

# Boden schonen und Kosten senken

KTBL-Heft 89



## Autoren

### Mitglieder der KTBL-Arbeitsgruppe „Kosten des Einsatzes bodenschonender Technik“

PD Dr. habil. Joachim Brunotte | Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Braunschweig

Dr. Markus Demmel | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising  
Dr.-Ing. Norbert Fröba | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

Dr. Norbert Uppenkamp | Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster

Dr. Michael Weißbach | Firma Grasdorff-Wennekamp, Holle

© 2011

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt  
Telefon +49 6151 7001-0 | Fax +49 6151 7001-123  
E-Mail ktbl@ktbl.de | www.ktbl.de

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

#### Redaktion

Dr.-Ing. Norbert Fröba, Claudia Molnar | KTBL

#### Titelfoto

Voßhenrich, vTI | Braunschweig

#### Vertrieb

KTBL | Darmstadt

#### Druck

Druckerei Lokay | Reinheim

Printed in Germany

ISBN 978-3-941583-53-5

## Vorwort

Der Ackerboden ist die Basis der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Für eine nachhaltige Landbewirtschaftung ist es unabdingbar, seine Funktionen zu erhalten. Neben schädlichen stofflichen Einträgen gilt es deshalb, auch Schadverdichtungen und Bodenerosion zu vermeiden.

Die hierfür möglichen Maßnahmen wurden schon vielfach beschrieben, aber noch nicht ökonomisch bewertet. Häufig werden deshalb bodenschonende Techniken nicht angewendet, da sie teuer und unrentabel erscheinen.

Im vorliegenden KTBL-Heft werden erstmals die Kosten des Einsatzes bodenschonender Technik vorgestellt. Neben den Bauteil- und Maschinenkosten werden die Arbeiterledigungskosten für die Bodenbearbeitung, die Bestandesführung und die Ernte jeweils beispielhaft für verschiedene bodenschonende Techniken aufgezeigt. Einer Bewertung von Veränderungen in der Produktionstechnik schließt sich die ökonomische Betrachtung der Kosten bodenschonender Technik in Modellbetrieben an. Die Erfahrungen aus landwirtschaftlichen Betrieben, Lohnunternehmen und Maschinengemeinschaften zeigen nochmals die Vielfalt der Möglichkeiten zur Schonung des Produktionsfaktors Boden und dem daraus resultierenden Nutzen auf. Abgerundet wird das Heft mit einem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

Es zeigt sich deutlich, dass dem Einsatz bodenschonender Technik keine ökonomischen Gründe entgegenstehen. In vielen Fällen ergeben sich sogar schon ohne Berücksichtigung von Nebeneffekten, wie höheren Erträgen, Kosteneinsparungen für den Landwirt.

Unser Dank gilt besonders den ehrenamtlichen Experten in der KTBL-Arbeitsgruppe „Kosten des Einsatzes bodenschonender Technik“, die aktiv und umfangreich mitgearbeitet und die Qualität der Ergebnisse sichergestellt haben.

Wir sind sicher, dass die Aussagen dieses Heftes die Anwendung bodenschonender Technik fördern werden und somit auch die Arbeiterledigungskosten gesenkt werden können.

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

DR. HEINRICH DE BAEY-ERNSTEN  
Hauptgeschäftsführer

## Inhalt

1	Einleitung	5
2	Definitionen und Ursachen der mechanischen Belastung sowie Maßnahmen zur Bodenschonung	6
2.1	Definitionen und Ursachen	7
2.2	Maßnahmen	9
3	Maschinen und Zubehör	16
3.1	Reifen und Fahrwerke	16
3.2	Reifeninnendruckverstellanlagen	20
3.3	Parallelfahrssysteme	21
3.4	Fahrzeuge mit Verteilung der Last auf zusätzliche Achsen	22
3.5	Anbau- und Aufsattelgeräte mit vergleichbarer Arbeitskapazität	23
3.6	Gülleverschlauchung	25
3.7	Ballastierung	25
4	Arbeitsverfahren	26
4.1	Bodenbearbeitung	27
4.2	Bestellung	29
4.3	Bestandesführung	30
4.4	Ernte	33
5	Produktionstechnik	34
5.1	Konservierende Bodenbearbeitung	34
5.2	Bestandesführung mit Fahrzeugen mit großvolumiger Bereifung	37
5.3	Ernte mit Fahrzeugen mit großvolumiger Bereifung	39
5.4	Trennung von Feld- und Straßentransporten	39
6	Kosten des Einsatzes bodenschonender Technik in Modellbetrieben	40
6.1	Beschreibung der Betriebe	40
6.2	Arbeitserledigungskosten	41
6.2.1	Marktfruchtbetrieb	41
6.2.2	Gemischtbetrieb	42
6.3	Schlussfolgerung	42
7	Praxisberichte	43
8	Fazit und Ausblick	54
8.1	Fazit	54
8.2	Ausblick	56
8.2.1	Erfolgskontrolle durch Multisensorsystem – Überprüfung der aktuellen Befahrbarkeit von Ackerböden	56
8.2.2	Trennung von Feld- und Straßenfahrten	57
	KTBL-Veröffentlichungen	63
	aid-Veröffentlichungen	64

## 1 Einleitung

Der Boden ist Pflanzenstandort, Lebensraum für Bodenorganismen und dient dem Menschen zu Siedlungszwecken. Darüber hinaus erfüllt er eine Vielzahl von weiteren Funktionen, wie z.B. als Grundwasserspeicher und als Puffer-, Filter- und Transformationssubstrat für alle Stoffe, die auf und in den Boden gelangen.

Es liegt im Interesse des Landwirts und geht konform mit Vorgaben der Politik bzw. der Gesellschaft, die Landwirtschaft an den Zielen der Nachhaltigkeit (Verbesserung der Produktionsgrundlagen, Wettbewerbsfähigkeit, Ressourcenschonung, Stabilisierung der sozialen Systeme im ländlichen Raum usw.) auszurichten. Die Anforderungen für den Umgang mit dem Produktionsfaktor Boden sind im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) verankert. Zu den Grundsätzen eines vorsorgenden Bodenschutzes gehört, „dass Böden als knappe, nicht erneuerbare natürliche Ressource in ihrer Leistungsfähigkeit und ihren natürlichen Funktionen flächendeckend zu erhalten sind“ (Wissenschaftlicher Beirat beim BMU, 2000). Neben der Lebensraum- und Regelungsfunktion steht für den Landwirt die Produktionsfunktion im Vordergrund und damit die Erhaltung und Verbesserung der Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit, die im Bodenschutz zusammenfließen. Der Landwirt nimmt durch die Vielzahl produktionstechnischer Maßnahmen Einfluss auf das komplexe Wirkungsgefüge „Boden-Wasser-Pflanze-Atmosphäre“. Die leistungsstarken, hoch spezialisierten Maschinen, Geräte und Transportfahrzeuge müssen aus Gründen der termingerechten, fachlich richtigen und präzisen Arbeitserledigung effizient eingesetzt werden. Dabei müssen schädliche Nebeneffekte, wie Beeinträchtigung der Bodenfunktionen und/oder Förderung von Bodenerosion durch Schadverdichtungen weitestgehend vermieden werden, um dem Ziel nachhaltiger Landbewirtschaftung, zugleich leistungsfähig und umweltverträglich zu sein, gerecht zu werden.

Die in § 17 BBodSchG beschriebenen „Grundsätze guter fachlicher Praxis“ betreffen im Wesentlichen Vorsorgeaspekte im Hinblick auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens:

„Bodenverdichtungen, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks, sollen soweit wie möglich vermieden werden.“

Daraus abgeleitete Handlungsempfehlungen müssen wissenschaftlich als abgesichert gelten und wirtschaftlich tragbar sein. Sie verfolgen das Ziel den Bodendruck zu verringern und sind im „Konzept für bodenschonendes Befahren“ (SOMMER und BRUNOTTE, 2003) zusammengefasst und in folgende Bausteine gegliedert:

- Erhöhung der Belastbarkeit des Bodens (u. a. durch konservierende Bodenbearbeitung)
- Nutzung technischer Möglichkeiten (u. a. durch Breitreifen, Reifeninnendruckverstellung, Einfederungsmessung, Hundeganglenkung)
- Anpassung von Arbeitsverfahren (u. a. durch Control Traffic Farming)

Die Problematik „Bodenschadverdichtung“ ist sowohl aus wissenschaftlicher Sicht hinsichtlich „Ursache-Wirkung-Beziehung“ als auch in Bezug auf Handlungsempfehlungen heute weniger gut gelöst als der Problembereich „Bodenerosion“. Das komplexe System „Fahrzeug-Boden-Pflanze“ erlaubt keine direkte Beziehung zwischen einem Laufwerk und dem Boden sowie den Auswirkungen auf die Bodenfunktionen. Diese sind an der Oberfläche nicht offensichtlich zu quantifizieren.

In der Landwirtschaft ist der Ackerboden Pflanzenstandort und Fahrbahn für Maschinen. Zunehmende Radlasten können besonders beim Einsatz unter feuchten Bedingungen und bei Mehrfachüberrollungen in der Ackerkrume und im Unterboden zu Schadverdichtungen führen, die im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes zu vermeiden sind (KTBL 1998, SOMMER 1998, BMVEL 2001, VDI 2007, BRUNOTTE 2007).

Die aus empirischen Modellen abgeleiteten Richtwerte, wie etwa zur Radlast oder zur mechanischen Belastung von Ackerböden, erfüllen die Kriterien der „guten fachlichen Praxis“ derzeit nicht. Sie bedürfen noch einer Validierung und Erfolgskontrolle, um als praktische Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Bodenschutzes fungieren zu können.

Die Handlungsempfehlungen sollten sich deshalb an Erkenntnissen aus Statuserhebungen bzw. Dauerbeobachtungsflächen ausrichten – hier wird der tatsächliche Zustand der Bodenstruktur unter heutiger Landbewirtschaftung beschrieben.

Immer dann, wenn im Sinne von vorsorgender Bodenschonung Mehraufwendungen für produktionstechnische Verfahren (z.B. der Anbau von Zwischenfrüchten) oder technische Ausrüstungen (z.B. Breitreifen) auftreten, müssen sie monetär bewertet werden. Nur so kann eine Akzeptanz bei den landwirtschaftlichen Betrieben erreicht werden.

Das vorliegende KTBL-Heft liefert die notwendigen Daten, um eine monetäre Bewertung von bodenschonenden Maßnahmen betriebsindividuell vornehmen zu können und zeigt an Betriebsbeispielen 7 die praktische Umsetzung.

## 2 Definitionen und Ursachen der mechanischen Belastung sowie Maßnahmen zur Bodenschonung

Die Pflanzenproduktion ist in den letzten 20 Jahren durch große Rationalisierungseffekte bei der Arbeitserledigung gekennzeichnet. In kleineren Betrieben wird dabei die überbetriebliche Maschinenverwendung besonders bei großen Traktoren, Erntemaschinen und Transportfahrzeugen genutzt.

Große Maschinen mit hohen Radlasten und hohen Überrollhäufigkeiten können insbesondere bei feuchten Bodenbedingungen zu einer Schädigung der Bodenfunktionen in Ober- und Unterboden führen. Wenn auf langen Schlägen die Bunkerkapazität nicht ausreicht und durch parallel fahrende Transporteinheiten ergänzt werden muss, wird dieses Risiko noch verstärkt.

### 2.1 Definitionen und Ursachen

„Bodenverdichtung ist definiert als die Zunahme der Dichte bzw. Abnahme des Porenvolumens“ (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1979).

Maschinen und Fahrzeuge belasten den Ackerboden in der Kontaktfläche durch verschiedene am Fahrwerk auftretende Kräfte, wie „Vertikalkräfte“, die sich aufgrund der Masse dreidimensional als Spannungen im Boden fortpflanzen und „Horizontalkräfte“, die aufgrund von gelenkten und angetriebenen Fahrwerken im Oberboden zu horizontalen Scherspannungen führen. Die in den Boden eingetragenen Spannungen beanspruchen das Bodengefüge und können zur Veränderung von Bodenfunktionen führen. Ob es tatsächlich zu einer schädlichen Bodenveränderung kommt, hängt von der Fahrwerksausgestaltung (= bodenexterne Faktoren) und dem aktuellen Bodenzustand (= bodeninterne Faktoren) während der Befahrung ab (BARNES et al. 1971, SOANE und VAN OUWERKERK 1994, HORN et al. 2000, DÜRR et al. 1995).

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen mechanischer Belastung, der Beanspruchung und der Verdichtung des Bodens (Abb. 1)

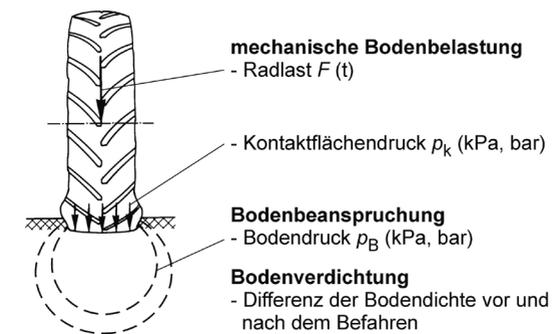


Abb. 1: Bodenbelastung, Bodenbeanspruchung und Bodenverdichtung durch ein Rad

#### Belastung

Die Belastung wird mit der Radlast in kN (10 kN = 1 t) bzw. mit dem Kontaktflächendruck in der Berührungsfläche Reifen/Boden in kPa (100 kPa = 1 bar) angegeben. Die Folgen einer Bodenbelastung während des Befahrens sind mechanische Spannungen im Boden – die Bodenbeanspruchung (SÖHNE 1953).

#### Beanspruchung

Durch den aufgebrauchten Kontaktflächendruck treten im Boden Spannungen auf, deren Verlauf mit den Linien gleichen Bodendruckes (Druckzwiebeln) anzugeben ist (SÖHNE 1953). Aus Abbildung 2 sind folgende grundsätzlichen Aussagen abzuleiten:

Tab 1: Nicht zur Verfügung stehende Produktionsfläche bei verschiedenen Fahrgassenabständen und Fahrspurbreiten (Abstand Drillreihen 12,5 cm)

Breite der Fahrspur [cm]	Nicht zur Verfügung stehende Produktionsfläche [%]		
	Fahrgassenabstand [m]		
	15	27	36
37	5	3	2
50	7	4	3
63	8	5	4
75	10	6	4

**Gummibandlaufwerke für Traktoren und Landmaschinen**

Die neuen mobilen Raupenlaufwerke für die Landwirtschaft sind in der Lage große Zugkräfte effizient und schonend auf den Boden zu bringen bzw. hohe Lasten auf großen Aufstandsflächen abzustützen. Im Gegensatz zu Zwillings- oder Drillingsbereifung bleiben die Abmessungen (Breite) der Maschinen dabei innerhalb der Grenzen der StVZO. Nachteile sind der hohe Preis, ein niedrigerer Fahrkomfort besonders auf der Straße und das Abscheren des Oberbodens bei Wendevorgängen. Für wachsende Pflanzenbestände und Grünland sind Bandlaufwerke nicht geeignet. Drei Landmaschinenhersteller bieten bereits seit etwa 20 Jahren Traktoren mit Gummibandlaufwerken an, welche kontinuierlich weiterentwickelt wurden. Gummibandlaufwerke für Erntemaschinen gewinnen vor allem in jüngster Vergangenheit zunehmend an Bedeutung und Verbreitung. Der Verschleiß an den Laufbändern ist ähnlich wie der Verschleiß von Radialreifen.

Spezielle Hersteller bieten Nachrüstlösungen für diverse Maschinen vom Quad bzw. Hangmäher (Tragfähigkeit ab 200 kg pro Laufwerk) bis zu schweren selbstfahrenden Erntemaschinen (Tragfähigkeit über 15000 kg pro Laufwerk) an.

Grundlegend werden zwei Konstruktionsprinzipien unterschieden:

- Bandlaufwerke, bei denen die Antriebskräfte **reibschlüssig**, also nur über die Reibung zwischen Antriebsrad und Band übertragen werden. Hierzu sind hohe Spannkraft (> 100 kN) erforderlich; die Gummibänder sind mit endlosen Stahlseilen im Inneren ausgerüstet, um diese Kräfte aufzunehmen. Durch die große Vorspannung können die Bänder auch zwischen den Stützrollen tragen.
- Beim **formschlüssigen** Antrieb werden die Kräfte wie zwischen Zahnrädern von den Antriebsrollen auf entsprechende Profile (Gummiblöcke) auf den Gummibändern übertragen. Dabei sind die Bänder weniger stark gespannt.

**Traktoren mit Gummibandlaufwerken**

Drei Traktorhersteller bieten Maschinen von 210–450 kW mit Gummibandlaufwerken an. Es sind Bandbreiten von 360 bis 910 mm verfügbar. Die Mehrzahl der Modelle besitzt zwei lange Bandlaufwerke mit kleinen vorderen Umlenk- und großen Heckantriebsrollen und reibschlüssigem Antrieb. Ein Hersteller rüstet knickgelenkte Großtraktoren mit vier dreiecksförmigen, kraftschlüssig angetriebenen Gummibandlaufwerken aus.

Im Vergleich zur Standardbereifung zeichnen sich die Gummibandlaufwerke durch geringere spezifische Bodendrücke und durch eine effizientere Zugleistungsübertragung aus (Abb. 3).

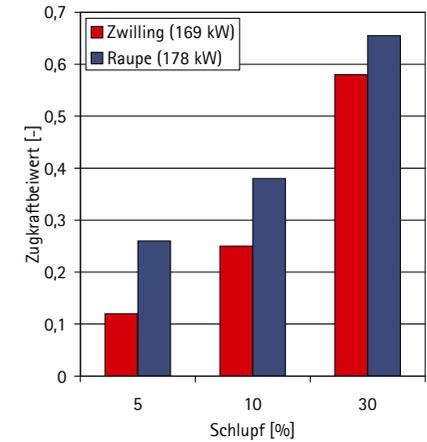


Abb. 3: Zugkraftumsetzung bei Rad- und Gummibandlaufwerken (WEISSBACH 2003)

**Erntemaschinen mit Gummibandlaufwerken**

Mähdrescher, Zuckerrüben- und Kartoffelroder sowie spezielle Vollernter für Feldgemüse (Erbsen, Bohnen) werden von einigen Herstellern serienmäßig oder optional mit Gummibandlaufwerken angeboten. Dabei wird bisher überwiegend das von der Firma Claas Industrietechnik GmbH entwickelte und mit hydrostatischem, reibschlüssigem Antrieb (hohe Bandspannkräfte) ausgestattete Terra-Trac-Laufwerk mit einer Aufstandsfläche von 1850 mm und Laufbandbreiten von 650

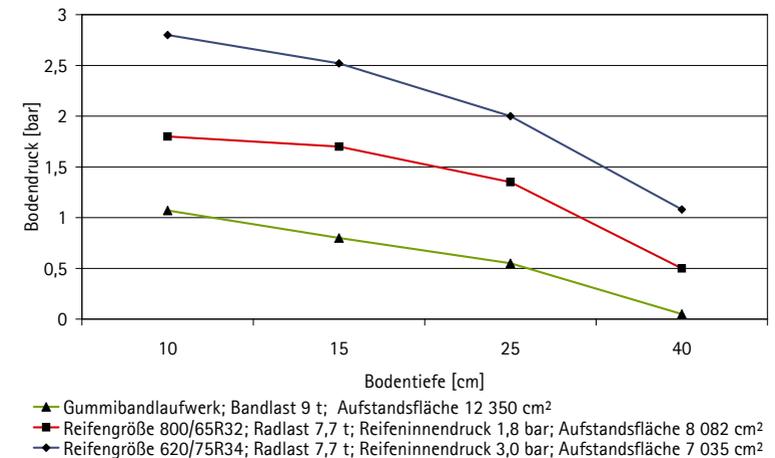


Abb. 4: Mit Schlauchdrucksonden gemessener Bodendruck unter Vorderreifen bzw. Bandlaufwerk von selbstfahrenden Mähdreschern, Boden sL, Feuchte 16,2 % (WEISSBACH 2001)