge in den Zwischenräumen.
- ▶ Die Rollschare legen die Saat in der rückverfestigten Saatzeile ab und der Striegel bedeckt sie mit Boden und Rückständen.

Die Kraftstoffverbrauch liegt bei dieser Koppelung der drei pfluglosen Arbeitsgänge um 50 % niedriger als bei der Grundbodenbearbeitung mit Pflug und anschließender Bestellsaat. Bei schonender Lockerung erfolgt eine 2-malige Überrollung mit 43 % Spurflächenanteil und bei konventioneller Bestellung eine 4-malige Überrollung bei 130 % Spurflächenanteil.

Der Einsatz moderner Köpfsysteme (Integral-schlegler bzw. herkömmlicher Schlegler mit wechselseitigem Blattauswurf) ermöglichen das Zuckerrübenroden von einer Seite. Mit der beschriebenen pfluglosen Technik ist die Weizenbestellung unmittelbar neben dem Roder möglich. Dies mindert das Wetterrisiko und erlaubt eine termingerechte Bestellung von Minutenböden.

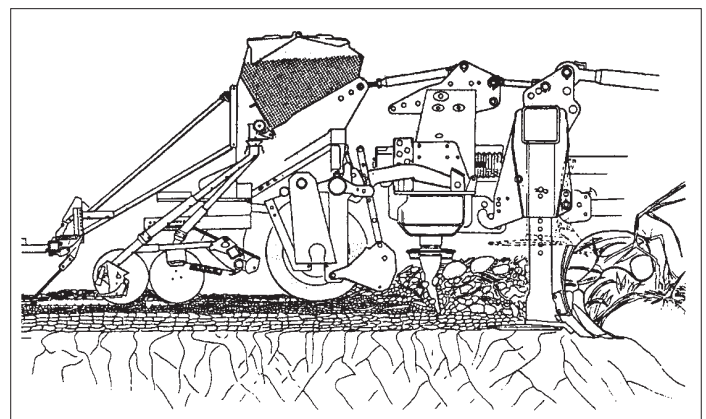


Abb. 16: Nichtwendende Bodenlockerung bis max. einschließlich der Krumenbasis bei Mulchsaat

Auch 'Schlagkraft vorhalten' hilft, Bodenverdichtungen vorzubeugen, da bei feuchten Bedingungen auf das Befahren und Bearbeiten verzichtet werden kann. Hier stellen die Standortverhältnisse (Sand, Lehm, Ton und Niederschlagcharakteristik) sehr unterschiedliche Bedingungen. Tonböden mit 800 mm Jahresniederschlag verlangen vom Betrieb die doppelte Schlagkraft im Vergleich zum Sand bei 500 mm Niederschlag. Hohe Schlagkraft läuft den Bemühungen von Kosteneinsparung entgegen. Wer jedoch Kosten einspart durch geringe Schlagkraft, riskiert Bodenverdichtungen und hohe Terminkosten bei der Arbeitserledigung. Jeder Betrieb hat für seine Standortbedingungen ein ausgewogenes Maß zu finden.

Einsatz zapfwellenangetriebener Geräte

Gezogene Saatbettkombinationen zeichnen sich durch geringen Verschleiß der Werkzeuge und

hohen Zugkraftbedarf aus. Die Zerkleinerungsarbeit ist durch Werkzeugform und Fahrgeschwindigkeit zu erreichen. Dabei kann die strukturschädigende Schlupfwirkung der Antriebsräder zunehmen. Sandige bis lehmige Böden sind i. d. R. in einer Überfahrt saattfertig, so dass bei einer Kopplung mit der Sämaschine keine zusätzlichen Überrollungen entstehen.

Wenn mehr als zwei Überfahrten für einen saattfertigen Acker erforderlich sind (z. B. Tonböden), kann der Einsatz zapfwellenangetriebener Eggen sinnvoll sein. Durch die Variation der Zinkengeschwindigkeit auf das 2- bis 3-fache im Vergleich zu gezogenen Eggen sind bei mittlerer Bodenfeuchte in einer Überfahrt Saatbettbereitung und Saat möglich.

Sommer- statt Herbst- oder Winterfurche

Auf Standorten, auf denen gepflügt wird, ist über den Zeitpunkt nachzudenken. Pflügen in den feuchten Herbstmonaten kann zu Krümmenbasisverdichtungen und zu Bodendruckwirkungen in einer Tiefe führen, wo Werkzeuge und Frost kaum noch reparierend wirken können. Eine Vorverlegung der Pflugfurche in die Sommermonate erlaubt i. d. R. ein Arbeiten bei trockenem Boden. Um die dann erhaltene Struktur zu konservieren, ist der Anbau von Zwischenfrüchten sinnvoll. Dies schützt zusätzlich die Bodenoberfläche vor Verschlammung und Erosion und unterdrückt Unkräuter.

Trennung von Spur- und Anbaufläche (controlled-traffic)

Neue Ansätze sind etwa Beetkonzepte, wie sie im Gartenbau verwendet werden, bis zu controlled-traffic-Systemen, für die prinzipiell globale Positionierungstechniken (DGPS) zur Verfügung stehen, und Fahrgassensysteme nicht nur im Getreidebau. Fahrgassensysteme erlauben auch im Zuckerrüben- und Kartoffelanbau den Einsatz der breiten Standardbereifung (im Vergleich zum schmalen Pflegereifen) und damit eine Absenkung des Reifeninnendruckes auf 1 bar, was eine

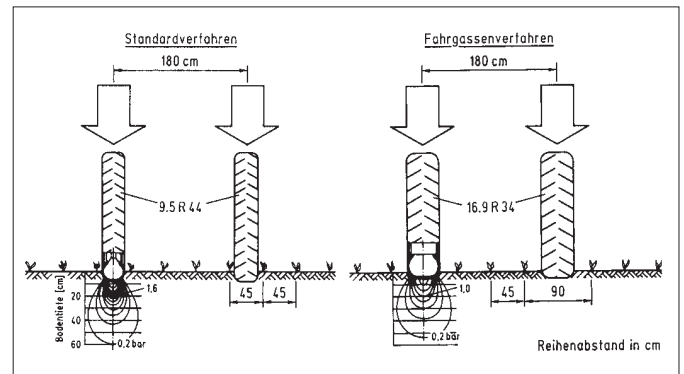


Abb. 17: Pflegesysteme im Zuckerrübenanbau

erhebliche Schonung des Bodens bewirkt (Abb. 17, Tab. 4). Bei Arbeitsbreiten > 18 m wird der Ertragsverlust der fehlenden Reihen durch den Mehrertrag der Fahrgassenrandreihen ausgeglichen.

3.2.1.3 Verbesserung der Tragfähigkeit des Bodens

Feldversuche zeigen, dass eine nichtwendende Bodenlockerung (mit Parapflug, Schichtengrubber o. ä.) im Vergleich zur herkömmlichen Pflugarbeit ohne Ertragseinbußen möglich ist. Das Bodengefüge weniger zu stören, gelingt mit nichtwendender, fruchtfolgespezifischer Bodenlockerung (Baustein konservierender Bodenbearbeitung). Steht etwa zwischen zwei Hauptfrüchten eine Zwischenfrucht, so ist – sofern eine krumentiefe Lockerung geplant ist – diese vor deren Bestellung unter trockensten Bedingungen (im Bereich der gesamten Lockerungstiefe!) am günstigsten. Dieses Verfahren stellt aber erhöhte Ansprüche an das Betriebsmanagement.

Schonende Lockerung, in Zukunft auch teilflächenspezifisch, hilft Schadverdichtungen – insbesondere im Unterboden – vorzubeugen und bedeutet bessere Tragfähigkeit.

Das Beispiel einer Druckzwiebel verdeutlicht dies (Abb. 18). Am tiefsten reicht sie beim Pflügen mit hoher Radlast in der Furche. Wesentlich weniger tief reicht die Druckzwiebel bei Onland-

		85-kW-Standardtraktor + 1.200-l-Anbauspritze		60-kW-Systemtraktor + 1.600-l-Aufbauspritze		60-kW-Standardtraktor + 2.500-l-Anhängespritze	
Radlast	v	570		1.300		1.870 ¹⁾	
	h	3.080		2.320		2.030 ²⁾	
Bereifung		Pflege		Pflege		Pflege	
Reifengröße	v	11.2 R 28	14.9 R 26	9.5 R 36	16.9 R 28	9.5 R 44	16.9 R 34
	h	11.2 R 48	18.4 R 38	9.5 R 36	16.9 R 28	9.5 R 44	16.9 R 34
Aufstadsfläche (cm ²)	v	1.200	1.780	1.130	2.230	1.200	2.450
	h	1.300	2.660	1.130	2.230	1.200	2.450
Kontaktflächendruck (8bar)	v	0,5	0,3	1,2	0,6	1,6	0,8
	h	2,4	1,1	2,1	1,0	1,7	0,8
Spurtiefe (cm)		13,7	4,9	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾

¹⁾ Hinterrad Standard

²⁾ Rad Anhängespritze

³⁾ nicht gemessen

Tab. 4: Fahrzeugparameter von Standard- und Systemtraktoren beim Pflanzenschutz in Zuckerrüben

Pflügen (s. Abb. 15) oder wenn der Boden infolge nichtwendender, fruchtfolgespezifischer (etwa nur einmal in drei Jahren) Lockerung tragfähiger ist. Dies hilft zudem maßgeblich, Kosten für aufwendige Grundbodenbearbeitung und Investitionen (überbetriebliche Nutzung des leistungsstarken und teuren Ackerschleppers) zu sparen.

Zu den Möglichkeiten, die Tragfähigkeit von Böden zu verbessern, zählen auch ausreichende und regelmäßige organische Düngung, Schaffung/Erhaltung guter Durchwurzelungsbedingungen, Förderung des Bodenlebens sowie Bodenbedeckung durch Pflanzenbestände und/oder Mulch.

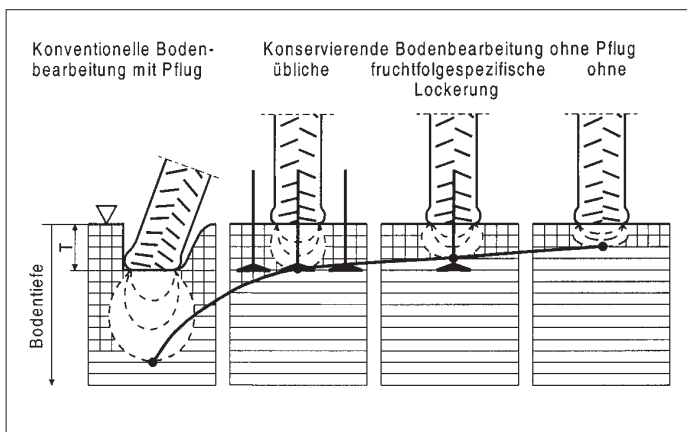


Abb. 18: Zur Tiefenwirkung einer Druckzwiebel während der Durchführung unterschiedlicher Grundbodenbearbeitung (n. Sommer, 1998)

3.2.1.4 Begrenzung der mechanischen Belastung

Die eigentlich kritischen Punkte für bodenschonendes Befahren liegen bei der Radlast, den höheren Triebkräften und dem möglichen Rad-

schlupf. Kommen diese Belastungen zusammen, ist höhere Bodenbeanspruchung die Folge, der im Falle verdichtungsempfindlicher Bodenzustände Grenzen zu setzen sind. Die zeitlich wechselnde Bodenfeuchte in der Ackerkrume oder im Unterboden macht eine nachvollziehbare Vorgabe von Grenzwerten für die mechanische Belastbarkeit im Hinblick auf seine Verdichtungsempfindlichkeit allerdings schwierig.

Bei der Umsetzung von Bodenschutzkonzepten muss berücksichtigt werden, dass der Landwirt für die Durchführung von Feldarbeiten meist an enge Zeitspannen gebunden ist. So kann er oft bei Erntearbeiten oder Pflanzenschutzmaßnahmen mit dem Befahren der Felder nicht warten, bis sie ggf. so weit abgetrocknet sind, dass sie erhöhten Belastungen unbeschadet standhalten. Oft gibt es Perioden mit anhaltend hoher Bodenfeuchte, die nicht selten etwa in "Kampagnezeiten" der Hackfruchternte fallen. Der Landwirt ist infolge Lieferverträgen, Fruchtfolgezwängen u. a. gedrängt, den Acker zu befahren, sobald die Bearbeitbarkeit (Funktion der Rodeerzeuge, Absieb- und Reinigungsvorrichtungen etc.) gegeben ist.

Dann kann jedoch die standortspezifische mechanische Tragfähigkeit noch gering sein. Schutz vor Bodenschadverdichtung kann in solchen Fällen nur realisiert werden, wenn die technische Ausstattung (z. B. Reifeninnendruckregelungsanlage) und der Maschineneinsatz (überbetrieblich, um Rücksicht auf die aktuelle Bodenbelastbarkeit nehmen zu können) die Anpassung an Standortbedingungen ermöglichen.

Auch kann die Anzeige der **Spurtiefe** hilfreich sein und als Entscheidungshilfe für den Fahrer genutzt werden (Brunotte et al., 2000). Die Spur-

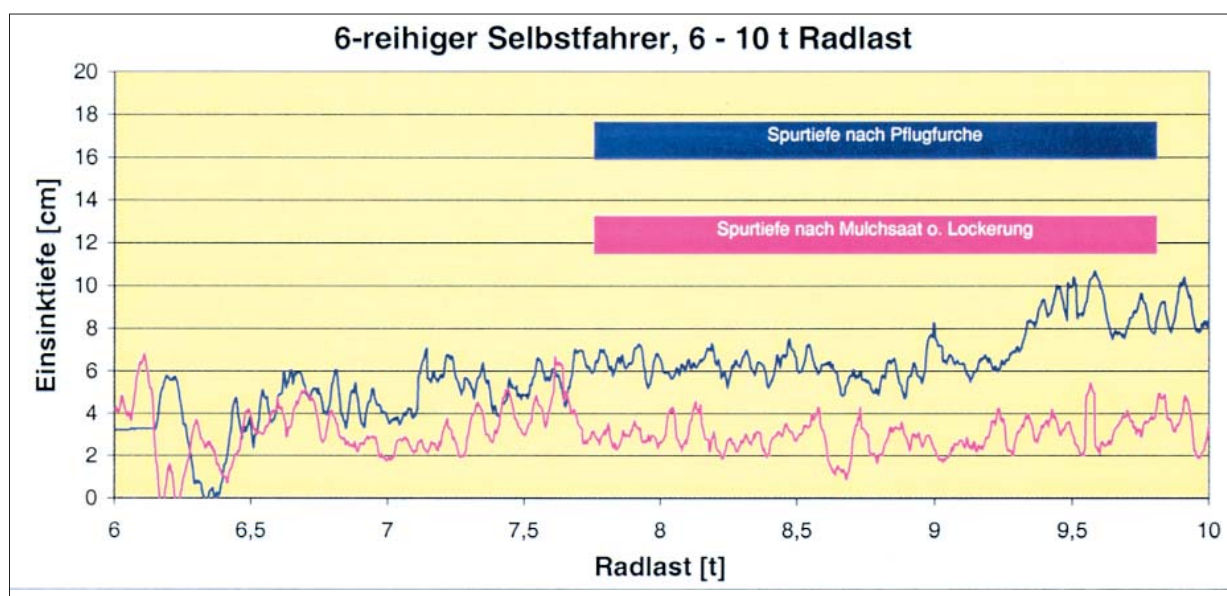


Abb. 19: Spurtiefe eines Rübenroders bei zunehmender Bunkerfüllung und nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung

tiefe fasst alle beim Befahren wirkenden Einflussfaktoren zusammen: Radlast, Reifenbauart, Reifennendruck, Lagerungsdichte des Bodens und Bodenfeuchte. Im Falle der Erntemaschine sollte beim Anzeigen einer "kritischen Spurtiefe" die Bunkerkapazität nicht voll ausgeschöpft werden. Ein nach konservierender Bodenbearbeitung tragfähiger Boden ist bei steigender Radlast (Bunkerfüllung) über einen weiten Bereich stabiler, angezeigt durch die konstante Spurtiefe (Abb. 19). Allerdings ist die Spurtiefe nur ein sehr grober Parameter. Auch geringere Spurtiefen sagen u. U. wenig über tatsächliche Bodenschädigungen aus. Eine landtechnische Vision ist ein "Befahrbarkeitssensor" (Brunotte et al., 2000).

Die Umrüstung von einem schmalen **Reifen** auf einen Breitreifen hilft aus der Sicht der Bodenschonung dann, wenn nicht gleichzeitig die Radlast erhöht wird. Die bisherige Tendenz zunehmender Radlasten kann dann nicht im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes sein, wenn – speziell im Unterboden – während des Befahrens mit hohen Radlasten der Boden verdichtungsempfindlich ist. Im Sinne der Bodenschonung muss bezüglich Radlast, Reifenwahl und Reifennendruck mehr Rücksicht auf die aktuelle Befahrbarkeit des Bodens genommen werden (Abb. 20).

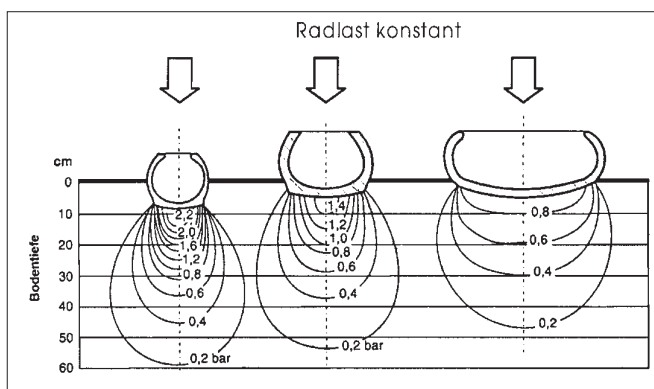


Abb. 20: Breitreifen (rechts) mindern den Bodendruck in der Ackerkrume im Vergleich zu schmalen (links) bzw. Standard-Reifen (Mitte): in 20 cm Tiefe 0.6 bar statt 1.6 bzw. 1.0 bar.

Der Breitreifen lässt die Druckfortpflanzung in die Bodentiefe allerdings nur reduzieren, wenn die Radlast nicht erhöht wird. Steigt die Radlast mit breiterem Reifen, dann muss die Aufstandsfläche überproportional vergrößert werden, damit sich der Bodendruck nicht in tiefere Schichten fortpflanzt.

Neben Radlast, Reifennendruck und Bodenfeuchte ist auch die **Überrollhäufigkeit** für das Ausmaß von Bodenverdichtungen verantwortlich. Die Reduzierung der Radlast (kleinerer Bunker bzw. geringere Arbeitsbreite) bedeutet i. d. R. eine Erhöhung der Überrollhäufigkeit auf das 2- bis 3-fache. Dies trägt nicht zur Schonung der Krume bei, da die Elastizität des Bodens durch das wiederholte Befahren zurückgeht.

Bei Bunkermaschinen (Zuckerrübenerte) sollte die Schlaglänge auf die Bunkerkapazität abgestimmt sein, um ein Parallelfahren mit zusätzlichen Überrollungen zu vermeiden. Beim Kartoffel- und Silomaisanbau hat sich die Schlaglänge nach dem nebenherfahrenden Transportfahrzeug zu richten. Wünschenswert ist beim Silomais zukünftig ein Container-Häcksler, der das Erntegut selbst über die Fläche transportiert und am Feldrand auf Straßentransportfahrzeuge abgibt.

Um schädlichen Bodenverdichtungen vorzubeugen, müssen risikobehaftete Konstellationen der Faktoren Boden, Klima, Produktionsverfahren und Landmaschineneinsatz möglichst vermieden werden. Dennoch bleibt ein Restrisiko bestehen.

3.3 Beispiele für Schutzmaßnahmen in Fruchtfolgen

Mit den folgenden vier Beispielen aus unterschiedlichen Regionen/Fruchtfolgen, basierend auf verschiedenen Lösungsansätzen und Erfahrungen in der Praxis, sollen Maßnahmen für vorsorgenden Bodenschutz hinsichtlich des Problems "Bodenschadverdichtung" skizziert werden.

Die Beispiele aus Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen beruhen auf der Anwendung des Konzeptes "Konservierende Bodenbearbeitung", das bodenschonende Lockerung (bessere Bodentragfähigkeit und kostensparend – verglichen mit konventioneller Grundbodenbearbeitung) und Mulchsaat (zur Vorbeugung von Bodenerosion) verknüpft. In Regionen, wo häufig mit Bodenabtrag durch Wasser zu rechnen ist, hat dieses Bodenbearbeitungssystem Anklang in der Praxis gefunden.

Die Beratungsbeispiele aus Thüringen und Brandenburg beziehen die Abschätzung der potenziellen Verdichtungsgefährdung (s. Abb. 11, linker Pfad) nach dem "Belastungsquotienten" bzw. nach dem "Schadverdichtungsgefährdungskonzept" ein. Sie postulieren, dass der Landwirt der Gefährdung vor Schadverdichtung begegnen kann, wenn er über geeignete Technik verfügt. Sie werden derzeit erprobt und berücksichtigen nicht die Bodenfeuchte während des Befahrens (s. Abb. 11, rechter Pfad).

3.3.1 Gefügestabilisierung am Beispiel ausgewählter Fruchtfolgen

3.3.1.1 Fruchtfolge (Niedersachsen): Zuckerrüben – Winterweizen – Winterweizen – Wintergerste *J. Brunotte*

Zur Vorbeugung vor Bodenschadverdichtung wird die Intensität bei der Krumenlockerung reduziert, indem – wo Standort und Witterung es zulassen – der Pflug durch ein nichtwendendes Lockerungsgerät (Parapflug, Schichtengrubber) ersetzt wird. Diese schonende Lockerung erhöht die Tragfähigkeit und damit Befahrbarkeit des Bodens und lässt Kosten sparen.

Sind Schadverdichtungen nach sorgfältiger Diagnose (Spaten, Regenwurmaktivität, Wurzelwachstum) festgestellt, gilt es, das Gefüge zu lockern und zu stabilisieren. Dies kann nicht im Spätherbst nach der Rübenenernte erfolgen, da die in der Tiefe geführten Werkzeuge zu Schmierzonen führen und ein verdichtungsgefährdetes Gefüge zurücklassen. Der Zeitpunkt für die Lockerungsmaßnahme ist in die trockenen Sommermonate zu verlegen, weil dann günstige Bedingungen für das Aufbrechen des Bodens bestehen. Sie sind so rechtzeitig durchzuführen, dass durch die anschließende Zwischenfrucht das mechanisch gelockerte Gefüge biologisch stabilisiert wird. Das heißt, dass bei einer ZR-WW-WW-WG-Fruchtfolge erst im 3. Jahr nach Entstehen einer möglichen Bodenverdichtung bei der Rübenenernte Gelegenheit gegeben ist, eine Gefügelockerung und -stabilisierung durchzuführen (Abb. 21).

- (1) Die Wintergerste eignet sich als frühräumende Frucht sehr gut für solche Gefügelockerungsmaßnahmen. Nach einer Stoppelbearbeitung erfolgt bei trockenen Bedingungen eine Lockerung mit Schichtengrubber bzw. Parapflug auf ca. 40 cm, um die Verdichtungszone sicher aufzubrechen. Anfang August wird i. d. R. pfluglos Senf bzw. Ölrettich bestellt. Wird der Pflug zur Ölrettichbestellung eingesetzt, so können Untergrunddorne an jedem Pflugkörper die mechanische Lockerung übernehmen.
- (2) Ölrettich ist dem Senf vorzuziehen, weil Wurzelentwicklung und Nematodenbekämpfungseffekt ausgeprägter sind. Durch den frühen Aussaatzeitpunkt wird der Ölrettich i. d. R. im Herbst noch Schoten bilden; vor der Samenreife ist er daher abzuschlegeln. Das organische Material wird als Bodenbedeckung zur Mulchsaat der folgenden Zuckerrüben genutzt. Damit gelingt neben der Gefügebesserung gleichzeitig der Einstieg in das bodenschonende Verfahren der Mulchsaat.

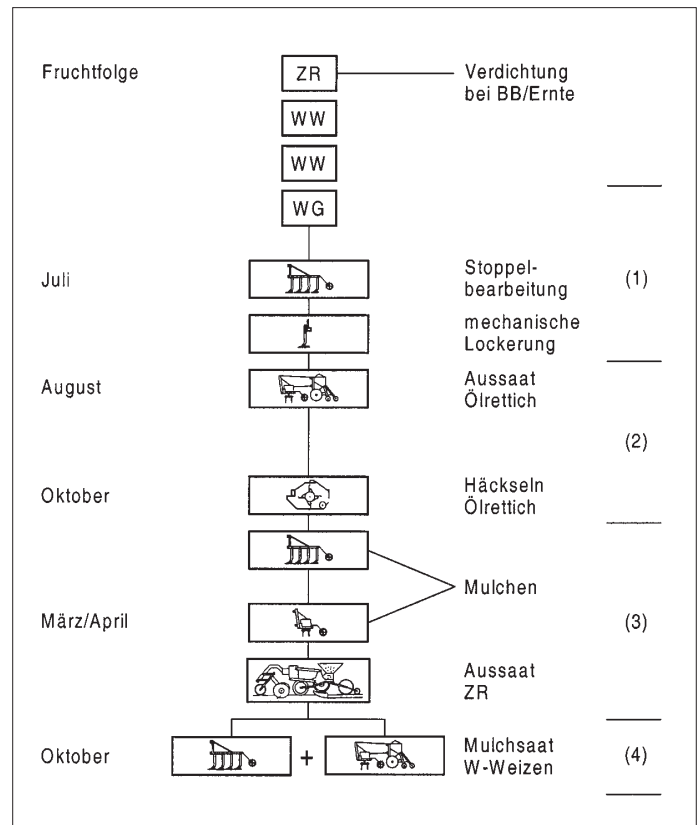


Abb. 21: Maßnahmen zur Bodenlockerung und Gefügestabilisierung

- (3) Standort und Unkrautentwicklung im Herbst entscheiden darüber, ob der Einsatz des Grubbers im Herbst oder Frühjahr erfolgt. Auf Tonböden und bei vorhandenen Unkräutern muss der Grubber im Herbst eingesetzt werden, sonst im Frühjahr. Es folgt dann eine Saatbettbereitung und anschließend die Zuckerrübenaussaat mit einem Mulchsaatgerät.
- (4) Diese Mulchsaat zur Rübe schafft nach schonender Lockerung ein tragfähiges Gefüge insbesondere für den Einsatz schwerer Erntetechnik und erlaubt nach dem "Roden aus der Gare" eine "Weizenaussaat in die Gare", sofern die Bestellung gleich neben dem Roder möglich ist.

So gelingt neben der Auflockerung von Bodenverdichtungen der Einstieg in die Mulchsaat im Sinne der Vorsorge. Werden dann zukünftig die Strategien des "Konzeptes für bodenschonendes Befahren" (s. Kapitel 3.2.1) genutzt, können aufwendige Gefügebesserungsmaßnahmen (z. B. Krumenbasislockerung) eingespart werden. Das Verfahren ist praxiserprobt.

3.3.1.2 Fruchtfolge (Nordrhein-Westfalen): Silomais – Winterweizen – Winterroggen/ Triticale – Ackerfutterbau *W. Buchner*

Die durch einen hohen Halmfruchtanteil gekennzeichnete Fruchtfolge wirkt sich günstig auf die Humusreproduktion aus und bietet mit der Einbeziehung des Ackerfutterbaues ein Zeitfenster, in dem – gestützt auf vorjährige Untersaat in Winterroggen/Triticale (Herbizideinsatz beachten!) – eine überjährige Bodenruhe im Zuge des Futterbau-Managements möglich wird (Abb. 22).

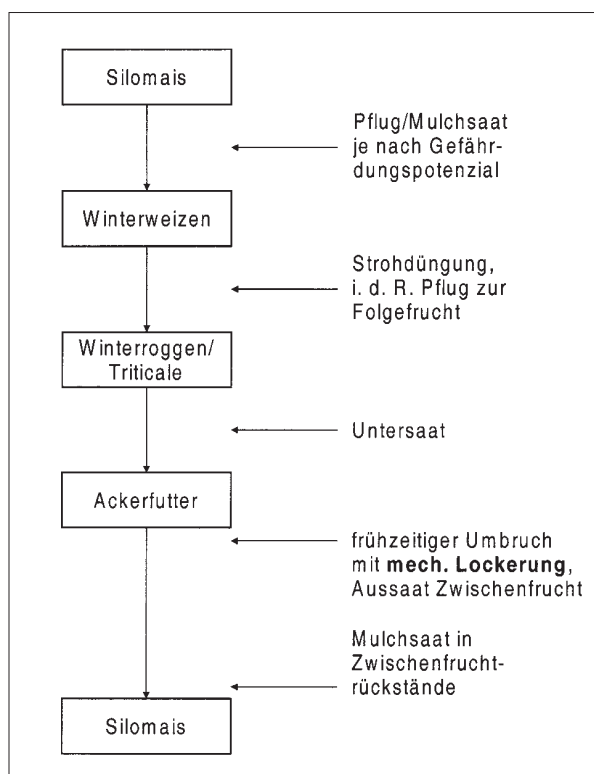


Abb. 22: Bodenschonende Lockerung in einer futterbaubetonten Fruchtfolge

Unter ungünstigen Feuchtebedingungen lässt diese Fruchtfolge nach Silomais und nach Winterweizen keinen Spielraum zur Bodenlockerung und zum Anbau von Zwischenfrüchten. Tritt dann auch nach Winterroggen/Triticale Vernässung auf, so muss der Lockerungseingriff, z. B. im Rahmen eines spätsommerlichen Umbruches des Ackerfutters, mit nachfolgendem Zwischenfruchtanbau zur Einleitung der Mulchsaat von Silomais im Folgejahr vorgenommen werden.

Trotz des hohen Getreide- und Futterbauanteiles sind auch in dieser Fruchtfolge die Spielräume und Zeitfenster – sofern ungünstige Witterung diese Maßnahme in Einzeljahren unterbindet – sehr eng und verlangen ein vorsorgendes Konzept von Schutzmaßnahmen im Sinne des Bodenschutzes.

3.3.2 Ein Beratungsbeispiel für den Ansatz "Druckbelastungsquotient" (Thüringen) *R. Paul*

Neben der Ausschöpfung aller verfügbaren Möglichkeiten seitens des Landwirtes, vorsorgende Maßnahmen im Sinne feld- bzw. teilflächenspezifischer Anpassung (z. B. Absenkung des Reifeinnendruckes, Ausnutzung trockener Bodenzustände) an die aktuelle Befahrbarkeit (s. Abb. 11) einzusetzen, bezieht das Beratungsbeispiel aus Thüringen zur Abschätzung der potenziellen Verdichtungsgefährdung den "Belastungsquotienten" ein (s. Kap. 3.1.6.2).

Der Belastungsquotient wird für belastungsintensive Arbeiten berechnet. Dabei werden zwei Bodenfeuchtestufen unterstellt, die sich aus der örtlichen Niederschlagsverteilung und dem Zeitpunkt der Arbeiten ergeben, dem Bodenwassergehalt bei pF 2,5 und bei 75 % bzw. 50 % dieses Wassergehaltes. Ausgenommen sind nur die Arbeiten, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zu einer dieser Bodenfeuchtesituationen durchgeführt werden. Der Bodenfeuchtegehalt bei pF 1,8 wird ausgeschlossen, weil die bindigen Böden bei diesem Wassergehalt augenscheinlich nicht befahrbar sind. Es wird die Spannungssituation in 15 cm bzw. für den Arbeitsgang Pflügen in 30 cm Bodentiefe berücksichtigt.

Das Ergebnis besteht in einer tabellarischen Aufstellung der Belastungssituation für jede dieser Arbeiten auf jedem der im Betrieb vertretenen Böden und einem mit den Flächenanteilen jedes Bodens gewogenen mittleren Belastungsquotienten. Letzterer gilt als Beurteilungskriterium der betrieblichen Gefährdungssituation und gibt Auskunft darüber, inwieweit der Betrieb insgesamt Vorsorge gegen das Eintreten schädlicher Bodenverdichtungen bedenken sollte.

Der Handlungsbedarf leitet sich jedoch aus der Analyse der einzelnen Arbeitsgänge ab und umfasst vorrangig kostengünstige Maßnahmen, wie die Ausnutzung trockener Bodenzustände, das Absenken des Reifeinnendruckes und Zwillingbereifung bis hin zu Empfehlungen größerer Reifenbreiten oder – falls unausweichlich – bis zur Verminderung der Maschinengewichte. Im Beratungsbeispiel (Tab. 6) wirtschaftet der Betrieb auf lehmig-tonigen Gleyböden, lehmig-schluffigen braunen Auenböden und auf Löss-Parabraunerden. Die Auenböden, insbesondere die Gleye, sind druckempfindlich. Die Löss-Parabraunerden sind demgegenüber wesentlich druckfester (Tab. 5).

Die Druschfruchternte wird von Dienstleistungsbetrieben durchgeführt, die leistungsfähige und mit sehr breiter, bodenschonender Bereifung

Bodenklasse/-typ	Bodenarten	Tiefe cm	Druckbelastbarkeit in kPa bei		
			FK (pF 2,5)	75% FK	50% FK
Auenböden (Vega, Vegagley)	sandig-tonige Lehme	15	115	230	370
		30	175	220	365
	schluffige Lehme, tonige Schluffe, tonige Lehme	15	45	105	200
		30	100	165	250
Ah/C-Böden außer Schwarzerden	mittel- und schwach-schluffige Tone	15	100	110	115
		30	145	145	145
Schwarzerden	tonige Schluffe schluffige Lehme	15	115	140	200
		30	120	160	225
Pelosole	tonige Lehme	15	105	125	125
		30	120	160	225
	schwach schluffige Tone	15	75	90	95
		30	125	130	135
Braunerden	lehmige Sande	15	110	125	160
		30	150	165	185
	sandige Lehme lehmige Schluffe	15	120	135	175
		30	145	180	225
	tonige Schluffe	15	110	135	200
		30	135	160	225
Parabraunerden, Pseudegleye	schluffig-lehmige Sande	15	140	145	180
		30	145	185	250
	sandig-lehmige Schluffe	15	165	175	215
		30	180	205	230
	tonige Schluffe schluffige Lehme	15	80	90	115
		30	190	197	250

Tab. 5: Druckbelastbarkeit Thüringer Böden

ausgerüstete Technik einsetzen. Die Bodenbearbeitung, mit Ausnahme der flachen Bearbeitung des abgetrockneten Bodens (Herbstbearbeitung), die organische und mineralische Düngung sowie der Transport des Erntegutes vom Feld verursachen hohe bis sehr hohe Schadverdichtungen, während die Getreideernte nur auf den empfindlichen Böden Verdichtungsrisiken verursacht.

Aufgrund des mittleren Druckbelastungsquotienten für den Betrieb (Tab. 6) wird zum Abbau der Risiken empfohlen, beim Pflügen außerhalb der Furche zu fahren. Alle anderen Arbeiten soll-

ten möglichst zu trockeneren Bodenbedingungen (Bodenwassergehalt < pF 2,5) erfolgen. Selbst dann ist für die Auenböden breitere Bereifung zu empfehlen. Wird die Arbeit auf feuchterem Boden notwendig, sollte zusätzlich mit Zwillingreifen gefahren werden.

Es werden folgende Handlungsempfehlungen für den Beispielsbetrieb abgeleitet:

1. Auf allen Böden sollte beim Pflügen außerhalb der Furche gefahren werden.

Bodentyp	Anteil an der Ackerfläche des Betriebes v.H.	Druckbelastungsquotient des Bodens		Wichtig	
		normal	Onland-Pflügen	normal	Onland-Pflügen
Gley	62	1,75	1,66	1,09	1,03
Brauner Aueboden	21	1,47	1,46	0,31	0,32
Parabraunerde	17	1,37	1,30	0,23	0,22
Druckbelastungsquotient des Betriebes (gewogenes Mittel)				1,63	1,57

Tab. 6: Berechnung des mittleren Druckbelastungsquotienten des Betriebes

2. Die Arbeiten mit hohem Gefährdungspotenzial sollten bei geringeren Bodendrücken, realisiert durch abgesenkten Reifeninnendruck, breitere Bereifung, ggf. Zwillingräder, vorgenommen werden.
3. Auf den Auenböden sind vorrangig Zeiträume mit Bodenwassergehalten $< pF_{2,5}$ auszunutzen.
4. Ersatzinvestitionen für die Landtechnik sollten unter Berücksichtigung konkreter Reifen- und Fahrwerksparameter vorgenommen werden, die nach dem Verfahren "Druckbelastungsquotient" bei Bedarf zu ermitteln sind.

3.3.3 Ein Beratungsbeispiel für den Ansatz "SchadverdichtungsGefährdungsklassen" (Brandenburg)

H. Petelkau u. K. Seidel

Folgende Entscheidungsschritte zur Festlegung von Maßnahmen zur Vorsorge gegen Boden-

schadverdichtung im Land Brandenburg werden empfohlen:

A. Ermittlung der Schadverdichtungsgefährdungsklasse auf der Basis einer Mittelstabmäßigen Karte (Abb. 23) bzw. auf der Basis der vorherrschenden Bodenarten, die aus den Bodenschätzungskarten nach der KA4 bestimmt werden können.

Die Gefährdungseinstufung basiert auf Kompressions-/Schertests der vorkommenden Bodenarten bei differenziertem Humusgehalt und differenzierter Bodenfeuchte. Im Ergebnis dieser Tests wurde ermittelt, wie stark die Krumböden verdichtet werden können, wenn sie entsprechend belastet werden. Zur Bewertung dieser jeweils eingetretenen Verdichtung hinsichtlich des Pflanzenwachstums wurden sehr umfangreiche Ertragsermittlungen auf Praxisflächen durchgeführt und gleichzeitig immer die Bodendichte bestimmt. Dadurch war es möglich, Zusammenhänge zwischen der Lagerungsdichte und der Ertragsentwicklung abzuleiten, und festzulegen,

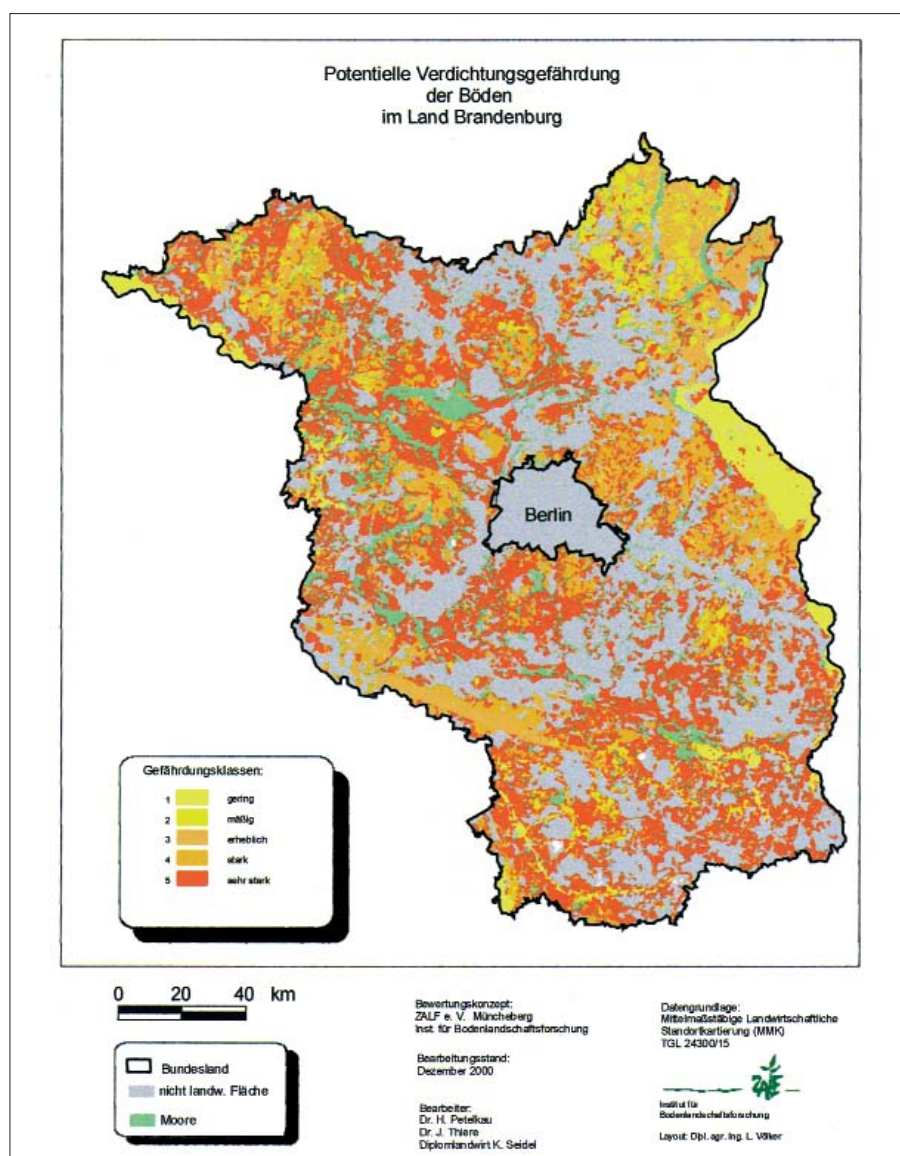


Abb. 23: Schadverdichtungsgefährdungsklassen für Mineralböden unter Ackernutzung des Landes Brandenburg (auf Grundlage der Daten der MMK)

Schad Verdichtungs Gefährdungsklasse SVGK	Standortgruppen der Mittel- maßstäbigen Landwirtschaft- lichen Standortkartierung StG	Bodenart im Ap nach der KA 4
1	5 und 6	Lt3/T1
3	3	SI4
4/5	1 und 2	Su2/SI2

Tab 7: Verbreitete SVGK im Land Brandenburg

ab wann von einer Schadverdichtung zu sprechen ist. Dieser Vergleich beruht also auf dem Indikator Pflanze und ihrem Verhalten bei zunehmender Dichtlagerung des Bodens. Aus dem Vergleich wurden die in der Abb. 23 dargestellten fünf SchadverdichtungsGefährdungsklassen (SVGK) gebildet, denen alle Ackerböden Brandenburgs zugeordnet werden konnten (Tab. 7).

Die Grundlagen zu diesem SVGK- Konzept sind im Bericht: "Ermittlung des Verdichtungs-
widerstandes von Böden des Landes Brandenburg und Bewertung von Landmaschinen und landwirtschaftlichen Anbauverfahren hinsichtlich der Beeinträchtigung von Bodenfunktionen durch die Verursachung von schwer regenerierbaren Schadverdichtungen" (Projektleiter: Mo. Frielinghaus, Bearbeiter: H. Petelkau; K. Seidel, alle ZALF Müncheberg, Werkvertrag 350.214 beim MLUR Brandenburg, 2000) veröffentlicht. Durch diese Bewertung wird es möglich, Vorschläge für die Befahrung der Ackerflächen zu machen, so dass die Vorsorge gegen Schadverdichtungen (siehe § 17 BBodSchG) eingehalten werden kann. Die Empfehlungen sind mittelfristige Entscheidungshilfen für den Maschinenkauf oder eine Nachrüstung vorhandener Maschinen sowie für die KULAB- Programme des Landes Brandenburg.

B. Beispiel für Empfehlungen zum bodenschonenden Technikeinsatz für zwei Anbaufolgen in Brandenburg

Wie die Abb. 23 zeigt, sind sehr viele Ackerböden des Landes Brandenburg stark verdichtungsgefährdet. Nachfolgend werden zwei Beispiele für die SVGK 3 [erheblich gefährdet] sowie zum Vergleich ein Beispiel für die SVGK 1 [gering gefährdet] dargestellt. Diese Beispiele beziehen sich auf eine Kartoffel- Winterroggen -Fruchtfolge und (zum Vergleich) auf den Zuckerrübenanbau.

Ziel ist es, Vorschläge für eine mittelfristige Vorsorge gegen Schadverdichtungen durch eine entsprechende technische Aus- oder Nachrüstung zu realisieren. Ausgewiesen werden Varianten für solche Fahrwerksbelastungen (Kontaktflächendruck, Radlast) zu den anfallenden Arbeitsgängen, bei deren Einsatz in jedem Falle Maßgaben zur ausreichenden Vorsorge eingehalten

ten und vor allen Dingen der Unterboden bzw. die Krumenbasis nicht geschädigt werden (Tab. 8).

Die eigentlich empfohlenen geringen Kontaktflächendrücke in den besonders schadverdichtungsgefährdeten SVGK 4 und 5 sind durchgängig nicht realisierbar, wenn Ackerbau betrieben werden soll. Bei der mechanisierten Bewirtschaftung dieser Böden werden immer, auch bei Einhaltung dieser Empfehlungen, Ackerkrumenverdichtungen auftreten, die jedoch durch nachfolgende Grundbodenbearbeitung behoben werden können; sie sind daher keine Schadverdichtung und auch reparabel.

Da sich Schadverdichtungen der Unterböden dieser SVGK weder durch eine Grundbodenbearbeitung noch durch Naturkräfte beseitigen lassen, sollten die empfohlenen Limits für den Bodendruck in 30 cm Tiefe nicht überschritten werden. Es gibt viele Praxiserfahrungen, dass dies einerseits durch eine Verminderung der Radlasten, ggf. durch Nichtausschöpfung der Ladekapazität von Bunkererntemaschinen und Transportfahrzeugen, und andererseits durch die Reduzierung der Überrollhäufigkeit erreicht werden kann.

In der SVGK 1 ist die Druckfestigkeit der hier eingruppierten schweren Lehm- und Tonböden so groß, dass sich die Einhaltung der angegebenen Empfehlungen mit Standardmaschinen aus dem Angebot der Landmaschinen- und Fahrzeughersteller realisieren lässt. Ursache für Strukturschäden ist auf diesen Standorten nicht der Bodendruck sondern der Schlupf.

Eine wirkungsvolle Maßnahme zur Verminderung des Kontaktflächendrucks bietet sich in der Anpassung des Reifeninnendrucks bei Feldarbeiten an die Radlast an. Das sollte unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit auf dem Acker entsprechend den Vorgaben der Reifenhersteller erfolgen. Ein möglichst geringer Reifeninnendruck vergrößert durch Einfederung nicht nur die Kontaktflächen, sondern verbessert auch die Gleichmäßigkeit der Druckverteilung in der Kontaktfläche.

In die folgenden Beispiele sind Traktoren, Maschinen und Fahrzeuge in Leistungsklassen

SVGK	Kontaktflächendruck [kPa], dessen Einhaltung nur eine mäßige Verdichtung im Oberboden bewirkt und durch Grundbodenbearbeitung beseitigt werden kann	Kontaktflächendruck [kPa], dessen Überschreitung in 30 cm Tiefe (Krumenbasis) zu Schäden führen und durch Grundbodenbearbeitung nicht beseitigt werden kann
1 [gering]	310	270
3 [erheblich]	110	160
4 [stark]	60	120
5 [sehr stark]	50	110

Tab. 8: Empfehlungen für SVGK- angepasste Kontaktflächendrücke im Ober- und Unterboden (bei Bodenfeuchte von 70 % der nFk)

einbezogen, wie sie den Größen zahlreicher Brandenburger Pflanzenbaubetriebe entsprechen. Sie werden sowohl im betrieblichen als auch im überbetrieblichen Einsatz verwendet. (Tab. 9 bis 11).

Die Beispiele zeigen, dass der Anbau von **Kartoffeln und Winterroggen** auf Flächen in der **SVGK 3** nicht ohne Verdichtungsrisiko für die Ackerkrume möglich ist. Jedoch wird auch deutlich, dass bei den meisten Arbeitsgängen nur mäßige Risiken bestehen. Für die Arbeitsgänge Kartoffeln legen und Mineraldüngung müssen noch technische Lösungen angestrebt werden, da bei diesen das Risiko erhöht ist.

Für die Krumenbasis besteht bei der vorgeschlagenen Technik mit den entsprechenden Fahrwerken kein Risiko.

Das Beispiel der **Zuckerrüben** zeigt, dass es zwischen den verschiedenen SVGK erhebliche Unterschiede in den Einsatzmöglichkeiten der Technik gibt. So ist auf diesen Standorten der **SVGK 1** durch den Einsatz der angebotenen Zuckerrübentechnik (z. B. Bunkerroder) kaum ein Schadverdichtungsrisiko vorhanden.

Arbeitsgang	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/Reihenweite m	Achse	Fahrwerk Bezeichnung	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang	
					ohne	mäßig	erhebl.	ohne	mäßig
1 Herbstfurche Onlandpflügen	Traktor, 180 kW Aufsatteldrehpflug, 9-furch.	3,20	1	16.9R28					
			2	20.8R38		X		X	
2 Kartoffeln legen	Traktor, 70 kW Heckanbaulegemaschine, 4-reihig	3,00/ 0,75	1	16.9R24					
			2	18.4R34			X	X	
			3	4 x 7,5L-15 AS					
3 Mech. Pflege (2 X)	Traktor, 70 kW Heckanbauhäufelgerät	3,00/ 0,75	1	14.9R24					
			2	16.9R34		X		X	
4 Mineraldüngung (2 X)	Traktor, 70 kW Anbautellerdüngerstreuer	18,00	1	14.9R24					
			2	16.9R34			X	X	
5 Pflanzenschutz (7 X)	Traktor, 70 kW Anhänge-Feldspritze	18,00	1	14.9R24					
			2	16.9R34		X		X	
			3	11.2R48					
6 Kartoffelroden	Selbstfahrender Bunkerroder (Gleisband) 4-reihig	3,00/ 0,75	1	270/95-R48					
			2	0,635 x 2,970		X		X	
Zu erwartender Verdichtungszustand im Bereich der Fahrgasse (Regelspur) am Ende der Bearbeitungsfolge							X		X

Tab. 9: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von mittelfrühen Kartoffeln auf grundwasserfernen Sand- und Tieflehmstandorten in Brandenburg mit erheblicher Schadverdichtungsgefährdung SVGK 3

Schlussfolgerungen für die Technologie und Erfordernis nachfolgender Grundbodenbearbeitung:

- ▶ Krumentiefe Lockerung des Ap-Horizontes
- ▶ Halbierung der Zahl der Überrollungen durch Dopplung der Regelspuren mit Wechsellnutzung im Ablauf der Arbeitsgangfolge, partielle Tieflockerung der Regelspuren (40cm)

Arbeitsgang	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite	Achse	Fahrwerk Bezeichnung	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang	
					ohne	mäßig	erhebl.	ohne	mäßig
		m							
1	Saatfurche mit komb. Saatbettbereitung	3,20	1	16.9R28					
			2	20.8R38	X			X	
2	Aussaait	4,50	1	480/70R34					
			2	580/70R42	X			X	
3	Mineraldüngung (2 X)	18,00	1	14.9R24					
			2	16.9R34	X			X	
4	Pflanzenschutz (2 X)	18,00	1	14.9R24					
			2	16.9R34	X			X	
			3	11.2R48					
5	Mähdrusch mit Feldrandabbunkern	7,50	1	270/95-R48					
			2	0,635 x 2,970	X			X	
6	Stoppelbearbeitung (Strohmulch)	6,00	1	480/70R34					
			2	580/70R42	X			X	
7	Gülleausbringung mit -einarbeitung	4,50	1	800/40-25,6					
			2	66-43.00-25	X			X	

Zu erwartender Verdichtungszustand im Bereich der Fahrgasse (Regelspur) am Ende der Bearbeitungsfolge		X		X	
---	--	---	--	---	--

Tab. 10: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von Winterroggen auf sickwasserbestimmten Tieflehm- und Lehmstandorten in Brandenburg mit erheblicher Schadverdichtungsgefährdung SVKG 3

Schlussfolgerungen für die Technologie und Erfordernis nachfolgender Grundbodenbearbeitung:

- Krumentiefe Lockerung des Ap-Horizontes

Arbeitsgang	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite	Achse	Fahrwerk Bezeichnung	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang	
					ohne	mäßig	erhebl.	ohne	mäßig
		m							
1	Herbstfurche	3,20	1	16.9R28					
			2	20.8R38	X			X	
2	Saatbettbereitung	9,00	1	16.9R28					
			2	20.8R38	X			X	
3	Einzelkornaussaait	9,00	1	14.9R24					
			2	16.9R34	X			X	
4	Mineraldüngung	9,00	1	480/70R34					
			2	580//70R42		X		X	
			3	550/60-22,5					
5	Mineraldüngung (2 X)	18,00	1	14.9R24					
			2	16.9R34	X			X	
6	Pflanzenschutz (2 X)	18,00	1	14.9R24					
			2	16.9R34	X			X	
			3	11.2R48					
7	Rübenroden	3,00	1	800/65R32					
			2	800/65R32		X		X	

Zu erwartender Verdichtungszustand im Bereich der Fahrgasse (Regelspur) am Ende der Bearbeitungsfolge		X		X	
---	--	---	--	---	--

Tab. 11: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von Zuckerrüben auf Auenlehm- und Auentonstandorten in Brandenburg mit geringer Schadverdichtungsgefährdung SVKG 1

Schlussfolgerungen für die Technologie und Erfordernis nachfolgender Grundbodenbearbeitung:

- Lockerung des Ap-Horizontes auf halbe Krumentiefe

C. Weitere Möglichkeiten der Vorsorge gegen Schadverdichtung ergeben sich durch folgende Lösungen:

- ▶ Da wiederholtes Befahren derselben Radspuren die Bodenverdichtung und die Tiefenwirkung des Raddrucks verstärkt, müssen "Anschlussfahrten" nach Möglichkeit vermieden werden. So wird den Betrieben in Brandenburg empfohlen, die Schlaglängen in Arbeitsrichtung der Ladekapazität von bodenschonenden Bunkererntemaschinen, Feldtransportfahrzeugen, Dünge-, Bestell- und Applikationstechnik anzupassen. Weiterhin wird empfohlen, die Gutübergabe zwischen Feld- und Straßentransportfahrzeugen zumindest bei Ackerflächen in den SVGK 3, 4 und 5 unbedingt am Feldrand vorzunehmen.
- ▶ Um die Befahrhäufigkeit in Regelspuren zu senken, empfiehlt es sich, Fahrgassen in doppelter Anzahl (auf halbe Arbeitsbreite der Pflanzenschutz- und Düngemaschinen) anzulegen, die bei den Arbeitsgängen der Bestandsführung im Wechsel befahren werden. Bei allen Arbeitsgängen, die nicht in wachsenden Pflanzenbeständen ausgeführt werden, sollte durch planmäßige Positionierung der Fahrspuren oder Fahrwerksgestaltung (Dreiradfahrwerke, "Hundegang" u. ä.) eine möglichst gleichmäßige standortangepasste Belastung der Anbauflächen angestrebt werden, um die negativ wirkende Überrollhäufigkeit zu vermindern.

Vergleichsweise große standortspezifische ökonomische Nachteile der Betriebe auf den schadverdichtungsgefährdeten Standorten in den SVGK 3, 4 und 5 sollen zukünftig durch spezielle Fördermöglichkeiten im Rahmen von KULAB berücksichtigt werden.

3.4 Literatur (verwendete und weiterführende Literatur)

- ALTEMÜLLER, H.-J. (1962): Gedanken zum Aufbau des Bodens und seiner begrifflichen Erfassung.- Zeitschr. für Kulturtechnik 3. Jahrg., H. 6, 323-336.
- ARVIDSSON, J. AND S. ANDERSSON (1997): Determination of soil displacement by measuring the pressure of a column of liquid.- Proc. 14th ISTRO Conference,
- BARNES, K.K., W.M. CARLETON, R.J. THROCKMORTON, AND G.E. VANDENBERG (1971): Compaction of agricultural soils.- ASAE Monograph.
- BERICHTE ÜBER LANDWIRTSCHAFT (1991): Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 2 Bodennutzung, SH 204, 152 S.
- BLUME, H.-P. (ED.) (1990): Handbuch des Bodenschutzes.- ecomed, 686 S.
- BOLLING, I. UND W. SÖHNE (1982): Der Bodendruck schwerer Ackerschlepper und Fahrzeuge.- Landtechnik 37, 2, 54-57.
- BRUNOTTE, J., M. WEIßBACH, H. ROGASIK, E. ISENSEE UND C. SOMMER (2000): Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-Ernttechnik.- Zuckerrübe, 49 (1), 34-40.
- CHAMEN, T., L. ALAKUKKU, S. PIRES, C. SOMMER, G. SPOOR, F. TIJINK, AND P. WEIßKOPF (2001): Equipment and field practices to avoid subsoil compaction (in press).
- CZERATZKI, W. (1972): Die Ansprüche der Pflanzen an den physikalischen Boden Zustand.- Landbauforschung Völkenrode 26, 29-36.
- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESellschaft (2001a): Angepasstes Befahren von Niedermoorgrünland.- Merkblatt 323, 16 S.
- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESellschaft (2001b): Bodenschonung mit moderner Technik.- Arbeitsunterlage, 30 S.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1995): DVWK- Merkblatt 234, Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden Teil I.
- DIEZ, TH. (1991): Beurteilung des Bodengefüges im Feld: Möglichkeiten, Grenzen und ackerbauliche Folgerungen.- Berichte über Landwirtschaft, SH 204, 96-103.
- DÜRR, H.-J., H. PETELKAU UND C. SOMMER (1995): Literaturstudie "Bodenverdichtung".- UBA-Texte 55/95, 203 S.
- EHLERS, W., U. KÖPKE, F. HESSE, AND W. BÖHME (1983): Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil.- Soil & Till. Res. 3, 261-275.
- GULLICH, P. et al. (1990): Felddiagnoseverfahren zur Vorbereitung von Unterbodengefügemeliorationen-Einsatzrichtlinien.- Akad. Landwirtsch. Wiss. DDR.
- HAKANSSON, I. (1994): Subsoil compaction caused by heavy vehicle weight – a long-term threat to soil productivity.- Soil & Tillage Research Res. 29, 105-110.
- HARTGE, K.H. UND C. SOMMER (1980): The effect of geometric patterns of soil structure on compressibility.- Soil Sci. 130 (4), 180-185.
- HARTGE, K.H. UND R. HORN (1992): Die physikalische Untersuchung von Böden.- Enke-Verlag, 177 S.
- HILDEBRANDT, E.E. (1983): Der Einfluß der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktionen im forstlichen Standort.- Forstwissenschaft. Centralblatt 102, 111-125.
- HORN, R. (1981): Die Bedeutung der Aggregation von Böden für die mechanische Belastbarkeit.- Landschaftsentwicklung und Umweltforschung Nr. 10.
- HORN, R. UND H. SEMMEL (1994): Spannungen und Spannungsverteilungen in Ackerböden

- während des Befahrens.- Landbauf. Völkenrode SH 147, 41-60.
- HORN, R., J.J.H. VAN DEN AKKER, AND J. ARVIDSSON (EDS.) (2000): Subsoil compaction.- *Advances in Geocology* 32, 462 pp.
- HORN, R., M. LEBERT UND N. BURGER (1991): Mechanische Belastbarkeit der Böden Bayerns.- Bayer. Staatsmin. für Landentwicklung und Umweltfragen, Materialien 73, 178 S.
- KORDA, V.A. (ED.) (1987): Compaction of arable soils (in Russian). – Akad. Nauk. U.S.S.R., Moscow, 216 pp.
- KÜNKELE, S. (1996): Einfluß von Bodenverdichtungen auf Qualität und Ertrag von Gemüse.- Dissertation Universität Hannover. Cuvillier Verlag Göttingen, 116 S.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz – Schlußfolgerungen für gute fachliche Praxis.- Arbeitspapier 266, 130 S.
- LARINK, O., C. HEISLER, W. SÖCHTIG, B. LÜBBEN UND L. WICKENBROCK (1995): Einfluß verdichteter Ackerböden auf die Bodenfauna und ihr Beitrag zur Bodenlockerung.- *KTBL-Schrift* 362, Darmstadt, 142-156.
- LEBERT, M. (1989): Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden.- *Bayreuther Bodenkundliche Berichte* Band 12, 159 S.
- LETEY, J. (1984): Relationship between soil physical properties and crop production.- *Advances in Soil Science* 1, 277-294.
- MATTHIES, D. (1999): Forstliche Bodenschutzkonzepte.- *Recht d. Landwirtschaft*, 9, 227-229.
- Mc KYES, E. (1985): Soil cutting and tillage.- Elsevier, Amsterdam, 217 pp.
- NIEDERSÄCHSISCHES AMT FÜR BODENFORSCHUNG (1999): Potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit, Karte Niedersachsen 1:500000.
- OLFE, G. (1995): Zur Bodenbelastung durch den Schlepper- und Maschineneinsatz in der pflanzlichen Produktion.- *KTBL-Schrift* 362, 12-28.
- OLFE, G. UND H. SCHÖN (1986): Bodenbelastung durch Schlepper- und Maschineneinsatz.- *KTBL-Schrift* 308, 35-47.
- PETELKAU, H. (1984): Auswirkungen von Schadverdichtungen auf Bodeneigenschaften und Pflanzenertrag sowie Maßnahmen zu ihrer Minderung.- *Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR*, Berlin 227, 25-34.
- PETELKAU, H., K. SEIDEL UND MO. FRIELINGHAUS (2000): Schadverdichtung der landwirtschaftlichen Mineralböden im Land Brandenburg.- *Forschungsbericht*, 135 S.
- PROCHNOW, A. (1999): Angepasstes Befahren von Niedermoorgrünland.- *Schriftenreihe des Landschafts-Fördervereins Nuthe-Nieplitz-Niederung e. V.*, H. 3, 106 S.
- RÜTEMANN, B. (1996): Einfluß verschiedener Verfahrenstechniken auf die Bodenbelastung und Bodenverdichtung im Freilandgemüsebau.- Dissertation Universität Hannover. Schriftenreihe des Instituts für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft Universität Hannover, Gartenbautechnische Informationen H. 39.
- RUHM, E. ZIT. VON SOMMER, C. (1985): Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Verminderung.- *Landtechnik* 40, 9, 378-384.
- SOANE, B.D. AND C. VAN OUWERKERK (EDS.) (1994): Soil compaction in crop production.- Elsevier, 662 pp.
- SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung und Bodenverformung unter Schlepperreifen.- *Grundlagen der Landtechnik* 5, 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 Völkenrode SH* 26.
- SOMMER, C. (1998): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion.- *Bodenschutz* 1, 12-16.
- SONDERHOFF, W. (1988): Messungen zum Status der Bodenverdichtung und Bedeutung von Mechanisierungsverfahren.- *Diss. Univ. Kiel*, 142 S.
- WEIßBACH, M. UND K. WINTER (1996): Bodenbelastung und Zugkraftübertragung.- *RKL-Schrift* 2.1.2.1.
- WERNER, D. (1994): Wandel des Bodengefüges in einer Löß-Schwarzerde unter differenzierter Druckbelastung und Bearbeitung.- *Landbauforschung Völkenrode, SH* 147, 77-89.
- WERNER, D. UND J. REICH (1993): Verbesserung schadverdichteter Ackerböden durch Lockerung.- *Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)*, 437-476.
- WERNER, D. UND R. PAUL (1999): Kennzeichnung der Verschichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. – *Z. Wasser und Boden* 51, 10 – 14.

Inhalt Kapitel 4

Seite

Vorsorge gegen Bodenerosion

Mo. Frielinghaus, R. Brandhuber, P. Gullich u. W.-A. Schmidt 42

4.1 Sachstand 42

4.1.1 Bedeutung und Definition 42

4.1.2 Verlauf der Wassererosion 42

4.1.2.1 Faktoren, die zur Bodenverlagerung führen können 44

4.1.2.2 Orientierungswerte 45

4.1.3 Verlauf der Winderosion 45

4.1.3.1 Faktoren, die zur Bodenverlagerung führen können 46

4.1.3.2 Orientierungswerte 47

4.1.4 Sichtbare und nicht sichtbare Erosionsschäden und tatsächliche Gefährdung 48

4.1.5 Schlussfolgerungen aus dem Sachstand 50

4.2 Maßnahmen der guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenerosion 50

4.2.1 Abschätzung (Indikation) der Wasser- und Winderosionsgefährdung 50

4.2.1.1 Bewertung der standortbedingten Gefährdung/potenzielle Gefährdung [A] 52

4.2.1.2 Bewertung der nutzungsbedingten Gefährdung/Nutzungsrisiko [B] 52

4.2.1.3 Bewertung der tatsächlichen Erosionsgefährdung und Konsequenzen [C] 55

4.2.2 Vorsorgemaßnahmen gegen Bodenerosion: Lösungen, Umsetzung und mögliche Probleme . 55

4.2.2.1 Allgemeine acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen 56

4.2.2.2 Erosionsmindernde Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren 57

4.2.2.3 Erosionsmindernde Flurgestaltung 60

4.3 Beispiele für Schutzkonzepte aus den Bundesländern 61

4.3.1. Schutz vor Wassererosion in Bayern R. Brandhuber 61

4.3.2. Schutz vor Wassererosion in Mecklenburg Vorpommern Mo. *Frielinghaus* u. B. *Winnige* 65

4.3.3. Schutz vor Wassererosion in Niedersachsen J. *Brunotte* 72

4.3.4. Schutz vor Wassererosion in Nordrhein-Westfalen J. *Eisele* 77

4.3.5. Schutz vor Winderosion in Brandenburg R. Funk, B. *Winnige* u. Mo. *Frielinghaus* 79

4.3.6. Schutz vor Bodenerosion in Sachsen W. *Schmidt* 86

4.4 Literatur (verwendete und weiterführende Literatur) 88

4. Vorsorge gegen Bodenerosion

Mo. Frielinghaus, R. Brandhuber, P. Gullich u. W.-A. Schmidt

4.1 Sachstand

4.1.1. Bedeutung und Definition

Wasser- und Winderosion können bei nicht standortangepasster Bodenbewirtschaftung die Produktions-, Lebensraum- und Regelungsfunktionen der Böden (Onsite-Wirkungen) sowie auch benachbarte und weiter entfernte Ökosysteme durch Nähr- und Schadstoffeinträge (Offsite-Wirkungen) beeinträchtigen (Schwertmann et al., 1989; Bork, 1991; Nolte, 1991; Werner et al., 1994; Blume, 1990; Frielinghaus et al., 1999). Bodenerosion gilt weltweit als großes Problem und Ursache der teilweise irreversiblen Bodendegradierung mit erheblichen sozialen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Folgen (Boardman et al., 1990).

Umfang und Auswirkungen der durch Wasser- und Winderosion transportierten Bodenmenge sind in einzelnen europäischen Regionen je nach Klima, Naturraum und Landnutzung differenziert zu beurteilen (Richter et al., 1998). In Deutschland sind die Böden in vielen Regionen durch Bodenerosion 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. 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. Die aus dem Gesetz abgeleiteten Zusammenhänge zwischen Vorsorge und Gefahrenabwehr werden in der Abbildung 24 dargestellt.

Unter **Bodenerosion** versteht man die Verlagerung von Bodenmaterial an der Bodenoberfläche durch Wasser oder Wind als Transportmittel. Bei diesem Vorgang können innerhalb einer Fläche (Feld) Bereiche mit vorwiegendem Abtrag und Bereiche mit vorwiegendem Auftrag abgegrenzt werden. Dann spricht man von Onsite-Schäden. Vielfach wird das Bodenmaterial aus der eigentlichen Erosionsfläche in benachbarte oder weiter entfernte Flächen, Gewässer, Biotope oder die Atmosphäre ausgetragen, dann spricht man von Offsite-Schäden.

4.1.2 Verlauf der Wassererosion

Regentropfen fallen mit hoher Energie auf die Bodenoberfläche, zerstören Aggregate oder lösen Bodenteilchen ab und schleudern sie hoch. Frisch bearbeiteter Boden mit feiner Aggregation verschlämmt durch diesen Vorgang sehr leicht (Abb. 25). Das Niederschlagswasser kann danach nicht schnell genug in den Boden eindringen, weil keine großen nach oben offenen Poren mehr vorhanden sind.

Dadurch sammelt sich Wasser auf der Bodenoberfläche und läuft den Hang hinab. Die obere Bodenschicht wird immer instabiler und bei Fortdauern des Regens werden die losgelösten Teil-

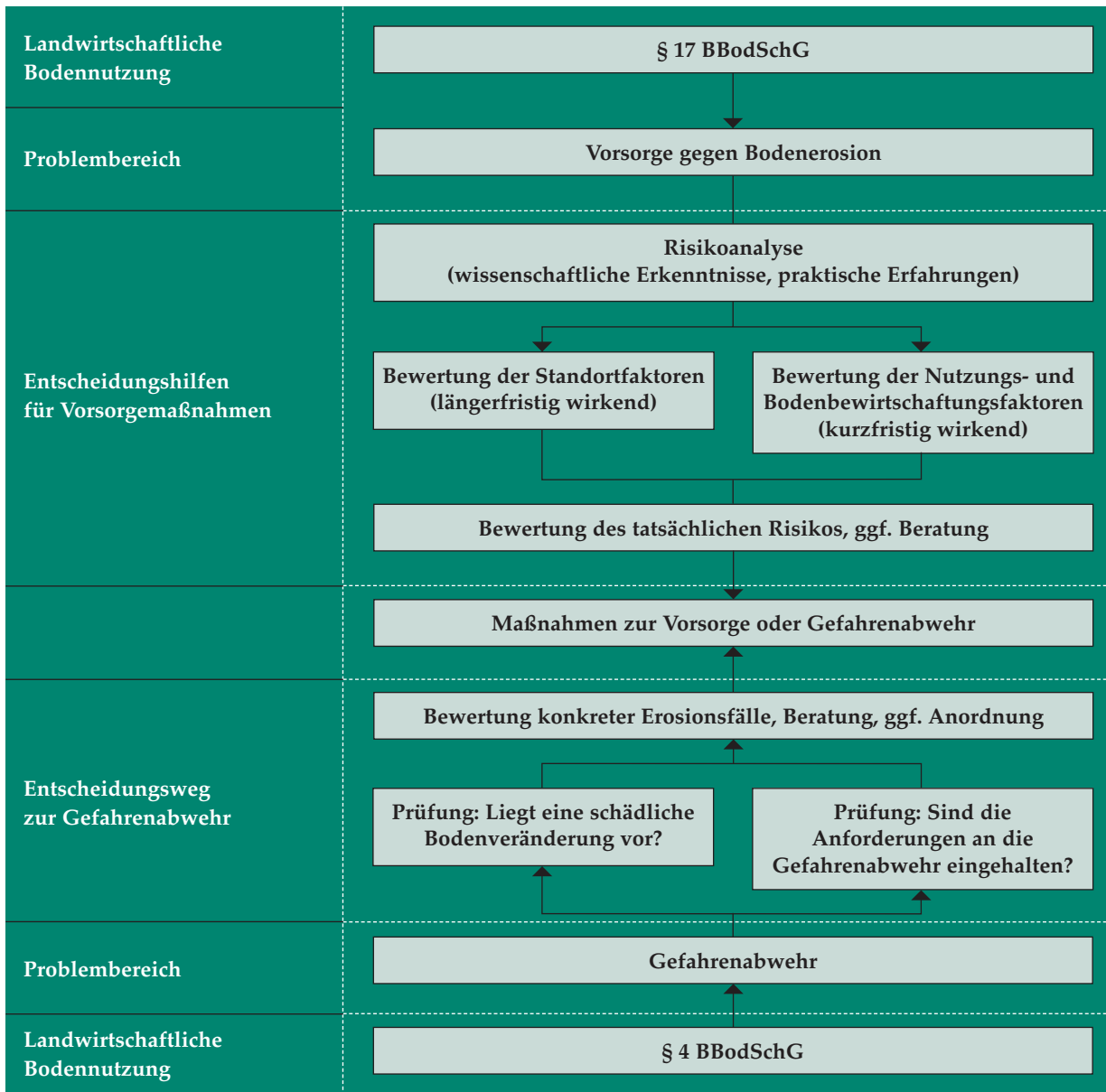


Abb. 24: Entscheidungshilfeschema zur Vorsorge gegen Bodenerosion

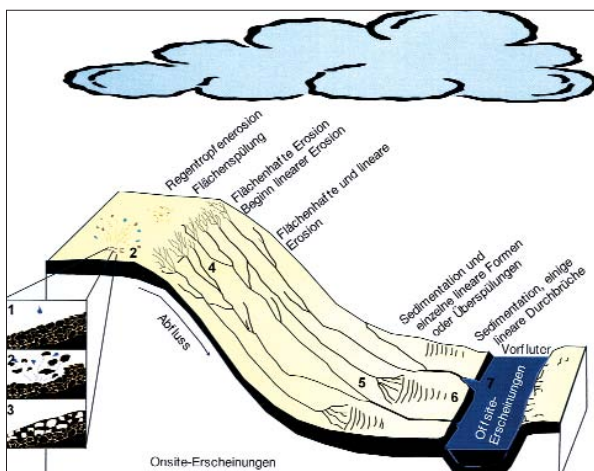


Abb. 25: Schema der Wassererosion

chen mitgenommen. Da die Bodenoberfläche vor Niederschlägen oft bereits hangabwärts gerichtete Bewirtschaftungsmuster wie Fahrspuren oder Saatreihen aufweist, konzentriert sich das Wasser darin. Es entstehen Rillen, Rinnen und schließlich oft Gräben, die sich mit zunehmender Regendauer oder Regenstärke vergrößern (Frielinghaus, 1996). Beim nächsten Niederschlag ist die Bodenoberfläche bereits instabil und die Abflusslinien sind ausgeprägt, so dass sich der Transportprozess beschleunigt. Nimmt die Hangneigung hangabwärts ab und wechselt zum konkaven Unterhang, verlangsamt sich die Fließgeschwindigkeit und die Ablagerung beginnt. Zuerst sedimentieren die groben Teilchen, die feineren Bestandteile werden weiter transportiert. Liegt der Hang unmittelbar an einem Gewässer, ist oft ein direkter Austrag von Sediment aus der Fläche und Eintrag in das Gewässer zu beobachten (Frielinghaus et al., 2000).

4.1.2.1 Faktoren, die zur Bodenverlagerung führen können

Standortfaktoren, längerfristig wirkend [A]

Niederschlag [1]
Topographische Faktoren, wie Hangneigung, -länge und -form [2]
Bodenzusammensetzung [3]
Langfristige Nutzung (Wald, Grünland, Acker) [4]



Potenzielle Gefährdung

Nutzungsfaktoren, kurzfristiger wirkend [B]

Bodenbedeckung [5]
Wasseraufnahmefähigkeit [6]
Bodenverdichtungen in Krume u. Unterboden [7]
Aggregatstabilität, Scherwiderstand [8]
Aktuelle Bodenfeuchte [9]

[A] + [B] ergeben:



Tatsächliche Gefährdung

Jedes einzelne Niederschlagsergebnis bestimmt die:



Aktuelle Gefährdung

Niederschlag [1]

Auslöser der Wassererosion sind starke und langanhaltende Niederschläge, die eine bestimmte Intensität (I) und eine bestimmte Höhe (P) überschreiten. Die erosive Wirkung des Regens kann als Regenfaktor (R) ausgedrückt werden. Je größer dieser Wert ist, um so mehr und/oder stärkere Niederschläge wirken im Jahr erosionsauslösend. 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 bestimmt wird. Im Winter existieren Risiken vorrangig bei langanhaltenden Niederschlägen auf gesättigten oder gefrorenen, unbedeckten Böden sowie bei plötzlicher Schneeschmelze. In dieser Zeit ist die Gefahr von Sedimentverlagerungen in Gewässer auf vielen Standorten besonders hoch.

Topographische Faktoren [2]

Hangneigung, -länge und -form wechseln häufig und sind unterschiedlich kombiniert. Ihr Einfluss auf den Bodenabtrag ist groß. Zunehmende Hanglänge und -neigung fördern den Bodenabtrag ebenso wie Dellen, Mulden und Hohlformen in den Hängen, die zu einer Sammlung von

Oberflächenwasser führen und bevorzugte Abflussbahnen bilden.

Bodenzusammensetzung [3]

Die Korngrößenzusammensetzung eines Bodens entscheidet vorrangig über die Verlagerungsgefährdung. Strukturstabilität und Wasseraufnahmefähigkeit werden weitgehend durch die Textur des Bodens und den Humusgehalt bestimmt. Jede Bodenart wird durch eine bestimmte Korngrößenzusammensetzung geprägt. Ein Boden ist um so anfälliger, je höher sein Anteil an Feinsand und Schluff ist. Steigender Anteil an Ton über 20 % erhöht die Kohäsion und Stabilität gegenüber Niederschlägen, so dass es allenfalls zu Oberflächenabfluss kommt, in dem oft feine Bodenteilchen abgeschwemmt werden.

Langfristige Nutzung (Wald, Grünland, Acker) [4]

Zwischen langfristiger Wald-, Grünland- oder Ackernutzung treten große Unterschiede in der Erosionsgefährdung auf. Ein dichter Baumbestand verhindert, dass Niederschläge ungebrems 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 Bestellung mit dem Pflug

und anschließender Saatbettbereitung, längere Zeit im Jahr nicht ausreichend bedeckt und daher stark gefährdet.

Bodenbedeckung [5]

Die tatsächliche Wassererosionsgefährdung wird von der Bodenbedeckung durch Pflanzen oder Pflanzenrückstände bestimmt. Das Risiko nimmt mit zunehmender Bedeckung ab. Eine 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 Hackfrüchten, wie Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln beim Anbau auf gefährdeten Hängen, wenn sie nach konventioneller Bearbeitung bestellt werden. Intensive Sommerniederschläge sind besonders erosiv, so dass für diese Fruchtarten eine zusätzliche Bodenbedeckung zwischen den Reihen notwendig wird.

Wasseraufnahmefähigkeit [6]

Je höher die Oberflächenrauigkeit ist, um so mehr Wasser kann in den vielen kleinen Mulden gespeichert und um so 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 vergleichbar mit einer stabilen Bodenbedeckung. Für die "Regenverdaulichkeit" (Infiltration), d. h. die schnelle Aufnahme und Abführung von Niederschlägen, sind die schnell dränenden Poren (ehemalige Wurzelgänge, Regenwurmzüge) und die durch die Bodenstruktur bestimmte Durchgängigkeit der Mittelporen von der Bodenoberfläche bis in die unteren Bodenschichten verantwortlich. Bei Bodenstrukturschäden kann diese Kapazität erheblich vermindert sein und nicht mehr ausreichen.

Bodenverdichtungen in Krume und Unterboden [7]

Die aktuelle Erosionsgefährdung steigt auch, wenn hangabwärts verdichtete Areale, wie z. B. Fahrspuren oder verdichtete Vorgewende am Oberhang, vorhanden sind, die die zügige Versickerung des Niederschlagswassers in tiefere Bodenschichten verhindern. Bis zur folgenden Bodenbearbeitung bleiben diese Sammelbereiche für Niederschlagswasser und beginnenden Oberflächenabfluss in der Regel bestehen. Das gesammelte Wasser entwickelt hangabwärts eine zunehmende Geschwindigkeit mit hohen Turbulenzen und kann zu großen Schäden führen.

Aggregatstabilität, Scherwiderstand [8]

Böden mit erhöhter Wassererosionsgefährdung zeichnen sich in der Regel durch eine geringe Aggregatstabilität und einen geringen Scherwiderstand aus. Destabilisierend wirken geringe

Ton-, Humus- und Kalkgehalte im Boden sowie eine verminderte mikrobiologische Aktivität.

Aktuelle Bodenfeuchte [9]

Der Einfluss der aktuellen Bodenfeuchte wird besonders im Winter deutlich. Die Poren sind dann wassergefüllt, die Aufnahmekapazität ist weitgehend erschöpft. Daraus resultiert ein veringertes Scherwiderstand. Häufig wirkt Winter-niederschlag deswegen erosiv, weil er auf gesättigten Boden fällt und das Bodengefüge besonders instabil ist.

4.1.2.2 Orientierungswerte

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

Wassererosion

- ▶ Niederschlag > 7,5 mm Menge oder > 5 mm je Stunde (Intensität)
- ▶ Boden-anfälligkeit bevorzugt sandige Lehme und lehmige Sande sowie Schluffe
- ▶ Hanglängen > 50 m*
- ▶ Hangneigung > 4 % *
- ▶ Bodenoberfläche fehlende Bodenbedeckung

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

4.1.3 Verlauf der Winderosion

Winderosionsprozesse werden von anderen Faktoren bestimmt und laufen anders ab als die bei Wassererosion.

Wind überströmt mit einer erhöhten Geschwindigkeit die Bodenoberfläche und setzt durch Druck- und Hubkräfte Teilchen in Bewegung (A) (Abb. 26).

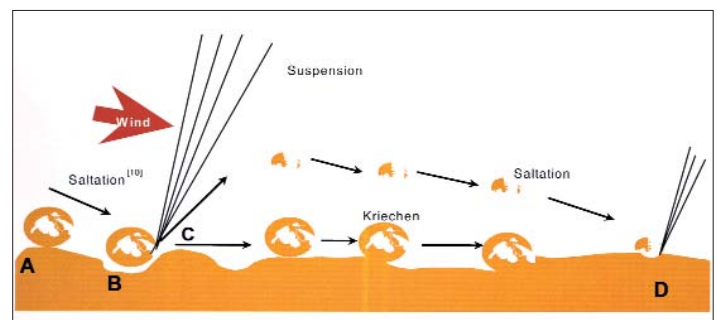


Abb. 26: Schema der Winderosion

In Abhängigkeit von ihrer Größe werden die Teilchen an der Bodenoberfläche bewegt oder treffen auf andere Teilchen auf. Abrasion zerstört die Bodenoberfläche (B). Kleinere Teilchen werden in die Luft geschleudert. Der bodennahe Transport ist in der Regel beim nächsten Hindernis beendet, es erfolgt eine sortierende Zwischenablagerung und Dünenbildung (C). Kleine-

re Teilchen werden weiter transportiert, auch die Dünen können weiter wandern. Später werden weitere Teilchen abgelagert (D). Die in Suspensionsform in höhere Luftschichten transportierte Fracht wird meistens aus den erodierten Flächen ausgetragen und erst weit entfernt in der Landschaft akkumuliert (Funk et al., 1998).

4.1.3.1 Faktoren, die zur Bodenverlagerung führen können

Standortfaktoren, längerfristig wirkend [A]

- Wind [1]
- Windoffenheit der Flächen [2]
- Bodenzusammensetzung [3]
- Hydromorphie des Standortes [4]
- Längerfristige Nutzung (Wald, Grünland, Acker) [5]



Potenzielle Gefährdung

Nutzungsfaktoren, kurzfristiger wirkend [B]

- Bodenbedeckung [6]
- Oberflächenrauigkeit (7)
- Aggregatstabilität (8)
- Aktuelle Bodenfeuchte der Oberfläche (9)

[A] + [B] ergeben:



Tatsächliche Gefährdung

Ein einzelnes Windergebnis bestimmt:



Aktuelle Gefährdung

Wind [1]
Auslöser von winderosionsbedingten Bodenverlagerungen können Winde mit einer Geschwindigkeit > 6...8 m je Sekunde (in 10 m Höhe gemessen) bei trockener Witterungslage sein. Der flächenhafte Abtrag von Boden wird vor allem durch Windstärke und –turbulenzen bewirkt. Die Verwirbelung in der bodennahen Luftschicht führt auch bereits in kleinen Böen zu beträchtlichen Windgeschwindigkeiten. Der Zeitraum starker Winderosivität liegt im Winter bei anhaltender Ostwetterlage, wenn kein Schnee auf der brachen Bodenoberfläche liegt, sowie im Frühjahr. Hohe Winderosionsgefährdung besteht besonders in den Gebieten, in denen neben häufig hohen Windgeschwindigkeiten auch eine negative klimatische Wasserbilanz (Nieder-

schlagsdefizit bei hoher Verdunstungsrate) vorherrscht.

Die jährliche mittlere Windgeschwindigkeit nimmt von der Küste im Norden in Richtung Süden ab. Die mittlere Windgeschwindigkeit als Angabe des Deutschen Wetterdienstes reicht für die Gefährdungseinschätzung nicht aus, da die Maximalwerte ausschlaggebend sind.

Windoffenheit der Flächen [2]

In vielen Gebieten Deutschlands herrschte schon immer eine große Windoffenheit vor, die allerdings in den letzten 50 Jahren weiter zugenommen hat.

In einer kleinstrukturierten Landschaft wird das Windfeld insgesamt angehoben, so dass die bodennahen Bereiche wesentlich geschützter

sind. Es gibt Richtwerte, welche Ausstattung in Landschaften mit geringen Waldflächenanteilen wünschenswert ist. Im Sinne der Vorsorge sind nach dem BBodSchG die naturbetonten Strukturelemente der Feldflur, die gegen Bodenerosion wirken, besonders hoch zu bewerten.

Bodenzusammensetzung [3]

Besonders verwehungsgefährdet sind sandige Böden mit einem hohen Anteil von Mittel- und Feinsand sowie einem geringen Grobskelettanteil in der Korngrößenzusammensetzung. Bevorzugt werden fluvial (durch fließendes Wasser) entstandene oder beeinflusste Talsande, wie sie in den Einzugsbereichen der größeren Flüsse und den großen Niederungsgebieten vorkommen, transportiert. Ähnlich anfällig sind degradierte Niedermoore, deren Humusbestandteile bereits mineralisiert und damit in einen labilen Zustand übergegangen sind. Diese Veränderung ist in der Regel irreversibel und die eingeleitete "Vermulung" der Moorböden führt zu einer sehr starken Winderosionsgefährdung.

Hydromorphie des Standortes [4]

Böden, die eine sehr geringe Wasserhaltefähigkeit besitzen, trocknen in wenigen Stunden stark aus und sind demzufolge sehr verwehungsgefährdet. Dazu gehören vorrangig die ehemals grundwasserbeeinflussten Sande in den Talsandbereichen, bei denen durch tiefe Entwässerung die kapillare Verbindung zum Grundwasser unterbrochen wurde. Weiterhin gehören leichte grundwasserferne Sande und übernutzte entwässerte Niedermoore, deren Wasserhaushalt ebenfalls stark verändert ist oder die sickernwasserbestimmt waren, zu den besonders gefährdeten Standorten.

Langfristige Nutzung (Wald, Grünland, Acker)[5]

Ähnlich wie bei der Wassererosion findet in Waldbaugebieten und in Grünlandgebieten keine Winderosion statt. Im intensiven Ackerbau (insbesondere bei konventioneller Bestellung mit dem Pflug) ist die Gefährdung stets vorhanden, wenn der Boden nicht mit Vegetation bedeckt ist.

Bodenbedeckung [6]

Die aktuelle Winderosionsgefährdung wird von der Bodenbedeckung durch Pflanzen oder Pflanzenrückstände bestimmt. Das Risiko nimmt bereits bei einer Bodenbedeckung > 25 % deutlich ab. Dadurch sind die Zeiten bei einzelnen Fruchtarten, in denen eine erhöhte Gefährdung vorliegt, auf die Winter- und Frühjahrsmonate begrenzt. Besonders anfällig sind alle Sommerkulturen. Darunter fallen auch Gemüsearten, die auf winderosionsgefährdeten Standorten vielfach angebaut werden und sich sehr langsam entwickeln.

Oberflächenrauigkeit [7]

Eine raue Oberfläche ist gegenüber dem Wind stabiler als eine glatte. Durch die Rauigkeit wird die bodennahe Windgeschwindigkeit verringert und damit die Aufnahmefähigkeit des Windes für Bodenpartikel begrenzt. Ein weiterer erosionsmindernder Effekt der Rauigkeit besteht im Einfangen bereits in Bewegung befindlicher Partikel im Windschatten der Bodenwellen (z. B. zwischen Kartoffeldämmen).

Aggregatstabilität [8]

Da vom Wind in der Regel nur Partikel oder Aggregate mit einem Durchmesser < 0,6 mm fortbewegt werden können, ist die Stabilität von Aggregaten an der Oberfläche besonders wirksam. Dies betrifft sowohl die Stabilität gegenüber Windkrafteinflüssen als auch die gegenüber der Saltation, die ähnlich wie ein Sandstrahlgebläse die Aggregate belastet. Im allgemeinen steigt die Aggregatstabilität mit zunehmendem Tonanteil. Auch die organische Bodensubstanz kann zu einer Vergrößerung und Stabilisierung der Aggregate beitragen.

Aktuelle Bodenfeuchte der Oberfläche [9]

Für den Beginn einer Bodenverwehung ist ausschlaggebend, wie feucht die Bodenoberfläche ist. Die wegen des gesunkenen Grundwasserstandes besonders gefährdeten Böden trocknen binnen kürzester Zeit an der Oberfläche aus. Damit wird bereits wenige Stunden nach einem, die Winderosion vorübergehend reduzierenden, Niederschlag wiederum eine hohe Winderosionsdisposition registriert.

4.1.3.2 Orientierungswerte

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

Winderosion

- | | |
|-----------------------------------|--|
| ▶ Windgeschwindigkeit | > 8 m/sec., gemessen in 10 m Höhe (entspr. 5 bis 6 m an der Bodenoberfläche) |
| ▶ Bodenanfälligkeit | bevorzugt Feinstsand und Anmoor, trocken |
| ▶ Windoffenheit in der Landschaft | < 5 km Flurelemente je km ² in waldarmen Regionen |
| ▶ Bodenoberfläche | fehlende Bodenbedeckung |
-

4.1.4. Sichtbare und nicht sichtbare Erosionsschäden und tatsächliche Gefährdung

Vielfach werden Schäden nach Wasser- oder Winderosionsereignissen an Pflanzenbeständen sichtbar oder es werden Anlagerungen an Gewässer oder Einträge in Gewässer und Staubstürme registriert. Man kann zwischen flächeninternen Schäden (Onsite-Schäden) und flächenexternen Schäden (Offsite-Schäden) unterscheiden (Frielinghaus, 1996; Richter, 1998).

Als **flächeninterne Schäden** werden erosionsbedingte Schäden bezeichnet, die auf den Flächen entstehen, auf denen die Bodenverlagerungsprozesse ablaufen.

Sichtbare Schäden sind beispielweise:

- ▶ Verletzung, Entwurzelung, Überdeckung und Vernichtung von Kulturpflanzen (Abbildung 27)
- ▶ erschwertes Befahren der Äcker durch tiefe Erosionsrinnen oder Dünen (Abbildung 28)
- ▶ Wegspülen und Wegblasen von Saatgut, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln vom Ausbringungsort und Ablagerung an unerwünschter Stelle (Abbildung 29, 30)

Nicht sichtbare Schäden sind beispielsweise:

- ▶ Verlust an durchwurzelbarer Bodensubstanz und damit vermindertes Wasserspeicher-, Filter- und Puffervermögen
- ▶ Beeinträchtigung der ökologischen Funktionsfähigkeit geschädigter Böden
- ▶ Verarmung des Bodens an Humus und Pflanzennährstoffen
- ▶ Minderung der Erträge und der Ertragsfähigkeit
- ▶ Zunahme der Flächenheterogenität
- ▶ Akkumulation von Schadstoffen durch Konzentration von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln im Ablagerungsbereich

Als **flächenexterne Schäden** werden erosionsbedingte Stoffausträge aus den "Quellflächen" der Erosion bezeichnet

Solche Schäden sind beispielsweise:

- ▶ Einträge in benachbarte Biotope, Vorfluter oder andere Nachbarsysteme, die in diesen zu Verschiebungen im jeweiligen Stoffhaushalt und zu erheblichen Schäden führen (Abb. 31 und 32)
- ▶ Verschmutzung von angrenzenden Straßen, Wegen, Gräben

Seit Jahren wird in verschiedenen Regionen Deutschlands gemessen, wie viel Boden bei einem Wasser- oder Winderosionsereignis verlagert wird (Richter, 1998; Hassenpflug, 1998). Während regelmäßig mit Mengen um 10 t je ha gerechnet werden muss, wurden in sehr seltenen Extremfällen Bodenverlagerungen bis 170 t je ha bei Starkregen im April auf einem Zuckerrüben-



Abb. 27: Verletzung und Beschädigung von Kulturpflanzen



Abb. 28: Erschwerte Bewirtschaftung von Ackerflächen mit Erosionsgräben



Abb. 29: Bodentransport hangabwärts in Gewässer



Abb. 30: Wassererosionsablagerung am/im Gewässer



Foto: Frielinghaus

Abb. 31: Sedimenteintrag infolge Winderosion in das Randbiotop



Foto: Frielinghaus

Abb. 33: Grabenerosion nach einem Starkregen im Sommer



Foto: Frielinghaus

Abb. 32: Sedimenteintrag in das benachbarte Gewässer nach einem Starkregen



Foto: Frielinghaus

Abb. 34: Flächenhafte Wassererosion an einem Oberhang

schlag in der Uckermark oder bei Sommergewittern in Bayern festgestellt (Frielinghaus in Richter, 1998; Auerswald et al., 2000). Solche "Großereignisse" sind spektakulär, weil die Bodenverlagerung oft in linearen Bahnen (Rinnen und Gräben) gravierende Spuren hinterlässt und in der Regel flächenexterne Schäden Aufmerksamkeit erregen wie Schlammlawinen in Ortschaften oder Sandbarrieren in Gewässern. Solche Ereignisse werden durch sogenannte "Jahrhundertregen" ausgelöst und treten nur selten auf (Abb. 33).

Viel häufiger ist die sogenannte "schleichende" Bodenerosion, die nach und nach zu erheblichen Bodenverlagerungen führen kann (Abb. 34). So hat die Heterogenität der Ackerflächen in vielen Regionen zugenommen und ein hoher Anteil kolluvialer Böden ist entstanden (Bork et al., 1999).

Die Schätzungen zeigen, dass der Umfang der Wassererosionsgefährdung bedeutender als der der Winderosionsgefährdung ist. Regional kann aber auch die Winderosion in jedem Jahr zu erheblichen Onsite- und Offsite-Schäden führen.

Die **flächeninternen Wirkungen (Onsite-Folgen)** der Bodenerosion wurden hinsichtlich der Reduzierung der Ertragsfähigkeit durch ständigen Boden- und Humusabtrag für verschiedene Standorte Deutschlands abgeschätzt. So sind auf

den Hängen oder winderosionsgefährdeten Flächen oftmals Ertragsrückgänge um 70 % registriert worden (Richter, 1965 und 1998; Frielinghaus et al., 1992). Die direkten mechanischen Schäden an Pflanzen führten besonders bei Zuckerrüben und Gemüsekulturen alljährlich zu Ausfällen oder zusätzlichen Kosten für eine Neubestellung von geschädigten Flächen. Die negativen Folgen für die ökologisch bedeutsamen Bodenfunktionen und ihre Nachhaltigkeit ergeben sich aus der Abnahme des Bodenvolumens für Speicherung, Pufferung, Filterung, als Pflanzenstandort und als Lebensraum für Mikroorganismen und Bodentiere. Der bevorzugte Abtransport von Feinanteilen und Humusstoffen, oftmals über viele Jahre hinweg führt besonders auf Standorten mit geringem durchwurzelbarem Raum zu negativen Bodenveränderungen.

Die **flächenexternen Wirkungen (Offsite-Folgen)** wurden im Falle der Wassererosion besonders hinsichtlich der Gewässereutrophierung bewertet. Von den diffusen Stickstoffeinträgen in die Flussgebiete von Donau, Rhein und Elbe werden 1,8 bis 2,8 % auf Bodenerosion zurückgeführt (Zeitraum 1993 - 1997). Die erosionsbedingten Phosphoreinträge werden z. B. für die Donau mit 40,3 %, für den Rhein mit 21,5 % und für die Elbe mit 25,0 % der diffusen Einträge geschätzt (UBA - Texte 75/99). Die differenzierten Angaben deuten auf die Schwierigkeiten bei der genauen Schätzung hin, die potenziellen Gefahren für die

Gewässer und damit die Nord- und Ostsee und das Schwarze Meer werden aber deutlich (Braun et al., 1997). Binnengewässer oder Feuchtbiotope mit hohem Naturschutzwert werden unmittelbar durch Schadstoffschübe infolge starker Niederschläge im Sommer oder langanhaltender Winterniederschläge gefährdet, wenn sie in erosionsgefährdeten Landschaften liegen. Im Falle der Winderosionsschäden ist eine Schätzung der Atmosphärenbelastung oder der Einträge in weiter entfernte Ökotope noch nicht möglich. Durch Wind verlagerte Schadstoffe sind aber in weit entfernten Akkumulationsbereichen nachgewiesen worden (Steiner, 1996).

Die erosionsbedingte Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln ist zur Zeit noch nicht ausreichend untersucht und nach ersten Aussagen nur sehr begrenzt von Bedeutung (Frielinghaus, 2001).

4.1.5 Schlussfolgerungen aus dem Sachstand

- ▶ Vorsorge gegen Bodenerosion muss auf den gefährdeten Standorten stets erfolgen und zu den Grundprinzipien landwirtschaftlicher Nutzung gehören.
- ▶ Bodenerosionserscheinungen und -formen sind regionsspezifisch sehr unterschiedlich, daher sind die möglichen Risiken für den Standort und die Umwelt auch differenziert zu bewerten.
- ▶ Vorsorgemaßnahmen gegen Bodenerosion müssen entsprechend den jeweiligen standort- und nutzungs-spezifischen Risiken praktiziert werden. Dabei bilden die Erfahrungen der Landwirte die Grundlage für einen effektiven Bodenschutz gegen Erosion.
- ▶ Geeignete Vorsorge- und Schutzverfahren sind verfügbar. Eine Auswahl muss je nach den betrieblichen Strukturen und den standortspezifischen Erfahrungen getroffen werden.
- ▶ Die Ursachen für die lokal festgestellte Zunahme der tatsächlichen Erosionsrisiken und Erosionsschäden liegen in der Regel in nicht standortangepasster Bewirtschaftung und Nutzung der Flächen, die eine natürliche Disposition für Bodenerosion aufweisen.
- ▶ Obwohl inzwischen viele Schutzverfahren und Vorsorgemöglichkeiten bekannt und standortspezifisch erprobt sind, kann der Anwendungsumfang nicht befriedigen. Vielfach sind noch Defizite bei der betrieblichen Einordnung der Verfahren vorhanden.
- ▶ Für mehrere Verfahren zum Schutz vor Bodenerosion liegen noch unzureichende Standorterfahrungen vor. Daher wird das Risiko bei der Etablierung neuer Bewirtschaftungssysteme von vielen Landwirten gegenwärtig als zu hoch oder nicht verkräftbar eingeschätzt. Um das Risiko zu mindern, können eine Reihe von Förderprogrammen der Bundesländer für Maßnahmen des Bodenschutzes genutzt werden.
- ▶ Das Bewusstsein für den Boden als Lebensgrundlage wächst. Allerdings sind die Zusammenhänge sehr

komplex. Deshalb ist die verantwortungsvolle Beratung durch Fachleute zu einem der wichtigsten Bausteine des vorsorgenden Bodenschutzes in der Landwirtschaft geworden. Von der Qualität hängt die Akzeptanz in der Praxis ab.

4.2 Maßnahmen der guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenerosion

4.2.1 Abschätzung (Indikation) der Wasser- und Winderosionsgefährdung

Nachfolgend wird dargelegt, nach welchen Prinzipien das von Standortfaktoren und Bodennutzung ausgehende Erosionsrisiko bewertet werden kann und wie daraus Entscheidungshilfen für die Integration von Schutzmaßnahmen als Vorsorge gegen Bodenerosion im Acker- und Pflanzenbau abgeleitet werden können.

Als Grundlage dient hierbei ein Indikationskonzept der Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) von 1998. Aus der Verknüpfung der Belastbarkeit der Standorte (= potenzielle Erosionsgefährdung) mit dem Erosionsrisiko, das sich aus der Bodenbewirtschaftung ergibt ("Nutzungsrisiko"), ist die tatsächliche Erosionsgefährdung abschätzbar (Frielinghaus et al., 2000). Aus der sich daraus ergebenden tatsächlichen Risikoeinstufung können die erforderlichen Schutzmaßnahmen abgeleitet werden ("Vorsorge") (Abbildung 35).

Ziel ist es, neben der möglichst genauen Risikoabschätzung eine diesem Risiko entsprechende Vorsorge zu empfehlen und die dadurch erreichbare Risikoverminderung sichtbar zu machen.

Anforderungen an die Vorsorge haben grundsätzlich Empfehlungscharakter, solange keine schädliche Bodenveränderung im Sinne des BBodSchG und keine Umweltbelastungen festgestellt worden sind. Müssen allerdings Gefahren abgewehrt werden, können Vorsorgemaßnahmen angeordnet werden.

Welche konkreten Maßnahmen im Einzelfall geeignet sind, um dem jeweiligen Schutzbedürfnis zu genügen, wird immer "vor Ort" unter Berücksichtigung der betrieblichen Verhältnisse und Erfordernisse und der Standortspezifika zu beurteilen sein.

Das hier empfohlene und nachfolgend beschriebene Verfahren zur Einstufung der Erosi-

1. Schritt (siehe Kap. 4.2.1.1.)		
Bewertung des Standortes (Indikatoren: Boden/Bodenhydrologie/Geländemorphologie) ergibt die POTENZIELLE GEFÄHRDUNG [A]		
Niedrig [Gefährdungsstufe A 1]	Mittel [Gefährdungsstufe A 2]	Hoch [Gefährdungsstufe A 3]
2. Schritt (siehe Kap. 4.2.1.2.)		
Bewertung der Bodennutzung (Indikator: Bodenbedeckung) ergibt das NUTZUNGSRISIKO [B]		
Niedrig (Boden durchgehend bedeckt) [Risikostufe B 1]	Mittel (Boden längere Zeit nicht ausreichend bedeckt) [Risikostufe B 2]	Hoch (Boden überwiegend nicht ausreichend bedeckt) [Risikostufe B 3]
3. Schritt (siehe Kap. 4.2.1.3.)		
Aus der Potenziellen Gefährdung und dem Nutzungsrisiko ergibt sich die TATSÄCHLICHE GEFÄHRDUNG [C]		
Niedrig ergibt sich aus [A 1] und [B 1]/[B 2] oder aus [A 2]/[A 3] <u>aber</u> [B 1]	Mittel ergibt sich aus [A 2] und [B 2] oder aus [A 1] <u>aber</u> [B 3]	Hoch ergibt sich aus [A 2] und [B 3] oder aus [A 3] und [B 2]/[B 3]
KONSEQUENZEN FÜR DEN SCHUTZ VOR BODENEROSION		
Vorsorge ist gewährleistet Ausreichende Bodenbe- deckung im Anbauablauf bewirkt einen guten Schutz vor Bodenerosion Beschreibung der Maßnahmen in Kap. 4.2.2.1.	Vorsorge ist in kritischen Bereichen nicht gewährleistet Einzelfallentscheidungen sind notwendig. Alle zumutbaren Möglichkeiten zur Erhöhung der Bodenbedeckung in Anbauabläufen verbessern den Schutz vor Erosion Beschreibung der Maßnahmen in Kap. 4.2.2.2.	Vorsorge ist nicht gewährleistet Zusätzlich zu den Maßnahmen einer deutlichen Erhöhung der Bodenbe- deckung verbessern Flurgestaltungsmaßnahmen den Schutz vor Erosion Beschreibung in Kap. 4.2.2.3.

Abb. 35: Schema zur Bewertung des Standort- und Nutzungsrisikos der Bodenerosion

onsrisiken ist veränderbar in der Differenziertheit seiner Ausgestaltung (z. B. Anzahl der Gefährdungsklassen), wenn die standortspezifischen Besonderheiten dies erfordern. Es lässt in der Bewertung der Standort- und Bewirtschaftungsrisiken Raum für regional bewährte Vorgehensweisen, wie in den Länderbeispielen gezeigt wird.

4.2.1.1 Bewertung der standortbedingten Gefährdung/ potenzielle Gefährdung [A]

Treffen viele erosionsfördernde Standortfaktoren zusammen, kann das potenzielle Risiko für eine Bodenverlagerung sehr hoch sein. In diesen Fällen kann die ackerbauliche Nutzung mit einem hohen tatsächlichen Erosionsrisiko verbunden sein (Frielinghaus et al., 1999). Die Bewertung des potenziellen Erosionsrisikos eines Standorts kann nach verschiedenen Verfahren oder Modellen erfolgen. Während z. B. in Bayern, Baden-Württemberg und Thüringen die Datenbanken für die Risikoabschätzung der Wassererosion mittels der ABAG zur Verfügung stehen (Schwertmann et al., 1990), wird in Niedersachsen ein variiertes Vorgehen im Rahmen von NIBIS bevorzugt (Müller et al., 1992). In Sachsen wird von Fachbehörden das physikalisch begründete Modell EROSION 2D/ 3D angewendet, mit dem der Einfluss der Bodenbearbeitung, der Topographie und von Einzelregenereignissen auf die Erosion stärker erfasst werden als in der ABAG (Schmidt et al., 1996).

In den neuen Bundesländern liegen die Datenbanken der MMK flächendeckend digitalisiert vor (Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung, Lieberoth et al., 1983). Daher wird die potenzielle Gefährdung durch Wasser- und Winderosion in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern auf dieser Basis ermittelt (Frielinghaus et al., 1999). Dort, wo möglich oder erforderlich, kann eine Präzisierung mittels Einbeziehung regionsspezifischer Besonderheiten, wie Tiefenlinien oder Talwege oder erhöhte Windoffenheit, erfolgen.

Ergebnis der Standortbewertung können Karten verschiedener Maßstäbe (Region bis Betrieb) der potenziellen Wasser- bzw. Winderosionsgefährdung oder auch die Gefährdungseinstufung eines Einzelschlages sein (siehe dazu Länderbeispiele).

Diese Informationen brauchen nur einmal als Grundlage beschafft und dann als Datenbanken gepflegt werden, weil sich die zugrundeliegenden Daten in der Regel nur in sehr langen Zeiträumen verändern.

Alle oben genannten Verfahren erlauben gleichermaßen eine Bestimmung der Gebiete, die potenziell gefährdet sind und einem erhöhten Risiko der Wasser- oder Winderosion unterliegen. Vielfältige Erfahrungen liegen mit Methoden und Verfahren zur teilweise notwendigen Präzisierung der hauptsächlich lokalen Transportwege in einzelnen Regionen vor. (Fernerkundungsdaten, Kartieranleitungen für Formen u.s.w.). Hieraus ergeben sich wertvolle Hinweise auf Schwerpunkte des vorsorgenden Bodenschutzes, die in der Regel besonders wirksam sind.

4.2.1.2 Bewertung der nutzungsbedingten Gefährdung/Nutzungsrisiko [B]

Bodennutzung und -bewirtschaftung beeinflussen entscheidend die tatsächliche Erosionsgefährdung. Hier liegen auch die Einflussmöglichkeiten der Landnutzer. Wegen der ausschlaggebenden Bedeutung muss die Beurteilung von Bodennutzung und Bodenbewirtschaftung für Standorte mit erhöhtem potenziellen Risiko möglichst genau erfolgen (Frielinghaus et al., 2000). Die hierfür geeignete Methode richtet sich nach den verfügbaren Datenbanken und den örtlichen Erfahrungen. Zur Einschätzung der Fruchtarten und Anbaufolgen hinsichtlich ihres Bedeckungsgrades kann auf regionsspezifische Erfahrungen und auf vorhandene Datenbanken zurückgegriffen werden. Der C-Faktor der ABAG ist in einigen Bundesländern eingeführt und wird dort mit Erfolg angewendet (Schwertmann et al., 1990). Er erlaubt über relative Vergleiche mit der Branche eine Einschätzung. Mit Hilfe eines physikalisch begründeten Erosionsmodells EROSION 2D/3D (Schmidt, 1996) gelingt ebenfalls eine Schätzung. Über die Klassifizierung auf der Basis von Fernerkundungsaufnahmen oder über die Bewertung nach einer ausführlichen Matrix werden in einigen Bundesländern sehr gute Erfolge erzielt (Frielinghaus et al., 2001). Ein wesentlicher, gleichzeitig einfach zu bestimmender Indikator ist die aktuelle Bodenbedeckung auf Ackerflächen. Wegen der Bedeutung für die Praxis wird diese Methode nachfolgend kurz beschrieben.

Methode zur parzellenscharfen Bestimmung der Bodenbedeckung auf Ackerflächen (Zählmethode)
Abgeleitet aus dem jährlich wechselnden Anbauverhältnis und aus dem Bewirtschaftungsmanagement für die einzelnen Fruchtarten ergeben sich zwischen den Jahren und innerhalb eines Jahres wechselnde aktuelle Gefährdungen. Die Bestimmung der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Bodenbedeckung stellt einen Schlüssel zur Bewertung der jeweils aktuellen Erosionsgefährdung beim Eintreten von entsprechenden Niederschlags- oder Windereignissen dar, da einerseits gute Erkennungsmethoden mittels verschiedener Hilfsmittel möglich sind und andererseits dieser Faktor in Landnutzungssystemen gesteuert werden kann. Die Datenaufnahme erfolgt mittels einer 15 m langen Leine.

Diese Leine wird mit Hilfe von Markierungen in 100 gleich große Abschnitte geteilt. Die so vorbereitete Leine spannt man diagonal zu den Reihen auf dem zu untersuchenden Feld, geht an ihr entlang und zählt die Schnittpunkte von lebenden oder trockenen Pflanzenteilen, die die Markierungen schneiden. Dabei ist darauf zu achten, dass die einzelnen Pflanzenteile größer als 3 mm sind und die Markierungen vollständig geschnitten werden (Abb. 36 a und b).

Die Anzahl der Wiederholungen richtet sich nach der Größe des zu untersuchenden Feldes. Bei einer Größe bis zu 10 ha werden 15 Wiederholungen empfohlen, bei einer Größe von mehr als 10 ha 25 Wiederholungen. Die Wiederholungen sind so über das Feld zu verteilen, daß die größte Feldlänge erfasst wird.

Vor- und Nachteile:

1. Einfache praxisnahe Methode zur Bestimmung der aktuellen Bodenbedeckung.
2. Durch die Länge der Leine werden verschiedene Bedeckungszustände auf dem Acker erfasst (Fahrspuren, unterschiedlich dichte Vegetation oder Rückstände), so dass eine subjektive Auswahl der Testfläche weitgehend vermieden wird.
3. Bei höheren Beständen (ab ca. 40 cm) erfolgt eine zunehmende Unterschätzung des Bedeckungsgrades.



Abb. 36: Vorgehensweise bei der Zählmethode

- a. gezählte Pflanzenteile ▲
- b. Pflanzenteile werden nicht gezählt ▼



Fotos: Schäfer

Abb. 37: Unzureichende Bodenbedeckung nach konventioneller Bestellung ▲ und ausreichende Bodenbedeckung nach konservierender Bestellung von Mais mit sichtbaren Bodenabtragsunterschieden ▼



Abb. 38: Bodenbedeckung von > 50 % bedeutet guten Schutz vor Wind- und Wassererosion. Der wirksamste Teil sind zu diesem Termin die Rückstände der abgefrorenen Vorfrucht in Zuckerrüben und Mais. ▲▼



Eine gleichmäßig verteilte Bedeckung der Bodenoberfläche durch Pflanzen und Pflanzenreste bietet danach einen wirksamen Schutz von

Ackerflächen vor Bodenabtrag durch Oberflächenabfluss und ist die beste Vorsorge gegen Bodenerosion (Tabelle 12).

Bodenbedeckung	Pflanzenrückstände in Trockenmasse t/ha	Oberflächenabfluss [Niederschl.=100%] %	Bodenabtrag	Bodenabtrag
			Wassererosion	Winderosion
%			%	%
0	0	45	100	100
ca. 20 - ca. 30	0,5	40	25	15
ca. 30 - ca. 50	2	< 30	8	3
ca. 50 - ca. 70	4	< 30	3	< 1
> 70	6	< 30	< 1	< 1

Tabelle 12: Beispiel für den Einfluss der Bodenbedeckung auf den Abfluss und Bodenabtrag (Relativwerte auf der Basis 10-jähriger Messungen) (Frielinghaus et al., 1999)

Außerhalb der Vegetationszeit ist ein Schutz gewährleistet, wenn mehr als 2 t je ha organischer Trockenmasse von Pflanzenrückständen auf der Bodenoberfläche verbleiben (Frielinghaus et al., 2000). Bereits ab 30 % Bodenbedeckung ist ein wirksamer Schutz vor Winderosion gewährleistet (Funk, 1995). Auch bei Wassererosion beginnt der Schutz bei ca. 30 % deutlich zuzunehmen, eine größere Sicherheit kann aber erst bei ausreichender Bedeckung von mehr als 50 % gewährleistet werden.

Von entscheidender Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die konservierende Bodenbear-

beitung (Sommer, 1999). Zum einen belässt sie schützendes Mulchmaterial an der Bodenoberfläche (Tab. 13), zum anderen erhält konservierende Bodenbearbeitung die vorrangig durch die Bodenfauna im Rahmen von Ab- bzw. Umbauprozessen von organischer Substanz erzeugten stabilen Bodenaggregate bzw. belässt sie an der Bodenoberfläche. Dies bewirkt eine höhere Infiltration bzw. einen geringeren Oberflächenabfluss. In Verbindung mit einer höheren Aggregatstabilität vermindert dies den Bodenabtrag durch Wasser.

		Bodenbearbeitung		
		konventionell	konservierend I ² mit Mulchsaat	konservierend II ³ mit Mulchsaat
Bodenabtrag	[g]	318	138	26
Abfluss	[l]	21	12	3
Infiltrationsrate	[%]	49	71	92
Aggregatstabilität	[%]	30	43	49
Humusgehalt	[%]	2,0	2,6	2,5
Bedeckungsgrad	[%]	1	30	70

¹ Beregnungsversuch mit 42 mm/h, Messfläche: 1 m², Pseudogley-Parabraunerde, Zuckerrüben (3-Blattstadium)

² 1 x Stoppelbearbeitung, 1 x Grubber im Herbst, Senfaussaart, 1 x Saatbettbereitung (Flachgrubber, 3 cm tief)

³ keine Bearbeitung im Herbst, Senfaussaart mit Schleuderstreuer, 1 x Saatbettbereitung (Flachgrubber, 3 cm tief)

Tabelle 13: Vergleich verschiedener Parameter nach konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung¹ (Parzellenversuchsergebnisse, Nitzsche et al., 2000)

Auf der Grundlage langjähriger Feldversuche und Schadenskartierungen wurde ein enger Zusammenhang zwischen dem Grad der Bodenbedeckung und dem Bodenabtrag ermittelt (Abb. 37 und 38).

Für einige östliche Bundesländer wurde weiterhin eine Matrix entwickelt, die auf Expertenwissen beruht (Frielinghaus et al., 1994). In dieser

Matrix werden mit Hilfe von fünf Kriterien einzelne Fruchtarten bzw. ganze Fruchtfolgen bezüglich ihrer Schutzbedürftigkeit beurteilt. Die Kriterien sind:

- Die Jugendentwicklung (Geschwindigkeit der Pflanzen- und Bestandesentwicklung bis zur bodenschützenden Bedeckung),

- ▶ die Schutzwirkung durch Standraumverteilung und Grad der Bodenbedeckung,
- ▶ die Ausnutzung der Vegetationszeit (Schutz im Sommer vor erosiven Niederschlägen),
- ▶ der Schutz durch Pflanzen über Winter (Verminderung von Winderosivität),
- ▶ die technologisch bedingten Pausen ohne Pflanzenbedeckung bei Anbaufolgen.

Die ausführliche Bewertungsmatrix steht zur Verfügung (Frielinghaus et al., 2000). Auszüge sind in den Länderbeispielen Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg dargestellt.

Der Parameter Bodenbedeckung dient sowohl als Kriterium zur Bestimmung der tatsächlichen Erosionsgefährdung zu einem bestimmten Zeitpunkt, zu dem sie auf dem Feld über die Zählmethode bestimmt werden kann, als auch als Zielgröße über einen längeren Zeitraum, z. B. in der nächsten Bestell- und Anbauperiode. Eine Beurteilung kann dafür über den C-Faktor der ABAG oder über die im Länderbeispiel Mecklenburg-Vorpommern vorgestellte Matrix erfolgen. Die Wirksamkeit von bereits ergriffenen Schutzmaßnahmen kann ebenfalls mit diesen verschiedenen Methoden beurteilt werden.

Für die Beurteilung der Bodenoberfläche in Zeiten, in denen eine Schwarzbrache technologisch nicht zu umgehen ist oder ein saarfertiger oder frischbestellter Acker vorliegt, müssen andere Kriterien als die Bodenbedeckung herangezogen werden. Dabei gilt:

Erosionsmindernd	Erosionsfördernd
raue Bodenoberfläche	glatte Bodenoberfläche
raues Saatbett	sehr feines Saatbett
krümelige, gare Bodenoberfläche	verschlammte oder verkrustete Oberfläche
wenig Fahrspuren	viele Fahrspuren (Wassererosion)
konservierende Bodenbearbeitung	konventionelle Bearbeitung

4.2.1.3 Bewertung der tatsächlichen Erosionsgefährdung und Konsequenzen [C]

Die kombinierte Bewertung von Standort und Bodennutzung als Grad der tatsächlichen Gefährdung ermöglicht die Entscheidung, ob Bodennutzung und -bewirtschaftung dem jeweiligen Risiko angepasst sind und damit die Vorsorge gegen Bodenerosion gewährleistet ist. Ist ein zu hohes Risiko erkennbar, muss die Bodenbewirtschaftung so verändert werden, dass das Risiko gemindert und der Gefährdung entsprechend die erforderliche Vorsorge gewährleistet werden kann. Nach der hier vorgeschlagenen Vorgehensweise ergeben sich 3 Gefährdungsstufen (s. Abb. 11):

- ▶ In der Gefährdungsstufe "niedrig" ist die Bodenbewirtschaftung dem Gefährdungspotenzial des Standortes angepasst.
- ▶ In der Gefährdungsstufe "mittel" sollten vorsorgende acker- und pflanzenbauliche Schutzmaßnahmen – wenn noch nicht geschehen – in jedem Fall umgesetzt werden. Das Bewertungsschema ist bewusst unscharf gehalten, um standortspezifische und bewirtschaftungsbedingte Besonderheiten berücksichtigen zu können. Einzelfallentscheidungen helfen klären, ob die Vorsorgepflicht nach dem BBodSchG erfüllt ist. Dazu muss notwendiger Sachverstand durch Fachleute vorhanden sein oder eingeholt werden. Bereits ergriffene Schutzmaßnahmen sind dabei positiv zu wichten.
- ▶ In der Gefährdungsstufe "hoch" besteht dringender Handlungsbedarf bezüglich der Anwendung von Maßnahmen der guten fachlichen Praxis als Vorsorge gegen Bodenerosion.

Die so geschätzte tatsächliche Wasser- und Winderosionsgefährdung kann in einer Karte auf Regions- bis Schlägebene dargestellt werden. Die Kartenerstellung ist auf der Basis der in Kap. 4.2.1.1 genannten Modelle und Algorithmen möglich (siehe Beispiele aus den Bundesländern). Derartige Karten kann der Raumplaner zur Darstellung erosionsgefährdeter Gebiete nutzen. Für den Landwirt sind diese Karten nützlich, da sie ihm in seinem Betrieb eine mit allgemein anerkannten Methoden abgeleitete Analyse ermöglichen und Entscheidungshilfen für die Bewirtschaftung im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes bieten.

4.2.2 Vorsorgemaßnahmen gegen Bodenerosion: Lösungen, Umsetzung und mögliche Probleme

Gemäß § 17 BBodSchG soll Erosion möglichst vermieden werden. In der Broschüre "Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung" (BMVEL, 1999) sind wirksame Schutzmaßnahmen zusammengestellt, welche die gute fachliche Praxis auf risikobehafteten Standorten darstellen (s. Übersicht 1).

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. auf Grund 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 müssen. In diesem Sinne muss ein Landwirtschaftsbetrieb aus den in Übersicht 1 zusammengestellten

Maßnahmen diejenigen auswählen bzw. kombinieren, welche die Bodenerosion im Sinne der Vorsorge vermindern bzw. vermeiden helfen.

Allgemeine acker- und pflanzenbauliche Erosionsschutzmaßnahmen

- ▶ Minimierung der Zeitspannen ohne Bodenbedeckung, u. a. durch Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfrüchte, Untersaaten und Strohmulch.
- ▶ Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren.
- ▶ Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen.
- ▶ Aufbau und Erhalt verschlammungsmindernder stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biologischen Aktivität sowie durch Kalkung u. ä.

Erosionsmindernde Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren

- ▶ Mulchsaat möglichst ohne Saatbettbereitung im Sinne des Belassens einer bodenschützenden Mulchauflage sowie des Erhalts stabiler Bodenaggregate.
- ▶ Konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat möglichst im gesamten Fruchtfolgeverlauf anstreben, mindestens jedoch zu einzelnen, von Erosion besonders betroffenen Fruchtarten (Mais, Zuckerrüben) im Sinne eines flächenhaft wirkenden Schutzes.

Erosionsmindernde Flurgestaltung

- ▶ Anlage paralleler Streifen quer zu Gefälle und Hauptwindrichtung mit Wechsel der Fruchtart oder Einsaat abflussbremsender Grasstreifen.
- ▶ Schlagunterteilung durch Anlage von Erosionsschutzstreifen (z. B. Gehölze, Feldraine), Wege mit Gräben bzw. Anlage von Windschutzstreifen quer zum Gefälle bzw. zur Hauptwindrichtung.

Übersicht 1: Einzel- bzw. in Kombination anwendbare Erosionsschutzmaßnahmen der guten fachlichen Praxis zur Vorsorge gegen Bodenerosion (BMVEL, 1999)

Nachstehend wird die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen der Übersicht 1 erläutert. Dabei wird auf Probleme bei deren Einführung oder Umsetzung eingegangen. Die angebotenen Lösungsvorschläge sollen zur Erhöhung der Akzeptanz der Vorsorge vor Bodenerosion bei den Landwirten beitragen.

4.2.2.1 Allgemeine acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Bodenerosion auf Ackerflächen wird durch eine möglichst dauerhafte Bodenbedeckung sowie eine stabile Bodenstruktur vermindert (Nitzsche et al., 2000). Durch eine entsprechende Fruchtfolgegestaltung lassen sich im Fruchtfolgeverlauf die Zeiträume ohne Bodenbedeckung in einem gewissen Umfang reduzieren (s. Länderbeispiel Brandenburg). Allerdings sind einer Fruchtfolgegestaltung unter diesem Gesichtspunkt bei den heutigen ökonomischen Rahmenbedingungen

enge Grenzen gesetzt. Ein Landwirt kann jedoch durch Zwischenfruchtanbau, durch das Belassen von Stroh (z. B. in Verbindung mit konservierender Bodenbearbeitung) sowie durch das Belassen von Untersaaten (nach der Ernte der Deckfrucht) eine erosionsmindernde Bodenbedeckung zwischen zwei Hauptfrüchten sicherstellen.

● Zwischenfruchtanbau

Zwischenfrüchte schützen einerseits als Pflanzenbestand und andererseits als Mulch bis zur nächsten Kultur die Bodenoberfläche 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. Es gibt jedoch verschiedene Gründe, warum Zwischenfrüchte nicht uneingeschränkt von Landwirten angebaut werden (Übersicht 2). Hier sind zum einen noch Problemlösungen zu erarbeiten. Zum anderen ist durch eine entsprechende Beratung der Landwirte die Akzeptanz gegenüber dem Zwischenfruchtanbau zu erhöhen.

Probleme beim Zwischenfruchtanbau

- ▶ Zusätzlicher Arbeitszeitaufwand sowie Kosten für die Zwischenfruchtaussaat und -saatgut,
- ▶ fehlende Arbeitskapazität, da Zwischenfruchtbestellung im Frühjahr i. d. R. zeitlich mit der Ernte und Neubestellung von Hauptfrüchten zusammenfällt,
- ▶ Verhinderung der Zwischenfruchtaussaat durch eine verspätete Hauptfruchternte infolge Reifeverzögerung (z. B. in einem regenreichen Spätsommer/Herbst),
- ▶ schlechter Feldaufgang infolge Herbsttrockenheit,
- ▶ Wasserverbrauch durch Zwischenfrüchte in niederschlagsärmeren Regionen.

Problemlösungen

- ▶ Kosten- und arbeitszeitsparende Kombination der Zwischenfruchtaussaat mit der Stoppelpflege (z. B. Grubber mit aufgebauter Säeinrichtung),
- ▶ Walzengang nach Aussaat zur Keimförderung (bei trockenen Bedingungen),
- ▶ Verzicht auf wasserzehrende Bodenbearbeitungsgänge vor der Aussaat der Zwischenfrucht,
- ▶ Aussaat kostengünstiger Zwischenfrüchte (z. B. Senf, Ölrettich).

Übersicht 2: Probleme und Lösungsstrategien beim Zwischenfruchtanbau

● Untersaaten in Mais

Untersaaten bedecken den Boden und mindern dadurch die Wassererosion. Dies gilt vorrangig für in Reihen bestellten Mais. Allerdings ist hier aus Konkurrenzgründen die Untersaat erst im 4- bis 5-Blattstadium des Maises möglich. Damit ist er in seinen frühen Entwicklungsstadien, in denen er besonders erosionsanfällig ist, nicht

wirksam durch eine Untersaat vor Erosion zu schützen. Weitaus effizienter ist hier die Maismulchsaat z. B. nach einer Zwischenfrucht. 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

Hangabwärtsgerichtete Fahrspuren sind oftmals die Auslöser von Bodenabtrag durch Wasser. Sie sollten daher möglichst vermieden werden, z. B. indem Ackerflächen möglichst in tragfähigem Zustand sowie mit bodenschonender Bereifung (s. Ausführungen im Kapitel Bodenschadverdichtung) befahren werden. Konservierende Bodenbearbeitung erhöht die Tragfähigkeit von Böden. Dies vermindert die Bildung von Fahrspuren. Am wirksamsten lassen sich hangabwärtsgerichtete Fahrspuren durch die Anlage der Hauptarbeitsrichtung quer zum Hang vermeiden. Allerdings verhindert z. B. ein stark kuppiges Gelände, wie wir es besonders im norddeutschen Tiefland vorfinden, mit sich ständig ändernden Hangneigungen, dass quer zum Hang gearbeitet werden kann. Auf stärker geneigten Ackerflächen sind bei einer Querbearbeitung zusätzlich die Bearbeitung bzw. die Bestellung und die Beernung erschwert. Gleichzeitig steigt die Unfallgefahr an.

4.2.2.2 Erosionsmindernde Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren

Konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat (möglichst in der gesamten Fruchtfolge) vermindert bzw. verhindert am wirksamsten Wasser- und Winderosion auf Ackerflächen (Sommer, 1999). Durch den Verzicht auf die Bodenwendung mit dem Pflug verbleiben stabile Bodenaggregate sowie bodenbedeckendes Mulchmaterial in Form von Ernte- und Strohrückständen an der Oberfläche. Dies schützt den Ackerboden

flächenhaft vor den erodierenden Einwirkungen von Wind und Niederschlägen (Brunotte et al., 1999a u. b, Frielinghaus et al., 2000).

Allerdings handelt es sich bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung mit Mulchsaat für viele Landwirte um vollständig neuartige Verfahren. Im Gegensatz zu der seit langem praktizierten konventionellen Pflugbestellung bestehen daher eine Reihe von acker- und pflanzenbaulichen Fragestellungen bzw. Umsetzungsproblemen. 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 vielgestaltige Fruchtfolge, die Anwendung neuer, ebenfalls erosionsmindernder Anbauverfahren (z. B. die Gleichstandsart bei Mais (Demmel et al., 2000)). Hier müssen z. T. erst noch Lösungen bzw. Empfehlungen für eine betriebliche Einordnung erarbeitet werden, bis umfassend pfluglose Bestellverfahren praktiziert werden können und eine breite Akzeptanz erhalten. Auf einzelne Problembereiche wird nachfolgend eingegangen.

● Strohverteilung und Stoppelbearbeitung

Bei konservierender Bodenbearbeitung verbleiben Ernterückstände in z. T. großen Mengen (z. B. in viehlosen Betrieben) auf der Ackeroberfläche. Mulch- bzw. Direktsätechnik arbeitet jedoch nur störungsfrei, wenn eine zielgerichtete Stoppelbearbeitung mit einer guten Strohverteilung beim Drusch praktiziert wird. So 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 (Linke, 1998). 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, so dass sie anfällig gegenüber Frost und Krankheiten werden und teilweise ungleichmäßige Feldaufgänge auftreten.

Strohverteilung und Stoppelbearbeitung sind damit bei konservierender Bodenbearbeitung von entscheidender Bedeutung (Debruck, 1999). Je kürzer das Stroh (2-3 cm), je weiter das Stroh vom Samen entfernt und je länger der Zeitraum zwischen Ernte und Saat ist, um so geringer ist die Gefahr einer Keimhemmung (Voßhenrich, 1995). Die Häcksler und Spreuverteiler vieler Mähdrescher können dies heute noch nicht zufriedenstellend gewährleisten.

Schwierig gestaltet sich bis heute die Rapsmulchsaat auf strohreichen Flächen (Bischoff, 1999). Durch die flache Aussaat behindern hohe Strohanteile im Keimbett bzw. dichtere Strohauf-lagen leicht die Wasserversorgung der Raps-samen (Voßhenrich, 1995). Aus diesem Grund ist vor der Rapsmulchsaat ein tieferer, strohein-mischer Grubberstrich empfehlenswert. Dies kann allerdings das Erosionsrisiko erhöhen, da Mulchmaterial eingearbeitet wird und nicht auf der Oberfläche verbleibt. Für eine störungsfreie Rapsmulchsaat auf strohbedeckten Flächen besteht somit bei der Mulch-/Direktsätechnik noch ein entsprechender Entwicklungsbedarf.

● Mulch- und Direktsätechnik

Konservierende Bodenbearbeitung ist ohne ent-sprechende Mulch- bzw. Direktsätechnik nicht erfolgreich praktizierbar. Daher muss in neue Technik investiert werden. Dies bedeutet u. U. eine erhebliche finanzielle Belastung für den Ein-zelbetrieb und schränkt die Anwendung erosi-onsmindernder Bestellverfahren ein. Eine Lösung bietet hier die Mulchsaat durch einen Lohnunter-nehmer oder die gemeinsame Nutzung von Sätechnik über einen Maschinenring.

Bei der heute von verschiedenen Herstellern angebotenen Mulch- bzw. Direktsätechnik sind im Einzelnen noch technische Verbesserungen bzw. Änderungen erforderlich (Steinert, 1999). Dies gilt z. B. für die störungsfreie Mulch- und Direktsaat bei stärkeren Mulchauflagen aus Stroh- oder Zwischenfruchtresten. Zur Sicherstel-lung eines guten Feldaufgangs z. B. bei Zuckerrüben ist daher gegenwärtig i. d. R. immer noch eine Saatbettbereitung vor der Mulchsaat empfehlenswert. Hier muss der Landwirt zwis-chen der Schaffung günstiger Aussaat- und Keimbedingungen einerseits und dem Schutz von Ackerflächen vor Erosion andererseits abwä-gen (s. Abb. 39).

● Durchwuchs sowie Problemunkräuter und -ungräser

Folgt Wintergerste pfluglos nach Winterwei-zen, wird Durchwuchsweizen oft zum Problem. Damit ist oft die Ernte erschwert, außerdem ist bei ungleicher Abreife von Gerste und Weizen nur eine betriebsinterne Verwertung der Wintergerste als Futter möglich.

Nur in den Jahren, in denen aufgrund einer frühen Weizenernte sowie ausreichender Boden-feuchte durch eine gezielte Stoppelbearbeitung

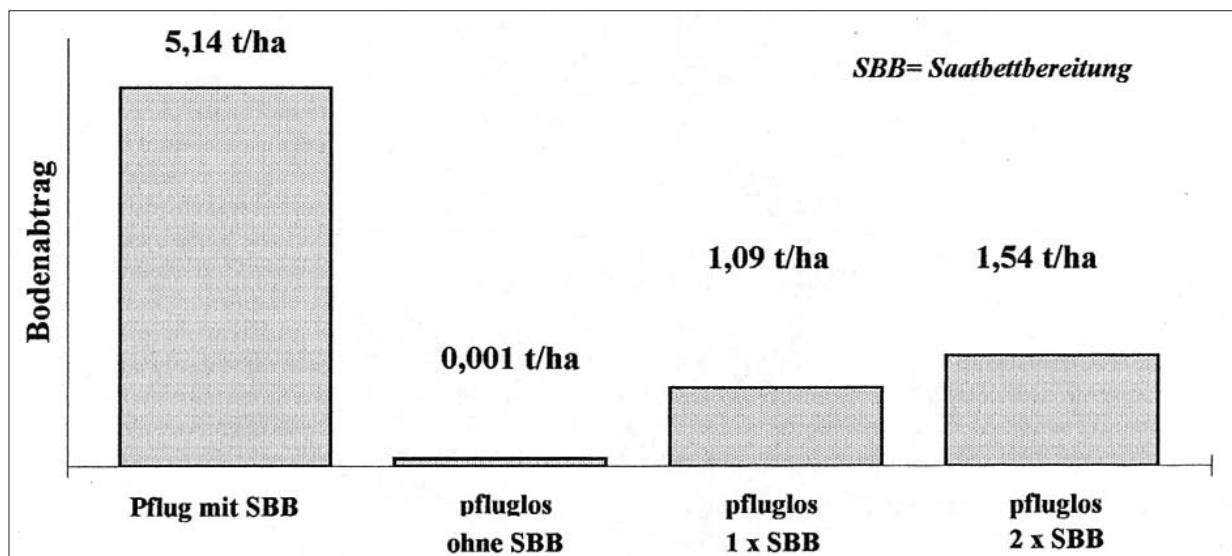


Abb. 39: Bodenabtrag durch Wasser auf einer Lößfläche (Bodenart Ut4, 14 % Neigung, Zuckerrüben im 3-Blattstadium, Regensimulation mit 40 mm/h) nach konventioneller bzw. konservierender Bodenbearbeitung und Mulchsaat mit steigender Intensität der Saatbettbereitung (Schmidt et al., 1997)

(mit Walzengang!) möglichst viel Ausfallweizen vor der Wintergerstenaussaat aufläuft und so mechanisch/chemisch bekämpft werden kann, ist ein geringer Weizenanteil in der Wintergerste zu verzeichnen.

Vorbeugend sollten nachfolgende Maßnah-men sowohl gegen Durchwuchs als auch gegen Problemunkräuter und -gräser auf pfluglos bestellten Flächen praktiziert werden (Über-sicht 3).

- ▶ **Keimförderung von Ausfallgetreide** durch eine flachmischende Stoppelbearbeitung sofort nach der Getreideernte (z. B. mit Scheiben-/Spatenrollegge, Flachgrubber; bei trockenen Bodenbedingungen grundsätzlich mit einem keimfördernden Walzen-gang).
- ▶ **Durchwuchsmindernde Fruchtfolgegestaltung** z. B. durch den Nachbau von Triticale oder besser 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 effektive Bekämpfung von Ausfallgetreide, Unkräutern und Ungräsern. Noch effektiver ist der zusätzliche Wechsel von Blatt- und Halmfrüchten hinsichtlich der Bekämpfung von Ungräsern wie Quecke, Trespe 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 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., 1999a, 1999b).

Übersicht 3: Lösungsvorschläge bei Durchwuchs

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) (Übersicht 4):

Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen gegen Trespen:

- ▶ Intensive Feldkontrolle,
- ▶ konsequentes Säubern des Mähreschers vor dem Umsetzen auf andere Ackerschläge zur Verhinderung weiterer Verbreitung der Trespe,
- ▶ 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 Trespenestern (z. B. mit einem nichtselektiven Herbizid oder hierfür zugelassenen Gräserherbiziden) in Getreide bereits vor der Samenbildung. Derartige Bereiche sollten zusätzlich beim Drusch ausgespart werden.

Übersicht 4: Lösungsvorschläge gegen Trespen

● Ährenfusariosen

Ährenfusariosen (z. B. *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*) führen z. B. bei Weizen zu Mindererträgen. Zusätzlich können sie eine Mykotoxinbelastung des Erntegutes verursachen. Diese wird beim Verzehr für Mensch und Tier als problematisch angesehen (Garbe et al., 2000).

Daher ist Fusariumbefall möglichst zu vermeiden. Hierzu sind nachstehende Empfehlungen zu beachten:

Winterweizen ist bei pflugloser Bestellung nach Mais (insbesondere Körnermais) besonders gefährdet (Beck u. Lepschy, 2000). Neben der Sorte sind hierfür in erster Linie die an der Bodenoberfläche oftmals nur langsam verrottenden Maisrückstände verantwortlich. Sie stellen eine dauerhafte Infektionsquelle dar (Garbe et al., 2000). Durch eine Pflugfurche werden diese Infektionsherde mit Boden bedeckt. Dadurch wird das Infektionsrisiko bei danach angebautem Winterweizen deutlich gesenkt (Beck u. Lepschy, 2000). Unter diesem Gesichtspunkt ist für den Einzelstandort und das Einzeljahr bezüglich der Bodenbearbeitung zwischen den Belangen des Bodenschutzes und dem Infektionsrisiko abzuwägen.

Allerdings kann durch zu tiefes Einpflügen die Maisrotte gehemmt werden. In den Folgejahren wird dann Maisstroh nach oben gepflügt, das u. U. erneut, trotz Pflugfurche, infektionsauslösend wirken kann. Aus diesem Grund sind vorbeugend umfassende acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen bzw. Strategien anzuwenden (Übersicht 5). Dies gilt im besonderen für konservierend bestellte Flächen, auf denen mehr Maisrückstände auf der Bodenoberfläche verbleiben. Zu den wirksamsten Maßnahmen zählen, neben einer veränderten Fruchtfolge, der konsequente Anbau wenig fusariumanfälliger Weizensorten. Hier ist bereits heute ein beachtliches Resistenzniveau erreicht worden. Züchterisches Ziel sollte es daher sein, neue Weizensorten auf diesem Niveau zu halten (Zimmermann, 2000) und es weiter zu verbessern. Die Sortenwahl muss unbedingt durch eine rottefördernde Stoppelbearbeitung, einen geringeren Maisanteil in der Fruchtfolge bzw. eine entsprechende Fruchtfolgegestaltung usw. ergänzt werden (FAL, 2000; Garbe et al., 2000). Neueste Untersuchungen lassen erkennen, dass durch die umfassende Anwendung dieser Maßnahmen dem Fusariumbefall und einer daraus resultierenden Mykotoxinbildung bei Weizen wirksam entgegengewirkt werden kann.

Pflanzenbau

- ▶ Anbau wenig fusariumanfälliger Winterweizensorten im gesamten Fruchtfolgeverlauf, insbesondere nach Maisvorfrucht.
- ▶ Lagervermeidung bei Weizen.
- ▶ "Dünnere" Weizenbestände zur Schaffung eines befallshemmenden Mikroklimas.
- ▶ Ährenbehandlung bei Weizen.

Fruchtfolge

- ▶ Anbau von Sommergetreide nach Mais (Zeitgewinn für Maisstroh-Rotteförderung) mit intensiver Stoppel-

bearbeitung nach der Maisernte im Herbst sowie im Frühjahr.

- ▶ Nachbau von Blattfrüchten nach Mais.
- ▶ Verminderung des Maisanteils in der Fruchtfolge.

Bodenbearbeitung

- ▶ Rotteförderndes Häckseln bzw. mechanisches Zerkleinern sowie flaches Einmulchen von Maisrückständen (Minderung des Fusariuminfektionsrisikos).
- ▶ Bedarfswise flaches Einpflügen bzw. Einschälen von Maisrückständen (Arbeitstiefe bis 15 cm, evtl. Einsatz von Zweischichtenpflug).

Übersicht 5: Lösungsvorschläge gegen Fusariumbefall bei Getreide

● Schnecken und Mäuse

In Einzeljahren können Schnecken und Mäuse unabhängig vom Bestellverfahren zum Problem werden. Auf dauerhaft pfluglos bestellten und gemulchten Getreideflächen ist jedoch wegen der höheren Bodenfeuchte sowie des größeren Nahrungsangebotes potenziell mit größeren Schäden durch Schnecken zu rechnen (Voß et al., 1997). 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 Getreideanbaus vorbeugenden Maßnahmen gegen Schnecken und Mäuse durchgeführt werden.

Hervorzuheben ist das konsequente Walzen von Ackerflächen. Hierdurch werden Hohlräume beseitigt, die als Unterschlupf für Schnecken dienen. Die rechtzeitige Bekämpfung von aufgelaufenen Ausfallsamen sowie Unkräutern vor der Bestellung entzieht den Schnecken für einen gewissen Zeitraum die Nahrungsgrundlage und wirkt daher befallsmindernd (Übersicht 6):

I. Schneckenbekämpfung

- ▶ Stroh kurz häckseln und gleichzeitig verteilen.
- ▶ Wechsel zwischen Winter- und Sommerfrüchten mit Abtöten von Ausfallgetreide, Unkräutern usw. im Herbst (zeitweiser Entzug der Nahrungsgrundlage).
- ▶ Beseitigen von Hohlräumen durch Walzen (mit Rauwalzen wie z. B. Prismen-, Cambridgewalze usw.) nach Stoppelbearbeitung, Saatbettbereitung und Aussaat.
- ▶ Ausbringen von Branntkalk (z. B. vor der Winterweizen- bzw. Triticaleaussaat).
- ▶ Kalkstickstoffdüngung.
- ▶ Kontrolle (z. B. durch Auslegen von Schneckenfolie) des "Schneckendrucks" insbesondere an feuchten Stellen mit grober Bodenstruktur.
- ▶ Schneckenkorn bei höherem Schneckenbesatz (Teilflächenbehandlung, genaue Schadschwelle noch nicht bekannt).

II. Mäusebekämpfung

- ▶ Förderung der natürlichen Feinde (Greifvögel usw.).
- ▶ 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, -raps sowie Unkräutern im Herbst (Entzug der Futtergrundlage).
- ▶ Kontrolle auflaufender Feldbestände mit Ausbringung von Fraßgiften in Mäuselöchern (wichtig: Zutreten der Mäusebaue, da sonst Wiederbesiedlung).

Übersicht 6: Lösungsvorschläge gegen Schnecken und Mäuse

4.2.2.3 Erosionsmindernde Flurgestaltung

Die Unterteilung von geneigten Ackerschlägen mit großen Hanglängen, z. B. durch querlaufende Wege und Gebüschstreifen mit Gräben, verzögert den Wasserabfluss bzw. sorgt für die schadlose Wasserableitung. Durch entsprechend gestaltete Windschutzstreifen wird der Bodenverlagerung durch Wind entgegengewirkt. Flurneigungsmaßnahmen wie z. B. die Anlage von Flurgliederungselementen (Hecken, bepflanzte Wege usw.), eine neue Ackerschlaggestaltung für eine gefahrlose Hangquerbearbeitung usw. tragen damit zur Erosionsminderung bei (s. Kap. 4.3.5).

Durch hang- bzw. schlagunterteilende Gebüschstreifen wird die Wasserinfiltration auf einer Ackerfläche nicht beeinflusst. Sie hat jedoch wesentliche Bedeutung für das Erosionsausmaß. Daher müssen erosionsmindernde Flurneigungsmaßnahmen unbedingt mit acker- und pflanzenbaulichen Schutzmaßnahmen (z. B. konservierende Bodenbearbeitung, Mulchsaat, Zwischenfruchtanbau) kombiniert werden, 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.

Gleichzeitig hält eine Hanggliederung Sediment zurück und trägt so zur Minderung von Erosionsschäden außerhalb von Ackerflächen bei. In gleicher Weise wird auf winderosionsgefähr-

deten Flächen durch die Kombination von konservierender Bodenbearbeitung mit Mulchsaat und Windschutzstreifen ein umfassender Schutz erreicht.

Für die Flurneueordnungsplanung stehen entsprechende Modelle (z. B. Modell EROSION 2D/3D (Schmidt et al., 1996)) für wassererosionsgefährdete Gebiete und Algorithmen für winderosionsgefährdete Gebiete (s. Kap. 4.3.5) zur Verfügung. Flurneueordnungsverfahren erfordern umfangreiche Abstimmungen zwischen Landbesitzern, Flächennutzern bzw. Landpächtern.

In den neuen Bundesländern ist der überwiegende Teil der landwirtschaftlich genutzten Flächen verpachtet. Damit sind Flächennutzer und Flächenbesitzer oftmals nicht identisch, was die Planungsarbeit erschweren und verzögern kann.

4.3 Beispiele für Schutzkonzepte aus den Bundesländern

4.3.1 Schutz vor Wassererosion in Bayern

R. Brandhuber

Hoher Maisanteil in hängigen Fluren

Die Pflanzenproduktion in Bayern dient überwiegend als Futtergrundlage für die Tierhaltung. 60 % des Getreides werden verfüttert, Silo- und Körnermais nehmen im Schnitt ca. 20 % der Ackerfläche ein. In hängigen Lagen außerhalb der Lößgebiete in den Gäulagen erreicht der Flächenanteil von Mais regional 50 %. Starkregen verursachen vor allem dann Erosionsschäden, wenn Flurstücke mit nicht ausreichend bedeckten Böden einen größeren Flächenanteil in der Flur einnehmen.

Wirksamer Schutz mit Mulchsaat

Das bayerische Konzept zur Erosionsminderung weist aufgrund dieser Gegebenheiten der Mulchsaat von Reihenkulturen, insbesondere von Mais, vorrangige Bedeutung zu.

Mulchsaat von Reihenkulturen ist

- ▶ **wirksam:** Erosionsschäden werden verhindert.
- ▶ **flexibel:** In Abhängigkeit von Standortgefährdung, Betriebsorganisation und verfügbarer Sätechnik bietet das Verfahren Abstufungen in der Intensität der Bodenbearbeitung zur Begründung von Zwischenfrucht und Hauptkultur.
- ▶ **vielfach erprobt:** Pionierbetriebe arbeiten seit

Anfang der 80er Jahre mit dem Verfahren, in einzelnen Regionen wird bereits die Mehrzahl der Maisflächen mit Mulchsaatverfahren bestellt.

- ▶ **wirtschaftlich tragbar:** Feldversuche auf verschiedensten Standorten (Kreitmayr et al., 2000) und nicht zuletzt der Erfolg vieler landwirtschaftlicher Betriebe belegen die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

Der **Zwischenfruchtanbau** bietet über den Schutz vor Erosion hinaus weitere Vorteile:

- ▶ Er dient dem Gewässerschutz durch **Nitratabschöpfung**.
- ▶ Er verbessert die **Tragfähigkeit** der Böden durch vorgezogene Pflugfurche bzw. reduzierte Bodenbearbeitung.
- ▶ Er fördert das **Bodenleben** und den **Humusaufbau**.

Mulchsaat von Reihenkulturen ist deshalb auf allen Standorten vorteilhaft für Boden und Umwelt. In erosionsgefährdeten Lagen gehört das Verfahren zum Standard guter fachlicher Praxis.

Die staatliche Pflanzenbauberatung will die Landwirte von der Notwendigkeit vom Mulchsaatverfahren überzeugen und sie bei der Durchführung fachlich unterstützen. Landwirte, die diese Verfahren freiwillig und selbstverantwortlich in ihren Betriebsablauf einbinden, bleiben auch längerfristig bei diesem Verfahren. **Fördermaßnahmen** im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen (Bayerisches Kulturlandschaftsprogramm) bieten zusätzlichen Anreiz.

Weitergehende Schritte zu einer konsequent **konservierenden Bodenbearbeitung**, also auch Mulchsaat von Getreide und Raps, erfordern ein angepasstes Stroh-, Bearbeitungs- und Pflanzenschutzmanagement und geeignete Fruchtfolgen (Kreitmayr et al., 2000). Erfahrungen bei Feldversuchen und Praxisbetrieben zeigten, dass günstige Keimbedingungen und optimale Entwicklung des Keimlings eine **gründliche Stroheinmischung** in den Boden und eine **ebene Bodenoberfläche** bei der Saat voraussetzen. Dies ist bei großen Strohmenngen nur mit einer gleichmäßigen Stroh- und Streuverteilung beim Mähdrusch - bei hohen Schnittbreiten der Mähdrescher wird dies derzeit in der Regel noch nicht gewährleistet -, sorgfältiger Stoppelbearbeitung und geeigneter Sätechnik erreichbar (siehe Kapitel 4.2.2.2).

Bei **Futterbaubetrieben mit hohem Maisanteil** in der Fruchtfolge stößt konservierende Bodenbearbeitung wegen der Maiszünsler- und insbesondere der Fusarienproblematik an Grenzen.

Der **Maiszünsler** kann in Befallsgebieten ganze Bestände gefährden. Als Alternative zur Insektizidbehandlung haben sich **vorbeugende mechanische Maßnahmen** bewährt. Schlegeln



Foto: Grundwürmer

Abb. 40: Mulchsaat von Mais ohne Saatbettbereitung direkt in den abgetroffenen Senf

der Maisstängel (zusätzlicher Arbeitsgang) und anschließendes Unterpflügen unterbrechen den Vermehrungszyklus des Zünslers und halten die Populationsdichte unter der Bekämpfungsschwelle. Auch **Blattkrankheiten** des Maises wird damit vorgebeugt.

Ährenfusariosen bei Winterweizen werden zunehmend als Problem erkannt, nicht nur wegen Ertragseinbußen, sondern wegen der möglichen Toxinbildung. Ein umfangreiches **Monitoringprogramm** in Bayern (Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 2000) hat gezeigt, dass folgende Produktionsfaktoren als Risiken bei der Bildung des Fusarientoxins Deoxynivalenol bei Weizen anzusehen sind:

- Vorfrucht Mais,
- nicht-wendende Bodenbearbeitung nach Mais,
- anfällig eingestufte Sorte und
- Einsatz bestimmter Fungizide (Strobilurin-Präparate).

Nach **Mais vor Weizen** wird deshalb von der staatlichen Beratung im Sinne einer Güterabwägung zugunsten der Futter- und Nahrungsmittelqualität die **Pflugfurche** empfohlen.

Erfolg im Rottal

Das Beispiel "Rottal" im südlichen Teil des Landkreises Passau in Niederbayern zeigt, unter welchen Umständen **Mulchsaat von Mais** (Abb. 40) allgemeine Verbreitung findet.

Die Landwirtschaft in diesem Gebiet ist durch Schweinehaltung und den Anbau von Getreide und Körnermais geprägt. Auf den Hanglagen beträgt der Maisanteil 30 bis 50 %, in den Tälern ist er noch höher. Heute ist die Mulchsaat in Hanglagen fester Bestandteil im Produktionssystem (Abb. 41).

Standardverfahren ist die **Aussaat von Senf in die raue Pflugfurche** mit dem Düngerstreuer, zur Maissaat erfolgt ein Bearbeitungsgang mit der Kreiselegge. Um den Arbeitsgang der Senfaussaat mit zusätzlichen Fahrspuren einzusparen, verbinden einige Landwirte die Senfsaat mit dem Pflügen (Kleingutschleuderstreuer an der Schlep-



Foto: Grundwürmer

Abb. 41: Abgetroffene Senfbestände prägen im Frühjahr das Landschaftsbild im Rottal

perfronthydraulik) oder der Gülleausbringung (Kastenstreuer am Güllegrubber) (Abb. 42).

Auf besonders erosionsgefährdeten Standorten gewährleistet nur Mulchsaat von Mais ohne Saatbettbereitung guten Schutz. Das Verfahren wird zunehmend praktiziert. Es erfordert den Einsatz von **mulchsaattauglichen Einzelkornsaatgeräten** mit Scheibenscharen, der bei den hier üblichen Betriebsgrößen überbetrieblich organisiert ist.

Die Maisstoppeln werden wegen der o.g. Maiszünsler- und Fusarienproblematik untergepflügt.

Folgt **Mais nach Mais**, so werden Triticale oder Winterroggen als Zwischenfrüchte eingesät und der nachfolgende Mais wird nach Einsatz eines nicht-selektiven Herbizids ohne weitere Saatbettbereitung in den abgestorbenen Pflanzenmulch bestellt.

Als Folge dieser Maßnahmen bestehen heute keine gravierenden Probleme mehr mit erosionsbedingten Schäden auf der Ackerfläche oder durch Abschwemmungen auf Straßen oder in Siedlungen.

Ausschlaggebend für die **hohe Akzeptanz von Mulchsaat** im Rottal ist das Zusammenwirken folgender Umstände:

- Die regelmäßig auftretenden Schäden durch Erosion waren in den 80er Jahren so offensichtlich, dass Handlungsbedarf allgemein einsichtig war.



Foto: Kreitmayer

Abb. 42: Gülleausbringung, Gülleeinbearbeitung und Zwischenfruchtsaat in einem Arbeitsgang

- Der örtliche Pflanzenbauberater suchte mit großem Engagement zusammen mit den Landwirten nach Lösungsmöglichkeiten.
- Innovationsfreudige Landwirte übernahmen eine Vorreiter- und Multiplikatorenfunktion und entwickeln die für die Verhältnisse vor Ort passenden Mulchsaatverfahren in Zusammenarbeit mit der staatlichen Beratung laufend weiter.

Erfahrungen in anderen Gebieten zeigten, dass dort, wo einer der genannten Punkte nicht erfüllt war, eine allgemeine Akzeptanz für Mulchsaatverfahren ausblieb.

Erste Erfahrungen mit erosionsminderndem Anbau von Feldgemüse in Niederbayern

Mit Feldgemüse bestellte Böden sind wegen der über längere Zeit geringen Bodenbedeckung in hängigen Lagen besonders erosionsgefährdet. Erosionsmindernde Anbauverfahren mit Mulchsaat von Sommerzwiebeln bzw. Einsaat von Wintergerste zwischen die Reihen von Einlegegurken werden derzeit in Versuchen erprobt und in der Praxis bereits vereinzelt durchgeführt.

Bei **Einlegegurken** auf erosionsgefährdeten Flächen in Niederbayern zeigt eine **Zwischenreihen-Einsaat mit Wintergerste** erste gute Erfolge. Hierbei wird nach dem Verlegen der schwarzen Mulchfolie im April zwischen den Folienreihen Wintergerste eingesät. Nach kurzer Zeit bildet sich - besonders unter Vliesabdeckung - ein dichter Pflanzenfilz aus bestockter Wintergerste und Unkräutern. Bevor die Gurkenranken über die Mulchfolie hinauswachsen, wird dieser Pflanzenfilz mit einem nicht-selektiven Herbizid abgespritzt. Der abgestorbene Pflanzenfilz bietet noch lange guten Schutz vor Bodenerosion.

Zur **Mulchsaat von Sommerzwiebeln** liegen erste Erfahrungen eines im Frühjahr 2000 begonnenen Vergleichsanbaus vor. Voraussetzung für eine optimale Saatgutablage in den Mulch ist ausreichend abgetrocknetes Senfstroh, das vom (nachgerüsteten) Scheibensech der Sämaschine sauber durchschnitten werden kann. Unter diesen Bedingungen zeigten sich im Versuchsjahr 2000 die Mulchvarianten (mit und ohne Saatbettbereitung) der Standardvariante im Ertrag tendenziell überlegen. Vermutlich wurde das Wachstum bei den Mulchvarianten durch die bessere Wasserversorgung und geringere Bodenverschlammung gefördert. Bei schweren Niederschlägen Ende Mai (60 l/m²) kam der erosionsmindernde Effekt in den Mulchvarianten sehr deutlich zum Tragen.

Gefährdungseinschätzung mit der "Allgemeinen Bodenabtragsgleichung"

In Bayern hat sich seit Jahren die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (**ABAG**) bewährt, um die

Erosionsgefährdung eines Flurstückes zu ermitteln oder die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen zu bewerten (siehe Kapitel 4.2.1). Berater oder interessierte Landwirte können mit der **benutzerfreundlichen PC-Version** (aid-Heft 1378, 2000) Entscheidungsgrundlagen zu geeigneten Schutzmaßnahmen erarbeiten. Die notwendigen Eingabedaten liegen jedem Landwirt vor, lediglich die Hangneigung muss im Gelände erhoben werden.

Im Rahmen des **Vollzugs des Bodenschutzes** zur Gefahrenabwehr (§ 8 BBodSchV) kann es notwendig werden, dass die Einhaltung der sich aus den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis ergebenden Anforderungen an die Gefahrenabwehr geprüft werden muss. In Bayern ist dafür das Amt für Landwirtschaft und Ernährung zuständig. Bei dieser Prüfung bietet sich die ABAG als Modell für die Einschätzung der Erosionsgefährdung und der ABAG-Toleranzwert nach Schwertmann (Ackerzahl /8) als Orientierung für die Bewertung an.

Bodenschutz bei der Flurneuordnung

Wo Fluren neugestaltet werden, sollte die Chance genutzt werden, Belange des Bodenschutzes in den Entscheidungsprozeß über die zukünftige Schlaggestaltung und die Regelung der Wasserabführung einzubeziehen. Die Planer benötigen dazu konkrete Informationen und Handlungsmaßstäbe.

Bereits seit 1985 werden für Verfahren der Flurneuordnung in Bayern **Erosionsgutachten mit Erosionsgefährdungskarten** und daraus abgeleiteten Vorschlägen für maximale Hanglängen erstellt, bisher in 104 Verfahren (siehe Beispiel in Abb. 43). Die Berechnung beruht auf einer Kopplung der ABAG mit einem geografischen Informationssystem (Kagerer und Auerswald, 1997), die eine in der Fläche differenzierende Darstellung der Erosionsgefährdung erlaubt.

Literatur

AUSWERTUNGS- UND INFORMATIONSDIENST FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (AID), HRSG. (2000): Bodenerosion durch Wasser – Ursachen, Schutzmaßnahmen und Prognose mit PC-ABAG. Heft mit Diskette, Bonn, 2. Auflage





BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU, HRSG. (2000): Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum* – Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbands. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau 3/00


KAGERER, J. UND K. AUERSWALD (1997): Erosionsprognose-Karten im Maßstab 1:5.000 für Flurbereinigungsverfahren und Landwirtschaftsberatung. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 2/97



KREITMAYR, J. ET AL. (2000): Gute fachliche Praxis der Bodenbearbeitung. Bodenkultur und Pflanzenbau, Sondernummer 2/00; Bezug über die Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising

Erosionsgefährdungskarte

Toleranzwertüber- bzw. -unterschreitung

-  kein Abtrag
-  unterschritten
-  bis zu 2-fach überschritten
-  mehr als 2-fach überschritten

-  erosionsmindernde Wirkung linearer Strukturen (z. B. Feldrain)
- 1 – hoch
- 2 – mittel
- 3 – gering

-  Bearbeitungsrichtung
-  Höhenlinien

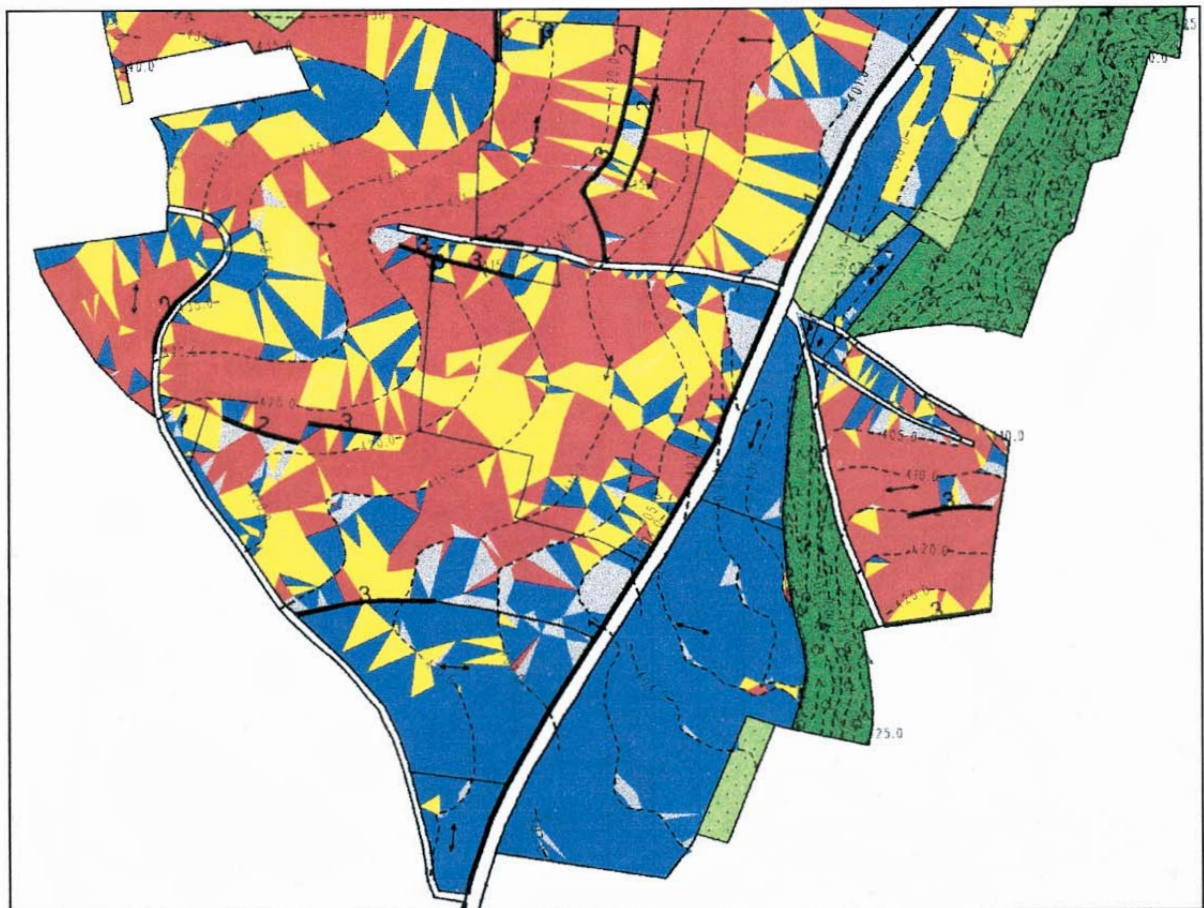


Abb. 43: Ausschnitt aus einer Erosionsgefährdungskarte, erstellt auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung bei ortsüblicher Fruchtfolge ohne Erosionsschutzmaßnahmen. Bewertung **vor** der Flurneuordnung.

4.3.2 Schutz vor Wassererosion in Mecklenburg-Vorpommern

Mo. Frielinghaus u. B. Winnige

Problemstellung

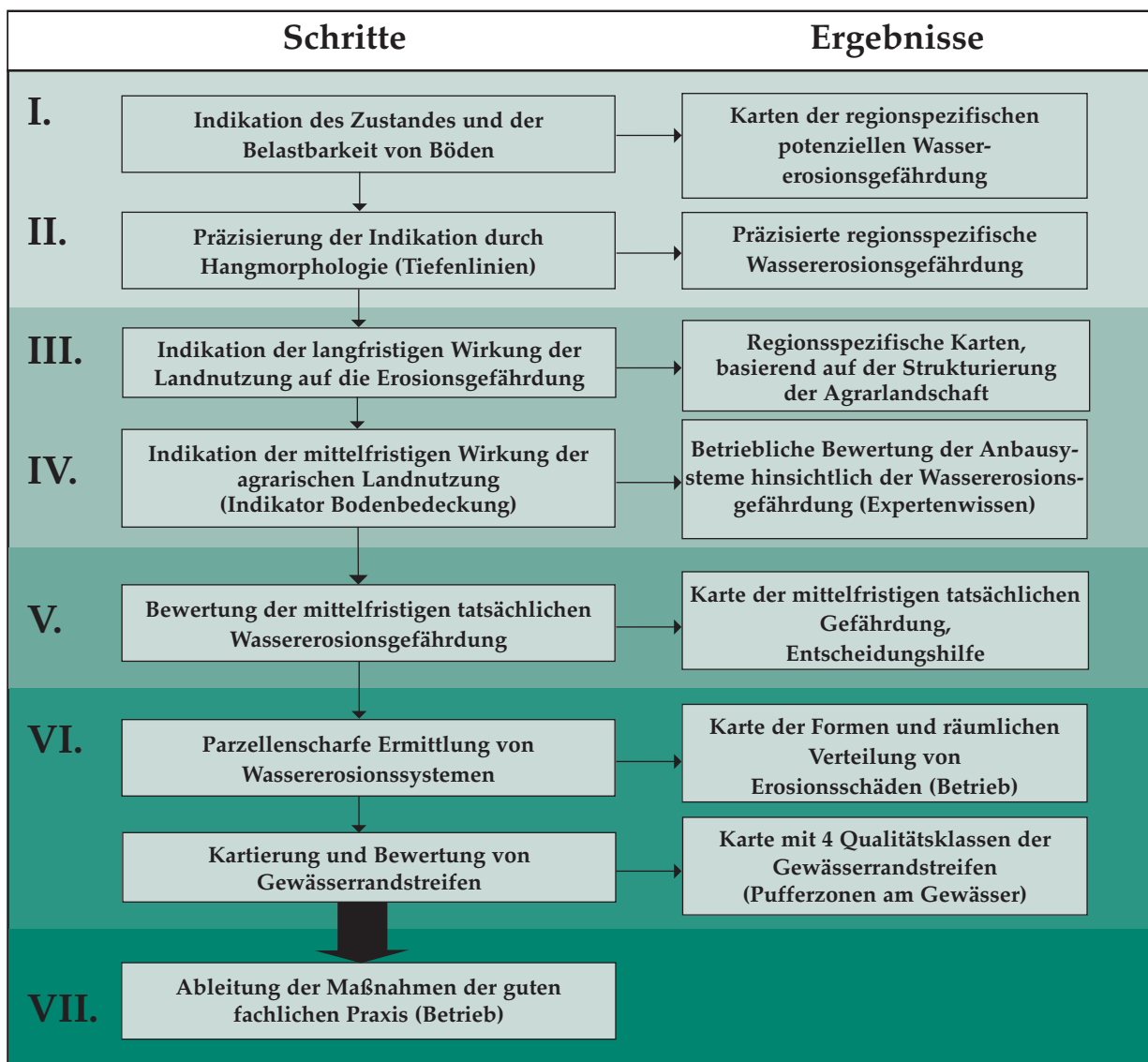
Das Einzugsgebiet der Kittendorfer Peene, als Teil des Peenetalmoores, ist ein vorwiegend landwirtschaftlich genutztes Gebiet mit einem hohen Anteil intensiver Ackerbaukulturen.

Das Peenetalmoor ist ein wertvolles Niedermoor, das mit der Zielstellung der Erhaltung der relativ guten Bestandteile des Peenetals und der Aktivierung bereits geschädigter Moorfunktionen unter Schutz gestellt wurde.

Die Veränderungen durch erosionsbedingte Stoffeinträge betreffen das gesamte Peenetalmoor. Sichtbare Schäden sind z. B. die Verdrängung der ursprünglichen Fauna durch nitrophile Pflanzen oder die Verunreinigung und Eutrophierung der Peene durch Phosphoreinträge.

Um eine Sanierung der Gewässer einzuleiten und die weitere Moordegradierung zu vermeiden, müssen sowohl die punktuellen als auch die diffusen Einträge analysiert, quantifiziert und dann gezielt vermindert werden.

Nachfolgend werden, am Beispiel eines Teileinzugsgebietes der Kittendorfer Peene, die Schritte der Indikation der Wassererosionsgefährdung zur Ableitung von Entscheidungshilfen dargestellt:



I. Grundlage zur Indikation des Zustandes und der Belastbarkeit von Böden:

Die Bestimmung der potenziellen Wassererosionsgefährdung erfolgt durch die Verknüpfung der Bodenartengruppen der Bodenschätzungskarten (1:10.000) mit den Hangneigungsgruppen der Hangneigungskarten (1:10.000) (Tab. 14).

II. Grundlage zur Präzisierung der Indikation durch die Hangmorphologie:

Um die potenzielle Wassererosionsgefährdung zu präzisieren, werden die potenziellen Erosionspfade (Talwege) bestimmt.

		Hangneigungsgruppen und -neigung						
Bodensubstrat mit Angabe der Korngrößen < 0,0063 mm Durchmesser	Bodenarten-gruppen	0	1	2	3	4	5	>=6
		< 4% < 2°	4...9% 2...5°	9...11% 5...6°	11...14% 6...8°	14...18% 8...10°	18...23% 10...13°	> 23% > 13°
Ton; > 38%	Ton (uT, sT, IT, T)	0	1	1	2	2	3	4
Sand; ≤ 7%	Sand (S)	0	1	2	2	3	4	5
Lehm- u. Schlufflehm; > 25...≤ 38%	Sandiger Lehm (sL)							
	Schluff (U, IU, UI)	0	2	3	3	4	4	5
lehmige Sande u. sandige Lehme; > 7...≤ 25%	Lehmsand (uS, SI, SL, IS)	0	2	3	4	4	5	5

Tab. 14: Matrix zur Bestimmung der potenziellen Wassererosionsgefährdung auf der Basis der Bodenschätzung

0 keine Gefährdung 1 sehr geringe Gefährdung 2 geringe Gefährdung
 3 mäßige Gefährdung 4 starke Gefährdung 5 sehr starke Gefährdung

Als Ergebnis erhält man die Karte der potenziellen Wassererosionsgefährdung (Abb. 44).

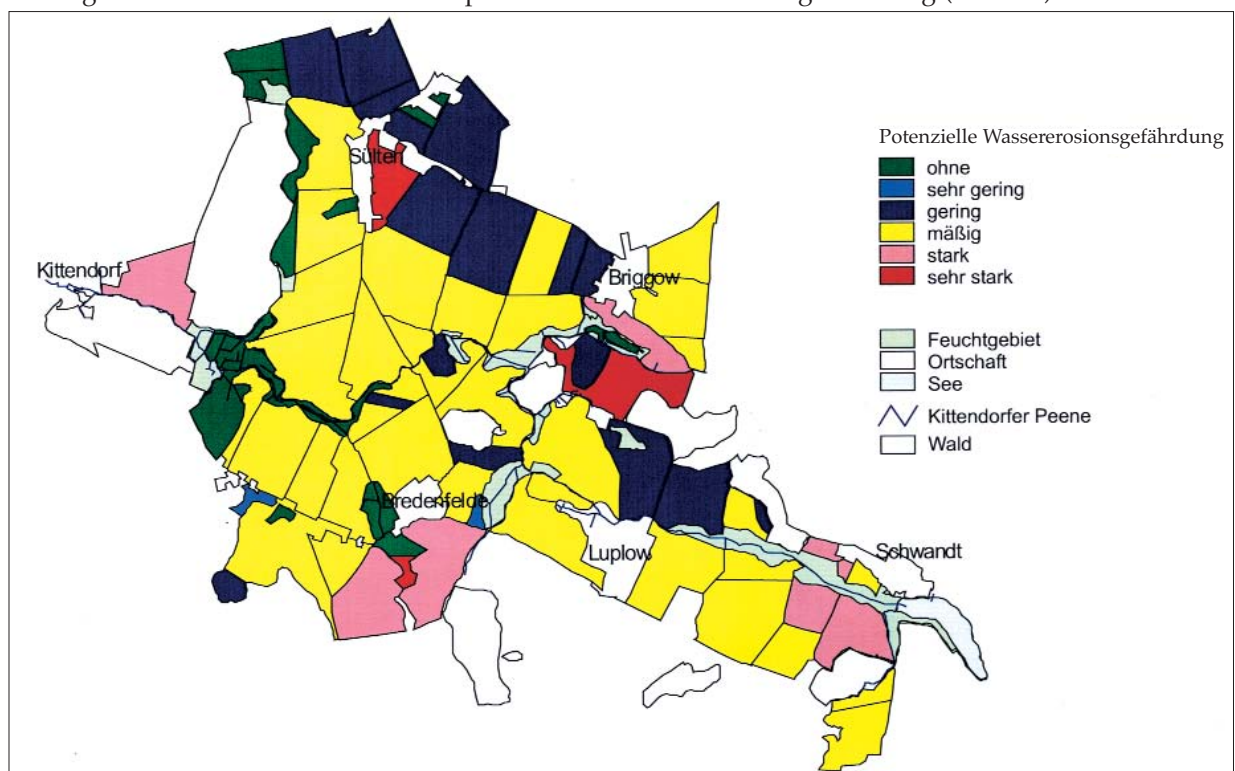


Abb. 44: Potenzielle Wassererosionsgefährdung im Untersuchungsgebiet "Kittendorfer Peene"

Die Bestimmung der Talwege kann auf der Basis von großmaßstäbigen topografischen Karten oder Höhenmodellen erfolgen.

Aus den großmaßstäbigen Karten sind die besonders ausgeprägten Talwege anhand der Höhenlinien zu erkennen.

Mit Hilfe eines Höhenmodells erfolgt eine GIS-gestützte Analyse der Reliefstrukturen, für die bevorzugte Bedingungen für die Ausbildung signifikanter linearer Erosionsformen vorliegen (Abb. 45). Es wird dabei angenommen, dass die Richtung des Erosionsprozesses in erster Näherung mit dem Abflussprozess des Wassers übereinstimmt.

III. Grundlage zur Indikation der langfristigen Wirkung der agrarischen Nutzung:

Ermittlung der Wald-Grünland- und Ackerlandverteilung unter Nutzung von Satelliten-, Luftbildern, Topographischen Karten (Abb. 46) oder Biotop- und Nutzungstypenkarten.

IV. Grundlage zur Indikation der mittelfristigen Wirkung der agrarischen Landnutzung:

Auf der Grundlage langjähriger Feldversuche und Schadenskartierungen wurde für die Bewertung der Fruchtarten hinsichtlich ihrer Schutzwirkung ein Schema entwickelt, in dem die Bodenbedeckung als Kriterium verwendet wird. Die Einschätzung jeder einzelnen Fruchtart bzw. ihrer Anbaufolgen erfolgt nach 5 Kriterien

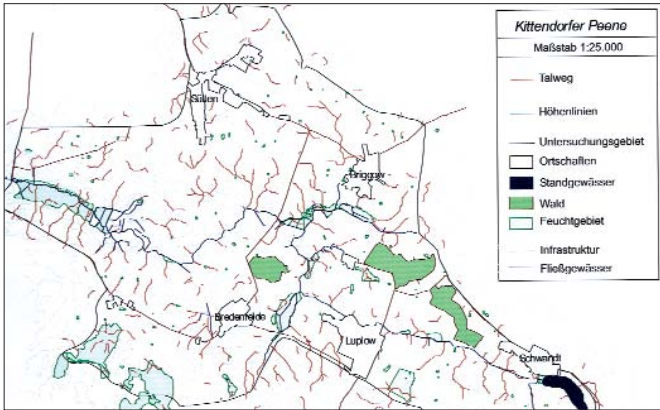


Abb. 45: Talwege im Untersuchungsgebiet "Kittendorfer Peene"



Abb. 46: Auszug aus der Topographischen Karte 1:25.000 (Afs) – Einzugsgebiet Kittendorfer Peene

(Tab. 15). Daraus wird die potenzielle Bewertung der Fruchtarten und Anbaufolgen als gut, mäßig oder unzureichend abgeleitet (Abb. 47).

Die Verknüpfung der potenziellen Wassererosionsgefährdung und der Schutzwirkung durch die angebauten Fruchtarten erfolgt entsprechend der in Kapitel 3 dargestellten Matrix (Tab. 16).

V. Grundlage zur Bestimmung der tatsächlichen Wassererosionsgefährdung:

	Bewertungskriterien					
	Geschwindigkeit der Pflanzenentwicklung	Grad der Bedeckung (Standraumverteilung)	Bedeckung während des Sommerhalbj. (1.4.-30.9.)	Bedeckung während des Winterhalbj. (1.10.-31.3.)	Technologisch bedingte Zeitspanne o. Bodenbedeckung	Gesamtbewertung
Fruchtarten Teil I						
Dauerbegrünung	1	1	1	1	1	1
Selbstbegrünung	2	1	1,5	2	2	2
Wintergerste	1	1	1	1	1	1
Winterweizen						
Aussaat vor 1. Oktober	2	1	1	2	2	1,5
Aussaat nach 10. Oktober	3	1	1,5	3	3	2,5
Winterroggen						
Aussaat vor 1. Oktober	1,5	1	1	1	1	1
Aussaat nach 10. Oktober	2	1	1	2	2	1,5
Winterraps	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Sommerraps	1,5	2	2	3	3	2
Hafer	2	1	2	3	3	2
Zuckerrüben	3	2	2,5	3	3	3
Mais	3	3	2,5	3	3	3
Anbaufolgen/Fruchtfolgeglieder Teil II						
Ackerbaubetriebe mit sehr hohem Ertragspotential (AZ > 45)						
Winterraps-Winterweizen-Wintergerste	2	1,5	1,5	2	2	1,5
Zuckerrüben-Winterweizen-Winterweizen	3	1,5	2	3	2	2,5
Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste	2,5	1,5	2	2,5	1,5	2
Ackerbaubetriebe mit hohem Ertragspotential (AZ 36-45)						
Zuckerrüben-Winterweizen-Ackerbohnen-Wintergerste	2,5	2	2	2,5	2	2,5
Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste-Winterroggen	2	1,5	1,5	2	2	1,5
Winterraps-Winterweizen-Wintergerste-Winterroggen	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5
Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste	2,5	1,5	2	2,5	1,5	2
Winterraps-Winterweizen-Wintergerste	2	1,5	1,5	2	2	1,5

	1 schnell	hoch	hoher Schutz	hoher Schutz	ohne	ausreichender Schutz
	2 mäßig	mäßig	geringer Schutz	geringer Schutz	mäßig	geringer Schutz
	3 langsam	niedrig	kein Schutz	kein Schutz	lang	unzureichender Schutz

Tab. 15: Auszug aus dem Bewertungsschema zur Einschätzung der Fruchtarten und Anbaufolgen hinsichtlich ihrer Schutzwirkung durch Bodenbedeckung

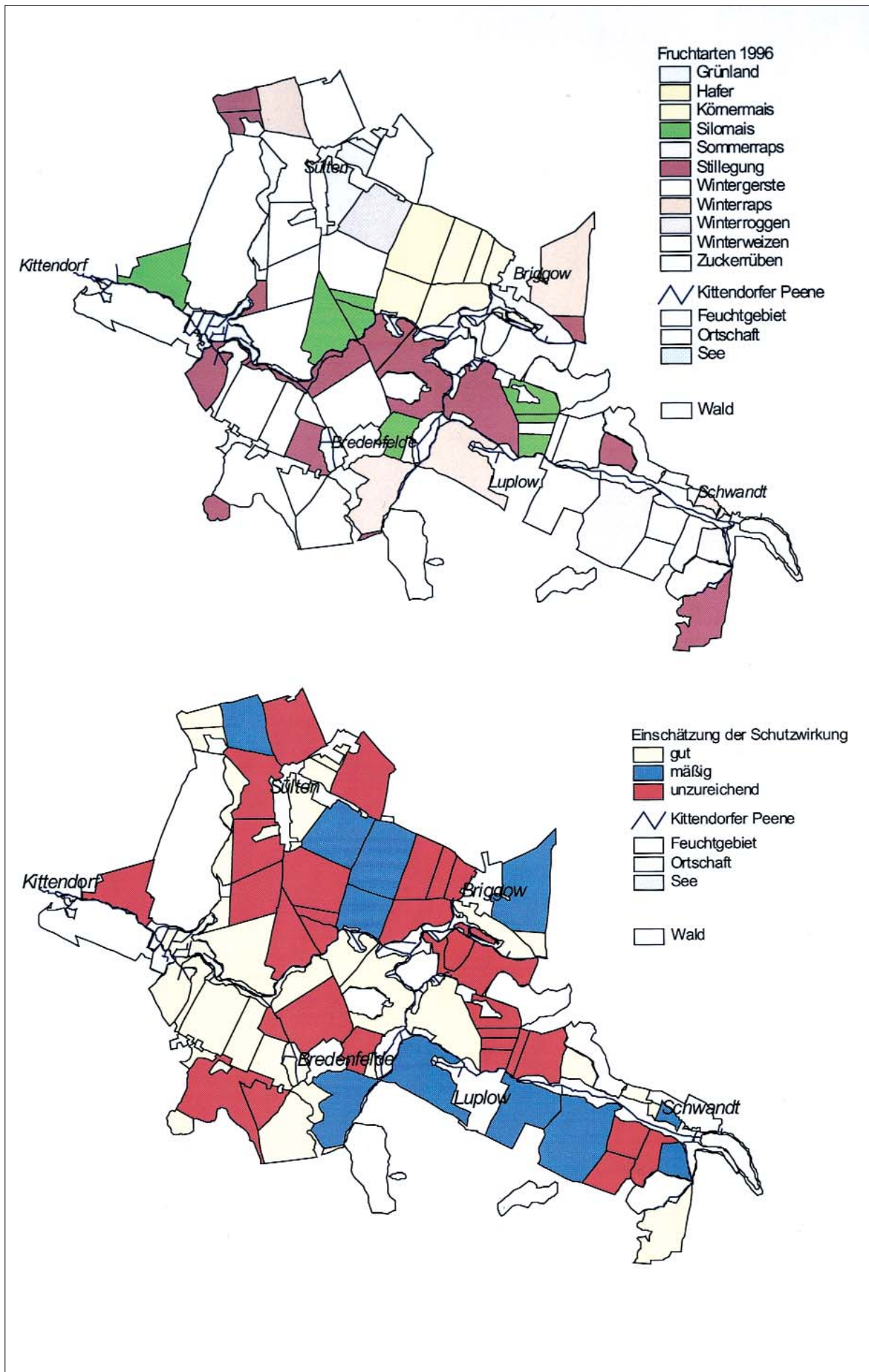


Abb. 47: Einschätzung der Fruchtarten hinsichtlich ihrer Schutzwirkung vor Wassererosion im Untersuchungsgebiet "Kittendorfer Peene"

Potenzielle Wassererosionsgefährdung	Schutzwirkung durch angebaute Fruchtarten		
	gut (1)	mäßig (2)	unzureichend (3)
sehr gering (1)	sehr gering	sehr gering	sehr gering
gering (2)	sehr gering	sehr gering	gering
mäßig (3)	sehr gering	gering	mäßig
stark (4)	sehr gering	mäßig	stark
sehr stark (5)	sehr gering	stark	sehr stark

Tab. 16: Matrix zur Bestimmung der tatsächlichen Wassererosionsgefährdungsklassen im Untersuchungsgebiet

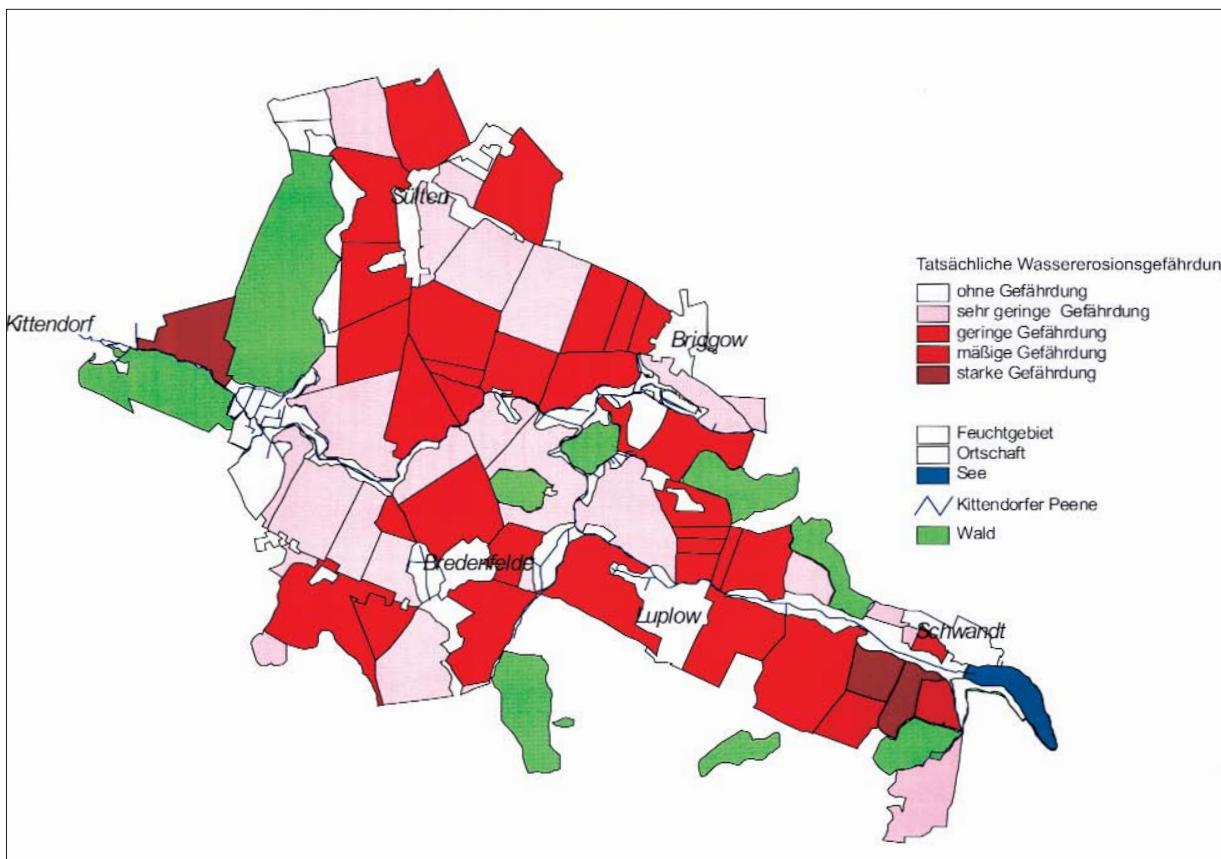


Abb. 48: Tatsächliche Wassererosionsgefährdung im Untersuchungsgebiet "Kittendorfer Peene" (1996)

Abbildung 48 zeigt die tatsächliche Wassererosionsgefährdung für die Flächen des Untersuchungsgebietes "Kittendorfer Peene".

VI. Grundlage zur parzellenscharfen Ermittlung von Wassererosionssystemen:

Kartierung:

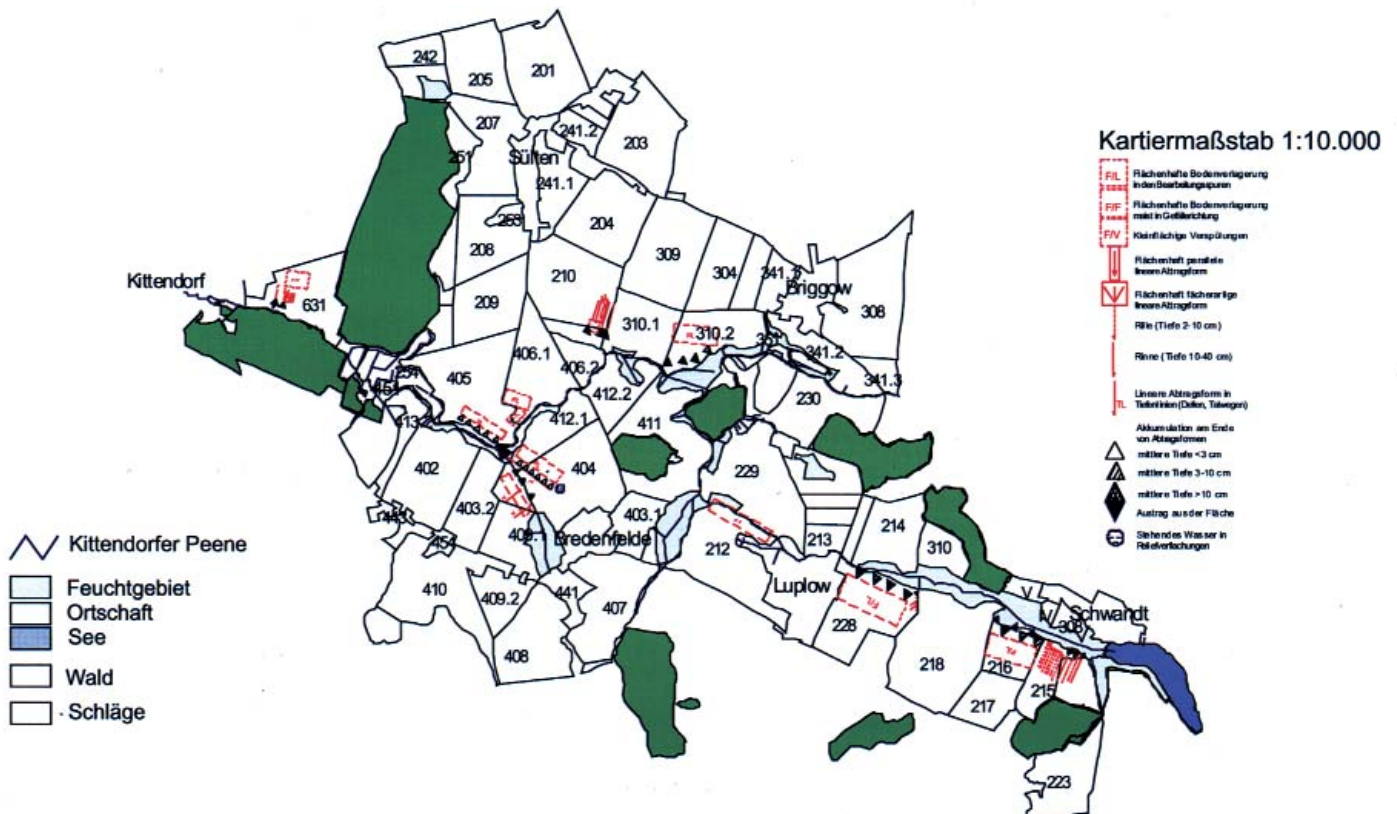
- ▶ Die Kartierung erfolgt nach der Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen, erarbeitet vom Fachausschuss "Bodenerosion" des DVWK. Eine standortspezifische Unterersetzung und Modifizierung der Kartieranleitung ist möglich.
- ▶ Kartiert wird zum Ausgang niederschlags- und schneereicher Winter und nach Niederschlägen mit hoher Intensität oder mehr als 10

bis 20 mm Menge, auf potenziell gefährdeten, gewässernahen Flächen mit unzureichender Bodenbedeckung.

- ▶ Im Vordergrund stehen bei der Kartierung die Erosionsformen Bodenablösung, Bodentransport, Akkumulation und Austrag. Abgetragener, umgelagerter und aufgetragener Boden wird in Form von Längen-, Flächen- und Raummaßen erfasst.

Darstellung und Verwaltung der Kartierergebnisse:

- ▶ Aufnahme der Daten in Datendokumentationsblättern (Blatt 1: Grunddaten zum kartierten Gebiet, Blatt 2: Daten zum Erosionssystem) und Ablage in Datenbanken zur



Kartiermaßstab 1:10.000

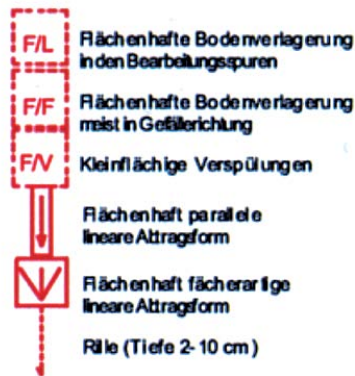


Abb. 49: Darstellung der Ergebnisse der Erosionsschadenskartierung im Untersuchungsgebiet "Kittendorfer Peene" (Juli 1997)

weiteren Nutzung in Fachinformationssystemen.

- Erarbeitung thematischer Karten unterschiedlicher Maßstäbe (Abb. 49).

Grundlage zur Kartierung und Bewertung von Gewässerrandstreifen:

- Neben der Auswertung der Biotopkartierung ist zur Einschätzung der Filterwirkung eine Begehung vor Ort notwendig. Hierfür liegt eine Kartieranleitung "Ausweisung von

Gewässerrandstreifen" beim Landesumweltamt vor.

- Die Kartierung umfasst die Aufnahme der Breite und Länge des Randstreifens sowie die Bonitur der Dichte der Bodenvegetation zur Einschätzung der zu erwartenden Filterwirkung (Abb. 50).

Grundlage für die Ableitung von Schutzmaßnahmen:

Für die Erarbeitung von Boden- und Gewässerschutzkonzepten im Untersuchungsgebiet wur-

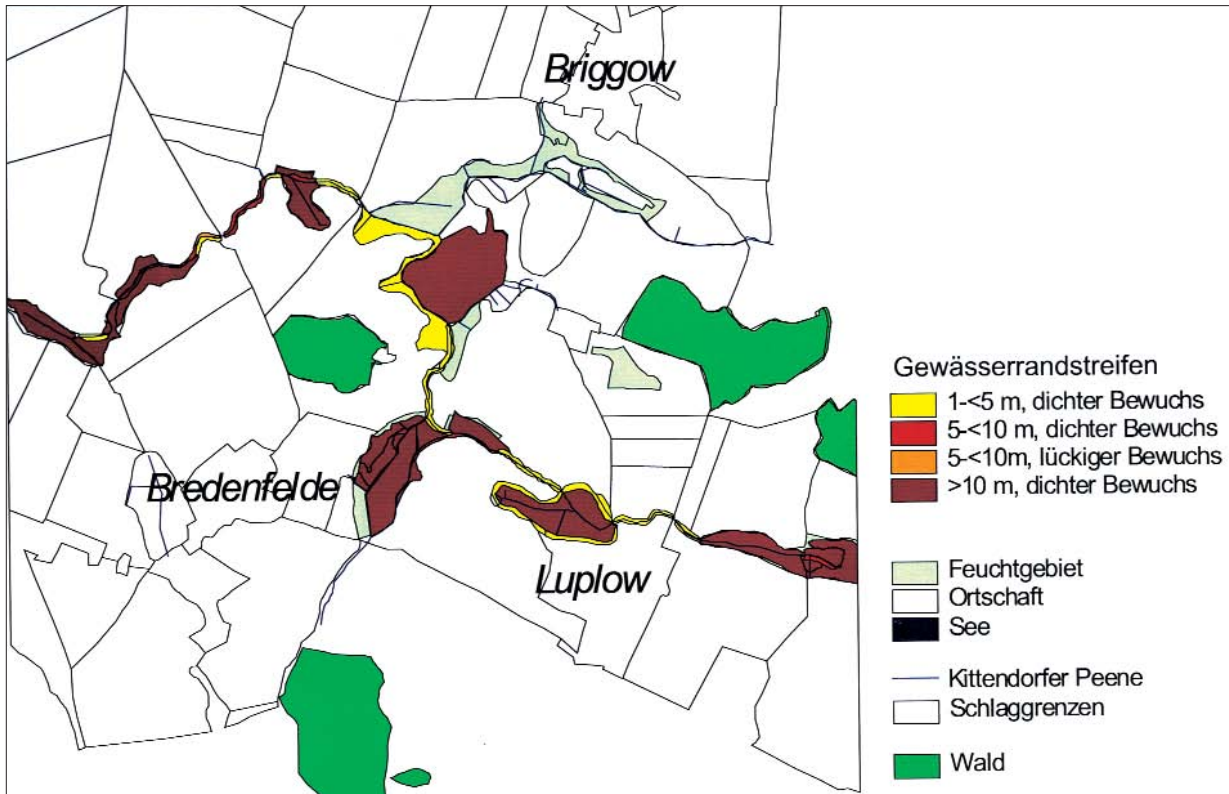


Abb. 50: Kartierte Gewässerrandstreifen entlang der Kittendorfer Peene (Auszug)

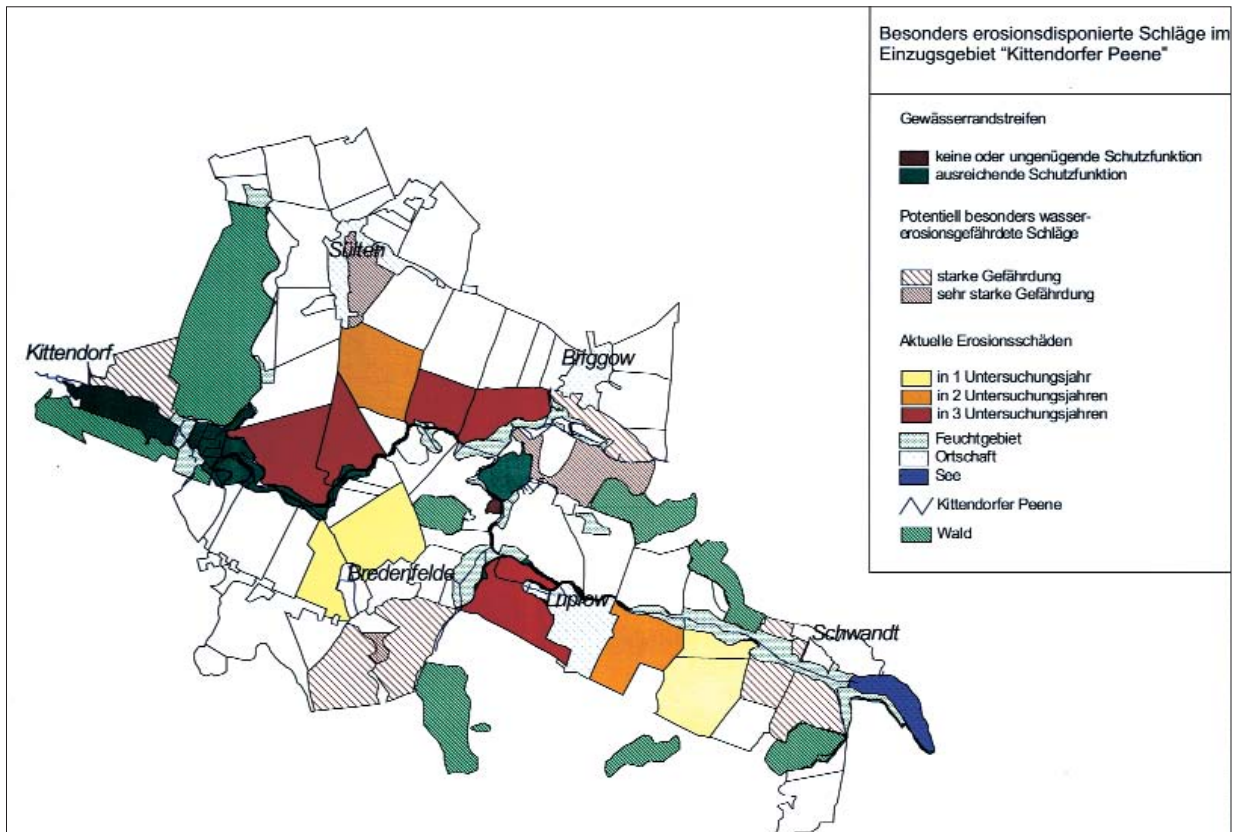


Abb. 51: Verknüpfung der Einzelergebnisse als Grundlage zur Ableitung von Entscheidungen

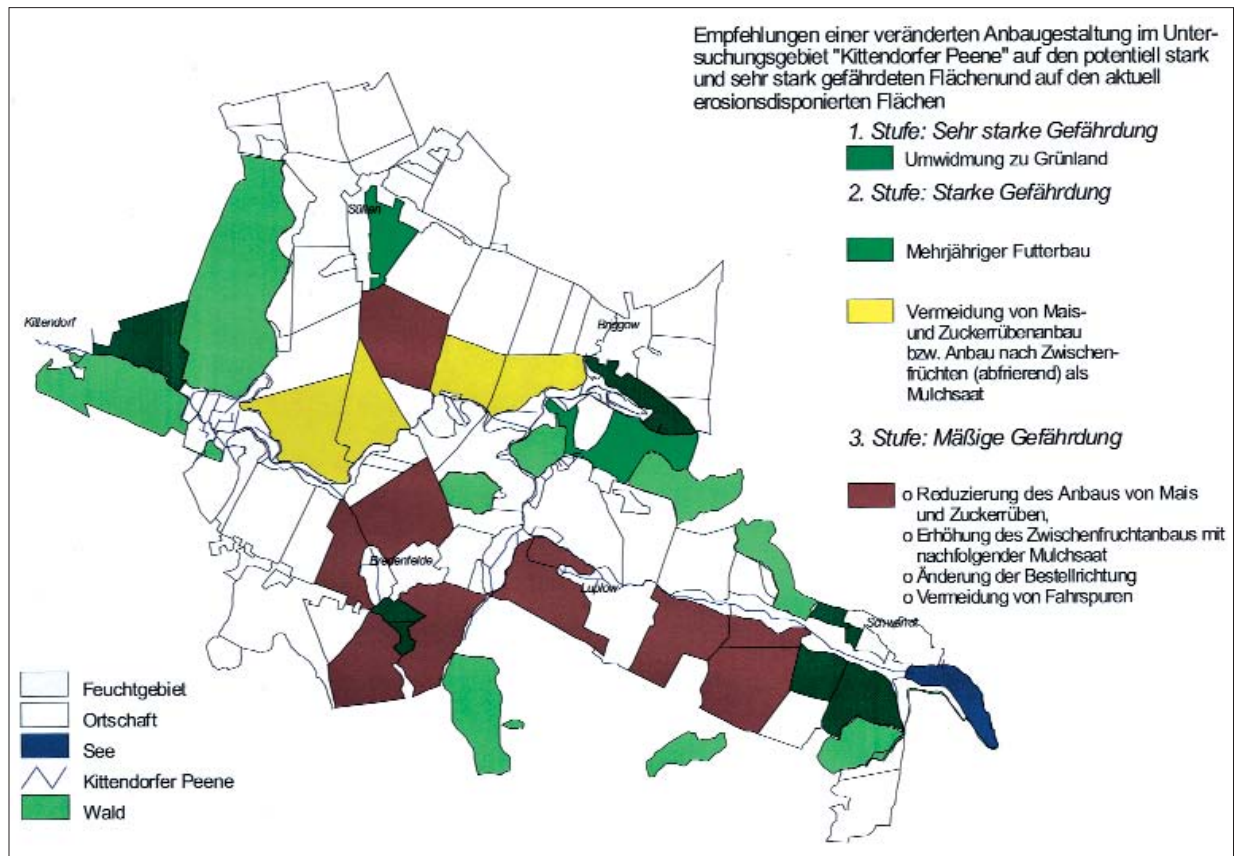


Abb. 52: Veränderte Flur- und Anbaugestaltung im Untersuchungsgebiet "Kittendorfer Peene"

den mit Hilfe der dargestellten Algorithmen die potenzielle und tatsächliche Gefährdung sowie Informationen zu den tatsächlichen Stoffeintragsformen und Pfaden über mehrere Jahre ermittelt. Durch die Verknüpfung der einzelnen Ergebnisse (Abb. 51) ist es möglich, erosionsdisponierte Schläge und Teilflächen (z. B. Talwege) herauszufiltern, um entsprechend der Gefährdung gezielt Schutzmaßnahmen durchführen zu können (Abb. 52).

Die potenzielle Erosionsdisposition der betroffenen Ackerschläge ist nicht veränderbar, daher wurde sie bei der standortangepassten Landnutzung beachtet. Während auf den stark und sehr stark gefährdeten Flächen durch eine konsequente Nutzungsänderung ein ausreichender Bodenschutz gewährleistet werden kann, werden auf den mäßig gefährdeten Flächen bodenschonende Maßnahmen und ein Anbauverhältnis mit hohem Anteil bodenbedeckender Fruchtarten die aktuelle Erosionsgefährdung vermindern. Im Vordergrund stehen für das Gebiet Verfahren zur Erhöhung der Bodenbedeckung im Winter und Frühjahr durch Zwischenfruchtanbau und Mulchsaatverfahren bei Zuckerrüben und Mais. Ziel der Anbaugestaltung ist es, räumlich gut verteilt das ganze Jahr über einen hohen Anteil bedeckter Flächen zu haben.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Verminderung von Fahrspuren auf den Flächen in Gewäs-

sernähe, da jede hangabwärts gerichtete Fahrspur eine potenzielle Erosionsrinne ist.

Literatur

FRIELINGHAUS, M.; DEUMLICH, D.; FUNK, R.; HELMING K., WINNIGE, B. U.A. (1999): Bodenerosion. Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Hrsg. Geologisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin. 80 S.

FRIELINGHAUS, M. ; WINNIGE, B. U.A. (2001): Bodenschutz im Land Brandenburg – Teil Bodenerosion. Hrsg. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung Land Brandenburg. Potsdam, erscheint 2001.

4.3.3 Schutz vor Wassererosion in Niedersachsen

J. Brunotte

Problemstellung

Der Landwirt greift mit einer Reihe von Maßnahmen wie Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz in das komplexe Wirkungsgefüge "Boden-Pflanze" ein. Dabei kommt eine breite Palette hoch speziali-

sierter Schlepper, Geräte, Erntemaschinen und Transportfahrzeuge zum Einsatz, die aus Kostengründen optimal auszunutzen sind. Bei allem Bemühen, etwa mit der Bodenbearbeitung für die Pflanzen optimale Keim- und Wachstumsbedingungen zu schaffen, können beim Einsatz der Betriebsmittel unerwünschte Nebenwirkungen auftreten. Diese gilt es nach dem Vorsorgeprinzip aus Kosten- und Bodenschutzgründen zu vermeiden.

Zu den möglichen schädlichen Nebeneffekten auf Zuckerrübenfeldern gehört die Bodenerosion. Sie ist als Folge intensiver Niederschläge in Regionen Niedersachsens (z. B. Ambergau) häufig zu beobachten. Eine Übersicht über das Auftreten von Niederschlägen mit Regenintensitäten von mehr als 10 mm/d zeigt Abbildung 53 für die Region Hildesheim.

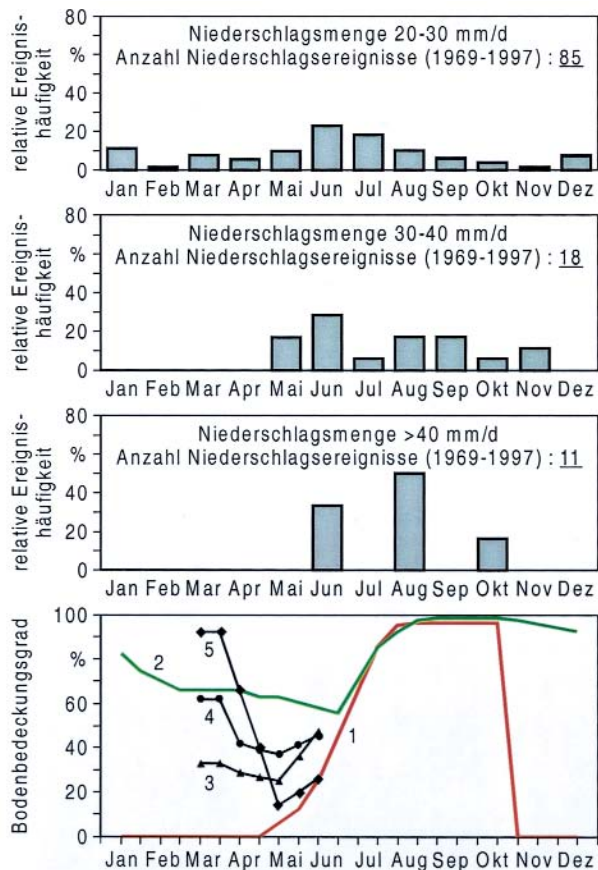
Wie der Vergleich mit den Bedeckungsgraden zeigt, fallen dabei Phasen erhöhter Niederschlagserosivität mit den Zeitabschnitten zusammen, in denen die Bodenoberfläche bei konventionellem Anbau spätdeckender Fruchtarten keinen oder nur sehr geringen Schutz vor den aufprallenden Regentropfen und dem oberflächlich abfließenden Wasser aufweist.

Neben diesen Starkniederschlagsereignissen von Mai bis Juni sind für das örtliche Erosionsgeschehen auch langanhaltende Herbstregen mit geringerer Regenenergie von großer Bedeutung.

Ein dritter, für das Auftreten stärkerer Bodenerosionsschäden relevanter Zeitabschnitt umfasst die Monate Januar bis März, in denen Schneeschmelzprozesse und/oder auf den nur oberflächlich aufgetauten Boden treffende Niederschläge mit hohen Bodenabträgen verbunden sind.

Strategien zur Vermeidung von Bodenerosion
Oberflächenabfluss tritt immer dann auf, wenn die gefallene Niederschlagsmenge größer ist als die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens. Das Ausmaß von Abfluss und Erosion hängt von klimatischen, boden- und nutzungsbedingten Faktoren ab. Zwei Faktoren sind weitestgehend als fix zu betrachten und durch den Landwirt nur wenig zu beeinflussen. Sie beschreiben die potenzielle Erosionsgefährdung eines Standortes:

- ▶ Boden- und Standortbedingungen (Bodenart, Humusgehalt, Kalkzustand, Hanglänge, Hangneigung) und
- ▶ Niederschlagsintensität und Häufigkeit erosiver Niederschläge.



Varianten:

1. konventionelle Bodenbearbeitung
2. Zwischenfruchtbestellung nach Grubbern, Zwischenfrucht Phacelia, pfluglose Bestellung der Zuckerrüben in abgefrorene Zwischenfrucht
3. Zuckerrüben, Zwischenfruchtbestellung nach Pflugfurche, Zwischenfrucht Senf, pfluglose Bestellung der Zuckerrüben in abgefrorene Zwischenfrucht (Variante "B5" in Brunotte et al., 1998)
4. Zwischenfruchtbestellung nach Grubbern, Zwischenfrucht Senf, pfluglose Bestellung der Zuckerrüben in abgefrorene Zwischenfrucht (Variante "B6" in Brunotte et al., 1998)
5. Strohmulch ohne Zwischenfrucht, keine Grundbodenbearbeitung nach Winterweizen, Saatbettbereitung vor Zuckerrüben (Variante "C1" in Brunotte et al., 1998)

Abb. 53: Jahreszeitliche Verteilung von Starkniederschlägen und Bodenbedeckungsgraden bei Zuckerrübenanbau in der Region Hildesheim

Durch technischen Fortschritt (Geräte, Pflanzenschutz) braucht der Landwirt heute solchen Starkregenerereignissen nicht mehr tatenlos zuzusehen. Er ist – auch im Sinne "guter fachlicher Praxis" nach dem BBodSchG – in der Lage, durch die richtige Auswahl von Bodenbearbeitungstechnik und Fahrzeugparametern vorbeugend Oberflächenabfluss und Bodenerosion zu mindern.

Bei der Auswahl der Strategien (Abb. 54) wird grundsätzlich unterschieden zwischen

- ▶ Beeinflussung der Bodenstruktur durch Erhöhung von Infiltration und Tragfähigkeit,
- ▶ Änderung von Arbeitsverfahren und
- ▶ Veränderung von Fahrzeugparametern.

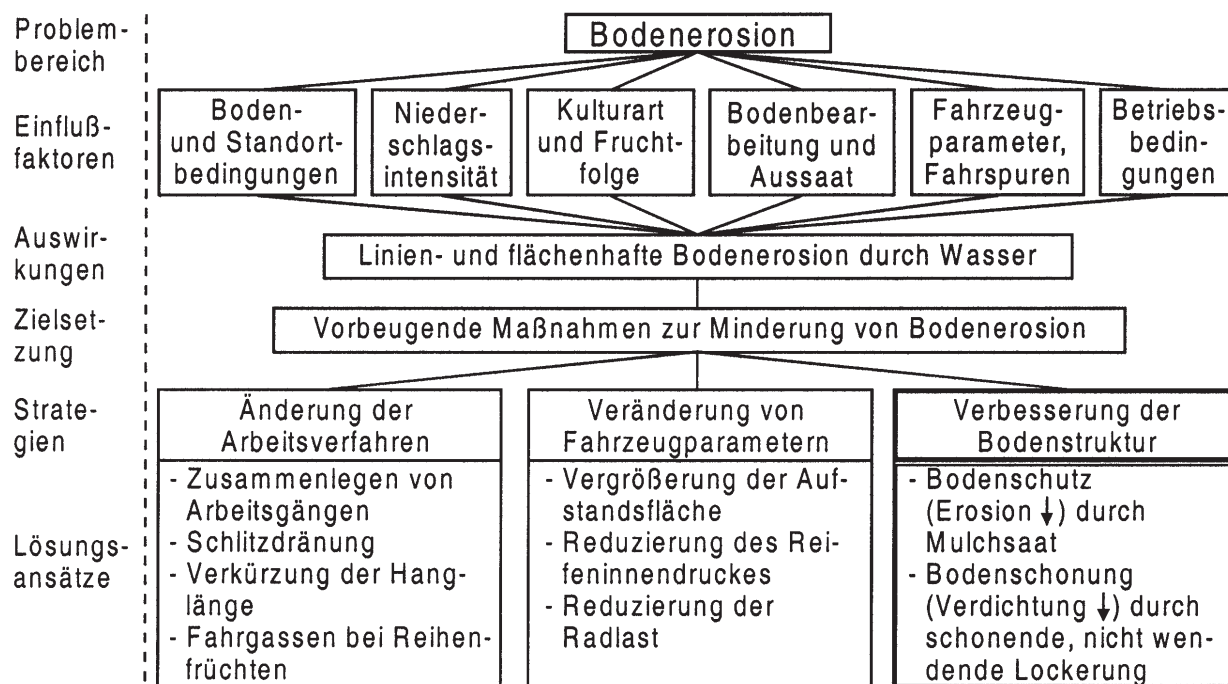


Abb. 54: Auswahl verschiedener Strategien zur vorsorglichen Vermeidung von Bodenerosion (Brunotte u. Sommer, 1998)

Diese Strategien beinhalten eine Vielzahl von Lösungsansätzen und Maßnahmen, die sowohl einzeln, als auch in Kombination zu positiven Effekten beim Bodenschutz führen.

Als Beispiel wird hier "**die Verbesserung der Bodenstruktur zur Erhöhung der Wasserinfiltration**" herausgegriffen. Die wirksamste, einzig ganzflächige Möglichkeit zur Vorbeugung von Oberflächenabfluss und Bodenerosion ist die Herstellung einer Bedeckung an der Oberfläche durch Vor- und /oder Zwischenfruchtreste. Die Aussaat in Rückstände wird als Mulchsaat bezeichnet. Sie wird im Folgenden in ihrer Erosionsminderung mit dem praxisüblichen Verfahren der Pflugfurche verglichen.

Konventionelle Bodenbearbeitung und Bestellung

Nach der Ernte der Vorfrucht – unabhängig, ob dies Gerste oder Weizen war – erfolgt zu Zuckerrüben eine ein- bis zweimalige Stoppelbearbeitung (Abb. 55, linker Pfad). Bei der Stroheinbearbeitung sind je 10 dt/ha Stroh 2 cm Bearbeitungstiefe, d. h. bei 80 dt/ha 16 cm, vorzusehen. Standorte mit Tongehalten > 20 % werden bis Mitte Oktober gepflügt, d. h. während – und nicht nach – der Zeit der Weizenbestellung Mitte November bei hoher Bodenfeuchte. Die Mitnahme des Packers oder eine Einebnung bei Frost ermöglichen es, die Sekundärbodenbearbeitung im Frühjahr stark zu reduzieren. Schluffböden mit Schluffgehalten > 80% verlangen eine Frühjahrspflugfurche zum Zwecke einer besseren Erwärmung.

Auch im Falle der Pflugfurche gibt es Lösungsansätze zur Minderung von Bodenabtrag. Allerdings kann durch Schaffung grober Aggregate die Verschlammungsneigung nur geringfügig gesenkt werden. Um gleichzeitig einen hohen Feldaufgang zu erreichen, ist nach dem Prinzip der "**gezielten Heterogenität**" zu verfahren: nach einer grobkrümeligen Flächenbearbeitung folgt eine feinkrümelige Saatzeilenbearbeitung durch Reihenpacker im Frontanbau des Säschleppers.

Mulchsaat – fruchtfolge- und standortangepasst
Konservierende Bodenbearbeitung mit pflanzlichen Reststoffen an /nahe der Bodenoberfläche macht Mulchsaat mit bzw. ohne Saatbettbereitung möglich. Mit diesen Varianten sind pflanzliche Reststoffe an der Bodenoberfläche zu erhalten, um vorsorgend und effektiv Bodenerosion zu mindern. Der **Bedeckungsgrad** stellt damit im Falle von Erosionsgefahr für eine umweltverträgliche Pflanzenproduktion neben der Niederschlagscharakteristik und der Standortbeschreibung (Bodenart, Hangneigung) ein wichtiges Kriterium ("Agrar-Umweltindikator") dar.

Den Landwirten in dieser Region Niedersachsens mit gegebener Bodenart und Niederschlagscharakteristik stehen in Abhängigkeit von ihrer Fruchtfolge eine Reihe von Möglichkeiten zur Verfügung, mit gezieltem Einsatz von Technik Oberflächenrückstände zu schaffen bzw. zu erhalten. Dabei spielt die Zwischenfrucht eine besondere Rolle, da sie nicht nur den höchsten Schutzbeitrag liefert, sondern auch den höchsten Aufwand erfordert (Abb. 55, mittlerer Pfad). Eine

— Konventionelle Bodenb. —

— Konservierende Bodenb. —

— DS —

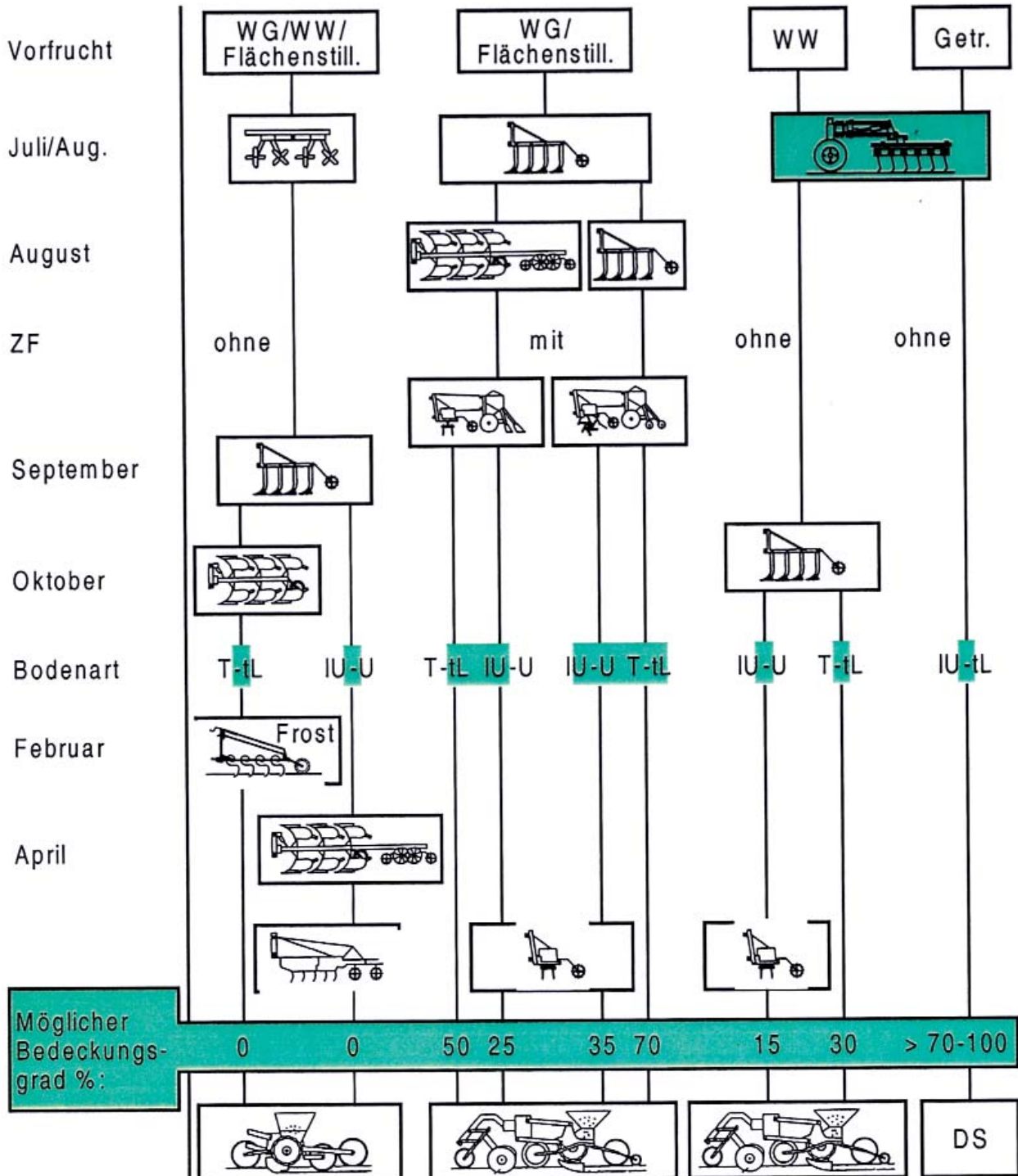


Abb. 55: Geräteinsatz bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung

wichtige Voraussetzung für das Gelingen einer Zwischenfrucht ist die frühräumende Vorfrucht (z. B. Wintergerste). Nach einer späten Weizen-ernte wie 1996 ist eine Zwischenfruchtbestellung nach Weizen i. d. R. nicht möglich.

Wer es dennoch versucht, sollte im Frühjahr die Flächen unbedingt mit dem Spaten auf Strohmattentzen kontrollieren und ggf. einen Lockerungsgang einplanen, wenn es die Bodenfeuchte erlaubt.

Wintergerste dagegen lässt ausreichend Zeit für Grunddüngung, sorgfältige Stoppelbearbeitung und Zwischenfruchtbestellung. Insbesondere in trockenen Sommern kann das Hochpflügen von feuchtem Boden für den Aufgang von Phacelia oder Senf wichtig sein. Insgesamt sind die 700-800 mm Jahresniederschläge in dieser Region ausreichend für eine sichere Etablierung der Zwischenfrucht.

Nach dem Abfrieren über Winter liegen im Frühjahr auf Tonstandorten nach einer Mulchsaat ohne Saatbettbereitung immerhin Bedeckungsgrade von ca. 50 % vor, die das Problem der Bodenerosion sehr gut lösen. Auf schluffigen Böden fördert eine Mulchsaat mit Saatbettbereitung zwar die Erwärmung, mindert aber den Bodenschutz – der Standort mit seiner Hangcharakteristik wird hier den Ausschlag für die richtige Entscheidung geben.

Für eine pfluglose Zwischenfruchtbestellung ist der Senf besser geeignet. Er stellt etwas geringere Anforderungen an das Saatbett, fordert jedoch auch eine gleichmäßige Stroheinarbeitung. Zwischenfruchtrückstände in Verbindung mit Strohresten erreichen die höchsten Bedeckungsgrade von > 70 % und liefern damit den besten Bodenschutz gegenüber Bodenabtrag.

Kommt für Betriebe als Vorfrucht nur Winterroggen oder Winterweizen in Frage oder lassen in einer Region die geringen Niederschläge im Herbst und Winter den Anbau einer Zwischenfrucht nicht zu, können lediglich die Vorfruchtreste zum Oberflächenschutz genutzt werden (Abb. 55, rechter Pfad). Dies fordert die völlige Umstellung des Strohmanagements, so dass nicht ein beschleunigter, sondern ein verzögerter Strohabbau zu erfolgen hat. Das heißt, im Herbst sind auf Tonstandorten zwei, auf Lehmstandorten nur ein Arbeitsgang durchzuführen. Der Unterschied liegt im unterschiedlichen Zeitpunkt für die Grundbodenbearbeitung, die auf dem Lehm im Frühjahr erfolgen kann. Ein Schichtengrubber ermöglicht ein Lockern, ohne jedoch zu viel Stroh einzumischen. Die dann erreichten Bedeckungsgrade von 20-30 % stellen einen beginnenden Schutz dar.

Akzeptanz von Mulchsaatverfahren in der Praxis

Es gibt Regionen, in denen die Probleme von Bodenerosion häufig vorkommen und die Praxis gemeinsam mit Wissenschaft und Beratung Lösungskonzepte umsetzt. Dort ist inzwischen gute Akzeptanz gegeben. Dies gilt z. B. für die Verbreitung von Mulchsaatverfahren zu Zuckerrüben in der Vorharzregion und für den Maisanbau im Kraichgau. Dies sind Beispiele aus Regionen, die deutlich machen, dass hier vorsorgend und freiwillig Bodenschutz betrieben wird, so dass durch Erosion nur ein geringes Restrisiko verbleibt.

Oft hat in der Vergangenheit die Akzeptanz solcher Verfahren auch darunter gelitten, dass lediglich Kosten mit Erträgen verglichen wurden und die Gesamtbetrachtung mit Technikfolgeabschätzung in Form einer Kosten-Nutzen-Analyse unterblieb. In jedem Fall hat der verstärkte Druck, Kosten einzusparen, zu einer Ausdehnung des Strohmulchverfahrens bei Zuckerrüben geführt. Eine Umfrage unter Landwirten in Südniedersachsen zeigt, dass sowohl die Bestellung der Zuckerrüben als auch des nachfolgenden Weizens als Mulchsaat stark verbreitet ist (Abb. 56).

In einigen Bundesländern werden Wege aufgezeigt, die Akzeptanz in der Praxis durch eine Anschubfinanzierung von z. B. 150 DM/ha für Mulchsaat entscheidend zu verbessern. In Niedersachsen wird diese Finanzierung z.B. in Wasserschutzgebieten gewährt. Bodenschutz ist aber auch in anderen Regionen eine notwendige Maßnahme für eine umweltverträgliche Landbewirtschaftung.

Literatur

BRUNOTTE, J., C. H. ROTH, P. HOLLMANN UND C. SOMMER (1995): Einzelbetrieblicher Nutzen-Kosten-Vergleich von Erosionsschutz durch Mulchsaatverfahren. - Landbauforschung Völknerode 45 (3), S. 113-134 (Sonderdruck).

BRUNOTTE, J., M. JOSCHKO, H. ROGASIK UND C. SOMMER (1996): Dem Boden ins Maul geschaut -Konservierende Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben. - Zuckerrübe 45 (1), S. 20-24.

ROTH, C. H., J. BRUNOTTE UND C. SOMMER (1990): Die Bedeutung von Verschlammungen und Verdichtungen auf Lößböden. - Zuckerrübe 39 (1), S. 50-53.

SOMMER, C. (1990): Bodenphysik, Bodenschutz und Bodenbearbeitung. - In: Pflanzenproduktion im Wandel, S. 125-166. Verlagsgesellschaft Weinheim 3-527-26316-0.

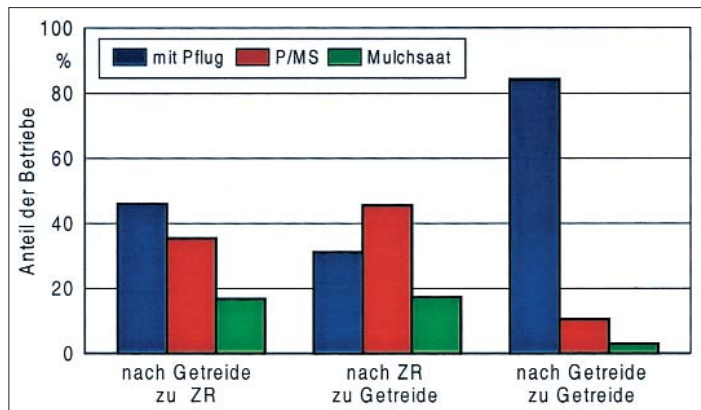


Abb. 56: Akzeptanz der Betriebe für Mulchsaatverfahren in einer Zuckerrüben-Getreide-Fruchtfolge

WESSOLEK, G., R. KÖNIG UND M. RENGER (1992): Entwicklung und Anwendung von Wasserhaushalts- und Photosynthesemodellen für Hangstandorte. - Bodenökologie u. Boden-genese (8), TU Berlin, 96 S.

4.3.4 Schutz vor Wassererosion in Nordrhein-Westfalen

J. Eisele

In erosionsgefährdeten Gebieten in Nordrhein-Westfalen, vor allem im niederbergischen rechtsrheinischen Hügelland, im Bereich des Haarstranges oder im Raum Ostwestfalen-Lippe werden seit fast 20 Jahren erosionsmindernde Verfahren durch die Landwirtschaftskammern und die Universitäten Bonn und Paderborn in Zusammenarbeit mit interessierten Landwirten erarbeitet. Die Mulchsaat von Zuckerrüben mit oder ohne Saatbettbereitung oder pfluglose Winterweizeneinsaat nach Zuckerrüben oder Winter-raps haben sich bewährt und sind inzwischen weit verbreitet. Darauf aufbauend wurde in NRW ein dreistufiges Konzept der Vorsorge zum Schutz vor Wassererosion entwickelt:

Ebene: Forschung

Aktuelle Forschungsvorhaben und Kooperationsprojekte zwischen Landwirtschaftskammern, der Universität Bonn, der Fachhochschule Soest und dem Landesumweltamt bilden die Grundlage für die Entwicklung von Maßnahmen und Strategien zur Erosionsminderung. Beispielhaft seien genannt

- ▶ Boden- und Stoffabtrag von ackerbaulich genutzten Flächen – Ausmaß und Minderungsstrategien mit den Teilprojekten
 - Verlagerung von PSM bei konservierender Bodenbearbeitung,
 - Wirkung von Filterstreifen,
 - konservierende Bodenbearbeitung,
 - Drainagetransport.

- ▶ Vorsorgender Hochwasserschutz durch pflanzenbauliche Maßnahmen

Ebene: Demonstrationsflächen, Leitbetriebe

Die Umsetzung erosionsmindernder Verfahren wird seit 1999 auf "Demonstrationsbetrieben Erosionsschutz" durch Landwirtschaftskammern durchgeführt. Im Vordergrund stehen die gesamtbetriebliche, auch ökonomische Bewertung und die Nutzung von Demonstrationsflächen in der Beratung. Ab Herbst 2000 wird das Projekt zu **Leitbetrieben integrierte Bodenbewirtschaftung** (gesamtbetriebliche Umsetzung bodenschonender Verfahren, Konsequenzen für Fruchtfolge, Arbeitswirtschaft, Betriebswirtschaft usw.) weiterentwickelt.

Ebene: Förderung erosionsmindernder Verfahren auf allen erosionsgefährdeten landwirtschaftlich genutzten Flächen

Ein Programm zur Förderung erosionsmindernder Verfahren im Ackerbau wird in Nordrhein-Westfalen im Rahmen der Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums erstmals seit dem 30. 6. 2000 angeboten.

Mit der ab 2000 angebotenen "Förderrichtlinie Erosionsschutz" sollen innerhalb einer Förderkategorie alle Betriebe, die sich zur Anwendung erosionsmindernder Anbauverfahren verpflichten, gefördert werden.

Die Betriebe verpflichten sich, für 5 Jahre ausschließlich folgende Kulturarten mit den entsprechenden Verfahren anzubauen:

- ▶ Rüben/Maisanbau mit Mulch- oder Direktsaat,
- ▶ Raps mit Direktsaat oder Strohmulchverfahren,
- ▶ Kartoffelanbau mit vorheriger und nachfolgender Zwischenfrucht (bei nachfolgender Sommerung),
- ▶ Getreideanbau mit Mulch- oder Direktsaat oder Untersaat,
- ▶ Anbau von Feldgras oder Klee-gras, oder
- ▶ Einsaat mehrjähriger Grasarten auf (Teil-) Ackerschlägen für mind. 5 Jahre.

Über die Beratung werden beispielhafte, typische Fruchtfolgen unter Einbeziehung der angebotenen Maßnahmen vermittelt (Abb 57).

In die Förderkategorie wurden auf der Grundlage der Karte "Erosionsgefährdung 1:50.000" Gemeinden aufgenommen, in denen mehr als 20% der landwirtschaftlichen Nutzfläche in der höchsten Erosionsgefährdungskategorie bzw. über 40% in den

Fruchtfolge: Winterraps - Winterweizen - Wintergerste

Verpflichtungszeitraum	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Maßnahme
1	WG	Winterraps											Direktsaat/Strohmulch Winterraps
2	W. Ra	Winterweizen											Mulchsaat/Direktsaat Winterweizen
3	WW	Wintergerste											Mulchsaat/Direktsaat WG oder Untersaat in WG
4	WG	Winterraps											Direktsaat/Strohmulch Winterraps
5	W. Ra	Winterweizen											Mulchsaat/Direktsaat Winterweizen

Fruchtfolge: Körnermais - Winterweizen - Wintergerste

Verpflichtungszeitraum	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Maßnahme	
1	WG	ZF - Senf										Körnermais	Mulchsaat/Direktsaat Mais	
2	Körnermais			Winterweizen										Mulchsaat/Direktsaat Winterweizen
3	WW	Wintergerste											Mulchsaat/Direktsaat WG oder Untersaat in WG	
4	WG	ZF - Senf										Körnermais	Mulchsaat/Direktsaat Mais	
5	Körnermais			Winterweizen										Mulchsaat/Direktsaat Winterweizen

Anmerkung: Grasuntersaaten problematisch für Mulchsaat Mais (Pflug zur Senf-ZF)

Fruchtfolge: Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste

Verpflichtungszeitraum	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Maßnahme	
1	WG	ZF - Senf, resistent								Zuckerrübe				Mulchsaat/Direktsaat Zuckerrübe
2	Zuckerrübe			Winterweizen										Mulchsaat/Direktsaat Winterweizen
3	WW	Wintergerste											Mulchsaat/Direktsaat WG oder Untersaat in WG	
4	WG	ZF - Senf, resistent								Zuckerrübe				Mulchsaat/Direktsaat Zuckerrübe
5	Zuckerrübe			Winterweizen										Mulchsaat/Direktsaat Winterweizen

Anmerkung: Grasuntersaaten problematisch für Mulchsaat Zuckerrübe (Pflug zur Senf-ZF)

Abb. 57: Beispielfruchtfolgen mit Integration erosionsvermindernder Maßnahmen

beiden höchsten Erosionsgefährdungsklassen liegen. Darüber hinaus können Flächen gefördert werden, die durch die unteren Bodenschutzbehörden auf Antrag als erosionsgefährdet eingestuft werden.

Datengrundlagen für die Beratung

In NRW existiert ein Bodeninformationssystem (BIS), zu dem gemäß § 6 Abs. 2 des Landesbodenschutzgesetzes auch das "Fachinformationssystem Bodenkunde" beim Geologischen Landesamt gehört. Darin werden digitale Bodenkarten geführt (u. a. die Bodenkarte 1:50 000 (BK 50), die flächendeckend für NRW digital vorliegt). Darauf aufbauend werden Auswertungskarten erstellt, deren Methoden mit den betroffenen Fachbehörden des Landes abgestimmt worden sind. Dazu gehören

- ▶ die Karte der Erosions- und Verschlammungsgefährdung (Bodenkarte, Niederschlagsdaten, digitales Höhenmodell) sowie
- ▶ die Karte der mechanischen Belastbarkeit (Verdichtungsgefährdung).

Beide sollen als Beratungsgrundlagen zur "guten fachlichen Praxis" im Hinblick auf die Eingrenzung von Problemgebieten dienen. Die Auswertungen stehen den zuständigen Behörden als CDROM zur Verfügung.

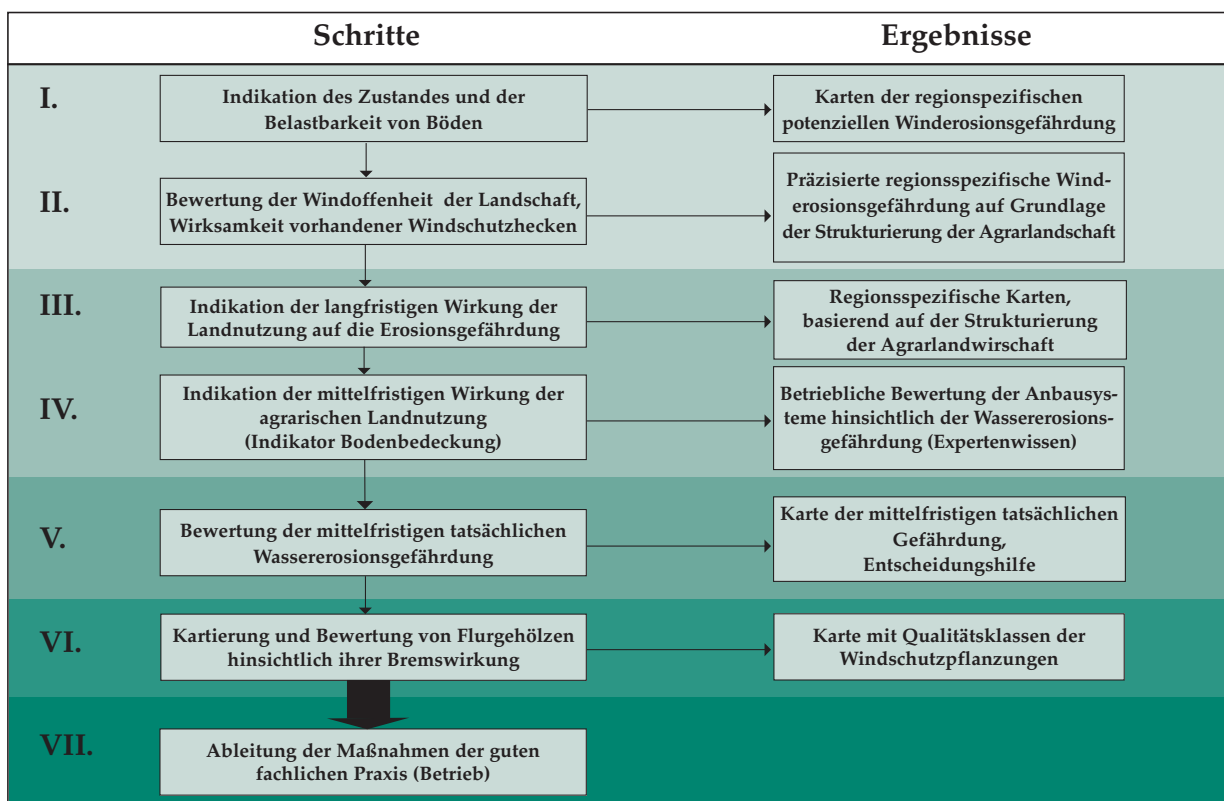
4.3.5 Schutz vor Winderosion in Brandenburg

R. Funk, B. Winnige und Mo. Frielinghaus

Problemstellung

Die Winderosion stellt im Raum Neutrebbin ein ernsthaftes Problem dar. Das Gebiet liegt im Übergangsbereich zwischen den Alluvialböden des Oderbruches und sandigen Substraten im Vorfeld der Grundmoränen. Bei ausreichender Wasserversorgung haben diese Standorte ein gutes Ertragspotential, so dass hier intensiver Ackerbau betrieben wird. Es kommt jedoch besonders in den Frühjahrsmonaten immer wieder zu Winderosionsereignissen, welche die auflaufenden Saaten schädigen, Sandablagerungen auf Straßen und in Gräben hinterlassen und die Anwohner mit Staub belästigen. Da durch Winderosion vor allem die feineren und damit wertvolleren Bestandteile eines Bodens ausgeblasen werden, erfolgt eine schleichende Abnahme der Bodenfruchtbarkeit. Neben dem Verlust an Nährstoffen sind auch Pflanzenschutzmittel bei Vor- und Nachsaat-Applikation von Auswehung betroffen, da sie bevorzugt an die feineren Bestandteile gebunden sind. Somit sind auch Stoffeinträge unerwünschter Qualität und Quantität in den benachbarten Naturpark "Märkische Schweiz" nicht ausgeschlossen.

Aus diesem Grund bestand für die Agrarbetriebe und die Planungsbehörden Handlungsbedarf. Das ZALF Müncheberg entwickelte ein Konzept zur erosionsmindernden Bewirtschaftung und Flurgestaltung. Folgende Schritte wurden erarbeitet:



I. Indikation des Zustandes und der Belastbarkeit von Böden

Grundlage:

Die Bewertung der potenziellen Winderosionsgefährdung erfolgt auf der Basis einer Matrix, in der Substratflächentyp und Hydromorphieflächentyp der MMK verknüpft und Gefährdungsklassen bestimmt werden (Tab. 17).

Für das Gebiet Neutrebbin ergibt sich danach die in Abb. 58 dargestellte Verteilung der winderosionsgefährdeten Flächen:

II. Bewertung der Windoffenheit der Landschaft und der Wirksamkeit vorhandener Windschutzhecken

Grundlage:

Die Bewertung der Windoffenheit und der Wirksamkeit vorhandener Windschutzpflanzungen basiert auf den Angaben der Biotoptypen- und Landnutzungskartierung für das Land Brandenburg (1994). Hierin sind alle flächen- und linienhaften Landschaftselemente aufgeführt und ihre Eigenschaften nach einem Schlüssel beschrieben. Jedem Element wurde entsprechend seiner Beschreibung in der Kartierung eine Höhe zugeordnet (Tab. 18).

Substratflächentyp	Hydromorphieflächentyp		
	Vorwiegend Sickerwasser	Vorwiegend Staunässe o. Grundwasser	vorwiegend Grundwasser o. extreme Staunässe
vorwiegend Sand, Decklehmsand o. Sandlöß	stark (3)	mittel (2)	ohne (0)
Tieflehm, Torf über Sand	mittel (2)	mittel (2)	ohne (0)
Lehm, Lehmsand, Auenlehm	gering (1)	gering (1)	ohne (0)
Grünland	ohne (0)	ohne (0)	ohne (0)

Tab. 17: Matrix zur Bestimmung der potenziellen Winderosionsgefährdung aus Substrat- und Hydromorphieflächentypen (LIEBEROTH et al. 1983)

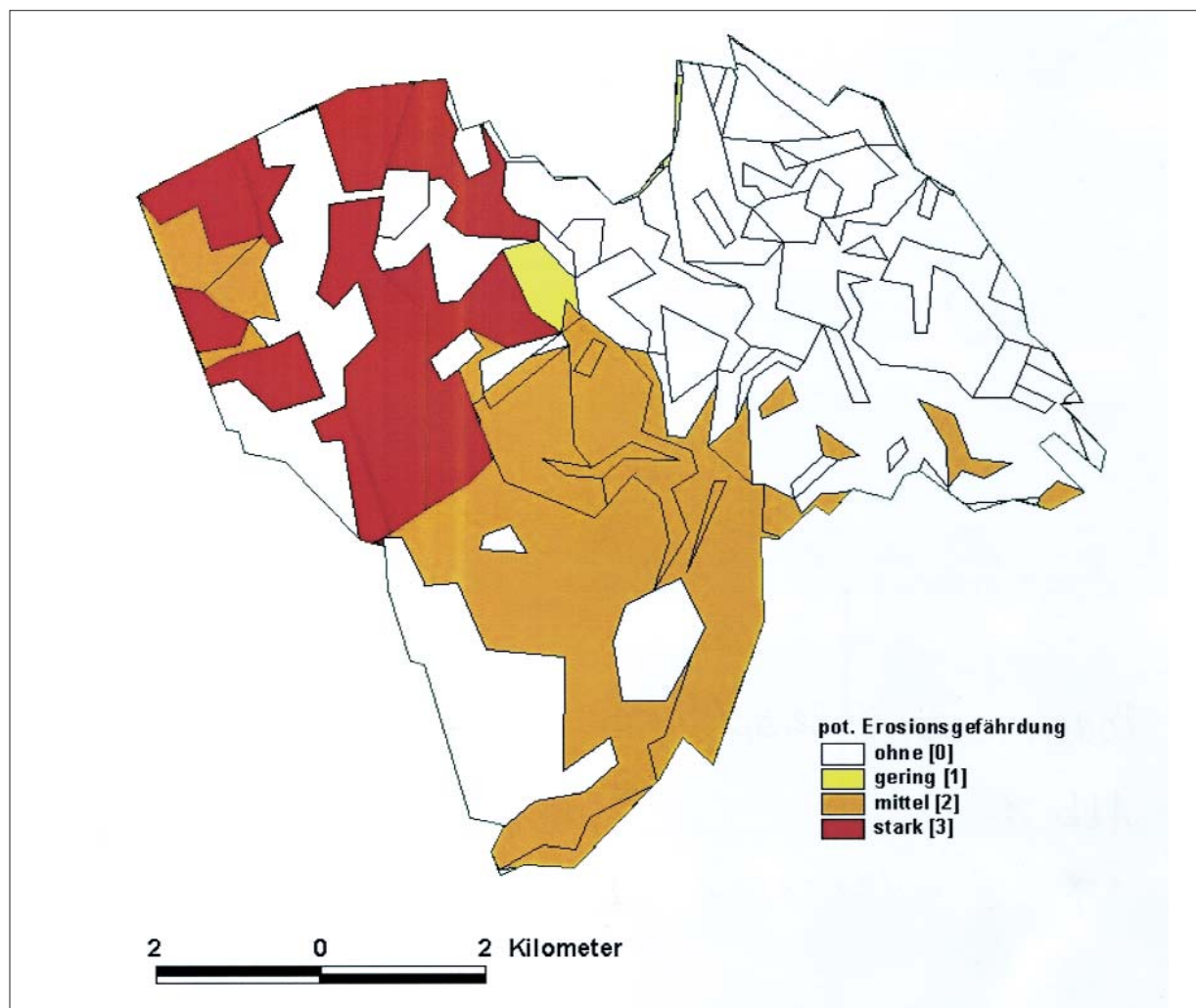


Abb. 58: Potenzielle Winderosionsgefährdung im Gebiet Neutrebbin

Code	Bezeichnung	Höhen der Elemente
01	Fließgewässer	1 m
02	Stillgewässer	
04	Moore und Sümpfe	1 m
05	Gras- und Staudenfluren	1 m
06	Zwergstrauchheiden und Nadelgebüsch	1...5 m
07	Laubgebüsch, Feldgehölze, Alleen, Baumreihen	1...20 m
08	Wälder und Forsten	5...20 m
09	Äcker	
10	Grün- und Freiflächen	2...10 m
11	Sonderbiotope	1...5 m
12	Siedlungen, Verkehrsanlagen	1...10 m

Tab. 18: Haupteinheiten der Biotoptypen- und Landnutzungskartierung mit zugeordneten Höhenwerten der Flurelemente

Die Schutzwirkung einer Hecke ergibt sich aus ihrer Höhe und ihrer Ausrichtung zu den vorherrschenden Winden, die stark genug sind, um Erosion auszulösen. Da der Schwellenwert für die Winderosion auf Sandböden bei ca. 8 m/s liegt, wurden die Häufigkeiten von Windgeschwindigkeiten über diesem Wert für acht Richtungen bestimmt (N, NO, O, usw.). Es wird deutlich, dass westliche Winde am häufigsten vorkommen, aber dass auch ein grosser Anteil östlicher Winde Erosion verursachen kann (Abb. 59).

Für jede Windrichtung wurde der Schutzbereich vor und hinter jedem Landschaftselement

berechnet und dargestellt. Dabei gilt vor jedem Element ein Schutzbereich, der dem 5-fachen der Höhe, und hinter jedem Element ein Schutzbereich, der dem 25-fachen der Höhe entspricht (Abb. 60). Der Einfluss der einzelnen Windrichtung ergibt sich aus der Relation der Häufigkeit dieser Richtung zu allen Winden über 8 m/s. Die Wirksamkeit einer Hecke kann somit aus ihrer Höhe und ihrer Ausrichtung zu den vorherrschenden Windrichtungen bewertet werden. Die Schutzwirkung wurde in 5 Klassen eingeteilt: *sehr gering*(1), *gering*(2), *mäßig*(3), *gut*(4) bis *sehr gut*(5) (Abb. 60).

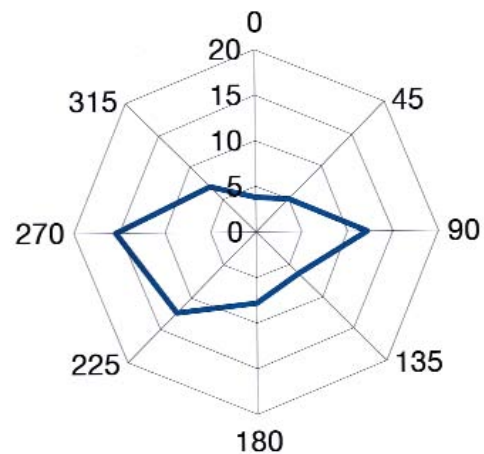
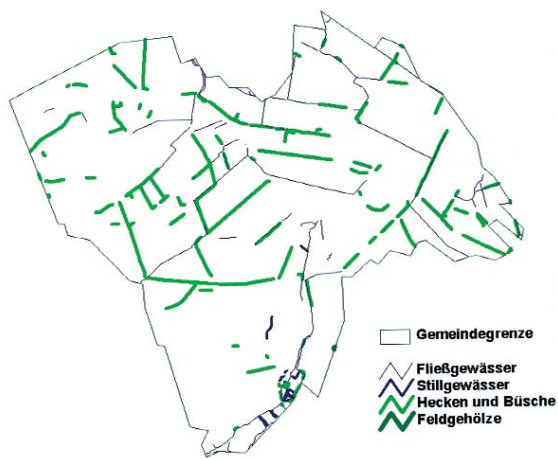


Abb. 59: Strukturelemente innerhalb der Ackerflächen im Gebiet Neutrebbin und relative Häufigkeit von Wind > 8 m/s in Brandenburg



Abb. 60: Schema der Einteilung von Schutzbereichen vor und hinter Windschutzhecken oder anderen Landschaftselementen

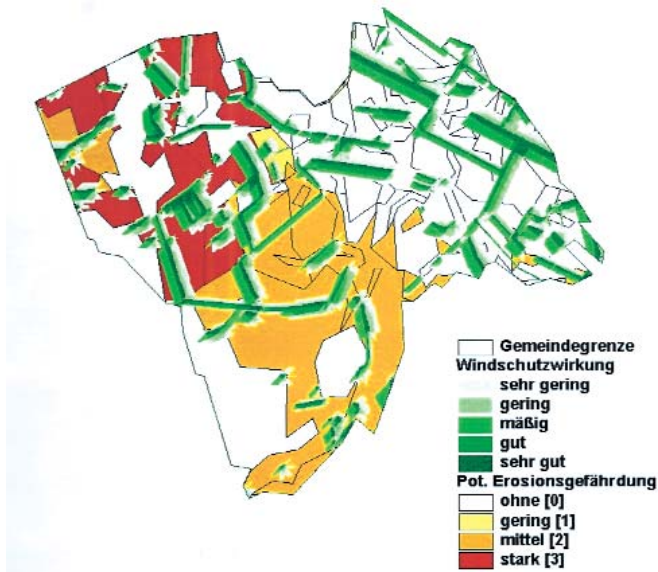


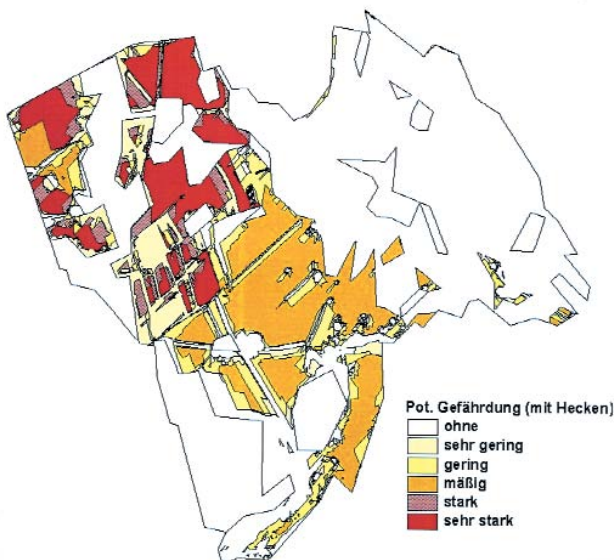
Abb. 61: Schutzbereiche der Windschutzhecken (der potenziellen Winderosionsgefährdung überlagert)

In Abbildung 61 sind beispielsweise die Schutzbereiche aller Landschaftselemente für alle acht Windrichtungen zusammen mit der in Schritt I ermittelten potenziellen Gefährdung im Untersuchungsgebiet dargestellt. Es zeigt sich, dass besonders in den von den Bodeneigenschaften her anfälligen Bereichen die Ausstattung mit Schutzhecken zu gering ist. Bei vielen Hecken in diesem Bereich ist zusätzlich die Wirksamkeit eingeschränkt, weil ihre Ausrichtung zur Hauptwindrichtung ungünstig ist (Tab.19).

Schutzgruppen (Abb. 60)

Pot. WEG	1	2	3	4	5
Stark	3	3	2	2	1
Mäßig	2	1	1	0	0
Gering	1	1	0	0	0
keine	0	0	0	0	0

Tab. 19: Verknüpfungsmatrix zwischen potenzieller Winderosionsgefährdung (WEG) nach MMK und Schutzwirkung der Landschaftselemente, eingeteilt in Schutzgruppen



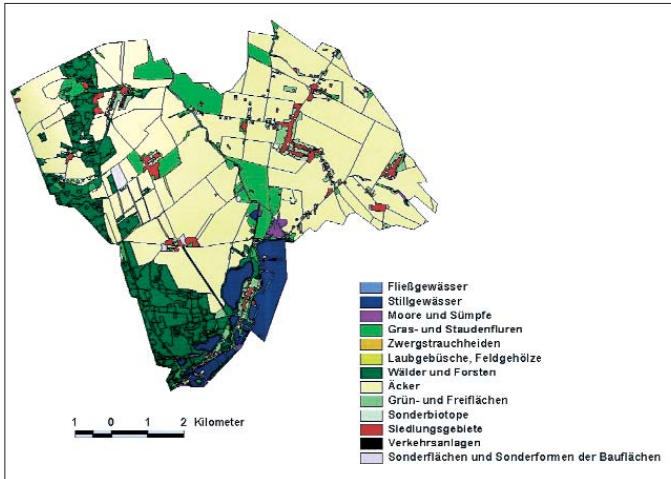
Zum Abschluss erfolgt eine erneute Klassifizierung der Winderosionsgefährdung, die sowohl die substratabhängige Erodierbarkeit der Böden als auch die Strukturierung der Landschaft mit einschließt. Die Auflösung dieser Bewertung liegt bei 10 x 10 m, so dass eine sehr fein strukturierte Ermittlung der Winderosionsgefährdung möglich ist. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die potenzielle Erodierbarkeit anstatt mit der MMK aus Daten der Bodenschätzung abgeleitet wird (Abb. 62).

Abb. 62: Potenzielle Winderosionsgefährdung mit Einbezug der Windschutzhecken (siehe zum Vergleich Abb.58)

III. Indikation der langfristigen Wirkung der Landnutzung auf die Erosionsgefährdung

Grundlage:

Ermittlung der Wald-, Grünland- und Ackerlandverteilung unter Nutzung von Satelliten-, Luftbildern, Topographischen Karten oder Biotop- und Nutzungstypenkarten (Abb. 63).



Quelle: Biotypen- und Landnutzungskartierung Brandenburg

Abb. 63: Landnutzung im Bereich der Gemeinde Neutrebbin

IV. Indikation der mittelfristigen Wirkung der agrarischen Landnutzung

Grundlage:

Reicht die Schutzwirkung des Heckensystems nicht aus, kommt der Art der ackerbaulichen Nutzung eine besondere Bedeutung zu. Als problematische Fruchtarten hinsichtlich der Winderosion gelten Mais, Zuckerrüben und andere einjährige Kulturen (Sonnenblumen, Lein...). Bei ihnen fällt das Offensein der Bodenoberfläche, oft auch noch im Zustand eines fein strukturierten Saatbetts, in die Zeit der höchsten Windgeschwindigkeiten. Zur Bewertung der Schutzwirkung von Fruchtarten kann das gleiche Schema wie bei der Wassererosion genutzt werden (Länderbeispiel Wassererosion Mecklenburg-Vorpommern, Kap. 4.3.2).

V. Bewertung der mittelfristigen tatsächlichen Winderosionsgefährdung

Grundlage:

Die tatsächliche Erosionsgefährdung ergibt sich aus der Frühjahrssituation. Aus der komplexen Beurteilung von potenzieller Erosionsgefährdung, den geschützten Flächenanteilen hinter Hecken und der Fruchtartenbewertung des jeweiligen Jahres können die Schwerpunkte für eine notwendige Bewirtschaftungsänderung abgeleitet werden (Abb. 64).

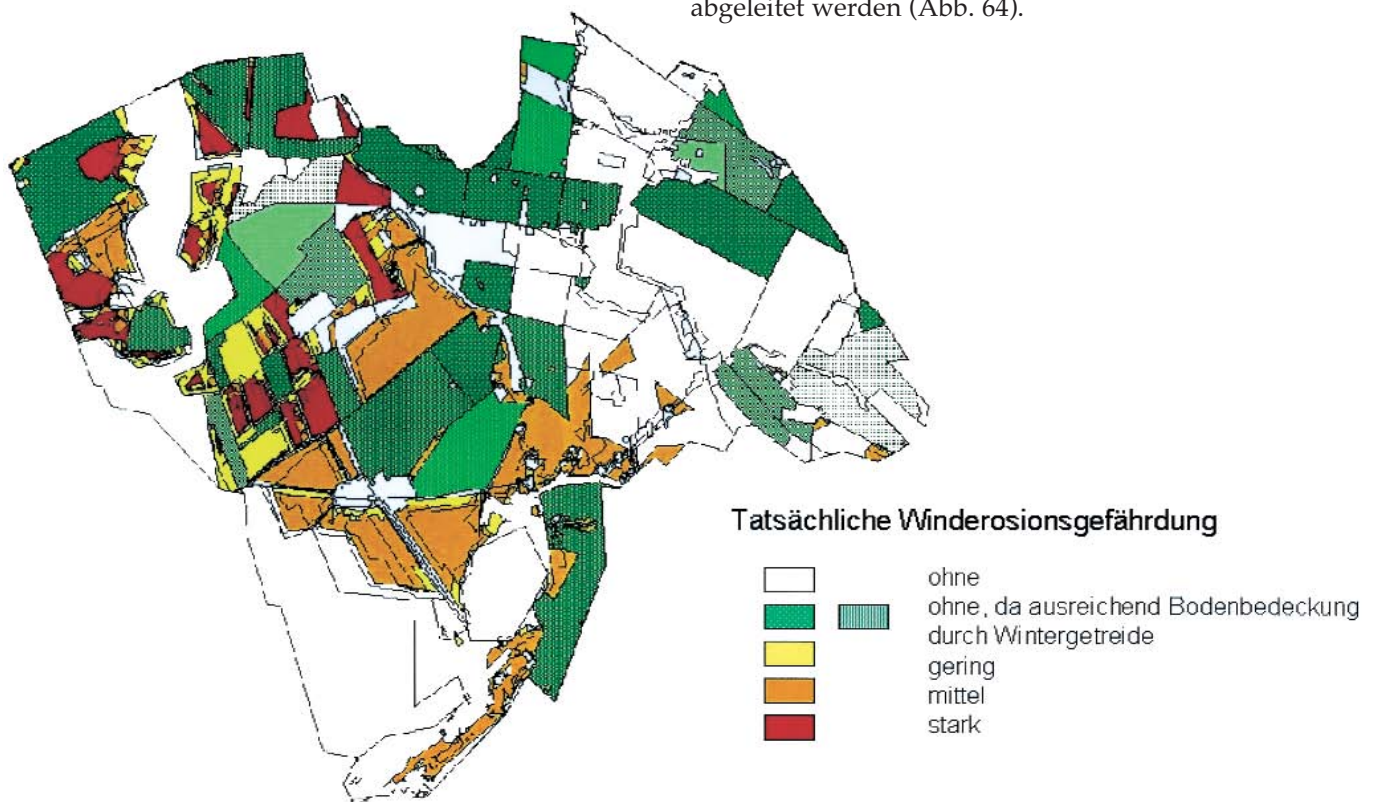


Abb. 64: Tatsächliche Winderosionsgefährdung im Gebiet Neutrebbin im April 1999

Bestand	Lückigkeit vertikal	Lückigkeit horizontal	Lage zur Hauptwindrichtung	Merkmale
				Anlagentyp
4				einreihig (Bäume)
5				zweireihig (2 Baumreihen)
6				zweireihig (Überhälter-Büsche)
7				dreireihig (Überhälter-hohe Büsche-Mantelzone)
8				mehreihig
				Lückigkeit vertikal
	1			durchgehend lückig (gleichmäßiger Bestand mit geringer Dichte)
	2			Stammbereich lückig, Krone dicht
	3			vereinzelt lückig im Stamm- bzw. Kronenbereich
	4			von unten nach oben abnehmende Dichte
				Lückigkeit horizontal
		1		stark lückig (>50% der Gesamtlänge des Flurgehölzes)
		2		lückig (10% bis 50% der Gesamtlänge des Flurgehölzes)
		3		vereinzelt Lücken (bis ca. 10% der Gesamtlänge)
		4		keine Lücken
				Lage zur Hauptwindrichtung
			1	parallel
			2	schräg
			3	quer

Tab. 20: Auszug aus dem Kartierschlüssel zur Bewertung der Funktionalität von Windschutzhecken

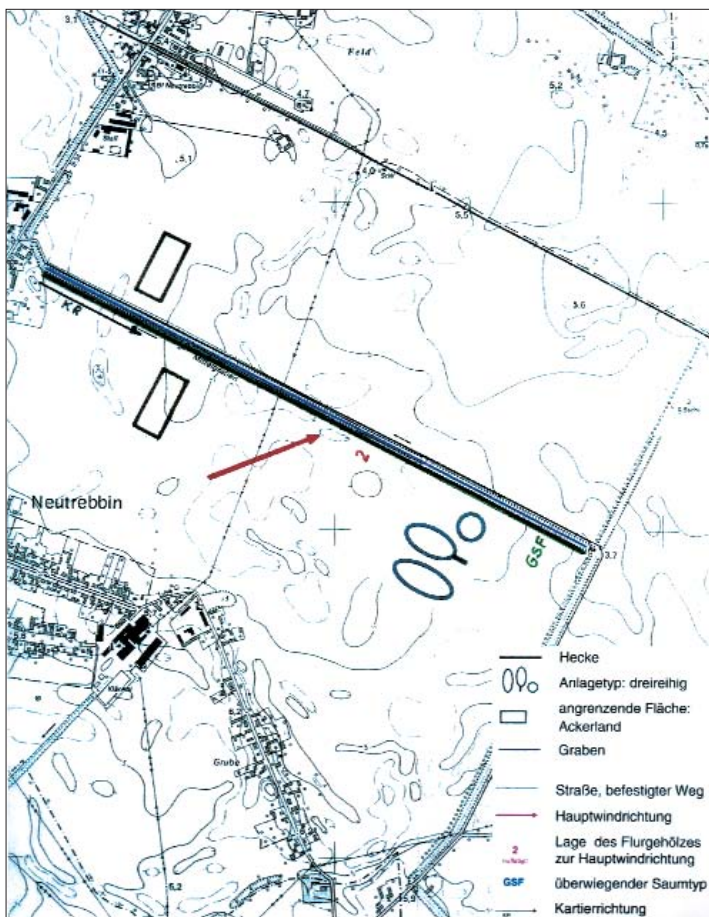


Abb. 65: Ergebnisse der Flurgehölzkartierung (Auszug aus dem Einzugsgebiet "Batzlower Mühlenfließ")

VI. Kartierung und Bewertung von Flurgehölzen hinsichtlich ihrer Bremswirkung

Grundlage:

Flurgehölzkartierung

Die Kartierung des Aufbaus und des Zustandes der vorhandenen Flurgehölze erfolgt

1. durch die Erfassung von allgemeinen Angaben zum Flurgehölz (z. B. Lage, Länge, Breite der Anpflanzung, durchschnittliche Höhe der Bäume und Sträucher) und
2. durch die Einschätzung der Windschutzwirkung jedes Teilabschnittes (Unterteilung der Hecke in 50 m lange Abschnitte).

Die Bewertung erfolgt nach dem vorhandenen Bestimmungsschlüssel der Biotoptypen- und Landnutzungskartierung Brandenburgs (Biotopklasse: Laubgebüsche, Feldgehölze, Alleen, Baumreihen; Biotopgruppe: Hecken), der durch zusätzliche Parameter, die speziell die Windschutzwirkung charakterisieren (Lückigkeit vertikal und horizontal, Lage des Flurgehölzes zur Hauptwindrichtung), ergänzt wurde (Tab. 20).

Im Ergebnis werden thematische Karten unter Nutzung der in der Kartieranleitung vorgegebenen Symbole für die einzelnen Anlagentypen erarbeitet. So erhält man einen Überblick über die Art (Anlagentyp) und räumliche Verteilung der vorhandenen Flurgehölze (Abb. 65).

VII. Ableitung von Maßnahmen der guten fachlichen Praxis

Änderung der Landnutzung

Falls sich ein Anbau erosionsfördernder Fruchtarten nicht vermeiden lässt, muss mit ackerbaulichen Maßnahmen darauf reagiert werden. Die

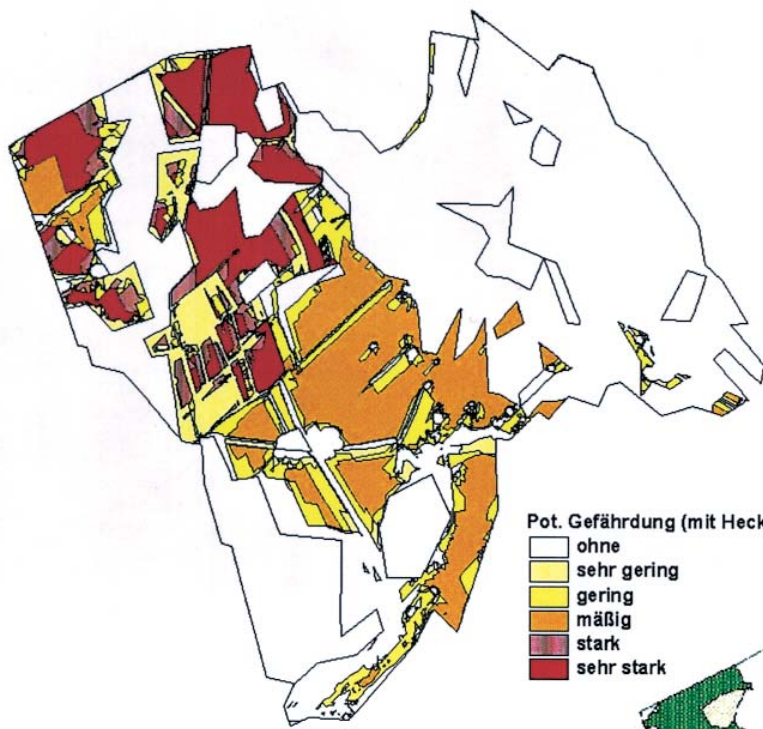
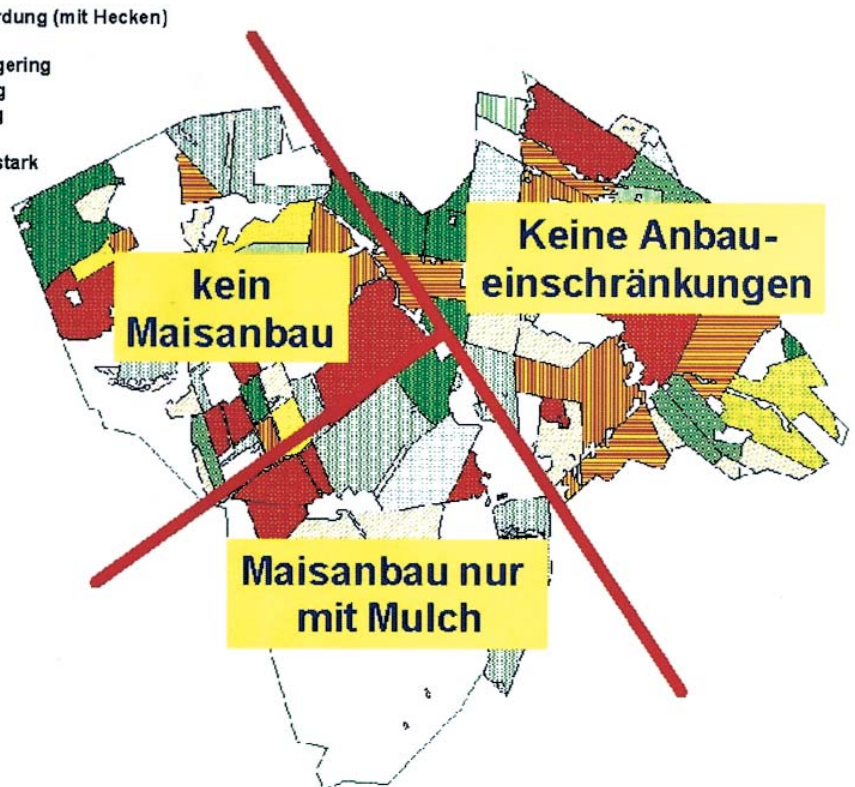


Abb. 66: Ableitung von Landnutzungsempfehlungen aus der präzisierten Winderosionsgefährdung



Bodenbedeckung mit Pflanzen oder deren Rückständen stellt dabei die effektivste Maßnahme dar, um kurzfristig erfolgreichen Schutz vor der Winderosion zu bieten. So wurden verschiedene Verfahren der Mulchsaat von Mais in abgestorbene Zwischenfrüchte erprobt. Weitere Möglichkeiten bestehen in einer Verkleinerung der Schläge mit verändertem Anbauverhältnis, d.h. einer Mischung der Kulturen. Bei speziellen Fruchtarten, wie z. B. Möhren, wird der streifenweise Anbau mit Winterroggen vorgeschlagen. Alle Maßnahmen tragen erfolgreich zur Verminderung der Winderosion im Gebiet um Neutrebbin bei (Abb. 66).

Neue Anpflanzungen von Flurgehölzen:

Nach Bewertung aller vorhandenen Flurgehölze wurden Empfehlungen für Neuanpflanzungen erarbeitet, die sowohl die substratabhängige Erodierbarkeit als auch die erosionswirksamen Feldlängen berücksichtigen. So sollen vorrangig im

Zentrum des Gebietes Windschutzpflanzungen quer zur Hauptwindrichtung in Nord-Süd-Richtung erfolgen. Von den Vorschlägen konnten bisher zwei Anpflanzungen realisiert werden, eine im Jahr 1990 und eine in 1998. Bis zu ihrer vollen Wirksamkeit werden noch einige Jahre vergehen, so dass bis dahin auf ackerbauliche Maßnahmen zur Einschränkung der Winderosionsgefährdung besonderes Augenmerk zu richten ist. Auch in Zukunft wird auf eine Kombination von flurgehalterischen und ackerbaulichen Maßnahmen geachtet werden müssen (Abb. 67).



Abb. 67: Vorgeschlagene und realisierte Windschutzpflanzungen im Zentrum des Gebietes um Neutribbin (orange – vorhandene Hecken, rot – bereits nachgepflanzte Hecken, blau – noch offene Vorschläge)

Literatur

- FRIELINGHAUS, M. ET AL. (1997): Merkblätter zur Bodenerosion in Brandenburg. ZALF Bericht Nr.27, Müncheberg. (s. a. http://www.zalf.de/bfd/fr_merkbl.htm)
- FRIELINGHAUS, M.; DEUMLICH, D.; FUNK, R.; HELMING K., WINNIGE, B. U.A. (1999): Bodenerosion. Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Hrsg. Geologisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin. 80 S.
- FUNK, R., M. FRIELINGHAUS, J. THIÈRE (1996): Risikoabschätzung der Winderosion für das Land Mecklenburg-Vorpommern als Grundlage für Schutzstrategien. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 79, 379-382.
- FUNK, R. ; D. DEUMLICH & J. STEIDL (2001): GIS application to estimate the wind erosion risk in the Federal State of Brandenburg. Proceedings of the International Symposium "Soil Erosion Research for the 21th Century", January 3-5, 2001, Honolulu, Hawaii, 400 – 403.

4.3.6 Schutz vor Bodenerosion in Sachsen

W.-A. Schmidt

Erosionssituation

In Sachsen besteht wegen den dort vorherrschenden schluffreichen, oftmals stärker geneigten Ackerböden aus Löß für rund 450 000 ha Ackerfläche (entsprechend rund 60 % der gesamten Ackerfläche) die Gefahr von Wassererosion. Von den diluvialen, feinsandreichen, weitgehend ebenen Flächen in den nördlichen Landesteilen Sachsens sind rund 150 000 ha Ackerfläche (entsprechend ca. 20 % der Ackerflächen) potenziell durch Winderosion gefährdet. Mitverantwortlich für diese Erosionsdisposition ist die überwiegend ackerbauliche Nutzung der LF in Sachsen (Anteil AL an LF: 79 %).

Wassererosion wird in Sachsen vorrangig von Starkregen im Früh- und Spätsommer ausgelöst. Daher tritt sie nicht nur bei Mais und Zuckerrüben, sondern in erheblichem Umfang vor allem auch bei Winterraps, Wintergetreide sowie bei Zwischenfrüchten direkt nach der konventionellen Bestellung auf. Vorsorgender Schutz vor Erosion ist deshalb bei allen Fruchtarten dringend erforderlich.

Vorsorgender Bodenschutz durch konservierende Bodenbearbeitung und Mulchsaat

Auch zukünftig wird in Sachsen die ackerbauliche Nutzung überwiegen. Deshalb muss hier ein

wirksamer Bodenschutz ansetzen. Aus diesem Grund steht die umfassend und konsequent im Fruchtfolgeverlauf praktizierte konservierende Bodenbearbeitung in Verbindung mit Strohdüngung, Zwischenfruchtanbau und Mulchsaat im Mittelpunkt der Fachberatung. Diese Maßnahmen reduzieren bzw. verhindern sehr wirksam, nachgewiesen für die verschiedenen Standorte Sachsens, bereits auf der Ackerfläche die Bodenerosion durch Wasser und durch Wind. Zur Vermeidung hangabwärtsgerichteter Fahrspuren müssen, z. B. bei der Wassererosion, diese flächenhaft wirksamen und damit besonders effizienten acker- und pflanzenbaulichen Schutzmaßnahmen möglichst mit einer Feldbestellung quer zum Hang kombiniert werden.

Fachberatung zu erosionsmindernden Anbauverfahren

Die dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat im Fruchtfolgeverlauf macht eine intensive acker- und pflanzenbauliche Fachberatung der Landwirte dringend erforderlich. Zur Unterstützung der hier tätigen Ämter für Landwirtschaft werden durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in den verschiedenen Anbauregionen Sachsens Untersuchungen zur konservierenden Bodenbearbeitung und Mulchsaat durchgeführt bzw. entsprechende Anbauverfahren demonstriert. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit Landwirtschaftsbetrieben, die bereits mehrjährig umfassend konservierende Bodenbearbeitung praktizieren. Durch die Nutzung der Multiplikatorenfunktion dieser

Betriebe wird eine hohe Akzeptanz bei Landwirten für die neuartigen bodenschonenden Anbauverfahren im Sinne ihrer Überleitung in die landwirtschaftliche Praxis angestrebt.

Untersuchungsschwerpunkte der LfL bilden z. B. die Unkraut- bzw. Durchwuchsbekämpfung, die Krankheitsvorsorge bzw. -bekämpfung und die Schädlingsbekämpfung (Mäuse, Schnecken). Im Rahmen von Feldversuchen werden hierzu für die Landwirte Anbauempfehlungen bzw. -strategien erarbeitet. Dies gilt z. B. für acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen gegen den Fusariumbefall beim pfluglosen Anbau von Winterweizen nach Silo- bzw. Körnermais.

Durch die LfL werden zudem die Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungsgeräte auf den Feldaufgang (z. B. bei Ausfallweizen) und den Strohbedeckungsgrad untersucht. Denn Informationen zum Mulchbedeckungsgrad nach Einsatz unterschiedlicher Bodenbearbeitungsgeräte sind, unter dem Gesichtspunkt der Erosionsminderung, wichtige Entscheidungsgrundlagen für den Landwirt bei der Geräteauswahl bzw. dem Geräteeinsatz. Belegt durch fortlaufend durchgeführte Untersuchungen, wird auf den entscheidenden Zusammenhang zwischen Bodenbearbeitungsverfahren, Aggregatstabilität, Mulchbedeckung und Humusgehalt einerseits und Wasserinfiltration bzw. Oberflächenabfluss und Bodenabtrag andererseits hingewiesen.

Im Sinne der umfassenden Anwendung von erosionsmindernden Anbauverfahren werden in Sachsen im Rahmen des Förderprogrammes "Umweltgerechte Landwirtschaft" Zwischenfruchtanbau, Mulchsaaten sowie Untersaaten gezielt gefördert. Mit dem Programm wird ein Anreiz gegeben, neuartige bodenschonende und -erhaltende Anbauverfahren zu erproben und diese mittel- bis langfristig möglichst dauerhaft anzuwenden. 1999 wurden in diesem Rahmen knapp 11 % der Ackerfläche (~ 80 000 ha) als Mulchsaatfläche gefördert. Schätzungsweise werden gegenwärtig annähernd 30 % der Ackerflächen Sachsens konservierend bestellt. Dabei wird i. d. R. zu einzelnen Fruchtarten, und damit auf wechselnden Ackerflächen, auf den Pflug verzichtet. Eine dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat im gesamten Fruchtfolgeverlauf wird in Sachsen in einzelnen Betrieben bereits mehrjährig erfolgreich auf z. T. großen Flächeneinheiten (z. B. 3 000 ha Ackerfläche/Betrieb) praktiziert.

Erosionssimulationsmodell EROSION 2D/3D

Zur Beratung wird in Sachsen das physikalische begründete, ereignisbezogene Wassererosionssimulationsmodell EROSION 2D/3D (SCHMIDT et al. 1997) zur Simulation der Erosion auf Ackerflächen einschließlich des Austrages von der

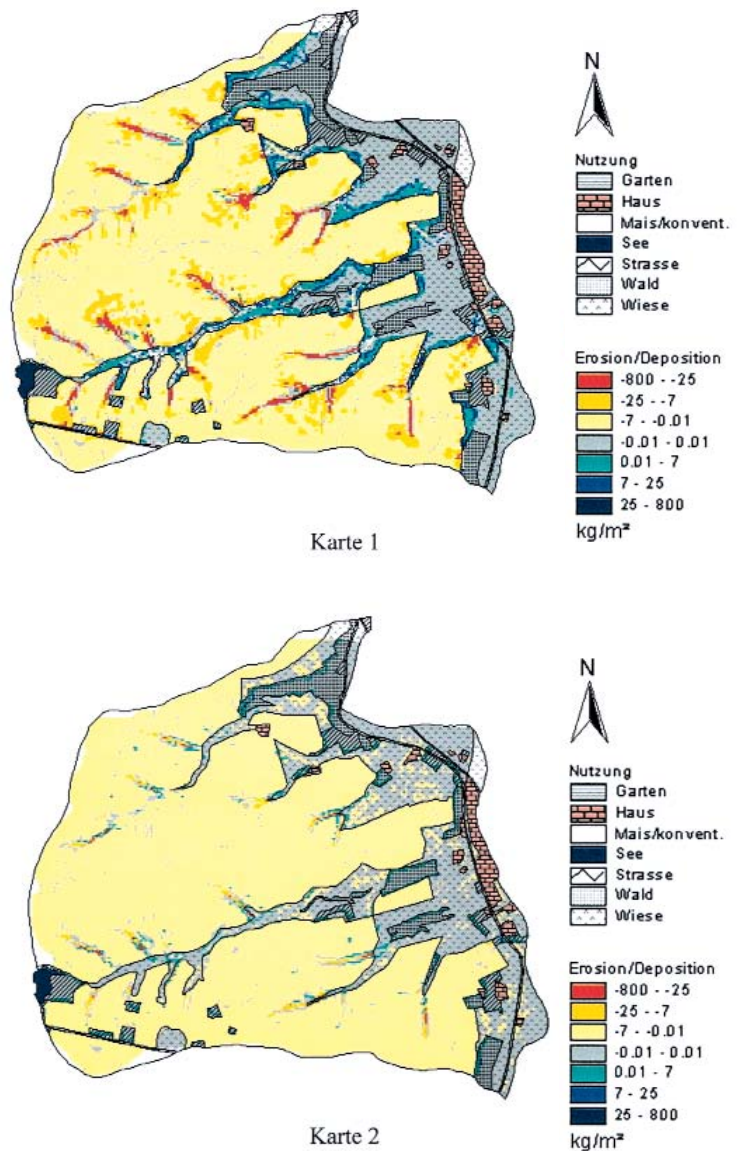


Abb. 68: Ergebniskarten der EROSION 3D Simulation für ein 4,1 km² großes, landwirtschaftlich genutztes Einzugsgebiet im Sächsischen Lößhügelland unter Annahme eines Starkregens mit 10jähriger Wiederkehrzeit, flächendeckendem Maisanbau bei konventioneller Bodenbearbeitung (Saatbettbedingungen) und hoher Anfangsbodenfeuchte (Feldkapazität) (s. Karte 1) bzw. konservierender Bodenbearbeitung (Saatbettbedingungen) mit einer Mulchbedeckung von 30 % und hoher Anfangsbodenfeuchte (Feldkapazität) (s. Karte 2)

Fläche eingesetzt. Es existieren zwei Varianten des Modells: EROSION 2D für Einzelhänge und EROSION 3D für Einzugsgebiete. Mit Hilfe von EROSION 2D können im Rahmen der Fachberatung schlag-, fruchtarten- und ereignisspezifisch Bestellverfahren in ihrer erosionsmindernden Wirkung abgeschätzt, tabellarisch und graphisch dargestellt und Empfehlungen erarbeitet werden. Mit EROSION 3D ist die flächenhafte Erosionsabschätzung sowie deren kartographische Darstellung für Einzugsgebiete möglich. Hierbei werden die abzuschätzenden Flächen in sich gegenseitig beeinflussende Rasterelemente unterteilt (z. B. 10 x 10 m). Für diese Teilflächen werden die Bodenverlagerungsprozesse in Abhängigkeit

eines Regenereignisses ermittelt und graphisch umgesetzt. Auf der Ausgabeseite liefert EROSION 3D farbige Rasterkarten (Abb. 68).

Vorsorgender Bodenschutz vor Erosion durch Flurneuordnung

Im Sinne einer umfassenden Wassererosionsvorsorge müssen im Einzelfall die vorrangig anzuwendenden acker- und pflanzenbaulichen Schutzmaßnahmen (konservierende Bodenbearbeitung, Mulchsaat) durch Maßnahmen der Flurneuordnung (z. B. Schlaggliederung bzw. -unterteilung durch querlaufende Gräben, Grünstreifen, Gebüsch- bzw. Windschutzstreifen, neue Ackerschlaggestaltung für eine gefahrlose Hangquerbearbeitung, Teilflächenbegrünung usw.) *ergänzt* werden. Aus diesem Grund werden in Sachsen Flurneuordnungsverfahren unter dem Gesichtspunkt einer weiteren Erosionsminderung eingeleitet. Zur effektiven Planung und Bemessung von Schutzmaßnahmen müssen hierbei die aktiven (d. h. acker- und pflanzenbauliche Schutzmaßnahmen) mit den passiven Schutzmaßnahmen der ländlichen Neuordnung (optimierte Schlaggestaltung, -einteilung, Anlage von Gliederungselementen usw.) in ihrer Einzelwirkung, aber auch in ihren Wechselwirkungen geprüft und aufeinander abgestimmt werden (SCHMIDT et al. 1999). Dies erfolgt mit dem Erosionssimulationsmodell EROSION 3D (s. Abb. 68). Zu dieser Thematik sind zukünftig noch vertiefende Arbeiten und Analysen erforderlich.

Literatur

- SCHMIDT, J., V. WERNER, M., MICHAEL, A. u. W. SCHMIDT, 1997: EROSION 2D / 3D. Ein ComputermodeLL zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser: Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden-Pillnitz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden ISBN 3-00001453-5.
- SCHMIDT, J., V. WERNER, M., MICHAEL, A. u. W. SCHMIDT, 1999: Planung und Bemessung von Erosionsschutzmaßnahmen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Wasser & Boden, 51/12, 19-24.

4.4 Literatur

(zitierte und weiterführende Literatur)

- AUERSWALD, K. und S. WEIGAND (2000): Ist die Erosionsschadenskartierung geeignet, um im Sinne der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung Erosionsflächen zu identifizieren und den Bodenabtrag festzustellen? Bodenschutz 4/00, S. 123-128

- BÄUMLER, W. (2000): Beutegreifer dezimieren Feldmäuse. Landwirtschaft ohne Pflug, 5/2000, S. 5-8.
- BARTELS, G. (1999): Höhere Kosten bei Stoppelweizen. Landwirtschaft ohne Pflug, 2/1999, S. 13-14.
- BECK, R. u. J. LEPSCHY (2000): Ergebnisse aus dem Fusarium-Monitoring 1989-1999 – Einfluss der produktionstechnischen Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. In: Risiken durch den Ährenparasiten Fusarium graminearum – Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbundes. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (Hrsg.), 4. Jhrg., 3/00, S. 39-47.
- BERNSDORF, B.; RICHTER, G.; SCHMIDT, R.-G. (1995): Die Kartierung der Schneeschmelze-Erosion, - Probleme und Möglichkeiten der Felderhebung-, Uni Trier, Forschungsstelle Bodenerosion, Heft 14
- BISCHOFF, J. (1999): Raps ohne Pflug bestellt. Landwirtschaft ohne Pflug, 3/1999, S. 17-18.
- BLUME, H.-P., 1990: Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung. Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Landsberg/Lech. ecomed. 1990
- BML (1999): Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Broschüre, 24 Seiten, Hrsg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Postfach, 53107 Bonn.
- BOARDMAN, J.; FOSTER, I.D.L.; DEARING, J.A., (1990): Soil erosion on agricultural land. 4. Series
- BORK, H.-R. (1991): Bodenerosionsmodelle - Forschungsstand und Forschungsbedarf. -Berichte über Landwirtschaft. NF. Sonderheft. 205: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Bd 3. Bodenerosion. Paul Parey Verlag. Hamburg, Berlin. S. 51 - 67.
- BORK, H.-R.; BORK, H.; DALCHOW, C.; FAUST, B.; PIORR, H.-P.; SCHATZ, TH. (1998): Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften. 220 S. Gotha (Klett-Perthes).
- BRAUN, M.; KOPSE, R.; PRASUHN, V. (1997): Verminderung des Nährstoffeintrags in Gewässer durch Maßnahmen in der Landwirtschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 293. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- BRUNOTTE, J., WINNIGE, B., FRIELINGHAUS, M. u. C. SOMMER (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., C. u. D. WOLLENWEBER (1999B): Mulchsaat: Balsam für Böden und Rüben. Top agrar, S. 54-59.
- BUCHNER, W. (2000): Erosion dauerhaft abwehren. Mais, 28. Jg. (4), S. 144-148.

- DEBRUCK, J. (1999): Goldene Regeln beim Umgang mit Stroh. Landwirtschaft ohne Pflug, 3/1999, S. 15-16.
- DEMMELE, M., HAHNENKAMM, O., KORMANN, G. u. M. PETERREINS (2000): Gleichstandsart bei Silomais. Landtechnik 55. Jg. (3), S. 210-211.
- DEUMLICH, D.; THIÈRE, J. (1996): Einschätzung der potentiellen Wassererosionsgefährdung für Gemeinden und Regionen der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und der Freistaaten Thüringen und Sachsen. Arch. Acker- Pfl. Boden. Vol. 40. 335 - 343.
- DVWK - DEUTSCHER VERBUND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V. (1996): Bodenerosion durch Wasser. Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen. DVWK - Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 239/1996, 62 S. Bonn.
- ECKERT, H.; BREITSCHUH, G. (1994): Kritische Umweltbelastungen Landwirtschaft (KUL) - Eine Methode zur Analyse und Bewertung der ökologischen Situation von Landwirtschaftsbetrieben. In: EULANU. Effiziente und umweltverträgliche Landnutzung. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Schriftenreihe Heft 10. Selbstverl. Jena.
- FAL (2000): Risikofaktoren für die Fusariumtoxinförderung in Futtermitteln und Vermeidungsstrategien bei der Futtermittelherstellung und Fütterung. Landbauforschung
- FRIELINGHAUS, MO.; PETELKAU, H.; SCHMIDT, R., (1992): Wassererosion im norddeutschen Jungmoränengebiet. Zeitschr. f. Kulturtechnik und Landentwicklung. 33. S. 22 - 33
- FRIELINGHAUS, MO. ET AL., (1994): Bewertung und Kartierung der Wasser- und Winderosionsgefährdung sowie bereits eingetretener Schäden und Ausarbeitung von vorbeugenden und sanierenden Bewirtschaftungsstrategien für erosionsgefährdete Landschaften Brandenburgs. Endbericht im Auftrag des MUNR Brandenburgs. Müncheberg.
- FRIELINGHAUS, MO. (1996): Abtrag von Böden. Erosionsformen. In: Blume et al.; Handbuch der Bodenkunde. Landsberg/Lech. ecomed. 1996. Kapitel. 6.3.1.2.
- FRIELINGHAUS, MO. und BORK, H.-R. (1999): SCHUTZ DES BODENS. BUCHWALD, K.; ENGELHARDT, W. (HRSG.) Bonn. Economica Verlag. ISBN 3-87081-512-4. 169 S.
- FRIELINGHAUS, MO. und WINNIGE, B. (2000): Maßstäbe bodenschonender landwirtschaftlicher Bodennutzung, Erarbeitung eines Bewertungs- und Entscheidungssystems zur Indikation der Wassererosion. UBA- Texte. 43-00, ISSN 0722-186X
- FRIELINGHAUS, MO. (2001): Erosion and Pesticide translocation control. Encyclopedia Pesticide Management. Dekker, New York, (im Druck)
- FUNK, R.; FRIELINGHAUS, MO. (1998): Winderosion. In: Blume et al. Handbuch der Bodenkunde. Landsberg/Lech. ecomed. 1996. Kapitel 6.4.2.1.
- GARBE, V.; RODEMANN, B. u. G. BARTELS (2000): Erfolgreich gegen Fusarien. Mais, 28. Jg. (4), S. 160-163.
- HASSENPFUG, W. (1998): Winderosion. In Richter, G. (Hrsg) Bodenerosion - Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt: Wiss. Buchges., 1998, ISBN 3-534-12574-6. 264 S, 82 Abb., 38 Tab.
- KREYE, H.; GARBE, V.; BARTELS, G.; BRUNOTTE, J. u. H.-H. HOPPE (1999A): Risikofaktor Stoppelweizen. DLG-Mitteilungen 114 (3), S. 48-52.
- KREYE, H.; GARBE, V.; BARTELS, G. u. J. BRUNOTTE (1999B): Pflanzenschutz im Weizen bei konservierender Bodenbearbeitung. Getreide Magazin Nr. 4. S. 180-183.
- LIEBEROTH, I.; DUNKELGOD, P.; GUNIA, W.; THIÈRE, J. (1983): Auswertungsrichtlinie MMK Stand 1983. AdL. FZB Müncheberg. 55 S
- LINKE, C. (1998): Direktsaat – eine Bestandsaufnahme unter besonderer Berücksichtigung technischer, agronomischer und ökonomischer Aspekte. Dissertation, Fakultät IV – Agrarwissenschaften II – Fachbereich Agrartechnik, Universität Hohenheim.
- MOSIMANN, T.; RÜTTMANN, M. (1995): Bodenerosion – selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Sissach/Schweiz.
- MÜLLER, U.; DEGEN, C.; JÜRGING, C. (1992): Niedersächsisches Bodeninformationssystem (NIBIS). Dokumentation zur Methodenbank. 5. überarbeitete Auflage, Hannover.
- NITZSCHE, O.; SCHMIDT, W. u. W. RICHTER (2000): Minderung des P-Abtrags von Ackerflächen durch konservierende Bodenbearbeitung. Mittlg. Bodenkdl. Gesellsch. 92, S. 178-181.
- NOLTE, CH.; WERNER, W., (1991): Stickstoff- und Phosphateintrag über diffuse Quellen in Fließgewässer des Elbeeinzugsgebietes im Bereich der ehemaligen DDR. agrarspectrum. Bd. 19. Frankfurt/M.
- RICHTER, G., (1965): Bodenerosion, Schäden und gefährdete Gebiete in der BRD. - Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.- Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung. Bad Godesberg. Selbstverlag
- RICHTER, G. (HRSG.) (1998): Bodenerosion - Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt: Wiss. Buchges., 1998, ISBN 3-534-12574-6. 264 S, 82 Abb., 38 Tab.
- ROHR, W.; MOSIMANN, TH.; BONO, R. (1990): Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen und -schäden auf Ackerflächen. Material zur Physiogeographie. Heft 14.
- ROTH, C.H. (1995): Physikalische Grundlagen der Wassererosion. In: Blume et al.: Handbuch

- der Bodenkunde. Landsberg/Lech. ecomed. 1996. Kapitel 6.3.1.1.
- SCHMIDT, R. (1991): Genesis und anthropogene Entwicklung der Bodendecke am Beispiel einer typischen Bodencatena des Norddeutschen Tieflandes. Petermanns Geographische Mitteilungen 135 (1). 29 - 37
- SCHMIDT, D. (1999): Trespen in der Fruchtfolge bekämpfen. Landwirtschaft ohne Pflug, 2/1999, S. 10-12.
- SCHMIDT, W.; MICHAEL, A. u. J. SCHMIDT (1997): Ergebnisse von Bodenabtragsmessungen auf konservierend bestellten Ackerflächen als Beratungsgrundlage für wassererosionsmindernde Anbauverfahren in Sachsen. VDLUFA-Schriftenreihe 46, Kongreßband 1997, S. 675-678.
- SCHMIDT, J.; V. WERNER, M.; MICHAEL, A. u. W. SCHMIDT (1996): EROSION 2D / 3D. Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser: Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden-Pillnitz, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden. ISBN 3-00-001453-5.
- SCHWERTMANN, U.; RICKSON, R.J.; AUERSWALD, K. (1989): Soil erosion protection measures in Europe. Soil Technologie series 1. Catena - Verlag Cremlingen.
- SCHWERTMANN, U.; VOGEL, W.; KAINZ, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl. Ulmer. Stuttgart. 64 S.
- SOMMER, C. (1999): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Bodenschutz 1/1999, S. 15-19.
- STEINERT, K. (1999): Die richtige Sämaschine finden. Landwirtschaft ohne Pflug, Sonderausgabe Agritechnica, S. 10-14.
- UBA-TEXTE 75/99: Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. (Behrendts, H.; Huber, P.; Opitz, D. et al.) Forschungsbericht 296 25 515, UBA-FB 99-087
- VOß, M.; ULBER, M. u. H.-H. HOPPE (1997): Schneckenprobleme bei Direktsaat. Direktsaat 4/1997, S. 14-15.
- VOßHENRICH, H.-H. (1995): Vergleich zwischen Pflug-Kreiselegge-Drillsaat und Frässohlsaatsaat. Forschungsbericht Agrartechnik des AK Forschung und Lehre, Max-Eyth-Gesellsch. Agrartechnik im VDI, Band 280, Universität Kiel.
- WERNER, W.; WODSAK, H.-P. (1994): Regional differenzierter Stickstoff- und Phosphateintrang in Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Lockergesteinsbereichs der ehemaligen DDR. agrarspectrum. Bd. 22. Frankfurt/M.
- ZIMMERMANN, G. (2000): Nutzung der genetischen Resistenz zur Eindämmung von Fusarium-Ährenkrankheiten bei Weizen. In: Risiken durch den Ährenparasiten Fusarium grami-
- nearum – Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbundes. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt

5. Schlussfolgerungen

K.-J. Künkel, G. Bachmann, C. Sommer u. Mo. Frielinghaus

Die Landwirtschaft nutzt die Umweltgüter Boden, Wasser und Luft zur Bereitstellung von kostengünstigen Nahrungsgütern in hoher Qualität. Sie steht damit in einer besonderen Verantwortung für die Natur, die sie bereits über Jahrhunderte hinweg wahrnimmt.

Zu den Leitbildern eines vorsorgenden Bodenschutzes gehört die Erhaltung der Leistungsfähigkeit der Böden in einer historisch entstandenen Agrarlandschaft sowie ihrer natürlichen Funktionen, weil Böden eine knappe und nicht erneuerbare natürliche Ressource sind (Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz beim BMU, 2000).

Die Böden als Bestandteil des Naturhaushaltes (Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre) stehen in engen Wechselbeziehungen zum Ertrag der Kulturpflanzen, zur Ernährung der Menschen und Tiere und letztlich auch zur gesamten Volkswirtschaft. Böden erfüllen also Funktionen in den ökologischen Kreisläufen und in sozioökonomischen Systemen.

Deshalb zielt das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) auf die **Erhaltung bzw. Wiederherstellung folgender für die Landwirtschaft besonders wichtiger Bodenfunktionen:**

- ▶ Produktionsfunktion, weil die Böden mit ihrer ständigen Fähigkeit zur Biomasseproduktion die Lebensgrundlage der Menschen sind;
- ▶ Lebensraumfunktion, weil die Böden Lebensraum für den Menschen und für Flora und Fauna in ihrer genetischen Vielfalt bieten;
- ▶ Regelungsfunktion, weil die Böden die abiotische und biotische Stoffumwandlung (insbesondere den mikrobiellen Abbau organischer Stoffe einschließlich des Abbaus von Schad-

stoffen), die physikalische und chemische Pufferung, die Filterung und Speicherung sowie die Grundwasserneubildung regeln;

- ▶ Archivfunktion der Natur- und Kulturgeschichte.

Mit den Maßnahmen der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung müssen die Landwirte dafür sorgen, dass diese Bodenfunktionen auf hohem Niveau ständig neu reproduziert werden. Dabei sind in der Regel solche fachlichen **Agrarumweltkriterien wie Einhaltung ausgewogener Nährstoffsalden** (Minimierung der N-,P- und K-Überschüsse) **und optimale C_{org}- und pH-Bodengehalte, Minimierung der NH₃- und N₂O- Emissionen, weitgehende Verminderung der Bodenschadverdichtungen und der Bodenerosion, Einsatz von PSM entsprechend den Regeln des integrierten Pflanzenschutzes, Gewährleistung einer landschaftsökologischen Diversität** (Anteil ökologisch und landeskulturell bedeutsamer Flächen, Feldgröße) **und Diversität von Kulturarten** in zunehmendem Maße zu berücksichtigen.

Für die Landwirte und die landwirtschaftliche Bodennutzung sind diese Agrarumweltkriterien nicht von gleich großer Bedeutung. Hinzu kommt, dass einige dieser Kriterien von einander abhängen oder sich gegenseitig entscheidend beeinflussen und dass landwirtschaftliche Produktion und Einwirkung auf die Ökosysteme unter extrem zufälligen (Witterung, lebende Organismen) Bedingungen stattfinden.

Deshalb ist eine vollständige Erfüllung aller Agrarumweltkriterien zur gleichen Zeit nicht möglich, für die Landwirte entstehen bei der Beachtung dieser Kriterien **Konflikte**, denen sie nur mit gut durchdachten dynamisch angepassten Kompromissen bei der Landnutzung begeg-

nen können. Dazu gehört eine Bewertung der tatsächlichen Risiken, die bei der Gestaltung der guten fachlichen Praxis in der landwirtschaftlichen Bodennutzung zu unterschiedlichen Ergebnissen führt, die zu tolerieren sind.

Das vorliegende Bund-Länder-Papier, in dem die gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion näher beschrieben ist, soll einerseits Handlungsempfehlungen für Beratung und Praxis enthalten. Andererseits soll es dem Mißverständnis entgegenwirken, dass die nach dem Fachrecht in der Landwirtschaft und der Umwelt fixierten Regelungen der guten fachlichen Praxis für diese Agrarumweltkriterien in jeder Region und in jedem Betrieb zu 100 % erfüllt werden können.

Düngemittel-, Pflanzenschutz-, Bodenschutz- und Naturschutzrecht sind zunächst rechtliche Insellösungen. Sinnvoll und nötig sind aber **standortbezogene Gesamtkonzepte der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung** als Grundlage für die von den Landwirten einzugehenden tragfähigen Kompromisse bei der Erfüllung der Agrarumweltkriterien in Regionen mit entsprechenden Risiken für die Bodenqualität. Das Bund-Länder-Papier will einen Beitrag dazu leisten.

Gleichzeitig soll auch das Verständnis dafür gefördert werden, dass **der Boden eine zentrale Stellung in den standortbezogenen Gesamtkonzepten der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung und im Naturhaushalt** einnimmt. Der Boden ist einerseits das wichtigste Produktionsmittel in der Landwirtschaft und andererseits sind durch seine Archivfunktion (Gedächtnis) frühere, heutige und zukünftige Maßnahmen im Naturhaushalt bilanzierbar. Das ist auch wichtig für den landwirtschaftlichen Bodenschutz, der durch die immer wiederkehrende physikalische, chemische und biologische Einflußnahme der Landwirte im besonderen Maße das **Prinzip der Nachhaltigkeit** erfordert.

Stoffliche Belastungen (Agrochemikalieneinsatz) und physikalische Einflüsse (Landtechnik-einsatz) können nicht nur kurzzeitig, sondern vor allem auch über lange Zeiträume auf die Bodenfunktionen wirken. Über die Maßnahmen der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung kann ihre vorwiegend positive (nachhaltige) Zielrichtung bestimmt werden.

Aus fachlicher Sicht haben aus der Reihe der o.g. Agrarumweltkriterien die flächenbezogenen Nährstoffsalden, die Schadverdichtung, die Erosion sowie die Diversitäts-Kriterien Auswirkungen auf die übrigen Agrarumweltkriterien. Deshalb können sie als **Indikatoren für den Einsatz**

und die Bewertung der Wirkungen der Maßnahmen der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung genutzt werden.

Das bedingt, dass grundsätzlich die **Ausschöpfung des Ertragspotenzials, die Anforderungen an die Produktqualität und die Erfordernisse des Schutzes vor Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion** wirksam miteinander verbunden und bewertet werden. Wegen der Vielfalt der Standorte und der Betriebe bieten Standardrezepte über alle Standortbedingungen und Betriebsstrukturen hinweg meist keine optimale Lösung.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass alle Handlungsempfehlungen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion noch längst nicht zum Allgemeingut der landwirtschaftlichen Bodennutzung geworden sind, sie gehören noch nicht überall in der Praxis zum Stand des Wissens. Deshalb sind auch weiterhin **Wissensvermittlung, Beratung und die Verbreitung sowie der Austausch von praktischen Erfahrungen und deren Weitergabe** in einem hohen Tempo erforderlich.

Das muss in erster Linie durch eine sehr effiziente Beratung, die Einrichtung von Beispielsbetrieben und durch regionsbezogene Länder-Maßnahmen für den Anbau von Kulturen und für Verfahren in der landwirtschaftlichen Bodennutzung erfolgen.

Darüber hinaus sind die verfahrenstechnischen Voraussetzungen für die Anwendung aller Maßnahmen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion noch nicht überall gegeben und sie lassen sich auch nicht von heute auf morgen problemlos schaffen.

Das betrifft insbesondere die Voraussetzungen für die bodenschonende konservierende Bodenbearbeitung, die eine Schlüsselstellung in den Schutzkonzepten einnimmt und daher eine besondere Beachtung erfahren muss (Bereitstellung bodenschonender Technik und Technologien).

Bei der Umsetzung der Handlungsempfehlungen für die gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung muss in längeren Zeiträumen gedacht werden.

Mit den Erfahrungen der heute bereits anwendbaren Maßnahmen des landwirtschaftlichen Bodenschutzes, wie sie in den in diesem Papier aufgeführten Länderbeispielen deutlich werden, müssen die Voraussetzungen für die mittelfristig und längerfristig anzuwendenden Maßnahmen gezielt vorbereitet werden. Nur **vielfältige, gut durchdachte zeitliche Stufenprogramme für die Standorte und Betriebe**, die entsprechend gefördert werden sollten, führen schließlich zu solider Umsetzung und nachhalti-

ger Wirkung der Handlungsempfehlungen der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Dafür sollten in den Ländern die notwendigen **Anwenderinformationen** in geeigneter Form erarbeitet werden.

Die in dem Bund-Länder-Papier vorgenommene Einordnung und Wertung zur guten fachlichen Praxis der Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion und die

Schlussfolgerungen sollen mit den folgenden **Kurzfassungen der zwei Hauptteile** (Kap. 3 und 4) untermauert werden. Sie sollen den Nutzern des Papiers in Politik, Beratung und Praxis einen schnelleren Einstieg in das Papier erlauben sowie einen Beitrag zur Bildung des Verständnisses für notwendige standortbezogene Gesamtkonzepte der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung leisten.

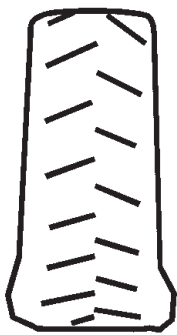
5.1 Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen

1. Problem

Das Befahren des Bodens bei feuchten Bedingungen mit hohen Radlasten – auf empfindlichen Böden auch mit geringeren – kann in der Ackerkrume und dem Unterboden zu Bodenschadverdichtungen führen. Im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft muss solchen Schadverdichtungen vorgebeugt werden. Dazu sind Handlungsempfehlungen der guten fachlichen Praxis standort-, betriebs- und ggf. teilflächenspezifisch zu beachten.

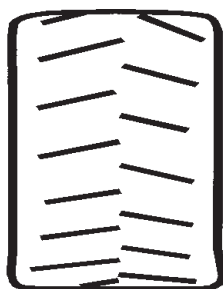
3. Handlungsempfehlungen

Nutzung technischer Möglichkeiten



Reifeninnendruck

Der Reifeninnendruck hat – neben der Radlast – maßgeblichen Einfluss auf den Kontaktflächendruck und sollte auf empfindlichem Ackerboden möglichst ≤ 1 bar betragen. Reifeninnendruckregelungen: Schonendes Befahren des Bodens und reifenschonendes Fahren auf fester Fahrbahn.

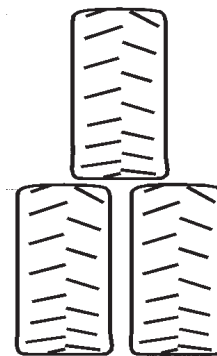
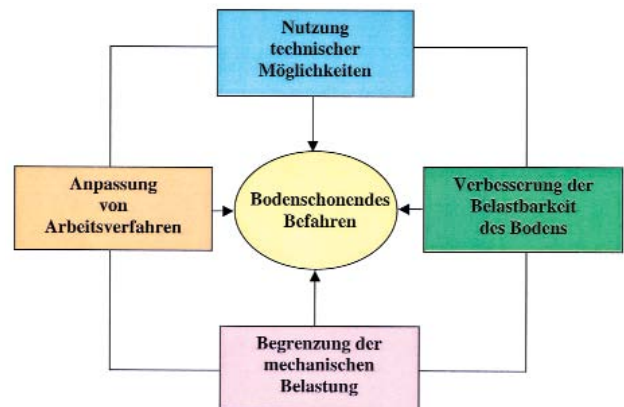


Breitreifen

Breitreifen (oder Zwillingsreifen, Gummibandlaufwerke u. a.) sollten nur eingesetzt werden, um mit der vergrößerten Radaufstandsfläche bei gleicher Radlast den Kontaktflächendruck – und damit die Bodenbelastung – zu verringern. Sie sollten jedoch nicht genutzt werden, um mit höherer Radlast früher auf den Acker zu kommen.

2. Lösungsansatz

Konzept "Bodenschonendes Befahren", das aus den folgenden vier Bausteinen besteht:



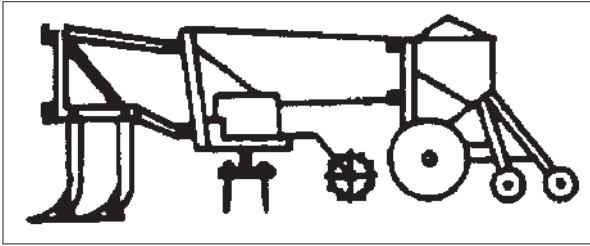
Moderne Fahrwerke

Die Gesamtmasse eines Ackerfahrzeuges über großvolumige Reifen auf die ganze Fahrzeug- bzw. Arbeitsbreite abzustützen (Dreispurfahrzeuge, Knickgelenkfahrwerke u. a.), lässt den Kontaktflächendruck niedrig und die Überrollhäufigkeit gering halten.



Wichtige technische Lösungen zur Begrenzung der mechanischen Belastung sind Anzeigehilfen (etwa bezüglich der Spurtiefe), die weiterentwickelt werden müssen. Wird eine "kritische" Spurtiefe erreicht, sollte zur Bodenschonung die Bunkerkapazität nicht ausgeschöpft werden.

Anpassung von Arbeitsverfahren



Zusammenlegung von Arbeitsgängen

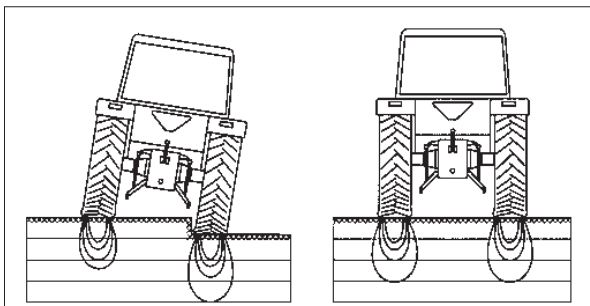
Das Zusammenlegen von Arbeitsgängen verringert den Spuranteil auf dem Feld.



Fahrgasse im Zuckerrübenanbau

Kontrollierter Fahrverkehr mindert den befahrenen Spurfächenanteil.

Fahrgassen ermöglichen bei Pflanzenschutzmaßnahmen den Einsatz breiter Reifen mit niedrigem Innendruck.



Druckwiebeln (schematisch)
unter Schlepperrädern bei
herkömmlichem Pflügen

Onland-Pflügen

Das Fahren beim Pflügen außerhalb der Furche lässt den Bodendruck nicht so weit in die Bodentiefe eindringen.

Verbesserung der Belastbarkeit des Bodens

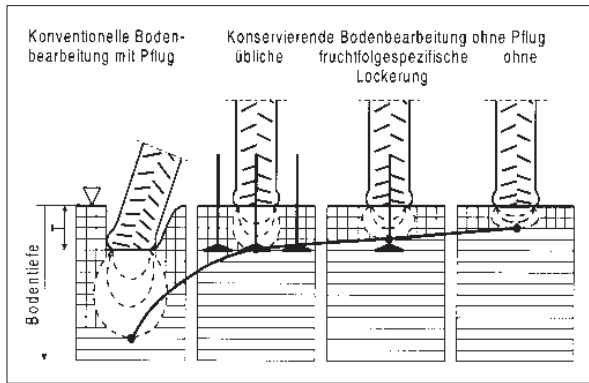


Befahren/Bearbeiten bei trockenem Bodenzustand

Lockere und/oder feuchte Böden – in der Krume und im Unterboden (!) – sind **sehr** verdichtungsempfindlich.

Deshalb:

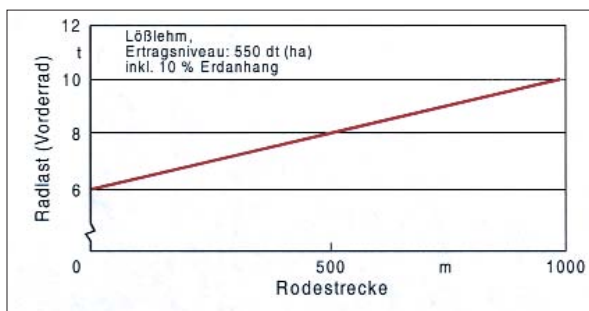
- ▶ Sommer- statt Herbstfurche, da i. d. R. trockenere Bedingungen;
- ▶ Schlagkraft im Betrieb vorhalten, um optimalen Bodenzustand ausnutzen zu können.



Konservierende Bodenbearbeitung: schonende Lockerung und Mulchsaat

Bodenlockerung – krumentief und insbesondere Unterbodenlockerung – sollte wegen der Kosten und der nachfolgenden schlechteren Befahrbarkeit allenfalls entsprechend dem tatsächlichen Bedarf erfolgen (1 x pro Fruchtfolge?). Nichtwendende Lockerung schont das Bodengefüge und ermöglicht aufgrund der etwas höheren Bodendichte die Belastbarkeit des Bodens.

Begrenzung der mechanischen Belastung



Die Radlast nimmt während des Erntevorgangs kontinuierlich zu.

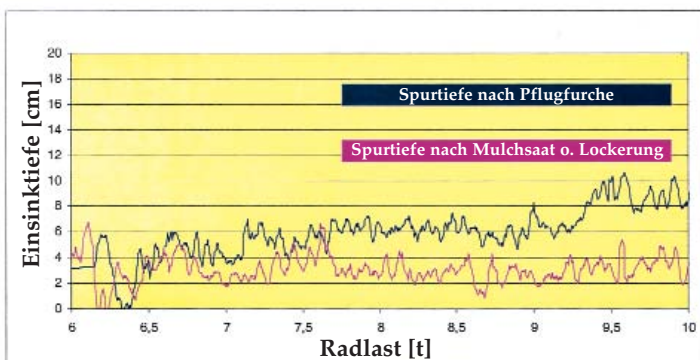
Deshalb:
Bunkerkapazität nur voll ausschöpfen, wenn es der Bodenzustand erlaubt.



Die Schlaglänge (in Bearbeitungsrichtung) sollte zu einer vernünftigen Begrenzung der Radlast beitragen.

Also: Nicht große Schlaglängen mit Parallelfahrzeugen beernten, sondern Schlaglängen auf akzeptable Bunkerkapazität abstimmen.

- nach Pflugfurche
- nach kons. Bodenbearbeitung



- nach Pflugfurche
- nach kons. Bodenbearbeitung

Befahrbarkeitssensor

Heute kann (z. B. am Rübenroder) die Spurtiefe während des Befahrens angezeigt werden.

Damit ist eine vernünftige – ökologische und ökonomische – Begrenzung der mechanischen Bodenbelastung möglich.

4. Fazit

Die vier Bausteine des Konzeptes "Bodenschonendes Befahren" sind mit den Handlungsempfehlungen Standort- und betriebspezifisch zu kombinieren, um Schadverdichtung mit technischen Mitteln vorzubeugen. Darüber hinaus sind weitere, etwa acker- und pflanzenbauliche, Ansätze wichtig, unter denen die Fruchtfolge für Vorsorgemaßnahmen eine besondere und leider, vor allem wegen ökonomischer Zwänge, oft zu wenig beachtete Rolle spielt.

Allerdings: Bodenverdichtungen sind nicht immer zu vermeiden.

Es können Zielkonflikte zwischen ökologischen und ökonomischen Aspekten entstehen. Gute fachliche Praxis soll nicht zuletzt solchen

Zielkonflikten entgegenwirken. Sie sind unter Beachtung der Priorität von Bodenschutzproblemen, der ökonomischen Situation des Betriebes, der Anbau- und Schlagstruktur und nicht zuletzt aufgrund der Einstellung des Betriebsleiters zum Bodenschutz einer Lösung zuzuführen. Dabei hilft das vorgeschlagene Konzept; es ist theoretisch und praxisrelevant weiterzuentwickeln.

Zusammenstellung und Analyse des vorhandenen Wissens sowie neueste Ergebnisse insbesondere zu dem Problembereich Bodenschadverdichtung legen es nahe, Handlungsempfehlungen für gute fachliche Praxis den drei Kategorien "für heute", "für morgen" und "für übermorgen" zuzuordnen. Die Zeitschiene dafür kann nur für den einzelnen Betrieb geplant und festgelegt werden.

5.2 Vorsorge gegen Bodenerosion

Ackerbau in erosionsgefährdeten Lagen hat langfristig nur in Verbindung mit geeigneten Schutzmaßnahmen Erfolg, weil sonst nach und nach die Bodenqualität abnimmt und Umweltschäden entstehen. Alle Böden, auf denen Kulturpflanzen gut gedeihen, können auch die übrigen Funktionen im Naturhaushalt erfüllen. Die Landwirte müssen deshalb so wirtschaften, dass Bodenabträge

und Beeinträchtigungen von Gütern außerhalb der Ackerflächen (Gewässer, Biotope, Verkehrswege, Gebäude) möglichst vermieden werden.

Wie kann der Landwirt die Anforderungen der guten fachlichen Praxis nach § 17 des Bundesbodenschutzgesetzes in erosionsgefährdeten Gebieten erfüllen?

1. Schritt		
Bewertung des Standortes ergibt die		
POTENZIELLE GEFÄHRDUNG [A]		
Niedrig [Gefährdungsstufe A 1]	Mittel [Gefährdungsstufe A 2]	Hoch [Gefährdungsstufe A 3]

Zuerst muss die **potenzielle Erosionsgefährdung [A]** (Wassererosion, Winderosion) eines Standortes abgeschätzt werden. Sie hängt von der **naturräumlichen Ausstattung des Standortes ab**. Dabei ist zu klären: Wie stark ist ein konkreter Standort auf Grund seiner Hangneigung, Boden-

artzusammensetzung, klimatischen Lage etc. gefährdet? Die Einstufung hierfür ist auf der Basis vorhandener Datenbanken einmal vorzunehmen und liegt in einzelnen Bundesländern z. T. bereits als Karten bei den Ämtern vor.

2. Schritt

Bewertung der Bodennutzung ergibt das NUTZUNGSRISIKO [B]		
Niedrig [Risikostufe B 1]	Mittel [Risikostufe B 2]	Hoch [Risikostufe B 3]

Nicht alle potenziell gefährdeten Standorte müssen tatsächlich ein hohes Erosionsrisiko aufweisen. Erst die **Nutzung und Bewirtschaftung** gibt den Ausschlag, ob ein Standort **"tatsächlich gefährdet"** ist. Eine schützende **Bodenbedeckung**

ist das wirksamste Mittel zur Herabsetzung der tatsächlichen Gefährdung. In Zeiten ohne ausreichende Bodenbedeckung sind ein guter **Strukturzustand** (Krümelstabilität) und ein hohes **Infiltrationsvermögen** notwendig.

3. Schritt

Aus der Potenziellen Gefährdung und dem Nutzungsrisiko ergibt sich die TATSÄCHLICHE GEFÄHRDUNG [C]		
Niedrig [Risikostufe C 1]	Mittel [Risikostufe C 2]	Hoch [Risikostufe C 3]

Für die **Bewertung der Erosionsgefährdung und für die Erfolgskontrolle von Schutzmaßnahmen** sind Modelle hilfreich. Je nach Bundesland bzw. Naturraum haben sich hierfür bestimmte, von den Fachbehörden eingesetzte Modelle

bewährt. Dieses Vorgehen bietet dem Landwirt eine **verständliche und nachvollziehbare Grundlage**. Er kann beurteilen, ob seine Wirtschaftsweise dem Grundsatz der guten fachlichen Praxis entspricht, Bodenerosion möglichst zu vermeiden.

4. Schritt

KONSEQUENZEN FÜR DEN SCHUTZ VOR BODENEROSION		
[C 1] Vorsorge ist gewährleistet Ausreichende Bodenbedeckung im Anbauablauf bewirkt einen guten Schutz vor Bodenerosion Empfohlen werden allgemeine acker- und pflanzenbauliche Schutzmaßnahmen	[C 2] Vorsorge ist in kritischen Bereichen nicht gewährleistet Einzelfallentscheidungen sind notwendig. Alle zumutbaren Möglichkeiten zur Erhöhung der Bodenbedeckung in Anbauabläufen verbessern den Schutz vor Erosion Empfohlen werden zusätzlich zu [C 1] erosionsmindernde Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren	[C 3] Vorsorge ist nicht gewährleistet Zusätzlich zu den Maßnahmen einer deutlichen Erhöhung der Bodenbedeckung verbessern Flurgestaltungsmaßnahmen den Schutz vor Erosion Empfohlen werden zusätzlich zu [C 1] und [C 2] Maßnahmen einer erosionsmindernden Flurgestaltung

Der Landwirt kann nach seinen Erfahrungen und betrieblichen Möglichkeiten aus den nachfolgenden Komplexen die für ihn passenden und wirksamsten Maßnahmen auswählen:

► **Allgemeine acker- und pflanzenbauliche Schutzmaßnahmen gegen Erosion**

- Minimierung der Zeitspannen ohne Bodenbedeckung, u. a. durch Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfrüchte, Untersaaten und Strohmulch.
- Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren.
- Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen.
- Aufbau und Erhalt verschlammungsmindernder stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biologischen Aktivität sowie durch Kalkung u. ä..
- Wechsel der Fruchtarten oder Ein Saat abflussbremsender Grasstreifen.

► **Erosionsmindernde Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren**

- Mulchsaat möglichst ohne Saatbettbereitung im Sinne des Belassens einer bodenschützenden Mulchauflage sowie des Erhalts stabiler Bodenaggregate.
- Konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat möglichst im gesamten Fruchtfolgeverlauf, mindestens jedoch zu einzelnen, von Erosion besonders betroffenen Fruchtarten (Mais, Zuckerrüben), im Sinne eines flächenhaft wirkenden Schutzes vor Erosion.

► **Erosionsmindernde Flurgestaltung**

- Anlage paralleler Streifen quer zu Gefälle und Hauptwindrichtung.
 - Schlagunterteilung durch Anlage von Schutzstreifen (z. B. Gehölze, Feldraine), Wege mit Gräben bzw. durch Anlage von Windschutzstreifen quer zum Gefälle bzw. zur Hauptwindrichtung.
 - Gezielte Wasserableitung in der Flur, bei Bedarf Anlage von Wasserrückhaltebecken.
-

Die mit einzelnen Schutzverfahren (z. B. konservierende Bodenbearbeitung) verbundenen Probleme wurden ausführlich erläutert. Gleichzeitig werden dort Problemlösungen (z. B. Strohverteilung und Stoppelbearbeitung, geeignete Sätechnik, Strategien gegen Durchwuchs, Schnecken und Mäuse, Ährenfusariosen usw.) angeboten.

Nach der Einführung bestimmter Maßnahmen sollte die Möglichkeit der "Erfolgskontrolle" genutzt werden. Sowohl die bewährten Modelle in einzelnen Bundesländern als auch der einfache Indikator Bodenbedeckung sind dafür geeignet.

5. Fazit

Neue Erkenntnisse und wirksamere Maßnahmen gegen Bodenerosion sollten immer zur guten fachlichen Praxis in erosionsgefährdeten Betrieben gehören und, durch Erfahrungen vor Ort gestützt, umgesetzt werden. Zwar bleibt ein gewisses Restrisiko der Bodenerosion stets erhalten, weil in Ausnahmefällen sehr starke Niederschlags- oder Windereignisse, sog. Jahrhundertereignisse, auftreten können. In der Regel kann aber bei Kenntnis der tatsächlichen Erosionsgefährdung eine wirksame Vorsorge durch eine angepasste Bewirtschaftung erreicht werden.

6. Glossar

Begriff

Aggregation

Ah/C-Böden

Ährenfusariosen

Aktuelle Befahrbarkeit

Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG)

BBodSchG

BBodSchV

Bodenerosion

Bodenfunktionen

Bodenschadverdichtungen

controlled-traffic-Systeme

Direktsaat

Drechslera tritici repentis (DTR)

Durchdringungswiderstand

Druckzwiebeln

Erosion

Flächenexterne Schäden

Erklärung

Verknüpfung von mineralischen Partikeln und organischen Stoffen zu Bodenaggregaten.

Böden werden nach den Ausgangsgesteinen (C) der Bodenbildung unterschieden; die Mächtigkeit des oberen Krumenhorizontes (Ah) beträgt maximal 4 dm, sie haben keinen verlehnten Unterbodenhorizont (B). Bei diesen Böden können im Ergebnis ständige Bodenabtrag durch Bodenerosion entstehen.

Durch Pilze der Gattung Fusarium verursachte Krankheiten an Pflanzen und Ernteprodukten. Befahrbarkeit des Bodens bei aktueller Bodenfeuchte. Schätzverfahren zur Quantifizierung von Bodenabtrag.

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten – Bundesbodenschutzgesetz.

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Bodenverlagerung infolge intensiver Niederschläge oder Schmelzwasser oder stärkerer Windgeschwindigkeit.

Produktions-, Regelungs- Lebensraum- und Archivfunktion des Bodens.

Bodenverdichtung mit negativen Auswirkungen auf Bodenfunktionen.

Regelspur- und Fahrgassensysteme, die ein kontrolliertes Fahren bei bestimmten Arbeitsgängen gewährleisten.

Eine Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung seit der vorangegangenen Ernte.

Ein Pilz, der eine Blattkrankheit bei Weizen verursacht.

Eindringwiderstand des Bodens (abhängig von der Lagerungsdichte und der Feuchte des Bodens). Linien gleichen Bodendrucks im Boden während einer mechanischen Belastung.

Siehe Bodenerosion.

Durch Bodenerosion (Wasser- oder Winderosion) auftretende Schäden außerhalb der eigentlichen Flächen, auf denen die Bodenverlagerung ihren Ausgang nimmt, auch Offsite-Schäden genannt.

Flächeninterne Schäden	Durch Bodenerosion (Wasser- oder Winderosion) auftretende Schäden auf den Ackerflächen selbst, auf denen die Erosion stattfindet, auch Onsite-Schäden genannt.
Indikation	Zielgerichtete Bewertung eines Zustandes, hier eines Bodenzustandes, zur Einschätzung der Funktionalität.
Indikationskonzept	Schrittfolge der Indikation.
Indikatoren	Zustandsvariable, mit deren Hilfe die Bewertung vorgenommen werden kann (z. B. Bodenbedeckung).
Knickgelenk	Bewegliche Achsverbindung, die ein spurversetztes Fahren ermöglicht (z. B. bei großen Zuckerrüben-erntemaschinen).
Konservierende Bodenbearbeitung	Ein Bodenbearbeitungsverfahren, bei dem auf eine wendende Lockerung verzichtet wird und organische Rückstände nahe oder auf der Bodenoberfläche belassen werden.
Kontaktflächendruck Reifen/Boden [kPa] Krumenbasisverdichtungen	Belastung des Bodens in der Berührungsfläche. Verdichtung des Bodens im Bereich der Schlepperradsole.
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.
Mechanische Spannungen MMK	Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung.
Mulchsaat	Aussaat in die Pflanzenreststoffe der Vor- und/oder Zwischenfrucht, die flach eingearbeitet oder an der Oberfläche belassen worden sind.
Onland-Pflügen	Der ziehende Schlepper fährt nicht in der Pflugfurche, sondern mit allen Reifen auf der Ackeroberfläche.
Saltation	Durch die Schubkraft des Windes ausgelöste Bewegung der Bodenteilchen an der Bodenoberfläche.
Schlepperradsohlen	Die durch das Befahren der Pflugfurche mit dem Schlepperrad verursacht wird.
Sedimentation	Absetzen der durch Wasser oder Wind an der Bodenoberfläche transportierten Bodenteilchen bei Nachlassen der Fließ- oder Wehgeschwindigkeit.
Suspension	Im Oberflächenabfluss oder Windstrom befindliche Menge an feinen Bodenteilchen, die sich in der Schwebe halten und weit transportiert werden können.
Wassererosion	Durch Niederschläge oder Schmelzwasser ausgelöste Bodenerosion.
Winderosion	Durch Wind ausgelöste Bodenerosion.
Windoffenheit	Kennzeichen für offene Landschaft mit wenig windbremsenden Strukturelementen.

7. Anschriften

der Mitglieder der Expertengruppe und der Autoren des Bund-Länder-Papiers

Dr. Günther **Bachmann**
Geschäftsführer der Geschäftsstelle
des Rates für nachhaltige Entwicklung
c/o Wissenschaftszentrum Berlin
Reichpietschufer 50
10785 Berlin

Holger **Böken**
Umweltbundesamt
Bismarckplatz 1
14193 Berlin

Robert **Brandhuber**
Vorsitzender der Gruppe der
Bodenspezialisten des VDLUFA
Bayerische Landesanstalt für
Bodenkultur und Pflanzenbau
Vöttinger Straße 38
85354 Freising

Prof. Dr. habil. Gerhard **Breitschuh**
Präsident des VDLUFA
Bismarckstraße 41 A
64293 Darmstadt

Dr. Joachim **Brunotte**
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Institut für Betriebstechnik und Bauforschung
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Prof. Dr. Werner **Buchner**
Referatsleiter Landbau in der
Landwirtschaftskammer Rheinland
Endenicher Allee 60
53115 Bonn

Dr. Walter **Däschner**
Leiter des Referates 516 "Acker- und Pflanzenbau"
im Bundesministerium für Verbraucherschutz,
Ernährung und Landwirtschaft
Rochusstraße 1
53123 Bonn

Dr. Jons-A. **Eisele**
Ministerium für Umwelt,
Raumordnung und Landwirtschaft
des Landes Nordrhein-Westfalen
40190 Düsseldorf

Prof. Dr. habil. Monika **Frielinghaus**
Leiterin des Instituts für Bodenlandschaftsforschung
im Zentrum für Agrarlandschafts- und
Landnutzungsforschung e.V. (ZALF)
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg

Dr. Roger **Funk**
Institut für Bodenlandschaftsforschung
im Zentrum für Agrarlandschafts- und
Landnutzungsforschung e.V. (ZALF)
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg

Dr. Peter **Gullich**
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
(TLL)
Naumburger Straße 98
07743 Jena

Wilfried **Henke**
aid e. V.
Friedrich-Ebert-Straße 3
53177 Bonn

Dr. Johannes **Heyn**
Vorsitzender der Fachgruppe X Bodenfruchtbarkeit
und Agrarökologie des VDLUFA
Hessische Landwirtschaftliche
Versuchsanstalt
Am Versuchsfeld 13
34128 Kassel

Andreas **Jürgens**
Ministerium für Raumordnung,
Landwirtschaft und Umwelt
des Landes Sachsen-Anhalt
Referat 53
Postfach 37 60
39012 Magdeburg

Dr. Klaus-Jürgen **Künkel**
Bundesministerium für Verbraucherschutz,
Ernährung und Landwirtschaft
Referat 516 "Acker- und Pflanzenbau"
Rochusstraße 1
53123 Bonn

Dr. Rainer **Paul**
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
(TLL)
Naumburger Straße 98
07743 Jena

Dr. Heinz **Petelkau**
Waldstraße 72
15566 Schöneiche
und ZALF Müncheberg
Institut für Bodenlandschaftsforschung

Dr. Walther-Alexander **Schmidt**
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau
Postfach 22 11 61
04131 Leipzig

Klaus **Seidel**
Institut für Bodenlandschaftsforschung
im Zentrum für Agrarlandschafts- und
Landnutzungsforschung e.V. (ZALF)
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg

Prof. Dr.-Ing. habil. Claus **Sommer**
Leiter des Instituts für Betriebstechnik und
Bauforschung der Bundesforschungsanstalt
für Landwirtschaft (FAL); Vorsitzender der
KTBL-Arbeitsgemeinschaft Technik in der
Pflanzenproduktion
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Barbara **Winnige**
Institut für Bodenlandschaftsforschung
im Zentrum für Agrarlandschafts- und
Landnutzungsforschung e.V. (ZALF)
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg

Herausgeber:

Bundesministerium für
Verbraucherschutz, Ernährung
und Landwirtschaft



Diese Broschüre wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft kostenlos herausgegeben. Sie darf weder von Parteien, noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Europa-, Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie Einlegen, Ausdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, wo, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in der Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden kann.