

Zentrum für Agrarlandschafts-
und Landnutzungsforschung e.V.



Ministerium für Landwirtschaft,
Umweltschutz und Raumordnung
des Landes Brandenburg



INFORMATIONSHEFT

zum landwirtschaftlichen
Bodenschutz im Land Brandenburg
Teil Bodenschadverdichtungen



Text und Fotos:

Autorenkollektiv des ZALF unter Leitung von:

Prof. Dr. Monika Frielinghaus

Dr. Heinz Petelkau

Dipl. Landw. Klaus Seidel

Dr. Jürgen Thiere

Dipl. agr. ing. Lidia Völker

Dipl. agr. ing. Barbara Winnige

Zentrum für Agrarlandschafts- und
Landnutzungsforschung (ZALF) e. V.

Institut für Bodenlandschaftsforschung

Eberswalder Str. 84

15374 Müncheberg

Telefon: (033432) 82282

Telefax: (033432) 82212

e-mail: frielinghaus@zalf.de

INHALTSVERZEICHNIS

1	Bodenschutz im Land Brandenburg – Anforderungen des Bundesbodenschutzgesetzes	1
1.1	Funktionen der Böden in Landschaften	1
1.1.1	Böden als Mittelpunkt von Ökosystemen	1
1.1.2	Böden als begrenzte und nur bedingt erneuerbare Ressource	2
1.2	Ziel des Bodenschutzes im Bundesbodenschutzgesetz	3
1.2.1	Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV)	3
1.3	Bodenschutz in Brandenburg und die agrarpolitischen Rahmenbedingungen	5
1.4	Realisierte Maßnahmen und neue Aufgaben	6
1.5	Vorsorge im Land Brandenburg – Teil Bodenschadverdichtungen	7
2	Definition und Bedeutung der Bodenschadverdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden	8
2.1	Was ist Bodenverdichtung?	8
2.2	Was ist Bodenschadverdichtung?	9
2.3	Wie können Schadverdichtungen in Böden erkannt werden?	10
2.4	Welche Indikationsmethode kann nun vorgeschlagen werden?	12
3	Welche Faktoren führen zu Bodenschadverdichtungen und wie verändern sich wichtige Bodenparameter?	15
4	Schritte zur Ermittlung der potentiellen und tatsächlichen Schadverdichtungsgefährdung der Böden Brandenburgs	22
5	Bewertung der Belastbarkeit der Böden	23
5.1	Bestimmung der potentiellen Schadverdichtungsgefährdungsklassen für Brandenburg	23
5.2	Präzisierte Beurteilung der Verdichtungsgefährdung einzelner Ackerschläge eines Betriebes	27
6	Bewertung der Bewirtschaftungssysteme, der Anbaufolgen und der Technik	29
6.1	Beispiel Zuckerrübenanbau	30
6.2	Beispiel Getreideanbau	35
6.2.1	Getreideanbau in Marktfruchtbetrieben	35
6.2.2	Getreideanbau in Gemischtbetrieben	39
6.3	Beispiel Kartoffelanbau	44
6.4	Beispiel Silomaisanbau	48
7	Feldlängen- und Schlageinteilung am Beispiel der Maisernte (Transport)	51
8	Sanierung von Schadverdichtungen in Krumenbasis und Unterboden	54
9	Weitere Empfehlungen und Möglichkeiten zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen	55
9.1	Senkung des Reifeninnendruckes	55
9.2	Erhöhung der Aufstandsflächen	55
9.3	Verminderung der Radlasten und Überrollungen	56
9.4	Schlaggestaltung zur Vermeidung von Last- und Leerfahrten	56
9.5	Bodenschonende Gestaltung von Arbeitsverfahren	58
9.6	Verbesserung der Bodentragfähigkeit	58
10	Literatur	59

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

B	Bestimmtheitsmaß
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
KA	Kartieranleitung
LD	Lagerungsdichte
M %	Masseprozent (gravimetrisch)
MMK	Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung
n	Anzahl
nFK	Nutzbare Feldkapazität
S _R	Reststreuung
SVB	Schadverdichtungsbereich
SVGK	Schadverdichtungsgefährdungsklasse
TRD	Trockenrohdichte

1 BODENSCHUTZ IM LAND BRANDENBURG – ANFORDERUNGEN DES BUNDES-BODENSCHUTZGESETZES



1.1 Funktionen der Böden in Landschaften

1.1.1 Böden als Mittelpunkt von Ökosystemen

Fruchtbare Böden stellen seit Beginn des menschlichen Lebens eine wesentliche Grundlage für die Existenz und gesellschaftliche Entwicklung dar. Der Anteil der kulturfähigen Böden an der Landfläche der Erde ist relativ klein und kann kaum vergrößert werden. Nahezu alle fruchtbaren oder irgendwie nutzbaren Areale der Erde werden bereits vom Menschen bewirtschaftet. Dazu kommt die Erkenntnis, dass Böden sehr vielfältige Funktionen in der Umwelt ausführen können und müssen und so die Stabilität vieler Kreisläufe garantieren.

Der Grund dafür ist, dass Böden mit den anderen Systemen wie Hydrosphäre, Biosphäre, Atmosphäre und Lithosphäre in ständiger Wechselbeziehung stehen.

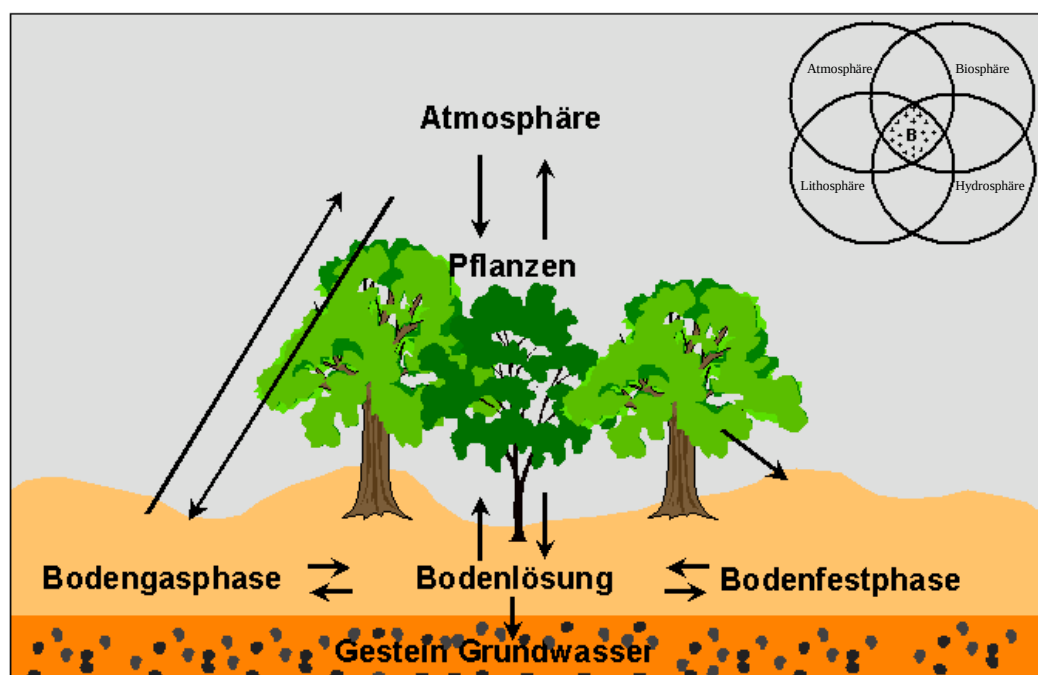


Abb. 1.1 Stellung des Bodens im Naturhaushalt

Alle Böden haben wichtige Funktionen zu erfüllen. Im Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) (1998) heißt es:

...(2) Der Boden erfüllt im Sinne des Gesetzes

natürliche Funktionen als:

Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,

Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,

Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers

Nutzungsfunktion als:

Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung...

„Schädliche Bodenveränderungen im Sinne dieses Gesetzes sind Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen...“

1.1.2 Böden als eine begrenzte und nur bedingt erneuerbare Ressource

Die Zeitspanne für die Entstehung der Böden ist sehr lang. Der Prozess begann in

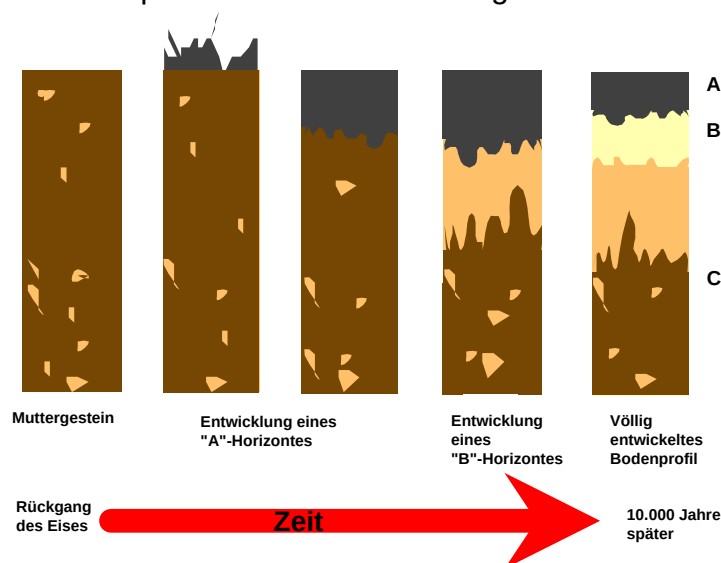


Abb. 1.2: Schema der Bodenentwicklung über einen langen Zeitraum

Brandenburg langsam mit der Erwärmung nach der letzten Eiszeit vor mehr als 10.000 Jahren. Die Bodendegradierung durch falsche Nutzung verläuft erheblich schneller und hat sich besonders im letzten Jahrhundert teilweise beschleunigt.

Das Klima hat sich in den gleichen Zeiträumen so geändert, dass kaum noch eine Bodenneubildung festzustellen ist. Die Bilanz zwischen Bodenneubildung und Bodendegradierung geht also nicht mehr auf, sondern der Anteil der zur Verfügung stehenden Ackerfläche nimmt

weltweit gegenwärtig durch Verbrauch und Degradierung weiter ab (WBGU, 1994). Zur Zeit beträgt der reale Verlust an Bodenfläche durch Versiegelung allein in der BRD täglich etwa 130 ha. Es bedarf staatlicher Regelungen zur Reduzierung dieses nicht auszugleichenden Verlustes. Keinesfalls dürfen noch Qualitätsverluste in großem Umfang auftreten.

Die Degradationserscheinungen werden in der Regel durch eine nicht standortangepasste Nutzung verursacht. Die Risiken sind regional verschieden verteilt.

In Brandenburg stellen Bodenerosion und Bodenschadverdichtung die am stärksten zu beachtenden Gefahrenpotentiale dar.



83 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche Brandenburgs werden als potentiell stark und sehr stark schadverdichtungsgefährdet ausgewiesen (siehe Kapitel 5).

Mit dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998) ist die Verpflichtung gegeben, Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung zu betreiben.

Abb. 1.3: Nassstelle im Frühjahr

1.2 Ziel des Bodenschutzes im Bundesbodenschutzgesetz

Im Mittelpunkt des Bodenschutzes steht der Erhalt der verschiedenen Bodenfunktionen. Da der Boden eine begrenzte, nicht vermehrbare Ressource ist, besteht die Notwendigkeit des sorgsamen Umgangs mit der vorhandenen Ressource, um eine nachhaltige Nutzungsmöglichkeit zu gewährleisten.

VORSORGE = NACHHALTIGKEIT		
ÖKOLOGISCH	→	Erhaltung der Bodenfunktionen für die Umwelt
ÖKONOMISCH	→	Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit zur Sicherung der Pflanzenproduktion
SOZIAL	→	Erhaltung der Lebensgrundlagen im ländlichen Raum

Um den Boden nachhaltig zu schützen, wurde 1998 das Bundesbodenschutzgesetz verabschiedet, dem ein Jahr später die entsprechende Verordnung folgte. Damit wird der nachhaltige Bodenschutz in einen rechtlichen Rahmen gestellt.

1.2.1 Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV)

Mit dem Inkrafttreten des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) 1998 und der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) 1999 sind verbindliche Forderungen für einen umfassenden stofflichen und nichtstofflichen Bodenschutz zu erfüllen.

Der Leitgedanke dieses Gesetzes ist, dass die Anforderungen an den Bodenschutz sowie an die Sanierung von Altlasten und Bodenschäden vereinheitlicht werden. Mit diesem Gesetz wurden die bisherigen Regelungen zum Bodenschutz und zur Sanierung der Altlasten aus verschiedenen Gesetzen und Rechtsbereichen weitgehend in einem eigenständigen Regelwerk vereint und erweitert.

Im Sinne des Gesetzes sind als Bodenschutzziele definiert:

1. Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden.
2. Nachhaltige Sicherung oder Wiederherstellung der Bodenfunktionen durch Abwehr schädlicher Bodenveränderungen.
3. Sanierung von Boden, Altlasten oder hierdurch verursachte Gewässer-
verunreinigungen.

§ 4 BBodSchG enthält die Pflichten zur Gefahrenabwehr.

§ 7 BBodSchG enthält die Regelung zur Vorsorgepflicht.

Vorsorge bedeutet, potentiellen Umweltbeeinträchtigungen frühzeitig entgegenzuwirken und Gefahren bzw. Schäden gar nicht erst entstehen zu lassen. Die **Vorsorgepflicht** wird für die land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung durch § 17 Abs. 1 und 2 konkretisiert.

Im BBodSchG bestimmt § 17 Abs. 1 Satz 1 BBodSchG, dass bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung die Vorsorgepflicht nach § 7 BBodSchG durch die gute fachliche Praxis erfüllt wird. Die Grundsätze der guten fachlichen Praxis definiert Abs. 2 näher. Werden die Anforderungen an die Grundsätze einer guten fachlichen Praxis mit den Zielen einer nachhaltigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit sowie der Leistungsfähigkeit des Bodens als natürlicher Ressource gemäß § 17 Abs. 2 BBodSchG erfüllt, werden die Vorsorgepflichten eingehalten. Dies ist bei einem standortgemäßen Betrieb der Landwirtschaft unter Einhaltung der Kriterien nach § 17 Abs. 2 BBodSchG der Fall. Dazu sollen z. B. alle Bodenbearbeitungsmaßnahmen standortangepasst erfolgen, die Bodenstruktur erhalten und Boden(schad)verdichtungen vermieden werden.

Über die in § 17 Abs. 2 BBodSchG genannten Grundsätze hinaus dürfen an die Vorsorge bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung keine anderen oder weitergehenden Anforderungen aus bodenschutzfachlicher Sicht gestellt werden.

Die Aufgaben für die Landwirtschaft sind besonders sowohl als Vorsorge wie auch als Nachsorge im § 17 BBodSchG als „gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft“ wie folgt konkret definiert:

Zur guten fachlichen Praxis gehört insbesondere, dass...

1. die Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung grundsätzlich standortangepasst zu erfolgen hat,
2. die Bodenstruktur erhalten oder verbessert wird,
3. Bodenverdichtungen, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks, soweit wie möglich vermieden werden...

Bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung wird die Vorsorgepflicht durch die gute fachliche Praxis erfüllt. Die landwirtschaftlichen Beratungsstellen sind laut § 17 BBodSchG beauftragt, den Landwirten entsprechende Hilfe und Unterstützung zu bieten und die Grundsätze der guten fachlichen Praxis zu vermitteln. Hierdurch sollen auch die Risiken einer unangepassten Landnutzung für den Boden, für seine Funktionen sowie für die Umwelt verdeutlicht werden. Handlungsempfehlungen auf Grundlage der guten fachlichen Praxis sollen grundsätzlich schädlichen Bodenver-

änderungen vorbeugen, wobei ein Restrisiko in jedem Fall bestehen bleibt, weil nicht alle Einflussfaktoren optimiert werden können.

1.3 Bodenschutz in Brandenburg und die agrarpolitischen Rahmenbedingungen

In Brandenburg ist die Gefahr der Boden(schad)verdichtungen vorhanden. In den meisten Fällen kann mittelfristig der Pflicht zur Vorsorge unter den hiesigen Witterungs- und Standortbedingungen mit geeigneten, dem Risiko angepassten Maßnahmen erfolgreich entsprochen und Bodenschutz betrieben werden.

Für die Landwirte ergeben sich klare Anforderungen und Realisierungsmöglichkeiten insbesondere zum vorsorgenden Bodenschutz.

Die Agrarpolitik widmet dem Bodenschutz zunehmend stärkere Aufmerksamkeit. Das Ziel ist, eine flächendeckende umweltverträgliche Bewirtschaftung des Bodens zu gewährleisten.

Im Land Brandenburg obliegt die Beratung der Verantwortung des Landesamtes für Verbraucherschutz und Landwirtschaft (LVL).

Im Land Brandenburg wird dieser Auftrag erfüllt, indem Konsultationsbetriebe eingerichtet werden, die von der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Güterfelde und dem Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) Müncheberg zu Fragen des Bodenschutzes unterstützt werden. Daneben erfolgen Weiterbildungsveranstaltungen über die Brandenburgische Landwirtschaftsakademie (BLAK) zur Vorsorge gegen Bodenerosion und Bodenschadverdichtung. Neuerdings werden diese Aktivitäten durch den Runden Tisch „Nachhaltige Bodennutzung“ begleitet.

Folgende Materialien stehen den Beratern zur Verfügung:

- Merkblätter Bodenerosion in Brandenburg (1997)
- Informationsheft zum landwirtschaftlichen Bodenschutz im Land Brandenburg, Teil Bodenerosion (2002)
- Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion (2001)

Die Bund/Länder- Arbeitsgemeinschaft Boden (LABO), die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) sowie die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) haben in den vergangenen Jahren wertvolle Materialien als Entscheidungshilfen zur Gefahrenabwehr erarbeitet.

Eine ständige Arbeitsgruppe von Bodenspezialisten der Länder, angegliedert an die Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), arbeitet intensiv an Umsetzungsempfehlungen des § 17 des BBodSchG.

1.4 Realisierte Maßnahmen und neue Aufgaben

Als nächste Aufgaben sind zu nennen:

- Einbeziehung und Umsetzung des Bund-Länder-Papier: „Gute fachliche Praxis gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion“ im Land Brandenburg
- Fachliche Einbeziehung und Umsetzung der „Anforderungen an eine nachhaltige Landwirtschaft aus Sicht des Bodenschutzes“ aus dem Papier: „Eckpunkte für eine zukunftsfähige Agrar- und Verbraucherpolitik“ (Weiterentwicklung der Agrarpolitik durch eine verstärkte Einbeziehung von Verbraucher-, Natur-, Umwelt- und Tierschutzaspekten) der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO, 2001).
- Weitere Entwicklung des Teilflächenmanagement, Mulchsaatverfahren, pflugloser Bestellung, Begrünung von stark gefährdeten Teilflächen u.a..
- Kontrolle bei der Umsetzung der guten fachlichen Praxis.
- Verstärkte Forschung und Beratung auf dem Gebiet des Bodenschutzes .

Unterstützende Maßnahmen für den vorsorgenden Bodenschutz im Land Brandenburg:

I. Das MLUR des Landes Brandenburg hat Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen für investive Maßnahmen zur Förderung umweltgerechter Produktionsverfahren im Pflanzenbau erarbeitet. Auf dieser Basis können Fördermittel für standortgerechte Maschinen, Geräte und Transportmittel sowie Produktionsverfahren in der Pflanzenproduktion beantragt werden (KULAB, 2000).

Gefördert werden unter anderem:

- 1) Niederdruckbereifung an Maschinen, Geräten und Transportmitteln sowie Reifendruckverstellanlagen
- 2) Maschinen und Geräte zur pfluglosen Bodenbearbeitung insbesondere zur Mulch- und Direktsaat
- 3) Technik zum integrierten Pflanzenschutz

(Auszug der besonders in diesem Konsens wertvollen Förderansätze aus einem umfangreichen Angebot)

II. Es wurde ein Beratungskonzept zur Umsetzung des § 17 des BBodSchG erarbeitet. Im Rahmen der Zuständigkeitsregelung wurde das Landesamt für Verbraucherschutz und Landwirtschaft (LVL) verantwortlich gemacht (Gesetz- und Verordnungsblatt BB Teil II).

1.5 Vorsorge im Land Brandenburg – Teil Bodenschadverdichtung

- Bodenschadverdichtung gehört zu den Risiken der agrarischen Produktion, da die Flächen befahren werden müssen. Viele Böden des Landes Brandenburg gehören zu den gefährdeten Bodenarten. Doch ist das Risiko durch standortangepasste Vorsorge zu beherrschen und zu vermindern. Nicht jede Bodenverdichtung ist eine Schadverdichtung, daher ist eine möglichst genaue Bewertung der tatsächlichen Risiken notwendig. Für Brandenburg liegt diese Bewertung vor.
- Schutz vor Bodenschadverdichtung erfolgt überwiegend mittels Vorsorgemaßnahmen. Ein Konzept zur mittel- und langfristigen Vorsorge wird für die Landwirtschaftsbetriebe Brandenburgs nachfolgend dargestellt.
- Eine qualifizierte Beratung der Landnutzer sowie der mit dem Vollzug des Bodenschutzes betrauten Einrichtungen ist unerlässlich. Das trifft besonders für den vorsorgenden Bodenschutz zu. Dazu werden speziell auf dem Gebiet des Bodenschutzes ausgebildete Berater benötigt, die einen wesentlichen Beitrag zur Akzeptanzerhöhung in der Praxis leisten werden. Die Wissenschaft ist verpflichtet, entsprechend aufbereitetes Material bereitzustellen.

2 DEFINITION UND BEDEUTUNG DER BODENSCHADVERDICHTUNG LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTER BÖDEN

Ein „idealer“ Boden hat eine ausgeglichene Zusammensetzung aus Mineralstoffen, Wasser, Luft und organischem Material (Abb. 2.1).

Die räumliche Anordnung der festen mineralischen und organischen Bestandteile des Bodens mit den dazwischenliegenden Hohlräumen wird als Bodengefüge bezeichnet. Die Art und Ausprägung des Bodengefüges bestimmt Menge und Form der Hohlräume für Bodenluft, Bodenwasser, Bodenleben und damit die Eignung des Bodens als Pflanzenstandort.

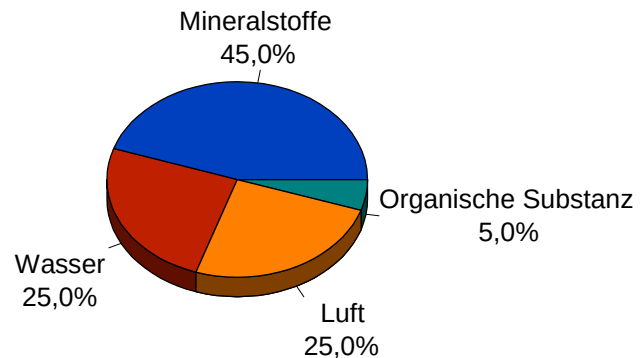


Abb. 2.1: Zusammensetzung idealer Böden

Jeder Boden hat in Abhängigkeit von seiner Zusammensetzung und vom aktuellen Wassergehalt ein charakteristisches Gefüge. Demzufolge variiert auch das Hohlraumssystem sehr stark. Tonböden mit ausgeprägtem Quellungs- und Schrumpfungsverhalten bilden ein ganz anderes Gefüge als z. B. tonarme Sandböden aus.

Das Bodengefüge unterliegt im Laufe des Jahres einer großen Dynamik. Das hängt von der Bodentemperatur, dem Bodenwassergehalt, der biologischen Aktivität und den mechanischen Eingriffen infolge der Bodenbearbeitung ab.

2.1 Was ist Bodenverdichtung?

Bodenverdichtung ist eine Gefügeveränderung. Sie äußert sich in einer funktionalen Änderung des Poren- oder Hohlraumsystems. Nicht jede Abnahme des Porenvolumens kann schon als Schadverdichtung bezeichnet werden, denn die Böden neigen bereits wegen ihres Eigengewichtes und der Gravitation zur Verdichtung. Die Verdichtung ist in bestimmten Grenzen tolerabel, zum Teil ist eine Rückverfestigung sogar erwünscht wie z. B. zur Herstellung eines abgesetzten Saatbettes mit Bodenschluss.

Beim Verdichtungsverfahren nimmt der Festsubstanzanteil am Bodenvolumen relativ zu, weil sich das Porenvolumen verringert. Das in den Bodenporen befindliche Wasser fördert diesen Vorgang, weil es als Gleitfilm für die Partikelbewegung wirkt.

Feuchte Böden sind deshalb wesentlich verdichtungsempfindlicher als trockene Böden.

Wird der Boden allerdings über seine Eigenstabilität hinaus belastet, so gibt das Bodengefüge dem Druck nach. Bodenpartikel und Bodenaggregate werden soweit zusammengeschoben bis ein Ausgleich mit dem einwirkenden Druck hergestellt ist.

Dies geschieht oftmals, wenn Ackerböden beim Befahren mit Landmaschinen zu stark belastet werden oder wenn der Bodenwassergehalt sehr hoch ist.

2.2 Was ist Bodenschadverdichtung?

Ob Böden normal verdichtet oder schadverdichtet sind, kann nur in Zusammenhang mit ihren Funktionen beurteilt werden.

Böden sind aus ökologischer Sicht als schadverdichtet anzusehen, wenn infolge technogener Überlastung das Porensystem im Boden soweit reduziert ist, dass die Produktions-, Regelungs- und Lebensraumfunktionen zeitweilig oder dauerhaft beeinträchtigt werden. Das bedeutet für einen Pflanzenbestand eine Verschlechterung der Versorgung mit Sauerstoff, Wasser sowie Nährstoffen und führt zu einer dauerhaften Beeinträchtigung der Ertragsfähigkeit und Ertragssicherheit. Das bedeutet weiterhin, dass die Infiltration von Niederschlagswasser in den Boden und die Wasserspeicherung gestört sind. Außerdem sind die Lebensbedingungen für Bodentiere und Mikroorganismen drastisch verschlechtert.

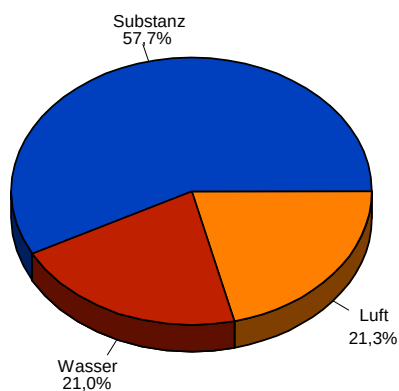


Abb. 2.2: Porenraumverteilung im gesunden Boden (TRD 1,51 g/cm³)

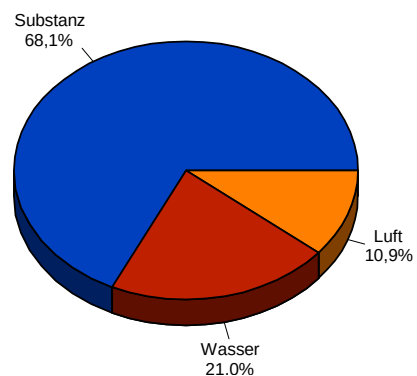


Abb. 2.3: Porenraumverteilung im schadverdichteten Boden (TRD 1,71 g/cm³)

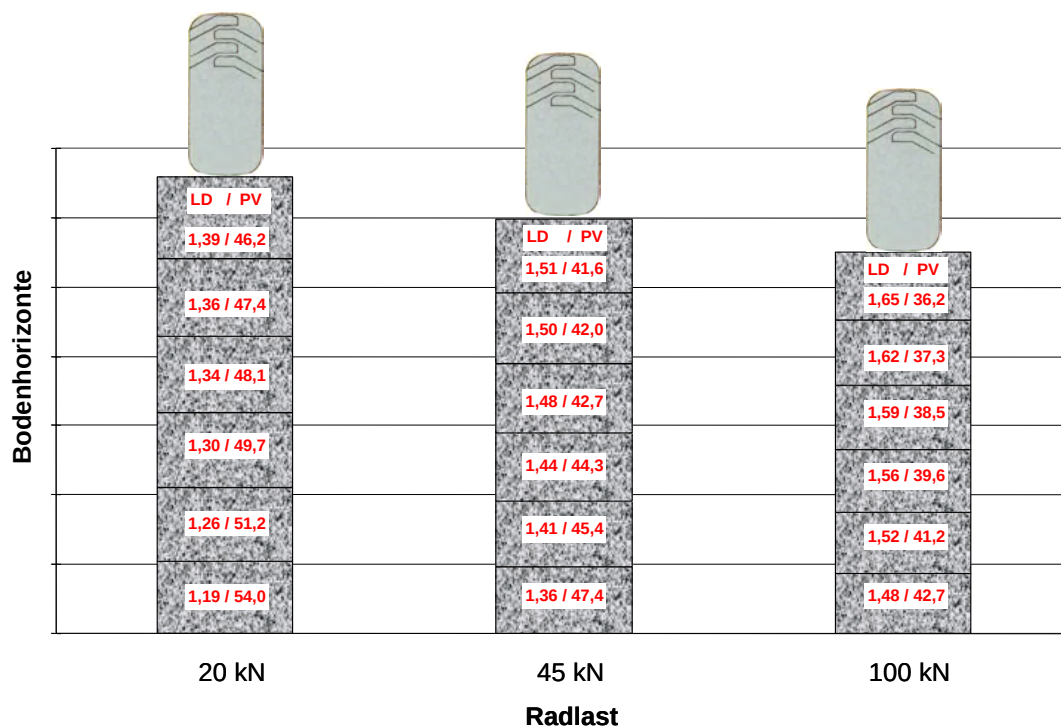


Abb. 2.4: Veränderung der Lagerungsdichte (LD in g/cm³) sowie des Porenvolumens (PV in %) in den Bodenhorizonten eines Beispielsbodens (Ls4; 20 % Ton; 25 % Schluff, 70 % Sand, 1,52 % organische Bodensubstanz)

Die Darstellung (Abb. 2.4) gibt die Erklärung für das unterschiedliche Verhalten eines Beispielbodens infolge differenzierter Belastung. Bei diesem Beispiel tritt bis 45 kN Radlast noch keine Schadverdichtung ein, während bei 100 kN Radlast eine Verdichtung bis in 60 cm Bodentiefe einsetzt.

2.3 Wie können Schadverdichtungen in Böden erkannt werden?

Der beste Indikator für den Gefügezustand der Böden sind die Pflanzenbestände auf den Ackerflächen.

Vergilbte und ungenügend entwickelte Pflanzen auf Schlagteilen, ungleichmäßig entwickelte Pflanzenbestände auf einer Fläche deuten auf sogenannte Strukturschäden in Krume oder Unterboden hin.



Abb. 2.5: Wurzeldeformationen infolge von Schadverdichtungen

Oftmals kann man die Schadverdichtungen in Fahrspuren (Abb. 2.6) oder auf lange vernässten Teilflächen direkt erkennen (Abb. 2.7).

Mittels einer Sonde oder eines Spatens kann man Beeinträchtigungen des Wurzelwachstums (Abb. 2.5) durch Schadverdichtungen und die Tiefe und Ausprägung von verdichteten Horizonten im Bodenprofil gut erkennen.



Abb. 2.6: Wasser in Fahrspuren



Abb. 2.7: Vernässungen als Hinweis auf Schadverdichtungen

Etwas mehr Erfahrung verlangt das Erkennen von folgenden Merkmalen der Schadverdichtung:

- ⇒ Das Gefüge ist kompakt, porenarm und bricht scharfkantig.
- ⇒ Das durch Pflanzenwurzeln und Regenwürmer erzeugte Leitbahnsystem im Boden ist zerstört (Abb. 2.9 und 2.10).
- ⇒ Die Durchwurzelung ist in Tiefe und Menge deutlich reduziert (Abb. 2.8).



Abb. 2.8: Gute Durchwurzelung in lockerem Boden (links) im Vergleich zu gestörter Durchwurzelung in verdichtetem Boden (rechts)

Mit in der Wissenschaft verfügbaren Methoden kann man erkennen, dass in verdichteten Böden die Anzahl durchgängiger Poren reduziert oder die Durchgängigkeit unterbrochen ist (Abb. 2.9).

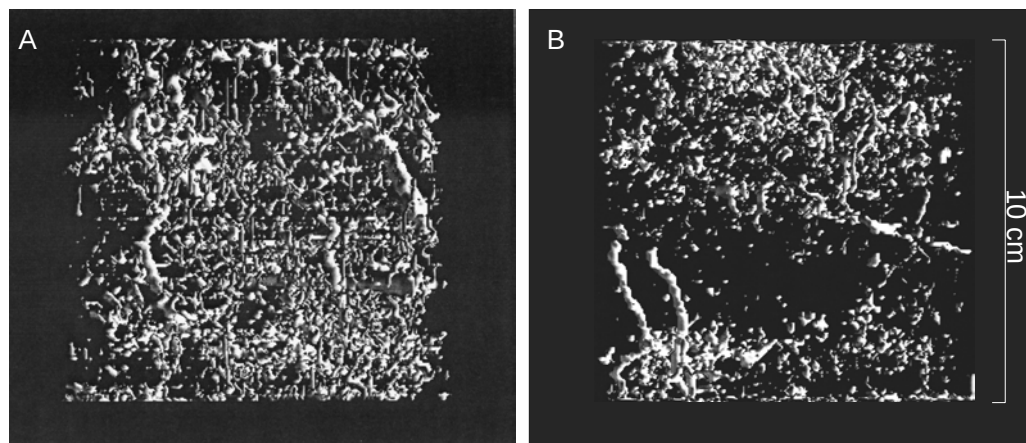


Abb. 2.9: Porenraumverteilung in normal verdichteten (A) und schadverdichteten Böden (B) am Beispiel einer Parabraunerde (Ackerkrume) (ROGASIK, 1996)

Mit Hilfe von Dünnschliffen kann man Verdichtungen an der Krumbasis sichtbar machen und gewinnt einen Eindruck, wie z. B. die Wasserinfiltration und das Wurzelwachstum abrupt unterbrochen werden (Abb. 2.10).

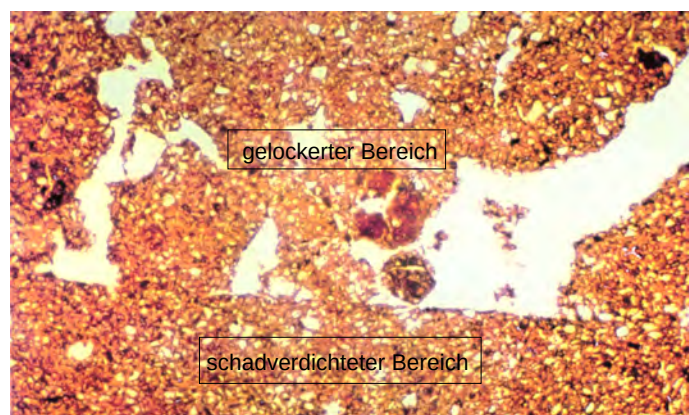


Abb. 2.10: Dünnschliff mit deutlichem Hinweis auf Krumbasisverdichtungen

2.4 Welche Indikationsmethode kann nun vorgeschlagen werden?

Es gibt verschiedene Erkennungs- und Vorsorgekonzepte und damit verschiedene Indikationsmethoden.

Um den Boden gegen Schadverdichtungen effektiv und nachhaltig schützen zu können, wird der Indikator Pflanzenentwicklung als am sichersten angesehen, weil Pflanzenwurzeln auf alle Bodenveränderungen sensibel reagieren. Pflanzen entwickeln sich am besten, wenn sie eine intakte Bodenstruktur (Bodenlagerungszustand) vorfinden.

Aus langjährigen Versuchen wurde eine enge Korrelation zwischen Pflanzenentwicklung und Lagerungsdichte ermittelt (Abb. 2.11).

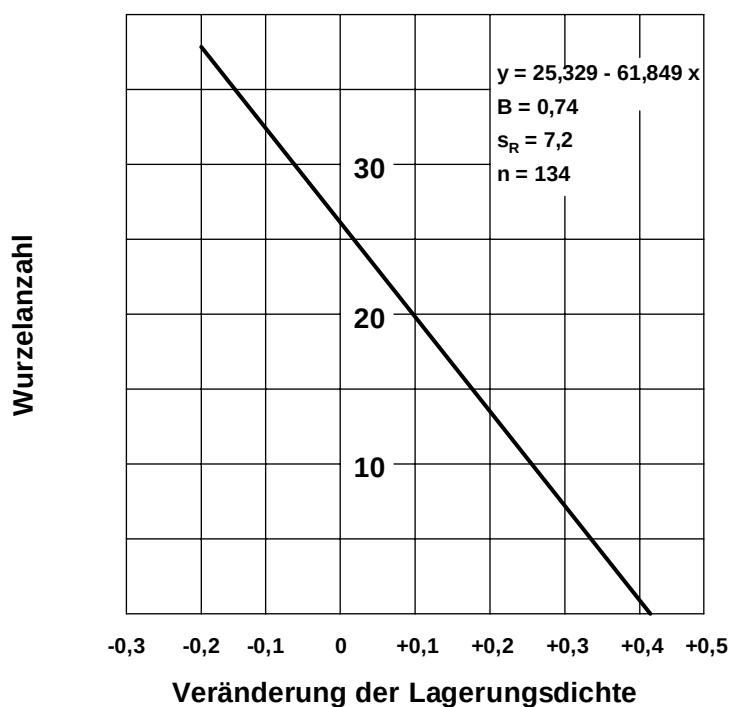


Abb. 2.11: Korrelation zwischen Wurzelanzahl und Lagerungsdichte (Verallgemeinerung aus 134 Versuchen mit verschiedenen Böden)

Sicherlich kann durch die Lagerungsdichte alleine keine komplexe Charakterisierung des Gefügestandes ohne Berücksichtigung des Bodensubstrates gegeben werden. Es ist aber der einzige Parameter, der durch die Bodenbearbeitung und Bodenbelastung gezielt verändert werden kann. In der Praxis ist durch einfache Methoden, wie Penetrometermessungen die Ausprägung und Tiefenlage bestimmbar. In Bezug zur Pflanzenentwicklung ist sie signifikant abgesichert.

Es ist naheliegend und für den Praktiker nachvollziehbar, wenn der Verdichtungsstatus der Böden sowie Begrenzungen der mechanischen Bodenbelastung bzw. Richtwerte für den zulässigen Bodendruck von Maschinen, Geräten und Transportmitteln vor allem pflanzenökologisch definiert und aus den verdichtungsbedingt zu erwartenden Ertragsausfällen hergeleitet werden. So können ökologische Schadverdichtungsstufen und –bereiche definiert werden.

In vorliegendem Indikationskonzept wird der optimale Lagerungsdichtebereich bearbeiteter Krumböden definiert als der Lagerungsdichtewert (g/cm^3) $\pm 0,05 \text{ g/cm}^3$

(Abb. 2.11), bei dem keine Ertragseinbußen auftreten. Dieser Bereich ist für jeden Standort abhängig von der vorherrschenden Bodenart und dem Bodenaufbau verschieden, daher wird in der Übersichtsabbildung 2.12 nicht mit absoluten Trockenrohdichtewerten sondern mit deren Veränderungen gearbeitet.

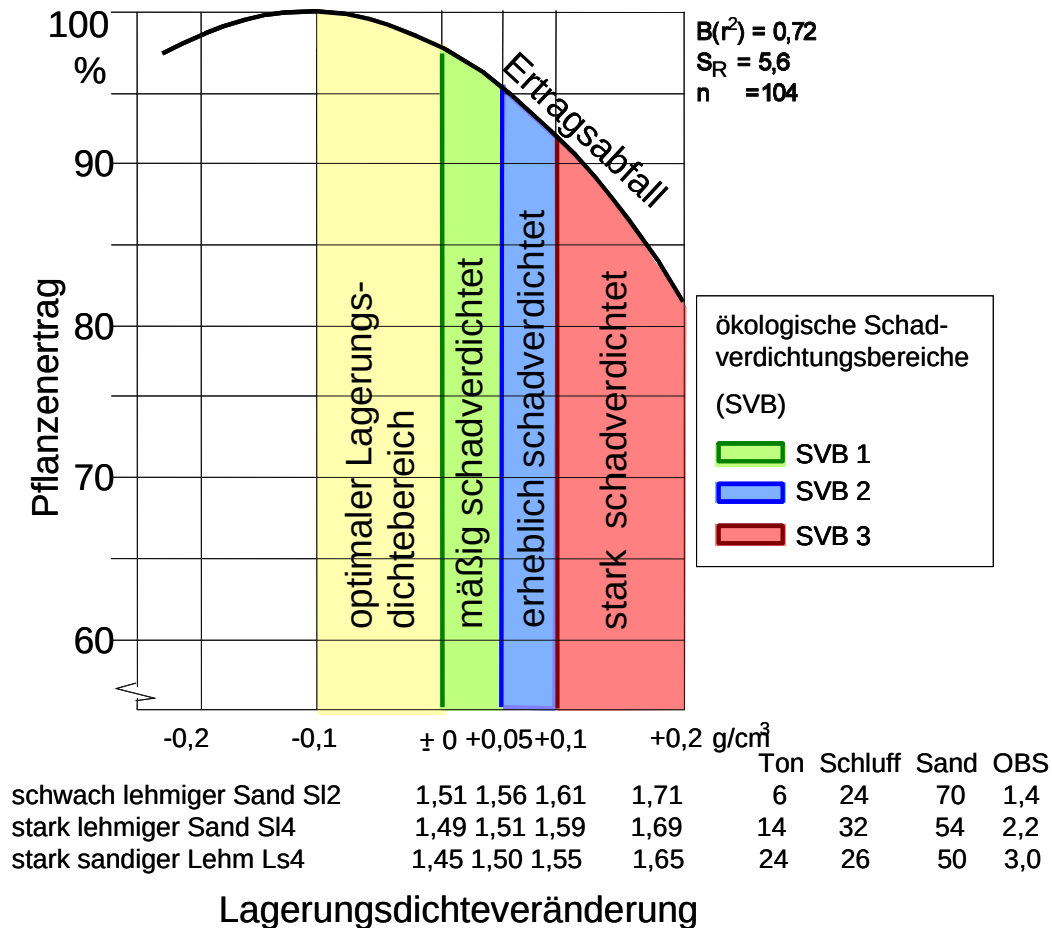


Abb. 2.12: Pflanzenabhängige ökologische Schadverdichtungsgebiete (abgeleitet aus der Beziehung zwischen Lagerungsdichteveränderung und Pflanzenertragsabfall, basierend auf 104 Ertragsermittlungen auf verschiedenen Standorten bei paralleler Lagerungsdichtebestimmung)

Steigt die Lagerungsdichte über den substratspezifischen optimalen Bereich hinaus an, fallen die Erträge immer stärker ab. Daraus ist abzuleiten, dass eine pflanzenökologisch wirksame und nachweisbare Schadverdichtung verschiedener Stärke zu diesem Ertragsabfall führt.

Die vorgenommene Unterteilung in die **Schadverdichtungsgebiete** wird aus der Ertragskurve abgeleitet:

- ⇒ 2 bis 5 % Ertragsabfall: mäßig schadverdichtet (grün)
- ⇒ 5 bis 10 % Ertragsabfall: erheblich schadverdichtet (blau)
- ⇒ über 10 % Ertragsabfall: stark schadverdichtet (rot)

Definition der Schadverdichtungsbereiche (SVB):

Optimalbereich: Pflanzenernährung und Bodenfunktionen sind nicht beeinträchtigt.

SVB 1 beginnt an der oberen Grenze des optimalen Lagerungsdichtebereiches.

SVB 1 bedeutet, dass es zu mäßigen Pflanzenwurzelbeeinträchtigungen kommen kann.

SVB 2 beginnt bei Schadverdichtungen, die um $0,05 \text{ g/cm}^3$ oberhalb des optimalen Lagerungsdichtebereiches liegen.

SVB 2 bedeutet, dass ein Bereich beginnt, bei dem durch erhebliche Schadverdichtungen die Pflanzenentwicklung und indirekt die Bodenfunktionen beeinträchtigt sind.

SVB 3 beginnt bei Schadverdichtungen, die um $0,10 \text{ g/cm}^3$ oberhalb des optimalen Lagerungsdichtebereiches liegen.

SVB 3 bedeutet, dass die Pflanzenentwicklung und indirekt die Bodenfunktionen stark bis sehr stark beeinträchtigt sind.

Die hier vorgestellte Einteilung in Schadverdichtungsbereiche erlaubt es, die Verdichtbarkeit verschiedener Bodenarten, die im Kompressions- und Schertest ermittelt wurde, zu bewerten und sogenannte Schadverdichtungsgefährdungsklassen (SVGK) vorzuschlagen (Kapitel 5).

3 WELCHE FAKTOREN FÜHREN ZU BODENSCHADVERDICHTUNGEN UND WIE VERÄNDERN SICH WICHTIGE BODENPARAMETER?

Auf Ackerflächen können Schadverdichtungen in Krume und Unterboden eigentlich nur durch technogene Bodenbelastungen entstehen. Die notwendige Entwicklung zu leistungsstarken Ackerschleppern, Erntemaschinen und Transportfahrzeugen wird vielfach mit höheren Radlasten erkauft. Das führt auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen zu einer über die Verträglichkeit hinausgehenden Belastung, in deren Ergebnis vielfach Bodenschadverdichtungen verschiedener Ausprägungsgrade auftreten. Damit verbunden ist in der Regel eine Abnahme der Bodenfunktionalität.

Welche Faktoren bewirken diese Zunahme der Dichtlagerung?

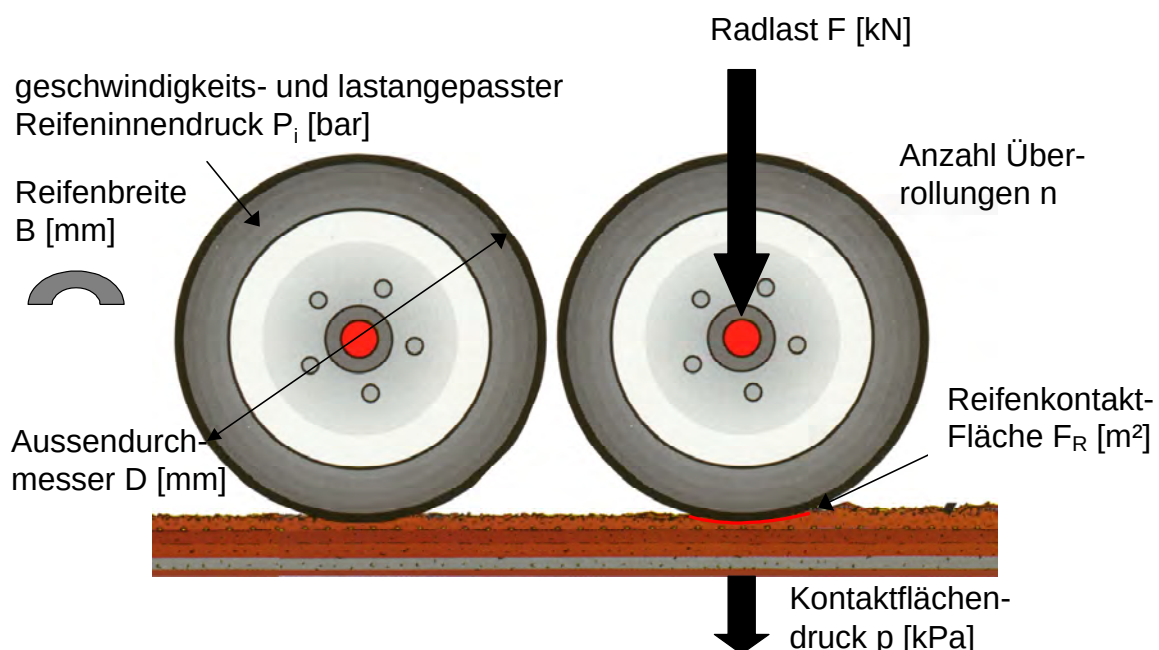


Abb. 3.1: Größen, die die technogene Belastung bewerten

Zur Ermittlung der betroffenen Flächenanteile und der Intensität der Belastung für einzelne Räder einer Achse, für einzelne Feldarbeitsgänge, eine gesamte Anbautechnologie einer Frucht bzw. ganzer Fruchtfolgen ist die positionsgerechte Belastungsanalyse entwickelt worden. Sie ermöglicht die Erfassung der Kenngrößen, die die Bodenverdichtung hauptsächlich beeinflussen.

Diese Kenngrößen sind der Kontaktflächen-druck (kPa), die Radlast (kN) und die Anzahl der Überrollungen in der Systemarbeitsbreite bei der technologischen Arbeitsbreite und der dadurch bedingten technogen betroffenen Bodenareale (summierte und tatsächlich befahrene Spurfläche).

Durch die Ermittlung der Tiefenwirkung des Raddrucks ist auch der Schutz der Unterböden vor Schadverdichtung gegeben.

Die Bewertung der Eignung der einzelnen Räder einer Achse für den vorgesehenen Einsatz unter den gegebenen Bodenfeuchtebedingungen ist durch den Vergleich mit dem Belastungsbereich des Standortes möglich.

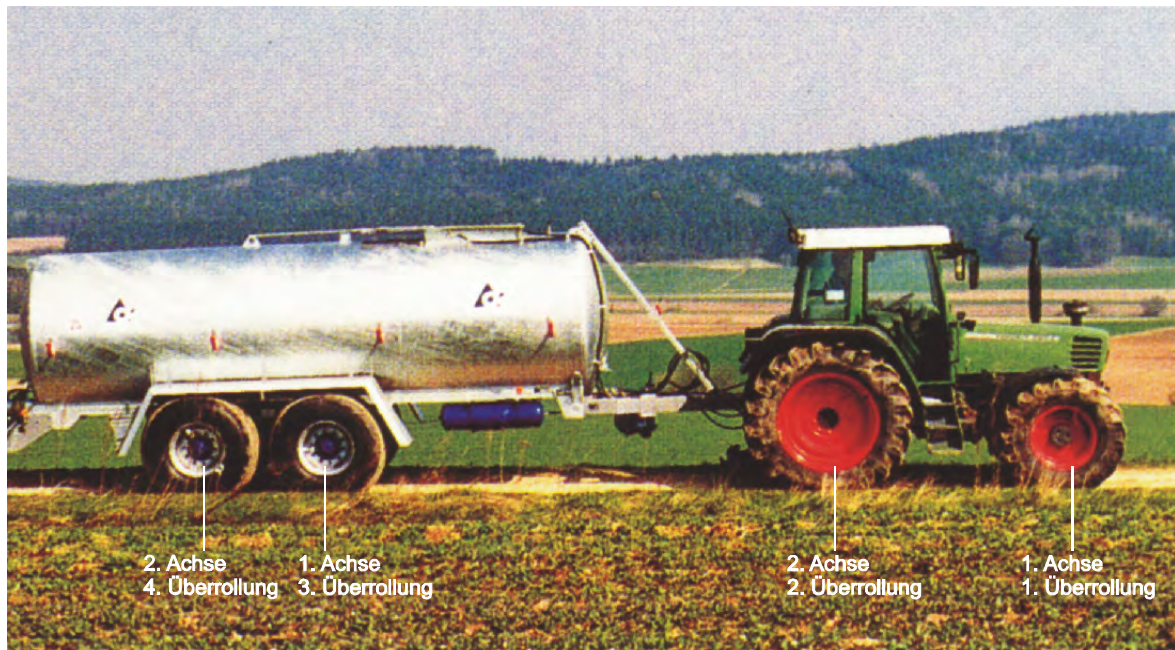


Abb. 3.2: Achsen und Überrollungen eines Traktors mit Güllefahrzeug

Die technogene Beanspruchung wird bewertet durch die Ermittlung:

- der betroffenen Flächenanteile (befahrene und summierte Spurfläche [%]),
- der Radlast F je Rad [kN],
- der Reifendimension (Tragfähigkeit [kg]), Reifenbreite B [mm], Aussendurchmesser D [mm],
- des Reifeninnendruckes P_i [bar] (Abb. 3.3),
- der Reifenkontaktfläche F_R [m²] ($F_R = B \cdot D / 4$),
- des Kontaktflächendrucks p [kPa] ($p = F / F_R$),
- der Anzahl der Überrollungen n .

Die Eigenstabilität eines Bodens ist abhängig von:

- dem Bodensubstrat (Textur und Humusgehalt),
- der Lagerungsdichte [g/cm³],
- der Bodenfeuchtigkeit (Gehalt an beweglichem Bodenwasser) [% nFK].

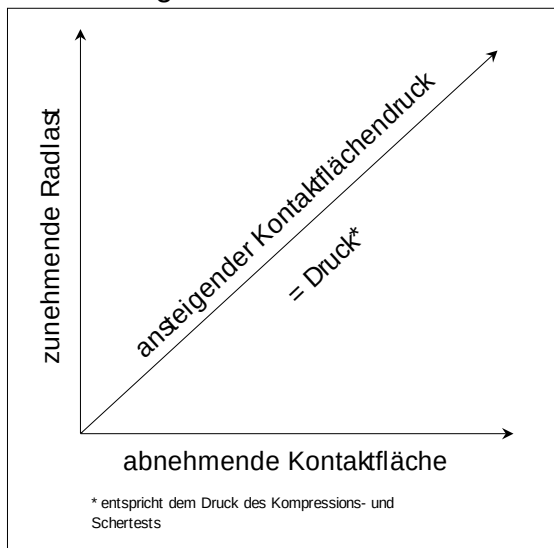
Wird durch einen Belastungsimpuls die vorhandene Eigenstabilität überschritten, wird der Boden verdichtet. Von einem bestimmten Punkt an erfolgt eine negative Beeinflussung der Pflanzen und der Bodenfunktionen, dann spricht man von Schadverdichtungen.

SUPER - LARGE X M 27, X M 28, X M 609

Reifen- inhalt	Größe	Reifen	Betriebs- kennung (Zusatzbetriebs- kennung)	Felgen	Schlauch 5)	Neureifenmaße				Tragfähigkeit (kg) pro Reifen bei Luftdruck (bar)														km/h		
						Breite	Außen- durchm.	Halb- messer statisch	Abroll- um- fang	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,4	2,6	2,8	3,2		3,8	
						mm	mm	mm	mm																	
Liter																										
700	620/75 R 26 (23.1 R 26)	X M 27 Tubeless	155 A8 (152 B)	DW 18L DW 20A	26 VFT	625	1575	688	4720	-	-	2340	2580	2830	3070	3310	3550									50
688			166 A8			588	1602	721	4755	-	-	-	-	2860	3120	3380	3640	3850	4270	4470	4680	4890	5300			40
840	750/65 R 26 (28 LR 26)	X M 27 Tubeless	158 A8 (155 B)	DW 25A	26 YBT	735	1610	700	4750	-	-	2560	2820	3080	3350	3610	3880									30
										-	2550	2960	3280	3600	3910	4230	4550									40
										-	3250	3760	4160	4570	4970	5370	5770	6380	Bei 1,9 bar							10
525	600/65 R 28	X M 28 Tubeless	147 A8 (144 B)	DW 18L DW 20A	-	582	1490	665	4415	-	-	1850	2040	2230	2420	2610	2800									50
										-	-	2000	2210	2430	2640	2860	3080									40
										1550	1840	2140	2370	2600	2830	3060	3290									30
										1980	2350	2720	3010	3300	3590	3890	4180	4610	Bei 1,9 bar							10
755	620/75 R 30 (23.1 R 30)	X M 27 Tubeless	155 A8 (152 B)	DW 18L DW 20A	30 VFT	605	1698	737	5056	-	-	2340	2580	2830	3070	3310	3550									50
														-	-	2520	2790	3060	3330	3600	3880					
										-	2320	2700	2990	3280	3570	3860	4150									30
										-	2960	3430	3800	4160	4530	4900	5260	5810	Bei 1,9 bar							10
745			168 A8			604	1710	771	5085	-	-	-	-	3020	3300	3570	3850	4070	4510	4720	4940	5160	5600		40	
										-	-	-	-	3240	3530	3820	4120	4360	4820	5050	5290	5520	5990		30	
										-	-	-	-	4130	4480	4820	5170	5470	6050	6340	6640	6930	7520	8400	10	
880	650/75 R 32 (24.5 R 32)	X M 28 Tubeless	159 A8 (156 B)	DW 20A DW 21A	32 WT	638	1821	807	5356	-	-	2640	2910	3180	3460	3730	4000									50
										-	-	2840	3150	3460	3760	4070	4380									40
										2200	2620	3040	3370	3700	4030	4350	4680									30
										2820	3350	3870	4290	4700	5110	5530	5940	6560	Bei 1,9 bar							10
990	680/75 R 32	X M 27 Tubeless	164 A8 (161 B)	DW 20A DW 21A	32 YT	675	1839	803	5430	-	-	3050	3370	3680	4000	4310	4630									50
		X M 28 Tubeless											-	-	3250	3600	3950	4300	4650	5000						
						675	1865	810	5475	2510	3000	3480	3860	4230	4600	4980	5350									30
										3230	3830	4430	4900	5370	5840	6320	6790	7500	Bei 1,9 bar							10
1150	800/65 R 32 (30.5 LR 32)	X M 27 Tubeless	167 A8 (164 B)	DW 27A	32 YET	798	1820	796	5355	-	-	3300	3640	3980	4320	4660	5000									50
		X M 28 Tubeless											-	-	3540	3920	4310	4690	5070	5450						
						798	1838	805	5400	2740	3270	3800	4200	4610	5020	5420	5830									30
										3520	4170	4820	5340	5850	6370	6890	7400	8180	Bei 1,9 bar							10
1680	1050/50 R 32 (73x44.00-32)	X M 609 Tubeless	174 A8 (171 B)	36.0 VA	-	1080	1863	796	5500	-	-	3300	3870	4440	5010	5580	6150									50
										-	-	3850	4420	4990	5560	6130	6700									40
										-	-	4160	4760	5360	5960	6570	7170									30
										3370	4400	5440	6150	6860	7570	8280	8990	9700	10050	Bei 1,9 bar						10
825	620/75 R 34 (23.1 R 34)	X M 27 Tubeless	170 A8	DW 18L DW 20A	34 WT	590	1814	827	5405	-	-	-	-	3240	3530	3830	4120	4360	4830	5060	5300	5530	6000		40	
										-	-	-	-	3470	3780	4100	4410	4670	5170	5420	5670	5920	6420		30	
										-	-	-	-	4430	4800	5170	5540	5860	6490	6800	7120	7430	8060	9000	10	
1150	710/75 R 34	X M 27 Tubeless	168 A8 (165 B)	DW 23A	34 YET	687	1931	845	5705	-	-	3400	3750	4100	4450	4800	5150									50
		X M 28 Tubeless											-	-	3640	4030	4420	4820	5210	5600						
						687	1953	845	5774	2820	3360	3900	4320	4740	5160	5570	5990									30
										3610	4280	4960	5490	6020	6550	7080	7610	8400	Bei 1,9 bar							10
782	620/70 R 38	X M 27 Tubeless	170 A8	DW 18L DW 20A	38 VT	615	1870	853	5575	-	-	-	-	2880	3150	3430	3700	3990	4570	4850	5140	5430	6000		40	
										-	-	-	-	3080	3360	3630	3900	4220	4850	5160	5480	5790	6420		30	
										-	-	-	-	3850	4170	4480	4800	5190	5950	6330	6710	7090	7850	9000	10	

Abb. 3.3: Auszug aus einem Reifenkatalog

Folgende Parameter charakterisieren die Entstehung des Druckes durch die Lasteneinträge:



Radlast und Kontaktfläche ergeben den Kontaktflächendruck

Die nebenstehende Skizze zeigt schematisch, dass mit zunehmender Radlast und abnehmender Kontaktfläche ein Anstieg des Kontaktflächendrucks (gleich Druck) erfolgt.

Abb. 3.4: Zusammenspiel zwischen Kontaktfläche und Radlast im Kontaktflächendruck

Die veränderten Radlasten auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens geht aus Tab. 3.1 hervor. Als Beispiel dient ein Rad (Dimension: 60 cm breit, Außendurchmesser 1,88 m, Kontaktfläche 0,282 m²), das mit 20, 45 und 100 kN Radlast auf den Boden einwirkt.

Die bisherigen Veränderungen der physikalischen Parameter wurden nach zwei Überrollungen gemessen. In der Regel finden wesentlich mehr Überfahrten statt.

Tab. 3.1: Einfluss der Bodenbelastung durch 3 verschiedene Radlasten auf die Lagerungsdichte, wichtige bodenphysikalische Parameter und die Pflanzenerträge für einen Beispielsboden der Bodenart stark lehmiger Sand (SI4) nach 2 Überrollungen

**Bodenart : SI4
stark lehmiger Sand**

**Bodensubstrat : 14 % Ton, 32 % Schluff, 54 % Sand, 2,2 % OBS
Bodenfeuchte : 70 % nFK (15,4 M%)**

Belastungsparameter / Bodendruckparameter bei:

Kontaktfläche	[m²]	0,282 (Reifenbreite : 60 cm)		
Radlast	[kN]	20	45	100
		(geringe Radlast)	(hohe Radlast)	(sehr hohe Radlast)

Mittl. Kontaktflächendruck bei 70 % nFK

[kPa]	70	160	380
--------------	-----------	------------	------------

Bodenphysikalische Parameter

Lagerungsdichte	[g/cm³]	1,49	1,59	1,69
Porenvolumen	[%]	42,9	39,1	35,1
Schichtstärke des Ap	[cm]	30,0	28,1	26,4
Luftkapazität	[%]	14,4	8,7	4,0

Pflanzenerträge

relative Ertragsverluste	[%]	0	8	19
---------------------------------	------------	----------	----------	-----------

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits nach einer Überfahrt (2 Überrollungen) durch 45 kN Radlast eine Verschlechterung des Bodenzustandes (Porenvolumen, Schichtstärke der Ackerkrume und Luftkapazität) eintreten. Daraus resultiert ein relativer Ernteverlust von 8 %.

Betrachtet man den Bodenzustand nach einer Überfahrt mit einer Radlast von 100 kN wie z. B. bei einem Bunkeroderrad, so nimmt die Lagerungsdichte weiter zu und die eben genannten Bodenzustandskennwerte verschlechtern sich noch weiter. Daraus resultiert der relative Ertragsverlust von 19 %.

Diese Zunahme der Lagerungsdichte und damit verbunden die Verschlechterung des Gefügezustandes verläuft nicht bei allen Bodenarten gleich. Nachfolgend werden noch 2 Beispiele genannt, die das verdeutlichen sollen (Tab. 3.2 und 3. 3).

Tab. 3.2: Einfluss der Bodenbelastung durch 3 verschiedene Radlasten auf die Lagerungsdichte, wichtige bodenphysikalische Parameter und die Pflanzenerträge für einen Beispielsboden der Bodenart stark sandiger Lehm (Ls4) nach 2 Überrollungen

Bodenart : Ls4 stark sandiger Lehm		Bodensubstrat : 24 % Ton, 26 % Schluff, 50 % Sand, 3 % OBS Bodenfeuchte : 70 % nFK (19,4 M%)		
Belastungsparameter / Bodendruckparameter bei:				
Kontaktfläche	[m²]	0,282 (Reifenbreite : 60 cm)		
Radlast	[kN]	20	45	100
		(geringe Radlast)	(hohe Radlast)	(sehr hohe Radlast)
Mittl. Kontaktflächendruck bei 70 % nFK				
	[kPa]	70	160	380
Bodenphysikalische Parameter				
Lagerungsdichte	[g/cm³]	1,39	1,51	1,65
Porenvolumen	[%]	46,2	41,6	36,2
Schichtstärke des Ap	[cm]	31,3	28,8	26,3
Luftkapazität	[%]	14,1	6,7	2,0
Pflanzenerträge				
relative Ertragsverluste	[%]	0	4	18

Tab. 3.3: Einfluss der Bodenbelastung durch 3 verschiedene Radlasten auf die Lagerungsdichte, wichtige bodenphysikalische Parameter und die Pflanzenerträge für einen Beispielsboden der Bodenart schwach lehmiger Sand (SI2) nach 2 Überrollungen

Bodenart : SI2		Bodensubstrat : 6 % Ton, 24 % Schluff, 70 % Sand, 1,4 % OBS		
schwach lehmiger Sand		Bodenfeuchte : 70 % nFK (10,8 M%)		
Belastungsparameter / Bodendruckparameter bei:				
Kontaktfläche	[m²]	0,282 (Reifenbreite : 60 cm)		
Radlast	[kN]	20	45	100
		(geringe Radlast)	(hohe Radlast)	(sehr hohe Radlast)
Mittl. Kontaktflächendruck bei 70 % nFK				
	[kPa]	70	160	380
Bodenphysikalische Parameter				
Lagerungsdichte	[g/cm³]	1,57	1,64	1,72
Porenvolumen	[%]	40,1	37,4	34,3
Schichtstärke des Ap	[cm]	28,9	27,7	26,4
Luftkapazität	[%]	17,5	13,8	9,6
Pflanzenerträge				
relative Ertragsverluste	[%]	4	10	20

Der durch die Bodenbelastung erzeugte Bodendruck setzt sich nach unten fort, wie in der Abb. 3.5 verdeutlicht wird.

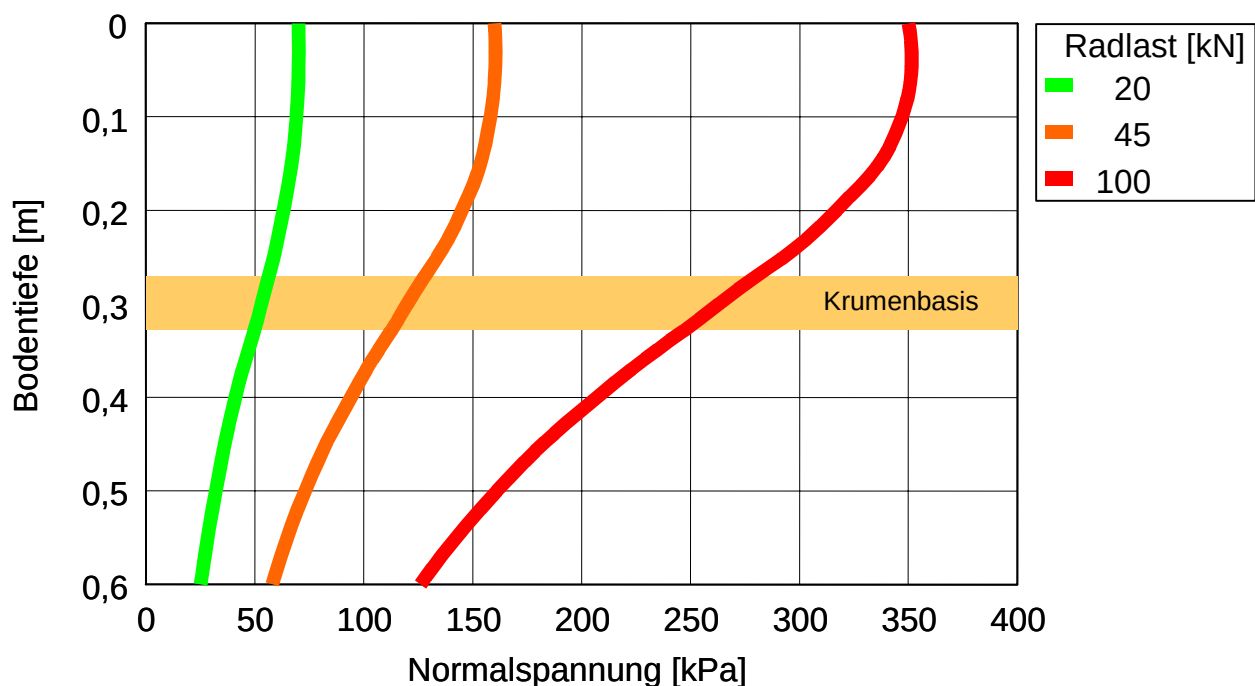


Abb. 3.5: Die durch den Druck der Räder ausgelöste Normalspannung beim Einwirken von drei verschiedenen Radlasten

Da der Bodenhorizont unter etwa 30 cm durch Bodenbearbeitung in der Regel nicht „repariert“ werden kann, aber für die ökologischen Funktionen einschließlich des Pflanzenwachstums unverzichtbar und daher in optimalem Zustand erhalten werden muss, werden die kritischen Werte bei mehrmaliger oder starker Bodenbelastung schnell überschritten.

Erhöht sich die Anzahl der Überrollungen, kommt das einer Quasi-Radlasterhöhung gleich, was die Tiefenwirkung weiter erhöht.

Fazit als Leitfaden für die weiteren Kapitel

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Ackerböden und damit die Unterböden in Abhängigkeit von der Texturzusammensetzung sehr unterschiedlich auf Bodenbelastungen reagieren. Das konnte durch Kompressions- und Schertests für alle Böden unter Laborbedingungen erhärtet werden. Die dort gewonnenen hoch signifikanten Ergebnisse werden dazu genutzt, die Verdichtungsempfindlichkeit der ackerbaulich genutzten Böden Brandenburgs abzuschätzen. Da nicht überall neue Bestimmungen von Bodenart und Bodenform vorgenommen werden können, hat man als Datenbasis die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung 1 : 100.000, die flächendeckend in digitaler Form (1 : 25.000) für die landwirtschaftlich genutzten Standorte des Bundeslandes vorliegt, genutzt.

Eine Bewertung der Verdichtungsempfindlichkeit hinsichtlich der ökologischen Bodenfunktionen setzt einen Vergleich mit der Einhaltung oder Überschreitung der optimalen Lagerungsdichte für den Indikator Pflanze voraus (siehe Kap. 2). Erst daraus läßt sich der Terminus Bodenschadverdichtung und nachfolgend die Karte der Potentiellen Schadverdichtungsgefährdungsklassen (SVGK) ableiten.

Jeder Bewirtschafter von Ackerböden kann auf dieser Basis Informationen über die Verdichtungsrisiken seiner gegenwärtigen Bewirtschaftung erhalten. Dem jeweiligen Risiko entsprechend erhält er dann Entscheidungshilfen.

4 SCHRITTE ZUR ERMITTLUNG DER POTENTIELLEN UND TATSÄCHLICHEN SCHADVERDICHTUNGSGEFÄHRDUNG DER BÖDEN BRANDENBURGS ALS BASIS FÜR DEN BODENSCHUTZ

Land- und forstwirtschaftliche Nutzung von Böden verlangt ihr Befahren, daher wird ein bestimmter Lasteneintrag toleriert werden müssen.

Um aber die Risiken der Bodenschadverdichtungen erkennen und langfristig vorsorgende Schutzmaßnahmen einleiten zu können, muss zunächst die standortspezifische *Belastbarkeit* der Böden bestimmt werden. Unter Bodenbelastbarkeit wird hierbei verstanden, mit welcher Radlast der Boden ohne Schaden für seine Funktionalität befahren werden kann, die sich an der optimalen Struktur für die Pflanzenentwicklung orientiert.

Die Belastbarkeit landwirtschaftlicher Böden ist die standortspezifisch zulässige mechanische Bodenbelastung, die in Abhängigkeit von Bodenart, Bodentyp, Unterbodengefüge und aktuellem Bodenwassergehalt nicht zu Schadverdichtungen in Krume und Unterboden führt.

Während die Bodenverdichtung ein natürlicher Prozess ist oder zumindest als Rückverdichtung nach Überlockerung beabsichtigt ist, sind Bodenschadverdichtungen durch die zu hohen technologischen Belastungen bedingt. Der potentiellen Schadverdichtungsgefährdung (Belastbarkeit) wird daher die *Belastung* durch die jeweiligen Maschinen und Geräte in den technologischen Abläufen der jeweiligen Landnutzung gegenüber gestellt. Die vergleichende Bewertung der Belastbarkeit und der Belastung zeigt die Ungleichgewichte auf. Daraus lassen sich Empfehlungen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung ableiten (Abb. 4.1).

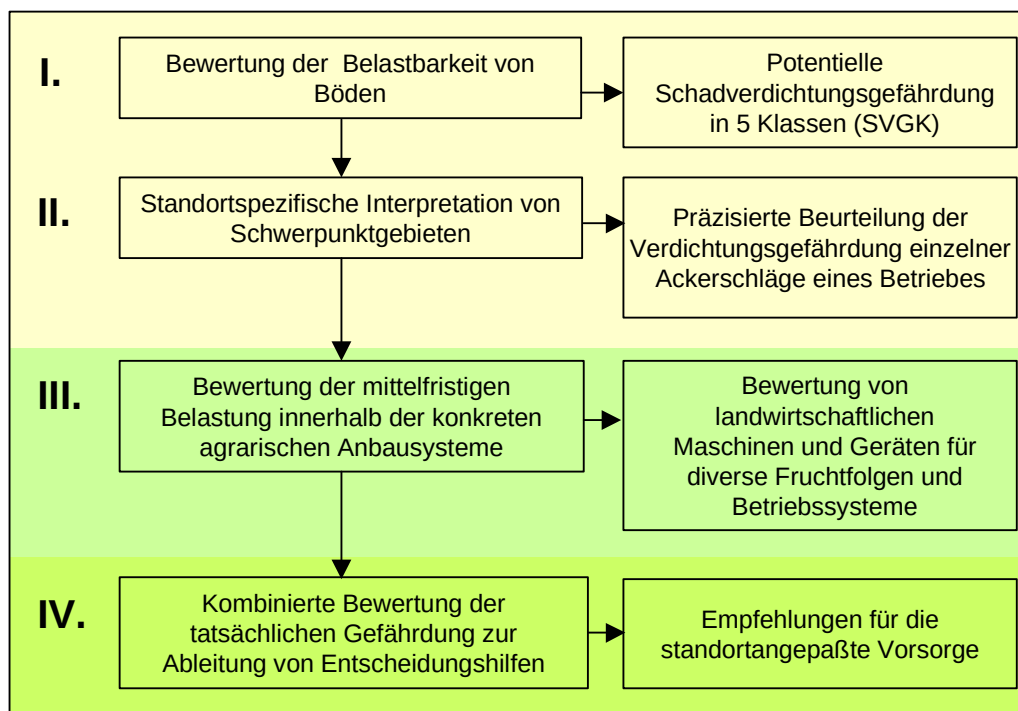


Abb. 4.1: Schritte zur Ermittlung und Bewertung der potentiellen und tatsächlichen Schadverdichtungsgefährdung

5 BEWERTUNG DER BELASTBARKEIT DER BÖDEN

5.1. *Bestimmung der potentiellen Schadverdichtungsgefährdungsklassen für Brandenburg (Schritt I¹)*

In Kapitel 4 wurde die von der Korngrößenzusammensetzung verschiedener Böden bestimmte Verdichtungsneigung, ermittelt aus Kompressions- und Schertests, und die daraus resultierende Veränderung wichtiger Bodenparameter dargestellt. Das berechtigt dazu, für die Einstufung der Böden das Bodenartendreieck der KA 4 (KARTIERANLEITUNG 1994 DER DBG) (Abb. 5.1) einzusetzen.

Die auf das Körnungsartendreieck projizierten Schadverdichtungsgefährdungsklassen sind das Ergebnis des Vergleichs zwischen der Verdichtbarkeit bei definierter Belastung und der Einstufung des Resultats in die aus Sicht der Pflanze definierten Schadverdichtungsgebiete (Abb. 2.11).

So kann bei entsprechender Datengrundlage eine parzellenscharfe Ermittlung der

5 SchadVerdichtungsGefährdungsklassen (SVGK 1 bis 5)

erfolgen.

Allerdings liegt eine so detaillierte Datenbank meist nicht vor.

Die Datenbanken der digital aufbereiteten Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) (LIEBEROTH ET AL., 1983) bieten sich für eine flächenhafte Darstellung der Gefährdungsklassen in Brandenburg an.

Dort sind Haupt- und Nebenbodenformen zu Standortgruppen zusammengefasst. Als Transformator zwischen dem Körnungsartendreieck und den Einheiten der MMK konnten die in den Standortgruppen vergesellschafteten Bodenartengruppen identifiziert werden.

Damit ist eine Festlegung der Schadverdichtungsgefährdungsklassen für die Standortgruppen möglich (Tab. 5.1).

Diese stimmt überein mit einer 1991 von THIERS ET AL. Veröffentlichten Einschätzung der Verformbarkeit / Belastbarkeit der Bodengruppen.

¹ Siehe Kapitel 4, Abb. 4.1

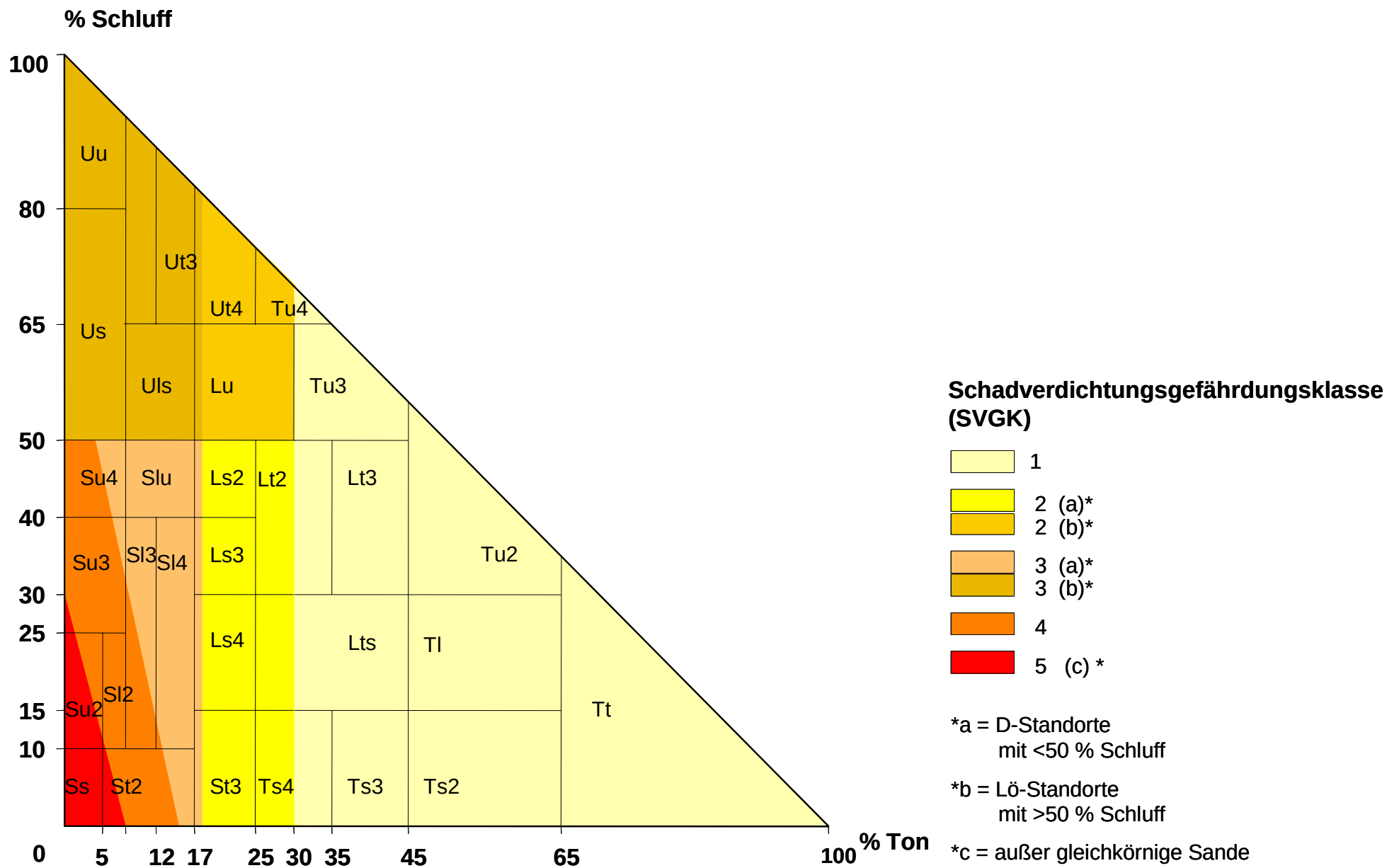


Abb. 5.1: Texturabhängige Schadverdichtungsgefährdungsklassen basierend auf der KA 4 (1994)

Tab. 5.1: Zuordnung der Böden zu Schadverdichtungsgefährdungsklassen (SVGK) als Grundlage der Karte „Potentielle Verdichtungsgefährdung der Böden Brandenburg“ (Basisdatei: Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung, MMK)

Kurzbezeichnung	Bezeichnung	Einstufung (Gruppe, Klasse, Stufe)					
STG	Standortgruppe der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) (LIEBEROTH ET AL., 1983)*	1	8	2 / 3	4	5	6
		Grundwasserferne Sandstandorte	Grundwasser-sandstandorte	Sand- und Tieflehmstandorte / Tieflehm- und Lehmstandorte	Staunasse Tieflehm- und Lehmstandorte	Auenlehmstandorte	Auentonstandorte
darin vergesellschaftete und nachfolgend bewertete Bodenartengruppen		Reinsande		Lehm- und Schluff-sande	Sand-lehme und -schluffe	Ton- und Normal-lehme	Lehm-, Schluff-tone und Ton-schluffe
SVGK	SchadVerdichtungsGefährdungsklassen nach PETELKAU, H.; FRIELINGHAUS, MO. UND SEIDEL, K. (1998) <i>Gefährdung</i>	5 <i>sehr stark</i>		4 <i>stark</i>	3 <i>erheblich</i>	2 <i>mäßig</i>	1 <i>gering</i>

* Standortgruppe 7 (Niedermoorstandorte) wurde nicht bewertet

Die Einteilung weist darauf hin, dass besonders Sandlehm-, Tieflehm- und Lehmstandorte sowie Sandstandorte verdichtbar sind.

Eine Karte mit den Anteilen der 5 Schadverdichtungsgefährdungsklassen, berechnet auf der Basis der MMK (Grundlage MMK-Konturen) ist für das Landes Brandenburg in Abb. 5.2 dargestellt.

Dabei zeigt sich, dass die Klassen 4 und 5, also stark und sehr stark gefährdete Flächen, in allen Regionen des Landes einen erheblichen Anteil ausmachen. Ausgenommen sind die Auenbereiche wie z. B. das Oderbruch, die gering bis mäßig gefährdet sind.

Es ergibt sich ein Flächenanteil für die einzelnen SVGK wie folgt (Tab. 5.2):

Tab. 5.2: Potentielle Schadverdichtungsgefährdung des Landes Brandenburg

Landesfläche: 3 055 823 ha*, davon 1 615 784 ha nicht landwirtschaftlich genutzt						
	landwirtschaftlich genutzte Fläche	SVGK 1 [gering gefährdet]	SVGK 2 [mäßig gefährdet]	SVGK 3 [erheblich gefährdet]	SVGK 4 [stark gefährdet]	SVGK 5 [sehr stark gefährdet]
ha	1440039	55132	70561	123424	445312	745610
%	100	4	5	8	31	52

* berechnete Fläche im GIS

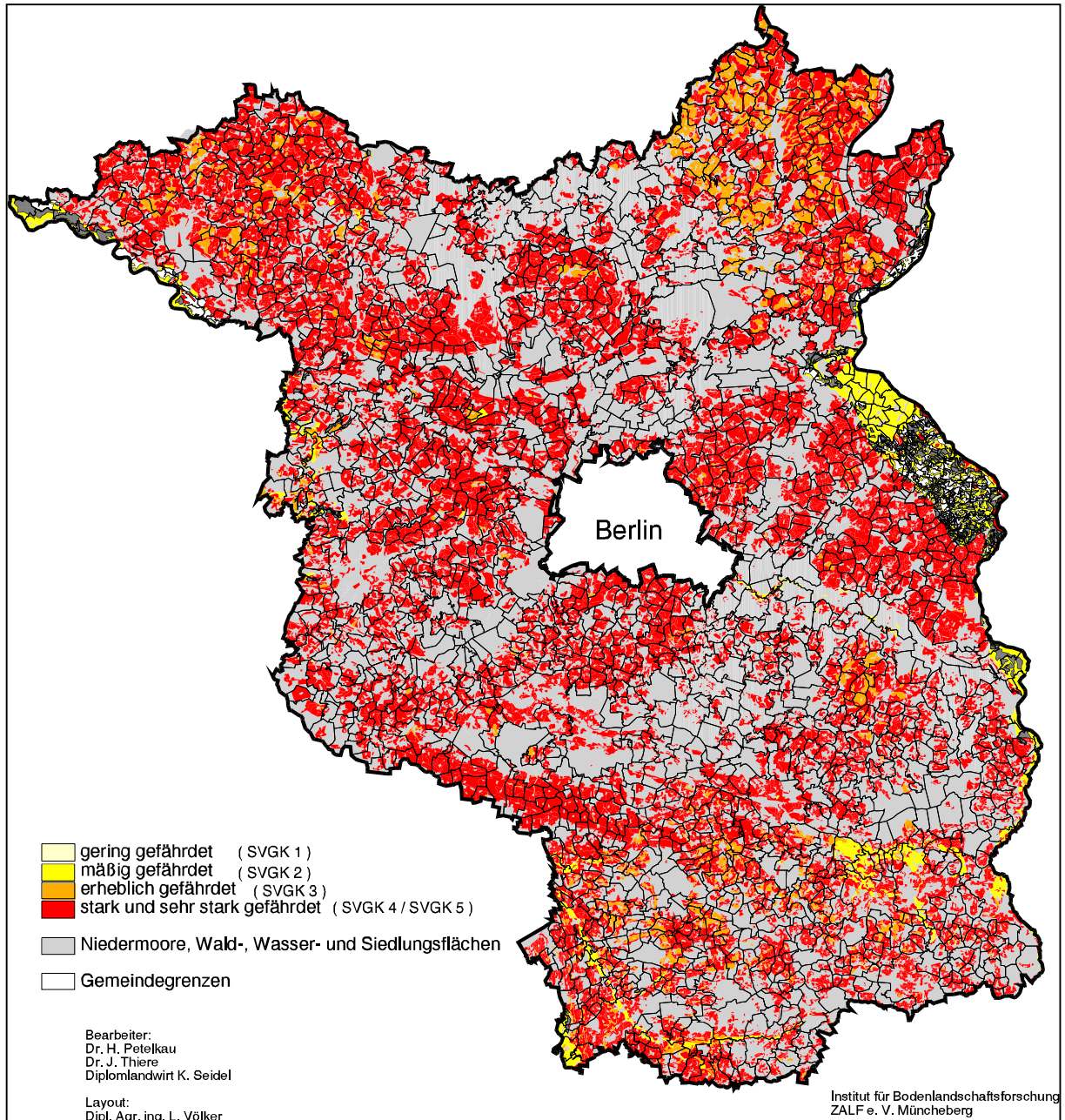
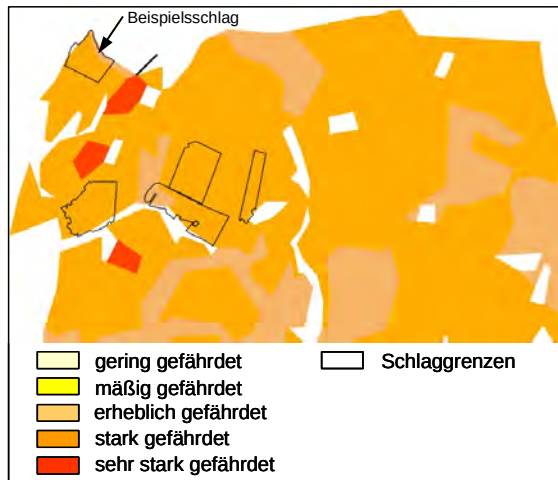


Abb. 5.2: Potentielle Schadverdichtungsgefährdung für das Land Brandenburg auf der Basis der MMK

5.2. Präzisierte Beurteilung der Verdichtungsgefährdung einzelner Acker-schläge eines Betriebes (Schritt II¹)



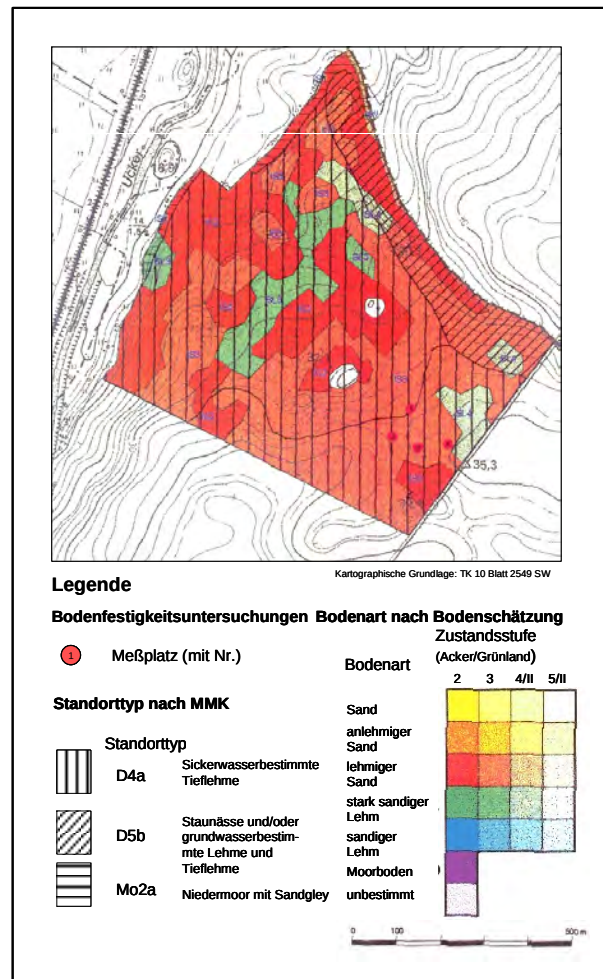
Im Bedarfsfall oder bei erheblicher und starker Gefährdung muss eine parzellenscharfe Beurteilung möglich werden (Abb. 5.3 und 5.4).

Abb. 5.3: Verdichtungsgefährdung der Böden eines Betriebes (Ausschnitt aus einer Gefährdungskarte) (aus GROßMANN, 1999)

Beispiele einzelner Schläge auf der Basis der Bodenschätzung im Maßstab 1:10.000 geben ein viel genaueres Bild und zeigen die flächeninterne Heterogenität (Abb. 5.4).

Die SVGK-Einstufung kann demzufolge Hinweise auf die potentielle Gefährdung geben. Vor der Ableitung von Empfehlungen sollte eine schlagbezogene Analyse unter Zuhilfenahme der Körnungsarten erfolgen. Wenn dann noch betrachtet wird, welche Differenzen der Bodenfestigkeit innerhalb eines Schlagausschnittes auftreten können (Abb. 5.5 u. 5.6), wird deutlich, dass für eine realistische Einschätzung der tatsächlichen Gefährdung oder bereits vorliegender Schädverdichtungen in den Boden hineingesehen werden muss. Dazu eignet sich die Penetrometermessung (Abb. 5.7) genauso wie eine Spatendiagnose zur Identifizierung des Verdichtungsgrades. Anschließend muss unbedingt die Bewertung der durch die Landnutzung verursachten Schäden erfolgen.

Abb. 5.4: Beispiel für die Heterogenität innerhalb eines Schlages dieses Betriebes (aus GROßMANN, 1999)



¹ siehe Kapitel 4, Abb. 4.1

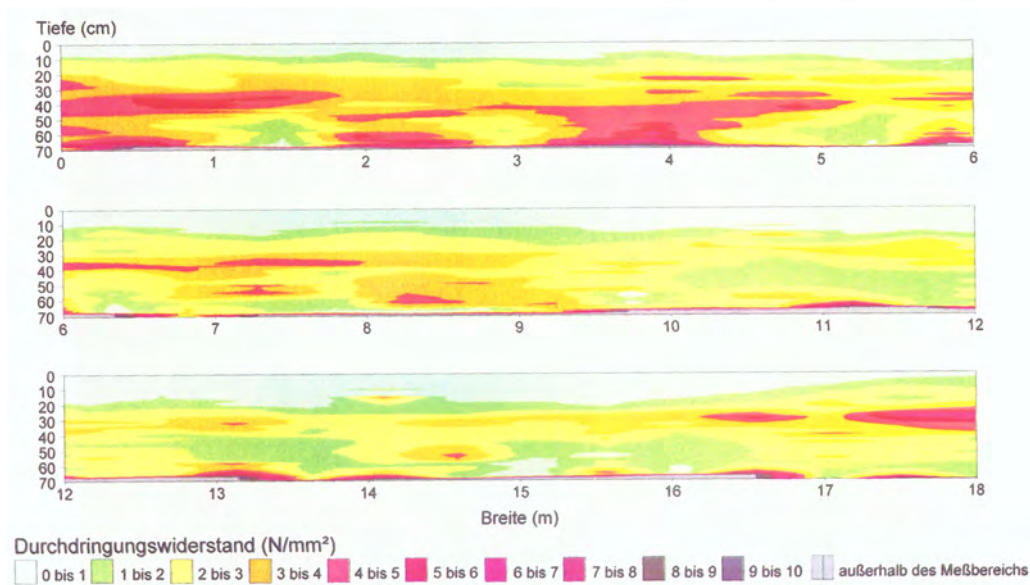


Abb. 5.5: Differenzen der Bodenfestigkeit eines Schlagausschnittes im Bereich eines Flurhindernisses (aus GROßMANN, 1999)

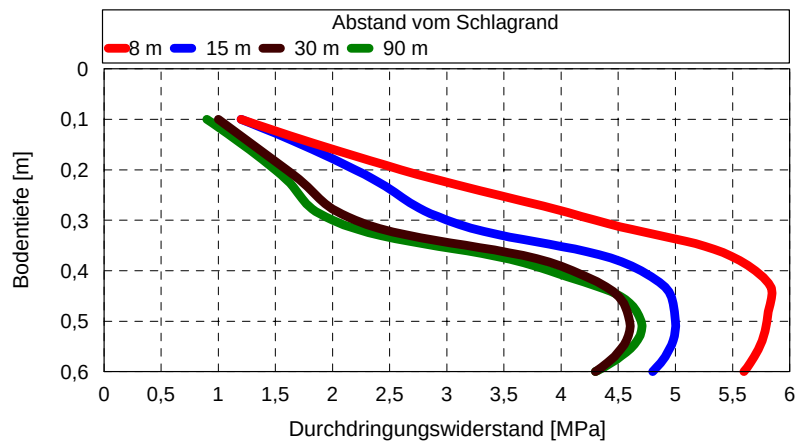
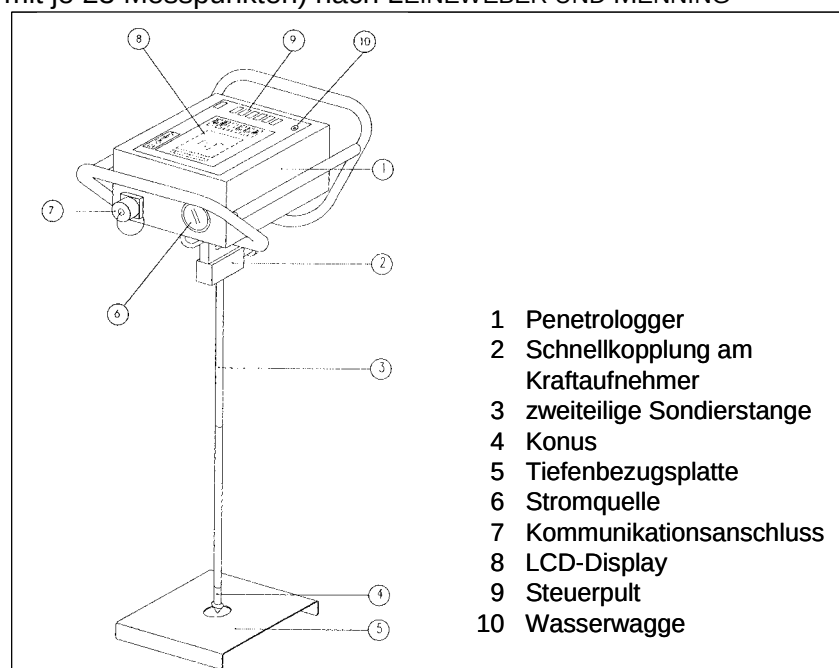


Abb. 5.6: Mittelwerte der Durchdringungswiderstände in unterschiedlicher Entfernung vom Schlagrand (Trasse mit je 23 Messpunkten) nach LEINWEBER UND MENNING (1992)

Abb. 5.7: Penetrometer (Eijkelkamp)



6 BEWERTUNG DER BEWIRTSCHAFTUNGSSYSTEME, DER ANBAUFOLGEN UND DER TECHNIK (SCHRITT III¹)

Die Festlegung der Schadverdichtungsklassen 1 bis 5 verdeutlicht, dass es für jede Klasse zur Einhaltung des optimalen Lagerungsdichtebereiches eine zulässige Belastbarkeit gibt (Abb. 6.1).

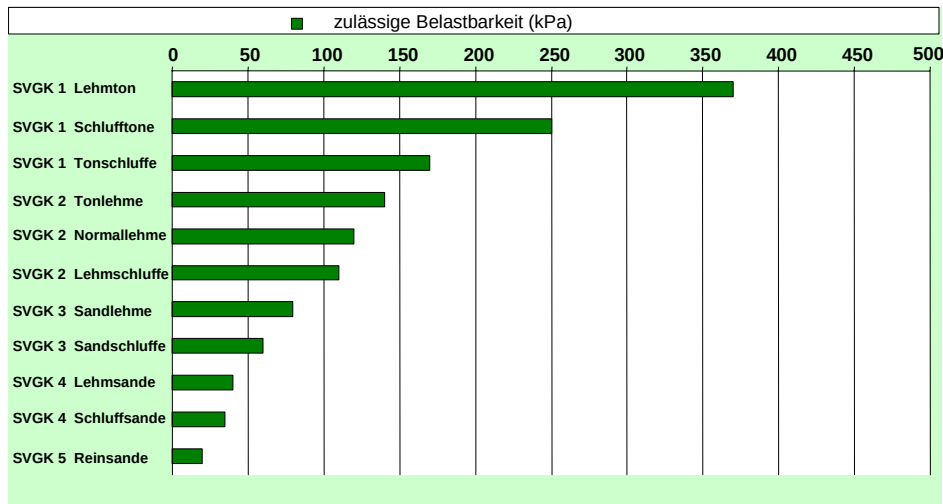


Abb. 6.1: Belastbarkeit bei einer Bodenfeuchte von 70 % nFK der Bodenartengruppen in den SVGK 1 bis 5 zur Einhaltung des optimalen Lagerungsdichtebereiches

Man muss aber davon ausgehen, dass diese Belastbarkeitswerte nicht bei allen Arbeitsgängen im Pflanzenbau eingehalten werden können. Daher ist ein zweiter Wert, die maximal zulässige Belastbarkeit (Abb. 6.2), angegeben, weil in diesen Fällen die in der Ackerkrume auftretenden Verdichtungsschäden durch Bodenbearbeitung beseitigt werden können. Schäden in der Krumenbasis oder im Unterboden treten bei 70 % der nFK (Bodenfeuchte) noch nicht auf.

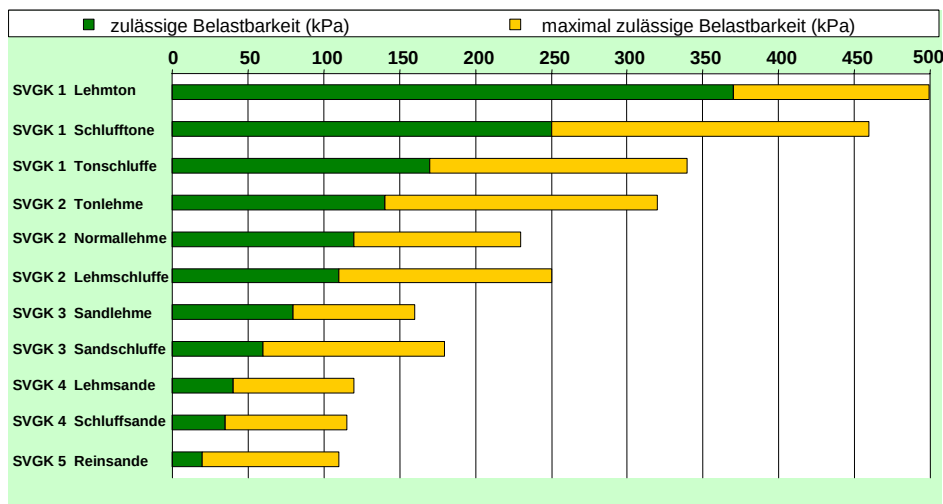


Abb. 6.2: Maximal zulässige Belastbarkeit bei einer Bodenfeuchte von 70 % nFK der Bodenartengruppen in den SVGK 1 bis 5, die durch Bodenbearbeitung reparabel sind

¹ siehe Kapitel 4, Abb. 4.1

Nachfolgend wird nun an einzelnen Beispielen (Zuckerrüben-, Getreide-, Kartoffel und Silomaisanbau) gezeigt, wie man entsprechend der Gefährdung mit bodenschonender Technik bzw. Nachrüstung reagieren kann, um das Risiko der Schadverdichtung so gering wie möglich zu halten.

6.1 Beispiel Zuckerrübenanbau

In der Tabelle 6.1 sowie den Abbildungen 6.3 und 6.4 wird ein Beispiel für den Zuckerrübenanbau auf den Böden der gering gefährdeten SVGK (1) gegeben.

Die eingesetzte Technik und die Fahrwerksparameter zeigen, dass bei keinem Arbeitsgang ein Verdichtungsrisiko für die Krumbasis besteht. Die bei der Rübenenernte mit dem Bunkerroder in der Ackerkrume eintretenden mäßigen Schadverdichtungen können durch Bodenbearbeitung beseitigt werden. Die rot skizzierten Kontaktflächendrücke führen in dieser Risikoklasse noch nicht zu Schadverdichtungen.

Tab. 6.1: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von Zuckerrüben auf Lehmtönen, Schlufftönen und Tonschluffen in Brandenburg mit geringer Schadverdichtungsgefährdung SVGK 1

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
				[cm]	[kN]	[kPa]						
1	Grunddüngung	Traktor 140 kW Düngerstreuer	9,00	1	48	13,7	70					
				2	58	29,0	110					
				3	38	45,0	420					
2	Grubbern	Traktor 180 kW	6,00	1	48	13,9	70					
				2	62	36,2	120					
3	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer	18,00	1	39	4,0	30					
				2	48	26,0	130					
4	Grubbern	Traktor 180 kW	6,00	1	48	13,9	70					
				2	62	36,2	120					
5	Pflügen	Traktor 180 kW 9-furchig (Onland)	3,20	1	59	13,6	60					
				2	69	37,5	110					
6	Saatbettbereitung	Traktor 140 kW SBB-Kombination	9,00	1	49	13,7	70					
				2	59	29,0	110					
				3	38	10,0	120					
7	Einzelkomaussaat	Traktor 70 kW Einzelkorndrille	9,00	1	44	8,5	60					
				2	48	13,0	60					
8/ 9	Mineraldüngung (2 X)	Traktor, 70 kW Anbaustreuer	18,00	1	44	4,0	30					
				2	48	26,0	110					
10/ 11	Pflanzenschutz (2 X)	Traktor, 70 kW Anhänge-Feldspritze	18,00	1	44	6,8	50					
				2	48	20,7	90					
				3	36	15,0	100					
12	Rübenroden	Bunkerroder 20 t	3,00	1	80	100,0	270					
				2	80	100,0	270					

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

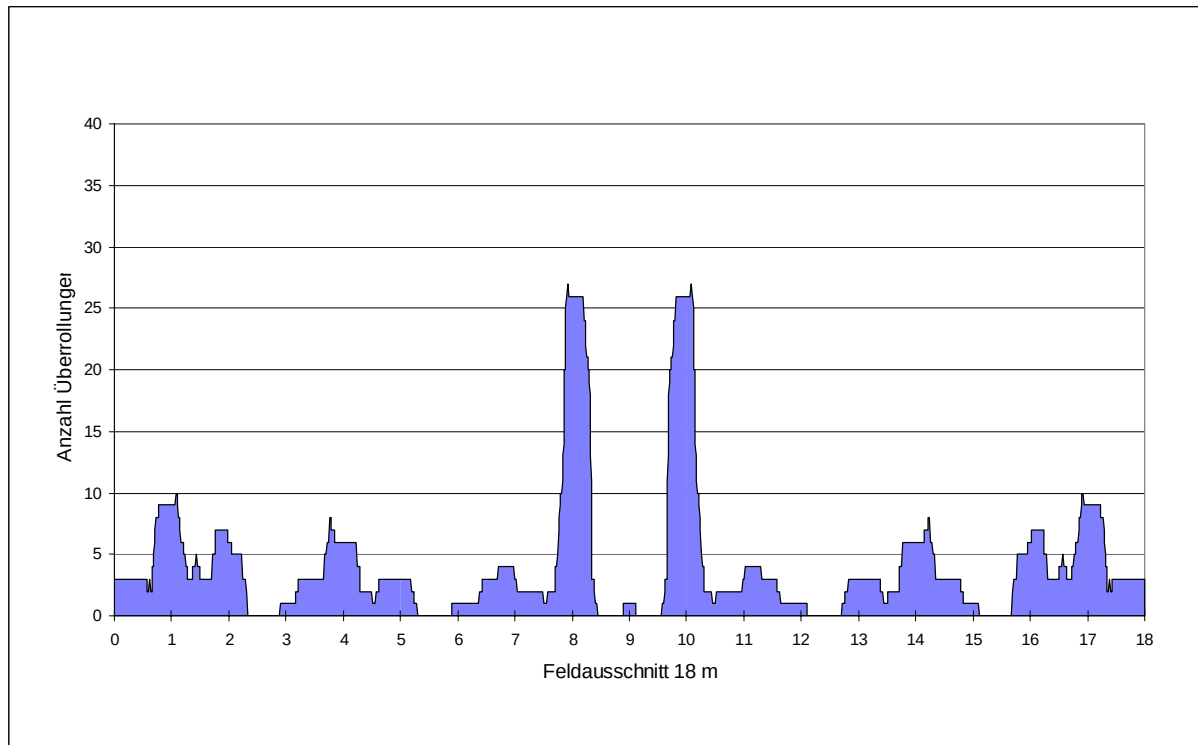


Abb. 6.3: Spurposition und Überrollhäufigkeit beim Zuckerrübenanbau in der SVGK 1 (befahrene Fläche 89,2 %, summierte Spurfläche 405,2 %)

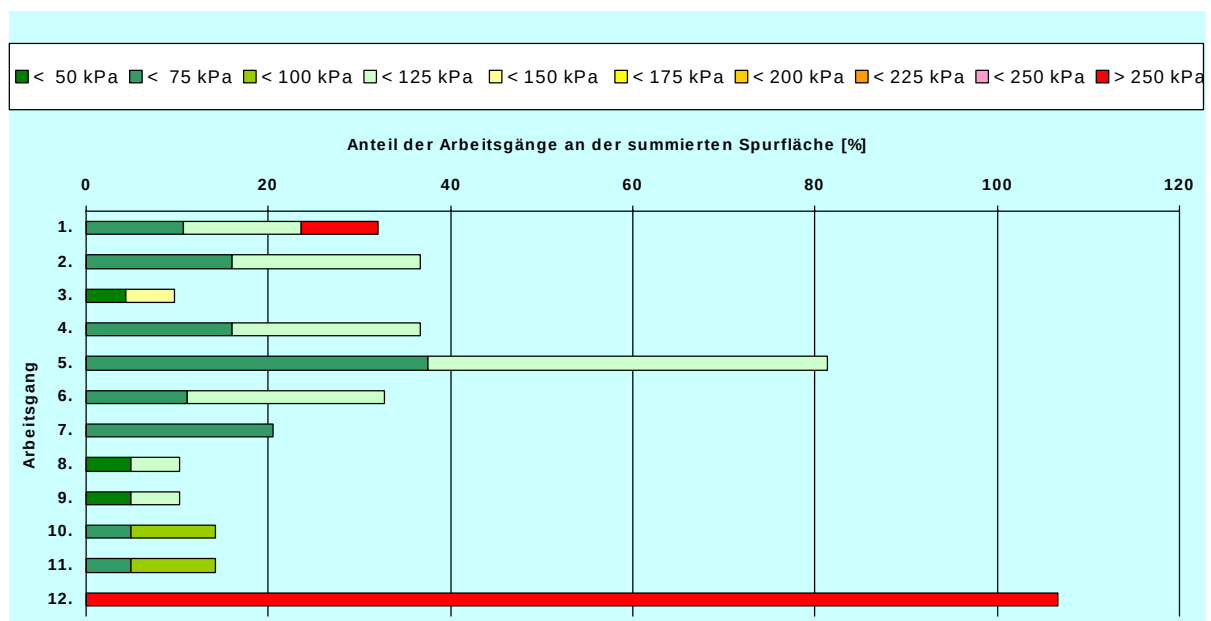


Abb. 6.4: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Zuckerrübenanbau in der SVGK 1, gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa]

Würde man in der SVGK 2 die gleiche Technik einsetzen wie in der SVGK 1, wären doch schon erhebliche Schäden in der Krumenbasis zu vermuten (Tab. 6.2).

Tab. 6.2: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 1 (Tab. 6.1) für den Anbau von Zuckerrüben auf Tonlehm, Normallehm und Lehmschluffen in Brandenburg mit mäßiger Schadverdichtungsgefährdung SVGK 2, die das Schadverdichtungsrisiko erhöhen

Arbeitsgang (AG)	Eingesetzte Technik	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
		ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1 Grunddüngung	Traktor 140 kW Düngerstreuer			X		X	
12 Rübenroden	Bunkerroder 20 t			X		X	

Verändert man die Fahrwerksparameter durch andere Technik und breitere Reifen, wie in Tabelle 6.3 dargestellt, wird das Risiko sichtbar vermindert, die Lasteneinträge werden geringer.

Tab. 6.3: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit hohem Risiko in der SVGK 2

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerksparameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD						
				[cm]	[kN]	[kPa]	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1 Grunddüngung	Traktor 140 kW Düngerstreuer (Tandemachse)	9,00	1	60	13,7	60						
			2	72	29,0	80						
			3	56	25,0	160		X		X		
			4	56	25,0	160						
12 Rübenroden	Bunkerroder 6 t	3,00	1	70	71,3	200				X		
			2	76	47,5	170		X				

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktfächendruck

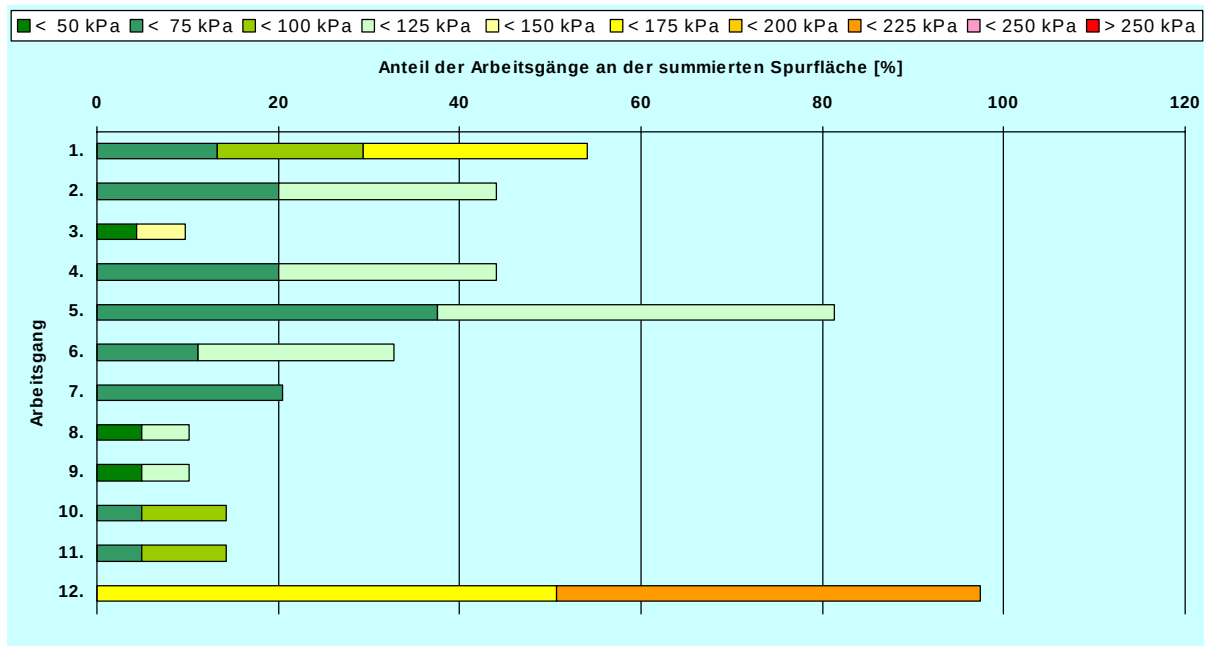


Abb. 6.5: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Zuckerrübenanbau in der SVGK 2 gruppiert nach den Klassen des Kontaktfächendrucks [kPa] (bodenschonende Variante)

Würde man die für die SVGK 1 zulässige Technik sogar in der SVGK 3 mit erheblich gefährdeten Böden einsetzen, würden sich zunehmend Risiken für die Ackerkrume und die Krumenbasis ergeben (Tab. 6.4). Auch hier müssen die Arbeitsgänge Grunddüngung und Rübenroden entsprechend „entschärft“ und bodenschonend gestaltet werden, um wiederum dem Risiko entsprechend die Krumenbasis zu „entlasten“ (Tab. 6.5).

Tab. 6.4: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 1 (Tab. 6.1) für den Anbau von Zuckerrüben auf Sandlehmen und Sandschluffen in Brandenburg mit erheblicher Schadverdichtungsgefährdung SVGK 3, die das Schadverdichtungsrisiko erhöhen

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
		ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1 Grunddüngung	Traktor 140 kW Düngerstreuer			x			x
12 Rübenroden	Bunkerroder 20 t			x			x

Tab. 6.5: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit hohem Risiko in der SVGK 3

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD						
		[m]		[cm]	[kN]	[kPa]	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1 Grunddüngung	Traktor 140 kW Düngerstreuer (Tandemachse)	9,00	1	60	13,7	60	x			x		
			2	72	29,0	80						
			3	56	25,0	160						
			4	56	25,0	160						
12 Rübenroden	Roder ohne Bunkernutzung	3,00	1	70	53,3	150	x			x		
			2	76	35,5	130						
13 Sammeltransport	Feldtransporter 6 t	3,00	1	80	26,4	100	x			x		
			2	110	39,6	90						

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

Die Abb. 6.6 zeigt, dass mit den unterbreiteten Vorschlägen zur veränderten Ausstattung der Grunddüngungstechnik und der Splittung der Zuckerrübenernte in Rübenroden und Sammeltransport (Tab. 6.5) eine Bodenschonung auch für erheblich gefährdete Standorte (SVGK 3) möglich wird. In Abb. 6.7 wird deutlich, dass die Veränderung der Erntetechnik oder die Begrenzung der Bunkerkapazität eine Entlastung der Krumenbasis und des Unterbodens bewirkt.

Die für die SVGK vorgegebenen maximalen Belastungsgrenzen können in der Zuckerrübenproduktion mittelfristig durchaus eingehalten werden.

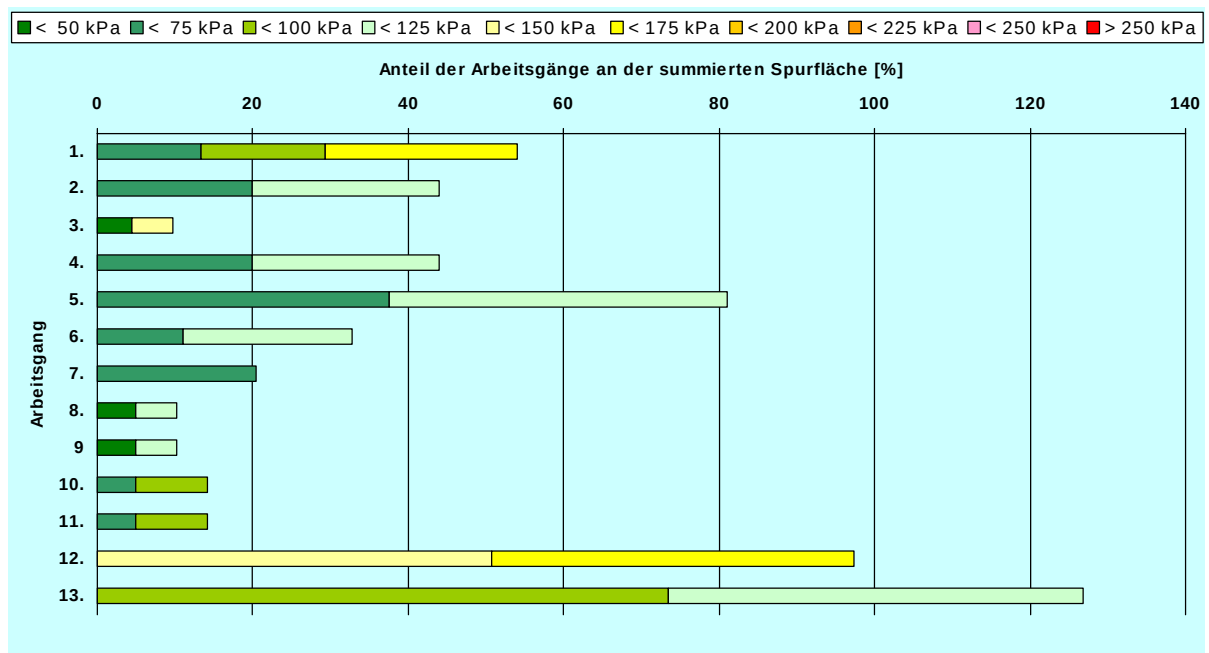


Abb. 6.6: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Zuckerrübenanbau in der SVGK 3, gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa] (bodenschonende Variante)

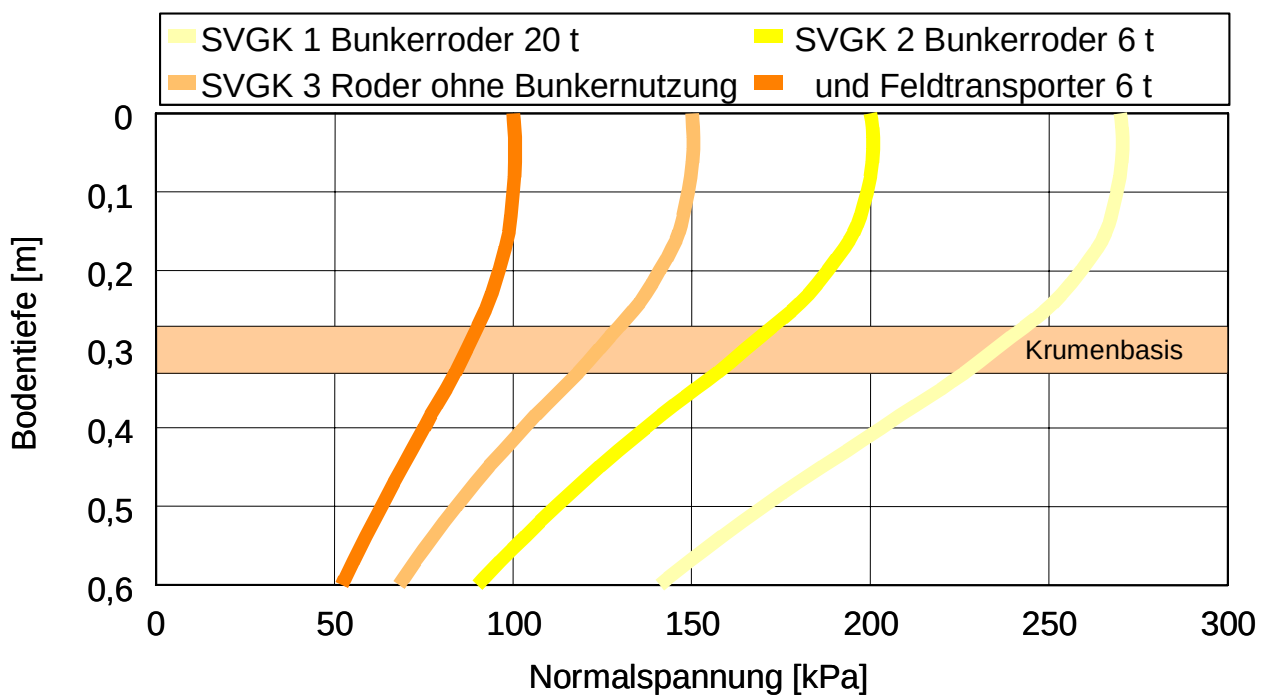


Abb. 6.7: Normalspannung in Abhängigkeit von der Bodentiefe bei der standortangepassten Zuckerrübenernte

6.2 Beispiel Getreideanbau

6.2.1 Getreideanbau in Marktfruchtbetrieben

Dem folgendem Beispiel wird der Anbauablauf eines typischen Marktfruchtbetriebes in Brandenburg zugrunde gelegt. Unterstellt wird dabei, dass keine organische Düngung in flüssiger oder fester Form zusätzlich ausgebracht wird, sondern dass das Stroh auf dem Acker bleibt und als organische Masse eingearbeitet wird.

Tab. 6.6: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von Getreide auf Tonlehm, Normallehm und Lehmschluffen in Brandenburg mit mäßiger Schadverdichtungsgefährdung SVGK 2

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Grubbern	Traktor 180 kW	6,00	1	48	13,9	70	X			X	
				2	62	36,2	120					
2	Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination	4,50	1	48	13,7	70	X			X	
				2	62	29,0	100					
3/ 4	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer	18,00	1	44	4,0	30	X			X	
				2	48	26,0	110					
5- 8	Pflanzenschutz	Traktor 70 kW Anhänge-Feldspritze	18,00	1	44	6,8	50	X			X	
				2	48	20,7	90					
				3	36	15,0	100					
9	Mähdrusch	Mährescher	6,00	1	64	85,0	290		X		X	
				2	42	35,0	260					

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

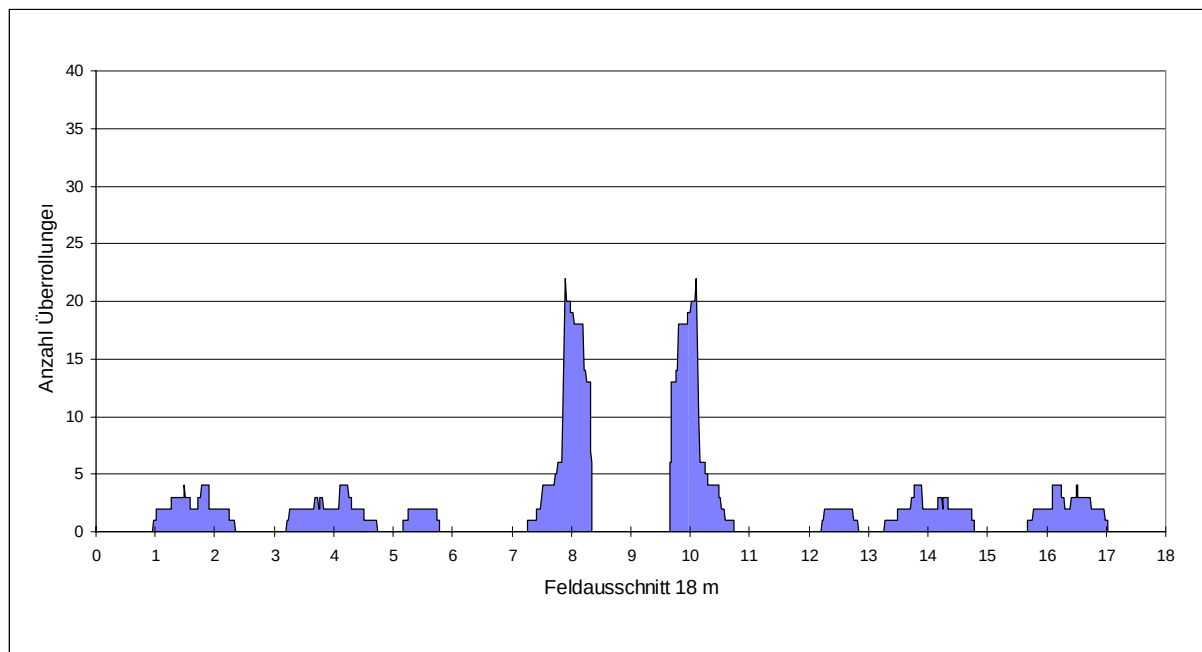


Abb. 6.8: Spurposition und Überrollhäufigkeit beim Getreideanbau in der SVGK 2 (befahrene Fläche 50,2 %, summierte Spurfläche 198,2 %)

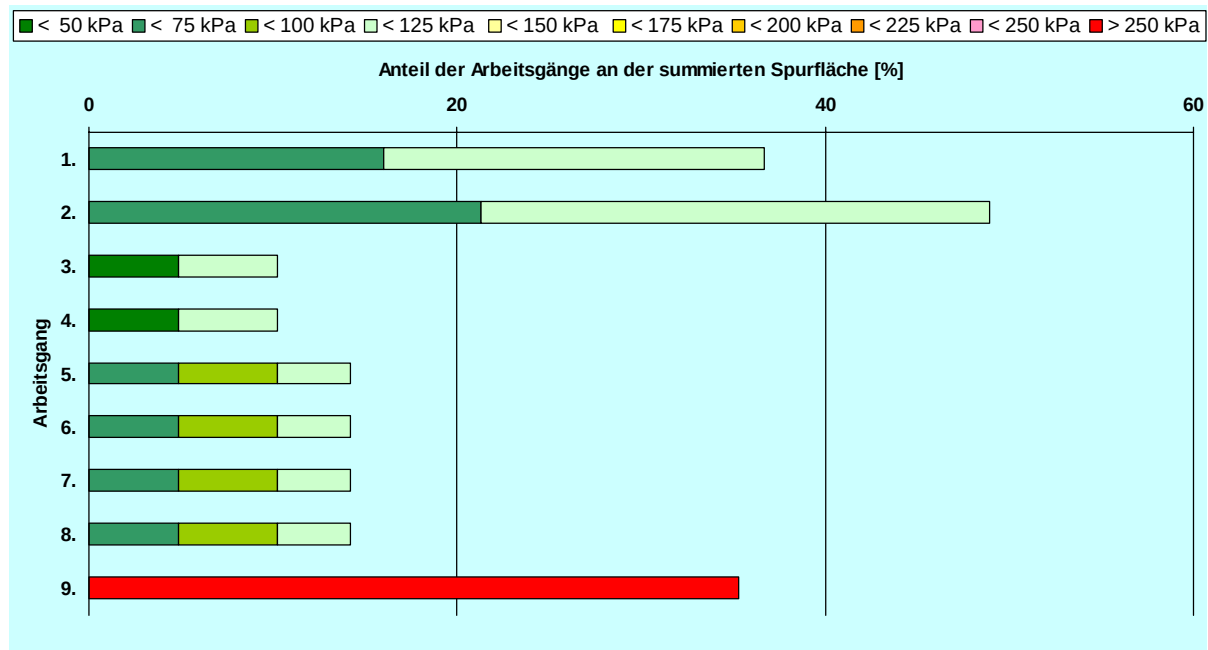


Abb. 6.9: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Getreideanbau in der SVGK 2, gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa]

In Tabelle 6.6 sind Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter für die Getreideproduktion auf einem Standort mit mäßiger Schadverdichtungsgefährdung (SVGK 2) aufgeführt. Es zeigt sich, dass ein Risiko nur beim Arbeitsgang Mähdrusch besteht. Dieser kann mit dem nächsten Arbeitsgang jedoch wieder „repariert“ werden. Die hierbei verursachte Bunkerbelastung (Abb. 6.9) bleibt unterhalb der Risikoschwelle für den Unterboden.

Beim Einsatz gleicher Technik auf Böden der erheblich gefährdeten Standorte (SVGK 3) würde es bei allen Arbeitsgängen zu einem Risiko für die Ackerkrume und beim Mähdrusch zu einem mäßigen Verdichtungsrisiko für die Krumenbasis kommen (Tab. 6.7).

Durch eine Veränderung der Fahrwerksparameter bei den Arbeitsgängen 1 und 2 und beim Mähdrusch ist auch hier eine große Sicherheit bei der Vermeidung von Verdichtungsschäden gegeben (Tab. 6.8, Abb. 6.10).

Tab. 6.7: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 2 (Tab. 6.6) für den Anbau von Getreide auf Sandlehmen und Sandschluffen in Brandenburg mit erheblicher Schadverdichtungsgefährdung SVGK 3, die das Schadverdichtungsrisiko erhöhen

Arbeitsgang (Ag)		Eingesetzte Technik	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
			ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Grubbern	Traktor 180 kW		X*		X		
2	Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination		X*		X		
9	Mähdrusch	Mähdrescher			X		X	

* Verdichtungsrisiko im Grenzbereich zwischen „ohne“ und „mäßig“

Tab. 6.8: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit hohem Risiko in der SVGK 3

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD						
				[cm]	[kN]	[kPa]	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Grubbern	Traktor 180 kW	6,00	1	60	13,9	60					
				2	72	36,2	100	X		X		
2	Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination	4,50	1	60	13,7	60					
				2	72	29,0	80	X		X		
9	Mähdrusch	Mähdrescher	6,00	1	108	85,0	170					
				2	60	35,0	180		X	X		

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

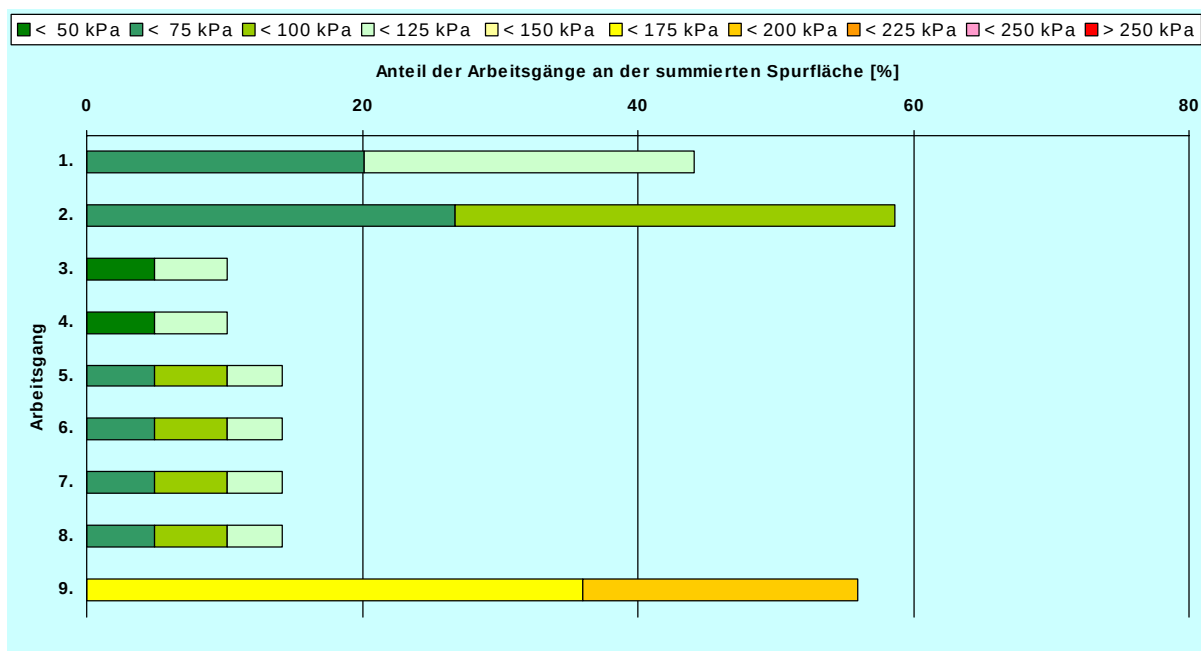


Abb. 6.10: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Getreideanbau in der SVGK 3 gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa] (bodenschonende Variante)

Noch gravierender würde der Einsatz gleicher Technik auf Standorten mit starker Schadverdichtungsgefährdung (SVGK 4) wirken. Das Risiko des Mähdrusches wäre für die Krumenbasis erheblich, einer Bodenzone, in der durch nachfolgende Arbeitsgänge keine Auflockerung erfolgen kann (Tab. 6.9).

Beim Mähdrusch bleibt auf empfindlichen Standorten (SVGK 4) ein mäßiges Risiko für die Krumenbasis bei der jetzt verfügbaren maximal breit bereiften Technik bestehen (Tab. 6.10, Abb. 6.11). Die Belastung für die Krumenbasis und den Unterboden ist durch veränderte Erntetechnik zu begrenzen (Abb. 6.12).

Zur Beseitigung einer Schadverdichtung in der Krume ist meistens eine krumentiefe Bearbeitung erforderlich, die nicht mehr durch einen Grubber realisiert werden kann, sondern nur durch den Pflug.

Das Risiko bei der Mineraldüngung und beim Pflanzenschutz beschränkt sich auf den Bereich der Regelspuren (ca. 6 % der Fläche). Diese Spuren können nach der Ernte separat gelockert werden.

Tab. 6.9: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 2 (Tab. 6.6) für den Anbau von Getreide auf Lehmsanden und Schluffsand in Brandenburg mit starker Schadverdichtungsgefährdung SVGK 4, die das Schadverdichtungsrisiko erhöhen

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
		ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Grubbern	Traktor 180 kW		X	X		
2	Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination		X	X		
3/4	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer		X	X		
5-8	Pflanzenschutz	Traktor 70 kW Anhänge-Feldspritze		X	X		
9	Mähdrusch	Mähdrescher		X			X

Tab. 6.10: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit hohem Risiko in der SVGK 4

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD						
				[cm]	[kN]	[kPa]	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Pflügen	Traktor 180 kW Pflug 9-furchig (Onland)	1	59	13,6	60						
			2	69	37,5	110		X		X		
2	Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination	1	60	13,7	60				X		
			2	72	29,0	80		X		X		
3/4	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer	1	44	4,0	30				X		
			2	48	26,0	110		X		X		
5-8	Pflanzenschutz	Traktor 70 kW Anhänge-Feldspritze	1	44	6,8	50				X		
			2	48	20,7	90		X		X		
9	Mähdrusch	Mähdrescher	1	78	65,0	180					X	
			2	50	22,5	130			X		X	

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

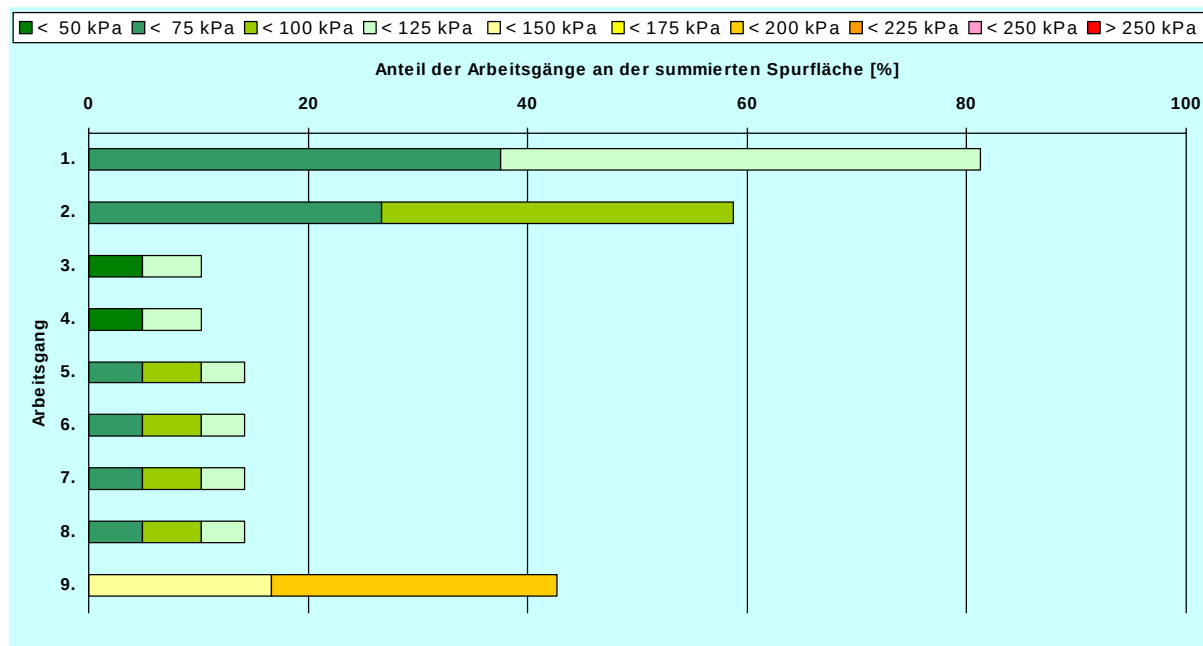


Abb. 6.11: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Getreideanbau in der SVGK 4 gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa] (bodenschonende Variante)

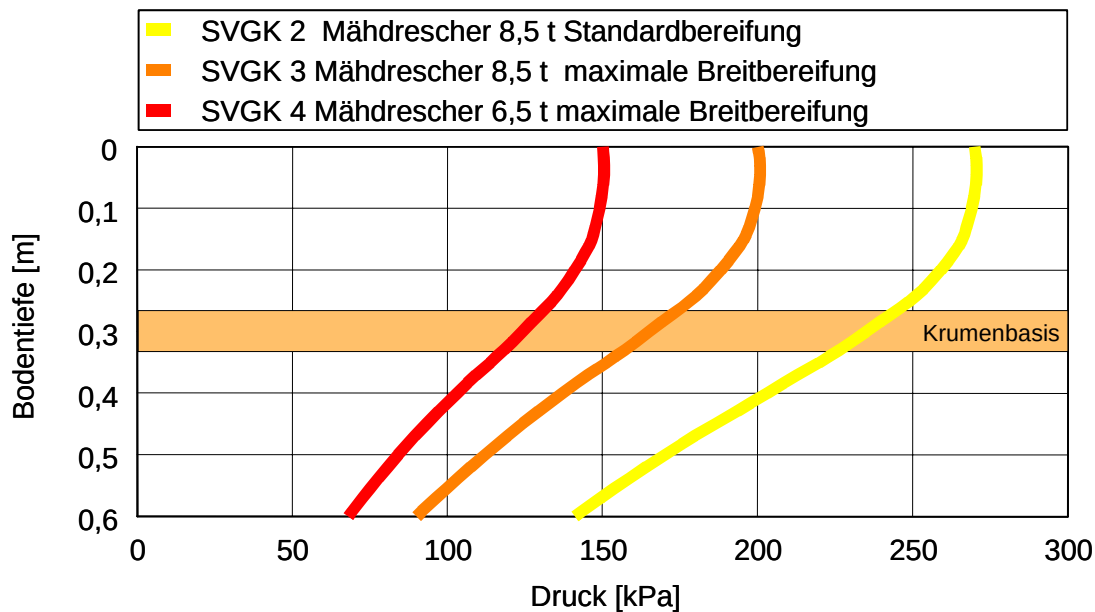


Abb. 6.12: Normalspannung in Abhängigkeit von der Bodentiefe bei der standortangepassten Mähdruschernte

Insgesamt ist das Risiko in Markfruchtbetrieben erheblich geringer als in Betrieben mit Tierhaltung, da beim Ausbringen von Gülle und beim Strohbergen erheblich mehr Überrollungen mit höheren Lasten notwendig wären.

6.2.2 Getreideanbau in Gemischtbetrieben

Die Arbeitsgänge der Gemischtbetriebe nehmen mit Strohbergung, Gülle oder Stallungsausbringung erheblich zu, so dass sich die befahrenen Flächenanteile und die summierten Spurflächen (Mehrfachbefahrung) auch erhöhen (Abb. 6.13).

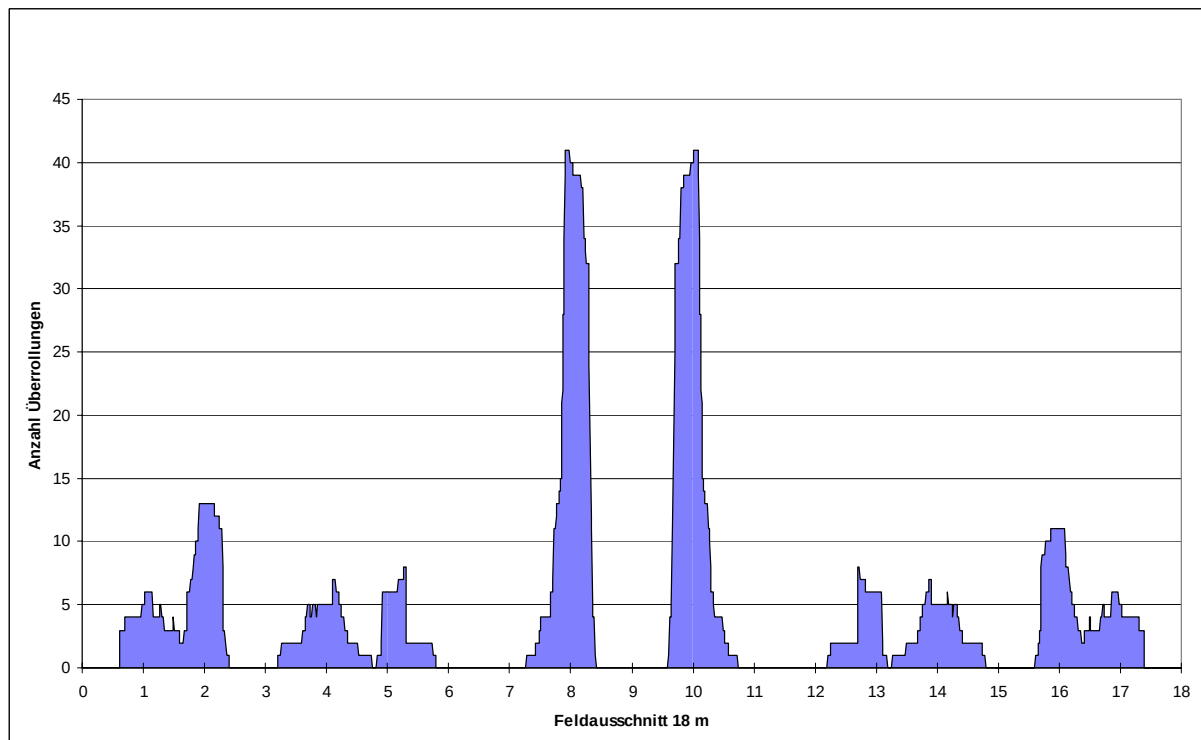


Abb. 6.13: Spurposition und Überrollhäufigkeit beim Getreideanbau in der SVGK 2 (befahrene Fläche 60,2 %, summierte Spurfläche 436,4 %)

Tab. 6.11: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von Getreide auf Tonlehm, Normallehm und Lehmschluffen in Brandenburg mit mäßiger Schadverdichtungsgefährdung SVGK 2

Arbeitsgang (Ag)		Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
					*RB	RL	KFD						
					[cm]	[kN]	[kPa]	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Gülleausbringung	Traktor 140 kW Füllmenge Fass 10,3 m³	9,00	1	60,0	13,7	60						
				2	71,5	58,0	170						
				3	54,8	36,8	220	x			x		
				4	54,8	36,8	220						
2	Grubbern	Traktor 180 kW	6,00	1	48,0	13,9	70						
				2	62,0	36,2	120	x			x		
3	Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination	4,50	1	48,0	13,7	70	x			x		
				2	62,0	29,0	100						
4/5	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer	18,00	1	43,5	4,0	30	x			x		
				2	47,0	26,0	110						
6-9	Pflanzenschutz	Traktor 70 kW Anhänge-Feldspritze	18,00	1	43,5	6,8	50						
				2	47,0	20,7	90	x			x		
				3	35,5	15,0	100						
10	Mähdrusch	Mähdrescher	6,00	1	64,5	85,0	290		x		x		
				2	41,9	35,0	260						
11	Körnerabfuhr	Traktor 140 kW 2 Anhänger	18,00	1	48,0	13,7	70						
				2	58,0	29,0	110						
				3	40,8	42,5	380		x			x	
				4	40,8	42,5	380						
				5	40,8	42,5	380						
				6	40,8	42,5	380						
12	Strohpressen	Traktor 100 kW Presse	6,00	1	49,0	13,7	70						
				2	59,0	29,0	110		x			x	
				3	50,0	42,5	370						
13	Strohladen	Radlader	12,00	1	57,0	43,0	180						
				2	57,0	34,0	140	x			x		
14	Strohabbahren	Traktor 70 kW 2 Anhänger	6,00	1	39,0	7,5	60						
				2	48,8	12,5	60						
				3	40,8	19,5	180						
				4	40,8	19,5	180	x			x		
				5	40,8	19,5	180						
				6	40,8	19,5	180						

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

In Tabelle 6.11 sind Arbeitsfolge und Fahrwerksparameter für die Getreideproduktion in einem Gemischbetrieb auf einem Standort mit mäßiger Schadverdichtungsgefährdung (SVGK 2) aufgeführt. Zu dem Risiko beim Mähdrusch kommen hier noch Risiken bei der Körnerabfuhr sowie beim Strohpressen hinzu. Während diese Belastung in dieser SVGK eventuell gerade noch toleriert werden muss, kann diese Technologie bei stärkeren Risiken (SVGK 3 und 4) nicht mehr empfohlen werden. Da sich hier besonders das direkte Körnerabbunkern (Ag. 11) als Belastung im roten Bereich herausstellt, sollten hier andere Technologien bevorzugt werden (Abb. 6.14).

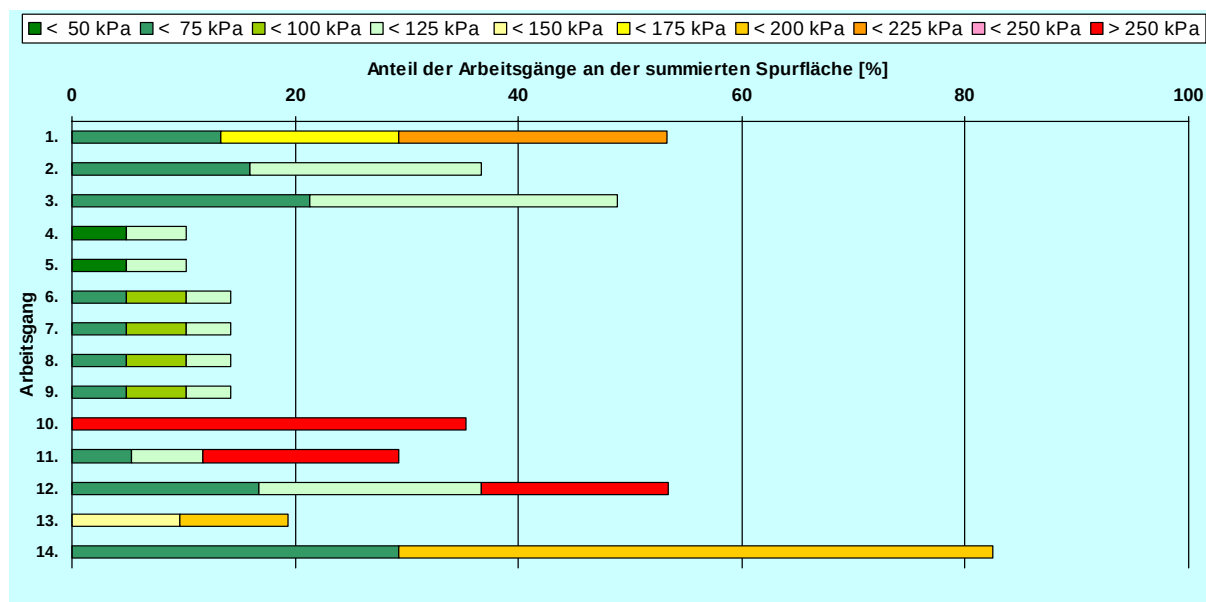


Abb. 6.14: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Getreideanbau in der SVGK 2, gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa]

Beim Einsatz gleicher Technik und Technologien auf Böden der erheblich gefährdeten Standorte (SVGK 3) würde es bei den Arbeitsgängen Gülleausbringung, Mähdrusch, Körnerabfuhr und Strohpressen zu einem erhöhten Risiko kommen (Tab. 6.12). Durch eine Veränderung der Fahrwerksparmeter sowie das Entfallen des direkten Körnerabbunkerns kommt es zu einer deutlichen Entlastung (Tab. 6.13).

Das zeigt sich auch in Abbildung 6.15, wo die starke Überschreitung des zulässigen Kontaktflächendrucks nur bei der direkten Körnerabbunkerung auftritt (roter Bereich), dieser Arbeitsgang sollte technologisch verändert werden.

Tab. 6.12: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 2 (Tab. 6.11) für den Anbau von Getreide auf Sandlehmen und Sandschluffen in Brandenburg mit erheblicher Schadverdichtungsgefährdung SVGK 3, die das Schadverdichtungsrisiko erhöhen

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
		ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1 Gülleausbringung	Traktor 140 kW Füllmenge Fass 10,3 m³		x			x	
2 Grubbern	Traktor 180 kW	x			x		
3 Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination	x			x		
10 Mähdrusch	Mähdrescher		x		x		
11 Körnerabfuhr	Traktor 140 kW 2 Anhänger		x			x	
12 Strohpressen	Traktor 100 kW Presse		x			x	

Tab. 6.13: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit hohem Risiko in der SVGK 3

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD						
				[cm]	[kN]	[kPa]	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Gülleausbringung Terra Gator Vierrad Füllmenge Fass 15 m³	6,00	1	107,0	45,0	90				X		
			2	107,0	45,0	90	X					
2	Grubbern	6,00	1	60,0	13,9	60				X		
			2	71,6	36,2	100	X					
3	Kreiseldrillen	4,50	1	60,0	13,7	60				X		
			2	71,5	29,0	80	X					
10	Mähdrusch	6,00	1	108,0	85,0	170				X		
			2	60,0	35,0	180	X					
11	Körnerabfuhr	entfällt										
12	Strohpressen	6,00	1	49,0	13,7	70				X		
			2	59,0	29,0	110		X				
			3	70,0	42,5	200						

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

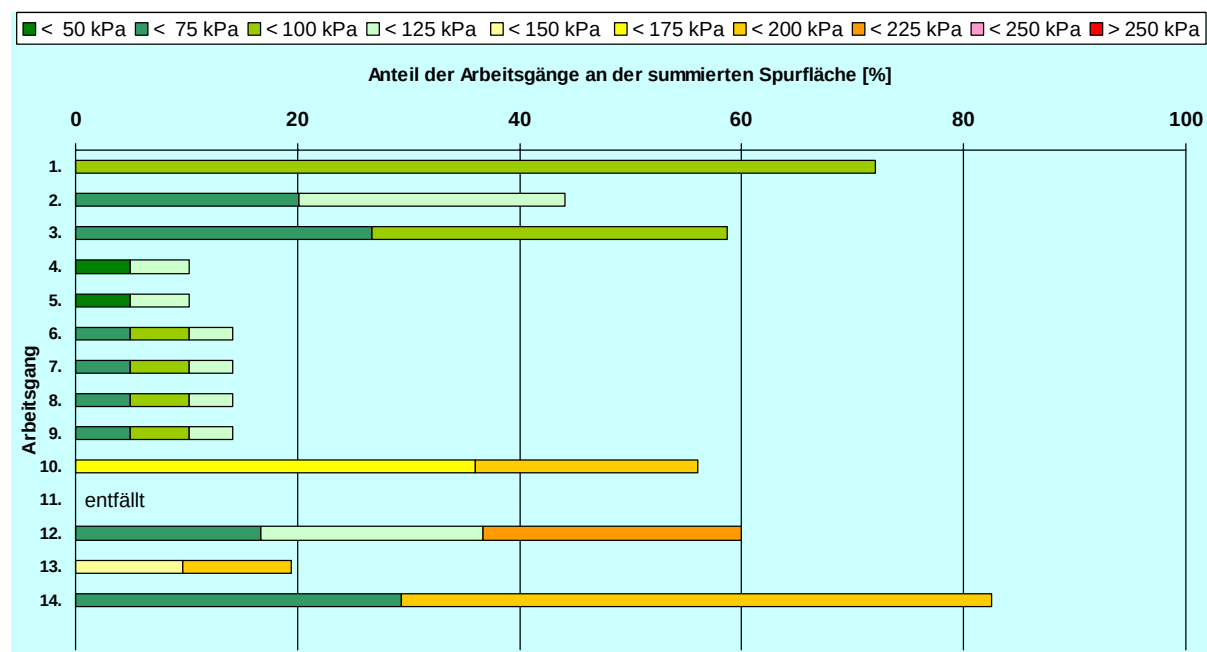


Abb. 6.15: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Getreideanbau in der SVGK 3 gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa] (bodenschonende Variante)

Noch gravierender würde der Einsatz gleicher Technik in Gemischtbetrieben auf Standorten mit starker Schadverdichtungsgefährdung (SVGK 4) wirken. Die Risiken des Mähdrusches, der Körnerabfuhr sowie des Strohpressens sind für die Ackerkrume erheblich und für den Unterboden mäßig.

Auch die Gülleausbringung erhöht das Risiko für den Unterboden (Tab. 6.14). Bei Gemischtbetrieben, die nur Güllwirtschaft haben, kann die Strohbergung entfallen. Damit verringert sich die Belastung.

Werden die technischen Parameter verändert und unterbleibt das direkte Körnerab-bunkern, werden die Risiken auch auf diesen besonders gefährdeten Standorten vermeidbar (Tab. 6.15).

Tab. 6.14: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 2 (Tab. 6.11) für den Anbau von Getreide auf Lehmsanden und Schluffsanden in Brandenburg mit starker Schadverdichtungsgefährdung SVGK 4, die das Schad- verdichtungsrisiko erhöhen

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
		ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1 Gülleausbringung	Traktor 140 kW Füllmenge Fass 10,3 m³		x			x	
2 Grubbern	Traktor 180 kW		x		x		
3 Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination		x		x		
10 Mähdrusch	Mähdrescher			x		x	
11 Körnerabfuhr	Traktor 140 kW 2 Anhänger			x		x	
12 Strohpresen	Traktor 100 kW Presse			x		x	
13 Strohabfahren	Traktor 70 kW 2 Anhänger		x		x		

Tab. 6.15: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für die oben aufgeführten Arbeits- gänge mit hohem Risiko in der SVGK 4

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeits- breite/ Reihen- weite	Achse	Fahrwerks- Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
		[m]		[cm]	[kN]	[kPa]						
1 Gülleausbringung	Terra Gator Vierrad Füllmenge Fass 13 m³	6,00	1	107,0	40,0	80	x			x		
			2	107,0	40,0	80						
2 Pflügen	Traktor 180 kW Pflug 5 furchig	2,00	1	60,0	14,0	60	x			x		
			2	71,6	36,0	100						
3 Kreiseldrillen	Traktor 140 kW KE-Kombination	4,50	1	60,0	13,7	60	x			x		
			2	71,5	29,0	80						
10 Mähdrusch	Mähdrescher Medion 320	6,00	1	77,5	65,0	180	x			x		
			2	50,0	22,5	130						
11 Körnerabfuhr	entfällt											
12 Strohpresen	Traktor 100 kW Presse mit Tandem- achse	6,00	1	49,0	13,7	70	x			x		
			2	59,0	29,0	110						
			3	70,0	21,3	100						
			4	70,0	21,3	100						
14 Strohabfahren	Traktor 70 kW Option 2 Anhänger	6,00	1	39,0	7,5	60	x			x		
			2	48,8	12,5	60						
			3	50,3	19,5	150						
			4	50,3	19,5	150						
			5	50,3	19,5	150						
			6	50,3	19,5	150						

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

Bei den Gemischtbetrieben bleibt der enorme Transportaufwand für die Strohber- gung sowie für die Ausbringung der anfallenden organischen Dünger bestehen und ist erschwerend. Hier sollte die Beachtung der höheren Belastbarkeit trockener Bö- den im Vordergrund stehen. Doch zumindest werden auch für diese Betriebe Mög-

lichkeiten aufgezeigt, wie durch Techniken- oder Umrüstung und andere Technologien mittelfristig reagiert werden kann.

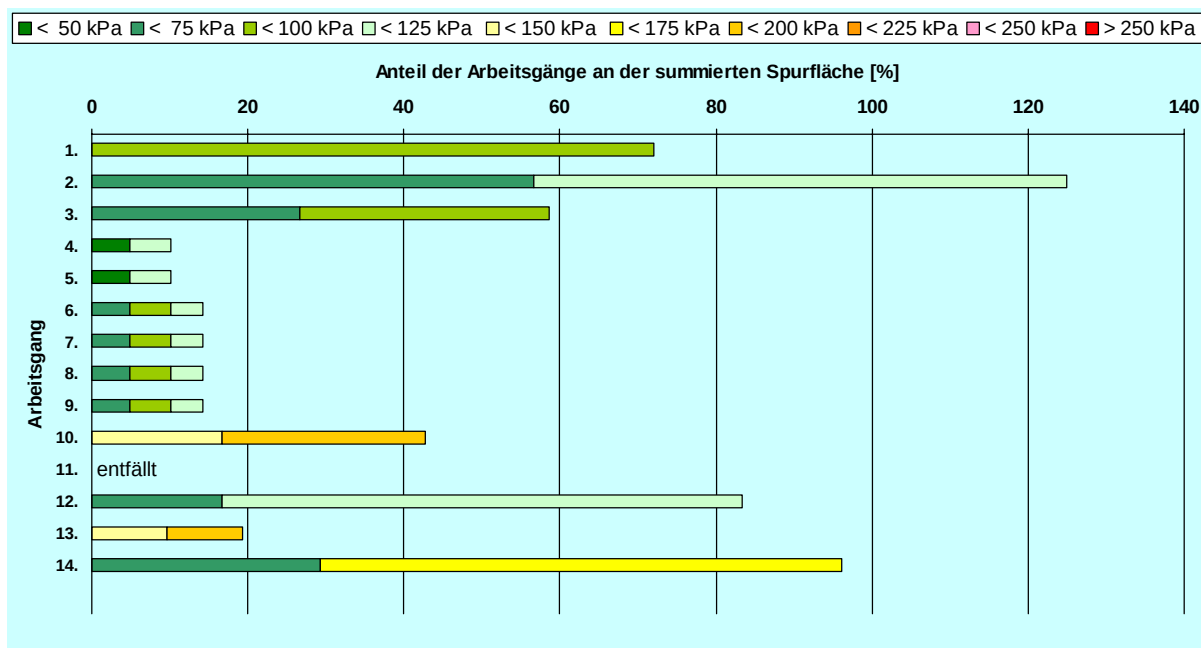


Abb. 6.16: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Getreideanbau in der SVGK 4 gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa] (bodenschonende Variante)

6.3 Beispiel Kartoffelanbau

Das folgende Beispiel bezieht sich auf typische Verfahren des Kartoffelanbaus auf sandigen Standorten mit erheblichem oder starkem Schadverdichtungsrisiko (SVGK 3 und 4). Der Kartoffelanbau bleibt auch bei angepassten und bodenschonenden Fahrwerksparametern mit einem Risiko für Schäden in der Ackerkrume behaftet, die aber durch nachfolgende Bodenbearbeitung beseitigt werden können (Tab. 6.16).

Tab. 6.16: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von Kartoffeln auf Sandlehmen und Sandschluffen in Brandenburg mit erheblicher Schadverdichtungsgefährdung SVGK 3

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
				[cm]	[kN]	[kPa]						
1	Herbstfurche	Traktor 180 kW Pflug 9-furchig (Onland)	3,20	1	59	13,6	60					
				2	69	37,5	110	x		x		
2	Kartoffeln legen	Traktor 70 kW Heckanbaulegemaschine, 4 reihig (2500 kg)	3,00	1	40	7,5	60					
				2	48	20,2	100	x		x		
				3	28	12,1	150					
3/4	Mechanische Pflege	Traktor 70 kW Heckanbauhäufelgerät	3,00	1	40	7,5	60					
				2	42	12,5	70	x		x		
5/6	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer	18,0	1	40	7,5	60					
				2	42	20,0	120	x		x		
7-13	Pflanzenschutz	Traktor 70 kW Anhänge-Feldspritze	18,0	1	40	7,5	60					
				2	48	20,0	120	x		x		
				3	32	12,4	90					
14	Kartoffelroden	Traktor 70 kW Vollernter 3 t Bunker einreihig	0,75	1	40	7,5	60					
				2	48	21,0	100			x		
				3	60	40,0	200					

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

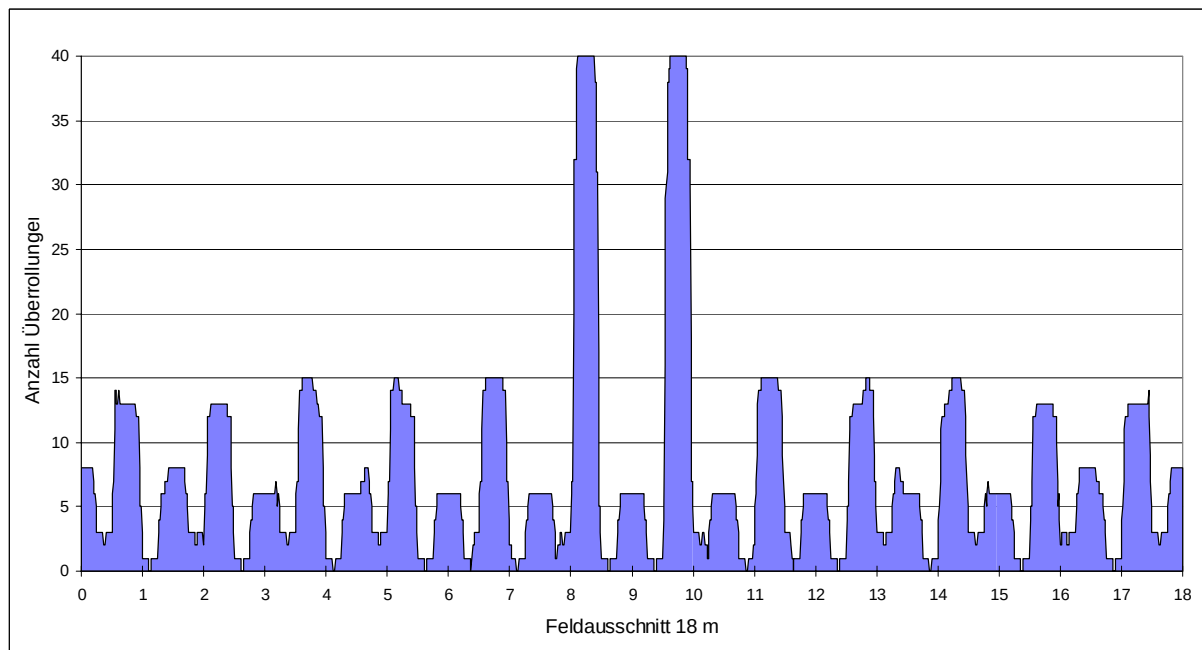


Abb. 6.17: Spurposition und Überrollhäufigkeit beim Kartoffelanbau in der SVGK 3 (befahrene Fläche 97,2 %, summierte Spurfläche 769,5 %)

Die befahrene Fläche liegt sehr hoch, was aber nur in der Ackerkrume wirksam wird (Abb. 6.17). Die Kartoffelernte stellt auch hier einen Schwerpunkt dar, dem besondere Sorgfalt zukommen muss, das heißt ein erhöhtes Risiko bei sehr feuchten Bodenbedingungen sollte vermieden werden.

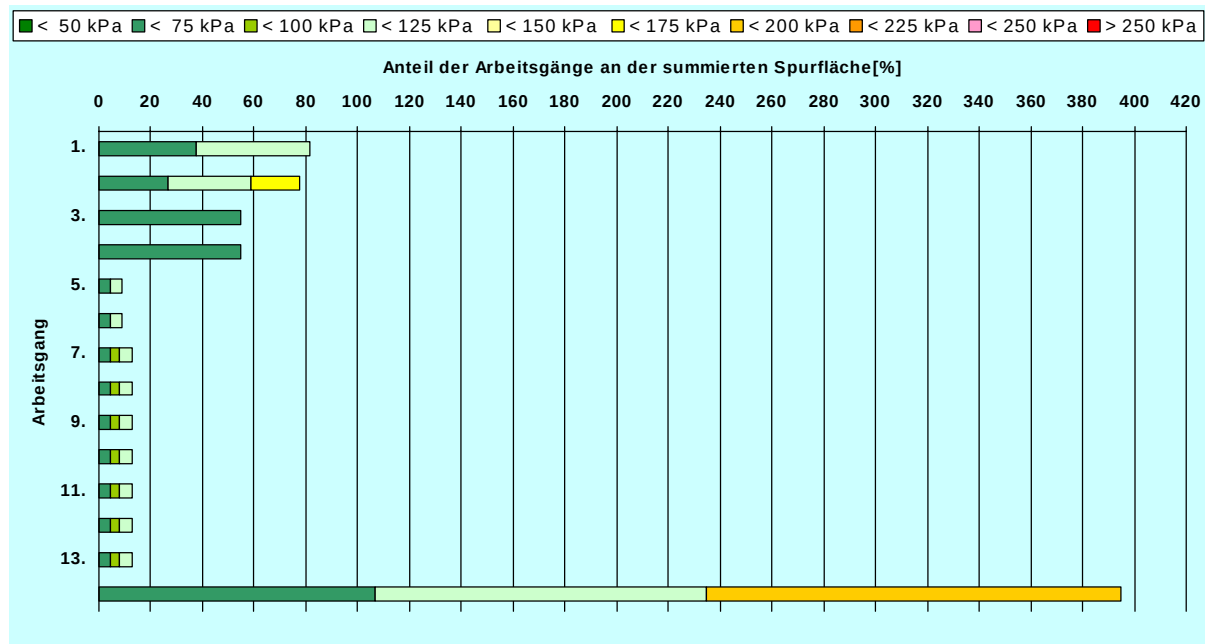


Abb. 6.18: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Kartoffelanbau in der SVGK 3, gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa]

Auf den stark gefährdeten Standorten (SVGK 4) kann der Gefahr für den Unterboden durch eine Spaltung der Ernte in Kartoffelroden und Feldsammeltransport gemindert werden (Tab. 6.17, 6.18 und Abb. 6.19).

Tab. 6.17: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 3 (Tab. 6.11) für den Anbau von Kartoffeln auf Lehmsanden und Schluffsand in Brandenburg mit starker Schadverdichtungsgefährdung SVGK 4, die das Schadverdichtungsrisiko erhöhen

Arbeitsgang (Ag)		Eingesetzte Technik	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
			ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Herbstfurche	Traktor 180 kW Pflug 9-furchig (Onland)		x		x		
2	Kartoffeln legen	Traktor 70 kW Heckanbaulege- maschine, 4 reihig		x		x		
3/ 4	Mechanische Pflege	Traktor 70 kW Heckanbauhäufel- gerät		x		x		
5/ 6	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer		x		x		
7- 13	Pflanzenschutz	Traktor 70 kW Anhänge-Feldspritze		x		x		
14	Kartoffelroden	Traktor 70 kW Vollernter 3 t Bunker einreihig			x		x	

Tab. 6.18: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit hohem Risiko in der SVGK 4

Arbeitsgang (Ag)		Eingesetzte Technik	Arbeits- breite/ Reihen- weite [m]	Achse	Fahrwerks- Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
					*RB	RL	KFD						
					[cm]	[kN]	[kPa]	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
2	Kartoffeln legen	Traktor 70 kW Heckanbaulege- maschine, 4 reihig (1200kg)	3,00	1	40	7,5	60						
				2	48	20,2	100		x		x		
				3	18	3,0	100						
3/ 4	Mechanische Pflege	Traktor 70 kW Heckanbauhäufelgerät	3,00	1	40	7,5	60		x		x		
				2	42	12,5	70						
5/ 6	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer	18,0	1	40	7,5	60		x		x		
				2	42	20,0	120						
7- 13	Pflanzenschutz	Traktor 70 kW Anhänge-Feldspritze	18,0	1	40	7,5	60				x		
				2	48	20,0	120		x				
				3	32	12,4	90						
14	Kartoffelroden	Traktor 70 kW zweireihiger Verlade- roder	1,50	1	40	7,5	60				x		
				2	48	16,3	80		x				
				3	60	23,2	120						
15	Sammeltransport	Feldtransporter 5 t	1,50	1	80	24,4	90				x		
				2	110	36,6	80		x				

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

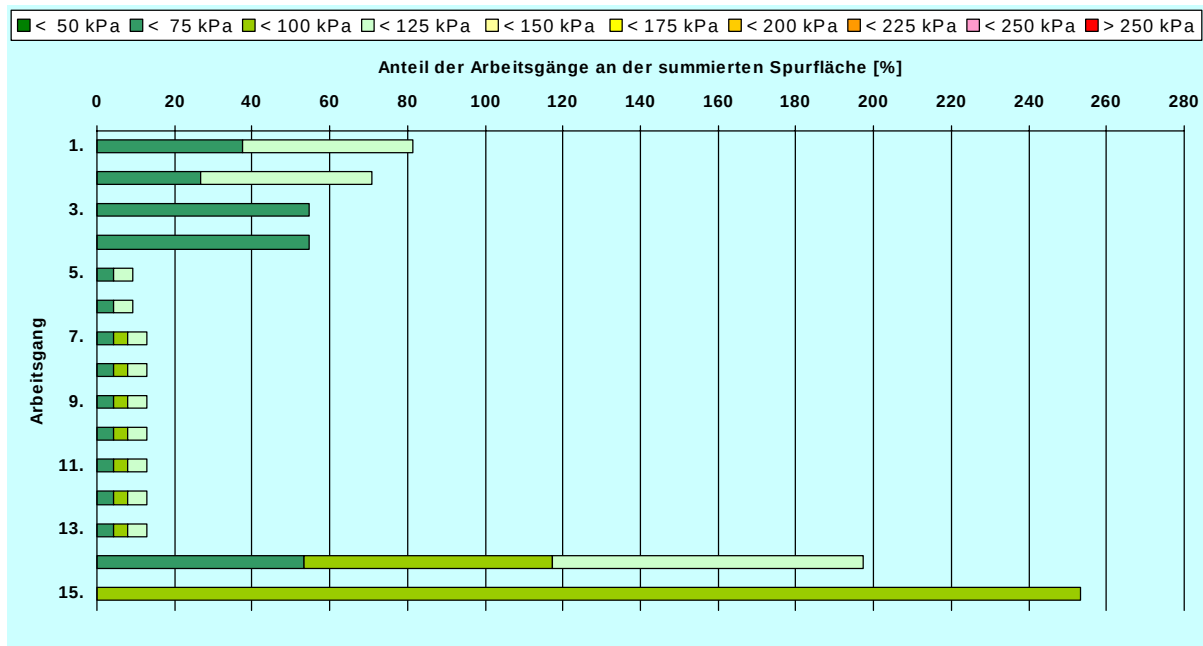


Abb. 6.19: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Kartoffelanbau in der SVGK 4 gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa] (bodenschonende Variante)

Zusammenfassend ergibt die Bewertung, dass auf den Standorten mit starker Schadverdichtungsgefährdung (SVGK 4) ein Risiko der Schadverdichtung in der Ackerkrume bestehen bleibt, während die Belastung für die Krumbasis und den Unterboden beschränkt bleiben (Abb. 6.20).

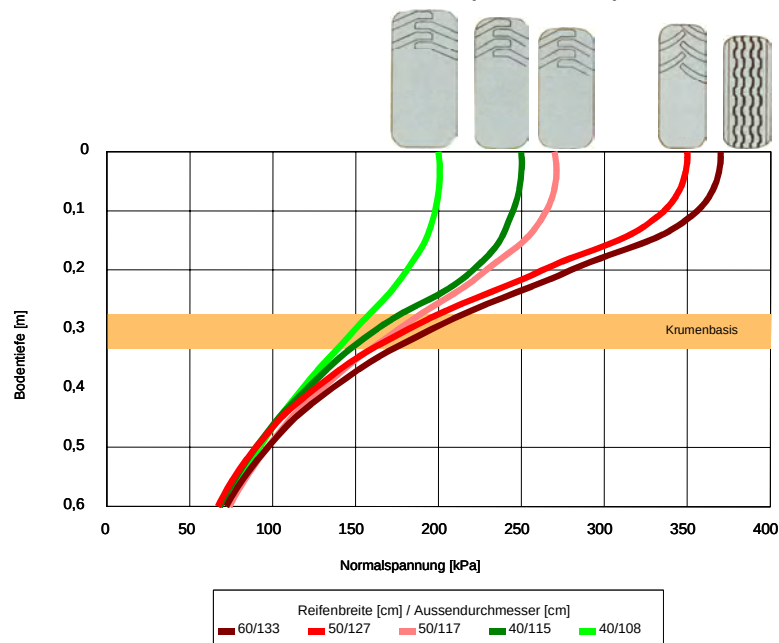


Abb. 6.20: Normalspannung in Abhängigkeit der Bodentiefe am Beispiel eines gezogenen Kartoffelvollernters mit 3 t Bunker

Durch die hohe Überrollhäufigkeit bei geringen Arbeitsbreiten lässt sich die Belastung kaum reduzieren. Verstärkt wird das durch die Empfindlichkeit des Ernteproduktes. Da sich die Schäden aber in der Regel auf den Krumbereich beschränke, ist ihnen durch eine krumentiefe Bearbeitung zu begegnen.

6.4 Beispiel Silomaisanbau

Das letzte Beispiel bezieht sich auf typische Verfahren des Maisanbaus auf Standorten in Brandenburg mit erheblichem oder starkem Schadverdichtungsrisiko (SVGK 3 und 4). Ähnlich wie beim Kartoffelanbau tritt ein Risiko für Schäden in der Ackerkrume auf, kann aber in der SVGK 3 durch nachfolgende Bodenbearbeitung beseitigt werden (Tab. 6.19).

Tab. 6.19: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von Silomais auf Sandlehmen und Sandschluffen in Brandenburg mit erheblicher Schadverdichtungsgefährdung SVGK 3

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
				[cm]	[kN]	[kPa]						
1	Gülleausbringung mit Grubber	4,50	1	80	40,0	150		X		X		
			2	110	55,0	120						
2	Pflügen	2,00	1	59	13,6	60	X			X		
			2	69	37,5	110						
3	Aussaat	9,00	1	39	8,5	70	X			X		
			2	48,8	13,1	60						
4	Mineraldüngung	18,0	1	43,5	4,0	30	X			X		
			2	47	26,0	110						
5	Pflanzenschutz	18,0	1	43,5	7,0	50	X			X		
			2	47	21,0	90						
			3	35,5	15,0	100						
6	Silomaisernte	4,50	1	65	37,5	130		X		X		
			2	54	12,5	70						
7	Silagetransport	4,50	1	60	14,5	60				X		
			2	71,5	23,0	70						
			3	70	30,0	130		X				
			4	70	30,0	130						

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

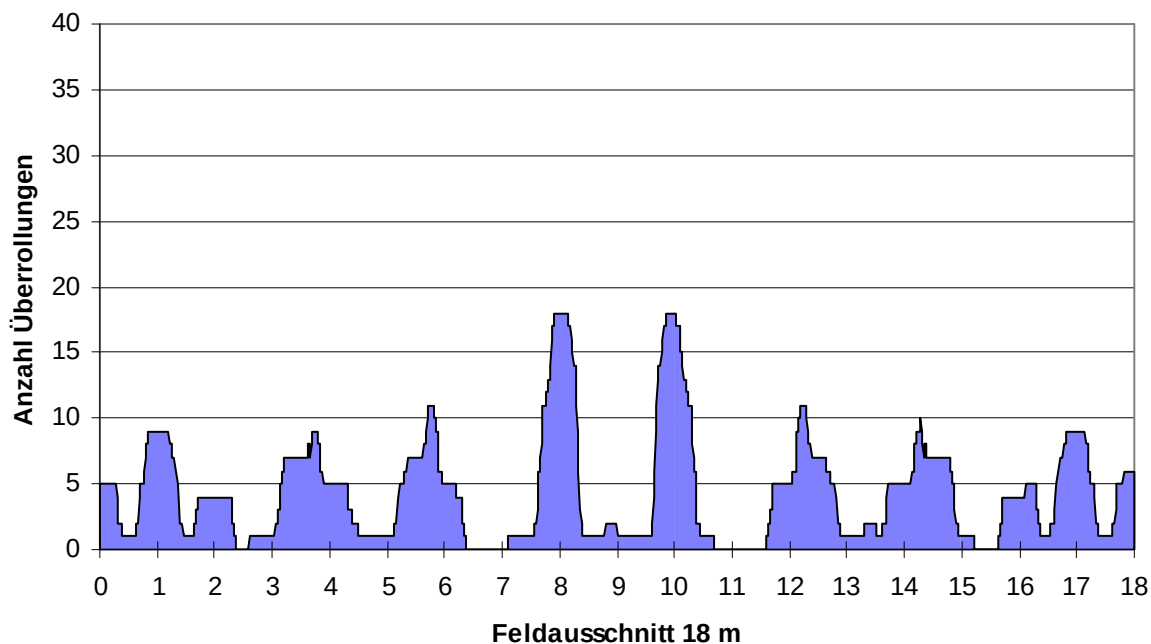


Abb. 6.21: Spurposition und Überrollhäufigkeit beim Maisanbau in der SVGK 3 (befahrene Fläche 87,4 %, summierte Spurfläche 432,9 %)

Die befahrene Fläche liegt relativ hoch, was aber in diesem Beispiel nur in der Ackerkrume wirksam wird (Abb. 6.21). Die Gülleausbringung sowie die Silomaisernnte und der Abtransport des Erntegutes stellen hier Arbeitsgänge dar, denen besondere Sorgfalt zukommen muss.

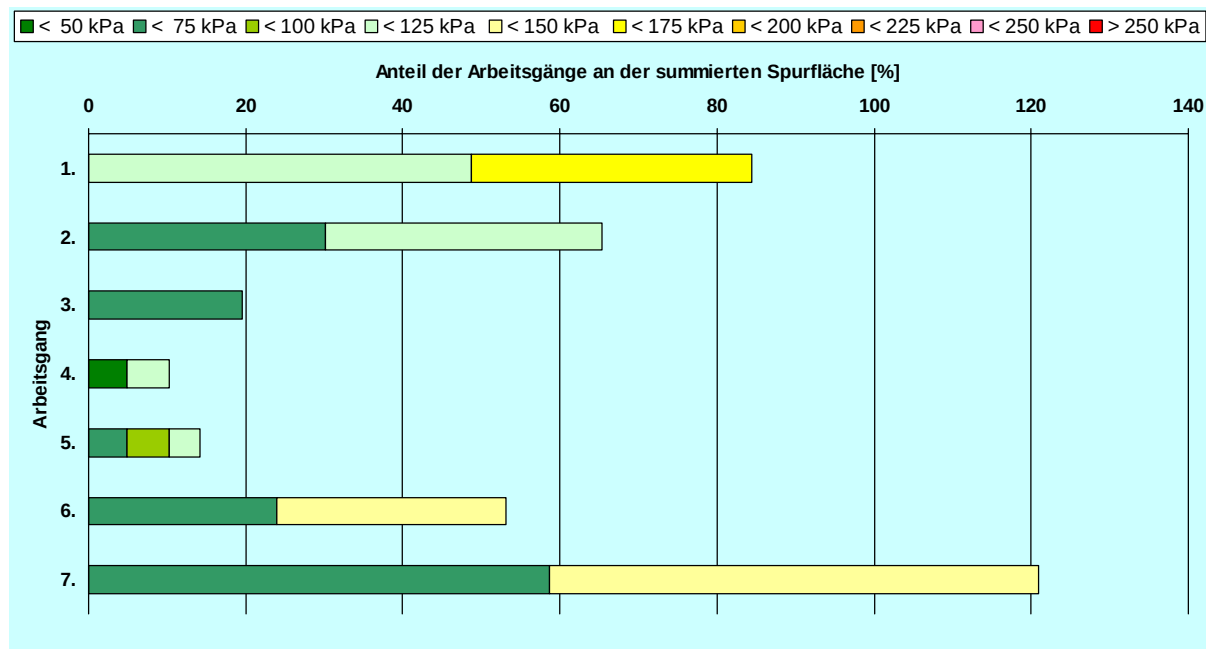


Abb. 6.22: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Silomaisanbau in der SVGK 3, gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa]

Auf den stark gefährdeten Standorten (SVGK 4) mit geringerer Belastbarkeit ohne Schaden würden beim Einsatz gleicher Technik wie in der SVGK 3 bei den Arbeitsgängen Gülleausbringung und Ernteguttransport Schäden in der Krume und Krumenbasis auftreten (Tab. 6.20).

Tab. 6.20: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 3 (Tab. 6.19) für den Anbau von Silomais auf Lehmsanden und Schluffsanden in Brandenburg mit starker Schadverdichtungsgefährdung SVGK 4, die das Schadverdichtungsrisiko erhöhen

Arbeitsgang (Ag)		Eingesetzte Technik	Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
			ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Gülleausbringung mit Grubber	Feldtransporter mit Fass 10 m³ und Grubber			X		X	
7	Ernteguttransport	Traktor 140 kW Großraumsilage-transportwagen Nutzlast 8,2 t			X		X	

Tab. 6.21: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit hohem Risiko in der SVGK 4

Arbeitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeitsbreite/ Reihenweite [m]	Achse	Fahrwerks-Parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume je Arbeitsgang			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis je Arbeitsgang		
				*RB	RL	KFD						
				[cm]	[kN]	[kPa]	ohne	mäßig	erheb.	ohne	mäßig	erheb.
1	Gülleausbringung mit Grubber	4,50	1	80	30,0	110		X		X		
			2	110	45,0	100						
7	Ernteguttransport	Traktor 140 kW Großraumsilage-transportwagen Nutzlast 5,6 t	1	60	14,5	60				X		
			2	71,5	23,0	70						
			3	70	20,0	90		X		X		
			4	70	20,0	90						

*RB = Radbreite; RL = Radlast; KFD = Kontaktflächendruck

Auf den stark gefährdeten Standorten (SVGK 4) kann die Gefahr für den Unterboden, in dem Schadverdichtungen durch Bodenbearbeitung nicht verhindert werden können, durch die Begrenzung der Befüllmenge von 10 auf 6 m³ und beim Ernteguttransport von 8,2 auf 5,6 t vermieden werden (Tab. 6.21).

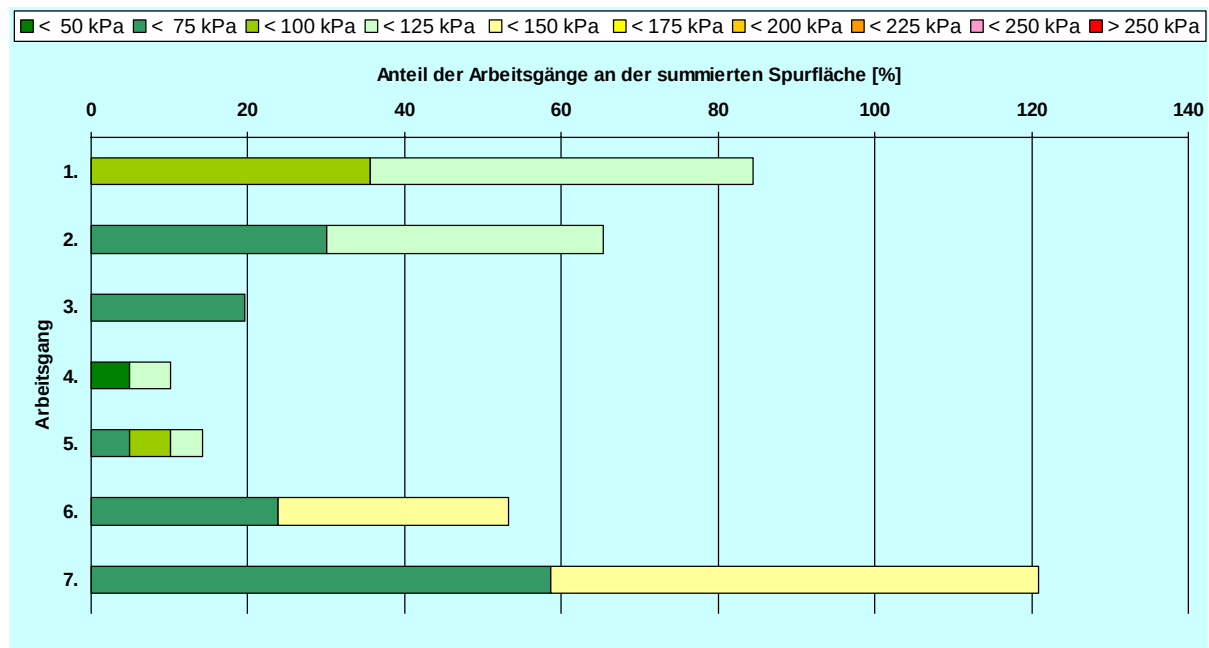


Abb. 6.23: Anteil der Arbeitsgänge an der summierten Spurfläche in % beim Silomaisanbau in der SVGK 4 gruppiert nach den Klassen des Kontaktflächendrucks [kPa] (bodenschonende Variante)

Zusammenfassend ergibt die Bewertung, dass bei erheblichem und hohem Schadverdichtungsrisiko reagiert werden kann und so keine Schäden für den Unterboden auftreten müssen.

7 FELDLÄNGEN- UND SCHLAGEINTEILUNG AM BEISPIEL DER MAISERNT (TRANSPORT)

Feldlängen werden vielfach durch natürliche Flurelemente begrenzt, die in der Regel erhalten werden sollen (BbodSchG § 17). Sehr großen Feldlängen liegen oftmals ökonomische und technologische Parameter zugrunde. Auf allen schadverdichtungsgefährdeten Standorten stellt die Begrenzung der Last- und Leefahrten einen wirksamen Ansatz zur Verminderung des Risikos dar.

Nachfolgend soll am Beispiel der Silomaisernte der Zusammenhang demonstriert werden. Die Ernte des Silomais ist deswegen ein gut geeignetes Beispiel, weil eine reihenunabhängige Ernte zusätzlich zur Nutzlastbegrenzung auch eine Begrenzung der Beladestrecken zulässt. Zwischen einer Beetbreite von 155 m bei der SVGK 3 und einer von 311 m bei SVGK 1 kann variiert werden.

Beispiel: Silomaisernte

Technik: Feldhäcksler mit Maisgebiss, reihenunabhängig, Arbeitsbreite 4,5 m

Erntegutabtransport mit Traktor 140 kW und Großraumtransportwagen.

Variationen: Nutzlast sowie Bereifung.

Tab. 7.1: Kontaktflächendruck (kPa) und Normalspannung in Abhängigkeit von Nutzlast und der Reifendimension der Transportfahrzeuge.

Nutzlast (t) / Reifenbreite (cm)	Nutzlast kg	Reifendimension	Kontaktflächendruck kPa Bodenoberfläche	Normalspannung kPa in 30 cm Tiefe (Krumenbasis)
5,6/55	5.600	550/60-22,5	120	90
5,6/60	5.600	600/50-22,5	110	87
5,6/70	5.600	700/50-22,5	90	77
8,2/55	8.200	550/60-22,5	180	134
8,2/60	8.200	600/50-22,5	170	134
8,2/70	8.200	700/50-22,5	130	111
12,5/55	12.500	550/60-22,5	270	202
12,5/60	12.500	600/50-22,5	260	205
12,5/70	12.500	700/50-22,5	200	171
14,0/55	14.000	550/60-22,5	300	224
14,0/60	14.000	600/50-22,5	280	221
14,0/70	14.000	700/50-22,5	220	188

Aus diesen Belastungswerten (kPa) und dem Vergleich mit dem zulässigen Belastungsbereich für den jeweiligen Standort ergeben sich in Abhängigkeit von der Schadverdichtungsgefährdungsklasse (SVGK) und der Art der nachfolgenden Bodenbearbeitung (nachfolgende Grundbodenbearbeitung oder Verzicht auf Grundbodenbearbeitung) Begrenzungen (Tab. 7.2).

Tab. 7.2: Begrenzungen für Transportfahrzeuge bei der Silomaisерnte in den Schadverdichtungsgefährdungsklassen

(- Schadverdichtung x keine Schadverdichtung
nGB nachfolgende Grundbodenbearbeitung)

Nutzlast (t) / Reifenbreite (cm)	SVGK 1 ohne nGB	SVGK 1 mit nGB	SVGK 2 ohne nGB	SVGK 2 mit nGB	SVGK 3 ohne nGB	SVGK 3 mit nGB	SVGK 4 ohne nGB	SVGK 4 mit nGB	SVGK 5 ohne nGB	SVGK 5 mit nGB
5,6/55	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
5,6/60	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-
5,6/70	X	X	X	X	-	X	-	X	X	-
8,2/55	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-
8,2/60	X	X	-	X	-	X	-	-	-	-
8,2/70	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-
12,5/55	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
12,5/60	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
12,5/70	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
14,0/55	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
14,0/60	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
14,0/70	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-

Aus den dargelegten Wirkungen der verschiedenen Kombinationen in den unterschiedlichen SVGK ergeben sich in Abhängigkeit von den standortabhängigen Zielerträgen unterschiedliche Beladestrecken für die Transportfahrzeuge, die zur Grundlage der Schlageinteilung herangezogen werden sollten. Da der Abtransport des Erntegutes zu den belastungsintensivsten Arbeitsgängen gehört, ist es richtig, die Bemessung der Fahrstrecke daraus abzuleiten, um den Transport so effektiv wie möglich und bodenschonend ohne Anschlußfahrten zu gestalten.

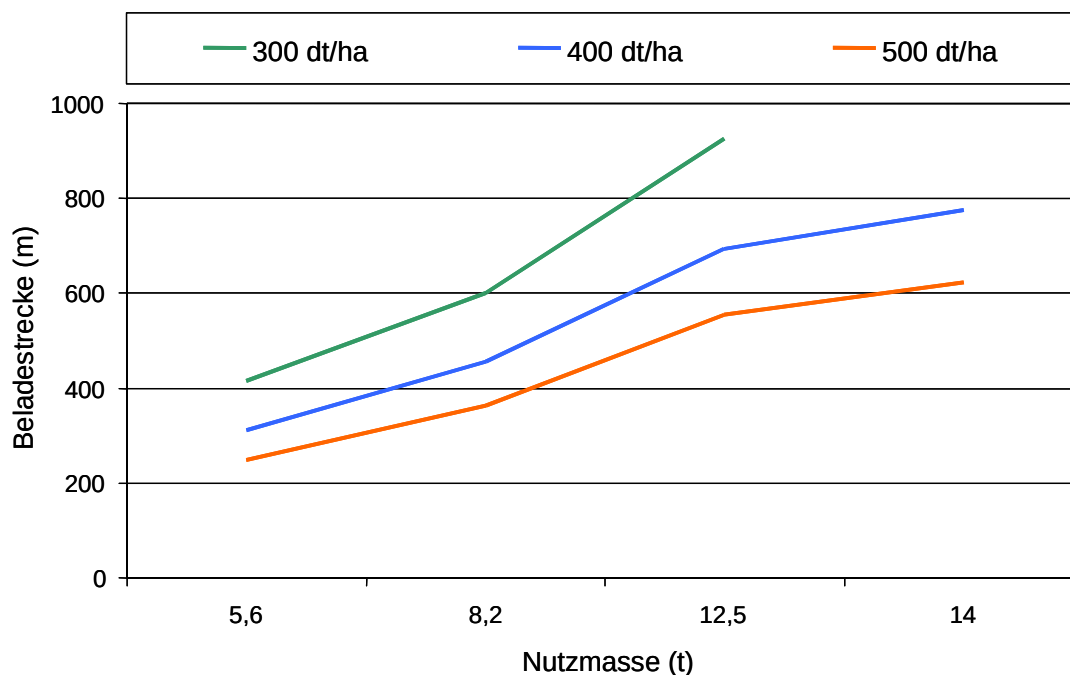


Abb. 7.1: Zusammenhang zwischen Nutzmasse, Ertrag und Beladestrecke bei der Silomaisерnte (Arbeitsbreite 4,5m)

Für die Empfehlungen aus vorliegendem Beispiel werden folgende Zielerträge unterstellt:

SVGK 1 und 2 500 dt/ha

SVGK 3 400 dt/ha

SVGK 4 und 5 300 dt/ha

Nachfolgend werden nur die Fahrzeugparameter und Nutzlasten betrachtet, die ohne Schadverdichtungsrisiko für die einzelnen SVGK empfohlen werden können.

Tab. 7.3: Empfohlene Beladestrecken (in m) und Beetbreiten (in m) für die standortangepassten Ernteguttransportwagen

nGB nachfolgende Grundbodenbearbeitung
 schwarze Zahl Beladestrecke (m)
 blaue Zahl Beetbreite (m)

Nutzlast (t) / Reifenbreite (cm)	SVGK 1 ohne nGB	SVGK 1 mit nGB	SVGK 2 ohne nGB	SVGK 2 mit nGB	SVGK 3 ohne nGB	SVGK 3 mit nGB	SVGK 4 ohne nGB	SVGK 4 mit nGB	SVGK 5 ohne nGB	SVGK 5 mit nGB
5,6/55					311/ 155	311/ 155				
5,6/60					311 / 155			415 / 207		
5,6/70								415 / 207		415 / 207
8,2/55	364 / 182			364 / 182						
8,2/60				364 / 182		456 / 228				
8,2/70			364 / 182			456 / 228				
12,5/55		556 / 278								
12,5/60		556 / 278								
12,5/70	556 / 278			556 / 278						
14,0/55		622 / 311								
14,0/60		622 / 311								
14,0/70	622 / 311			622 / 311						

Aus den Ergebnisse wird deutlich, dass in den wenig gefährdeten Klassen (SVGK 1 und 2) fast alle Fahrzeuge schadlos eingesetzt werden können. Dadurch werden Beetbreiten bis 311 m möglich. In den stärker gefährdeten Klassen (SVGK 3 bis 5) ist der Fahrzeugeinsatz begrenzt, da eine Reduzierung der Nutzlasten erforderlich wird. Damit verringern sich die möglichen Beetbreiten auf ca. 200 m.

Ähnlich wie bei der Maisernte kann das Prinzip der Beeteinteilung zur Reduzierung der Anschlussfahrten auch bei anderen Arbeitsgängen angewendet werden.

8 SANIERUNG VON SCHADVERDICHTUNGEN IN KRUMENBASIS UND UNTERBODEN

Besonders im Frühjahr werden bereits eingetretene starke Schadverdichtungen lokal sichtbar (Abb. 2.6). Meist wird die Entwicklung der Pflanzenbestände dadurch erheblich verzögert. Durch Luftmangel vergilbte Pflanzen im Frühjahr sowie durch Notreife bei ausgeprägter Vorsommertrockenheit (Abb. 8.1) sind eindeutige Hinweise auf gestörte Bodenfunktionen.

Abb. 8.1: Notreife des Getreides in den verdichteten Fahrspuren



Vor einer Sanierung durch Tiefgrubbern, Parapflügen oder Tieflockern müssen folgende Punkte geklärt werden:

1. Ist es möglich, mittelfristig auf den Anbau von Zuckerrüben, Kartoffeln und Silomais zu verzichten?
2. Ist es möglich, mittelfristig die Technik an die Belastbarkeit der Böden (Schadverdichtungsgefährdungsklassen) anzupassen?

Diese beiden Punkte müssen der Entscheidung für eine Sanierung vorausgehen, weil gelockerte Böden besonders verdichtungsempfindlich sind. Würde mit gleicher Technik wie vorher befahren werden, wären der Erfolg der Maßnahme nicht gewährleistet.

Da die Sanierung in der Regel mit erhöhten Kosten verbunden ist, müssen Lage, Tiefe und Ausprägung gründlich diagnostiziert werden. Das kann mittels Spatendiagnose und Penetrometermessungen erfolgen. Zum Ergebnis der Auswertung kann oft empfohlen werden, nur die stark verdichteten Schlagteile (z. B. Senken) zu sanieren.



Abb. 8.2: Stehendes Wasser im Frühjahr

9 WEITERE EMPFEHLUNGEN UND MÖGLICHKEITEN ZUR VORSORGE GEGEN BODENSCHADVERDICHTUNGEN

9.1 Senkung des Reifeninnendruckes

- Größtmögliche Kontaktflächenausbildung durch Anpassung des Reifeninnendruckes an die jeweilige Radlast und die Arbeitsgeschwindigkeit ist wünschenswert und technisch machbar.
- Zur Realisierung oben erwähnter Innendrucksenkung sollte eine Trennung von Feld- und Straßentransport angestrebt werden, da die optimalen Reifeninnendrucke für Feld und Straße sehr verschieden sind.
- Für die Anpassung des Reifeninnendruckes an die unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten sind sehr leistungsfähige Reifeninnendruck-Regelanlagen für alle Transporte vom Feld zum Hof (Ernteprodukte) bzw. vom Hof zum Feld (Düngemittel-, Stallung- und Gülletransporte) erforderlich, die in Entwicklung sind (Abb. 9.1).

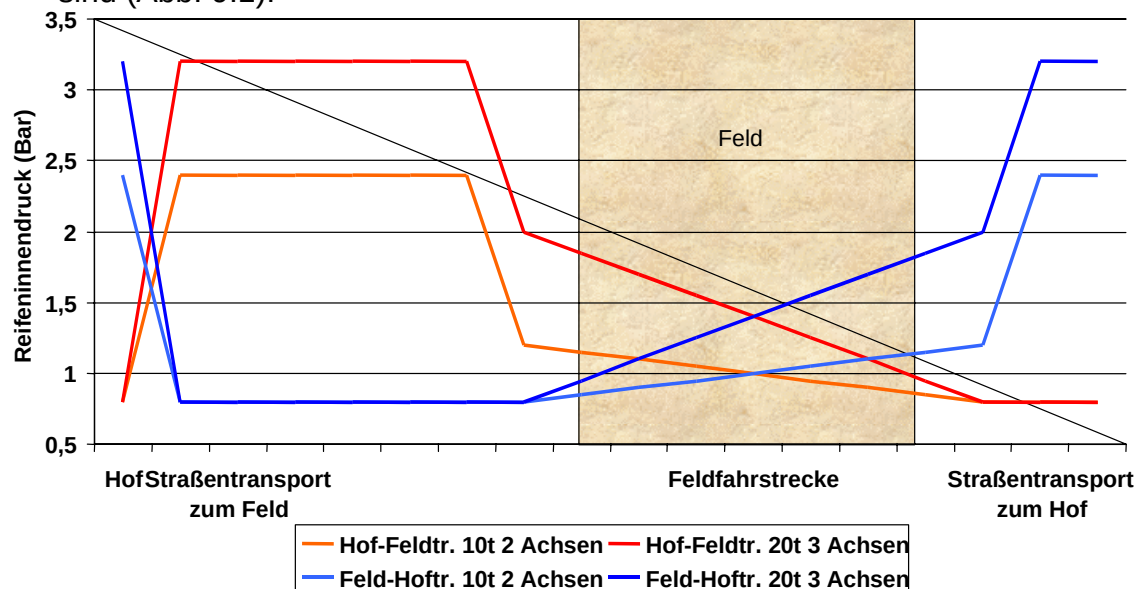


Abb. 9.1: Beispiel für die Anforderungen zur Einstellung des an die Radlast und Fahrgeschwindigkeit angepassten Reifeninnendruckes

9.2 Erhöhung der Aufstandsfläche



Abb. 9.2: Traktor mit Zwillingsrädern

- Verwendung von bodenschonenden Breitreifen oder von schnell wechselbarer Mehrfachbereifung (Zwillings- bzw. Gitterräder) (Abb. 9.2), um die zulässigen Gesamtbreiten für die Nutzung öffentlicher Straßen nicht zu überschreiten,

- Einsatz von Gleisband- bzw. Gummiraupenlaufwerken (Abb. 9.3),
- Einsatz von Tandem- bzw. Tridemachsen ohne Lasterhöhung,
- Anlage von Regelspuren mit ausreichender Breite für die Verwendung von bodenschonenden Reifen auch bei der Bestandesführung.



Abb. 9.3: Traktor mit Gleisbandlaufwerk

9.3 Verminderung der Radlasten und Überrollungen

- Zur besseren Standortanpassung an die Belastbarkeit der Böden sollte eine Beladebegrenzung für Bunkererntemaschinen, Feldsammel- und Verteiltransporter zur Erhöhung ihrer Einsatzvariabilität geprüft werden.
- Bei der Verringerung der Überrollhäufigkeit durch Kombination von Arbeitsgängen müssen die zulässigen Radlasten beachtet werden.
- Nutzung der Möglichkeiten die Maschinen bodenschonend im „Hundegang“ (Abb. 9.4) zur gleichmäßigen maßvollen Belastung einzusetzen.

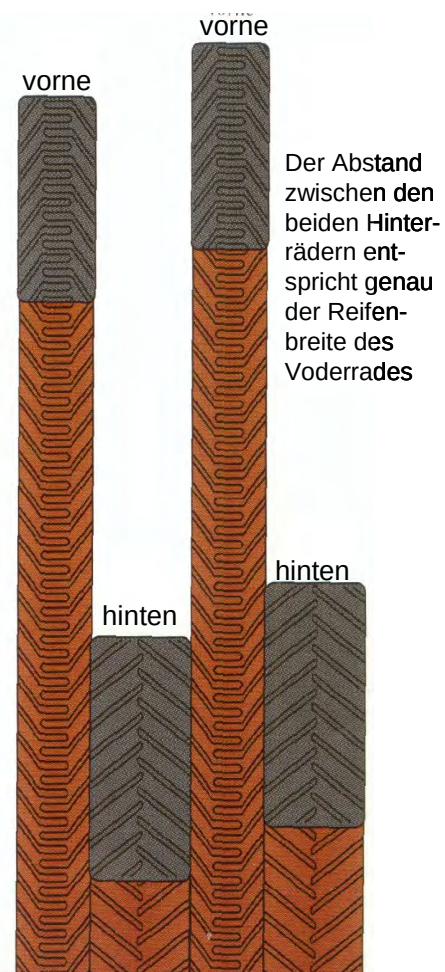


Abb. 9.4: Fahren im Hundegang ermöglicht, dass sich keine Fahrspuren überlappen

9.4 Schlaggestaltung zur Vermeidung von Last- und Leerfahrten

- Vermeidung von Anschlussfahrten durch eine sinnvolle Kombination von Belastbarkeit und Schlaglänge besonders bei der angewandten Erntetechnik.
- Nutzung dauerbegrünter Vorgewende bzw. Quertrassen bei zu langen Schlägen und bei Früchten mit hohen Massenerträgen zum Verkürzen der Belastestrecken und zum Abtransport der Erntegüter.
- Anlage von Fahrgassen mit doppelter Anzahl für die Halbierung der Befahrhäufigkeit bei intensiver Bestandespflege wie beim Kartoffelanbau auf stark und sehr stark gefährdeten Flächen (SVGK 4 und 5).

- Prüfung und Nutzung der Injektionsdüngung oder die Anwendung von stabilisierten N-Düngern (z. B. ENTEC) zur Verringerung der Anzahl der Überrollungen bei der Düngung.
- Gleichmäßig, maßvolle Belastung mit an den Standort angepaßter Technik durch planmäßige Positionierung der Fahrspuren auf der Anbaufläche (Abb. 9.5).

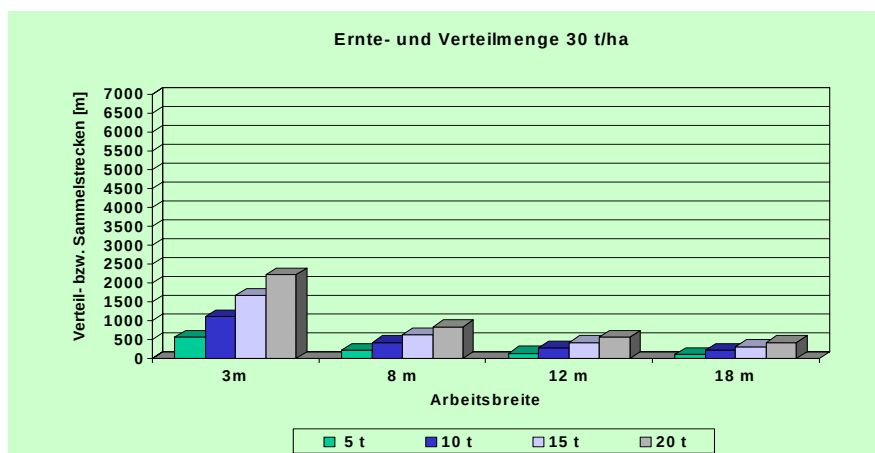
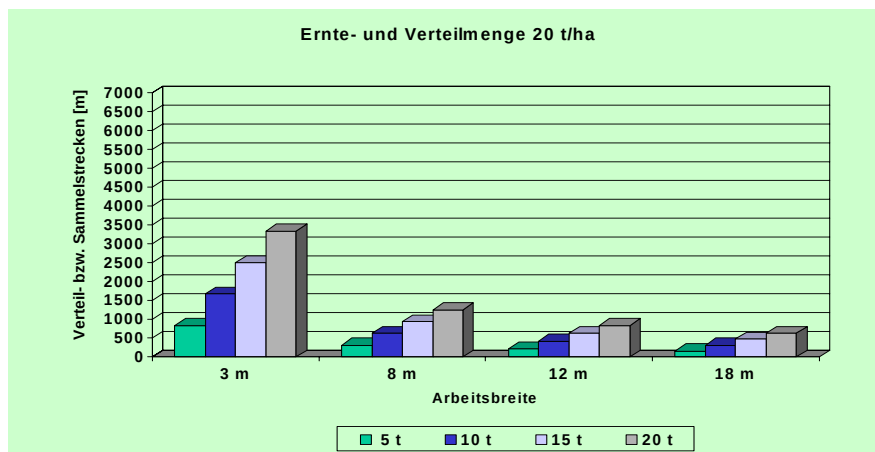
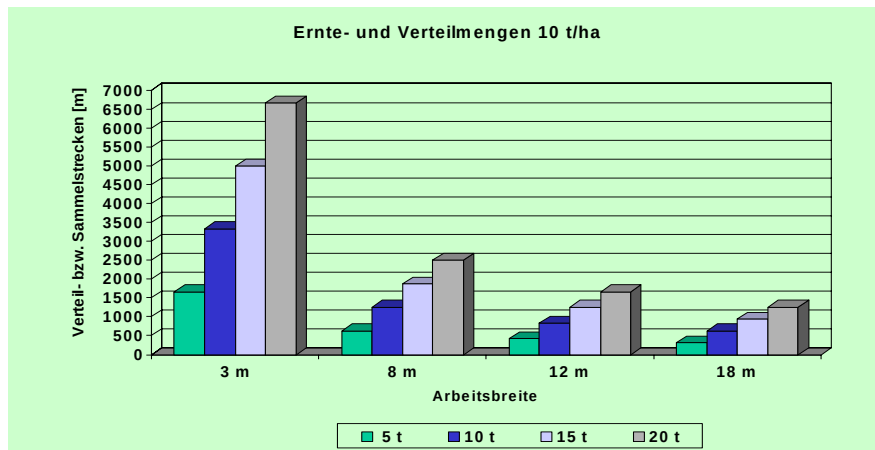


Abb. 9.5: Zusammenhang zwischen Sammel- bzw. Verteilstrecken in Abhängigkeit von den Ernte- und Verteilmengen, den Kapazitäten und der Arbeitsbreite der eingesetzten Maschinen

9.5 Bodenschonende Gestaltung von Arbeitsverfahren



- Die Böden sind um so empfindlicher gegen Bodenschadverdichtung, je feuchter sie sind. Daher ist dringend zu beachten, den Boden nicht in nassem Zustand (visuelle Prüfung) zu befahren (Abb. 9.6).
- Die Kombination von Geräten und Arbeitsgängen bei der Bodenbearbeitung, Bestellung und Bestandesführung reduziert die Befahrhäufigkeit.
- Fahrgassen müssen so angelegt werden, dass auch bodenschonende (breite) Reifen eingesetzt werden können.

Abb. 9.6: Folgen des Befahrens bei zu hoher Feuchte

9.6 Verbesserung der Bodentragfähigkeit

- Die Bearbeitung soll sowohl bei wendender als auch bei nichtwendender Lockerung nur bis zu der notwendigen Tiefe erfolgen, in der Barrieren beseitigt werden müssen.
- Der Einsatz nichtwendender Grundbodenbearbeitung nach Hackfrüchten, Raps, Körnerleguminosen und Zwischenfrüchten erhält im Gegensatz zum Pflügen eine tragfähige Krumenstruktur.
- Zur Förderung des Bodenlebens, der Schaffung und Erhaltung einer guten Durchwurzelung und zur Bodenbedeckung sollte der Anbau von Zwischenfrüchten, besonders von tief wurzelnden Pflanzenarten, mit anschließender Mulchsaat verstärkt werden (Abb. 9.7).
- Humus stabilisiert das Bodengefüge. Daher ist die regelmäßige Zufuhr organischer Stoffe (Ernterückstände, Wurzelmasse, Gründüngung, Strohdüngung, Zwischenfruchtanbau) und eine ausreichende Kalkversorgung die Voraussetzung für eine gute Bodenstruktur.



Abb. 9.7:
Mulchsaat ohne Saatbettbereitung zu Mais

10 LITERATUR

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4.Auflage, 392 S., 33 Abb., 91 Tab., Hannover.
- BMVEL (2001): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bonn. 105 S.
- BUNDESBODENSCHUTZGESETZ (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens. Bundesgesetzblatt Jahrgang 1998 Teil I Nr. 16. Bonn, 24.März 1998.
- BODENSCHUTZVERORDNUNG (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 36. Bonn, 16.Juli 1999.
- FRIELINGHAUS, M.; DEUMLICH, D.; FUNK, R.; HELMING K., WINNIGE, B. U.A. (1997): Merkblätter zur Bodenerosion in Brandenburg. ZALF-Bericht Nr. 27
- GESETZ UND VERORDNUNGSBLATT BB TEIL II – Nr. 22 vom 30. Nov. 2000 S. 403
- GROßMANN, M. (1999): Die Ermittlung von aktuellen Schadverdichtungen auf Ackerflächen der nördlichen Uckermark mit gleicher potentieller Gefährdung. Diplomarbeit. Universität Potsdam, Institut für Geoökologie. 80 S.
- LEINWEBER, P.; MENNING, P. (1992): Charakter krumennaher Verdichtungszone in Ackerböden auf lehmigen Moränestandorten in Mecklenburg. In: Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 33, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg. S.100-107.
- LIEBEROTH, I., P. DUNKELGOD, W. GUNIA, J. THIERS (1983): Auswertungsrichtlinie MMK, Stand 1983. - Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, Bereich Bodenkunde/ Fernerkundung, Eberswalde.
- MLUR (FRIELINGHAUS, M.; WINNIGE, B. U.A.) (2002): Informationsheft zum landwirtschaftlichen Bodenschutz im Land Brandenburg. -Gute fachliche Praxis- Teil Bodenerosion. Hrsg. MLUR Brandenburg. 71 S.
- THIERS, J.; ALTERMANN, M.; LIEBEROTH, I.; RAU, D. (1991): Zur Beurteilung landwirtschaftlicher Nutzflächen nach technologisch wirksamen Standortbedingungen. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenk.; Berlin 35 3, 171-183

Weiterführende Literatur:

- PETELKAU, H.; FRIELINGHAUS, M.; SEIDEL, K.; THIERS, J. (1999): Indikationskonzept zur Ableitung von Schadverdichtungsgefährdungsklassen nach der mechanischen Belastbarkeit der Böden für Nordostdeutschland. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 91, Heft 3, S. 1499-1502.
- PETELKAU, H.; SEIDEL, K.; FRIELINGHAUS, M. (2000): Ermittlung des Verdichtungswiderstandes von Böden des Landes Brandenburg und Bewertung von Landmaschinen und landwirtschaftlichen Anbauverfahren hinsichtlich der Beeinträchtigung von Bodenfunktionen durch die Verursachung von schwer regenerierbaren Schadverdichtungen. ZALF Müncheberg e.V., Institut für Bodenlandschaftsforschung, F- und E- Bericht im Auftrag des MUNR des Landes Brandenburg, 145 S.