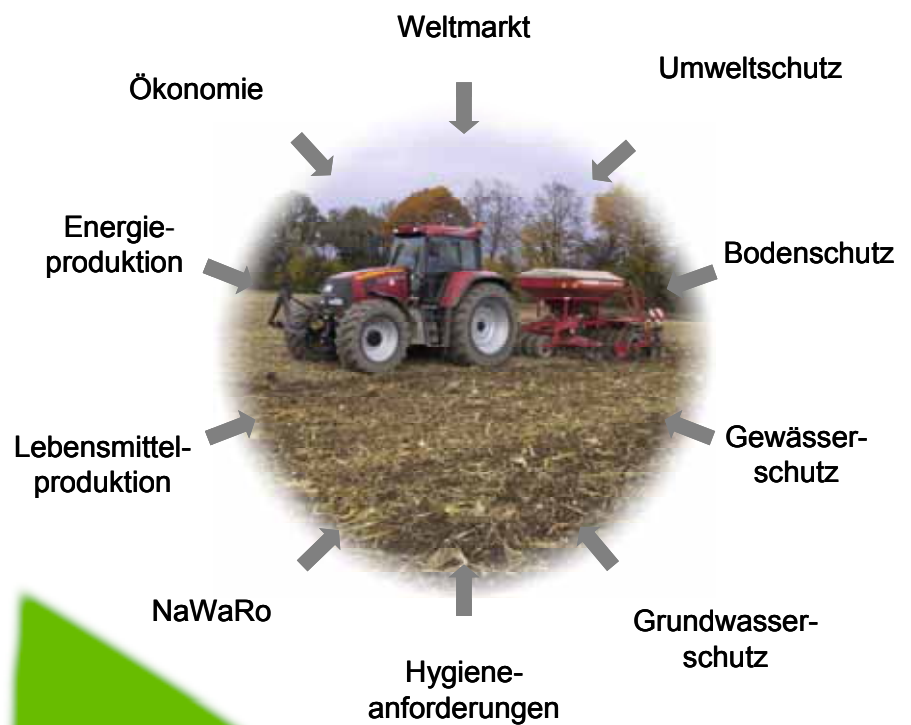




LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Ackerbau vor neuen Herausforderungen



Schriftenreihe

21
2006
ISSN 1611-4159

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik
Vöttinger Straße 36
E-Mail: Landtechnik@LfL.bayern.de
Tel.: 08161/71-3450

1. Auflage November / 2006

Druck: ES-Druck, 85356 Tüntenhausen
Schutzgebühr: 15,- €

© LfL

Die Beiträge in dieser Schriftenreihe geben die Meinung der Autoren wieder.



in Zusammenarbeit mit

**Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e. V.,
Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e. V.
und der BayWa AG**

Ackerbau vor neuen Herausforderungen

**Landtechnische Jahrestagung
am 23. November 2006
in Deggendorf**

Tagungsband

Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

Nahrungsmittelproduktion kontra Energieproduktion	7
<i>A. Heißenhuber, S. Berenz und C. Friedrich</i>	
Automatische Spurführung von Landmaschinen – Systeme, Einsatz- bereiche, Wirtschaftlichkeit	19
<i>M. Demmel</i>	
Baulich-technische Maßnahmen zur Hygiene bei Lagerung und Transport von Getreide	31
<i>A. Weber</i>	
Bodenbelastung durch Landmaschinen - Wirkungsmechanismen und Risikobeurteilung.....	53
<i>R. Brandhuber</i>	
Landtechnische Möglichkeiten zur Vermeidung von schädigenden Bodenbelastungen im Ackerbau	75
<i>R. Geischeder und M. Demmel</i>	
Verbundberatung im Ackerbau - Betriebsorganisation und Arbeits erledigungskosten (MR Consult).....	89
<i>J. Habermeyer</i>	
Verbundberatung im Ackerbau - Pflanzenbauliche Produktionstechnik	93
<i>A. Fischer und J. Bauer</i>	

Nahrungsmittelproduktion kontra Energieproduktion

Prof. Dr. Dr. h. c. Alois Heißenhuber, Stefan Berenz, Carina Friedrich
Technische Universität München, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues,
Alte Akademie 14, 85350 Freising

Zusammenfassung

Für die Landwirtschaft ergeben sich durch die Erzeugung erneuerbarer Energien neue Absatzmöglichkeiten. Jedoch ist das Biomassepotenzial zur Energieversorgung in Deutschland begrenzt bzw. eine Ausweitung der Energieerzeugung geht mit einer Einschränkung der Nahrungsproduktion einher. Je nach Art der energetischen Nutzung kann die Biomasse unterschiedlich hohe Anteile am gesamten Energieverbrauch einnehmen. Die Wettbewerbskraft der Biomasse gestaltet sich auf dem Energiemarkt unterschiedlich. Elektrischer Strom sowie Treibstoffe aus Biomasse können derzeit nur aufgrund staatlicher Regulierungsmaßnahmen im Markt bestehen. Die energetische Nutzung fester Biomasse zur Wärmeerzeugung lässt sich schon heute auch ohne nennenswerte staatliche Eingriffe als wettbewerbsfähig darstellen. Grundsätzlich gilt es die reine Rohstoffherzeugung von der unmittelbaren Energiebereitstellung, z. B. von elektrischem Strom aus Biogas, zu unterscheiden. Letzteres erfordert im landwirtschaftlichen Betrieb in der Regel einen hohen Fremdkapitaleinsatz und das Erlernen eines neuen, wirtschaftlich nicht wenig riskanten Produktionsverfahrens. Insgesamt führen die derzeitigen staatlichen Regelungen zur Förderung der Markteinführung dieser neuen Energien zu gesellschaftlichen Kosten, nicht zuletzt deshalb ist zu prüfen, welche umfassenden Auswirkungen sich dadurch auf den Nahrungssektor ergeben.

1 Einleitung

Für den Einsatz erneuerbarer Energien bestehen ökologische, soziale und ökonomische Gründe, die alle auf eine Verbesserung der Nachhaltigkeit der Energieversorgung abzielen. Folgende drei Gründe führen heute zu einer intensiven Diskussion um den Einsatz erneuerbarer Rohstoffe bzw. Energieträger:

- zunehmender Treibhauseffekt durch die Nutzung fossiler Energieträger
- starke Importabhängigkeit bei fossilen Energieträgern
- starker Anstieg der Preise fossiler Energien

Der Anteil erneuerbarer Energien an der gesamten Energieversorgung ist bisher noch relativ gering. Es bestehen jedoch starke Bestrebungen, den Anteil erneuerbarer Energien auszubauen, um Treibhausgasemissionen zu verringern und zukünftig die Energieversorgung breiter abzusichern. Wenngleich alle erneuerbaren Energien ihren Beitrag zur Energieversorgung leisten müssen, um die angestrebten Ziele zu erreichen, wird in der energetischen Nutzung von Biomasse ein gewichtiger Beitrag erwartet.

Hintergrund für den Ausbau erneuerbarer Energien ist die begrenzte Versorgungssicherheit bei fossilen Energieträgern. Einerseits sind bereits große Teile der Lagerstätten abgebaut – bei Erdöl bereits 1/3 der gesamten Reserven (BGR 2003). Andererseits sind die Ressourcen nicht gleichmäßig verteilt. Über 70 % der Erdölreserven liegen im Nahen Osten und in Russland (NITSCH ET AL., 2004). Aus diesem Grund ist Europa mittlerweile zu 50 % von Energieimporten abhängig (EU-Kommission, 1997).

Den begrenzten fossilen Energiereserven steht ein stetig wachsender Energiebedarf gegenüber. Weltweit wurden 2002 über 430 Exajoule an Primärenergie verbraucht (vgl. Abb. 1). Damit hat sich der Energieverbrauch in den vergangenen 30 Jahren fast verdoppelt (IEA, 2005). Den größten Anteil am Verbrauch trägt nach wie vor Öl, wenngleich Gas an Bedeutung gewonnen hat.

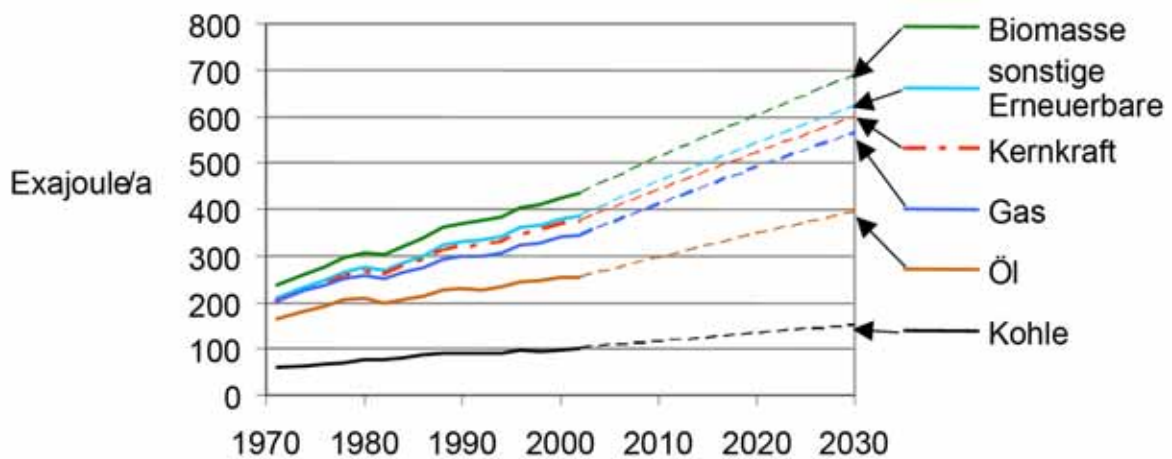


Abb. 1: Weltweiter Primärenergieverbrauch und Prognose bis 2030
(Quelle: IEA, 2004; IEA, 2005)

Der Verbrauch fossiler Energien wird noch weiter ansteigen, da der Energiebedarf auch in Schwellenländern stetig wächst. Laut Internationaler Energie Agentur (IEA) wird der Verbrauch in den nächsten 30 Jahren auf knapp 700 EJ/a ansteigen (vgl. Abb. 1).

Die Endlichkeit der fossilen Energieträger, die die derzeitige Energieversorgung dominieren, ist also bekannt. Abgewogen wird momentan das baldige Eintreten der Erschöpfung einzelner Energieträger gegenüber nicht mehr reparablen Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels. Eine Abkehr von der derzeitigen Art der Energieversorgung scheint jedoch unausweichlich. Darüber hinaus motivieren die aktuellen globalen Krisenherde zusätzlich zu einer Substitution von fossilen Energieträgern. Politische Entscheidungsträger aller Ebenen formulieren Ziele und verabschieden entsprechende Rahmenbedingungen, um den erneuerbaren Energien die notwendige Wettbewerbskraft neben den fossilen Pendanten zu gewähren. Diese Eingriffe bedeuten Anreize für Einzelne, die sich dadurch neue Geschäftsfelder und entsprechende Gewinne erhoffen. Auch im Sektor Landwirtschaft wächst eine Aufbruchstimmung, sich nicht nur als Nahrungsmittelhersteller, sondern auch als Energieproduzent zu etablieren. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welchen Beitrag können die erneuerbaren Energieträger leisten und welche Konsequenzen ergeben sich bei einer Ausdehnung der Energieproduktion zu Lasten der Nahrungsproduktion.

2 Energie- oder Nahrungsproduktion

Die Energieproduktion in der Landwirtschaft kann durch Verwendung folgender Ausgangsstoffe durchgeführt werden:

- Abfälle oder Nebenprodukte (z. B. Gülle)
- Biomasse von Stilllegungsflächen
- Landwirtschaftliche Produkte von Hauptfruchtflächen

Eine echte Konkurrenzsituation zwischen Energie- und Nahrungsproduktion tritt erst im dritten Bereich auf. Wie in Abbildung 2 dargestellt, war bis in die 60er Jahre der Rohölpreis extrem niedrig, der Getreidepreis (dargestellt am Beispiel Weizen) relativ hoch. In den 70er Jahren gab es einen deutlichen Anstieg des Rohölpreises, der dann zur ersten Energiekrise führte. Der Getreidepreis zeigte auch eine leicht ansteigende Tendenz. Ab Mitte der 80er Jahre ergab sich beim Weizenpreis ein rückläufiger Trend, weil die staatlichen Stützungsmaßnahmen wegen der Überschussituation zurückgefahren wurden. Der Rohölpreis stabilisierte sich von Mitte der 80er Jahre bis 2000 auf einem relativ niedrigen Niveau. Im gesamten bisherigen Betrachtungszeitraum gab es unter europäischen Verhältnissen keine Chance, agrarische Produkte unter Marktbedingungen als Energieträger einzusetzen. Ende der 90er Jahre begann dann ein rasanter Anstieg des Rohölpreises, aber agrarische Rohstoffe waren immer noch nicht wettbewerbsfähig. Zu dieser Zeit wurden aber die Rahmenbedingungen so verändert, dass nun Rapsöl, Biodiesel und Äthanol mit fossilen Energieträgern konkurrieren konnten, da eine Befreiung von der Mineralölsteuer erfolgte. Für die Erzeugung von elektrischem Strom aus Biogas kamen nach Festlegung eines bestimmten Strompreises im EEG in erster Linie nur Abfallstoffe in Frage bzw. Pflanzen von Stilllegungsflächen. Der gezielte Anbau, z. B. von Mais zur Nutzung in Biogasanlagen, war noch nicht wettbewerbsfähig. Daran hätte auch der weitere Anstieg des Rohölpreises nichts geändert. Erst durch den sog. Biomassebonus in Höhe von etwa 6 ct/kWh wurde es wirtschaftlich, agrarische Produkte (z. B. Mais) gezielt für die Biogasanlage anzubauen. Unter den Preis-Kosten-Relationen in Deutschland ist es trotz des in den letzten Jahren drastisch angestiegenen Rohölpreises immer noch nicht möglich, dass

Rapsöl und Biodiesel mit herkömmlichem Diesel konkurrieren, ebenso wenig könnte Äthanol aus Getreide oder Zuckerrüben mit Benzin konkurrieren. Hier ist nach wie vor die Steuerbefreiung oder ein Beimischungszwang erforderlich. Für die Erzeugung von Wärme haben sich zwischenzeitlich die Verhältnisse dergestalt verändert, dass die Verbrennung von Getreide mit Heizöl ohne staatliche Eingriffe konkurrieren könnte, jedoch ist Getreide noch kein Regelbrennstoff. Auf diese Zusammenhänge wird im Folgenden näher eingegangen.

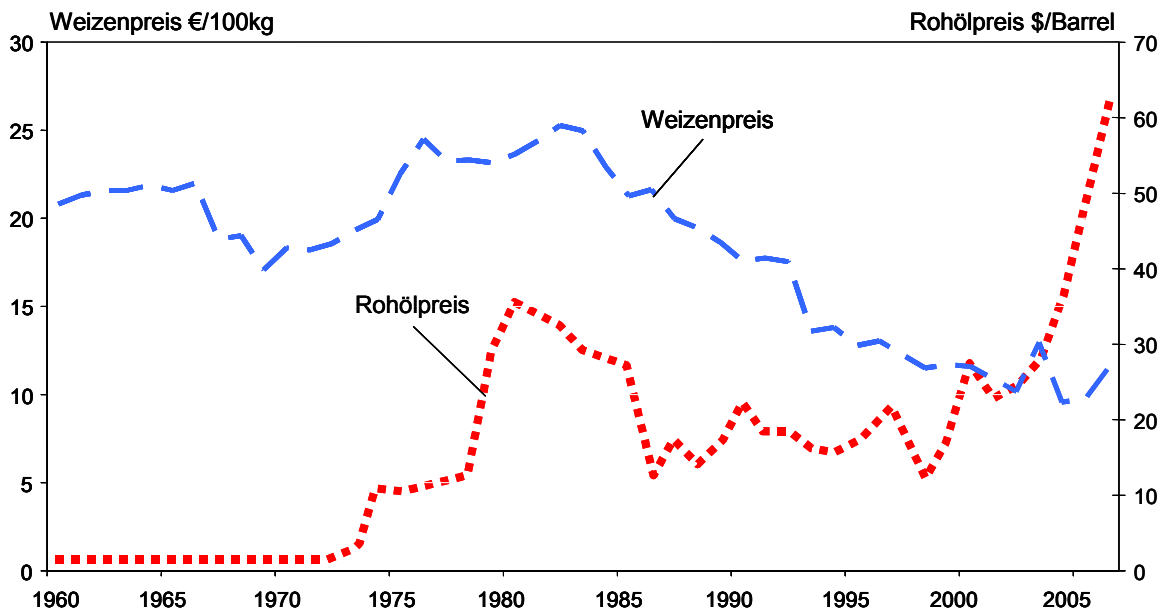


Abb. 2: Entwicklung der Getreide- und der Rohölpreise seit 1960
(Quelle: BMVEL, Statistisches Jahrbuch ELF, mehrere Jahrgänge)

2.1 Wettbewerbsverhältnisse

Im Bereich der erneuerbaren Energien ist zu unterscheiden zwischen der Produktion agrarischer Rohstoffe und der Erzeugung von elektrischem Strom und von Wärme. Im ersten Fall besteht kein Unterschied zur Produktion von Rohstoffen für Nahrungs- oder Futtermittel. Im zweiten Fall erfolgt eine Weiterverarbeitung mit der Möglichkeit einer zusätzlichen Wertschöpfung. Eine Sonderrolle spielt die Biogasanlage. Ursprünglich war diese Technologie dafür vorgesehen, aus Abfallstoffen unterschiedlicher Art noch elektrischen Strom und Wärme zu erzeugen. In der Zwischenzeit, vor allem durch gesetzliche Regelungen, werden in Biogasanlagen landwirtschaftliche Rohstoffe verwendet, die ansonsten auch als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden könnten. Vergleichbar ist das mit BtL (Biomass to Liquid), ein aus trockenen Feststoffen erzeugter hochwertiger Treibstoff, der in Dieselmotoren eingesetzt werden kann. Ausgangsstoff kann sowohl Abfall als auch speziell für diesen Zweck erzeugter Rohstoff (z. B. Holz) sein.

In Abbildung 3 sind ausgewählte Kenndaten für wichtige erneuerbare Energieträger dargestellt. Von der auf dem Feld aufgewachsenen Primärenergie findet sich ein mehr oder weniger großer Anteil als Energie im Treibstoff, elektrischen Strom bzw. in der erzeugten Wärme.

Sehr günstig ist der Ausnutzungsgrad, wenn Holz oder Getreide direkt zur Wärmeerzeugung verwendet wird. Vergleichsweise ungünstig ist die Relation, wenn aus Mais über die Biogasanlage nur elektrischer Strom erzeugt wird und die anfallende Wärme ungenutzt bleibt. Bei den einzelnen Energieträgern werden also unterschiedlich Ausnutzungsgrade erzielt.

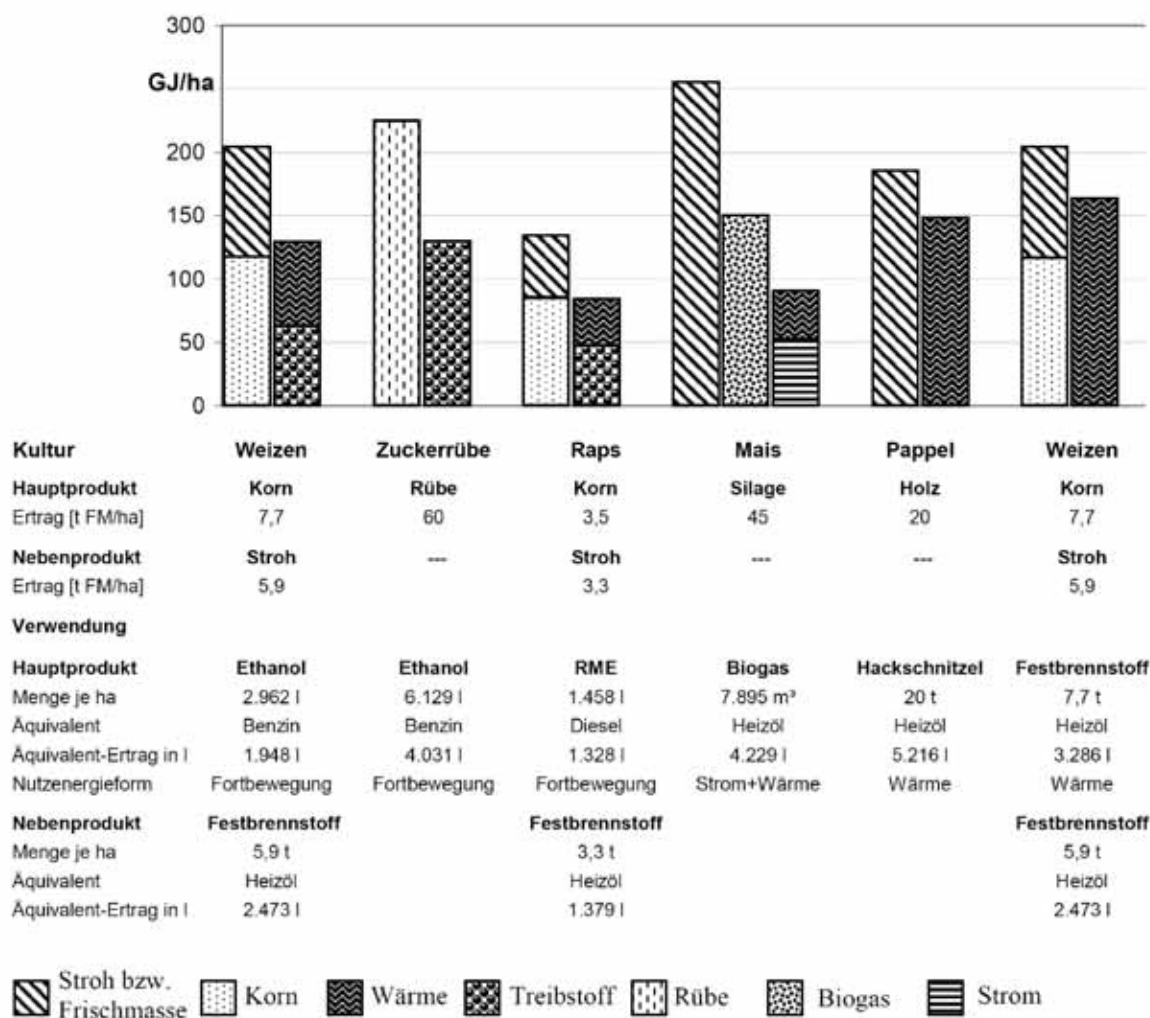


Abb. 3: Primär- und Endenergiegehalte ausgewählter Kulturen

Für die Konkurrenzfähigkeit der nachwachsenden Rohstoffe ist im Wesentlichen der Preis fossiler Rohstoffe maßgeblich, soweit keine staatliche Einflussnahme erfolgt. In Abbildung 4 ist dargestellt, welche erneuerbaren Energieträger kostenäquivalent sind zum Rohöl eines bestimmten Preisniveaus. Bei Rohölpreisen bis etwa 20 \$ pro Barrel war kein erneuerbarer Rohstoff wettbewerbsfähig. Selbst in Brasilien konnte in den 90er Jahren Äthanol aus Zuckerrohr mit Benzin nicht konkurrieren. Ganz anders bei den gegenwärtigen Rohölpreisen von deutlich über 50 \$ pro Barrel. Jetzt sind bereits zahlreiche erneuerbare Energieträger im amerikanischen und asiatischen Raum konkurrenzfähig.

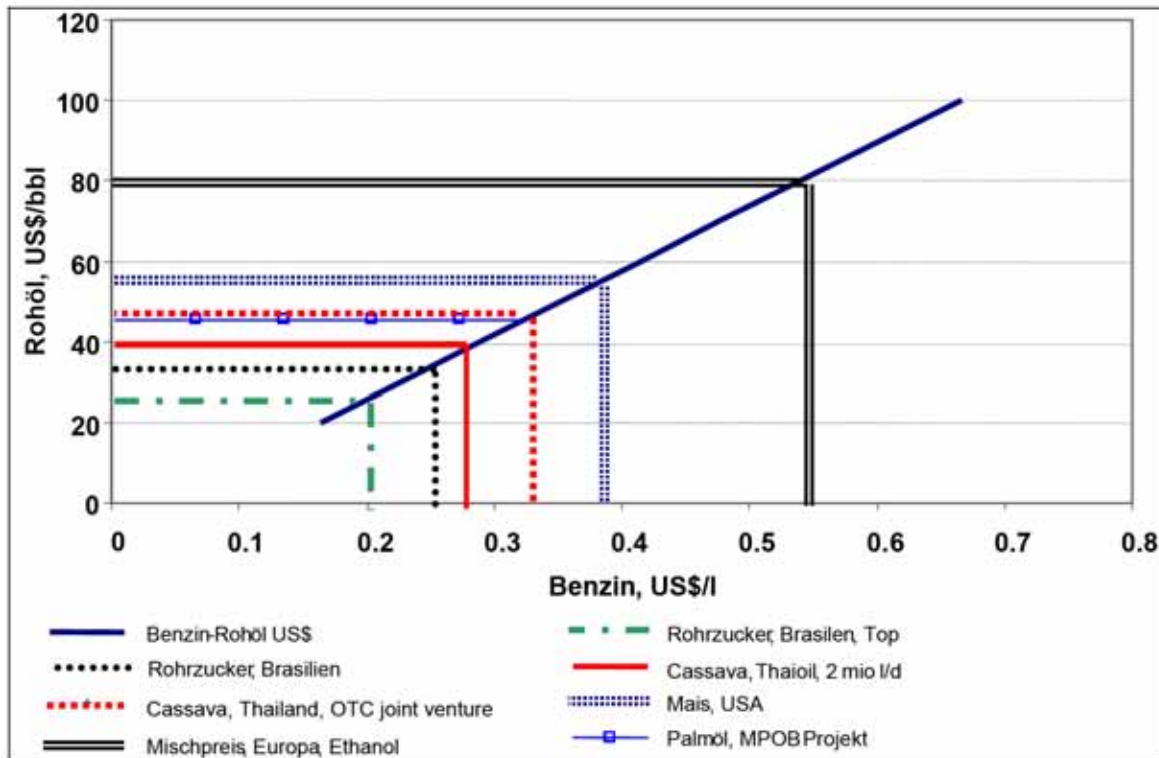


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Rohölpreis und Kosten für Biotreibstoffe (Quelle: SCHMIDBAUER, 2005)

2.2 Treibstoff Äthanol

Der Bereich der ausschließlichen Rohstoffbereitstellung soll am Beispiel des Biotreibstoffs Äthanol dargestellt werden. Als Ausgangsstoffe dienen u. a. Getreide und Zuckerrüben. Die Gewinnung von Äthanol erfolgt in der Regel großtechnisch. Momentan sind entsprechende Anlagen bereits im Betrieb, weitere in der Planung. Nach GRUNERT (15) wird in Deutschland demnächst eine Produktionskapazität von über 1,3 Mio. m³ Äthanol zur Verfügung stehen. Das erfordert ein Rohstoffaufkommen von ca. 3,5 Mio. Tonnen Getreide, entsprechend je nach Ertragslage bis zu 500.000 ha Getreidefläche. Vom Anbaupotenzial her sind diese Flächen darstellbar.

In Europa findet Äthanol nur durch staatliche Eingriffe Verwendung. Durch die Befreiung von der Mineralölsteuer kann Äthanol mit Benzin konkurrieren. In Abbildung 5 sind die maßgeblichen Zusammenhänge erläutert. Bei Herstellungskosten von knapp 60 ct/l Äthanol kommen 1,5 l Äthanol (entspricht 1 l Benzin) inklusive Vermarktungskosten und Mehrwertsteuer auf etwa 1,25 Euro und liegen damit auf dem Niveau des Benzinpreises. Der Staat verzichtet dabei auf eine entsprechende Steuereinnahme, dem steht der Ersatz eines fossilen Rohstoffs und eine entsprechende CO₂-Einsparung gegenüber. Wie Abbildung 5 des Weiteren verdeutlicht, kommt Getreide zu einem Preis von unter 10 €/100 kg zum Einsatz. Daraus folgt, dass unter diesen Bedingungen für den Landwirt kein Zusatznutzen entsteht, abgesehen von dem psychologisch positiven Effekt, sich als Energiewirt zu fühlen. Weiterhin wird aus Abbildung 5 deutlich, dass die bei diesem Getreidepreis erzielbaren Deckungsbeiträge relativ niedrig sind. Wenn sich auf dem Getreidemarkt, z. B.

durch die geringere Erntemenge bedingt, ein höherer Preis ergibt, dann besteht die Gefahr, dass Äthanol aus heimischer Produktion nicht mehr wettbewerbsfähig ist. Durch den Beimischungszwang wird dieses Problem nicht generell gelöst, da für die Energieversorger die Möglichkeit besteht, auf dem Weltmarkt Äthanol einzukaufen. In diesem Fall ergibt sich für den deutschen Staat ein Steuerausfall, ohne dass die Landwirte davon einen Nutzen haben. Insofern ist die Äthanolverwendung aus der Sicht der deutschen Landwirtschaft nicht automatisch ein Weg zur Einkommensverbesserung.

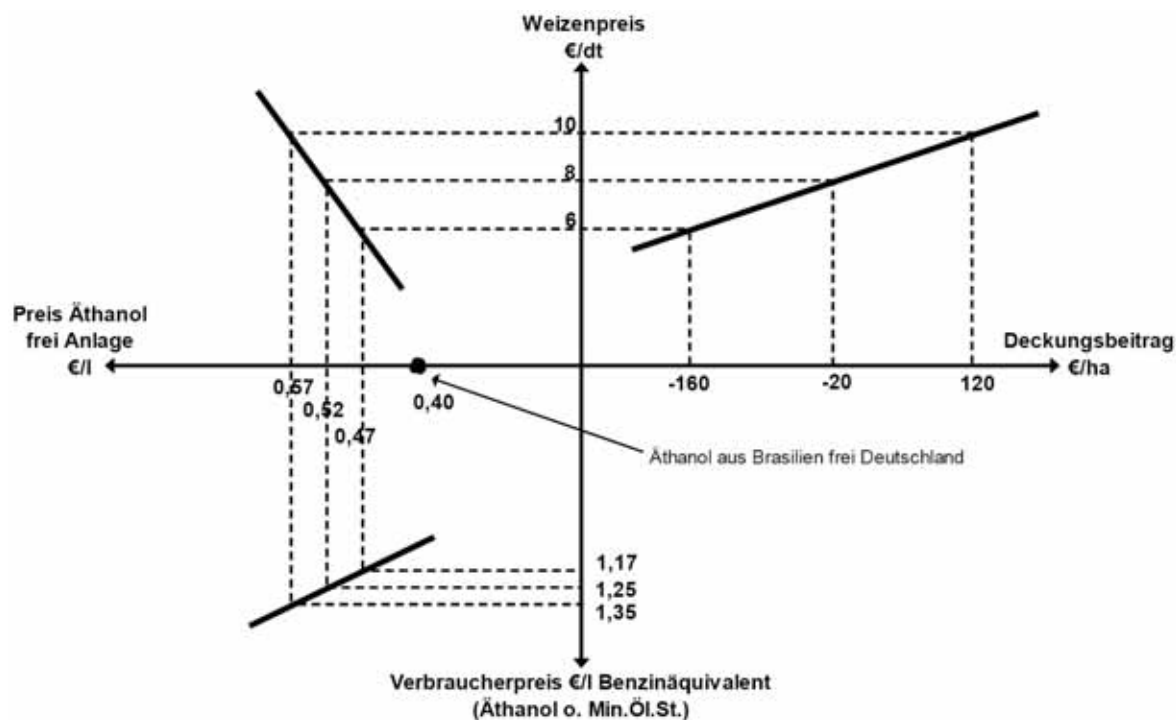


Abb. 5: Paritätspreise Weizen - Äthanol - Benzin
(Quelle: eigene Darstellung nach LfL, 2006; IGELSPACHER, 2003; MWV 2006, THRÄN ET AL., 2005)

2.3 Wärmebereitstellung

Eine gänzlich andere Situation stellt sich zwischenzeitlich im Bereich der Wärmebereitstellung dar (vgl. Abb. 6).

Maßgeblich dafür ist die direkte Umwandlung des erneuerbaren Energieträgers in Wärmeenergie. Es entfallen also die Umwandlungsverluste, somit wird eine höhere Effizienz erreicht, was dazu führt, dass unter den gegebenen Preisverhältnissen die erneuerbaren Energieträger schon wettbewerbsfähig sind. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt stellt Getreide noch keinen Regelbrennstoff dar und darf deshalb nur mit einer Ausnahmegenehmigung verfeuert werden. Ein Grund dafür sind die noch nicht gelösten Probleme mit Emissionen. Diese sind aber lösbar und deshalb ist demnächst mit einer Zulassung zu rechnen. Bei den gegenwärtigen Heizölpreisen liegt der Substitutionswert von Getreide bei über 15 € pro 100 kg. Dabei sind die höheren Aufwendungen zur Emissionsminderung schon berücksichtigt. Daraus folgt: Wenn Getreide als Regelbrennstoff zugelassen wird, muss sich das

auf den Getreidepreis auswirken, da enorm große Mengen u. a. auch in Großfeuerungsanlagen eingesetzt werden können. Diese zusätzliche Nachfrage wird sich auch auf die anderen erneuerbaren Energieträger (z. B. Äthanol), aber auch auf den Nahrungsmarkt auswirken. Nicht zuletzt erhöht sich der Einkommensbeitrag für den Landwirt. Die mit der Einsparung von Heizöl verbundene CO₂-Einsparung entspricht der Einsparung von Diesel oder Benzin, aber mit dem Unterschied, dass der Nutzen für den Landwirt größer, die Kosten für die Steuerzahler niedriger sind.

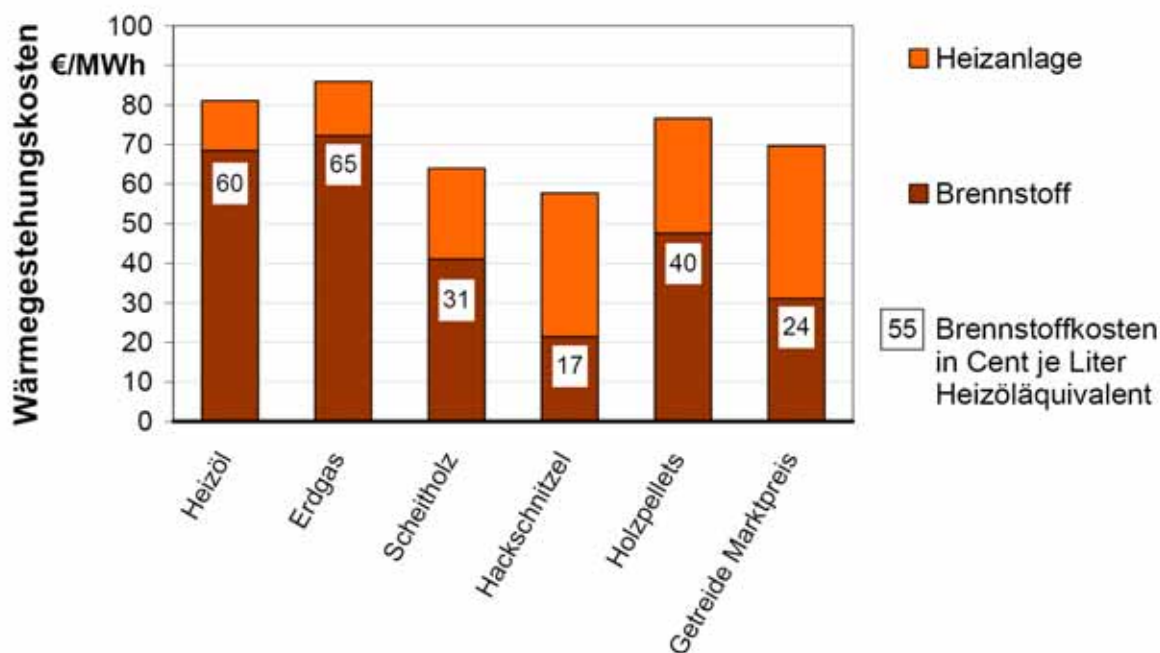


Abb. 6: Wärmebereitstellungskosten aus verschiedenen Energieträgern (Quelle: eigene Darstellung nach CARMEN, 2005)

3 Konsequenzen aus der Konkurrenz von Energieträgern und Nahrungsmitteln

Der zwischenzeitlich durch geänderte Rahmenbedingungen hervorgerufene umfangreiche Einsatz von agrarischen Rohstoffen zur Energiegewinnung hat zu einem schärferen Wettbewerb um die Anbaufläche geführt, was im Pachtpreisgefüge zum Ausdruck kommt. Die in diesem Jahr deutlich knapper ausgefallene Getreideernte hat zudem zu einem Anstieg der Getreidepreise geführt. Diese Preis-Kosten-Änderungen führen zwangsläufig zu einer Änderung der Einkommenssituation.

Als Gewinner können sich die Verpächter sehen. Im Gegenzug verlieren dementsprechend die Pächter. Im Falle der Biogasbetreiber wird also ein Teil des Biomassebonus an die Verpächter weitergegeben. Soweit die Substratbereitstellung einer Biogasanlage überwiegend auf Pachtflächen oder zugekaufter Ware basiert, sinkt das Einkommen aus der Biogasanlage drastisch ab (vgl. Abb. 7). Da die anderen Landwirte (z. B. Milcherzeuger, Bullenmäster, Schweinemäster) von den steigenden Pachtpreisen ebenfalls betroffen sind,

sinkt auch deren Gewinn. Soweit deren Pachtanteil deutlich niedriger ist, wirkt sich das auf den Gewinn weniger drastisch aus als bei den Biogasanlagenbetreibern. Verschärfend kommt aber bei den Milchviehbetrieben der Umstand hinzu, dass der Milchmarkt noch durch Überschüsse gekennzeichnet ist, sich also höhere Pachtpreise oder höhere Kraftfutterpreise nicht auf den Milchpreis überwälzen lassen. Als Gewinner können sich bei steigenden Erzeugerpreisen auch die Getreideproduzenten fühlen, wenngleich sie durch höhere Pachtpreise einen Teil weitergeben. Schwieriger wird es bei steigenden Preisen für die Verarbeiter von agrarischen Rohstoffen (z. B. von Getreide zu Äthanol oder Rapsöl zu Biodiesel), im Extrem weichen sie auf kostengünstigere Rohstoffimporte aus.

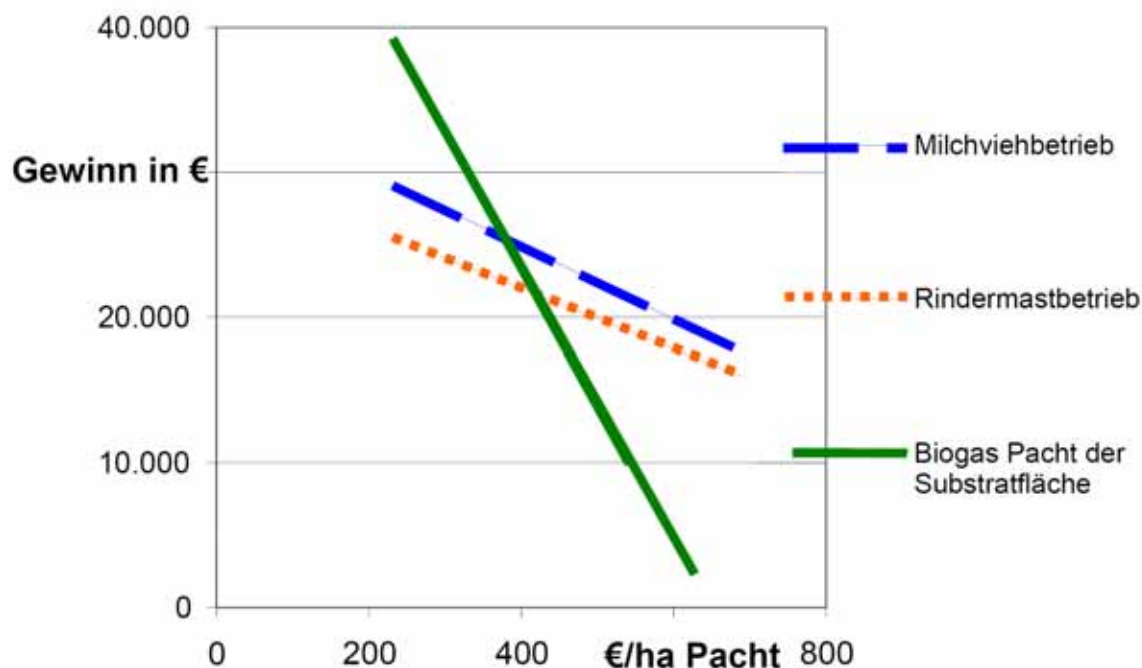


Abb. 7: Einfluss des Pachtpreises auf den Gewinn je Betrieb
(Quelle: eigene Darstellung nach LBA, 2001; LBA, 2002; LfL, 2003; LfL, 2004; LfL, 2005; FNR, 2005)

4 Potenzialabschätzung

In Europa gilt die Landwirtschaft als ein Schlüsselsektor, der Biomasse verstärkt bereitstellen muss, wenn der Anteil erneuerbarer Energien bis 2010 verdoppelt werden soll. Insbesondere werden im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) Anbauflächen für Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen zur Verfügung gestellt bzw. der Anbau durch eine Energiepflanzenprämie unterstützt (EU-Kommission, 1997). Die Stilllegungsflächen stellen ein erhebliches Anbaupotenzial dar. Inwieweit darüber hinaus Flächen verfügbar sind, wird dagegen recht unterschiedlich beurteilt. Dies spiegeln auch die Potenzialabschätzungen für Deutschland wider. Insbesondere die Dynamik verfügbarer Anbauflächen ist stark an politische und technische Entwicklungen gekoppelt, die nur zum Teil berücksichtigt werden.

Langfristig lässt sich das Biomassepotenzial in Deutschland auf etwa 1.100 – 1.500 PJ/a eingrenzen. Dies entspricht etwa 7 – 10 % des heutigen Primärenergieverbrauchs von 14.400 PJ/a, die allein aus Biomasse gedeckt werden könnten.

Derzeit nimmt die Biomasse nur einen geringen Teil des gesamten Primärenergieverbrauchs ein (vgl. Abb. 8). Das begrenzte Potenzial der Biomasse, bedingt durch die Verfügbarkeit an Wald und landwirtschaftlichen Nutzflächen kann nur dann einen bedeutenden Anteil zum Gesamtenergieverbrauch beitragen, wenn erhebliche Einsparungs- und Effizienzsteigerungsmaßnahmen im Energiesektor realisiert werden. Nach Durchführung dieser Maßnahmen kann ein gleicher Nutzen mit wesentlich geringerem Primärenergieaufwand erzeugt werden, wodurch eine höhere Zahlungsbereitschaft je Energieeinheit realisierbar sein sollte. Damit könnten schließlich momentan ohne Unterstützungsmaßnahmen noch nicht wettbewerbsfähige erneuerbare Energieformen zukünftig am Markt bestehen.

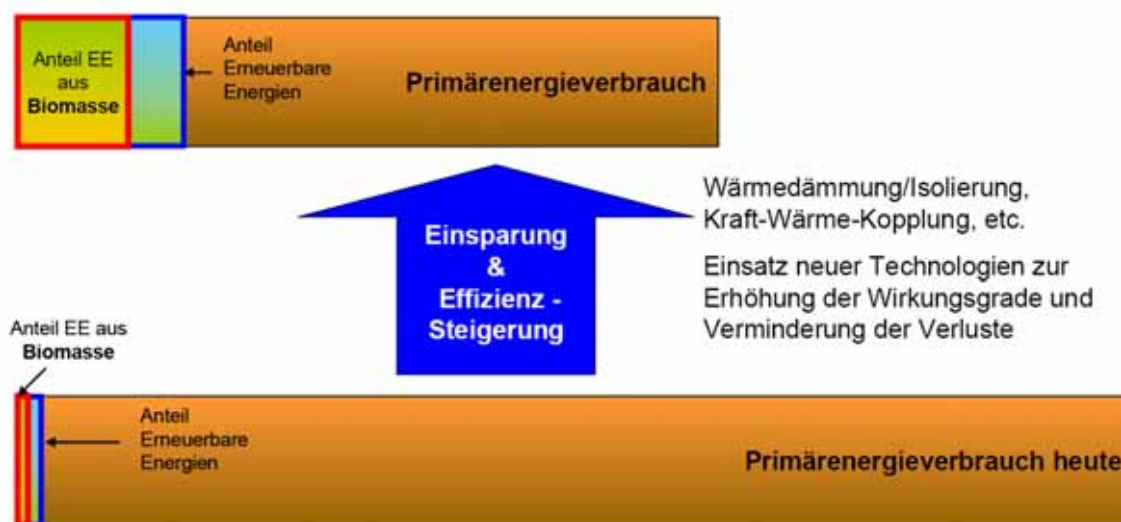


Abb. 8: Stellenwert der Biomasse in einer nachhaltigen Energieversorgung
(Quelle: SIMON, 2006 nach NITSCH ET AL., 2004)

Insgesamt wird deutlich, dass eine künftige Energieversorgung nicht durch fossile, aber auch nicht allein durch Biomasse gewährleistet werden kann. Neben einer drastischen Reduktion des gesamten Energieverbrauchs wird langfristig eine direkte und effiziente Nutzung der Sonnenenergie notwendig sein.

5 Ausblick

Die zukünftige Bedeutung der Biomasse im Rahmen der Energieversorgung hängt von mehreren Faktoren ab. Zum einen muss sich die Gesellschaft entscheiden, inwieweit eine inländische Versorgung mit Nahrungsmitteln einer Versorgung mit Energie vorzuziehen ist, andererseits ist zu klären, welche gesellschaftlichen Kosten für die Nutzung erneuerbarer Energien akzeptiert werden. Wie auch immer die Flächennutzung der Bundesrepublik aussehen wird, das Biomassepotenzial bleibt, gemessen am derzeitigen Energieverbrauch, begrenzt.

Die Wirkung politischer Eingriffe zeigt sich an der Minderschätzung der Wärmeerzeugung aus Biomasse. Wärmeenergie aus Biomasse wäre heute schon weitgehend ohne staatliche Eingriffe wettbewerbsfähig. Aufgrund der politischen Rahmenbedingungen liegt aber derzeit der Fokus auf der Strom- bzw. Treibstoffproduktion.

Für den Sektor Landwirtschaft ergibt diese Situation neue Absatzmöglichkeiten, welche in der Zukunft eine Stabilisierung der Preise für landwirtschaftliche Erzeugnisse auf einem höheren Niveau erwarten lassen. Die heute relativ günstigen Bedingungen, z. B. für die Biogaserzeugung, gilt es kritisch zu überprüfen. Aus einzelbetrieblicher Sicht ist zu beachten, dass neben hohen Investitionsvolumina ein neues Know-how gefragt ist. Darüber hinaus sollte bei den für 20 Jahren festgeschriebenen Vergütungssätzen die mögliche Kostenentwicklung nicht unberücksichtigt bleiben. Tendenziell steigende Preise auf den Rohstoffmärkten führen zu einem Anstieg der Nutzungskosten im Bereich der erneuerbaren Energien z. B. in Form höherer Pachtpreise. Aus agrarpolitischer Sicht sind die Nebenwirkungen des Biomassebonus auf die Wettbewerbsverhältnisse der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren zu prüfen.

Die insgesamt hohen gesellschaftlichen Kosten, die mit der Einführung erneuerbarer Energien einhergehen, werden nur dann zu rechtfertigen sein, wenn bei der Substitution von fossilen Energieträgern durch Biomasse eine hohe Effizienz erreicht wird.

Literatur

- [1] BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (Hrsg.) (2003): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2002. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien/Heft XXVII. Hannover
- [2] BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (Hrsg.) (2002): Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten 2002. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster-Hiltrup, 46. Jahrgang, Münster
- [3] BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (Hrsg.) (2004): Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten 2004. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster-Hiltrup, 48. Jahrgang, Münster
- [4] C.A.R.M.E.N. e. V. (Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungsnetzwerk e.V.) (2006): Kostenvergleich verschiedener Heizsysteme. <http://www.carmen-ev.de/> (Abrufdatum: 8.8.2006)
- [5] EU-Kommission (1997): Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger - Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. Brüssel
- [6] EU-Kommission (2004): Mitteilungen der Kommission an den Rat und das europäische Parlament - Der Anteil erneuerbarer Energien in der EU. Brüssel
- [7] FNR (Hrsg.) (2005): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. Gülzow
- [8] GRUNERT, M., (2006): "Bioethanol - Stand in Deutschland", Vortrag anlässlich der Fachveranstaltung "Getreide zur Ethanolproduktion" am 02.02.2006 in Nossen
- [9] IEA (2004): World Energy Outlook 2004. International Energy Agency/ Organisation for Economic Co-operation and Development (Hrsg.). Paris
- [10] IEA (2005): Data Service: World Energy Statistics and Balances, International Energy Agency. <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>
- [11] IGELSPACHER, R. (2003): Ganzheitliche Systemanalyse zur Erzeugung und Anwendung von Bioethanol im Verkehrssektor. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, Gelbes Heft 76, München

- [12] LBA (Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur) (Hrsg.) (2001): Buchführungsergebnisse des Wirtschaftsjahres 2000/2001. München
- [13] LBA (Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur) (Hrsg.) (2002): Buchführungsergebnisse des Wirtschaftsjahres 2001/2002. München
- [14] LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (Hrsg.) (2003): Buchführungsergebnisse des Wirtschaftsjahres 2002/2003. München
- [15] LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (Hrsg.) (2004): Buchführungsergebnisse des Wirtschaftsjahres 2003/2004. München
- [16] LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (Hrsg.) (2005): Buchführungsergebnisse des Wirtschaftsjahres 2004/2005. München
- [17] LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2006): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. <http://www.lfl.bayern.de/ilb/db/> (Abrufdatum: 20.7.2006)
- [18] MWV (Mineralölwirtschaftsverband e.V.), 2006: Mineralölzahlen. <http://www.mwv.de>, http://www.mwv.de/Statistiken_Grafiken.html (Abrufdatum: 20. 7. 2006)
- [19] NITSCH, J., W. KREWITT, M. NAST, P. VIEBAHN, S. GÄRTNER, M. PEHNT, G. REINHARDT, R. SCHMIDT, A. UHLEIN, K. SCHEUERLEN, C. BARTHEL, M. FISCHEDICK UND F. MERTEN (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Energie- und Umweltforschung, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg.). Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal
- [20] SCHMIDHUBER, J. (2005): unveröffentlichtes Manuskript. FAO, Rom
- [21] SIMON, S.(2006): Szenarien nachhaltiger Bioenergiepotenziale bis 2030 – Modellierung für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn. Weihenstephan, Dissertation im Druck
- [22] THRÄN, D.; M. WEBER; A. SCHEUERMANN; N. FRÖHLICH; J. ZEDDIES; A. HENZE; C. THOROE; J. SCHWEINLE; U. R. FRITSCHKE; W. JENSEIT; L. RAUSCH UND K. SCHMIDT (2005): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig

Automatische Spurführung von Landmaschinen - Systeme, Einsatzbereiche, Wirtschaftlichkeit

Dr. Markus Demmel
Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik,
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft,
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Zusammenfassung

Spurführungshilfen, Lenkassistenzsystem und automatische Lenksysteme sind im Moment die in der Landwirtschaft am meisten nachgefragten Anwendungen der Satellitenortung GPS. Sie werden zusammenfassend als Parallelfahrssysteme bezeichnet. Sie können in der Pflanzenproduktion zu einer deutlichen Arbeitserleichterung für den Fahrer, wie auch zu Einsparungen beim Arbeitszeitbedarf und bei Betriebsmitteln führen. Das Angebot ist sehr umfangreich. Bei den kostengünstigen Spurführungshilfe lenkt der Fahrer, geleitet von einer Anzeige, den Traktor oder die Erntemaschine entlang einer virtuellen Spur. Bei Lenkassistenzsystemen und automatischen Lenksystemen steuert ein Navigationsrechner ein elektrohydraulisches Lenkventil oder einen Stellmotor am Lenkrad an und übernimmt die Fahrzeugführung. Der Fahrer übernimmt nur noch das Wenden, das Ein- und Ausschalten und die Überwachung. Die Genauigkeit ist vom verwendeten DGPS System und der Ausstattung abhängig. Die erreichbare Genauigkeit und die Ausstattung bestimmen auch den Preis. Vor einer Investition sollte der vorgesehene Einsatzbereich festgelegt und der mögliche Nutzen analysiert und den Kosten gegenübergestellt werden.

1 Einleitung

Der Einsatz der Satellitenortung und dabei insbesondere die Nutzung des „Global Positionierungssystem GPS“ ermöglicht es, ohne spezielle Kenntnisse zu jeder Zeit und an jedem Ort seine genaue Position zu bestimmen. Sie findet in unserer heutigen Gesellschaft – sowohl im kommerziellen (z. B. Flottenmanagement) wie auch im privaten Bereich (KFZ-Navigationssysteme) - eine immer größere Verbreitung. Diese Entwicklung schließt auch die Landwirtschaft mit ein.

Die Satellitenortung hat bei der Feldaufmaung und der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher Mitte der 90er Jahre seinen Einzug in die Landwirtschaft angetreten. Spurführungshilfen und automatische Lenksysteme sind im Moment die in der Landwirtschaft am meisten nachgefragten GPS-Anwendungen.

2 Funktionsweise der Satellitenortung

Das heute genutzte Satellitenortungssystem „Global Positioning System GPS NAVSTAR“ wurde vom Amerikanischen Verteidigungsministeriums für die militärische und zivile Nutzung entwickelt. Es besteht aus einem Raum-, einem Kontroll- und einem Nutzersegment (Abb. 1).

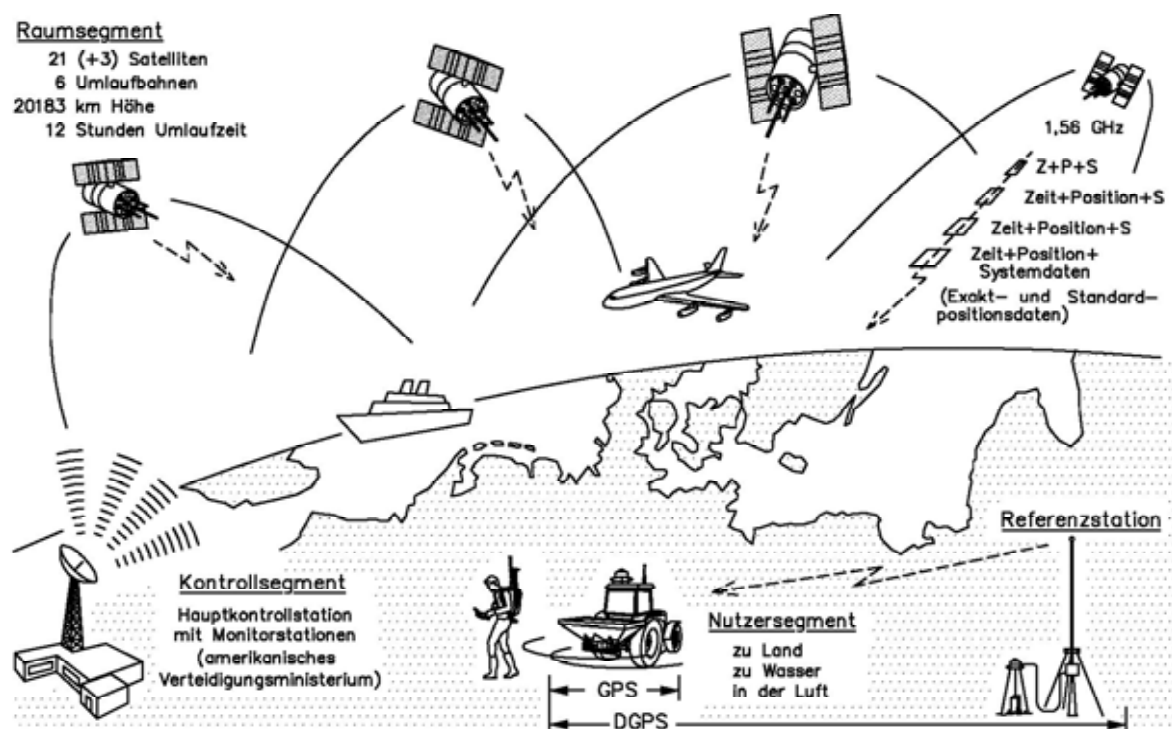


Abb. 1: Aufbau des „Global Positioning Systems GPS NAVSTAR“

Mehr als 24 Satelliten umkreisen auf 6 Umlaufbahnen in etwa 20.000 km Höhe die Erde. Durch die große Höhe beträgt die Umlaufzeit etwa 12 Stunden. Die Ortungssatelliten sind mit hochgenauen Atomuhren ausgestattet und senden kontinuierlich Nachrichten mit der Absende-Uhrzeit, ihrer Position und Systemdaten zur Erde.

Die GPS Empfänger versuchen wie Rundfunkempfänger von möglichst vielen Satelliten diese Informationen zu empfangen. Aufgrund der Eigenschaft der Sendefrequenz (1,56 GHz) ist hierzu eine ungestörte „Sichtverbindung“ zum Satelliten (obwohl er nicht sichtbar ist) notwendig. Aus der Zeitdifferenz zwischen dem Absenden und dem Empfangen der Botschaften berechnen die Empfänger die Entfernung zu den einzelnen Satelliten. Aus den Entfernungen zu den einzelnen Satelliten und deren Positionen kann dann die Position der Empfängerantenne berechnet werden. Dies erfolgt analog dem Vorgehen, das wir wählen, wenn wir mit dem Maßband einen Punkt im Bezug zu bekannten Festpunkten einmessen.

Das Kontrollsegment im Verantwortungsbereich der Amerikanischen Regierung überwacht und steuert das gesamte System.

Seit 1995 ist das GPS NAVSTAR offiziell in Betrieb. Seit dem 2. Mai 2000 steht allen Nutzern die maximale Systemgenauigkeit zur Verfügung. Damit ist die absolute Bestimmung der Position mit Fehlern von etwa $\pm 15\text{-}20$ m möglich. Einfache GPS Empfänger sind im Preisbereich zwischen 200 und 500 € erhältlich.

Um eine höhere Genauigkeit zu erreichen, ist es notwendig ein differentielles GPS „DGPS“ einzusetzen. Hierbei berechnet eine Korrekturstation (auch als Fest- oder Basisstation bezeichnet), die sich auf einem vermessenen Punkt befindet, die Fehler bzw. Abweichungen bei der Entfernungsmessung zu den einzelnen Satelliten bzw. Veränderungen der Trägerphase. Diese Korrekturinformationen werden dann zu den mobilen DGPS Empfängern auf den Fahrzeugen und Maschinen übertragen. Es existieren unterschiedliche DGPS-Korrekturverfahren, die sich im Aufwand, den Kosten und der erreichbaren Systemgenauigkeit unterscheiden (Tab. 1).

Tab. 1: DGPS Verfahren für den landwirtschaftlichen Einsatz

DGPS Verfahren	Funktionsprinzip	Produktname, Hersteller	Genauigkeit	Empfänger, Systemkosten	Kosten Korrektur-service
DGPS	Pseudo Range Korrektur, Codemessung, Ein-Frequenz-Empfänger	sehr viele	immer besser ± 3 m oft besser ± 1 m	1.000 bis 3.000 €	teilweise kostenfrei, ansonsten 500-800 €/a
Wide Area Zwei-Frequenz DGPS	trägergeglättete Codemessung, Zwei-Frequenz-Empfänger	Omnistar HP (Trimble), John Deere Starfire II	immer besser $\pm 0,5$ m oft besser $\pm 0,1$ m	6.000 bis 10.000 €	1.000-2.000 €/a
RTK-DGPS Real Time Kinematik DGPS	Trägerphasenmessung, Zwei-Frequenz-Empfänger	Trimble, Novatel, John Deere Starfire RTK	immer besser $\pm 0,05$ m oft besser $\pm 0,02$ m	20.000 bis 40.000 €	kostenfrei, da eigene Referenzstation

Mit der Genauigkeit der DGPS Empfänger steigen ihre Preise und die Anzahl der Produkte geht zurück. „Einfache“, für den landwirtschaftlichen Einsatz geeignete DGPS Ein-Frequenz-Empfänger sind in unterschiedlicher Ausstattung von allen Empfängerherstellern zu Preisen zwischen 1.000 und 3.000 € zu erhalten. Auch die Auswahl an Diensten ist für dieses Korrekturverfahren recht umfangreich (Tab. 2).

Tab. 2: DGPS-Korrekturdienste (Pseudo Range) für die landwirtschaftliche Nutzung

Korrekturdienst	Verfügbarkeit	Lizenzkosten	Empfänger- / Dekoderkosten
SAPOS EPS RASANT (UKW)	Deutschland	einmalig 150 € bei Empfängerkauf	ab 800 € inkl. Lizenz
Satellitengestützte Systeme, Omnistar, Starfire I	weltweit	teilweise kostenfrei 500 - 800 €/Jahr	etwa 2.500 € in einigen GPS Empfängern integriert
Mittelwellenfunk Beacon (nach IALA Stan- dard)	ganz Deutschland (z. T. weltweit)	keine	ab 800 € in einigen GPS Empfängern integriert
EGNOS (European Geosta- tionary Navigation Overlay Service)	europaweit	keine	in einigen GPS Empfängern integriert

Demgegenüber bieten nur zwei Hersteller / Serviceanbieter (Omnistar HP und John Deere Starfire II) Korrekturinformationen für DGPS Zwei-Frequenz Empfänger für Wide-Area (Weit-Bereichs) Referenznetzwerke an. Bei erhöhter Genauigkeit sind aber sowohl die Empfängerkosten als auch die Korrekturservicegebühren deutlich erhöht.

Den höchsten Preis haben die hochgenauen Real-Time Kinematik (RTK) GPS Systeme (20.000 – 40.000 €). Die Systempreise enthalten jeweils eine eigene Referenzstation und die Funkgeräte zur Korrekturdatenübertragung. Durch den Betrieb eigener Referenzstationen entfallen Gebühren für den Korrekturdatenservice. Die Landesvermessungsämter betreiben zwar ein Netz von RTK Referenzstationen, durch die Verbreitung der Korrekturinformation mittels GSM (Mobiltelefon) sind die Nutzungs- und Telefongebühren, aber für den landwirtschaftlichen Einsatz zu hoch. Mit RTK DGPS Systemen ist die absolute Positionsbestimmung im dynamischen Einsatz (Fahren) mit Fehlern kleiner ± 5 cm möglich.

Seit 2001 entwickelt die Europäische Gemeinschaft ein eigenes Satellitenortungssystem, das den Namen GALILEO trägt. Es wird ähnlich aufgebaut sein wie das amerikanische GPS NAVSTAR, jedoch mit 30 Satelliten arbeiten und über eine höhere Grundgenauigkeit verfügen. GALILEO wird kompatibel zu GPS NAVSTAR sein, sodass viele heute am Markt verfügbare Empfänger später auf die Nutzung von GALILEO umgestellt werden können. Die ersten Satelliten sollen in den kommenden Jahren gebaut und in Umlaufbahnen um die Erde gebracht werden. Die ursprünglich für 2008 geplante Verfügbarkeit des Gesamtsystems wird sich wahrscheinlich bis 2010 verzögern.

3 Aufbau und Funktion von Spurführungshilfen und automatischen Lenksystemen

Unter der Bezeichnung „Parallelfahrssysteme“ ist ein breites Spektrum an Navigationshilfen auf Basis der Satellitenortung Global Positioning System NAVSTAR (GPS), von der einfachen Spurführungshilfe bis zur automatischen Lenkung, in unterschiedlichen Ausba- und Ausstattungsvarianten am Markt verfügbar.

Das Grundprinzip der Systeme ist identisch. Ausgehend von den mittels Satellitenortung ermittelten Positionsdaten einer ersten Fahrspur werden Parallelfahrspuren in einem frei wählbaren Abstand berechnet. Bei den Spurführungshilfen (oft auch als manuelle Lenksysteme bezeichnet) wird dem Fahrer die Sollspur und/oder die Abweichung von der Sollspur angezeigt und er lenkt sein Fahrzeug mit diesen Informationen. Bei der automatischen Lenkung wird vom Navigationsrechner ein zusätzliches Lenkventil oder ein kleiner Elektromotor am Lenkrad angesteuert, um den Traktor oder die Erntemaschine auf der Sollspur zu halten.

Die Genauigkeit der Parallelfahrssysteme hängt vom verwendeten GPS System und den Korrekturverfahren ab. Bei Spurführungshilfen kommt der Fahrfehler hinzu. Mit kostenfreien Korrektursignalen wie Küstenfunk (BEACON) oder EGNOS werden in der Regel Spur-zu-Spur Genauigkeiten (Pass to Pass) von 10 – 50 cm erreicht (innerhalb einer Zeitspanne von etwa 15 Minuten). Eine Genauigkeit von 5-10 cm ist mit den höherwertigen, gebührenpflichtigen satellitengestützten Korrektursystemen Omnistar HP und John Deere Starfire II möglich. Zum Erreichen dieser Genauigkeit sind zusätzliche Sensoren zum Ausgleich der Längs- und Querneigung des Fahrzeugs erforderlich. Die höchste Genauigkeit mit 1-5 cm Fehlern kann nur bei der Verwendung von RTK DGPS Empfängern mit eigener Referenzstation und Neigungsausgleich erreicht werden. Sie ist nur in Verbindung mit automatischen Lenksystemen sinnvoll. Die Preise der Systeme steigen mit der Genauigkeit und der Automatisierung (Tab. 3).

Manuelle Spurführungssysteme bieten sich für die Applikation von mineralischen und organischen Düngemitteln und von Pflanzenschutzmitteln an, wenn keine Fahrgassen vorhanden sind. Überlappungen und Lücken können dadurch verhindert werden. Besonders im Mais ersparen diese Systeme das mühsame Abzählen der Reihen beim Wenden am Vorbeet. Die Listenpreise variieren zwischen 2.000 und 6.000 € (inkl. DGPS Empfänger). Produktvorstellungen wurden in Fachzeitschriften veröffentlicht (dlz 2/2005, profi 02/2006, top agrar 10/2006).

Sogenannte „Lenkassistenzsysteme“ stellen den Übergang zwischen Spurführungshilfen und automatischen Lenksystemen dar. Sie sind teilweise aus aufwendigeren Spurführungshilfen aufrüstbar. Der Lenkeingriff erfolgt bereits automatisch mittels Lenkventil oder Stellmotor am Lenkrad. Der Fahrer muss den kompletten Wendevorgang bis nahe der neuen Fahrspur und auf wenige Grad in die neue Fahrtrichtung manuell durchführen, bevor das System aktiviert werden kann. Es werden sowohl „einfache“ DGPS Empfänger als auch die Wide Area DGPS Zwei-Frequenz Empfänger verwendet. Der typische Einsatzbereich ist die Bodenbearbeitung mit großen und mittleren Arbeitsbreiten.

Automatische Lenksysteme können je nach gewählter („eingekaufter“) Genauigkeit bei der Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, beim Säen, Pflanzen und auch beim Hacken sowie bei der Steuerung der Erntemaschinen eingesetzt werden. Sie unterstützen den Fahrer auch beim Wenden und führen das Fahrzeug nach manuellem Einleiten des Wendevorgangs automatisch in die nächste Spur. Durch die hohe Genauigkeit werden Überlap-

pungen deutlich verringert. Wendezeiten können reduziert werden, da „Arbeitsbreiten“ übersprungen werden können, um sie bei der „Rückfahrt“ zu bearbeiten. Die Entlastung bzw. Leistungssteigerung der Fahrer besonders an langen Arbeitstagen und bei ungünstigen Sichtverhältnissen (Staub, tief stehende Sonne, Nacht) ist enorm. Automatische Lenksysteme kosten zwischen 15.000 und 45.000 € und können jährliche Korrekturservicegebühren von bis zu 1.500 € verursachen.

Tab. 3: Automatisierungsgrad und Eigenschaften unterschiedlicher Parallelfahrssysteme auf Basis der Satellitenortung GPS

	Spurführungshilfen	Lenkassistenzsysteme	automatische Lenksysteme
Lenkart / Lenkeingriff	manuell	automatisch, manuelles Wenden und Hinführen zur Fahrspur	automatisch, manuelles Einleiten des Wendevorgangs
Spur-zu-Spur Genauigkeit (Pass to Pass)	10-50 cm mit EGNOS oder Küstenfunk	10-30 cm mit EGNOS oder Küstenfunk, 5-20 cm mit Wide Area Zwei-Frequenz DGPS	5-10 cm mit Wide Area Zwei-Frequenz DGPS, 1-5 cm mit RTK DGPS
Einsatzbereiche	Verteilarbeiten mit großen Arbeitsbreiten, mineralische und organische Düngung	Bodenbearbeitung und Verteilarbeiten mit großen bzw. mittleren Arbeitsbreiten	alle Arbeiten, auch Säen, Pflanzen und Hacken
Investitionsbedarf	2.000-6.000 €	10.000-15.000 €	15.000 – 45.000 €

Die automatischen Lenksysteme bzw. Lenkassistenzsysteme von drei Herstellern (Agrocom, Müller Elektronik und Reichardt Steuerungssysteme) können anstelle von GPS-Empfängern auch mit optischen bzw. Mikrowellensensoren ausgerüstet werden. Damit führen sie die Traktoren entlang von Furchen, Dämmen oder Pflanzenreihen, unabhängig von der Verfügbarkeit von GPS Signalen bzw. von Korrekturinformationen für DGPS.

4 Arbeitswirtschaftliche Effekte

Parallelfahrssysteme entlasten den Fahrer, können die Wendezeiten verringern und reduzieren Überlappungen. Diese Effekte werden in verschiedenen Untersuchungen unterschiedlich bewertet. Sehr oft wird eine Reduzierung der Überlappungen von 5-10 % angegeben, verbunden mit entsprechenden Einsparungen an Arbeitszeit, Treibstoff und Saatgut bzw. Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln. Pauschale Aussagen wie auch exakte Kalkulationen sind sehr schwierig, da die Effekte von den Arbeitsbreiten, von der Genauigkeit des Parallelfahrssystems und von den Strukturverhältnissen abhängen.

Die Ausgangssituation ist, dass die Landwirte beim manuellen Lenken mit unterschiedlich großen Überlappungen arbeiten, um unbearbeitete Bereiche zu vermeiden, auch bei der Aussaat mit Spuranreißer (Abb. 2). Untersuchungen von SCHICK (1990) und von GERL (1993) haben gezeigt, dass je nach Hangneigung und Arbeitsbreiten die Überlappungen bei der Getreidesaat zwischen 3 und 7% variieren. Durch die statistische Fehlerverteilung des Satellitenortungssystems kommt es bei Parallelführungssystemen sowohl zu Überlappungen als auch zu Lücken in der Größe der Genauigkeit der Systeme (Tab. 3). Dies hat bei Verteilarbeiten und großen Arbeitsbreiten keine schwerwiegenden Konsequenzen, da Spritz- oder Streubreiten zumeist am Rand überlappen. Beim Vergleich von Spritzarbeiten (selbstfahrende Spritze mit 20 m Arbeitsbreite) ohne Fahrgassen nur mit Schaummarkierung oder Spurführungshilfe haben BUICK AND WHITE (1999) festgestellt, dass es bei einem sehr erfahrenen Fahrer keine Genauigkeitsunterschiede gibt, während ein weniger geübter Fahrer mit der Spurführungshilfe 22% mehr Effizienz (weniger Überlappung und weniger Lücken) erreichte.

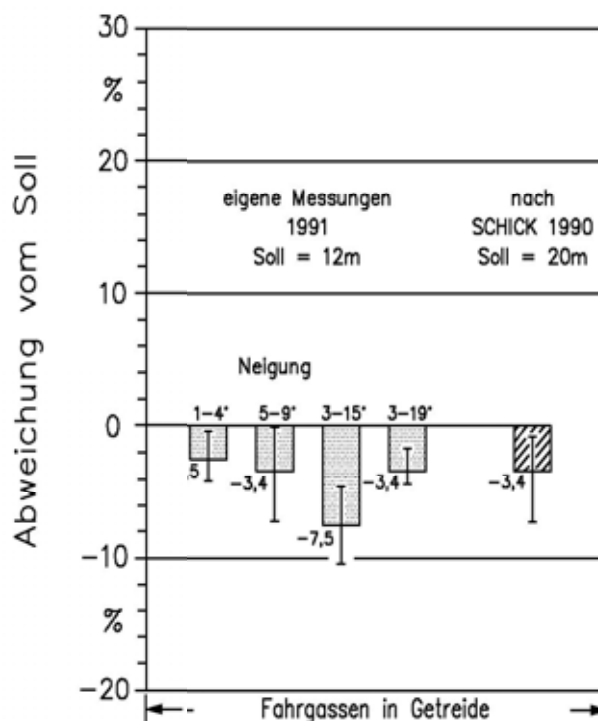


Abb. 2: Überlappungen bei der Aussaat von Getreide mit Fahrgassenabständen von 12 bzw. 20 Metern und unterschiedlichen Hangneigungen (nach GERL, 1993)

Für Feldarbeiten (Getreidebau) mit geringeren Arbeitsbreiten (3, 4 und 6 m Arbeitsbreite) hat HOLPP (2006) umfangreiche Modellrechnungen mit dem Modellkalkulationssystem PROOF der Forschungsanstalt Tänikon in der Schweiz durchgeführt. Er ist davon ausgegangen, dass bei manueller Lenkung die effektive Arbeitsbreite etwa 90 % der technischen Arbeitsbreite ist. Bei der Parallelführung hat er mit Genauigkeiten von $\pm 0,3$ m, $\pm 0,15$ m und $\pm 0,05$ m kalkuliert und die effektive Arbeitsbreite als technische Arbeitsbreite abzüglich der Genauigkeit definiert. Er hat die Berechnungen für Schlaggrößen von 1, 2, 5 und 10 ha vorgenommen. Bezüglich der Überlappungen kommt er zu den in Tabelle 4 dargestellten Ergebnissen.

Tab. 4: Vergleich der relativen Überlappung zwischen manueller Lenkung und Parallelfahrhilfen. Negative Werte = mit manueller Lenkung kommt es zu geringerer Überlappung als mit Parallelfahrhilfe, positive Werte = mit Parallelfahrhilfe kommt es zu geringerer Überlappung als mit manueller Lenkung (nach HOLPP, 2006)

Theoretische Arbeitsbreite	Relative Unterschiede in der Überlappung zwischen manueller Lenkung und Parallelführungssystemen		
	Genauigkeit $\pm 0,3$ m	Genauigkeit $\pm 0,15$ m	Genauigkeit $\pm 0,05$ m
3 m	-6,7 %	-1,7 %	1,7 %
4 m	-2,5 %	1,3 %	3,8 %
6 m	1,7 %	4,2 %	5,8 %

Einer Verringerung der Überlappung (positive Werte) erfolgt bei niedriger Genauigkeit des Parallelfahrsystems nur bei 6 m Arbeitsbreite, bei der mittleren Genauigkeit bei 4 und 6 m Arbeitsbreite und bei hoher Genauigkeit bei allen Arbeitsbreiten. Unter Einbeziehung von 15 % geringeren Wendezeiten bei Parallelfahrssystemen ergeben sich Arbeitszeiteinsparungen bei 3 m Arbeitsbreite nur bei der hohen Genauigkeit (0,05-0,15 h/ha*a), bei 4 m Arbeitsbreite bei mittlerer und hoher Genauigkeit (0,05-0,17 h/ha*a) und bei 6 m Arbeitsbreite bei allen Genauigkeiten (0,05-0,10 h/ha*a).

Für die Grünlandbewirtschaftung mit fünf Schnitten, vierfacher organischer und einmaliger mineralischer Düngung (gesamt 28 Überfahrten / Jahr) und Maschinenkombinationen mit kleiner, mittlerer und großer Arbeitsbreite hat HOLPP (2006) jährliche Arbeitszeiteinsparungen zwischen 0,5 und 1,0 h/ha*a berechnet. Die detaillierten Kalkulationen finden sich im ART Bericht 659/2006, der kostenfrei im Internet heruntergeladen werden kann.

Eigene Untersuchungen im Jahr 2004 bei der Saat und dem Hacken von Zuckerrüben haben gezeigt, dass besonders durch ein verändertes Regime beim Einkehren die Wendezeiten deutlich reduziert werden können. Beim Einsatz des hochgenauen automatischen Lenksystems wurde zuerst nur jede zweite Fahrspur gesät bzw. gehackt (12-reihiges Sä- bzw. Hackgerät). Anstelle einer Schwalbenschwanz-Wendung wurde ohne Schalten und Anhalten, nur mit verringerter Motordrehzahl eine U-förmige Wende gefahren. Später wurden die „Lücken“ auf gleiche Art und Weise gefüllt (Abb. 3).

Der mittlere Zeitbedarf beim Wenden konnte dabei um 35 % von 25,6 auf 16,8 Sekunden reduziert werden. Dieser Wert ist größer als die Annahme (15 % Reduzierung), mit der HOLPP gerechnet hat. Besonders bei geringen Arbeitsbreiten, kurzen Schlägen und damit hohen Wendezeitanteilen lässt sich dadurch der gesamte Arbeitszeitbedarf deutlich senken.



Abb. 3: Säen von Zuckerrüben mit automatischem Lenksystem und Bearbeitung jeder zweiten Spur

5 Betriebswirtschaftliche Effekte

Die betriebswirtschaftliche Bewertung der Effekte von Parallelfahrssystemen ist noch schwieriger als die arbeitswirtschaftliche. Während die jährlichen Kosten vom Anschaffungspreis und den Unterhaltskosten abhängen, lassen sich die realisierbaren Einsparungen nur schwer kalkulieren und schwanken von Betrieb zu Betrieb und Situation zu Situation.

Für fünf unterschiedlich genaue und ausgestattete Parallelfahrssysteme wurden Kosten kalkuliert (Tab. 5).

Tab. 5: Kostenberechnung für Parallelfahrssysteme (Stand 10/2006)

	Spur- führungs- hilfe	Lenk- assistenz- system A	Lenk- assistenz- system B	autom. Lenksystem A	autom. Lenksystem B
DGPS System	EGNOS Beacon	EGNOS Beacon	Wide Area Zwei-Frequenz DGPS	Wide Area Zwei-Frequenz DGPS	RTK DGPS
Spur zu Spur Genauigkeit	± 10-50 cm	± 10-30 cm	± 5-20 cm	± 5-10 cm	± 2-5 cm
Lenkeingriff	manuell	automatisch / manuell	automatisch / manuell	automatisch	automatisch
Investitions- bedarf	3.500 €	9.000 €	13.000 €	20.000 €	40.000 €
Fixe Kosten¹	700 €/a	1.800 €/a	2.600 €/a	4.000 €/a	8.000 €/a
Korrektur- service	----	----	1.500 €/a	1.500 €/a	----
Gesamtkosten	700 €/a	1.800 €/a	4.100 €/a	5.500 €/a	8.000 €/a

¹ Fixe Kosten = Abschreibung 17 %, Zinssatz 6%

Die jährlichen Gesamtkosten variieren je nach Ausstattungsumfang und Korrekturservice zwischen 700 € für eine einfache Spurführungshilfe und 8.000 € für die automatische Lenkung mit eigener RTK Referenzstation. Je nach jährlichem Einsatzumfang ergeben sich daraus die in Tabelle 6 zusammengefassten Kosten.

Tab. 6: Kostenberechnung für Parallelfahrssysteme (Stand 10/2006)

Jährlicher Einsatz- umfang in ha/a	Spur- führungs- hilfe	Lenkassistenz- system A	Lenkassistenz- system B	automatisches Lenksystem A	automatisches Lenksystem B
	Kosten in €/ha * a				
100	7,0	18,0	41,0	55,0	80,0
200	3,5	9,0	20,5	27,5	40,0
500	1,4	3,6	8,2	11,0	16,0
1000	0,7	1,8	4,1	5,5	8,0
2000	0,35	0,9	2,1	2,8	4,0

Die Berechnung zeigt, dass hochgenaue automatische Lenksysteme bei geringem Einsatzumfang zu hohen Kosten je ha Einsatzfläche führen. Ein geringer Einsatzumfang kann nur bei Spezialkulturen mit sehr hohem Deckungsbeitrag und hohen Anforderungen an die Genauigkeit (z. B. beim Pflanzen von Gemüse) akzeptiert werden. Demgegenüber reduzieren sich die jährlichen Kosten von Spurführungshilfen auf weniger als 1 €/ha bei jährlichen Einsatzflächen über 750 ha.

Die direkt monetär bewertbaren Effekte von Parallelfahrssystemen sind Arbeitszeiteinsparungen, Kraftstoffeinsparungen und Einsparungen bei Saatgut, Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln aufgrund reduzierter Überlappungen. Diese können mit den positiven Werten aus Tabelle 4 (Reduzierung der Überlappungen um 1,3 – 5,8 %) angegeben werden. Jedoch hängt die absolute Höhe dieser Einsparungen von der Produktionsintensität und den Betriebsmittelkosten ab. Hinzu kommen Arbeitszeiteinsparungen durch reduzierte Wendezeiten, die stark von Schlaggrößen, Schlagformen und Arbeitsgeschwindigkeiten abhängen. Darüber hinaus sind die Effekte Entlastung des Fahrers, längerer Einsatz auch bei schlechter Sicht und in der Nacht, sowie genauere Anlage von Kulturen so gut wie nicht allgemeingültig bewertbar. Deshalb kann im Moment nur empfohlen werden, dass jeder Landwirt für seine spezielle eigene Situation prüft, inwieweit sich der Einsatz eines Parallelfahrersystems für ihn rentieren kann. Darüber hinaus sind weitergehende detaillierte Kalkulationen unter Einbeziehung von Messungen im Feld notwendig, um die Effekte von Parallelführungshilfen betriebswirtschaftlich genauer bewerten zu können.

6 Automatische Lenksysteme ermöglichen neue Ackerbauverfahren

Mit der Verfügbarkeit automatischer Lenksysteme haben die bereits in den späten 60er Jahren diskutierten sogenannten „Regel-Fahrspur-Verfahren“, im Englischen „Controlled Traffic Farming“ neues Interesse erlangt. Dabei werden im Feld ortsfeste Fahrspuren angelegt, die zur Bodenbearbeitung, zur Saat, zur Pflege sowie zur Ernte befahren werden. Der übrige Fläche wird nie mehr überrollt. Damit ist es möglich, etwaige negative Auswirkungen des Befahrens von Ackerflächen zu minimieren. Mit dem Ziel die Wasserinfiltration zu verbessern und Erosion bei Starkregen zu verhindern, werden in Australien bereits mehr als 2,0 Million Hektar Ackerland mit diesem Verfahren bewirtschaftet. Um die festgelegten Fahrspuren einhalten zu können, werden bei den eingesetzten Traktoren und Erntemaschinen automatische Lenksysteme auf Basis der Satellitenortung GPS (RTK-DGPS) genutzt. „Controlled Traffic Farming“ ist bisher nur in reinen Getreidefruchtfolgen nutzbar. Mehrjährige Untersuchungen in Australien haben gesicherte Mehrerträge von durchschnittlich 10 % gezeigt. Zusätzlich sinkt der Zugkraftbedarf in den unbefahrenen Zonen (86 % der Fläche). Es sind jedoch entsprechende Feldgrößen notwendig. Zudem wurden die Effekte bisher nicht unter unseren Klima- und Standortverhältnissen untersucht.

7 Fazit

Parallelfahrersysteme können in der Pflanzenproduktion zu einer deutlichen Arbeitserleichterung für den Fahrer, wie auch zu Einsparungen beim Arbeitszeitbedarf und bei Betriebsmitteln führen. Das Angebot ist heute bereits umfangreich. Beginnend bei der

kostengünstigen Spurführungshilfe, über die Lenkassistenzsysteme bis zu den automatischen Lenksystemen für Traktoren und Erntemaschinen. Die Genauigkeit ist vom verwendeten DGPS System und der Ausstattung abhängig. Die erreichbare Genauigkeit und die Ausstattung bestimmen auch den Preis. Vor einer Investition sollte der vorgesehene Einsatzbereich festgelegt und der mögliche Nutzen analysiert und den Kosten gegenübergestellt werden. Auch wenn die Verbreitung von GPS Technologie im Konsumbereich (Handgeräte für Wanderer und Segler, Navigationsgeräte für Kraftfahrzeuge,) stark zugenommen hat, wird sich das Preisgefüge bei den Geräten für die Landwirtschaft wahrscheinlich nur sehr langsam verändern. Aufgrund der speziellen Anforderungen werden im Vergleich zum Konsumsektor nur kleine Stückzahlen nachgefragt und produziert. Dennoch ist zu erwarten, dass Parallelfahrssysteme verstärkt Einzug in die Landbewirtschaftung halten.

Literatur

- [1] BUICK, R. AND E. WHITE (1999): Comparing GPS Guidance with Foam Marker Guidance. Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture 1998 St. Paul MN, USA, ASA-CSSA-SSSA, p.1035-1045
- [2] DEMMEL, M.(2000): Kommen die Roboter auf den Acker? dlz Sonderheft 13/2000. Deutscher Landwirtschaftsverlag, München, S.32-35
- [3] DEMMEL, M. (2004): Hohe Genauigkeit ist möglich. PA-Praxis 1/2004. Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 21-23
- [4] DÖLL, H. UND D. POLONI (2005): Die unsichtbare Spur. Neue Landwirtschaft H. 2/2005. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, S. 40-43
- [5] DRANGMEISTER, H. (2006) Parallel fahren zum günstigen Kurs?. top agrar H. 10/2006. Landwirtschaftsverlag Münster, S. 94-99
- [6] GALILEO Das europäische Programm für weltweite Navigationsdienste http://www.galileoju.com/doc/Galileo_brochure_de.pdf
- [7] GALILEO Agriculture and Fisheries <http://www.galileoju.com/doc/Agriculture%20&%20Fisheries.pdf>
- [8] GERL, G. (1993): Felduntersuchungen zur Ausbringgenauigkeit bei Mineräldüngerstreuern. Diplomarbeit, Institut für Landtechnik der Technischen Universität München.
- [9] HOFMANN, L. UND U. KLEE (2004) Maschine lenkt selbst. Neue Landwirtschaft H. 4/2004. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, S. 32-36
- [10] HOLPP, M. (2006) Parallelfahrssysteme für Traktoren. ART Bericht 659/2006. ART Tänikon, Schweiz, 12 S. (http://www.fat.admin.ch/pdf/ART_Bericht_659_D.pdf)
- [11] NOACK, P.O. (2004) GPS gestützte automatische Lenksysteme. Landtechnik H. 5/2004, S. 256-258
- [12] NOACK, P.O. (2005): 16 Parallelfahrssysteme im Überblick. dlz H. 2/2005. Deutscher Landwirtschaftsverlag, München, S.86-89.
- [13] WEERS, J. (2006): Leuchtturm für den Acker. profi H. 2/2006. Landwirtschaftsverlag Münster, S. 77-79

Baulich-technische Maßnahmen zur Hygiene bei Lagerung und Transport von Getreide

Dr. Andreas Weber
Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen
in Bayern e. V. (ALB)
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Zusammenfassung

Zielsetzung der EU-Gesetzgebung zur Lebensmittelhygiene ist die Durchsetzung eines hohen Sicherheitsstandards bei der Lebensmittelproduktion. Davon abgeleitet wird die Verpflichtung zur Einhaltung von notwendigen Hygienestandards auch in der landwirtschaftlichen Primärproduktion.

Der Landwirt als Lebensmittelunternehmer muss sich darüber im Klaren sein, welche Gefahren und Risiken für die Produktion von Lebensmitteln auf seinem Betrieb bestehen, und muss davon in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit und der Schwere des Gefahrenereignisses geeignete Maßnahmen zur Risikobeherrschung ableiten.

Für die Produktion von Getreide als Lebensmittel bedeutet dies für den Landwirt, dass er bestimmte hygienische Anforderungen beim Transport und der Lagerung seines Getreides erfüllen muss, um eine hohe Qualität und Sicherheit seines Produktes zu erhalten.

Für den Transport bedeutet dies, dass nur saubere d.h. unter Berücksichtigung der Vorfracht gereinigte und für den Transport von Getreide geeignete Transportmittel eingesetzt werden. Auch beim eigentlichen Transportvorgang ist dafür Sorge zu tragen, dass keine unerwünschten Stoffe in das Erntegut gelangt. Deshalb kann es notwendig sein, in Abhängigkeit von der Witterung, der Länge und Kenntnis des Transportweges sowie bei der Zwischenlagerung auf dem Anhänger im Freien geeignete saubere Abdeckungen vorzuhalten, um das Risiko einer Kontamination zu minimieren.

Während der Erntezeit ist es notwendig, große Mengen Getreide in kurzen Zeitpannen einzulagern. In Zusammenhang mit der eingesetzten Fördertechnik und der Lagerform (Flachlager, Silolager) sind durch geeignete Maßnahmen die Risiken zu minimieren, dass es zu keiner Vermischung und Kontamination mit unerwünschten Stoffen und zu einer nachteiligen Beeinflussung der Produktqualität des Getreides kommt. Dazu sind gereinigte und restentleerte Fördereinrichtungen notwendig, die baulich und technisch so ausgerüstet sind, dass entsprechende Reinigungsmaßnahmen effektiv durchgeführt werden können. Die Lagerung von giftigen Stoffen wie Pflanzenschutzmittel, Mineralöle, gebeiztes Getreide im Getreidelager ist auf Grund des sehr hohen Kontaminationsrisikos nicht zulässig.

Zur Sicherung einer optimalen Getreidequalität ist wichtig, gereinigte und trockene Körner von einwandfreier Qualität in sauberen Silozellen bei geeigneten Lagerbedingungen einzulagern. Um diese Voraussetzungen zu erfüllen, ist die Vorreinigung des Getreides mit z. B. einem Windsichter eine sinnvolle Maßnahme. Um eine langfristige Lagerfähigkeit zu erzielen, ist notwendig, das Erntegut möglichst rasch auf eine Lagertemperatur von 8-10°C abzukühlen. Dazu sollten Lageranlagen Belüftungseinrichtungen aufweisen. Um die tatsächlich erreichte Temperatur im Getreidestapel zu prüfen und Temperaturerhöhungen, die Qualitätsveränderungen des Getreides anzeigen, erfassen zu können, sollten entsprechende Messtechniken eingesetzt werden.

1 Einleitung

Das Ziel aller Lebens- und Futtermittelproduzenten, also auch der Landwirtschaft ist es, Produkte in hoher Qualität und ausreichender Menge herzustellen, von denen keine Gefahr für das Wohl und die Gesundheit der Verbraucher ausgeht. In der nahen Vergangenheit aufgetretene Probleme haben gezeigt, dass dieses Ziel in Ausnahmefällen auch verfehlt werden kann.

Um das Risiko zu verringern, dass Lebens- und Futtermittel in Verkehr gebracht werden, die eine Gefahr für die Gesundheit von Mensch und Tier darstellen könnten, hat die Europäische Gemeinschaft verschiedene Verordnungen erlassen. Sie bilden den rechtlichen Rahmen für die Herstellung und Überwachung von Lebens- und Futtermitteln auf allen Produktionsstufen einschließlich der landwirtschaftlichen Primärproduktion. Sie legen fest, dass die Verantwortung für die Sicherheit der in Verkehr gebrachten Produkte beim Lebens- und Futtermittelunternehmer und damit auch beim Landwirt liegt.

Warum aber kommt speziell seit 1. Januar 2006 der Hygiene beim Transport und bei der Lagerung von Lebens- und Futtermitteln im landwirtschaftlichen Betrieb besondere Aufmerksamkeit der Landwirte bzw. der Lebens- und Futtermittelproduzenten zu?

Durch die Änderungen in der gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union (GAP-Reform) wurde der Anspruch auf Direktzahlungen an Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe an die Einhaltung diverser gesetzlicher Vorgaben (sog. Mindestanforderungen) gebunden (Cross Compliance). Verstöße gegen diese Mindestanforderungen werden nach Bewertung hinsichtlich Häufigkeit, Ausmaß, Schwere und Dauer durch Kürzungen der Direktzahlungen geahndet. Außerdem werden sog. Cross-Checks durchgeführt, die Prüfungen nach geltendem Fachrecht beinhalten. Seit Beginn dieses Jahres wurden nun die Prüfungen im Rahmen von Cross Compliance auch auf Anforderungen seitens der Lebens- und Futtermittelsicherheit ausgedehnt.

Der Lagerung und dem Transport von Getreide als Lebensmittel, aber auch als Futtermittel kommt hierbei besondere Bedeutung zu, da nur ein geringer Anteil der Erntemengen einer anderen Verwertung (Energieproduktion) zugeführt wird.

Vor diesem Hintergrund ist der Arbeitskreis „Getreidelagerung im landwirtschaftlichen Betrieb“ der ALB Bayern e.V. angetreten, fachlich fundierte Informations- und Beratungsunterlagen zum Thema „Transport und Lagerung von Lebens- und Futtermitteln entsprechend der EU-Hygieneverordnungen“ auf dem Stand der aktuell verfügbaren Erkenntnisse und der anerkannten „guten fachlichen Praxis“ zu erarbeiten. Unter Mithilfe von Vertretern der Verbände (BBV), der Selbsthilfeeinrichtungen (LKP, KBM), der staatlichen Beratung, der Ministerien und von Wissenschaft und Forschung (FH Weihenstephan, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) wurde eine Beratungsunterlage in Form eines ALB-Infobriefes erstellt mit dem Ziel, dem Landwirt Grundlageninformationen zu liefern und Hilfestellung bei der Umsetzung im eigenen Betrieb zu leisten. Der Infobrief ist im Internet unter www.alb-bayern.de/wissentransfer/infobriefe im kostenlosen Download erhältlich.

Die wesentlichsten Inhalte der Beratungsunterlage bzw. die bisherigen Ergebnisse des Arbeitskreises werden im nachfolgenden Beitrag am Beispiel der Lagerung und des Transportes von Getreide dargestellt.

2 Rechtliche Grundlagen

Wie die gesamte Lebensmittelproduktion so unterliegt auch der Transport und die Lagerung von Getreide in Europa einem hohen Sicherheits- und Hygienestandard. Grundlage hierfür sind die EU- „Lebensmittel-Basisverordnung“ VO (EG) 178/2002 sowie das „Lebensmittel-Hygienepaket“ VO (EG) 852/2004 und 183/2005 u. a. (Abb. 1).

In der EU-Lebensmittel-Basisverordnung sind die allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts aufgeführt, die darauf ausgerichtet sind, Transparenz in der gesamten Lebensmittelproduktion vom Futtermittelhersteller über den Landwirt, den Erfassungshandel, den Verarbeiter bis zum Lebensmitteleinzelhandel herzustellen.

Die Bedeutung für die Nahrungsmittelproduktion betrifft folgende Bereiche:

- Sicherheit
Nicht sichere Lebens- und Futtermittel dürfen nicht in Verkehr gebracht werden bzw. nicht an der Lebensmittelgewinnung dienende Tiere verfüttert werden.
- Verantwortung
Die Hauptverantwortung für die Sicherheit eines Lebens- oder Futtermittels liegt beim Unternehmer und damit beim Landwirt (Lebensmittelunternehmer).
- Dokumentation
Die Rückverfolgbarkeit eines Lebens- oder Futtermittels ist in allen Produktions-, Verarbeitungs- und Vertriebsstufen sicherzustellen.

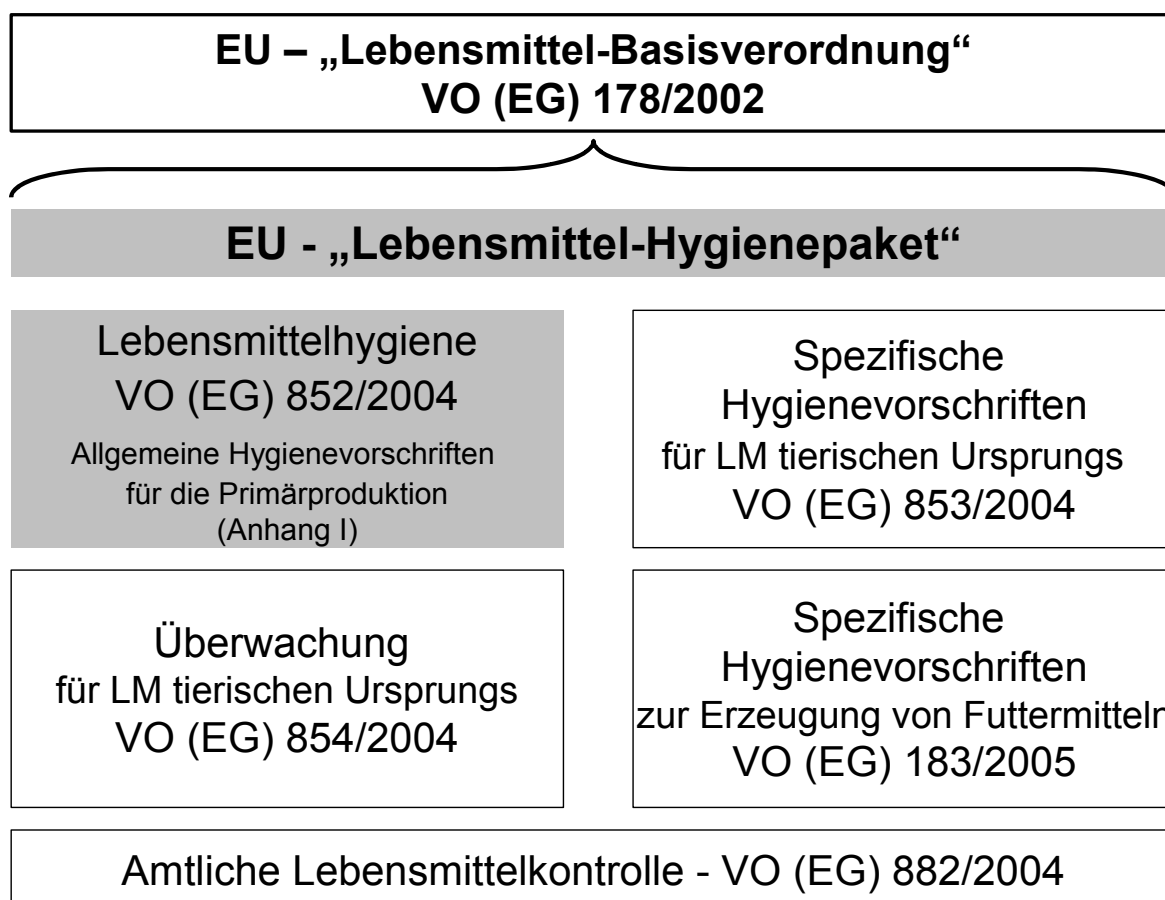


Abb. 1: Rechtliche Grundlagen zur Lebensmittelhygiene der EU

Wann ist ein Lebens- oder Futtermittel **nicht sicher** ?

Wenn davon ausgegangen werden kann, dass ein Lebens- oder Futtermittel

1. durch Kontamination mit Fremdstoffen (z.B. Pflanzenschutzmittelrückstände, Arzneimittel, Dioxine, Schwermetalle, Mykotoxine, mikrobielle Belastungen usw.) für Mensch und Tier gesundheitsschädlich ist,
2. nicht für den Verzehr durch Menschen geeignet ist auf Grund von
 - Kontamination mit Fremdstoffen und/oder
 - Fäulnis, Verderb oder Zersetzung.

Für den Transport und die Lagerung von landwirtschaftlichen Produkten insbesondere Getreide auf der Erzeugungsstufe, die als Lebens- und Futtermittel verwendet werden sollen, bedeutet dies, dass sie so durchzuführen sind, dass Fremdstoffeinträge (Einträge von unerwünschten Stoffen) verhindert werden.

In der EU-Verordnung 852/2004 sind die allgemeinen Hygienevorschriften für die Primärproduktion angegeben. In Anhang I der VO sind folgende Anforderungen bzw. Maßnahmen zur Lebensmittelhygiene für Pflanzenerzeugnisse aufgeführt:

- Produktionsanlagen, Ausrüstungen, Behälter, Transportmittel und Lager müssen zum Zeitpunkt der Verwendung angemessen sauber sein bzw. vor Gebrauch gereinigt und ggfs. desinfiziert sein.
- Kontaminationen durch Tiere und Schädlinge sind so weit wie möglich zu verhindern.
- Gefährliche Stoffe (z.B. PSM, Schmiermittel) und Abfälle müssen von Lebensmitteln getrennt gelagert werden (Kontamination muss vermieden werden).
- Bei der Behandlung von Lebensmitteln beteiligtes Personal soll gesund und in Bezug auf Gesundheitsrisiken geschult sein.
- Ergebnisse der Analysen von Pflanzenproben oder sonstiger Proben, die für die menschliche Gesundheit von Belang sind, sind zu berücksichtigen.
- PSM und Biozide sind nach den einschlägigen Vorschriften korrekt zu verwenden.
- Zur Vermeidung von Kontaminationen ist ggfs. Trinkwasser oder sauberes Wasser zu verwenden.

Die Problematik bei der Umsetzung der Vorgaben aus den Hygieneverordnungen besteht darin, dass „Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis“, wie sie in der Verordnung vorgesehen sind und von der Lebensmittelwirtschaft zusammen mit Interessensvertretungen, Verbänden und Behörden erarbeitet werden sollen, bislang nicht vorliegen.

3 Risikobewertung und Risikobeherrschung

Die EU-Verordnungen zur Lebensmittelhygiene verlangen, dass die Risiken für eine Beeinträchtigung des hygienischen Zustandes des Lebens- oder Futtermittels auf allen Produktionsstufen so gering wie möglich gehalten – auf jeden Fall aber durch den Lebens- oder Futtermittelunternehmer beherrscht werden müssen. Entsprechend muss sich der Unternehmer darüber im Klaren sein, welche Gefahren und darauf aufbauend welche Risiken in seiner spezifischen Situation, auf seinem Betrieb, für die Lebens- und Futtermittelhygiene bestehen. In der Lebens- und Futtermittelindustrie wurden hierzu Methoden der Risikoanalyse auf Basis sogenannter „Hazard Analysis and Critical Control Point“ (HACCP

– „Gefahren-Analyse und Kritische Kontrollpunkte“) Konzepte eingeführt und müssen verpflichtend zur Anwendung kommen.

Für die landwirtschaftliche Primärproduktion ist die Anwendung eines HACCP-Konzeptes zur Risikoanalyse nicht vorgeschrieben. Es ist aber auch für die lebensmittelproduzierenden Landwirte empfehlenswert eine Risikoanalyse und -beurteilung nach ähnlichem, vereinfachtem Schema durchzuführen.

Ziel eines solchen Verfahrens zur Risikobewertung ist, Gefahren und Risiken im Vorfeld zu erkennen, zu bewerten und geeignete Beherrschungsmaßnahmen zu deren Verhinderung einzuleiten. Dabei kann das Risiko für die Beeinträchtigung des hygienischen Zustandes des Lebens- oder Futtermittels in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit eines Schadens- oder Schädigungsereignisses und von der „Schwere“ der vom Ereignis hervorgerufenen Auswirkungen beurteilt werden (Tab. 1).

Tab. 1: Beispiel für eine vereinfachte Risikobeurteilung in Anhängigkeit der Auswirkungen und der Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer Schädigung (Gefahr)

	Risiko		
Auswirkung einer Schädigung	Wahrscheinlichkeit einer Schädigung (Gefahr)		
	klein	mäßig	groß
klein	gering	mittel	hoch
mäßig	mittel	hoch	sehr hoch
groß	hoch	sehr hoch	sehr hoch

Ein geringes Risiko verlangt im Normalfall keine speziellen Beherrschungsmaßnahmen. Mittlere, hohe oder sehr hohe Risiken verlangen zunehmend aufwändigere Beherrschungsmaßnahmen und vor allem auch eine zunehmende Kontrollaktivität des Landwirtes, um das Risiko beherrschbar zu halten und eine Schädigung zu vermeiden.

Das Beurteilen von Gefahren und das Abschätzen von Risiken ist unbewusst Bestandteil des täglichen Handelns auf dem Betrieb. Vor dem Hintergrund der neuen EU-Verordnungen zur Lebens- und Futtermittelhygiene sollte die Risikoanalyse jedoch bewusster durchgeführt und in Fällen mit hohen oder sehr hohen Risiken mit einer Dokumentation der getroffenen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr verbunden werden.

4 Maßnahmen zur Hygiene bei der Produktion von Getreide

Die Sicherung einer einwandfreien Qualität des Getreides beginnt bereits mit den Anbau auf dem Feld. Der Anbau erfolgt nach guter fachlicher Praxis entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen. Alle acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen sind darauf auszurichten, unerwünschte Stoffe in der Nahrungskette zu minimieren. Hohe Mykotoxingehalte zum Beispiel können zu erheblichen Einschränkungen der Verwertungs- und Vermarktungsmöglichkeiten im Lebensmittelsektor führen.

Folgende Maßnahmen beim Anbau von Getreide sind geeignet, um das Risiko einer Kontamination mit unerwünschten Stoffen zu vermindern:

- Auswahl standortangepasster, geringanfälliger Sorten
- keine pfluglose Bodenbearbeitung nach Mais oder Gras (Fusarien-Problematik)
- Erweiterung der Fruchtfolge
- zeitlich optimierter Fungizideinsatz

Auch die Verwendung von Sekundärrohstoffen als Düngemittel (z.B. Klärschlamm, Fleischknochenmehl) birgt höhere hygienische Risiken und beschränkt die Verwertungsmöglichkeiten des Getreides.

Auch bei der Ernte selbst können unerwünschte Stoffe (Fremdbesatz, Staubanteile) in das Ernteprodukt gelangen und Bruchkorn entstehen. Durch optimale Einstellung des Mähdeschers, Wahl der richtigen Schnitthöhe und den Einsatz technisch einwandfreier Maschinen können die Gefahren und Risiken reduziert werden.

Mit der Wahl günstiger Witterungs- und Reifebedingungen für die Mähdruschernte des Getreides lassen sich nicht nur Kosten und Aufwand für Aufbereitung und Trocknung sparen, sondern wird auch der Grundstein für die Einlagerung qualitativ hochwertiger und hygienisch einwandfreier Ware gelegt. Dies ist die beste Voraussetzung für die Gesunderhaltung und Qualitätssicherung des Getreides während der Lagerphase.

5 Maßnahmen zur Hygiene beim Transport von Getreide

Die Hygiene von Getreide wird beim Transport im landwirtschaftlichen Betrieb besonders durch mineralöhlhaltige (z.B. Kohlenwasserstoffe), biologische (z.B. tierische Eiweiße, mikrobiologische Belastung) und toxische Stoffe (z.B. Beizmittel) gefährdet.

Folgende Transportwege für Getreide sind bei der Ableitung von Beherrschungsmaßnahmen zu beachten:

- Straßentransport
 - Feld → betriebliches Lager
 - Feld → Landhandel, Mühle etc.
 - betriebliches Lager → Landhandel, Mühle etc.
- innerbetrieblicher Transport
 - stationäre Förder- und Transporttechnik (Schüttgasse, Förderaggregate)
 - mobile Förder- und Transporttechnik (Frontlader, Stapler)

Die für einen hygienischen Getreidetransport notwendigen Beherrschungsmaßnahmen betreffen

- das Transportmittel selbst (Anhänger, LKW-Ladefläche, Schubkarre),
- den Transportbehälter (Big-Bag, Sack) oder die Transporteinrichtung (Ladegerät, Fördereinrichtungen) und
- den Transportvorgang (Straßentransport).

5.1 Transportmittel

Das Risiko für eine Kontamination mit unerwünschten Stoffen beim Transport ist auch von der Transportform abhängig. Bei in Säcken oder Big-Bag verpacktem Getreide ist bei sauberem und trockenem Transportraum die Gefahr gering und wird im Wesentlichen

durch Nässe erhöht. Überwiegend wird aber Getreide auf landwirtschaftlichen Betrieben in loser Schüttung transportiert.

Grundsätzlich sollte das Transportmittel daher **sauber** (absolut leer, frei von Frachtresten, frei von Resten und Geruch der Vorfracht und trocken) und **für den Transport von Lebens- und Futtermitteln geeignet** sein, um mit einem beherrschbaren Risiko den Transport durchführen zu können.

Ein Transportmittel ist dann für den Transport von Lebens- und/oder Futtermitteln geeignet, wenn die Materialien, aus denen der Transportraum besteht (z. B. Metall, Holz, Kunststoff inkl. Oberflächenbehandlung), keine Gefahr für eine Kontamination darstellen. Außerdem sollte der Transportraum so beschaffen sein, dass eine gründliche Reinigung und ggfs. auch eine Nassreinigung möglich ist. Beim Transport bestimmter Produkte, die möglicherweise durch ihre Beschaffenheit die Oberflächen des Transportraumes angreifen (z. B. Weintrauben, mit Säure konserviertes Getreide), ist es sinnvoll, geeignete Materialien (z. B. Edelstahl oder Kunststoffe) zu verwenden oder den Transportraum mit einer geeigneten Plane auszukleiden.

Die Gefahren oder Risiken, die von einem Transportmittel ausgehen, werden auch von den Materialeigenschaften bestimmt. Rauhe Oberflächen mit vielen Ritzen (z. B. Holzbordwände) sind nur mit einem höheren Aufwand zu reinigen als glatte Oberflächen mit wenig Ritzen (z. B. Metall, Kunststoff). Deshalb kommt dem Reinigungsregime oder der Reinigungsreihenfolge in diesem Bereich besondere Bedeutung zu (Tab. 2).

Tab. 2: Reinigungsschritte zur hygienischen Reinigung von Transportmitteln für Getreide

Reinigungsregime / Reinigungsreihenfolge		
Trockenreinigung	Nassreinigung	Desinfektion
<ul style="list-style-type: none"> • Besen • Druckluft • Industriestaubsauger 	<ul style="list-style-type: none"> • Hochdruckreiniger (warm/kalt) • geeignete Reinigungsmittel* 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorreinigung (Nassreinigung) • geeignete Wirkstoffe* • ausreichende Einwirkzeiten • Anwendung nach Anleitung

*nur lebensmittelverträgliche Substanzen verwenden

Die Verschmutzung von Transportmitteln bzw. Transportfahrzeugen durch Reste von anderen Stoffen (Vorfrachten) stellt ein Risiko für eine Kontamination dar. Dieses wird im Wesentlichen durch Verschmutzungen des Transportmittels (Anhänger, Container, Schubkarre) durch die Vorfracht bestimmt. Einen Überblick über die von verschiedenen Vorfrachten aus dem landwirtschaftlichen Bereich ausgehenden Gefahrenpotenziale und mögliche Beherrschungsmaßnahmen gibt Tabelle 3.

Für den gewerblichen Bereich der Futtermittelproduzenten bestehen klare Regelungen zu Transportreihenfolgen, Reinigungsverfahren und eine sog. Transportausschlussliste, in der alle Vorfrachten aufgeführt sind, nach denen sich ein Lebensmitteltransport grundsätzlich verbietet. Hinweise dazu sind in der Leitlinie Futtermitteltransport des Bundesverbandes Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung, des Deutschen Raiffeisenverbandes und des

Deutschen Verbands Tiernahrung sowie in der Leitlinie zu Lagerung, Umschlag und Transport von Getreide des Verbands Deutscher Mühlen zu finden.

Tab. 3: Beispiele zur Risikobewertung des Eintrags unerwünschter Stoffe durch Verschmutzung des Transportmittels beim Transport von Getreide in loser Schüttung und empfohlene Maßnahmen zur Risikobeherrschung

Verschmutzung des Transportmittels – Vorracht (Gefahrenpotenzial)	Risiko	empfohlene Maßnahmen zur Beherrschung des Risikos
keine erkennbare Verschmutzung, trocken nach dem Transport von Getreide	gering	besenrein
Düngemittel, Kies, Sand, Erde	gering	besenrein, eventuell Reinigung
Kompost, Grünschnitt, Branntkalk, Streusalz	mittel	Nassreinigung
Öle und Fette tierischen Ursprungs	hoch	intensive Nassreinigung mit geeigneten Reinigungsmittel(n)
Tierischer Dung (Gefahr des Eintrags von tierischem Eiweiß und mikrobiologischer Belastung)	hoch - sehr hoch	intensivste Nassreinigung mit geeigneten Reinigungsmittel(n) + Zwischenfrachten wie Kies, Sand, Erde
mineralöhlhaltige Produkte zum Korrosionsschutz (Gefahr des Eintrags von Kohlenwasserstoffen)	sehr hoch	intensivste Nassreinigung mit geeigneten Reinigungsmittel(n) + Zwischenfrachten wie Kies, Sand, Erde
Tiermehl (Gefahr des Eintrags von tierischem Eiweiß und mikrobiologischer Belastung)	sehr hoch	intensivste Nassreinigung mit geeigneten Reinigungsmittel(n) + Desinfektion + Zwischenfrachten wie Kies, Sand, Erde
gebeiztes Saatgut lose (Gefahr des Eintrags von toxischen Stoffen)	sehr hoch	Verzicht auf Transport
Haushaltsmüll, Küchenabfälle, Biomüll (Gefahr des Eintrags von tierischem Eiweiß und mikrobiologischer Belastung)	sehr hoch	Verzicht auf Transport
frischer Heiß- und Kaltasphalt, Öl, Ölreste, Mineralöl (Gefahr des Eintrags von Kohlenwasserstoffen)	sehr hoch	Verzicht auf Transport
kontaminierte Böden (Gefahr des Eintrags von Kohlenwasserstoffen)	sehr hoch	Verzicht auf Transport

5.2 Transportvorgang

Auch beim eigentlichen Transportvorgang von Lebens- und Futtermitteln ist dafür Sorge zu tragen, dass keine unerwünschten Stoffe in das Erntegut eingetragen werden und der hygienische Zustand verschlechtert wird. Die möglichen Risiken und eine Auswahl möglicher Schutzmaßnahmen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tab. 4: Beispiele zur Risikobewertung des Eintrags unerwünschter Stoffe beim Transportvorgang von Getreide und mögliche Maßnahmen zur Risikobeherrschung

Situation – Bedingungen – Witterung beim Transport (Gefahrenpotenzial)	Risiko	empfohlene Maßnahmen zur Beherrschung des Risikos
kurze, bekannte, unproblematische Transportwege, stabile Witterung	gering	keine
kurze, bekannte, unproblematische Transportwege, instabile Witterung (Durchnässung durch Regen)	gering	Abdeckplane bereithalten
längere, bekannte, unproblematische Transportwege (Durchnässung durch Regen)	gering	Abdeckplane bereithalten
längere, unbekannte, Transportwege (Durchnässung durch Regen, Eintrag Straßenschmutz auf ungünstigen Wegstücken)	gering - hoch	Abdeckung mit Plane
Zwischenlagerung des Erntegutes auf dem Transportanhänger (Durchnässung durch Regen, Eintrag von Schmutz, Vogel-, Katzenkot)	gering – hoch	Abdeckung mit Plane

Zu einer vorübergehenden Zwischenlagerung von Getreide auf dem Anhänger kommt es meist dann, wenn die Einlagerungsleistung nicht auf die Leistung des Mähreschers oder der Anfuhr zum Lager abgestimmt ist. Auch bei dieser Form der Lagerung auf dem Transportmittel sind Maßnahmen zum Schutz vor äußeren Einflüssen insbesondere beim Abstellen des Anhängers im Freien oder unter Vordächern erforderlich. Um zu verhindern, dass z. B. Regen, Spritzwasser, Staub oder Kot von Vögeln, Nagern und Katzen eindringen, ist eine Abdeckung mit einer Plane sinnvoll. Generell müssen Abdeckplanen auf den Innenseiten trocken und sauber sein.

6 Maßnahmen zur Hygiene bei der Einlagerung von Getreide

Innerhalb kurzer Zeitspannen müssen in landwirtschaftlichen Lagern während der Erntezeit große Getreidemengen sicher angenommen, gereinigt und in die Lagerzellen transportiert werden. Hierbei sind die Risiken durch geeignete Maßnahmen so zu minimieren, dass

- keine Vermischung (z. B. mit Sojaschrot, anderen Futtermitteln oder anderen Getreidearten) erfolgt,
- die Produktqualität des Getreides nicht nachteilig beeinflusst wird,
- eine Kontamination des Getreides mit unerwünschten Stoffen ausgeschlossen wird.

6.1 Mobile Einlagerung und Entnahme im Flachlager

Flachlager werden häufig direkt mit Frontladern, Staplern, Radladern oder durch direktes Abkippen vom Transportfahrzeug oder indirekt über Schnecken, Förderbändern und stationäre Einrichtungen befüllt. Gefahrenpotenziale und mögliche Beherrschungsmaßnahmen sind in Tabelle 5 zu finden.

Tab. 5: Beispiele für Risiken und Maßnahmen zur Risikobeherrschung bei der mobilen Lagerbefüllung/-entnahme im Flachlager

Situation – Bedingung (Gefahrenpotenzial)	Risiko	empfohlene Maßnahmen zur Beherrschung des Risikos
Einträge unerwünschter Stoffe durch verunreinigte Fördergeräte (Laderschaufel, Schnecke, Förderband)	gering bis hoch je nach Verschmutzung	Maßnahmen wie unter 5.1, Tabelle 3 (Beachtung der Vorfrachten; entsprechende Reinigungsintensität bei Verschmutzung)
Einträge unerwünschter Stoffe durch den Lader, Stapler, Frontladerschlepper oder das Transportmittel (Anhänger) selbst (Ölverluste, Verluste von Kühlflüssigkeit, Verschmutzung der Räder, Verschmutzung des Arbeitsbereichs)	gering bis hoch je nach Maschinenzustand und Verschmutzung der Arbeitsflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Gereinigter, sauberer Arbeitsbereich vor und im Lager • Saubere Reifen des Laders • Keine Öl-, Kühlmittel- und Treibstoffverluste durch den Lader (einwandfreier technischer Zustand; gereinigte Maschine)
Eindringen von Nagern, Tieren und Vögeln in das Lager (Einträge unerwünschter Stoffe, Hygieneprobleme)	mittel bis sehr hoch je nach Lagerbauart und Lagerzustand	Verschließen des Lagers nach den Arbeitsvorgängen, fachgerechte Bekämpfungsmaßnahmen
Ungleichmäßige Belüftung des Lagergutes (Hygieneprobleme)	gering	Gleiche Füllhöhe bei der Einlagerung, Sachgerechte Belüftungstechnik

6.2 Stationäre Fördertechniken

Grundsätzlich sollen alle Fördereinrichtungen vor Verwendung sauber sein. Der Einsatz eines Staubsaugers mit entsprechender Leistung ermöglicht, auch schwieriger zugängliche Stellen in den Förderaggregaten zu reinigen und Transportreste zu entfernen. Serviceöffnungen sollen so angeordnet werden, dass sie einfach und ohne großen Aufwand zugänglich sind.

Unzugängliche Fördereinrichtungen sollen selbstentleerend sein, so dass nach dem „Leerlaufenlassen“ keine Reste mehr zurückbleiben. Dies ist insbesondere bei der Erzeugung von Saatgut notwendig, um Vermischungen zu vermeiden (Sortenreinheit).

Kornbeschädigungen durch die Förderaggregate (Scharfe Kanten, Ritzen) beeinträchtigen nicht nur die Produktqualität, sondern sie erhöhen auch das Risiko für späteren Schädlingsbefall während der Lagerphase.

6.2.1 Annahmegosse oder Schüttgosse

Die erste technische Einrichtung bei der Annahme von Getreide am Lager ist die Annahme- oder Schüttgosse. Diese Annahmeeinrichtung kann sowohl im Flachlager als auch im Silolager eingesetzt werden. Verschiedene bauliche und technische Ausführungen der Gosse sind möglich. Unabhängig von den Bauformen sind Maßnahmen zur Verhinderung des Eintrags unerwünschter Stoffe notwendig.

Grundsätzlich sollen die technischen Einrichtungen vor dem Einsatz sauber, d. h. gereinigt sein. Sauberkeit und Reinlichkeit im Umgebungsbereich der Gosse reduzieren generell die Gefahr der Kontamination mit unerwünschten Stoffen. Die Lagerung von Pflanzenschutzmitteln, Mineralölen, gebeiztem Getreide und sonstigen giftigen Stoffen im Getreidelager und insbesondere in der Umgebung der Gosse erhöht die Gefahr für eine Kontamination des Getreides und ist unbedingt zu vermeiden.

Durch das Eindringen von Wasser in die Gosse in Form von Grund- oder Oberflächenwasser und durch den Eintrag von Schmutz, Staub und anderen Fremdstoffen entstehen wesentliche Risiken für die Sicherheit des Getreides (Tab. 6). Durch folgende baulich-technische Maßnahmen (Abb. 2) können diese Risiken beherrscht werden:

- Überdachung und/oder geeignete Abdeckung gegen Schmutz und Regen insbesondere bei Außengossen
- Befestigte und leicht zu reinigende Bodenplatte (mit ausreichender Tragfähigkeit) um die Gosse herum (Beton, Asphalt, Pflastersteine), bei Außengossen mit Gefälle (1-2 %) von der Gosse weg und/oder Aufkantung (Radlasten der Transportfahrzeuge beachten)
- Zugänglichkeit für Restentleerung, Reinigung und Wartung der Förderaggregate oder selbstentleerende Förderaggregate (Revisionsfähigkeit)
- Anordnung im oder am Gebäude, dass Staub beim Abladen nicht ins Lager hineingeblasen wird und nicht in den Ansaugbereich des Trockners gelangt
- wasserdichte Bauausführung der Gosse in Abhängigkeit vom Grundwasserstand
- überfahrbarer Gitterrost zur Gossenabdeckung mit ausreichender Tragfähigkeit

Tab. 6: Beispiele für Risiken und Maßnahmen zur Risikobeherrschung bei der Annahme von Körnerfrüchten

Situation – Bedingung bei der Einlagerung (Gefahrenpotenzial)	Risiko	empfohlene Maßnahmen zur Beherrschung des Risikos
Eindringen von Grundwasser in die Annahmegrube (Gutdurchfeuchtung mit Schimmelbildung)	gering bis hoch (je nach Grundwasserstand und Bauausführung der Annahmegrube)	Wasserundurchlässige Ausführung der Schüttgasse
Einträge unerwünschter Stoffe in die Annahmegrube (Durchfeuchtung, chemische Verunreinigung; Hygienebeeinträchtigung)	mittel bis hoch (unerwünschte Stoffeinträge aus dem Annahmehereich; Verunreinigungen durch tierische Schädlinge)	<ul style="list-style-type: none"> • Geschützte Lage der Annahmegrube • Abdeckung der Schüttgasse bei Nichtgebrauch • Keine Lagerung von Produkten (z. B. Düngemittel, Folien, Beizgut usw.) bei der Annahmegrube • kein Abstellen von Geräten oder Maschinen im Bereich der Annahmegrube
Vermischungen mit anderen Fördergütern	gering	Restlosentleerung bzw. geeignete Fördertechniken für die Restlosentleerung



Abb. 2: Lage und Abdeckung einer außen am Gebäude liegenden Annahmegrube

6.2.2 Reinigungstechnik

In Abhängigkeit von der Verunreinigung der Ausgangsware mit Fremdbesatz (Spreu, Stroh, Unkrautteilen, Unkrautsamen) verbessert eine Getreidereinigung grundsätzlich die Sicherheit der Lagerhygiene und Lagerstabilität. Zum Beispiel ist bei mit *Fusarium* belastetem Erntegut durch Entfernung von Strohanteilen und Spreu, die gewöhnlich stärker belastet sind als die Getreidekörner, die Gefahr der Mykotoxinbildung im Lagergut geringer. Ebenso sind oft Bruchkörner, Pilze und Staube die Futtergrundlage für Schadinsekten und andere Schädlinge im Lager, so dass eine Reinigung dieses Risiko reduzieren kann.

Der Einsatz einer Reinigungstechnik vor der Einlagerung in die Lagerzellen ist deshalb unbedingt zu empfehlen und sollte als Standardmaßnahme durchgeführt werden.

Je nach eingesetzter Technik wird folgende Reinigungsintensität erreicht:

- grobe Vorreinigung mit Windsichter - Reinigung nach Gewicht,
- Trommelreiniger - Reinigung nach Gewicht und Größe.

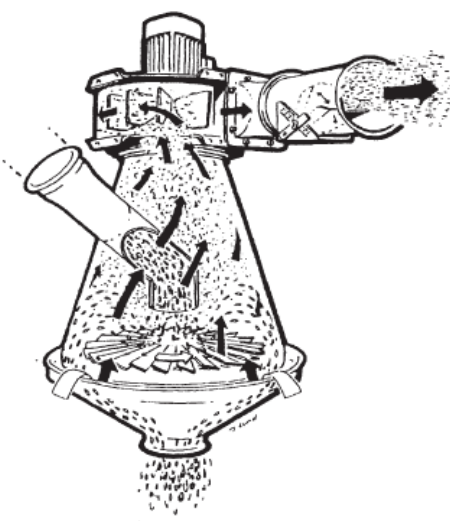


Abb. 3: Funktionsprinzip eines Windsichters zur Reinigung von Getreide vor der Einlagerung (Skizze: Fa. Neuero)

Kegelförmige Windsichter ermöglichen zum Beispiel bei Durchsatzleistungen von 40 t/h und mehr durch das „Heraussaugen“ von leichteren Spreuteilen und Staub aus einem Getreideschleier eine ausreichende Reinigung.

6.2.3 Fördertechnik

Stationäre Befüll- und Entnahmetechniken fördern das Getreide entweder mechanisch oder pneumatisch. Beispiele für Risiken und Beherrschungsmaßnahmen im Zusammenhang mit der Fördertechnik sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tab. 7: Beispiele für Risiken und empfohlene Maßnahmen zur Hygiene von Getreide im Bereich der Fördertechniken zu Befüllung und Entnahme

Situation – Bedingung (Gefahrenpotenzial)	Risiko	empfohlene Maßnahmen zur Beherrschung des Risikos
Gutvermischung	gering bis mittel	Sortenreine Fördertechnik
Einträge unerwünschter Stoffe aus der Umgebung	gering bis mittel	Abgedeckte Fördereinrichtungen
Einträge unerwünschter Stoffe durch Ablagerungen und Transportresten an Förderanlagen (Vermehrung von Pilzen, Bakterien usw., Vermehrung von Schädlingen)	gering	Transportmittelreinigung (Staubsaugereinsatz)

Grundsätzlich können folgende Maßnahmen oder Anforderungen an die eingesetzte Fördertechnik die Gefahren einer hygienischen Beeinträchtigung des Getreides reduzieren:

- Anlagenteile so anordnen, dass sie für eine Reinigung leicht zugänglich sind,
- nicht zugängliche Anlagenteile mit einer selbständigen Restentleerung ausstatten oder geeignete Techniken wählen,
- „Tote Ecken“, in denen Transportreste liegen bleiben, vermeiden,
- durch geeignete Fallwinkel der Rohre (mind. 30 – 45°) einen Rückstau und Ablagerungen des Fördergutes vermeiden,
- Rohre und Förderaggregate auf Beschädigungen, defekte Verbindungen und zugschliffene Kanten kontrollieren und evtl. reparieren, damit Kornbeschädigungen und Bruchkorn vermieden werden.

Pneumatische Förderanlagen (Gebläse) ermöglichen eine flexible Verteilung im Lager auch über Ecken, sind mobil einsetzbar, transportieren sortenrein und Entleeren sich selbstständig restlos. Die Förderleistung von Gebläsen ist aber auf Grund des hohen Leistungsbedarfes begrenzt und der Staubanfall ist nicht unerheblich.

Mechanische Förderaggregate (z.B. Schnecken, Elevatoren, Förderbänder) hingegen ermöglichen hohe Leistungen, erfordern aber höheren Reinigungsaufwand und sind weniger flexibel einsetzbar insbesondere bei festem, stationärem Einbau.

7 Maßnahmen zur Hygiene während der Lagerphase im Getreidelager

Grundsätzlich sollte der Lagerraum (wie auch der Transportraum) oder die Lagereinrichtung d.h. das Lagersilo oder die Silozelle vor der Einlagerung sauber (absolut leer, frei von Geruch und trocken) und für die Lagerung von Getreide als Lebens- und Futtermittel geeignet sein, um mit einem beherrschbaren Risiko die Lagerung durchführen zu können.

Ein Lagerraum – eine Lagereinrichtung ist dann für die Lagerung von Lebens- und/oder Futtermitteln geeignet, wenn von den Materialien, aus denen der Lagerraum besteht (z. B. Metall, Holz, Kunststoff, Beton inkl. Oberflächenbehandlung), keine Gefahr für das Lagergut ausgeht. Von den mit dem Lagergut in Kontakt kommenden Oberflächen darf keine Gefahr ausgehen.

Von einer Behandlung von Holz mit Farben oder Holzschutzmitteln geht zumeist ein ebenso großes Risiko aus wie von der Ausbesserung der Beschichtung von Metall (z. B. Zinkspray) oder der Verarbeitung von nicht lebensmittelgeeigneten Dichtstoffen (z. B. Bauschaum, Sanitärsilikon).

Beispiele zur Risikobewertung durch Verschmutzung des Lagerraumes zeigt Tabelle 8.

Tab. 8: Beispiele zur Risikobewertung für Kontamination des Getreides durch Verschmutzung des Lagerraumes

Situation – Bedingungen (Gefahrenpotenzial)	Risiko	empfohlene Maßnahmen zur Beherrschung des Risikos
keine erkennbare Verschmutzung, trocken nach Lagerung von Lebens- oder Futtermitteln	gering	besenrein
sichtbare Staubablagerung im Lagerraum	gering	besenrein, eventuell Reinigung
Rückstände von ehemaligem Lagergut (Lebens- oder Futtermittel) (Vermischung)	mittel	Reinigung
Auftreten von Lagerschädlingen (Qualitätsminderung, Verluste, Hygieneprobleme)	hoch	sachgerechte Schädlingsbekämpfung mit Dokumentation der Maßnahme

Lagerräume oder Lagereinrichtungen sollten so beschaffen sein, dass eine gründliche Reinigung einfach und sicher möglich ist. Glatte, hygienisch einwandfreie Oberflächen bei Böden und Wänden erleichtern dies. Je weniger Fugen, Ritzen, Hohlräume und schwer bzw. unzugängliche Bereiche ein Lagerraum aufweist, desto leichter kann er kontrolliert und sauber gehalten werden.

Da Feuchtigkeit den Verderb von Getreide hervorruft, muss durch einen geeigneten Bodenaufbau das Lagergut gegen aufsteigende Feuchtigkeit geschützt werden. Ebenso muss das Getreidelager gegen Eindringen von Feuchtigkeit oder Wasser von Oben geschützt sein. Dies setzt ein dichtes Dach des Gebäudes, in dem sich das Lager befindet oder des Außensilos voraus, von dem auch kein Kondenswasser abtropfen sollte.

Auch sollten in direkter Umgebung des Getreidelagers keine unerwünschten Stoffe gelagert werden bzw. sollte dort nicht mit solchen Stoffen gearbeitet werden. Die Lagerung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln oder von Ölen und Schmierstoffen stellt hier eben-

so wie der Betrieb einer Beisanlage im gleichen Raum oder ohne Abtrennung zum Getreidelager eine nicht unerhebliche Gefahr dar (Tab. 9).

Tab. 9: Beispiele zur Risikobewertung des Eintrags unerwünschter Stoffe durch Lagerung oder Umgang mit unerwünschten Stoffen in der Nähe / Umgebung des Lagerraumes und der Lagereinrichtungen

Situation – Bedingungen (Gefahrenpotenzial)	Risiko	empfohlene Maßnahmen zur Beherrschung des Risikos
keine Lagerung bzw. kein Umgang mit unerwünschten Stoffen	gering	keine
Lagerung von Düngemitteln (Vermischung)	mittel	räumliche Trennung vornehmen
Lagerung von Pflanzenschutzmitteln, Mineralölen, Farben, ...	mittel - hoch	Lagervorschrift einhalten, räumliche Trennung vornehmen
Betrieb einer Beisanlage	mittel - hoch	räumliche Trennung vornehmen

Folgende baulich-technischen Anforderungen an Lagersilos oder Lagerzellen sind zu beachten:

- Reinigungsmöglichkeit
 - Zugang über verschließbare Luken, Türen oder Tore
 - glatte Oberflächen: Holz ist wegen Ritzen und Fugen mit höherem Aufwand zu reinigen. Metall, Kunststoff oder Beton sind leichter und einfacher zu reinigen.
- „Abdeckung der Schüttung“ z. B. mit Flies-Abdeckung oder Planen
Eine Abdeckung der Schüttung verhindert den Eintrag von Schmutz, Staub und anderen Verunreinigungen in den Lagerbehälter. Die Abdeckung bietet jedoch auch Schädlingen Unterschlupf und behindert möglicherweise die Ableitung von Luft aus dem Getreidestapel. Außerdem ist die visuelle Kontrolle der Stapeloberfläche erschwert (Spuren von Nagetieren und anderen Schädlingen).
- Baugenehmigung/Standicherheit
Lagerbehälter müssen im befüllten Zustand die Lasten des Schüttgutes sicher aufnehmen können (Typenstatik des Herstellers und Montageanleitungen insbesondere bei Eigenleistung beachten). Für freistehende Außenbehälter ist eine Baugenehmigung mit entsprechendem Standsicherheitsnachweis (Statik) ab 50 m³ Rauminhalt nach BayBO Art. 69 „sonstige ortsfeste Behälter“ notwendig. Außerdem sind Umweltschutzvorschriften bezüglich Staub und Lärm zu beachten.

Auch das Gebäude, in dem die Getreidesilos oder Flachlagerzellen untergebracht sind, müssen gewissen baulich-technischen Anforderungen entsprechen.

- Feuchtigkeit und Nässe
Das Gebäude muss trocken sein, so dass kein Grundwasser in die Annahmegasse und die Entnahmetrichter der Silos gelangen kann. Die Bodenplatte muss gegen aufsteigende Feuchtigkeit schützen und kein Hang- oder Oberflächenwasser darf in das Gebäude gelangen. Ein intaktes und dichtes Dach schützt das Getreide vor Regenwasser.
- Eindringen von Vögeln, Nagetieren, Katzen und anderen Tieren
Türen und Fenster sollten weitestgehend geschlossen gehalten und durch geeignete Schutzmaßnahmen (z. B. Netze, Drahtgeflecht) gesichert werden. Wenig Fenster bzw. Dunkelheit reduzieren den Anreiz für Vögel, in das Lagergebäude hinein zu fliegen.
- Statisch sichere Gründung
Die Bodenplatte muss zum Tragen der Lasten des Getreides ausreichende Festigkeit aufweisen. Im Flachlager müssen zusätzlich die Wände für eine Anschüttung ausreichende Standsicherheit haben.
- Sicherung der Beleuchtungseinrichtungen vor Glasbruch
Beleuchtungseinrichtungen sollten nicht direkt über oder in den Lagerzellen angeordnet oder mit einem geeigneten Splitterschutz versehen sein.

Große ebenerdige Getreidelager - Flachlager haben aufgrund des niedrigen Kapitalbedarfes und der Möglichkeit der variablen Nutzung große Verbreitung erlangt. In Bezug auf die Lagerhygiene stellt die große, offene Oberfläche des Getreides ein Risiko für eine Verschmutzung besonders durch Tiere (Nager, Katzen, Vögel) dar. Ebenso ist die alternative Nutzung des leeren Lagers kritisch zu hinterfragen, da sie unter Umständen zu Verschmutzungen führen kann (Maschinenlagerung mit Austritt von Ölen), die nur schwer bzw. mit großem Aufwand vor der Getreideeinlagerung beseitigt werden können.

Für die spätere Gesunderhaltung des Getreides im Flachlager (siehe Kapitel 8) ist der Einbau oder das Einbringen von Belüftungskanälen in entsprechendem Abstand sowie ein Belüftungsgebläse sinnvoll, da ein Umlagern hier mit einem sehr hohen Aufwand verbunden ist.

Wird eine Lagerhalle kurzzeitig (<1 Woche) als Getreide - Zwischenlager genutzt, dann gelten die gleichen Anforderungen hinsichtlich der Sauberkeit wie für das Flachlager bzw. das Lager allgemein. Auf die Belüftungsmöglichkeit kann eventuell verzichtet werden. Verschmutzungen mit Mineralölen stellen ein hohes Risiko dar. Das Unterlegen einer stabilen Folie (neue Silofolie) kann dieses Risiko vermindern, führt jedoch zumeist zu Behinderungen bei der Entnahme.

Bei der kurzzeitigen Zwischenlagerung im Freien gelten dieselben Anforderungen an den Untergrund hinsichtlich Sauberkeit wie im Hallenlager. Zum Schutz vor dem Eintrag unerwünschter Stoffe (Regen- und Oberflächenwasser, Schmutz und Staub) ist eine Abdeckung und geeignete Wasserableitung notwendig.

8 Maßnahmen zur Lagerüberwachung und Gesunderhaltung während der Lagerphase

Folgende Grundregel zur Sicherung einer optimalen Getreidequalität im Lager kann formuliert werden:

„Gereinigte, trockene Körner von einwandfreier Qualität in saubere Silozellen bei geeigneter Lagertemperatur einlagern.“

Daraus ist abzuleiten, dass Sauberkeit und geeignete Lagerbedingungen die wichtigsten Vorbeugemaßnahmen gegen eine Gefährdung des Getreides während der Lagerphase sind.

Risiken für die Sicherheit des Getreides im Lager gehen aus von:

- Schadinsekten (z.B. Kornkäfer, Mehlmotte,...)
- Mikroorganismen (z.B. Lagerpilze, Hefen, Bakterien)
- tierische Einträge (z.B. Mäuse, Ratten, Vögel, Katzen)

Beherrschungsmaßnahmen für diese Gefahren sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tab. 10: Beispiele für Risiken und empfohlene Maßnahmen zur Risikobeherrschung während der Lagerung von Getreide

Situation –Bedingungen (Gefahrenpotenzial)	Risiko	empfohlene Maßnahmen zur Beherrschung des Risikos
Schadinsekten (Qualitätsminderung, Verluste, Hygieneprobleme)	mittel bis hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Lagerzustand (saubere glatte Wände, Böden; keine Ernterückstände und Ab- lagerungen in den Lagerzellen) • Lagerüberwachung • Kühlung, Belüftung • Bekämpfungsmaßnahmen
Mikroorganismen - Vermeh- rung von Lager- Schimmelpil- zen, Hefen und Bakterien (Qualitätsminderung, Bildung von Mykotoxinen; die gesetz- lichen Grenzwerte für die Verwertung als Lebens- und Futtermittel sind zu beachten)	mittel bis hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Überwachung von Feuchte und Temperatur der Körner (lager- gerecht) • Einlagerung gereinigter Körner • Temperaturüberwachung im La- ger • Kühlung/Belüftung/Umlagerung
Tierische Schädlinge (Nager, Vögel, Tiere; Einträge von Fremdstoffen, Hygiene- probleme, Krankheitsübertra- gung)	mittel bis hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Verwehrung des Lagerzutritts • Bekämpfungsmaßnahmen (Beköderung mit Dokumentati- on der Maßnahmen)

Eine oft unterschätzte Gefahr für die Qualität des Lagergutes stellen die sogenannten Lager-(Schimmel-)pilze dar. Lagerpilze und Mikroorganismen vermehren sich, wenn ausreichend Wasser im Erntegut und hohe Temperaturen vorhanden sind. Je nach Intensität beeinträchtigt Schimmelbildung im Lager die Qualität der Körner wie folgt:

- durch einsetzende Geruchs- und Geschmacksveränderungen
- durch Mykotoxinbildung
- bei stärkerem Schimmelbefall durch Verklumpung und Brückenbildung

Gefährlich sind die entstehenden Stoffwechselprodukte (Mykotoxine = Pilzgifte), die sich weder durch Reinigen noch durch Erhitzen beseitigen lassen. Getreide mit einer gesundheitlich und toxikologisch bedenklichen Mykotoxinbelastung darf nicht in den Verkehr gebracht werden. Es ist auch als Futtermittel nicht mehr geeignet. Die geltenden, zulässigen Grenzwerte sind zu beachten.

8.1 Optimale Lagerbedingungen

Um Atmungsverluste, die mit Masseverlusten einher gehen, im Getreidelager zu minimieren und gleichzeitig die Lebensbedingungen und damit die Vermehrung von Schädlingen und Mikroorganismen zu erschweren bzw. auszuschalten, sind optimale Lagerbedingungen in den Lagerzellen einzustellen. Tabelle 11 gibt eine Übersicht der anzustrebenden Lagerbedingungen für einige wichtige Körnerfrüchte.

Tab. 11: Optimale Lagerbedingungen für verschiedene Körnerfrüchte

Fruchtart	Feuchtigkeitsgehalt lagerfähiger Ware %	Anzustrebende Lagerungstemperatur °C	Schwarzbesatz %	Korn- beschädigungen %
Getreide, Mais	14	8 – 10 °C	weniger als 1 %	weniger als 4 %
Raps	9			
Ackerbohnen	14			
Sonnenblumen	9			
Körnererbsen	14			

Für eine langfristige Lagerfähigkeit von Getreide ist eine Kornfeuchtigkeit von 14 % anzustreben. Als wichtige Maßnahme ist deshalb die Messung der Feuchtigkeit vor der Einlagerung und die ggfs. notwendige Trocknung des Getreides zu sehen. Zur Kornfeuchtebestimmung sind geeignete Geräte auf dem Markt, die für innerbetriebliche Zwecke nicht der Eichpflicht unterliegen.

Die unkritische Temperatur von 8-10 °C im Getreidestapel sollte möglichst schnell nach der Einlagerung erreicht und kontrolliert werden. Der Messung und Dokumentation der Temperatur im Getreidestapel kommt deshalb besondere Bedeutung zu, da Temperaturveränderungen während der Lagerphase mikrobielle Aktivität und damit mögliche Qualitätsschäden anzeigen. Deshalb sollten besonders zu Lagerbeginn während der ersten zehn Tage täglich und in der Folgezeit bei lagerfähiger Ware vierzehntägig gemessen werden. Fest eingebaute Temperaturfühler insbesondere in Hochsilos erleichtern in Verbindung mit elektronischen Überwachungsgeräten die Arbeit.

8.2 Belüftung des Getreidestapels

Das Getreide mit Außenluft zu belüften, gehört zu den einfachsten Maßnahmen, um in den Lagerprozess wirkungsvoll einzugreifen und eine optimale Lagertemperatur einzustellen. Die Belüftung ist deshalb die einfachste und effektivste Maßnahme zur Gesunderhaltung des Getreides. Das Umlaufen lassen oder Umlagern des Getreides ist wesentlich aufwändiger und weniger effektiv, ist aber als Notlösung, wenn keine Belüftungseinrichtungen möglich oder vorhanden sind, anwendbar.

Getreidelager sollen deshalb Belüftungseinrichtungen aufweisen. Schon bald nach der Einlagerung lässt sich bei entsprechenden Außentemperaturen Getreide mit kalter Nachtluft um 5 bis 10 °C abkühlen. In der Folgezeit müssen die Körner möglichst rasch auf das unkritische Niveau von 8-10 °C heruntergekühlt werden. Grenzen erreicht dieses einfache Verfahren der Lagerbelüftung, wenn die Außenluft auch im Sommer so warm ist, dass kein größerer Kühleffekt zustande kommt. Der Einsatz von Körnerkühlgeräten erlaubt dagegen auch bei schwierigsten Witterungsverhältnissen die problemlose Kühlung der eingelagerten Ware.

Zur Belüftung von Getreide stehen verschiedene technische Lösungen zur Verfügung. Meist wird mit Hilfe von mobilen Radialgebläsen Außenluft in Luftverteilereinrichtungen in den Lagersilos oder Flachlagerzellen gedrückt. Die Dimensionierung der Belüftungsgebläse ist so auszurichten, dass eine ausreichende Luftmengenleistung von 10-20 m³ pro m³ Lagerung und pro Stunde zur Verfügung steht. Die notwendige Druckleistung ist in Abhängigkeit der Strömungswiderstände des Lagergutes, der Lagerhöhe, der Luftrate und der Länge der Belüftungskanäle zu berechnen.

- Gebräuchliche Luftverteilereinrichtungen sind:
- Dachreiter
- perforierte aufgesetzte Wellblechkanäle
- aufgesetzte Teleskopkanäle
- Unterflurkanäle mit Abdeckrosten
- ganzflächig perforierte Belüftungsböden

In Flachlagerzellen sollen die Belüftungskanäle so angeordnet sein, dass der Abstand zwischen den Kanälen ca. 60 % der Lagerhöhe, maximal jedoch 3 m und nicht mehr als die Schütthöhe beträgt (Abb. 4). Die Kanäle sollen nicht direkt an den Zellenwänden liegen. Bei gleichbleibendem Kanalquerschnitt von ca. 25 x 25 cm sind Kanallängen von bis zu 20 m möglich.

Zur ausreichenden Belüftung in Hochsilos bis Durchmesser von 5 m ist ein durchgehender Haupt- oder Ringkanal oder sonstiger Verteiler ausreichend. Bei größeren Durchmessern ist ein System aus Seitenkanälen und Verteilern und ggfs. der Einsatz mehrerer Gebläse gleichzeitig zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Belüftung notwendig (Abb. 5).

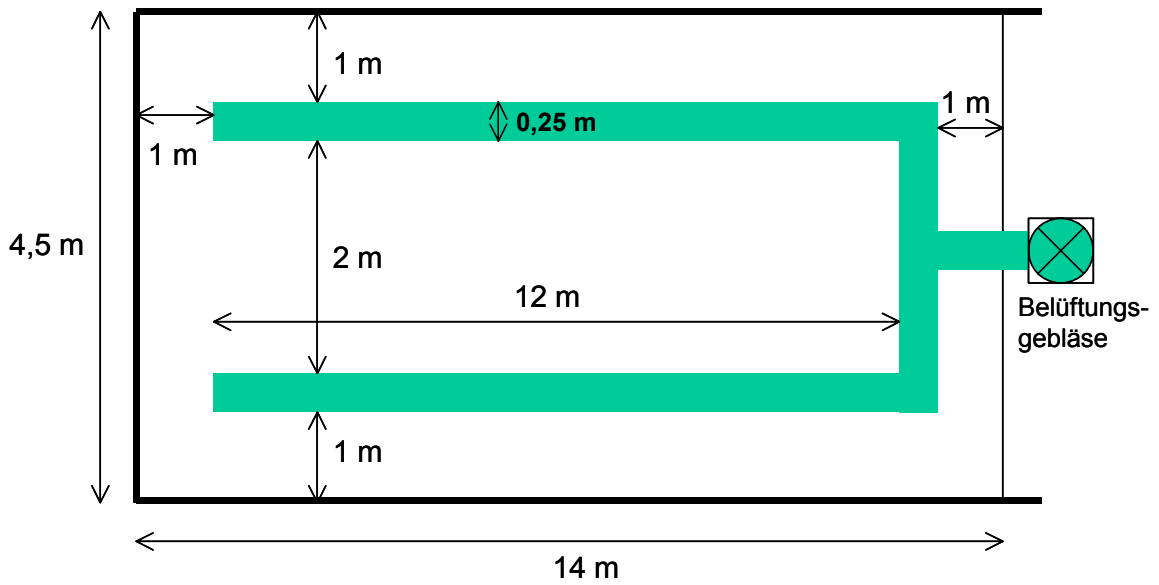


Abb.4: Anordnungsbeispiel für Belüftungskanäle in einer Flachlagerzelle

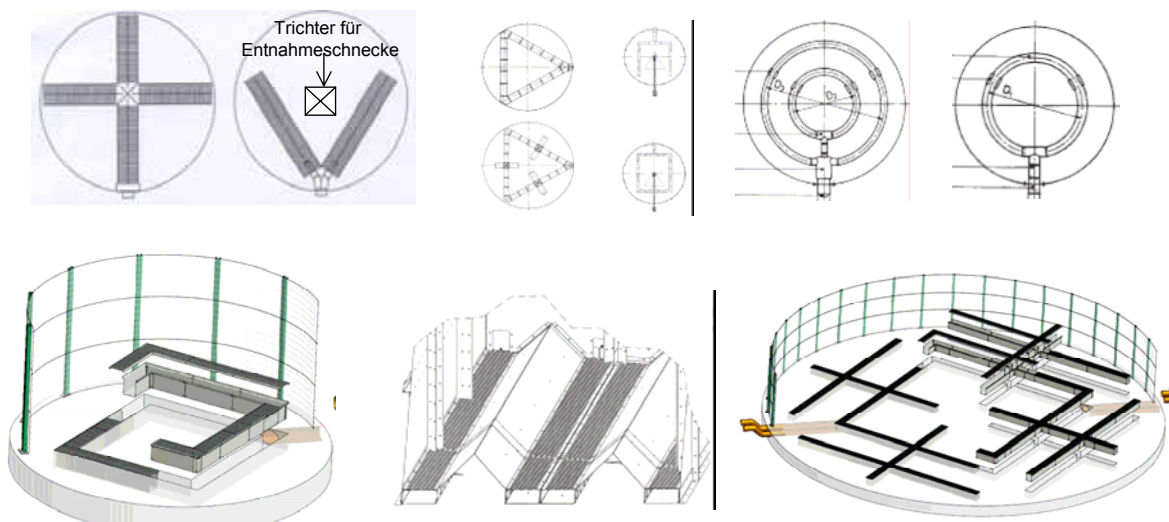


Abb. 5: Anordnungsbeispiele für Belüftungskanäle in Hochsilozellen
(Quelle: verschiedene Hersteller)

Bodenbelastung durch Landmaschinen - Wirkungsmechanismen und Risikobeurteilung

Robert Brandhuber
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz,
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft,
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising

Zusammenfassung

Seit dem Einsetzen der Motorisierung bei der Feldarbeit beschäftigen sich Wissenschaft und Praxis mit der Frage, ob und wie weit der von Landmaschinen verursachte Bodendruck die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt. In der Vergangenheit sorgte die Verbesserung der Nährstoffversorgung für einen Anstieg der Bodenfruchtbarkeit. Mit dem Ausschöpfen der Potenziale von Sorte, Düngung und Pflanzenschutz und dem einsetzenden Klimawandel gewinnen die mit der Wasseraufnahme- und -speicherung verbundenen Bodenfunktionen relativ an Bedeutung. Die Bodenstruktur zu verbessern und gleichzeitig Kosten beim Maschineneinsatz zu sparen, erfordert den Einsatz schlagkräftiger und konsequent bodenschonend ausgerüsteter Landmaschinen. Es fehlt derzeit allerdings noch an Transparenz, um alternative Fahrwerks- und Fahrzeugkonzepte objektiv nach ihrem Bodenschonungspotenzial einschätzen zu können. Wesentliches Steuerungselement zur Senkung der mechanischen Bodenbelastung ist der Reifeninnendruck, der an die Arbeitsbedingungen angepasst werden sollte. Das Zusammenspiel von Reifentechnologie, Aufstandsfläche, Radlast und Überrollhäufigkeit setzt dem vertretbaren Gesamtgewicht eines Fahrzeugs Grenzen. Fahrten auf nassen Böden sollten unbedingt vermieden werden. Besondere Vorsicht ist bei Feldarbeiten im Frühjahr geboten. Vorhandene Daten zum Bodengefügezustand zeigen, dass die Ackerböden grundsätzlich als funktionsfähig einzuschätzen sind, das Optimum am einzelnen Standort aber häufig nicht erreicht wird. Bodenschonendes Befahren muss in ein Gesamtkonzept zum landwirtschaftlichen Bodenschutz integriert werden, das Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzstrategie und Fruchtfolgegestaltung umfasst.

1 Einleitung

Wettbewerbsfähiger Pflanzenbau ist langfristig auf eine leistungsfähige Bodenstruktur angewiesen. Das Ziel, die Bodenstruktur und damit den Bodenwasserhaushalt in einem guten Zustand zu halten, muss bei Entscheidungen zum Management des Acker- und Pflanzenbaus und insbesondere des Befahrens der Felder ausreichend Berücksichtigung finden. Innerhalb der Bodenfunktion „Pflanzenproduktion“ besteht allerdings ein Spannungsverhältnis zwischen den Anforderungen der Kulturpflanzen an einen optimal gestalteten Wurzelraum und der Notwendigkeit, Landmaschinen kostensparend einzusetzen. Vom Landwirt werden Entscheidungen verlangt, inwieweit er den einen Aspekt auf Kosten des anderen beanspruchen will und darf. Folgende Ausführungen stellen die grundlegenden Zusammenhänge dar und bewerten die Risiken.

2 Maschine und Boden: ein historisch gespanntes Verhältnis

2.1 Sorge um die Bodenfruchtbarkeit

Die Sorge, unsere Ackerböden könnten durch Landmaschinen Schaden nehmen, besteht, seit Zugmaschinen das Zugtier abgelöst haben (RID, 1964). Triebfeder war die Befürchtung, die Fruchtbarkeit der Böden könne Schaden nehmen. Bereits Ende der 40er Jahre setzte man sich an der Bayerischen Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz mit dieser Frage auseinander. „Die Technisierung Bayerns hat speziell auf dem Gebiete der Motorisierung noch keinen sehr hohen Stand erreicht. ... Trotzdem bestehen durch die Motorisierung vor allem über den Schlepperdruck und Schlepperschlupf natürlich grundsätzlich gewisse Gefahren für den Zustand unserer Ackerböden“ (SCHAEFFLER, 1951). Wir wissen heute, dass diese Gefahr überschätzt wurde.

Eine fundierte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Bodenmechanik beim Befahren und Bearbeiten der Böden erfolgte in den 50er Jahren durch die grundlegenden Arbeiten von SÖHNE an der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode. Zitat: „Trotz gleicher Flächenpressung an der Oberfläche (gemeint ist der Kontaktflächen-
druck, Anm. d. Verfassers) reichen (aber) unter größeren Reifen mit höherer Last die Linien gleicher Druckspannung sehr viel tiefer herab“ (SÖHNE, 1951). Die Bodendruckproblematik wurde in dieser Zeit differenziert betrachtet und diskutiert. DOMSCH vom Institut für landwirtschaftliches Versuchs- und Untersuchungswesen Jena berichtete, dass im Jahr 1954 Traktorspuren auf „zu losen Böden“ mit ungenügendem Bodenschluss Auswinterrungsschäden bei Raps verhinderten. „Auch der Weizen stand auf der Treckerspur besser“ (DOMSCH, 1955).

Die Diskussion, welches Ausmaß an mechanischer Belastung der Böden vertretbar sein kann, wird bis heute konträr geführt (z. B. VAN DER PLOEG ET AL., 2006, ISENSEE & SCHWARK, 2006).

2.2 Veränderung der Belastungsfaktoren

Seit Beginn der Motorisierung der Feldarbeit sind im Hinblick auf die mechanische Bodenbelastung Veränderungen eingetreten.

Das Gewicht der auf dem Feld verkehrenden Fahrzeuge hat zugenommen (SCHÖN & OLFE, 1986). Zum Beispiel wog ein Mähdrescher wie der Claas Columbus im Jahr 1964 3,1 t (inkl. 1 t Getreide). Ein Claas Lexion 570, Baujahr 2004, wiegt mit vollem Korntank

24 t (davon 8,5 t Getreide). Die Drücke an der Kontaktfläche Reifen – Boden sind dank moderner Reifentechnologie im Großen und Ganzen gleich geblieben. Der berechnete Kontaktflächendruck der am höchsten belasteten Vorderräder der beiden Mähdrescher liegt jeweils bei ca. 1,4 kg/cm² (bar). Die größere Kontaktfläche bewirkt aber die mechanische Beanspruchung eines größeren Bodenvolumens und damit auch eine Tiefenwirkung des Bodendruckes, die von leichteren Fahrzeugen nicht ausgeht (siehe Kapitel 4.2.2). Mit dem Vordringen der mechanischen Beanspruchung in Bodentiefen, die nicht mehr regelmäßig gelockert werden, steht heute der Unterboden als definitionsgemäß nicht mehr gelockerte Bodenzone im Fokus des Bodenschutzes (VAN DEN AKKER & CANARCHE, 2001).

Beim dritten wesentlichen Belastungsfaktor – neben Radlast und Kontaktflächendruck – ist dagegen eine Verbesserung eingetreten. Die Überrollhäufigkeit hat abgenommen, ein Effekt großer Arbeitsbreiten und hoher Leistungsfähigkeit moderner Landmaschinen. Dennoch wird bei üblichen Ackerkulturen innerhalb eines Jahres mehr als die Hälfte eines Feldes häufiger als einmal überrollt (ZAPF, 1997).

2.3 Bodengefügeschutz und Gemeinwohl

Heute wird der Schutz der Böden in einen erweiterten, die gesamte Gesellschaft einbeziehenden Zusammenhang gestellt, so in der jüngst veröffentlichten Thematischen Strategie für den Bodenschutz der EU-Kommission: „Da die Bodenbildung ein extrem langsamer Prozess ist, müssen Böden im Wesentlichen als nicht erneuerbare Ressource betrachtet werden. Der Boden liefert uns Nahrung, Biomasse und Rohstoffe. Er dient als Plattform für menschliche Tätigkeiten und Landschaft, fungiert als Archiv unseres natürlichen Erbes und spielt eine zentrale Rolle als Lebensraum und Genpool. Er lagert, filtert und transformiert viele Stoffe, einschließlich Wasser, Nährstoffen und Kohlenstoff. Der Boden ist somit auch der größte Kohlenstoffspeicher der Welt. Aufgrund ihrer sozioökonomischen und ökologischen Bedeutung müssen diese Funktionen geschützt werden. ... Die Struktur des Bodens spielt im Hinblick auf seine Funktionen eine äußerst wichtige Rolle. Jeder Schaden der Bodenstruktur schädigt auch andere Umweltmedien und Ökosysteme“ (Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2006).

Das deutsche Bodenschutzrecht verpflichtet jeden Bodennutzer zur Vorsorge (LEBERT & BÖKEN, 2004). Als Grundsatz guter fachlicher Praxis bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung gilt u.a., dass die Bodenstruktur erhalten und verbessert wird (§ 17 BBodSchG).

3 Aktuelle Herausforderung

3.1 Boden ist Pflanzenstandort und Fahrbahn

Die Realisierung der Ziele zur Kostensenkung bei der Arbeitserledigung auf dem Feld erfordert die Auslastung arbeitswirtschaftlich optimaler und damit häufig großer und schwerer Maschinen. Dem Boden kommt aus dieser Sicht eine wichtige Funktion als Fahrbahn zu, d.h. Sicherstellung der Fortbewegung in möglichst breiten Zeitfenstern und mit möglichst geringen Energieverlusten. Eine gut taugliche Fahrbahn zeichnen Tragfähigkeit und kompaktes Gefüge aus, ein Zustand, der für Pflanzenbau auf Höchstertragsniveau nachteilig ist. Zu kompakte Böden müssen mit erheblichem Energieaufwand wieder gelockert werden. Das Ausschöpfen des standörtlich verfügbaren Ertragspotenzials im Zusammenspiel mit den eingesetzten Ressourcen gelingt nur mit einer in Hinblick auf Wasser- und Lufthaushalt ausgezeichneten Bodenstruktur. Niederschlagswasser muss

durch offene Poren in den Boden eindringen können. Ein hohes Wasserspeichervermögen gewährleistet, dass das Bodenwasser in Trockenzeiten für die Pflanzenwurzeln nutzbar wird. Mit häufigeren Witterungsextremen und dem mit der Ertragsleistung zunehmenden Wasserbedarf der Kulturpflanzen gewinnt für einen langfristig erfolgreichen Pflanzenbau das Ausschöpfen der standortbedingten Kapazität für diese Bodenfunktionen an Bedeutung. Der landwirtschaftliche Betrieb steht also vor der Lösung einer schwierigen Aufgabe: Kosten sparen beim Maschineneinsatz und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit der Böden erhalten und verbessern.

3.2 Alternative Lösungswege

Der bisher eingeschlagene Lösungsweg setzt auf die Optimierung der Fahrzeuge (Fahrwerke, Reifen) und der Arbeitsverfahren durch technische Lösungen und auf die intelligente Steuerung von Arbeitsabläufen, begleitet durch Förderung der Bodentragfähigkeit mit ackerbaulichen Maßnahmen (SOMMER, 1985; BMVEL, 2002). Verlässt man die eingeschlagenen Pfade, dann sind immerhin zwei weitere Lösungen denkbar:

- Strikte Trennung von Fahrbahn und Pflanzenstandort im „Controlled Traffic Farming“, zu Deutsch „Regelspurverfahren“: Optimale Bedingungen für Pflanze und Fahrbahn durch räumliche Differenzierung (CHAMEN, 2006; HAMZA & ANDERSON, 2005)
- Kleine, leichte und weitgehend autonome Fahrzeuge erledigen die Feldarbeit: Teilweise Verlagerung des Personalkosten für Feldarbeit auf Roboter- und Steuerungssysteme (NIEMINEN ET AL., 1994; DEMMEL, 2000).

Beide Verfahren erfordern weiteren technischen Fortschritt und sind nicht für alle Kulturen geeignet.

4 Wirkungsmechanismen Fahrzeug - Boden

Um ein Anforderungsprofil für bodenschonendes Feldmanagement zu entwickeln, müssen sowohl die Wirkungsmechanismen der vom Fahrzeug ausgehenden Kräfte als auch die Reaktionspalette auf Seite des Bodens verstanden und im besten Fall auch vorhersehbar sein. Deshalb folgend ein kurzer Überblick über die wesentlichen Einflussfaktoren auf Boden- und Fahrzeugseite und ein kritischer Blick auf offene Fragen.

4.1 Prozess der Verformung

4.1.1 Kraft und Gegenkraft

Ursache der mechanischen Bodenbelastung beim Befahren der Böden sind die vom Fahrzeug ausgehenden Kräfte: an erster Stelle die Gewichtskraft als Vertikalkraft, dann Trieb-, Brems- und auch Lenkkräfte als Horizontalkräfte und bei gezogenem Rad Zugkräfte. Die Kräfte werden über die Kontaktfläche Rad-Boden in den Boden eingeleitet und wirken dort als Bodendruck. Die notwendigen Gegenkräfte stellen im Boden die Reibungsspannung der Kontaktpunkte zwischen den Bodenteilchen und auch die Wasserspannung in den Menisken zwischen den Bodenpartikeln. Reicht die verfügbare Gegenkraft bzw. Spannung nicht aus, wird der Boden verformt. Im Grenzbereich kann der Boden elastisch reagieren, d.h. nach Beendigung des Druckimpulses kehren die Bodenteilchen zumindest teilweise wieder in ihre Ausgangsposition zurück. Der als Bodenspannung ausgedrückte Umkehrpunkt von überwiegend elastischer zu überwiegend plastischer, also bleibender

Verformung (entspricht der mobilisierbaren Gegenkraft), wurde als „Vorbelastung“ bezeichnet (HORN ET AL., 1991). Plastische Verformung bedeutet Zunahme der Kontaktpunkte und damit der mobilisierbaren Reibungsspannung als Gegenkraft. Der Boden erwirbt höhere Tragfähigkeit, die aber mit dem Verlust von luftführenden und wasserleitenden Grobporen verbunden ist. Dieser Vorgang findet in unterschiedlichem Ausmaß bei jeder Überrollung statt, zumindest im Bereich des Stolleneingriffs.

Bodenbearbeitung bezweckt u. a. die Lockerung von zu kompaktem Boden. Bei der Bearbeitung bricht der Boden jedoch nur an den Stellen mit der geringsten Widerstandskraft. Verformungen unterhalb der regelmäßig gelockerten Bodenzone bleiben längere Zeit bestehen (siehe Kapitel 4.1.3).

4.1.2 Tragkraft der Böden: bestimmende Faktoren

Die Tragkraft der Böden wird wesentlich durch die Bodenfeuchte, den Lockerungsgrad der Böden und die Bodenart bestimmt. Weitere Einflussgrößen sind Kalk- und Humusgehalt.

Die Bodenfeuchte ist die entscheidende Einflussgröße für die Tragfähigkeit und damit für die Verdichtungsempfindlichkeit der Böden. Wasser im Boden wirkt als Gleitmittel bei der Verformung, der Reibungswiderstand ist geringer. Außerdem wird der Meniskenzug mit zunehmendem Wassergehalt schwächer. In unserem Klimaraum ist die Bodenfeuchte als Steuerungsgröße der Verdichtungsempfindlichkeit besonders wichtig (YAVUZCAN ET AL., 2005). Beim Maschineneinsatz im Feld kommt somit der „Schlagkraft“ eine hohe Bedeutung zu: Warten auf bessere Befahrbarkeit ist das wirksamste Mittel zum Bodengefügeschutz.

Mit sinkender Bearbeitungsintensität steigt die Tragfähigkeit der Böden (SOMMER, 1999). Natürliche Gefügebildung schafft ein durchgehendes Porensystem bei vergleichsweise kompakterer Lagerung der Bodenteilchen. Dieser Vorgang setzt ein, sobald der Boden ruht, also nicht oder nur flach bearbeitet wird. Regenwürmer spielen als Gefügebildner eine wichtige Rolle. Mit Pflanzenmaterial an der Bodenoberfläche (Ernterückstände, Zwischenfruchtbau) wird die Aktivität der Regenwürmer gefördert und damit die Bildung eines Porensystems beschleunigt. In Mulch gesäte Zuckerrüben bieten den Vorteil besserer Befahrbarkeit bei der Ernte. Allerdings muss auch darauf hingewiesen werden, dass der Unterboden bei konsequent konservierender Bodenbearbeitung und verminderter Eingriffstiefe in den Boden gewissermaßen nach oben rückt. Um Verdichtungen unterhalb der Bearbeitungstiefe zu vermeiden, erfordern diese bodenschonenden Bearbeitungssysteme trotz der besseren Tragfähigkeit ein besonders hohes Maß an Vorsicht gegenüber zu hohem Bodendruck.

Sandböden mit weiten Poren sind grundsätzlich schneller komprimierbar als Tonböden mit engen Porenquerschnitten. Weil Tonböden von Natur aus nur wenig Grobporen besitzen, verlieren sie allerdings bereits bei geringer Verformung ihre Durchlässigkeitsfunktionen. Dem steht gegenüber, dass Tonböden wegen ihrer Schrumpfung- und Quellungs-dynamik ein Potenzial für Regenerationsvermögen besitzen, das Sandböden fehlt. Beide Bodenarten sind also auf ihre Weise verdichtungsempfindlich. Eine Differenzierung der Tragfähigkeit und damit der Anforderungen an die bodenschonende Ausrüstung der Fahrzeuge nach Bodenarten (DVWK, 1995) ist deshalb für die Praxis von nachrangiger Bedeutung.

4.1.3 Regeneration von Gefügeschäden

Böden sind grundsätzlich regenerationsfähig gegenüber Gefügeschäden, allerdings als Funktion der Zeit. Als natürliche Vorgänge können Austrocknen, Frostsprengung und biologische Prozesse (Wurzelwachstum, Regenwurmgänge) verdichtete Strukturen zumindest teilweise wieder funktionsfähig machen (WERNER & WERNER, 2001; SEYBOLD ET AL., 1999). Diese Prozesse verlieren jedoch mit zunehmender Tiefe stark an Wirkungskraft. Verdichtungen in Bodenzonen, die nicht mehr von der regelmäßigen Bearbeitung erfasst werden, gelten daher als „dauerhaft“ (HÅKANSSON, 2005). Sie können über ein Jahrzehnt (Ergebnisse aus Schweden: ETANA & HÅKANSSON, 1994), im Extremfall aber auch über ein Jahrhundert (Ergebnisse aus den USA: SHARRAT ET AL., 1998) spürbar bleiben. Zum Regenerationspotenzial von Böden nach Verdichtungen im mitteleuropäischen Klimaraum gibt es kaum neuere belastbare Daten aus Langzeitversuchen. In der Schweiz wurde 2004 ein entsprechender Feldversuch angelegt (WEISSKOPF ET AL., 2006). Konkrete Aussagen zum Zeitbedarf für einen bestimmten Regenerationsfortschritt in Abhängigkeiten z. B. vom Tonanteil sind deshalb nach heutigem Wissensstand nicht möglich.

Gut belegt ist dagegen, dass ein mechanischer Eingriff in den Unterboden keinen dauerhaften Erfolg erwarten lässt, wenn die mit der Bodenbewirtschaftung verbundene mechanische Belastung die gleiche bleibt (HÅKANSSON, 2005, SCHÄFER-LANDEFELD ET AL., 2004).

Bei Verdichtungen im Unterboden kann also der Landwirt weder auf natürliche noch auf mechanische Regeneration vertrauen. Es gibt keine Alternative zu vorsorgendem Handeln.

4.2 Faktoren der Bodenbelastung durch das Fahrzeug

4.2.1 Kontaktfläche

Es wurde bereits angesprochen, dass die Kontaktfläche zwischen Reifen (oder Band) und Boden bei gegebener Auflast den Eingangsdruck in den Boden vorgibt. Je größer die Kontaktfläche, desto kleiner ist der Kontaktflächendruck und desto geringer ist die Bodenbeanspruchung (Abb. 1).

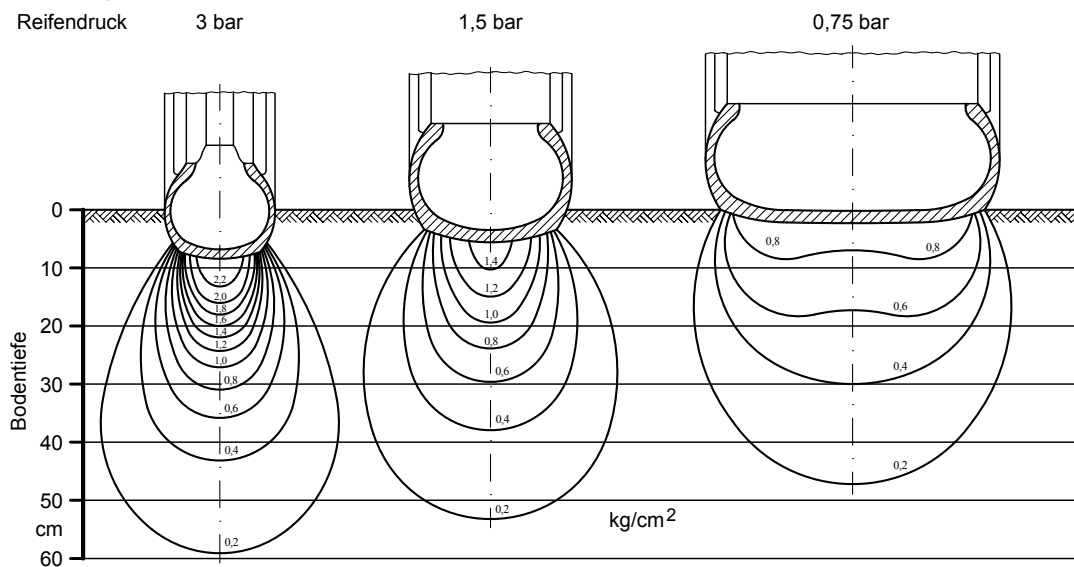


Abb. 1: Druckzwiebeln unter unterschiedlich breiten Reifen bei gleicher Radlast (nach TIJINK UND SPOOR, 2004; verändert nach SÖHNE, 1953)

Damit hat der Landwirt ein entscheidendes Steuerungselement in der Hand: Mit der Wahl eines optimalen Reifens und der Einstellung des niedrigst möglichen Reifeninnendrucks kann er die Reifenaufstandsfläche maximieren und die Bodenbelastung wirksam vermindern (siehe Beitrag von GEISCHEDER UND DEMMEL, S. 75 - 88).

Bei einem Versuch der beiden Institute für Landtechnik und für Agrarökologie der LfL im Herbst 2006 wurde gemessen, wie sich die Reduzierung des Reifeninnendrucks von 1,6 bar (Anforderung bei Straßenfahrt) auf 0,8 bar (möglich bei Feldarbeit) eines mit 4 t belasteten Hinterrads (650/65 R38) eines Schleppers auf die Kontaktfläche und die Bodendrücke auswirkt. Befahren wurde ein schluffiger Lehmboden nach Stoppelbearbeitung mit einer Bodenfeuchte knapp unter Feldkapazität in der Krume. Unterhalb der Krume war der Boden trockener. Die Aufstandsfläche vergrößerte sich von 0,49 m² bei 1,8 bar Reifeninnendruck auf 0,56 m² bei 0,6 bar. In 20 cm Tiefe sanken die mit Schlauchdrucksonden gemessenen Bodendrücke von 1,1 bar auf 0,5 bar, in 40 cm Tiefe von 0,25 bar bis unter die Nachweisgrenze (0,2 bar) (Abb. 2).

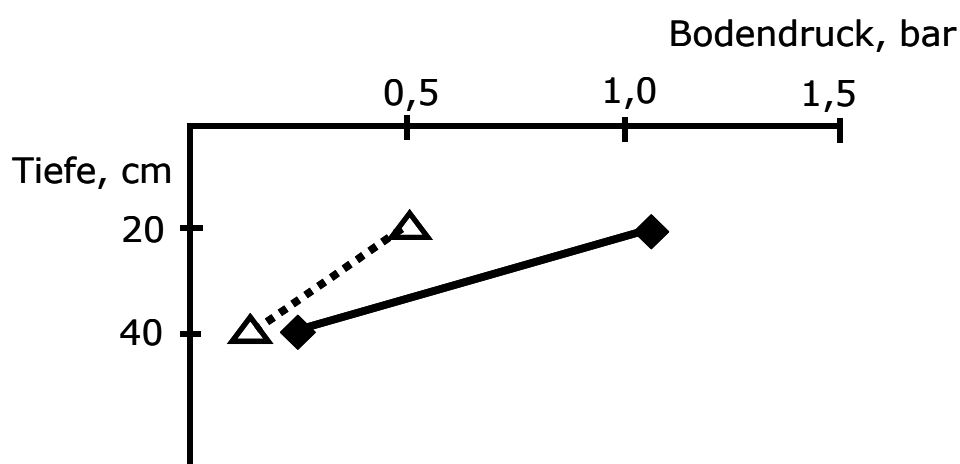


Abb. 2: Tiefenprofil des Bodendrucks unter dem Hinterrad eines Schleppers bei einem Reifeninnendruck von 0,8 bar (gestrichelte Linie) und 1,6 bar (durchgezogene Linie)

Die Halbierung des Reifeninnendrucks bewirkte also eine Halbierung des Bodendrucks in 20 cm Tiefe. Das Beispiel verdeutlicht die Effektivität und damit auch die Notwendigkeit, Reifen einzusetzen, die mit niedrigen Reifeninnendrücken gefahren werden können und dieses Potenzial an Bodenschonung auch konsequent zu nutzen. Dies ist durch eine Vielzahl von Untersuchungen belegt (HÅKANSSON, 2005; HAMZA & ANDERSON, 2005; RAPER & KIRKBY, 2006). Zur Konkretisierung haben verschiedene Arbeitsgruppen Richtwerte vorgeschlagen (BRUNOTTE ET AL., 2005; TIJINK & SPOOR, 2004; LfL, 2005). Demnach sollten die Reifeninnendrücke bei feuchten Böden, wie typischer Weise im Frühjahr, auf jeden Fall unterhalb von 1 bar eingestellt werden, bei trockeneren Verhältnissen wie z.B. bei der Ernte unter 2 bar (Abb. 3).

Schnell und häufig wechselnde Anforderungen an den Reifeninnendruck bei Straßen- und Feldfahrten können mit Reifendruckregelanlagen erfüllt werden (siehe Beitrag von GEISCHEDER UND DEMMEL, S. 75 – 88).

Vorschlag für Orientierungswerte zur Befahrbarkeit

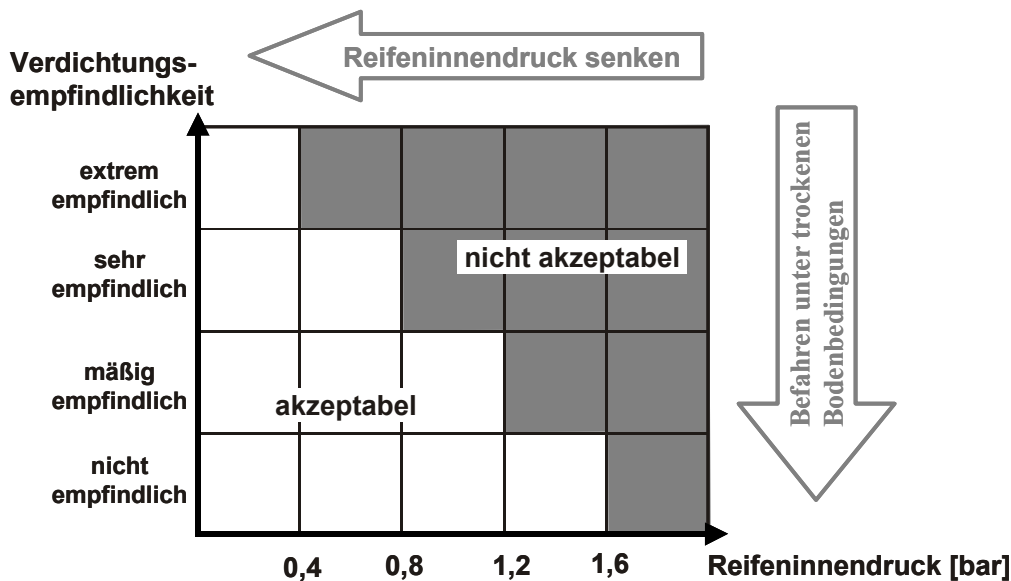


Abb. 3: Zielgrößen des Reifennendruckes nach LfL (2005) und TIJNK & SPOOR (2004)

4.2.2 Radlast

Der über den Reifennendruck steuerbare Kontaktflächendruck gibt also die obere Grenze des im Boden wirksamen Bodendruckes vor. Mit welchem Gradienten der Druck dann mit der Tiefe abnimmt und wie tief ein bestimmter Druck in den Boden eindringt, dafür ist – bei gegebenem Bodenzustand – die Auflast die entscheidende Größe. Diese bodenmechanische Gesetzmäßigkeit hat SÖHNE (1951) in der landwirtschaftlichen Bodenmechanik erstmals aufgezeigt und mit der Darstellung der Druckzwiebeln sichtbar gemacht (Abb. 4). Nehmen Radlast und Aufstandsfläche in gleichem Verhältnis zu, dann wird ein größeres Bodenvolumen mechanisch beansprucht und so nimmt auch die Tiefenwirkung des Bodendruckes zu. Diese Tatsache ist die Begründung der Besorgnis, dass schwere landwirtschaftliche Fahrzeuge die Unterböden verdichten könnten. Der Einfluss der Radlast auf die Tiefenwirkung der mechanischen Bodenbeanspruchung ist auch die Ursache dafür, dass der bodendruckmindernde Effekt einer Reifendruckabsenkung mit zunehmender Tiefe geringer wird (SCHJØNNING ET AL., 2006; KELLER & ARVIDSSON, 2004) (siehe Abb. 5). Die Reifendruckabsenkung hat also bei hohen Radlasten Wirkungsgrenzen im Unterboden. Es besteht jedoch kein Anlass, wegen dieser Einschränkung die unbestritten positive Wirkung der Vergrößerung der Aufstandsfläche in Frage zu stellen.

Um hohe Radlasten (voll beladene Ausbring-, Ernte- und Transportfahrzeuge) mit möglichst geringem Risiko von Unterbodenverdichtungen abstützen zu können, müssen die Aufstandsflächen überproportional größer werden. Die Eingangsbodendrucke müssen so niedrig sein, dass sie auch in tieferen Bodenzonen keine Verformung bewirken können. Bandlaufwerke bieten vom Prinzip her diese Möglichkeit. Neuere Untersuchungsergebnisse weisen auf das bodenschonende Potenzial dieser Fahrwerke speziell für den Unterboden hin (ANSORGE & GODWIN, 2006; STAHL ET AL., 2005). Die Institute für Landtechnik und für Agrarökologie der LfL beschäftigen sich derzeit in einem Forschungsprojekt mit dieser Frage. Ergebnisse werden 2007 vorliegen.

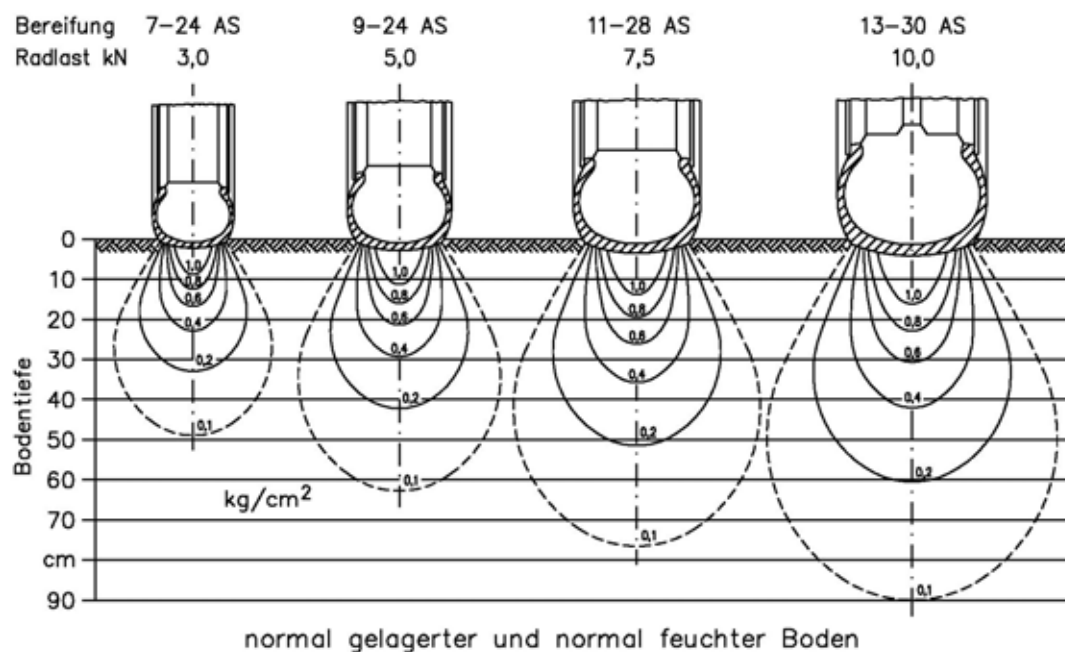


Abb. 4: Prinzip der Verknüpfung von Radlast und Aufstandsfläche mit der Tiefenwirkung des Bodendruckes (mit den Originaldaten von SÖHNE, 1951).

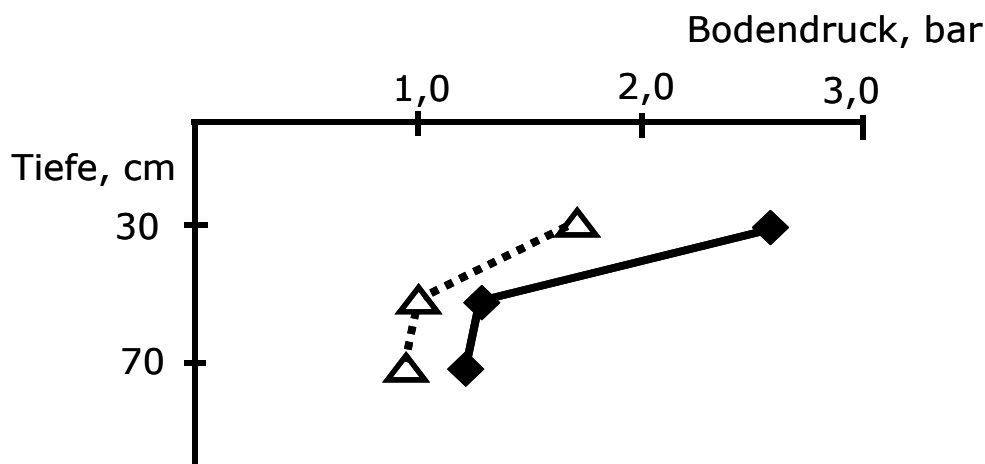


Abb. 5: Tiefenprofil des Bodendruckes unter dem Vorderrad eines Rübenrodgers bei einem Reifennendruck von 1 bar (gestrichelte Linie) und 2,5 bar (durchgezogene Linie), vereinfacht nach KELLER UND ARVIDSSON (2004)

4.2.3 Überrollhäufigkeit

Während der Feldarbeit dauert der Belastungsimpuls bei der Überrollung des Bodens mit einem Rad nur ca. 1 Sekunde. Der Impuls kann je nach Tragkraft des Bodens keine, eine elastische (vorübergehende) oder eine plastische (bleibende) Verformung bewirken. Im Fall der plastischen Verformung wird der bei längerer Druckeinwirkung mögliche Verformungsweg (Konsolidierung) in dieser kurzen Zeit nicht zurückgelegt. Dazu muss erst Luft aus dem Boden heraus und Wasser aus engen Poren in weitere Poren gepresst werden. Dieser Vorgang braucht Zeit. Die Dauer der Konsolidierung hängt vor allem von der

Beschaffenheit des Porensystems und dem aktuellen Wassergehalt ab. Es ist verständlich, dass Sandböden mit ihren weiten Poren bereits bei der ersten Überrollung einen hohen Anteil der möglichen Verformung (Konsolidierung) erreichen, während bei Tonböden mit sehr engen Poren auch noch nach mehreren Überrollungen spürbare Verformungen auftreten können (PYTKA, 2005). Es kann vorkommen, dass eine erste Überrollung vom Boden überwiegend elastisch abgefangen wird, die folgende aber bereits eine plastische Verformung verursacht (PETH & HORN, 2006). Jede zusätzliche Überrollung kann also einen Schritt in Richtung Konsolidierung bedeuten. Kurz aufeinander folgende Überrollungen in feuchten Oberböden können zudem einen Kneteffekt bewirken. Der Gefügeverband wird dann mit aus dem Porenverband ausgepresstem Wasser als Gleitmittel gänzlich aufgelöst.

Für die Praxis bedeutet dies:

- Mehrfachüberrollungen soweit wie möglich vermeiden.
- Spurversetztes Fahren (Beispiel Rübenroder) vermindert die Bodenbelastung.
- Die Verteilung des Gesamtgewichtes eines Fahrzeugs auf zusätzliche Räder wirkt dann trotz höherer Überrollhäufigkeit bodenschonend, wenn dadurch niedrigere Radlasten und niedrigere Reifeninnendrucke realisiert werden.

4.2.4 Unsicherheiten im Detail

Die Grundsätze über die Bodenbelastungsfaktoren der Fahrzeuge und die Tragfähigkeit der Böden sind bekannt. Dennoch ist es schwierig vorherzusagen, ob ein Bodengefüge die Überfahrt mit einem bestimmten Fahrzeug ohne nachteilige Verformung übersteht. Die Zusammenhänge sind komplex und die Ausprägungen der Einflussfaktoren im Detail meist nicht verfügbar. Der Anspruch, mit Modellen die Grenze zwischen Tragkraft und Verformung bis in den Unterboden zu berechnen und daraus Grenzwerte für die belastenden Fahrzeugparameter abzuleiten (LEBERT ET AL., 2006; DEFOSSEZ & RICHARD, 2002; KOOLEN & VAN DEN AKKER, 2000; HORN ET AL., 1998), wird deshalb in der Realität häufig nicht erfüllt. Wesentliche Gründe dafür sind folgende Punkte:

- Die Gegenkraft bzw. Bodenspannung determinierenden Größen, vor allem die Ausgestaltung des Porensystems und der Bodenwassergehalt, sind räumlich (dreidimensional!) und zeitlich hoch variabel. Zum Beispiel vermindert das Vorhandensein einer kompakten Pflugsohle erheblich die Druckfortpflanzung in die Tiefe.
- Während des Verformungsvorgangs ändern sich die Eigenschaften des Systems (z. B. nimmt der Bodenwassergehalt nach Auspressen der Bodenluft zu; Bodenwasser übernimmt ggf. Tragkraft) in eine Richtung, die wiederum stark von der Gestaltung des Ausgangssystems abhängt (FAZEKAS & HORN, 2005).
- Die meisten Modelle arbeiten mit einer Vorbelastung, die im Labor aus Drucksetzungsversuchen bis zur Konsolidierung abgeleitet wurde. Die Prozesse im Feld unterscheiden sich stark von den Versuchsbedingungen im Labor. Die Übertragbarkeit auf die Feldebene ist nicht bewiesen. Die Feldebefunde der Monitoringprogramme (siehe Kapitel 5.1) sprechen dagegen.
- Wiederholte Überrollung, also kurz aufeinander folgende Bodenbeanspruchung, kann zu plastischen - also dauerhaften - Verformungen führen bei Drücken, auf die der Boden bei einmaliger Beanspruchung (Überrollung) noch elastisch reagieren würde (PETH & HORN, 2006). Dieser Zusammenhang ist noch nicht ausreichend verstanden, um praxisbezogene Empfehlungen ableiten zu können. Die Überrollhäufigkeit wird deshalb in den meisten Modellen nicht berücksichtigt.

- Schwingungseffekte und ungleiche Lastverteilung bei Fahrt am Hang beanspruchen den Boden lokal mit höheren bzw. niedrigeren Kräften, was bei einer modellhaften Betrachtung vernachlässigt werden muss.

Zumindest kann ein anwenderfreundliches Modell wie TASC (DISERENS & SPIESS, 2004) dem kritischen Anwender Anhaltspunkte liefern, ob ein Fahrzeug mit einem bestimmten Reifen in Abhängigkeit von der Bodentragfähigkeit eine Verdichtung hervorrufen wird.

Einfach zu handhabende Messmethoden zum Nachweis einer Verformung im Unterboden (statt oder als Ergänzung von Modellrechnungen) könnten dem Berater differenziertere Aussagen ermöglichen. Bisher ist kein geeignetes Werkzeug verfügbar. Es wird aber an Feldmethoden gearbeitet, die in Zukunft die Prognose einer Verformung im Unterboden erleichtern könnten (NOLTING ET AL., 2006; LEBERT ET AL., 2006).

Für die Abschätzung der Folgen einer Überfahrt sind Spatendiagnose und Beobachtung der Kulturentwicklung nach wie vor gut geeignete Mittel, wenn auch mit subjektiver Prägung.

5 Risikobeurteilung

Mit drei verschiedenen Ansätzen soll versucht werden, die Risiken zu beurteilen, die von Landmaschinen auf die Bodenstruktur ausgehen. Als Erstes können Daten über den Zustand der Bodenstruktur aus Monitoringprogrammen ausgewertet werden. Sind negative Veränderungen festzustellen, dann könnte dies auf veränderte Belastungsfaktoren zurückzuführen sein. Zweiter Ansatzpunkt sind gezielte Versuchsanstellungen, die auf Labor-, Feldversuchs- oder Praxisebene die möglichen Auswirkungen von mechanischen Bodenbelastungen feststellen. Schließlich können Risiken anhand der Wahrscheinlichkeit eines möglichen Schadenseintritts und dessen erwarteter Erheblichkeit eingestuft werden.

5.1 Zustand der Böden, Monitoringprogramme

Wie weit sich die Gefügeeigenschaften der Ackerböden seit Beginn der Motorisierung verändert haben, liegt leider weitgehend im Bereich der Spekulation. Es ist nicht bekannt, ob der dem Bodengefüge zuzuschreibende Teil der Bodenfruchtbarkeit in gleichem Umfang funktionsfähig ist wie vordem, ob eine Verbesserung oder doch eine Verschlechterung eingetreten ist. Die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit – gemessen an den Erträgen – war sicherlich Folge der verbesserten Nährstoffversorgung und der Fortschritte in den Bereichen Sorte, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung. Unbestreitbar hat die Funktionsfähigkeit des Bodengefüges in der Vergangenheit ausgereicht, um die Fortschritte im Pflanzenbau ertragswirksam werden zu lassen.

Die wenigen vorliegenden Daten zur Lagerungsdichte der Böden aus den 40er und 50er Jahren des 20. Jahrhunderts verweisen - mit allen methodenbedingten Einschränkungen – auf die damals mangels Zugkraft weniger tiefreichende Pflugsohle (SOMMER, 1985). Das Institut für Agrarökologie der LfL Bayern versucht derzeit, Standorte in Bayern, die in den 40er und 50er Jahren und dann wieder in den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts schichtweise auf ihre Lagerungsdichte untersucht wurden, wieder aufzufinden, um sie erneut zu beproben. Daten zum Bodengefüge aus der Bodendauerbeobachtung - das bayrische Programm läuft seit nunmehr 20 Jahren – lassen derzeit noch keine Aussagen zu Veränderungen zu (BRANDHUBER, 2005). Der Zeitrahmen reicht nicht weit genug zurück. Die vorliegenden Untersuchungen von 29 Bodendauerbeobachtungsflächen im Zeitraum von 1994 bis 2005 zeigen, dass landwirtschaftlich genutzte Böden in ihren Gefügeeigen-

schaften ihre Belastungshistorie widerspiegeln. Typisch für Ackerböden sind ihre Pflugsohlen (Synonyme: Schlepperradsohlen oder Krumenbasisverdichtung). Sie sind in allen untersuchten Ackerböden der BDF-Standorte in unterschiedlicher Ausprägung anzutreffen. In Abbildung 6 ist zur Kennzeichnung der Gefügequalität der Anteil der Poren im Boden dargestellt, der den Luftaustausch und die Dräneigenschaften charakterisiert, die sog. Luftkapazität. Werte kleiner 5 % sind eine von mehreren Bedingungen für den Nachweis einer Schadverdichtung (LEBERT ET AL., 2004).

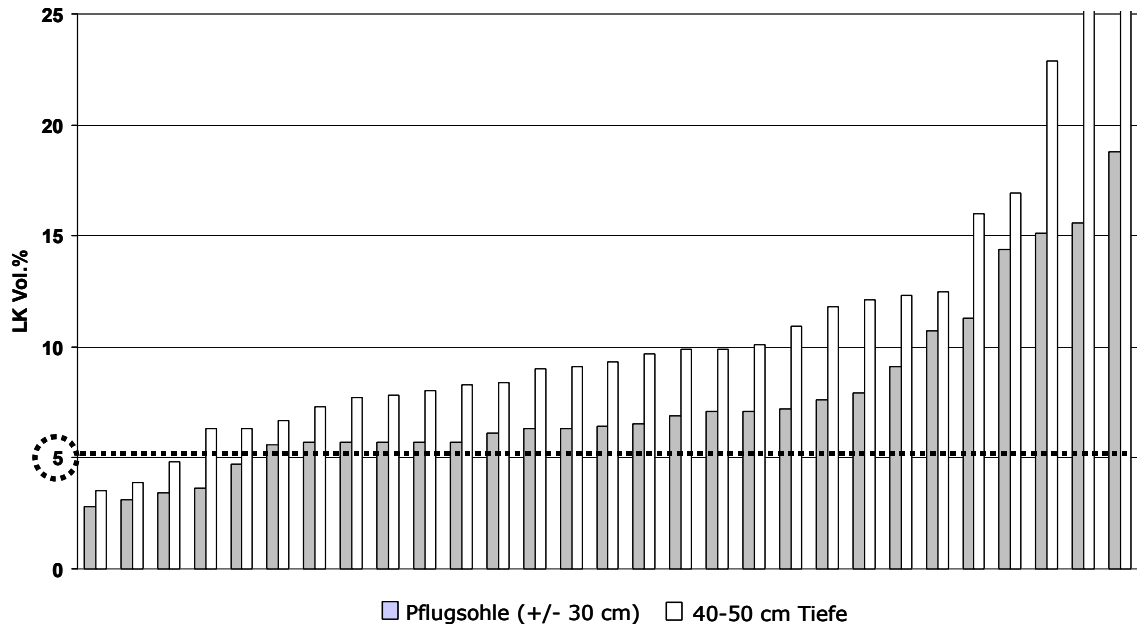


Abb. 6: Anteil der schnell entwässernden Grobporen (= Luftkapazität) in Pflugsohle und tieferem Unterboden auf Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) in Bayern

Die Ergebnisse zeigen auch, dass vorhandene Unterschiede in der Güte der Bodenstruktur nicht an den Anbau bestimmter Kulturen wie z.B. Mais oder Zuckerrüben gekoppelt sind, die wegen der späten Ernte und der schweren Erntefahrzeuge ein besonderes Verdichtungsrisiko darstellen könnten (Abb. 7). Dies spricht für die These, dass das individuelle Handeln des Landwirtes die physikalischen Bodeneigenschaften am stärksten prägt.

Ergebnisse von Feldversuchen aus aller Welt (DÜRR ET AL., 1995; HAKANSON, 2005) belegen, dass stärkere mechanische Belastung mit Ertragseinbußen verbunden ist. Es ist bekannt, dass nicht mehr befahrene Böden bei durchgehend auf Fahrgassen abgewickelmtem Fahrverkehr messbar höhere Erträge hervorbringen (TAYLOR, 1994; TULLBERG ET AL., 2004). Dass die Erträge der Kulturpflanzen hierzulande bisher steigen und nicht sinken, verweist allerdings auf die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Böden als Standort für die Pflanzenproduktion. Auch jüngst veröffentlichte Ergebnisse umfangreicher Bodengefügeuntersuchungen auf Praxisflächen (CRAMER ET AL., 2006; ISENSEE & SCHWARK, 2006) sprechen für die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Böden und gegen die Befürchtung einer verbreiteten Schadverdichtung (SCHRÖDER & SCHNEIDER, 2004; GIESKA ET AL., 2003). Die Daten weisen aber auch darauf hin, dass das standörtliche Potenzial an bodenstrukturegebundenem Leistungsvermögen der Böden häufig nicht ausgeschöpft, ein Idealzustand also nicht erreicht ist.

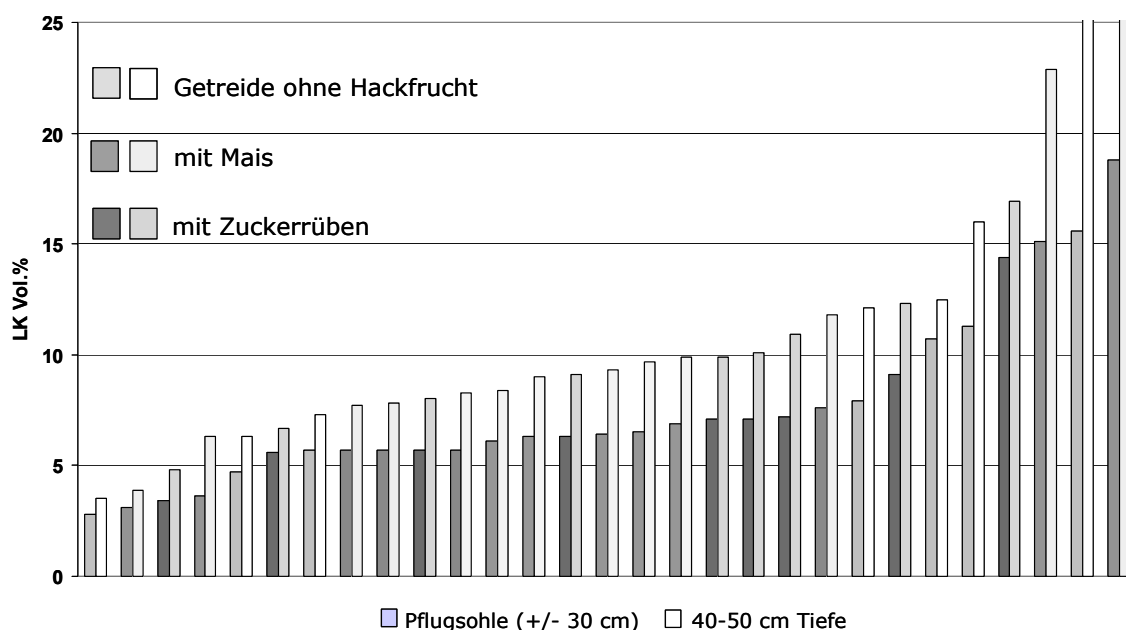


Abb. 7: Anteil der schnell entwässernden Grobporen (= Luftkapazität) in Pflugsohle und tieferem Unterboden auf Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) in Bayern bei unterschiedlichen Fruchtfolgetypen

5.2 Versuchsanstellungen

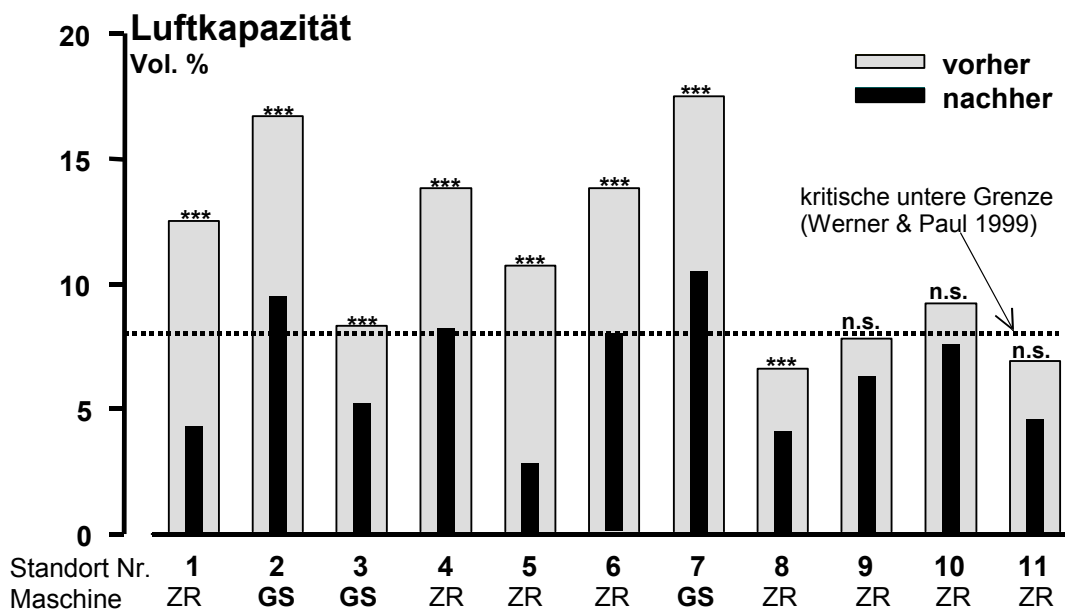
Die mechanische Belastbarkeit von Ackerböden wurde von verschiedenen Arbeitsgruppen mit Hilfe von Drucksetzungsversuchen im Labor und modellhafter Berechnung der Druckfortpflanzung bestimmt (siehe LEBERT ET AL., 2004). Auf dieser Basis wird das Risiko von Unterbodenverdichtungen durch Fahrzeuge mit Radlasten über 5 t als sehr hoch eingeschätzt (HORN, 1999). Die Zweifel an der Übertragbarkeit der Laborversuche und Berechnungen auf die Feldebene wurde bereits angesprochen (siehe Kapitel 4.2.4).

Mit Feldversuchen werden mechanische Belastungen gezielt platziert und Auswirkungen auf Boden, Ertrag oder Umweltfaktoren auf Feldebene festgestellt. Die Rahmenbedingungen eines Feldversuches zwingen zu mehr oder weniger großen Abweichungen von den Praxisbedingungen beim Maschineneinsatz (Art der Fahrzeuge, Intensität und Häufigkeit der mechanischen Belastung, hohe Bodenfeuchte durch Beregnung). Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass unter verschärften Belastungsbedingungen eine Beeinträchtigung der Bodenstruktur durch das Befahren mit Landmaschinen erreicht werden kann, auch im Unterboden (HÅKANSSON, 2005; ARVIDSSON, 2001). Besonders problematisch sind hohe Radlasten (voll beladene Ausbring-, Ernte- und Transportfahrzeuge mit max. Radlasten im Bereich von 10 t) und häufige Überrollungen.

Untersuchungen unter Praxisbedingungen, also z. B. vor und nach der Überfahrt eines schweren Erntefahrzeugs, lassen zunächst die relativ geringsten Effekte speziell für die Unterböden erkennen (SCHÄFER-LANDEFELD ET AL., 2004; KOCH ET AL., 2004; GYSI, 2001). In einer Studie der Landesanstalt für Landwirtschaft wurde der Einfluss einer einmaligen Überfahrt mit voll beladenen Zuckerrübenvollerntern und Gülle selbstfahrern auf den Boden untersucht (siehe Abb. 8 und 9). In der Krume (Abb. 8) wurden in Abhängig-

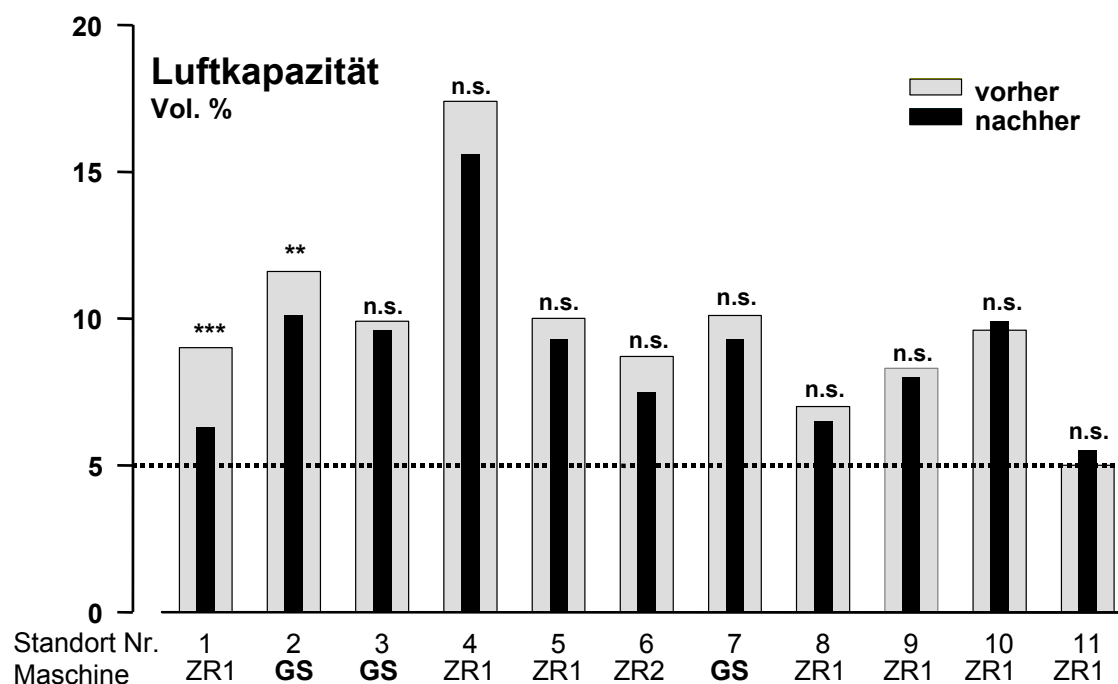
keit von der Bodenfeuchte erwartungsgemäß überwiegend deutliche Verformungen festgestellt. Mit der Grundbodenbearbeitung nach der Zuckerrübenernte kann die verdichtete Krume wieder gelockert werden. Bei Gülleausbringung im Frühjahr, in diesem Fall vor Mais (Standorte 2, 3 und 7), ist aber trotz Güllegrubber und Saatbettbereitung eine negative Wirkung auf das Pflanzenwachstum nicht auszuschließen. Im Unterboden (Abb. 9) waren die Effekte dagegen geringer und nur an zwei Standorten statistisch signifikant. Am Standort 1 war der Unterboden im Vorjahr gelockert worden. Die fehlende Tragkraft führte bei der Rübenernte zur Wiederverdichtung. Am Standort 2 bewirkte die Gülleausbringung eine signifikante Verformung, allerdings in einem Bereich, der immer noch als gut funktionsfähig anzusprechen ist. Mit den Projektergebnissen konnte nachgewiesen werden, dass messbare Verformungen bis in den Unterboden durch die einmalige Überfahrt schwerer Fahrzeuge in der Praxis die Ausnahme und keinesfalls die Regel sind.

Untersuchungen mit diesem praxisnahen Ansatz müssen sich aber dem Problem stellen, dass nicht geklärt werden kann, ob sich Belastungsimpulse, die nur geringe, statistisch nicht nachweisbare Verformungen bewirken, im Laufe der Zeit aufsummieren („schleichende“ Verdichtung). Auch dieser Fragestellung gehen die Institute für Landtechnik und für Agrarökologie derzeit in einem Forschungsprojekt nach.



Medianwerte, Unterschiede signifikant nach Mann-Whitney-U-Test

Abb. 8: Auswirkung der Befahrung bei der Zuckerrübenernte (ZR) und Gülleausbringung (GS) auf den Anteil schnell entwässernder Grobporen (Luftkapazität) in der Ackerkrume unter Praxisbedingungen an 11 Standorten in Bayern und Niedersachsen



Medianwerte, Unterschiede signifikant nach Mann-Whitney-U-Test

Abb. 9: Auswirkung der Befahrung bei der Zuckerrübenernte (ZR) und Gülleausbringung (GS) auf den Anteil schnell entwässernder Grobporen (Luftkapazität) im Unterboden unter Praxisbedingungen an 11 Standorten in Bayern und Niedersachsen

5.3 Wahrscheinlichkeit kritischer Situationen

Risiken können objektiver bewertet werden, wenn man die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Schadens und seine Erheblichkeit analysiert (SCHELLE, 2004). Für unsere Fragestellung kann die Wahrscheinlichkeit geringer Bodentragfähigkeit bei bestimmten Feldarbeiten aus Wetterdaten abgeleitet werden. In einem zweiten Schritt kann dann eine Verknüpfung mit der Belastungsrelevanz der Feldarbeiten (Radlast, Kontaktflächendruck, Überrollhäufigkeit, überrollter Feldanteil, Lockerungsmöglichkeit) erfolgen. Eine auf exakten statistischen Berechnungen beruhende Auswertung mit Gewichtung der Belastungsrelevanz wird derzeit in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst, Niederlassung Weihenstephan, erarbeitet. Weil diese Auswertung noch nicht abgeschlossen ist, werden hier zunächst exemplarisch Feldarbeitsgänge mit subjektiv geschätzten Wahrscheinlichkeiten geringer Tragfähigkeiten (hohe Bodenfeuchte) verglichen.

Einige Beispiele:

(1) Feldarbeiten im Frühjahr: Im Frühjahr sind die Böden in der Regel mit Wasser aufgefüllt und trocknen von oben ab. Bei der Saatbettbereitung von Sommerungen und besonders bei Gülleausbringung in Wintergetreide oder vor Mais ist deshalb die Wahrscheinlichkeit für Bodenfeuchte nahe der Feldkapazität hoch. Bei zeitiger Gülleausbringung oder Saat ist in jedem oder zumindest jedem zweiten Jahr mit kritischen Bedingungen zu rechnen.

(2) Getreideernte: Bei zwei Drittel Getreide in einer Fruchtfolge und der Wahrscheinlichkeit, dass die Böden jedes siebte Jahr während der Ernte im August wegen hoher Bodenfeuchte hoch verdichtungsempfindlich sind, muss in jedem zehnten Jahr mit kritischen Belastungsbedingungen gerechnet werden.

(3) Zuckerrübenenernte: Wenn jedes dritte Jahr Rübe auf dem Feld steht und die Böden zur Ernte jedes fünfte Jahr nass sind, dann treffen jedes 15. Jahr beide Bedingungen zusammen.

(4) Pflügen: Die Wahrscheinlichkeit zu nasser Bodenbedingungen bei der Pflugarbeit hängt vom Zeitpunkt ab. Nach Mais oder Zuckerrübe gelten etwa die gleichen Bedingungen wie bei der Ernte, nach Getreide ist der Spielraum größer und die Wahrscheinlichkeit feuchter Bedingungen vergleichsweise gering. Die Kräfte werden aber mit dem Furchenrad ausschließlich im Unterboden abgestützt mit entsprechend höheren Eingangsdrücken (KELLER ET AL., 2002; WEISSKOPF ET AL., 2000). Beim Einsatz eines vierscharigen Pfluges überrollt das Furchenrad des Schleppers nach ZAPF (1997) ca. ein Drittel der gepflügten Fläche. Bei später Ernte unter bereits nassen Bedingungen bewirkt die Pflugarbeit einen zusätzlichen Belastungsimpuls. Die Pflugarbeit ist deshalb insgesamt als relativ risikoreich einzustufen.

Ersetzt lockernde Grundbodenbearbeitung mit geringerer Arbeitstiefe dauerhaft den Pflug, dann rückt die nicht mehr bearbeitete Zone nach oben. Deshalb muss bei konservierender Bodenbearbeitung in besonderem Maß auf geringe Bodenbeanspruchung geachtet werden, um nachteilige Verdichtungen unterhalb der Lockerungstiefe zu verhindern.

Mit diesen Überlegungen wird klar, dass der erste und damit wirksamste Schritt zur Vermeidung von Bodenverdichtungen darin besteht, alle Arbeitsverfahren im Frühjahr und grundsätzlich alle häufig durchgeführten Feldfahrten konsequent bodenschonend zu gestalten. Konkret bedeutet dies: Zeitfenster mit ausreichender Befahrbarkeit nutzen und nur mit den geringst möglichen Reifeninnendrücker ins Feld fahren.

5.4 Risiken für Umweltgüter

Der Aspekt der Erheblichkeit eines Schadens durch Bodenverdichtung erfordert einen Exkurs zu den möglichen Wirkungen auf Umweltgüter außerhalb der Landwirtschaft. Genannt werden (VAN DER PLOEG ET AL., 2006):

- größere Hochwassergefahr
- Verstärkung der Bodenerosion
- höhere Rate klimarelevanter Stickstoffausgasung

Der Einfluss der Bodeneigenschaften auf die Hochwasserentstehung ist nach Aussagen der Experten (NIEHOFF & BRONSTERT, 2002; AUERSWALD, 2002) differenziert zu beurteilen. Die Hochwasserereignisse an den großen Flüssen Mitteleuropas werden durch Niederschläge hervorgerufen, die durch große Überregnungsflächen und –dauern gekennzeichnet sind. Die Landnutzung ist in diesen Fällen von untergeordneter bis vernachlässigbarer Bedeutung, weil ab einem bestimmten Zeitpunkt alle Böden wassergesättigt sind und keine nennenswerte Infiltrationsleistung mehr aufweisen. Dagegen können die Bodeneigenschaften bei lokalen Starkregen, die meist nur kurze Zeit andauern, sehr wohl eine wichtige Rolle für die Abflussspitze und das Volumen eines Hochwassers spielen. Entscheidend ist, wie lange an der Bodenoberfläche Strukturen für die Infiltration offen bleiben und damit Oberflächenabfluss mit der damit verbundenen Erosionsgefahr vermieden wird. Dies kann vorteilhaft mit Mulchsaattverfahren und konservierender Bodenbearbeitung erreicht

werden. Das Vermeiden von Bodenverdichtungen ist also ein wichtiger, aber allein nicht ausreichender Baustein zur Verbesserung der Infiltrationsleistung und des Erosionsschutzes.

Die Feststellung, dass die klimarelevanter N_2O -Ausgasung auf stark verdichteten Böden wegen Sauerstoffmangel höher ist, ist richtig. Weil die Böden keineswegs in großem Umfang stark verdichtet sind, rückt diese potenzielle Schadenswirkung allerdings in den Hintergrund.

5.5 Zusammenfassende Risikobeurteilung

Eine zusammenfassende Risikobeurteilung kommt zu dem Schluss, dass dem Landwirt Schaden in Form von entgangenem Gewinn (Ertragseinbußen, höhere Aufwendungen für Betriebsmittel) entstehen kann, wenn er die Bodenstruktur schädigt, weil er zur Unzeit oder mit nicht angepasster Technik ins Feld fährt. Die Hauptrisiken gehen von den Feldarbeiten im Frühjahr und von allen häufig durchgeführten Feldfahrten mit hohen Radlasten aus. Der mögliche Schaden liegt allerdings in einem Bereich, der mangels Vergleich meist nicht als Verlust empfunden wird. Die Kosten für bodenschonende Ausrüstung dem durch suboptimale Bodenstruktur entgangenem Gewinn gegenüberzustellen, ist objektiv kaum zu leisten.

Risiken für Umweltgüter bestehen vorrangig im Zusammenhang mit der Bodenerosion. Bodenschonendes Befahren muss in ein Gesamtkonzept zum landwirtschaftlichen Bodenschutz integriert werden, das Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzstrategie und Fruchtfolgegestaltung umfasst.

6 Schlussfolgerungen

Wesentlicher Vorteil der Marktfruchtbetriebe in Bayern gegenüber Konkurrenten mit wettbewerbsfähigeren Betriebsstrukturen ist die Standortgunst. Fruchtbare Böden und humides Klima bieten die Voraussetzungen für Höchstserträge. Das Klima ist kurz- und mittelfristig nicht beeinflussbar, wohl aber die Leistungsfähigkeit der Böden mit Blick auf den Wasserhaushalt.

Nicht allein das Vermeiden von Bodenschadverdichtungen sollte Zielsetzung bei der Bodenbewirtschaftung sein, sondern vielmehr der Erhalt und die Schaffung von Bodengefügeeigenschaften, die als eine der tragenden Säulen einen langfristig wettbewerbsfähigen landwirtschaftlichen Betrieb ausmachen. Der Grundsatz ist einfach: Bei nassen Bodenverhältnissen nicht aufs Feld fahren und alle Feldfahrten mit größt und best möglichen Reifen und geringst möglichen Reifeninnendrücken durchführen. Orientierungswerte für maximale Reifeninnendrucke wurden von verschiedenen Arbeitsgruppen vorgeschlagen. Zu entscheiden, wie weit der Aufwand zum Bodengefügeschutz im Einzelfall gehen soll und was wirklich kurz- oder langfristig rentabel ist, bleibt eine Herausforderung; für präzise Analysen reicht das vorhandene Wissen nicht immer aus. Für den Praktiker ist es schwierig, alternative Fahrzeugkonzepte oder Verfahren hinsichtlich ihres Potenzials an Bodenbelastung oder Bodenschonung objektiv zu vergleichen. Ein höheres Maß an Transparenz – durch Hersteller oder unabhängige Prüfinstanzen – ist wünschenswert.

Die Risiken für Pflanzenproduktion und Umweltgüter werden von Wissenschaftlern unterschiedlich eingeschätzt. Der Stand des Wissens spricht gegen extreme Positionen, sowohl in die eine wie auch in die andere Richtung („die Böden sind großteils schadverdichtet“ oder „kein Handlungsbedarf“). Wer die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe im Sinne von

Nachhaltigkeit als Zielsetzung akzeptiert, wird weiterhin versuchen, mit Optimierung von Technik und Arbeitsverfahren bodenschonenden, kostensparenden und ertragreichen Pflanzenbau zu realisieren. Grenzen, die das Gesamtgewicht der Fahrzeuge setzt, müssen anerkannt werden. Alternative Lösungswege zur Gestaltung des Fahrverkehrs auf den Feldern sollten auf ihre Tauglichkeit für hiesige Verhältnisse getestet werden.

Literatur

- [1] ANSORGE, D. AND R. GODWIN (2006): High axle load – track – tire comparison. *Advances in GeoEcology* 38, 9-14
- [2] ARVIDSSON, J. (2001): Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden. I. Soil physical properties and crop yield in six field experiments. *Soil & Tillage Research* 60, 67-78
- [3] AUERSWALD, K. (2002): Landnutzung und Hochwasser. In: *Rundgespräche der Kommission für Ökologie*, Bd. 24 „Katastrophe oder Chance? Hochwasser und Ökologie“, 67-76
- [4] BRANDHUBER, R. (2005): Bodengefüge – Status und Veränderungen. In: *LfL Schriftenreihe 8/2005: 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern*, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, 57-60
- [5] BRUNOTTE, J., C. SOMMER, E. ISENSEE UND P. WEISSKOPF (2005): Der Boden unter Druck. *Landtechnik* 60, 150-151
- [6] Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2002): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion, *Bund-Länder-Papier*, Selbstverlag, Bonn
- [7] CHAMEN, W. (2006): Controlled traffic farming on a field scale in the UK. *Advances in GeoEcology* 38, 251-260
- [8] CRAMER, B., J. BOTSCHKE UND TH. WEYER (2006): Untersuchungen zur Bodenverdichtung nordrhein-westfälischer Böden. *Bodenschutz* 11, H. 3, 64-71
- [9] DEFOSSEZ, P. AND G. RICHARD (2002): Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. *Soil & Tillage Research* 67, 41-67
- [10] DEMMEL, M. (2000): Kommen die Roboter auf den Acker? In: *Sonderheft Traktoren 2001*, dlz H. 13/2000, 32-35
- [11] DISERENS, E. UND E. SPIESS (2004): Wechselwirkung zwischen Fahrwerk und Ackerboden – TASC: Eine PC-Anwendung zum Beurteilen und Optimieren der Bodenbeanspruchung. *FAT-Berichte* 613/2004, Tänikon
- [12] DOMSCH, M. (1955): *Probleme der Bodenbearbeitung*. Deutscher Bauernverlag, Berlin
- [13] DÜRR, H.-J., H. PETELKAU UND C. SOMMER (1995): *Literaturstudie Bodenverdichtung*, UBA-Texte 55/95, Umweltbundesamt Berlin
- [14] DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) (1995): *Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden*. DVWK-Merkblätter 234
- [15] ETANA, A. AND I. HÅKANSSON (1994): Swedish experiments on the persistence of subsoil compaction caused by vehicles with high axle load. *Soil & Tillage Research* 29, 167-172

-
- [16] FAZEKAS, O. UND R. HORN (2005): Zusammenhang zwischen hydraulischer und mechanischer Bodenstabilität in Abhängigkeit von der Belastungsdauer. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 60-67
- [17] GIESKA, M., R. VAN DER PLOEG, P. SCHWEIGERT UND N. PINTER (2003): Physikalische Bodendegradierung in der Hildesheimer Börde und das Bundes-Bodenschutzgesetz. *Berichte über Landwirtschaft* 81, 485-511
- [18] GYSI, M. (2001): Compaction of a eutric cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland: Field data and a critical state soil mechanics model approach. *Soil & Tillage Research* 61, 133-142
- [19] HÅKANSSON, I. (2005): Machinery-induced compaction of arable soils: Incidence – consequences – counter-measures. Swedish University of Agricultural Sciences, Reports from the division of Soil Management, Uppsala 2005
- [20] HAMZA, M.A. AND W.K. ANDERSON (2005): Soil compaction in cropping systems – A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research* 82, 121-145
- [21] HORN, R. (1999): Verdichtung von Böden – Überlegungen zum Prozess und zur Prognose der mechanischen Belastbarkeit. *Wasser & Boden* 51/5, 9-13
- [22] HORN, R., M. LEBERT UND N. BURGER (1991): Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Böden als Pflanzenstandort auf der Grundlage von Labor- und in situ-Messungen. *Materialien* 23, Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München
- [23] HORN, R., B. RICHARDS, W. GRÄSLE, TH. BAUMGARTL AND C. WIERMANN (1998): Theoretical principles for modelling soil strength and wheeling effects – a review. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161, 333-346
- [24] ISENSEE, E. UND A. SCHWARK (2006) Langzeitwirkung von Bodenschonung und Bodenverdichtung auf Ackerböden. *Berichte über Landwirtschaft* 84, 17-48
- [25] KELLER, T. AND J. ARVIDSSON (2004): Technical solutions to reduce the risk of sub-soil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. *Soil & Tillage Research* 79, 191-205
- [26] KELLER, T., A. TRAUTNER AND J. ARVIDSSON (2002): Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. *Soil & Tillage Research* 68, 39-47
- [27] KOCH, H.-J., R. BRANDHUBER, L. SCHÄFER-LANDEFELD UND N. STOCKFISCH (2004): Auswirkungen der Überfahrt von Zuckerrübenrodern und Gülle selbstfahrenden auf Bodengefügeeigenschaften unter Praxisbedingungen. *Zuckerindustrie* 129, Nr. 9, 642-646
- [28] Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2006): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Thematische Strategie für den Bodenschutz, Brüssel
- [29] KOOLEN, A.J. AND J.J.H. VAN DEN AKKER (2000): On the use of agricultural soil data required in soil deformation models. *Advances in GeoEcology* 32, 118-125

-
- [30] LEBERT, M., J. BRUNOTTE, C. SOMMER UND H. BÖKEN (2006): Bodengefüge gegen Verdichtungen schützen – Lösungsansätze für den Schutz landwirtschaftlich genutzter Böden. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 633-641
- [31] LEBERT, M. UND H. BÖKEN (2004): Vermeiden von Bodenverdichtungen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen – Anforderungen an Vorsorge und Gefahrenabwehr. *Bodenschutz* 2/2004, 36-43
- [32] LEBERT, M., J. BRUNOTTE UND C. SOMMER (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden / Regelung zur Gefahrenabwehr. UBA-Texte 46/04, Berlin
- [33] LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2005): Vorsorgender Bodenschutz beim Einsatz schwerer Landmaschinen. LfL-Information, Freising-Weihenstephan 2005
- [34] NIEHOFF, D. & A. BRONSTERT (2002): Landnutzung und Hochwasserentstehung: Modellierung anhand dreier mesoskaliger Einzugsgebiete. *Wasser & Boden* 54/10, 20-28
- [35] NIEMINEN, T., M.J. MOMONEN AND M. SAMPO (1994): Unmanned tractors for agricultural applications. In: *Proceedings of the XII World Congress on Agricultural Engineering 1994 in Milano*, Vol. 2, 1143-1152
- [36] NOLTING, K., J. BRUNOTTE, M. LORENZ UND C. SOMMER (2006): Bodenverdichtung: Bewegt sich was? Setzungsmessungen im Unterboden unter hoher Radlast. *Landtechnik* 61, 190-191
- [37] PETH, S. AND R. HORN (2006): The mechanical behaviour of structured and homogenized soil under repeated loading. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 401-410
- [38] PYTKA, J. (2005): Effects of repeated rolling of agricultural tractors on soil stress and deformation state in sand and loess. *Soil & Tillage Research* 82, 77-88
- [39] RAPER, R. AND J.M. KIRKBY (2006): Soil compaction: How to do it, undo it, or avoid doing it. *ASABE Distinguished Lecture Series No. 30*, 1-30
- [40] SCHÄFER-LANDEFELD, L., R. BRANDHUBER, S. FENNER, H.-J. KOCH AND N. STOCKFISCH (2004): Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. *Soil & Tillage Research* 75, 75-86
- [41] SCHAEFFLER, H. (1951): Erhaltung und Mehrung der Bodenfruchtbarkeit. *Landw. Jahrbuch für Bayern* 1951, 28. Jahrg., Sonderheft April 1951
- [42] SCHELLE, H. (2004): *Projekte zum Erfolg führen*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München
- [43] SCHÖN, H. UND G. OLFE (1986): Entwicklung und Stand des Schlepper- und Maschineneinsatzes im Pflanzenbau. In: *KTBL-Schrift 308 Bodenverdichtungen*, 21-34
- [44] SCHJØNNING, P., M. LAMANDÉ, F.A. TØGERSEN, J. ARVIDSSON AND TH. KELLER (2006): Distribution of vertical stress at the soil-tyre interface: Effects of tyre inflation pressure and the impact on stress propagation in the soil profile. *Advances in GeoEcology* 38, 38-46
- [45] SCHRÖDER, D. UND R. SCHNEIDER (2004): Beurteilung und Vermeidung von anthropogenen Boden(schad)verdichtungen. *Berichte über Landwirtschaft* 82, 173-187

-
- [46] SEYBOLD, C., J. HERRICK AND J. BREJDA (1999): Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Science* 164, 224-234
- [47] SHARRATT, B., W. VOORHEES, G. MCINTOSH AND G. LEMME (1998): Persistence of soil structural modifications along a historic wagon trail. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 774-777
- [48] SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung und Bodenverformung unter Schlepperreifen. *Grundlagen der Landtechnik* 5/1953, 49-63
- [49] SÖHNE, W. (1951): Das mechanische Verhalten des Ackerbodens bei Belastung. *Grundlagen der Landtechnik* 1/1951
- [50] SOMMER, C. (1999): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. *Bodenschutz* 1/1999, 15-19
- [51] SOMMER, C. (1985): Ursachen und Folgen von Bodenverdichtung sowie Möglichkeiten zu ihrer Verminderung. *Landtechnik* 40, 9, 378-384
- [52] STAHL, H., K. MARSCHALL UND H. GÖTZE (2005): Bodendruck und Bodenbelastbarkeit – Abschlussbericht zum Projekt “Risikomanagement Bodengefüge”. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 15
- [53] TAYLOR, J.H., (1983): Benefits of permanent traffic lanes in a controlled traffic crop production system. *Soil & Tillage Research* 3, 341-359
- [54] TIJINK, F. UND G. SPOOR (2004): Technische Leitlinien zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtung. *Zuckerindustrie* 129, 647-652
- [55] TULLBERG, J.N., Y.X. LI, D.M. FREEBAIRN AND C.A. CIESIOLKA (2004): Effect of controlled traffic and conservation tillage on runoff and crop yield. ASAE Paper No. 041071, ASAE St. Joseph, MI, USA
- [56] VAN DEN AKKER, J.J.H. AND A. CANARCHE (2001): Two European concerted actions on subsoil compaction. *Landnutzung und Landentwicklung* 42, 15-22
- [57] VAN DER PLOEG, R., W. EHLERS UND R. HORN (2006): Schwerlast auf dem Acker. *Spektrum der Wissenschaft* August 2006, 80-88
- [58] WEISSKOPF, P., H.-R. OBERHOLZER AND J. REK (2006): Influence of different regeneration courses on structural and microbiological properties of a compacted soil. *Advances in GeoEcoogy* 38, 165-174
- [59] WEISSKOPF, P., U. ZIHLMANN, C. WIERMANN, R. HORN, TH. ANKEN AND E. DISERENS (2000): Influences of conventional and onland-ploughing on soil structure. *Advances in GeoEcoogy* 32, 73-81.
- [60] WERNER, D. UND R. PAUL (1999): Kennzeichnung der Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. *Wasser & Boden* 51/12, 10-14
- [61] WERNER, D. UND B. WERNER (2001): Verdichtung und Regeneration des Gefüges eines schluffigen Tonbodens (Tschernosem): Bodenphysikalische, computertomographische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164, 79-90
- [62] YAVUZCAN, H.G., D. MATTHIES AND H. AUERNHAMMER (2005): Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impact of tillage method and soil water content. *Soil & Tillage Research* 84, 200-215

- [63] ZAPF, R. (1997): Mechanische Bodenbelastung durch die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion in Bayern, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau 7/97, Freising, München

Landtechnische Möglichkeiten zur Vermeidung von schädigenden Bodenbelastungen im Ackerbau

Rupert Geischeder, Dr. Markus Demmel
Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik,
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft,
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Zusammenfassung

Der Einsatz großer und schwerer Maschinen im Ackerbau birgt das Risiko von Bodenverdichtungen und damit von unerwünschten Veränderungen der Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen. Dieses Risiko steigt mit zunehmender Bodenfeuchte. Moderne Radialreifen für Landmaschinen besitzen ein hohes Potenzial zur Bodenschonung, das jedoch durch die Anpassung des Reifenluftdruckes an die jeweiligen Einsatzverhältnisse (Radlast, Arbeitsgeschwindigkeit) umgesetzt werden muss. Grundsätzlich ermöglichen geringere Radlasten niedrigere Reifenluftdrücke. Bei gleicher Tragfähigkeit erlauben niedrigere Arbeitsgeschwindigkeiten im Feld einen niedrigeren Reifenluftdruck als die höheren Transportgeschwindigkeiten auf der Straße. Eine Reifenluftdruckverstellanlage kann helfen diese Anpassung schnell, bequem und sicher durchzuführen. Fahrzeuge, besonders Anhänger mit Hochdruckbereifung (LKW-Straßenbereifung) sollten auf keinen Fall auf dem Feld fahren.

Beim sogenannten „On-Land-Pflügen“ wird eine Belastung der Pflugsohle und des Unterbodens vermieden und der Einsatz von Breitreifen oder Zwillingsrädern möglich. Bandlaufwerke ermöglichen das bodenschonende Abstützen großer Lasten und eine effektive Zugkraftübertragung.

In Zukunft könnte die Anwendung der Prinzipien des „Controlled Traffic Farming“ den Anteil an befahrenem Boden im Feld reduzieren oder der Einsatz von kleinen autonomen Maschinen das Risiko von Bodenverdichtungen gänzlich vermeiden.

1 Einleitung

Der die Landwirtschaft kennzeichnende Strukturwandel hin zu größeren Produktionseinheiten ist mit einem Anstieg der Leistung und der Schlagkraft der eingesetzten Landmaschinen verbunden. Landmaschinen mit höherer Leistung und Schlagkraft sind zumeist auch größer und damit schwerer. Dies ist besonders deutlich bei Erntemaschinen zu beobachten, gilt jedoch auch für die meisten anderen Arbeitsverfahren.

Der Einsatz schwerer Maschinen im Ackerbau birgt das Risiko von Bodenverdichtungen und damit von unerwünschten Veränderungen der Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen, insbesondere im nicht mehr regelmäßig gelockerten Unterboden (CHAMEN ET AL., 2003; HAKANSSON, 2005; HAMZA & ANDERSON, 2005). Angepasste und optimierte Reifen (Gürtelreifenkonstruktionen für Landmaschinen) und neue Fahrwerkskonzepte (Verteilung des Fahrzeuggewichts auf 3 Achsen, Vermeiden von Mehrfachüberrollung durch spurversetztes Fahren, Gummibandlaufwerke mit sehr großer Aufstandsfläche) sollen diese Risiken mindern (THANGAVADIVELU ET AL., 1992; TIJINK & VAN DER LINDEN, 2000, RAPER & KIRKBY, 2006). Wichtig ist, die in vielen Fällen schon vorhandenen technischen Möglichkeiten zur Bodenschonung zu erkennen und zu nutzen und, wo notwendig, weitergehende Maßnahmen zu ergreifen. In den folgenden Ausführungen sollen die vorhandenen Potenziale aufgezeigt und Lösungsansätze beschrieben werden, die zu einer bodenschonenden und nachhaltigen Bewirtschaftung und zur Erhaltung der Bodenfunktion beitragen.

Die technischen Möglichkeiten zur Bodenschonung lassen sich in zwei Bereiche gliedern:

- Optimierung des Systems Reifen - Boden
- Veränderung von Mechanisierungsverfahren und -prozessen

2 Bodenschonendes Befahren durch Optimierung des Systems Reifen – Boden

2.1 Zusammenhang zwischen Reifeninnendruck und Bodendruck

Für das Überfahren von Ackerböden gilt generell: **je niedriger der Reifenluftdruck, desto niedriger ist auch der Kontaktflächendruck und somit der Bodendruck.** Untersuchungen am Institut für Landtechnik in Kiel haben gezeigt, dass bei Radialreifen der Bodendruck in 10 cm Tiefe etwa dem Reifeninnendruck entspricht (WEIBBACH, 2003) (Abb. 1). Dies bedeutet, dass der Reifeninnendruck möglichst niedrig gewählt werden muss. Hier sind allerdings technische Grenzen zu beachten, da der Reifenluftdruck einen direkten Einfluss auf die Reifentragfähigkeit hat, welche die Radlast aufnehmen muss. Darüber hinaus hängt der einzustellende Reifenluftdruck von der Reifenbauart, der Reifengröße und der Fahrgeschwindigkeit ab.

Die entsprechenden Zusammenhänge sind in den Reifenluftdrucklisten und Betriebsanleitungen der Reifenhersteller niedergelegt. Tabelle 1 zeigt ein Beispiel für einen bestimmten Ackerschlepperhinterreifen der Dimension 600/65 R 38. Je höher der Reifenluftdruck, desto höher ist die Reifentragfähigkeit (bei gleicher Fahrgeschwindigkeit). Höhere Fahrgeschwindigkeiten erfordern bei gleicher Reifentragfähigkeit höhere Reifenluftdrücke. Diese prinzipiellen Zusammenhänge gelten bei allen Reifen.

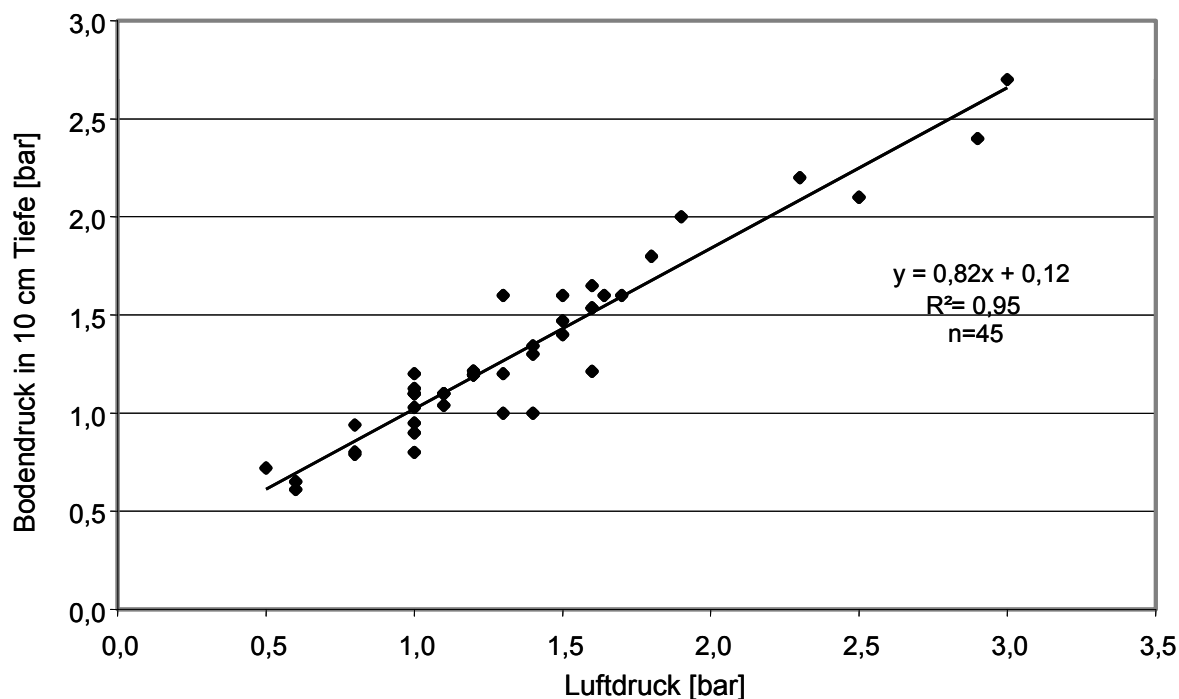


Abb. 1: Gemessener Bodendruck in 10 cm Tiefe bei unterschiedlichen Reifeninnendrü-
cken. In 10 cm Tiefe ist der Bodendruck annähernd so hoch wie der Reifeninnen-
druck (Quelle: WEIBBACH, 2003)

Tab. 1: Reifentragfähigkeit in Abhängigkeit von Reifenluftdruck und Fahrgeschwindig-
keit für einen Traktorreifen Typ Michelin XM108 mit der Dimension 600/65 R
38 (Quelle: MICHELIN)

Tragfähigkeit (kg) pro Reifen												
0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	Luftdruck (bar)
	1830	2230	2460	2700	2940	3180	3410	3530	3650			50 km/h
	1830	2230	2580	2940	3290	3650						40 km/h
1700	2040	2380	2760	3140	3520	3910						30 km/h
2140	2520	2900	3370	3840	4310	4770	5240	5480				10 km/h

Im gezeigten Beispiel ermöglicht eine Reduzierung der notwendigen Reifentragfähigkeit um 500 kg pro Reifen (durch Gewichtseinsparung) bei der Feldarbeit (10 km/h) eine Verminderung des Reifenluftdruckes um 0,2 bar. Bei einer notwendigen Reifentragfähigkeit von 3300 kg (z. B. mit dreipunktangebauter Kreiseleggen-Drillmaschinen Kombination) kann im Feld mit 0,8 bar Reifenluftdruck gearbeitet werden (10 km/h). Soll mit dieser Geschwindigkeit auf der Straße mit 50 km/h gefahren werden, so muss der Reifenluft-

druck auf 1,6 bar eingestellt werden. Eine optimale Anpassung des Reifenluftdruckes (minimaler Luftdruck) macht somit Kompromisse oder die Möglichkeit der Luftdruckeinstellung am Feld notwendig (siehe Kapitel 2.5).

2.2 Reduzierung der Radlast

Die Radlast ergibt sich aus dem Maschinengewicht, der Anzahl der Räder und der Gewichtsverteilung auf die einzelnen Räder. Die Radlast kann verringert werden, indem das Maschinengewicht soweit als möglich reduziert wird, z. B. durch Abbauen von Frontlader oder Ballastgewichte, wenn sie beim Einsatz oder zur Ballastierung (für hohe Zugleistung) nicht benötigt werden. Des Weiteren sollte die Traktorgröße so an den Arbeitsgang angepasst werden, dass möglichst die leichteste geeignete Maschine zum Einsatz kommt. Diese Überlegungen sollten bereits bei der Auswahl eines bestimmten Traktormodells einfließen. In vielen Motorleistungsklassen bieten die Traktorenhersteller Modelle aus unterschiedlichen Baureihen an. Dabei können sich bei gleicher Antriebsleistung und gleichen Bereifungsgrößen die Leergewichte um bis zu 30 % zwischen der leichteren und der schweren Baureihe unterscheiden.

Durch den Einsatz zusätzlicher Räder und Achsen wird das Gewicht auf mehr Räder verteilt, wodurch sich die Einzelradlast (und damit der notwendige Reifenluftdruck) reduziert. Eine Möglichkeit sind Zwillingsräder, die sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterachse angebracht werden können. Die Verbreiterung der Maschine entspricht jedoch in der Regel nicht der Straßenverkehrszulassungsverordnung (StVZO), wodurch sich nur voll arrundierte Betriebe für solche Lösungen entscheiden können. Ein häufiger Umbau der Zwillingsräder zwischen Feld- und Straßenfahrt lässt sich kaum realisieren.

Der Einsatz zusätzlicher Achsen hingegen kann beim Neumaschinenkauf eher berücksichtigt werden. Gerade Maschinengemeinschaften und -kooperationen, die z. B. über hohe Auslastungsmöglichkeit und geeignete Flächenstruktur verfügen, sollten Maschinen und Geräte wählen, deren Last nicht komplett in der Dreipunkthydraulik getragen wird, sondern die mit eigenem Fahrwerk ausgestattet sind. Hierbei wird ein Großteil des Gewichts der Anbaumaschine von dem zusätzlichen Fahrwerk getragen.

2.3 Verwendung bodenschonender Radialreifen

Der heutige Stand der Technik sind Radialreifen (als Gürtelreifen bekannt). Ihre Karkasse besteht nicht wie bei den Diagonalreifen (Mantelreifen) aus zwei diagonal zur Lauffläche übereinander angeordneten gummierten Cordfädenmatten, sondern aus einer oder mehreren Lagen radial angeordneten Cordfädenmatten (Abb. 2). Radialreifen sind dadurch elastischer und können besser an unterschiedliche Einsatzbedingungen angepasst werden. Moderne Radialreifen bieten gegenüber dem Diagonalreifen, die heute hauptsächlich im Forstbereich Verwendung finden, viele Vorteile.

Radialreifen zeichnen sich vor allem durch ihre hohe Tragfähigkeit bei gleichzeitig niedrigem Luftdruck aus. Durch die geringere Steifigkeit der Karkasse und den niedrigeren Reifeninnendruck verfügen sie über höhere Aufstandsflächen als dies bei Diagonalreifen gleicher Größe der Fall ist. Die größere Aufstandsfläche verringert den Kontaktflächendruck und ermöglicht eine bessere Zugkraftübertragung auf den Ackerboden, wodurch Kraftstoff eingespart wird (ANONYMUS, 2005).

Über die Veränderung des Reifeninnendruckes kann das vorhandene Potenzial der Radialreifen bei Straßen- und Ackerfahrt ausgenutzt werden. Eine Untersuchung hat ergeben, dass bei Anhängern durch den Wechsel von Diagonalreifen zu Radialreifen mit angepas-

tem Reifeninnendruck 10 % Kraftstoff auf dem Acker und 15 % auf der Straße eingespart werden kann (LENGE, 2005).

REIFENBAUARTEN

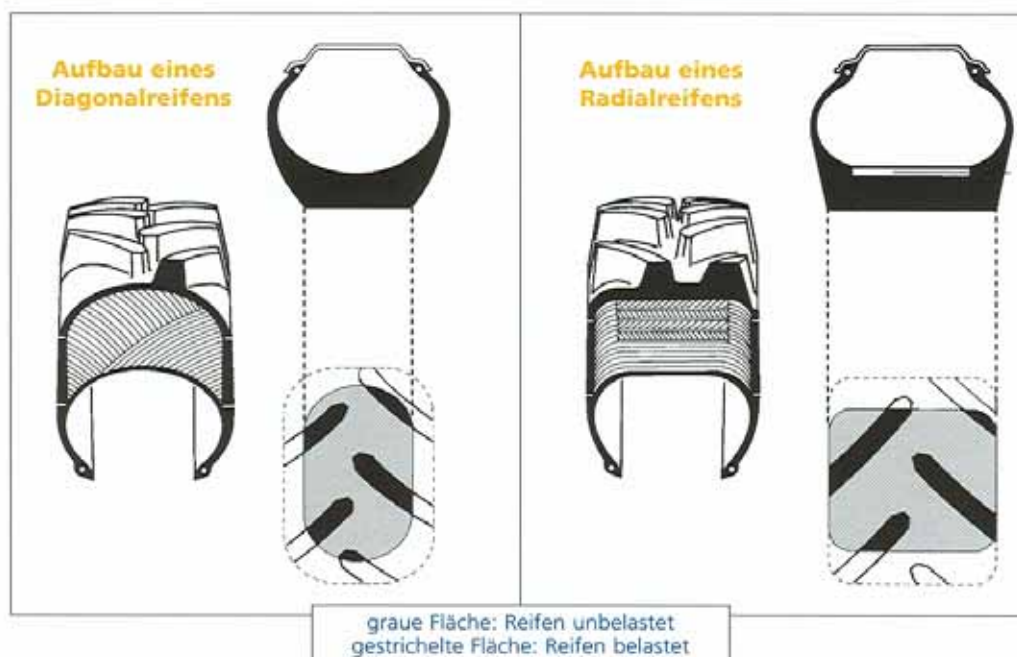


Abb. 2: Schematischer Reifenaufbau verschiedener Bauarten (nach Michelin Reifentabelle 2006)

Die landwirtschaftlichen Radialreifen werden ständig weiterentwickelt. Ziel ist es eine möglichst hohe Tragfähigkeit bei geringem Reifeninnendruck und gleichzeitig hoher Geschwindigkeit zu behalten. Die Firma Michelin präsentierte zur Agritechnica 2003 den Niederquerschnitts-Radialreifen XeoBib, der als Standardtraktorreifen (650/60 R38) bei einer Radlast von 3.300 kg mit 0,8 bar Reifeninnendruck bis 50 km/h auf der Straße freigegeben ist. Diese Entwicklung stellt zu den herkömmlichen Radialreifen eine enorme Verbesserung dar. Bisherige vergleichbare Radialreifen benötigen für diesen Geschwindigkeitsbereich 1,6 bar Reifeninnendruck. Diese neue Reifentechnologie ist allerdings auch teurer als die herkömmlichen Radialreifen.

Bei einer Umfrage durch die Landwirtschaftskammer Münster und top agrar zum Einsatz von Radialreifen an Traktoren konnten 2.300 Fragebögen ausgewertet werden. Die Analyse ergab, dass 70 % der Landwirte den Reifenluftdruck am Traktor nicht verändern. 25 % hingegen passen den Reifeninnendruck an unterschiedliche Einsatzbereiche und Einsatzverhältnisse an und 5 % der Landwirte fahren mit dem Montageindruck von 2,5 – 3,0 bar (UPPENKAMP, 1999). Demzufolge nutzen nur 25 % der Landwirte das Potenzial von Radialreifen zur Bodenschonung. Mit Informationen und Aufklärung sollte intensiver als bisher versucht werden, die Landwirte zu überzeugen und zu motivieren, die Möglichkeiten der mittlerweile flächendeckend auf den Betrieben verfügbaren Radialreifen zu nutzen.

2.4 Reifendimensionen

Aus Untersuchungen und der Gegenüberstellung der Luftdrucklisten von Radialreifen für Landmaschinen unterschiedlicher Dimensionen geht klar hervor, dass größere und breitere Reifen bei gleichen Radlasten und Fahrgeschwindigkeiten mit niedrigeren Luftdrücken gefahren werden können. Deshalb sollte versucht werden, Landmaschinen mit größtmöglichen (Durchmesser und Breite) Reifen auszurüsten.

Stärkere Beachtung verdient die Bereifung von Transportfahrzeugen. Umgenutzte LKW-Anhänger mit Straßen-Hochdruckbereifung sollten auf keinem Fall im Acker eingesetzt werden. 8 oder 9 bar Reifenluftdruck bei einem Zweiachsanhänger mit 16 t Gesamtgewicht bedeuten 8 oder 9 bar Bodendruck in 10 cm Tiefe und Radlasten um die 4 t. Landwirtschaftliche Anhänger bieten oftmals die Möglichkeit mit wenig Mehrkosten mit bodenschonenden Reifen ausgerüstet zu werden (Abb. 3).

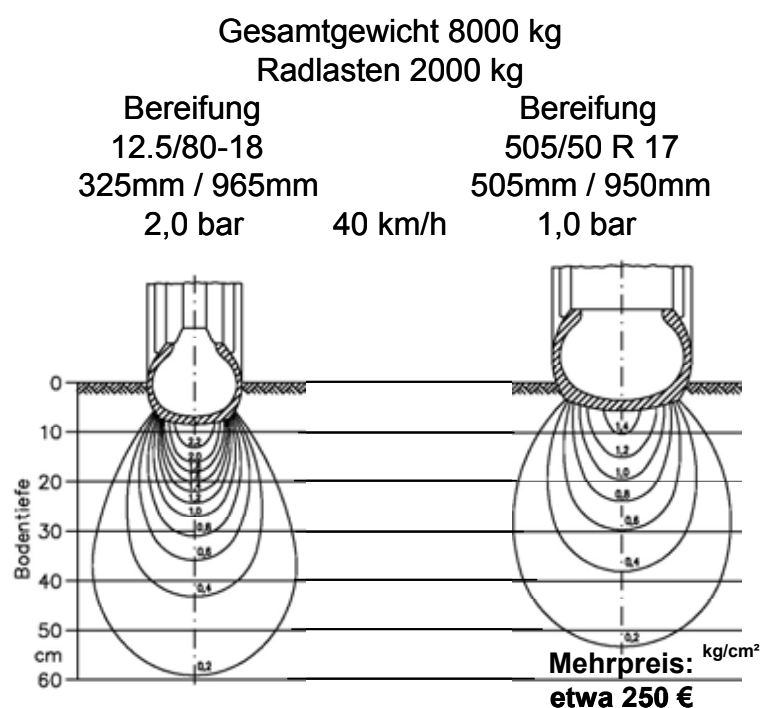


Abb. 3: Schematische Darstellung der Reduzierung des Bodendrucks durch optimierte Bereifung eines landwirtschaftlichen Anhängers (verändert nach SÖHNE, 1953)

Besonders kritisch sind hierbei die schmalen Pflegereifen zu hinterfragen, da sie die erforderlichen Tragfähigkeiten oft nur bei Luftdrücken deutlich über 3 bar erreichen. Die Nutzung einer Standard- oder sogar Breitbereifung ermöglicht eine bodenschonende Befahrung mit deutlich niedrigeren Luftdrücken (Abb. 4).

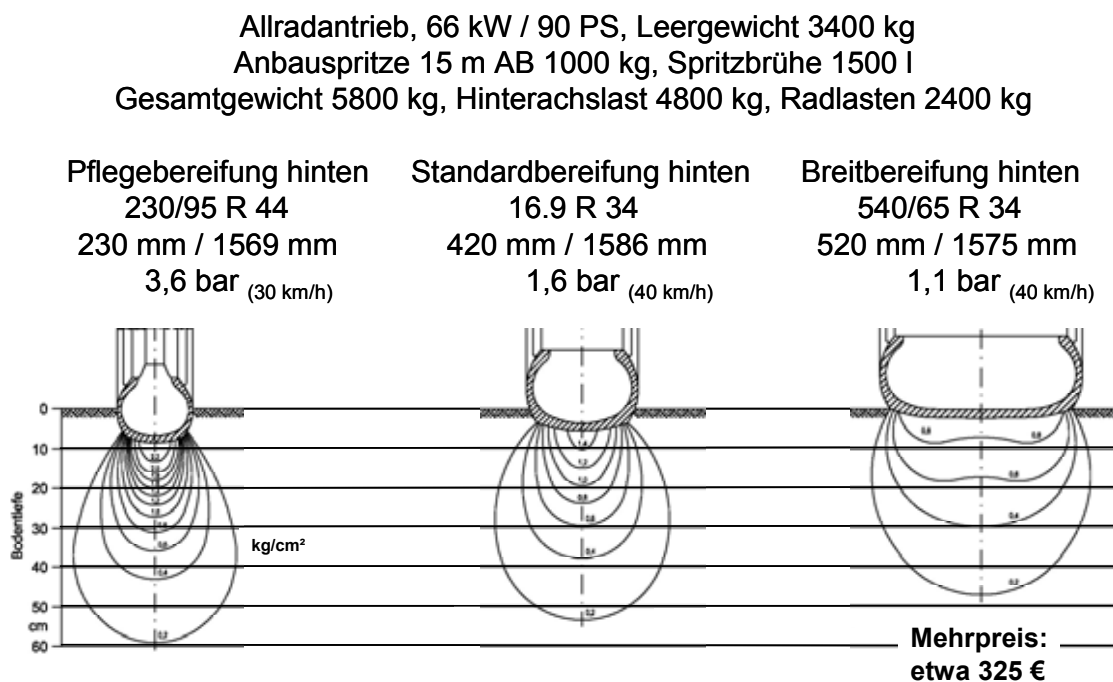


Abb. 4: Schematische Darstellung der Reduzierung des Bodendrucks bei der Nutzung von Standard- bzw. Breitreifen an einem Traktor mit angebaute Pflanzenschutzspritze (verändert nach SÖHNE, 1953)

2.5 Einsatz von Reifendruckverstellanlagen

Wie oben bereits dargestellt wird ein hoher Reifenluftdruck zumeist durch hohe Fahrgeschwindigkeiten notwendig, im Feld aber wäre bei gleicher Radlast und niedriger Arbeitsgeschwindigkeit ein geringerer Reifenluftdruck möglich. Deshalb wurde schon früh begonnen, Reifendruckverstellanlagen für den landwirtschaftlichen Bereich zu entwickeln. Diese Technik stammt aus dem Militärbereich, wo es darum ging, Geländefahrzeuge mit Radantrieb besser an die verschiedensten Bodenbedingungen anpassen zu können.

In Deutschland bieten verschiedene Firmen Lösungen für den landwirtschaftlichen Bereich an. Mit diesen Anlagen wird der Reifenluftdruck im Feld soweit verringert, wie dies unter den gegebenen Umständen (Tragfähigkeit, Arbeitsgeschwindigkeit) möglich ist. Für den Transport auf der Straße wird der Reifenluftdruck entsprechend der Vorgabe (Reifenluftdruckliste) des Reifenherstellers angehoben, damit der Rollwiderstand möglichst gering ist und die Tragfähigkeit bei schneller Fahrt ausreicht. Hierfür gibt es je nach Einsatzzweck und -bereich verschiedene Varianten.

Am preisgünstigsten sind mobile Rüstsätze. Hierbei werden die herkömmlichen Ventile durch Druckluftanschlusskupplungen ersetzt, wodurch die Luft schneller abgelassen oder eingefüllt werden kann. Auf die Druckluftkupplungen wird der Luftbefüll- und Luftablasshahn gesteckt, der mit einem Manometer ausgestattet ist. Der Befüllschlauch ist mit einem Anschluss an die Traktorluftdruckbremse versehen. Zum Aufpumpen eines Standardreifens geben die Hersteller zwei Minuten pro Rad an. Das Absenken des Reifenluftdruckes soll in der Hälfte der Aufpumpzeit durchzuführen sein. Diese Lösung kostet ca. 180,- € inkl. MwSt. und ist dann von Vorteil, wenn der Reifenluftdruck nicht öfters als

ein bis zwei mal pro Tag verändert werden soll z. B. bei der Bodenbearbeitung. Bei häufiger Luftdruckveränderung zwischen Straße und Feld z. B. bei der Gülleausbringung sind festeingebaute Reifendruckverstellanlagen erforderlich, die während der Fahrt betrieben werden können. Es existiert die sogenannte Einleiter- und Zweileiter-Technik.

Bei der **Einleiter-Technik** führt jeweils eine Druckleitung vom Luftverteiler zu den Reifen. Die Leitungen bestehen aus handelsgebräuchlichen Hydraulikschläuchen mit einem Innendurchmesser von 13 mm. Bei diesem System steht die gesamte Anlage vom Luftverteiler abwärts ständig unter Druck. Dadurch müssen etwa alle zwei Jahre die Dichtungen an den Drehüberträgern ausgetauscht werden.

Nachteile:

- Höherer Verschleiß an Dichtungen (Leitung steht ständig unter Druck) und somit höherer Wartungsaufwand
- Bei Undichtigkeiten (schleichender Plattfuß) totaler Luftverlust aller angeschlossenen Reifen einer Seite möglich, dadurch erhöhte Gefahr bei hohen Transportgeschwindigkeiten (Einbau von Kugelhähnen verhindert diese Gefahr)

Vorteile:

- Großer Leitungsquerschnitt, wodurch ein schnelles Befüllen bzw. Luftablassen möglich ist
- Große Querschnitte unanfälliger gegenüber Schmutz, Kondenswasser und Gummiresten aus der Reifenabnutzung

Die **Zweileiter-Technik** besteht aus einer Arbeitsleitung und einer Steuerleitung. Die Steuerleitung öffnet das Radventil, über die Arbeitsleitung strömt Luft in den Reifen bzw. wird Luft abgelassen. Die Steuerleitung besteht aus 2 mm dicken Polyamidrohren, 11 mm dicke Polyamidrohre dienen als Arbeitsleitung.

Nachteile:

- Höhere Montagekosten (größerer Aufwand)
- Leichtere Vereisung bzw. Verstopfung (Metall- und Gummiabrieb)
- Langsameres Luftablassen, da geringerer Leitungsdurchmesser

Vorteile:

- Jedes Rad ist mit einem eigenen Ventil abgesichert (bei Leckage kommt es nicht zum Luftverlust)
- Wesentlich höhere Dichtungsstandzeiten (Leitungen stehen nur bei Verstellung unter Druck)

Für ein zweiachsiges Fahrzeug kostet beispielsweise das Einleitersystem der Firma PTG ca. 1.800 € und das Zweileitersystem 2.850 € inkl. MWSt. Nach Aussagen der Firma PTG werden beinahe alle dreiachsigen Güllefässer, die in Holland und Norddeutschland ausgeliefert werden mit einer automatischen Reifendruckverstellanlage ausgerüstet.

3 Bodenschonung durch neue Mechanisierungsverfahren und -prozesse

Weiterreichende Schritte zur Reduzierung des Risikos von Bodenverdichtungen beinhalten zum Teil eine grundlegende Veränderung der Mechanisierung.

3.1 On-Land-Pflügen

Leistungsfähige Bodenbearbeitungsgeräte mit großen Arbeitsbreiten benötigen hohe Zugkräfte. Um diese zu realisieren, sind entsprechend hohe Gewichte der Zugmaschinen – der Traktoren erforderlich. Besonders beim Pflügen, bei dem in Deutschland fast ausschließlich in der Furche gefahren werden, wirkt die hohe Last des furchenseitigen Traktor-Hinterrades direkt auf den Unterboden (Abb. 5). RENIUS (1987) hat festgestellt, dass sich beim Pflügen in der Furche 45 % des Traktorgesamtgewichtes (inklusive Pfluggewicht und Ballast) und 50 % der Zugleistung auf dem furchenseitigen Hinterrad abstützen. Da diese Kräfte direkt auf den ungeschützten krumennahen Unterboden einwirken, kann es vor allem bei nassen Bodenbedingungen zu einer weiteren Verdichtung der Pflugsohle in dieser Spur führen. Dieser Bereich wird bei der jährlichen Bodenbearbeitung nicht gelockert, so dass mit einer längerfristigen Beeinträchtigung der Bodenfunktion sowie des Pflanzenwachstums zu rechnen ist.

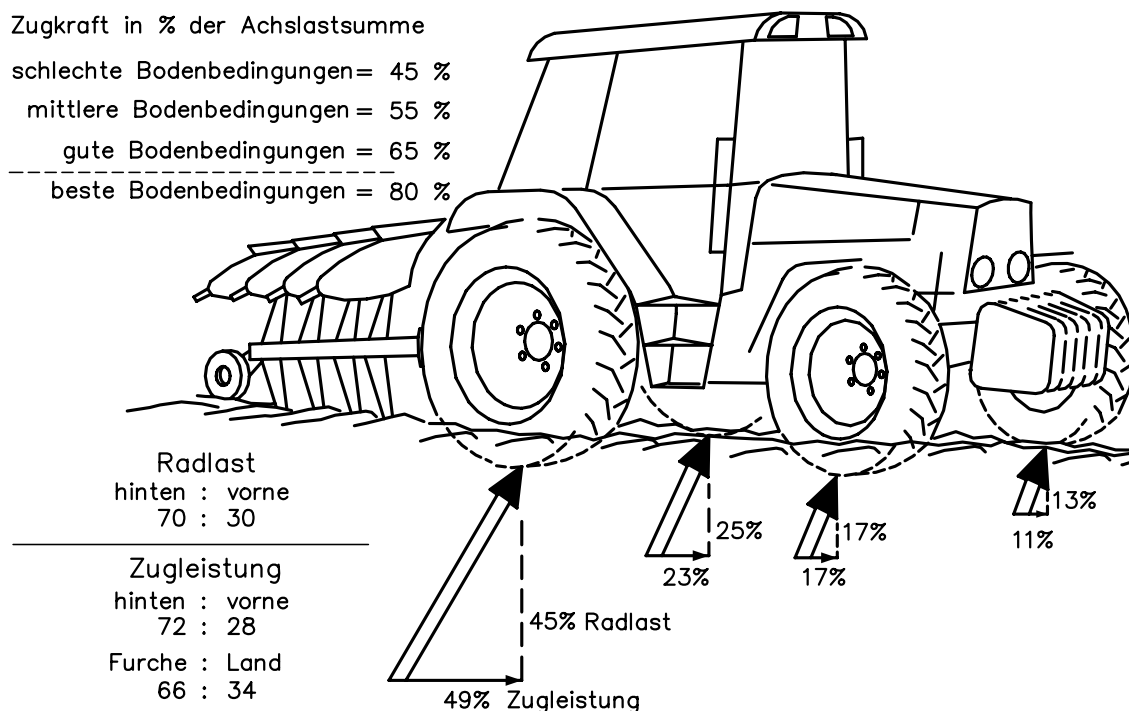


Abb. 5: Radlasten und Zugleistung beim Pflügen in der Furche (Quelle: RENIUS, 1987)

Um gerade auch bei der wendenden Grundbodenbearbeitung den Vorteil von großvolumigen Reifen oder Zwillingsreifen nutzen zu können, gibt es die Möglichkeit des „On-Land-Pflügens“. Dabei fährt der Traktor wie beim Grubbern mit allen Rädern auf dem Oberbo-

den, wobei eine gleichmäßigere Zugkraftverteilung sowie geringere Kontaktflächendrücke durch den Einsatz von breiteren Reifen erreicht werden. Der empfindliche krumennahe Unterboden wird nicht mehr direkt befahren und das Risiko einer Verdichtung sinkt. Für das On-Land-Pflügen muss jedoch die Arbeitsbreite des Pfluges mindestens so groß wie die Traktorbreite sein, um einen geradlinigen Zug zu erreichen. Günstiger ist es, wenn die Pflugarbeitsbreite um zwei Pflugkörper breiter ist als der Traktor selbst.

3.2 Gummibandlaufwerke

Gummibandlaufwerke zeichnen sich durch große Aufstandsflächen und eine hohe Zugkraftübertragung aus. Durch die große Kontaktfläche können hohe Lasten mit niedrigen rechnerischen (mittleren) Kontaktflächendrücken auf den Boden abgetragen werden. Dieser Aspekt kommt zunehmend bei schweren Erntemaschinen zum Tragen. Mähdrescher, selbstfahrende Rübenroder und selbstfahrende Kartoffelvollernter werden bereits mit neuester Gummibandlaufwerkstechnik ausgestattet. Innovationen bei der Fertigung von Gummibändern sowie bei der Fahrwerkstechnik haben zu einem deutlich erhöhten Fahrkomfort der Laufwerke auf der Straße geführt und die Gummibandstandzeiten erhöht. Mit einer Vorspannung des Gummibandes von über 20 t wurden die ausgeprägten Druckspitzen verringert, die unter den Umlenk- und Stützrollen der Bandlaufwerke der ersten Generation festgestellt worden waren. Bodendruckuntersuchungen des Instituts für Landtechnik an der TU Kiel bei Mähdreschervorderachsen mit unterschiedlichen Fahrwerken und Bereifungen haben ergeben, dass der Bodendruck unter einer Mähdreschervorderachse mit einem Bandlaufwerk deutlich geringer ist und in 40 cm Tiefe nicht mehr nachzuweisen ist (WEIßBACH ET AL., 2004) (Abb. 6).

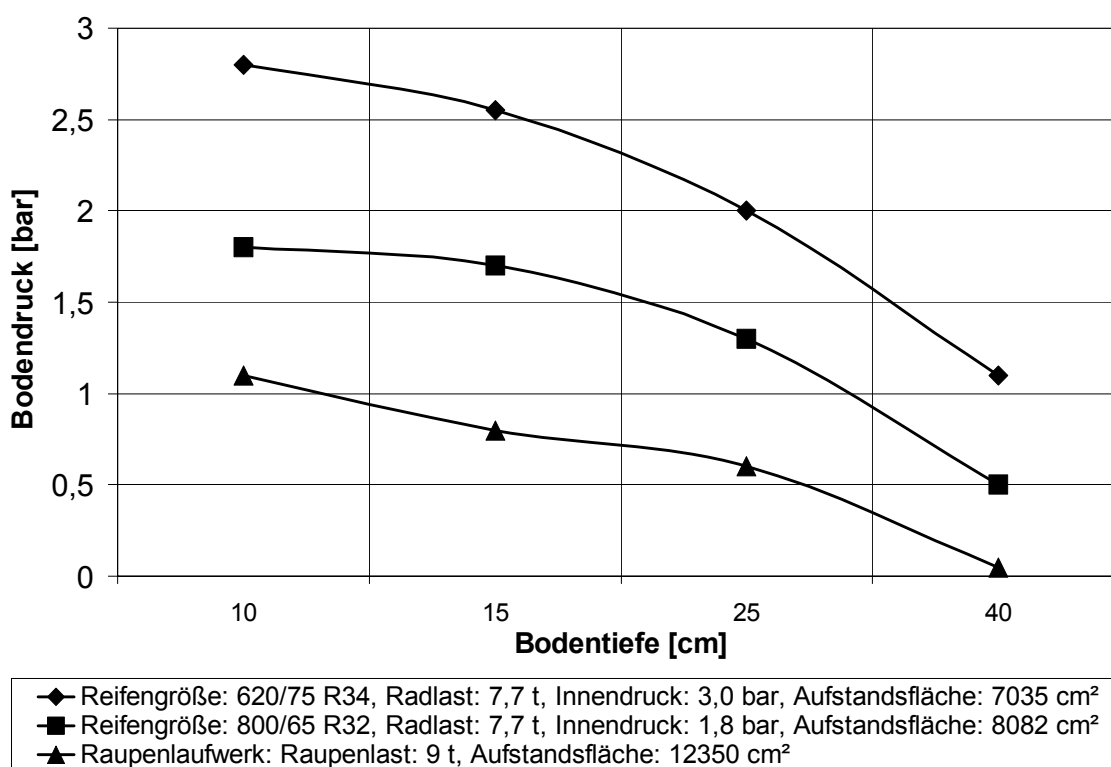


Abb. 6: Gemessener Bodendruck mit Schlauchdrucksonden unter den Fahrwerken zwei verschiedener Mähdrescher mit drei Fahrwerksvarianten in Abhängigkeit von der Bodentiefe gemessen auf sandigem Lehm bei einer Bodenfeuchte von 16,8 % (Quelle: WEIßBACH, 2001)

Bandlaufwerke sind gegenüber Radlaufwerken deutlich komplexer und somit teurer in der Anschaffung und im Unterhalt. Sie können nur bei Maschinen mit hoher Auslastung wirtschaftlich eingesetzt werden.

3.3 Fahrstrategien auf dem Feld

Grundsätzlich sollte der Fahrverkehr auf dem Feld so gering wie möglich gehalten werden. Bei Erntearbeiten, wie z. B. der Silomaisenernte, wo in der Regel das anfallende Erntegut auf dem Feld übergeladen wird, ist es besonders wichtig, dass neben der Befahrbarkeit des Bodens auch darauf geachtet wird, Fahrzeuge mit geeigneter, großdimensionierter Bereifung zu wählen. Dies gilt ebenso für die Getreide-, Kartoffel- und Zuckerrübenenernte. Anhänger mit Straßenbereifung dürfen ausschließlich zum Transport auf Straßen und Feldwegen genutzt werden. Optimal bereifte Überladewagen bei der Getreideernte oder Feldhäcksler mit Zwischenbunker, zusätzlichen Achsen und großvolumiger Bereifung ermöglichen den Fahrverkehr auf empfindlichen Böden oder bei schwierigen Bedingungen im Feld bodenschonend durchzuführen.

Eine weitere Möglichkeit etwaige negative Auswirkungen des Befahrens von Ackerflächen zu minimieren, ist das sogenannte „Regel-Fahrspur-Verfahren“, im Englischen auch „Controlled Traffic Farming“ genannt. Dieses Verfahren wird in Australien, England und Holland bereits erprobt und praktiziert. In Australien werden bereits mehr als 2 Millionen Hektar Ackerland mit diesem Verfahren bewirtschaftet (BALLARAT UNIVERSITY VICTORIA, 2006). Bei Controlled Traffic Farming werden im Feld ortsfeste Fahrspuren angelegt, die zur Bodenbearbeitung, zur Saat, zur Pflege sowie zur Ernte befahren werden. Die übrige Fläche wird nicht befahren. Um diese festgelegten Fahrspuren einhalten zu können, müssen die Arbeitsbreiten der einzelnen Arbeitsgänge und die Spurweiten der Maschinen aufeinander abgestimmt werden. Für die Gewährleistung der Spurtreue der Maschinen werden bei den Traktoren und Erntemaschinen automatische Lenksysteme auf Basis der Satellitenortung GPS (RTK-DGPS) genutzt. Abbildung 7 zeigt für Getreidefruchtfolgen ein passendes System, bei dem mit Arbeitsbreiten von 9 m gesät, von 27 m gespritzt und von 9 m geerntet wird. Außerdem muss pfluglos gewirtschaftet werden. Controlled Traffic Farming ist heute bereits technisch umsetzbar und hat in mehrjährigen Untersuchungen in Australien gesicherte Mehrerträge von durchschnittlich 10 % erbracht. Es erfordert jedoch entsprechende Strukturen, ist bisher auf reine Mähdruschfruchtfolgen beschränkt und unter unseren Klima- und Standortverhältnissen noch nicht untersucht.

Es wird aber auch darüber diskutiert, ob zukünftig nicht eine große Zahl kleiner, unbenannter und autonom arbeitender Landmaschinen vermehrt zum Einsatz kommen werden und dabei wegen ihres geringen Gewichtes keinen schädigenden Bodendruck verursachen werden. NIEMINEN ET AL., (1993) haben diesen Aspekt autonomer Maschinen erstmals intensiv diskutiert. Auf der ganzen Welt werden Forschungsarbeiten in dieser Richtung durchgeführt, Japan ist dabei mit seinen Entwicklungen für den Reisanbau (Bodenbearbeitung, Pflanzmaschinen und Kleinmähdrescher) wegweisend.

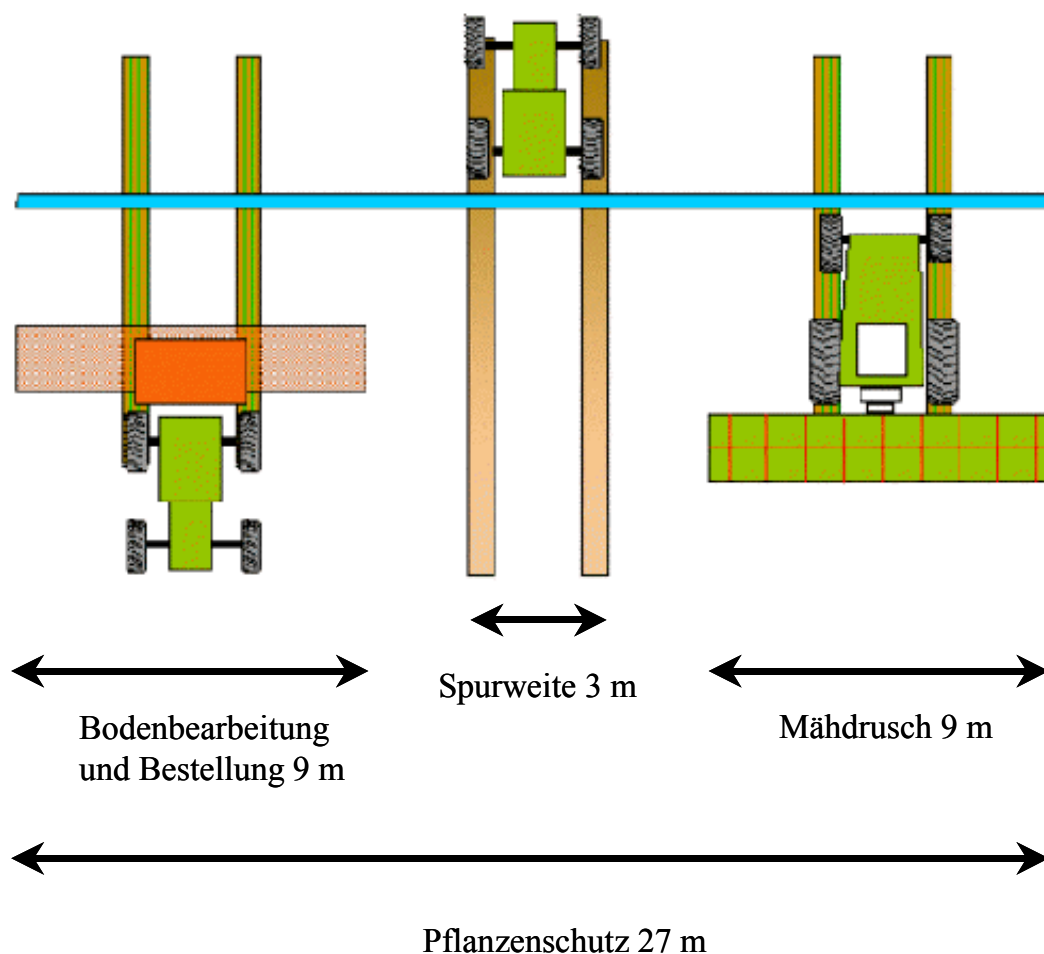


Abb. 7: Regelfahrspurmodell mit einer Fahrspurweite von 3 m in Getreidefruchtfolgen (Arbeitsbreite beim Säen und Ernten jeweils 9 m, beim Pflanzenschutz 27 m) (Verändert nach LEE FARM, UNILEVER R&D COLWORTH, 2004)

4 Grundsätzliche und einfach realisierbare Maßnahmen zur Reduzierung schädlicher Bodenbelastungen

Der wohl wichtigste Grundsatz zur Reduzierung des Risikos einer nachhaltigen Bodenschädigung ist, darauf zu verzichten bei extremer Nässe Bewirtschaftungsmaßnahmen vorzunehmen. Durch pfluglose Bewirtschaftung und durch organische Substanz im Oberboden wird die Tragfähigkeit des Bodens erhöht. Bei jeder Bewirtschaftungsmaßnahme sollte überlegt werden, inwieweit die Maschinengewichte reduziert werden können. Mit dem Einsatz von Gerätekombinationen kann die Anzahl der Überfahrten vermindert und damit die überrollte Fläche verkleinert werden. Das gleiche gilt, wenn Arbeitsschritte eingespart oder weggelassen werden. Anhänger und Maschinen, die im Feld eingesetzt werden, sollten ausnahmslos mit möglichst breiten und großen Radialreifen ausgestattet sein. Es sollte, wenn möglich, auf Pflgereifen verzichtet werden und diese stattdessen durch normale bzw. breite Reifen ersetzt werden. Das Potenzial moderner Radialreifen sollte ausgenutzt werden, indem der Reifeninnendruck in Abhängigkeit von Last und Geschwindigkeit im Feld auf Basis der Reifenluftdrucktabelle soweit wie möglich abgesenkt wird.

5 Fazit

Die Wettbewerbsfähigkeit der inländischen Landwirtschaft im weltweitem Vergleich ist wichtiger denn je. Dazu werden leistungsfähige Landmaschinen sowie funktionsfähige Böden benötigt. Die moderne, leistungsfähige Landbewirtschaftung birgt Risiken hinsichtlich der Verursachung schädlicher Bodenverdichtungen. Es müssen deshalb alle ackerbaulichen, pflanzenbaulichen und landtechnischen Maßnahmen ergriffen werden, um diese Risiken zu mindern und eine Schädigung des Bodens zu verhindern. Es gilt, die vorhandenen technischen Möglichkeiten zu nutzen und weitere Entwicklungen bei der landtechnischen Forschung und der Landtechnikindustrie einzufordern.

Literatur

- [1] ANONYMUS (2005): Radial zahlt sich selbst. In: Agrartechnik 11/2005. S. 108 – 123
- [2] Ballarat University Victoria (2006): 4th Australian Controlled Traffic Farming Conference 27 – 29 September 2006
http://www.actfa.net/conferences/CTF06_overview.pdf
- [3] CHAMEN, W.C.T., L. ALAKUKKU, S. PIRES, C. SOMMER, F. TIJINK UND P. WEISSKOPF (2003): Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 2. Equipment and field practices. Soil Till. Res. 73, 161-174
- [4] HÅKANSSON, I. (2005): Compaction of arable soils. Incidence - consequences – counter-measures. Reports from the division of soil management 109, 2005, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala
- [5] HAMZA, M.A. AND W.K. ANDERSON (2005): Soil compaction in cropping systems – A review of the nature, causes and possible solutions. Soil Till. Res. 82, 121-145
- [6] KELLER, T. AND J. ARVIDSSON (2004): Technical solutions to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. Soil Till. Res. 79, 191-205
- [7] LEE FARM, UNILEVER R&D COLWORTH (2004): www.controlledtrafficfarming.com
- [8] LENGE, R. (2005): Mit Radialreifen bis zu 15 % Diesel gespart. In top agrar 8/2005, S. 84 – 86
- [9] MICHELIN (2006): Betriebsanleitung landwirtschaftlicher Reifen. S.7, 20 – 21
- [10] NIEMINEN, T., M.J. MONONEN AND M. SAMPO (1994): Unmanned tractors for agricultural applications. 12 World Congress on Agricultural Engineering Proceedings Volume 2, 1144 - 1145
- [11] PYTKA, J. (2005): Effects of repeated rolling of agricultural tractors on soil stress and deformation state in sand and loess. Soil Till. Res. 82, 77-88
- [12] RAPER, L.R. AND J.M. KIRKBY (2006): Soil compaction: How to do it, undo it, or avoid doing it. ASABE Distinguished Lecture Series Nr. 30, 1-14
- [13] RENIUS, K. T. (1987): In: Traktoren Technik und ihre Anwendung. München: BLV, S. 46 – 47
- [14] SÖHNE, W. (1953): Druckverteilung und Bodenverformung unter Schlepperreifen. In: Grundlagen der Landtechnik 5, S. 49 - 63

- [15] THANGAVADIVELU, S., P. ARNES, J. SLOCOMBE, J. HIGGINS AND L. STONE (1992): Soil response to track and wheel tractor traffic. Paper No. 921585, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA
- [16] TIJINK, F.G.J. AND J.P. VAN DER LINDEN (2000): Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping systems with sugar beet. *Advances in GeoEcology* 32, 442-452
- [17] UPPEKAMP, N. (1999): Breitreifen auf der Überholspur. In: *top agrar* 4/1999. S. 100 – 102
- [18] WEIßBACH, M. (2003): Landtechnische Untersuchungen zur Wirkung bodenschonender Fahrwerke an Schleppern und Arbeitsmaschinen mit verschiedenen Radlasten. *Habilitationsschrift Universität Kiel*, S. 168
- [19] WEIßBACH, M. (2003): *Getreidemagazin* 2003/2, S. 120
- [20] WEIßBACH, M. (2004): *RKL-Schrift* 4.1.4.1.4 Druschfruchternte und Bodenschonung. S. 725 – 726

Verbundberatung im Ackerbau - Betriebsorganisation und Arbeitserledigungskosten (MR Consult)

Dr. Johann Habermeyer
Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e. V.
Amalienstraße 21/22, 86633 Neuburg a. d. Donau

MR Consult ist ein Beratungsangebot der Maschinenringe zur erfolgreichen Entwicklung ihrer Mitgliedsbetriebe - von der Orientierungsphase über die Strategie bis hin zur praktischen Umsetzung. In Seminaren analysieren die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ihre Ausgangssituation und planen ganz individuell ihre betriebliche und persönliche Zukunft. In der Gruppe oder einzeln werden sie dann bei der Realisierung ihrer Vorhaben unterstützt. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung zukunftssicherer Mechanisierungs- und Arbeitserledigungskonzepte für die Mitglieder als Grundvoraussetzung erfolgreicher landwirtschaftlicher Unternehmen.

Das Ziel ist ein Betrieb, der genau zu ihnen und ihrer Familie passt und der bei überschaubarem persönlichen Einsatz überdurchschnittliche Erträge erwirtschaftet. Unterstützt und angeleitet werden die Mitglieder dabei von MR Consult Seminarleitern. Die hohe Fachkompetenz dieser Seminarleiter ist geprägt von der engen Kooperation mit der staatlichen Führungsakademie FüAK, der Landesanstalt für Landwirtschaft LfL und ausgewählten staatlichen Beratern.

MR Consult ist ein Verbundberatungsprojekt der Maschinenringe mit dem Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten. Es wird flächendeckend in ganz Bayern angeboten. Praxisnähe und direkter regionaler Bezug wird gesichert durch die Zusammenarbeit mit den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten und den Maschinenringen vor Ort.

Schlagworte wie „GAP-Reform“ und „EU-Osterweiterung“ verunsichern immer mehr Landwirte hinsichtlich ihrer einzelbetrieblichen Entwicklungsmöglichkeiten. „Zu welchem Preis kann ich jetzt noch pachten?“ „Installiere ich jetzt besser eine Photovoltaik-Anlage oder investiere ich in Milchquote?“ „Kann ich bei einem Weizenpreis von 9 €/dt überhaupt noch existieren?“ „Wie sollen wir die Arbeit noch schaffen, wenn der neue Stall fertig ist?“ Antworten auf diese Fragen kann nur der geben, der weiß, wo er jetzt mit seinem Betrieb steht. Unter anderem spielt bei der Beantwortung dieser Fragen die Kenntnis der derzeitigen Kostenstruktur für Arbeitserledigung und Arbeitswirtschaft eine entscheidende Rolle. Zur Analyse der Ist-Situation landwirtschaftlicher Betriebe und um Optimierungswege aufzuzeigen, bieten die Maschinenringe in Bayern in 20 Pilotringen Gruppenseminare unter dem Schlagwort MR Consult an. In einer Auftaktveranstaltung, die allen Interessierten offen steht, werden ökonomische Rahmenbedingungen und das Seminar-konzept vorgestellt. Einige dieser Auftaktveranstaltungen wurden im Herbst bereits durchgeführt. Daran schließen sich Tagesseminare in Kleingruppen bis maximal 15 Landwirte an, in denen unter Anleitung die eigenen Betriebe analysiert und mögliche zukünftige Lösungsansätze erarbeitet werden.

Die strukturellen Gegebenheiten der bäuerlichen Familienbetriebe in Bayern führen in vielen Fällen in die Zwickmühle, dass die notwendige Technik mit hoher Schlagkraft und Arbeitsproduktivität bei Eigenmechanisierung zu einer hohen Kostenbelastung je erzeug-

ter dt Getreide und je kg Milch führen. Während die Zielgrößen für Maschinenkosten bei 3 €/dt Getreide und 5 ct/kg Milch liegen, ergeben Betriebsanalysen nicht selten Werte, die doppelt so hoch liegen. Auf der anderen Seite resultiert der Verzicht auf leistungsfähige Technik in hoher Arbeitsbelastung, was dann zur Folge hat, dass Zeit für die Optimierung der gewinnbringenden Innenwirtschaft oder für alternative Zuerwerbsmöglichkeiten fehlt. Gleichzeitig fehlt dann das in den Maschinen steckende Kapital für die Finanzierung weiteren betrieblichen Wachstums. Ein Teufelskreis, der nur durch eine schonungslose Analyse der Ist-Situation und durch Definition klarer und erreichbarer Entwicklungsschritte durchbrochen werden kann. So bedeutet z.B. der alleinige Zukauf überbetrieblicher Leistungen über den Maschinenring oder Lohnunternehmer meist hohe Schlagkraft und Arbeitsproduktivität.

Ohne die Eigenmechanisierung im Einzelbetrieb daran anzupassen, kann dies aber im schlechtesten Fall sogar teurer sein als vorher. Die Zielgrößen der Maschinenkosten lassen sich nur erreichen, wenn ein betriebliches Gesamtkonzept der Mechanisierung und der Arbeitswirtschaft konzipiert und verfolgt wird.

Auch unter den Bedingungen der GAP-Reform wird sich nichts am bisherigen Optimierungskonzept ändern: höchstmögliches Leistungsniveau im Stall und auf dem Acker, um die entstehenden Kosten im Sinne der Vollkostenrechnung auf möglichst viele Einheiten (dt, kg) verteilen zu können. Diesem Diktat müssen sich auch jegliche Art der überbetrieblichen Zusammenarbeit und verschiedenste Kooperationsformen beugen, dass Erträge und Ertragssicherheit nicht gefährdet werden dürfen. Am Beispiel erfolgreicher Kooperationen zeigt sich aber, dass die Konzentration der Beteiligten auf ihre jeweiligen Kernkompetenzen und der Einsatz leistungsfähiger Technik eher eine Leistungs- und Qualitätssteigerung zur Folge hatten (z.B. Tagessilage).

Interessierten Landwirten wird ein Seminarangebot unterbreitet, um unter Anleitung Kostensenkungs- und Effizienzpotentiale in ihren Betrieben zu analysieren. Im weiteren Schritt bleibt es natürlich eine Entscheidung der Betriebsleiterfamilie, ob und in welcher zeitlichen Abfolge sie die erarbeiteten Optimierungsschritte in ihrem Betrieb mit welchem Partner realisieren wollen.

Haupterwerbsbetriebe

- **Marktfruchtbau:**
 - Kostenführerschaft bei Arbeitserledigung (Technik/AK) bei optimaler Produktionstechnik
 - Spielraum für Wachstum oder Zuerwerb
- **Milchviehbetriebe:**
 - Höchste Deckungsbeiträge im Stall
 - Zeit für Stall,
 - bestes, preiswertes Grundfutter
 - Kapital für Wachstum
 - Soziale Arbeitsbedingungen

Nebenerwerbsbetriebe

- Zeit für Beruf darf nicht durch Betrieb verkürzt werden!
- Soziale Arbeitsbedingungen
- Höchste Arbeitsproduktivität bei Kostenführerschaft > wenn keine Hobbylandwirtschaft
- Optimale Produktionstechnik

Optimierungsansätze für bäuerliche Familienbetriebe
(Quelle: Dr. Walter Pfadler, FÜAK)

Strategien für wachsende Viehhaltungsbetriebe

1. **Konzentration der Familienarbeitskräfte auf Innenwirtschaft**
 - **Höchstes produktionstechnisches Niveau im Stall sicherstellen**
 - **Knappe Familien-Arbeitskraft muss für Stallarbeit immer sicher zur Verfügung stehen**
2. **Auslagerung von Feldarbeiten in Arbeitsspitzen oder komplette Vergabe**
 - **Kostenziel, Arbeitswirtschaft, Arbeitsqualität**
3. **Eventuell Fütterung auslagern**
 - **Arbeitswirtschaft**
4. **Kapital für Wachstum in Tierhaltung verwenden**
 - **Wachstumsziele definieren**
5. **Zeit für Urlaub, Freizeit und Fortbildung schaffen**

Verbundberatung im Ackerbau - Pflanzenbauliche Produktionstechnik

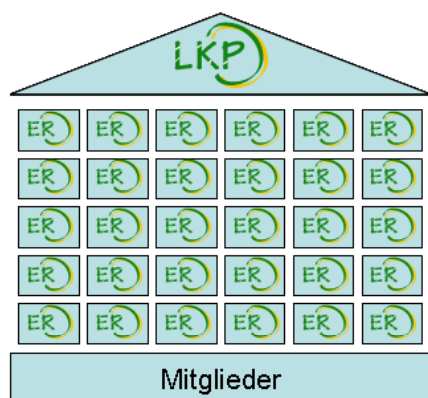
Alfons Fischer, Josef Bauer
Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e. V.,
Tal 35, 80331 München

Das Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e. V. (LKP) ist die Landesvereinigung von 85 pflanzlichen Erzeugerringen mit 125.770 Mitgliedern in Bayern (Abb. 1). In 9 Fachgruppen ist der gesamte Bereich der pflanzlichen Produktion vertreten, von der Landwirtschaft über den Gartenbau bis zu den Sonderkulturen. In einigen dieser Fachgruppen verfügen das LKP und seine Erzeugerringe über eine umfangreiche und langjährige Erfahrung in der Beratung, so z. B. im Gartenbau (seit 1973), im ökologischen Landbau und seit 2001 auch in den landwirtschaftlichen Erzeugerringen (Abb. 2). Diese Beratung im LKP und seinen Erzeugerringen entspricht größtenteils genau dem, was man sich unter einer „Verbundberatung“ vorstellt, obwohl der Begriff erst durch die aktuellen Diskussionen um die Verwaltungsreform und das Agrarwirtschaftsgesetz neu geschaffen wurde.

Im Gartenbau beraten die Erzeugerringe des LKP vor allem produktionstechnische Fragen. Vor Ort gibt es einen intensiven Austausch mit der staatlichen Beratung. Eine Arbeitsteilung besteht darin, dass die staatliche Beratung schwerpunktmäßig die Betriebswirtschaft und die Erzeugerringe die Produktionstechnik übernehmen. Mit Gründung der Erzeugerringe für ökologischen Landbau und deren Integration in das LKP kam vor über 10 Jahren dann die Beratung im ökologischen Landbau hinzu. Die Landwirte werden hier zu allen Fragen der Produktionstechnik (Tier und Pflanze), Technik und Ökonomik beraten. Über alle Fachgruppen hinweg stellen laufende schriftliche Beratungshinweise zu Sortenwahl, Düngung und Pflanzenschutz einen Schwerpunkt der Arbeit des LKP und seiner Erzeugerringe dar. Auch in den landwirtschaftlichen Erzeugerringen gibt es diese Rundschreiben bereits seit über 30 Jahren. Die einzelbetriebliche Beratung spielte hier bis vor wenigen Jahren keine Rolle, da die Landwirtschaftsämter alle Anfragen der Bauern erledigten.

Mitte der neunziger Jahre wurden von der Politik die ersten Sparbeschlüsse gefasst. Die Rahmenbedingungen änderten sich dadurch auch für die Landwirtschaftsverwaltung, deutliche Einschnitte gab es vor allem bei den Planstellen. Die Auswirkungen des Personalabbaus wurden ab dem Jahr 2000 immer offenkundiger, vor allem die Verfügbarkeit von Pflanzenbauberatern an den Landwirtschaftsämtern nahm ab. Parallel zum Abbau von Planstellen nahm in den Förderabteilungen der Personalbedarf stetig zu, bedingt durch die immer umfangreicheren Anforderungen bei der Abwicklung und Kontrolle der Agrarförderung. Dies führte zu zahlreichen internen Umsetzungen und Stellenverlusten bei der Beratung. In der landwirtschaftlichen Praxis steigt der Beratungsbedarf der Betriebe entgegen der Entwicklung der staatlichen Beratung aber an: Die Betriebe wachsen, betreiben intensive Veredelung oder andere Nebenbetriebe, so dass die Betriebsleiter nicht mehr genügend Zeit finden, sich wie in der Vergangenheit intensiv mit Fragen der Produktionstechnik auseinanderzusetzen. Zusätzlicher Beratungsbedarf entstand durch strenger werdende gesetzliche Auflagen im Rahmen des landwirtschaftlichen Fach- und Förderrechts.

LKP: Landesvereinigung von **85** pflanzlichen Erzeugerringen mit insgesamt **125.770** Mitgliedschaften



- 8 ER Qualitätsgetreide
- 7 ER Qualitätskartoffel
- 10 ER Saat- und Pflanzgut
- 16 ER Gartenbau
- 3 ER Hopfen
- 2 ER Zuckerrüben
- 1 ER Weinbau
- 34 ER Wirtschaftseigenes Futter
- 4 ER Ökologischer Landbau

Abb. 1: Aufbau des Landeskuratoriums für pflanzliche Erzeugung in Bayern e. V. (LKP)

„traditionell“:

- im Gartenbau
 - Produktionstechnik und Gesamtbetriebsberatung
 - durch **17 Erzeugerringe mit 17 Beratern;**
- im ökologischen Landbau
 - Produktionstechnik und Gesamtbetriebsberatung
 - durch **4 Erzeugerringe mit 29 Beratern;**

„neu“

- in den landwirtschaftlichen Erzeugerringen seit 2001 als Projekt „Feldbetreuung“
 - Produktionstechnik, Management (u.a. Cross Compliance)
 - z. Zt. **8 Erzeugerringe mit 18 Beratern**

Abb. 2: Beratung durch die Erzeugerringe des LKP

Vor diesem Hintergrund entwickelte das LKP gemeinsam mit der staatlichen Landwirtschaftsverwaltung ein Konzept für die Betriebe, die an den Landwirtschaftsämtern nicht mehr die von ihnen benötigte, intensive einzelbetriebliche Beratung finden. Zielsetzung war es, auch diesen Betrieben weiterhin eine neutrale Alternative zur Industrie- oder Pri-

vatberatung anzubieten. Neu an diesem Konzept war allerdings die Tatsache, dass die „LKP-Feldbetreuung“, die daraus entstanden ist, erstmals ein kostenpflichtiges Angebot für die Landwirte darstellte. Die Feldbetreuung wurde so konzipiert, dass sie die staatliche Beratung ergänzt und für den Landwirt ein intensives Beratungsangebot mit einzelbetrieblichem Schwerpunkt darstellt.

Bei der Entwicklung der Feldbetreuung wurden folgende Ziele angestrebt:

- Erfüllung der Nachfrage von Landwirten nach Unterstützung in der pflanzenbaulichen Produktionstechnik, die in der Intensität über die Aufgaben der staatlichen Pflanzenbauberatung hinausgeht.
- Ergebnisoffenes Sammeln von Erfahrungen, ob und ggf. wie die kostenneutrale staatliche Beratung durch eine intensive, schlagbezogene und kostenpflichtige Feldbetreuung zu ergänzen ist.
- Erarbeitung von Grundlagen für die Zusammenarbeit von Staatlicher Beratung und Selbsthilfeeinrichtung.
- Langfristige Sicherung einer fundierten, kostengünstigen Pflanzenbauberatung in Bayern trotz des vorgegebenen Personalabbaus in der bayerischen Landwirtschaftsverwaltung.

Die Grundlagen für die Beratungsaussagen der Feldbetreuung liefert die Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) durch ihr Fachwissen und mit ihrem Versuchswesen. Die Aus- und Fortbildung der Feldbetreuer wird durch die Staatliche Führungsakademie (FüAk) sichergestellt. Durch diese enge Verzahnung sollen einheitliche Aussagen auf den Betrieben gewährleistet werden, unabhängig davon, ob die Beratung durch einen staatlichen Berater oder LKP-Feldbetreuer erfolgt.

Durch diese Vorgaben entstand eine Verbundberatung, obwohl der Begriff noch gar nicht existierte. Die staatliche Beratung erarbeitet die Grundlagen, unterhält das Versuchswesen, aus dem die Grundlagen für die Beratungsaussagen abgeleitet werden und stellt somit die Grundversorgung sicher. Die Selbsthilfeeinrichtungen bieten darauf aufbauend die einzelbetriebliche Beratung und Betreuung, die der Staat nicht mehr leisten kann. So ergänzen sich beide Seiten, ohne ihre Eigenständigkeit aufzugeben.

Welche Leistungen werden von der Verbundberatung in Form der LKP-Feldbetreuung im Ackerbau angeboten?

Im Vordergrund steht die Unterstützung in der Produktionstechnik. Der Feldbetreuer berät den Landwirt bei der Bestandesbeurteilung und Bestandsführung, gibt Düngeempfehlungen und schlagspezifische Pflanzenschutzempfehlungen zur Unkrautkontrolle, sowie zum Einsatz von Fungiziden, Wachstumsreglern und Insektiziden. Einen großen Anteil in der Beratungspraxis nehmen auch die Unterstützung bei der Einhaltung gesetzlicher Auflagen sowie der gesamte Komplex „Cross Compliance“ ein.

Im Rahmen der Betriebsbesuche vor Ort durch einen LKP-Feldbetreuer wird am Einzelschlag bei Getreide im Zusammenhang von Vegetationsverlauf, Bestandesdichte, Düngung und Wachstumsreglereinsatz eine Bestandsbeurteilung vorgenommen. Daraus leitet der Feldbetreuer dann die Empfehlung weiterer Maßnahmen ab. Schlagspezifische Düngeempfehlungen zu den einzelnen Kulturen erfolgen entweder auf Basis des „Düngeberatungssystems Stickstoff“ (DSN) der Landesanstalt für Landwirtschaft oder mit Hilfe des sog. „N-Testers“ (Abb. 3). Die Pflanzenschutzempfehlungen werden auf der Grundlage schlagbezogener Bonituren gegeben. Bei den Empfehlungen zum Fungizideinsatz berücksichtigen die Feldbetreuer auch die Prognosemodelle „Weizenmodell Bayern“ sowie

„Gerstenmodell Bayern“ und der sich daraus ableitenden Fungizidstrategien. Analog greifen die Berater bei Kartoffeln auf das Prognosemodell „Simphyt“ zurück. In allen Kulturen werden Empfehlungen stets in Verbindung mit den eigenen Beobachtungen der Epidemieverläufe der verschiedenen Krankheitserreger im Beratungsgebiet gegeben.

Meßprinzip: Bestimmung der Grünfärbung von Blättern, dadurch Feststellen des Stickstoff-Ernährungszustandes eines Bestandes

Vorgehensweise:

- Messung von 30 Blättern
- Mittelwert
- Sortenkorrektur
- N-Empfehlung



Abb. 3: Düngeberatung mit dem N-Tester

Neben der produktionstechnischen Beratung wünschen sich die Landwirte verstärkt eine Unterstützung bei der Einhaltung gesetzlicher Auflagen. Durch die jährliche Flut von Neuerungen im Pflanzenschutz oder bei Cross Compliance wird es für viele Betriebsinhaber immer schwieriger, die aktuelle Gesetzeslage einzuhalten. Hilfen wie das Ordnersystem „Mein Bauernhof“, das gemeinsam mit dem LKV erarbeitet wurde, finden eine positive Resonanz. Dabei zeigt sich, dass neben der Kenntnis der Gesetzes- und Verordnungstexte von den Beratern vor allem eine Beurteilung der betriebsspezifischen Gegebenheiten gewünscht wird. Betriebe, die ein Qualitätssicherungsprogramm wie EUREPGAP oder QS praktizieren, werden von dem LKP dabei unterstützt, auf Wunsch bis hin zur erfolgreichen Zertifizierung.

Dieses bereits jetzt umfangreiche Angebot soll in der Zukunft weiter ausgebaut werden. Geplant ist dabei ein sog. „Feldbetreuungsfax“ zu allen wichtigen Fragen des Pflanzenbaus, das in der Hauptvegetation wöchentlich erscheinen soll. Ein Programm zur Düngplanung mit „Güllemanagement“ befindet sich in der Erprobung. Da viele Betriebsleiter auch Aussagen zur Wirtschaftlichkeit wünschen, wird ein Angebot zur Beratung der Ökonomik im Pflanzenbau derzeit gemeinsam mit der LfL vorbereitet.

Um alle Anforderungen erfüllen zu können, sind qualifizierte und motivierte Mitarbeiter erforderlich. Nach der Einführungsphase wird mittelfristig der Umstieg von Teilzeit- auf Vollzeitkräfte vorbereitet. Damit kann das Angebot der LKP-Feldbetreuung weiter intensiviert werden, bis hin zur Möglichkeit, den Betriebsleitern einen ganzjährigen Ansprech-

partner für sämtliche Fragestellungen (Produktionstechnik, Ökonomik, gesetzliche Anforderungen, Qualitätssicherung, usw.) anzubieten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die LKP-Feldbetreuung durch klare und nachvollziehbare Empfehlungen den Betrieben eine praxisgerechte Unterstützung bietet. Sie ist dabei bewusst im Sinne einer Verbundberatung konzipiert: Als Ergänzung zur Staatlichen Beratung auf einzelbetrieblicher Ebene aber nicht als Konkurrenz. Dieses Grundkonzept soll auch bei den im Jahr 2007 anstehenden Gesprächen zur Weiterentwicklung der Verbundberatung verfolgt werden.