

Einsparen von Energie durch Optimierung des Systems „Boden-Schlepper-Gerät“

Von Gyorgy Sitkei, Sopron, Ungarn*)

DK 631.372:631.51

Die Energie für die Bodenbearbeitung stellt einen wesentlichen Anteil der in der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzten technischen Energie dar. Mit Verwendung von energiesparenden Methoden lassen sich die Flächenleistung und die Produktionskosten optimal gestalten. In diesem Aufsatz werden die betriebstechnischen und technischen Möglichkeiten einer energiesparenden Bodenbearbeitung erörtert und einige Einzelheiten an Hand von Versuchsergebnissen aufgezeigt.

1. Einleitung

Der Energiebedarf der Bodenbearbeitung für ein bestimmtes Produktionsverfahren hängt von vielen Faktoren ab. Die wichtigsten Faktoren zur Herabsetzung des Energiebedarfs lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- rationelle Bodenbearbeitung
- optimaler Bodenzustand bei der Bearbeitung
- Auswahl des Arbeitsgerätes für minimalen Energieaufwand und günstige Nachbearbeitungsmöglichkeit
- optimale Abstimmung von Schlepper und Gerät in energetischer und betriebstechnischer Hinsicht.

Die optimale Auswahl der obigen Einflußfaktoren ist ein Optimierungsprozeß unter Berücksichtigung begrenzender Faktoren. Als begrenzende Faktoren gelten die ackerbaulichen Forderungen (Lockern, Krümeln, Wenden, Mischen, Verdichten, Einarbeiten von Pflanzenresten usw.), die Bodenverhältnisse und Geräteeigenschaften.

2. Rationelle Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die bodengebundene Pflanzenproduktion. Das Ziel der Bodenbearbeitung ist die Schaffung eines Bodenzustandes mit optimalen physikalischen, chemischen und biologischen Verhältnissen. Die optimalen Bodenverhältnisse können aber mit verschiedenen Arbeitsmethoden und -geräten erzielt werden.

Für die Grundbearbeitung des Bodens benutzt man auch heute meistens den Pflug. Wo das Wenden des Bodens und das Einarbeiten von Pflanzenresten in größeren Mengen erforderlich ist, kann der Pflug kaum durch andere Geräte richtig ersetzt werden. Wenn die Bodenbearbeitung aber vor allem auf Lockern, Zerteilen und Mischen abzielt, ist ein Ersatz des Pfluges durch energetisch günstigere Geräte möglich. Als Ersatzgeräte kommen die verschiedenen Tiefgrubber, Scheibeneggen und Spatengeräte in Frage.

Die Tiefe der Bearbeitung spielt in energetischer Hinsicht eine sehr wichtige Rolle. Mit der Steigerung der Arbeitstiefe nimmt der Zugkraftbedarf nämlich im allgemeinen stark zu. Daher soll die Bearbeitung nur so tief gewählt werden, wie es für das Produktionsverfahren erforderlich ist.

Die optimale Arbeitstiefe ist für die verschiedenen Kulturen bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen noch nicht genau geklärt. Bisherige mehrjährige Versuche haben jedoch gezeigt, daß in Ungarn die Grundbearbeitung für Weizen 18–20 cm, für Mais etwa 25 cm tief sein soll. Eine Ausnahme gilt für die Zuckerrübe, bei der sich eine Arbeitstiefe bis 35 cm bezahlt macht. Zur Verbesserung des Wasserhaushaltes in den unteren Bodenschichten ist es zweckmäßig, allgemein im dritten/vierten Jahr eine Tieflockerung mit 35–40 cm durchzuführen.

Die Arbeitstiefe der Nachbearbeitung sollte nur um einige cm größer als die Saattiefe sein. Gerade das sichert gute Bedingungen zur Keimung der Saatkörner. Eine tiefere Auflockerung des Bodens würde zur schnelleren Austrocknung des Bodens und zu einer schlechteren Wasserzufuhr in die Umgebung der Körner führen.

Die Bedeutung der rationellen Bodenbearbeitung für die Einsparung von Energie ist umso höher anzuschlagen als die so erzielten Energieeinsparungen systematisch, praktisch in allen Jahren verwirklicht werden können. Die anderen Methoden sind mehr oder weniger wetterbedingt.

Wieviel der Energie durch die rationelle Bodenbearbeitung eingespart werden kann, ist heute noch nicht genau bekannt. Die bisherigen Versuche und Berechnungen zeigen jedoch, daß etwa 20 % der Energie, bezogen auf die Verhältnisse der heutigen Praxis, eingespart werden kann. Diese Schätzung setzt kein neues Produktionsverfahren voraus.

3. Optimaler Bodenzustand bei der Bearbeitung

Von den Einflußfaktoren des Bodens hat die Bodenfeuchte den größten Einfluß auf den Bearbeitungserfolg und Energiebedarf. Glücklicherweise ergibt sich das Optimum für den Bearbeitungseffekt wie auch für den Energiebedarf im allgemeinen bei demselben Feuchtegehalt. Diese Feststellung gilt für die meisten Bearbeitungsverfahren, und das Optimum liegt bei einem Wassergehalt von 17–19 % für Lehm und tonigen Lehm. Als Beispiel zeigt **Bild 1** den Pflugwiderstand, den Schollenanteil der Größe 1 bis 10 mm nach dem Pflügen (als Maß für den Bearbeitungseffekt) und die Scherfestigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt.

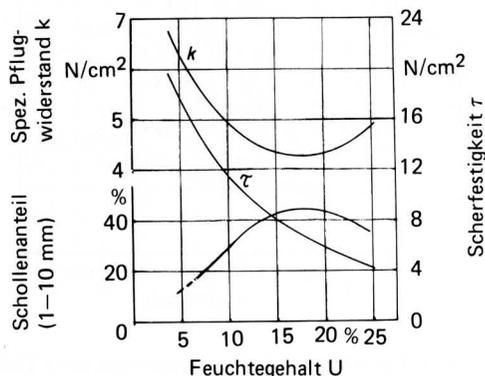


Bild 1. Spezifischer Pflugwiderstand, Anteil der Schollen von 1–10 mm Größe nach dem Pflügen und Scherfestigkeit eines Lehmbodens in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Bodens.

*) Prof. Dr.-Ing. G. Sitkei ist Leiter des Lehrstuhls für Holzbearbeitung der Universität für Forst- und Holzwirtschaft, Sopron, Ungarn.

Wegen der unterschiedlichen Wirkungsweise stellt der Untergrund-lockerer andere Anforderungen an den Bodenzustand als der Pflug. Um die Deformation und damit den Lockerungseffekt von unten bis in die obere Bodenschicht zu übertragen, braucht das Gerät eine größere Bodenfestigkeit und damit einen kleineren Bodenfeuchtegehalt. Die optimalen Verhältnisse für den Lockerungs- und Krümelungseffekt ergaben sich abhängig von der Ausgangsbodendichte im Bereich 13–16 % Bodenfeuchtegehalt. Der in trockenem Zustand gelockerte Boden weist in den unteren Schichten eine langsamere natürliche Setzung auf als der im feuchten Zustand gelockerte Boden.

Der Verdichtungsprozeß hängt sehr stark von den plastischen Eigenschaften des Bodens ab. Das bedeutet, daß die Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens beim Ansteigen des Feuchtegehalts über 20 % stark zunimmt. Die schweren Ernte- und Transportmaschinen rufen in nasser Herbstzeit starke Verdichtungen im Boden hervor, die nur mit großem Energieaufwand beseitigt werden können.

Die Fahrgeschwindigkeit hat infolge der viskoelastischen Eigenschaften des Bodens bei allen Gerätetypen einen bestimmten Einfluß auf den optimalen Feuchtegehalt: je größer die Fahrgeschwindigkeit ist, desto höher liegt der optimale Feuchtegehalt. Die Verschiebung des optimalen Feuchtegehalts macht jedoch unter Berücksichtigung der möglichen Geschwindigkeitsgrenzen höchstens 2 % Feuchte aus.

4. Auswahl des Arbeitsgerätes

Zur Bodenbearbeitung dient ein ganzes Spektrum von Geräten: verschiedene Pflüge, Scheibeneggen, Untergrundlockerer, Tiefgrubber und Saatbettkombinationen. Die grundlegende Bodenbearbeitung geschieht auch heute durch Pflügen, weil es den ackerbaulichen Forderungen meistens entspricht. In vielen Fällen kann jedoch das Pflügen durch energetisch günstigere Bearbeitungsverfahren ersetzt werden.

Mehrjährige Versuche haben gezeigt, daß der Tiefgrubber mit verschiedenen Nachläufern, vom Wenden des Bodens abgesehen, eine gute Bodenbearbeitung (Lockern, Zerteilen und Mischen) leisten kann. Sein Energiebedarf ist dabei nur etwa 60 % von dem des Pfluges, wie sich bei Vergleichsprüfungen ergeben hat, Bild 2. Der spezifische Widerstand des Tiefgrubbers erhöht sich in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe mit einer Potenz von 0,6, während er beim Pflügen mit der Potenz von 0,85 wächst. Daraus folgt, daß der Tiefgrubber mit zunehmender Arbeitstiefe im Vergleich energetisch immer günstiger wird.

Der Tiefgrubber hat eine weitere gute Eigenschaft: sein Zugkraftbedarf ändert sich mit der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit nur in geringem Maße.

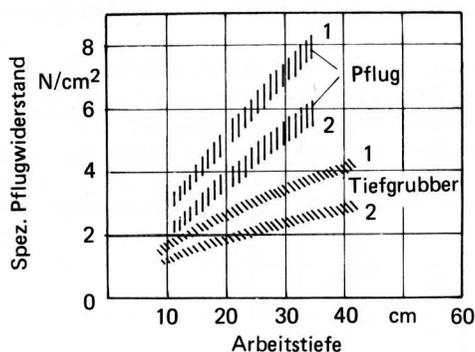


Bild 2. Spezifischer Widerstand eines Pfluges und eines Tiefgrubbers in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe; Fahrgeschwindigkeit $v \approx 8 \text{ km/h}$;
1 toniger Lehm, Feuchtegehalt $U = 15,5 \%$
2 Lehm, Feuchtegehalt $U = 18,5 \%$

Ein den Anforderungen entsprechendes Saatbett kann im allgemeinen nur durch eine Nachbearbeitung erreicht werden. Auf schweren und trockenen Böden wird oft eine Nachbearbeitung in mehreren Gängen notwendig, um die entsprechende Schollengrößenverteilung zu erzielen. Versuche haben gezeigt, daß die Grundbearbeitung des Bodens einen wesentlichen Einfluß auf den Energiebedarf der Nachbearbeitung haben kann.

In Bild 3 sind die Ergebnisse einer Vergleichsprüfung gezeigt, wozu die Schollengrößenverteilung nach der Grundbearbeitung mit Pflug und Tiefgrubber sowie nach der Nachbearbeitung mit einer Saatbettkombination zusammen dargestellt wurden. Der Tiefgrubber mit Nachläufer (Kurve 2) hatte einen besseren Zerteilungseffekt und ergab daher eine bessere Schollengrößenverteilung als der Pflug (Kurve 1). Beim Einsatz einer Saatbettkombination konnte die gleiche End-Schollengrößenverteilung beim Pflügen in zwei Gängen (Kurve 1'), dagegen beim Tiefgrubber in einem Gang (Kurve 2') erzielt werden. Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß durch die entsprechende Grundbearbeitung die Zahl der Arbeitsgänge und gleichzeitig die der Schlepperspuren reduziert werden kann. Dadurch läßt sich Energie sparen und die Bodenverdichtung vermindern.

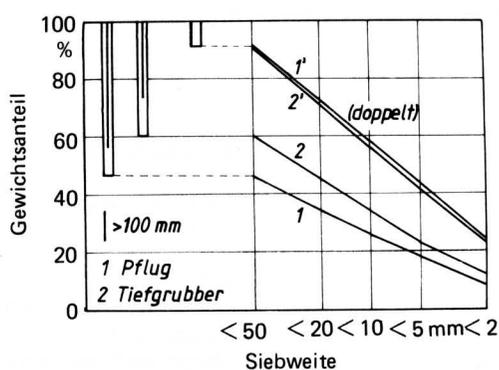


Bild 3. Schollengrößenverteilung nach der Grundbearbeitung mit Pflug (Kurve 1) und Tiefgrubber (Kurve 2) sowie nach dem einmaligen Einsatz einer Saatbettkombination nach dem Grubbern (2') und dem zweimaligen Einsatz der Kombination nach dem Pflügen (1'); toniger Lehm, Feuchtegehalt $U = 15,5 \%$.

Die Fahrgeschwindigkeit der Geräte hat einen wesentlichen Einfluß auf den Krümelungseffekt. Für den Tiefgrubber zeigt Bild 4 den Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Schollengrößenverteilung. Da der Zugkraftbedarf des Tiefgrubbers nicht besonders stark von der Fahrgeschwindigkeit abhängig ist, lohnt es sich, mit dem Tiefgrubber etwas schneller zu fahren.

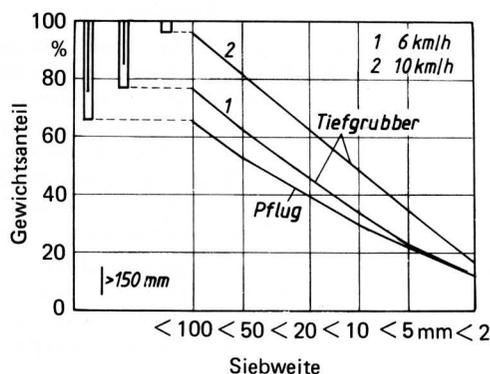


Bild 4. Schollengrößenverteilung nach dem Pflügen und nach Tiefgrubbern mit zwei Fahrgeschwindigkeiten.

Auch der Krümelungseffekt von Saatbettkombinationen hängt stark von der Fahrgeschwindigkeit ab. Die zum Bruch einer gegebenen Scholle erforderliche kritische Fahrgeschwindigkeit ist in Bild 5 dargestellt [1]. Wie man sieht, ist eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf 11–12 km/h zweckmäßig, darüber aber nicht. Wenn diese Fahrgeschwindigkeit auf trockenem Boden nicht genügend wirksam ist, muß man mit anderen Werkzeugtypen (z.B. Multitiller von der Fa. Rau) arbeiten.

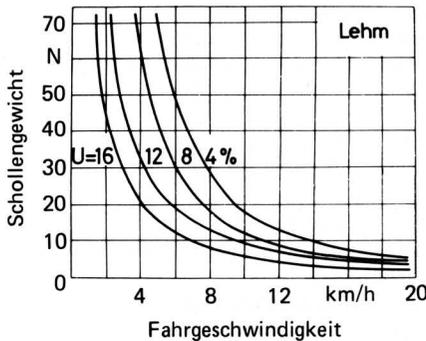


Bild 5. Schollengröße, gekennzeichnet durch das Schollengewicht, in Abhängigkeit von der kritischen Fahrgeschwindigkeit; Feuchtegehalt des Bodens als Parameter.

5. Optimale Abstimmung von Schlepper und Gerät

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine energiesparende Bodenbearbeitung ist die optimale Abstimmung von Schlepper und Gerät. Bei der optimalen Abstimmung arbeitet der Schlepper in der Nähe seiner maximalen Zugleistung und dazu gehören bestimmte Betriebsparameter (Schlupf, Zugkraft, Fahrgeschwindigkeit) [2].

Die optimale Fahrgeschwindigkeit ist in erster Linie eine Funktion des auf die Leistung bezogenen Gewichtes. Diese Funktion wurde früher für die Bedingung des maximalen Zugwirkungsgrades gesucht und der Zusammenhang für verschiedenste Schlepper mit einer schmalen Zone (1) in Bild 6 eingetragen. Wenn das leistungsbezogene Schleppergewicht sehr niedrig gewählt wird, kann die Motorleistung nur bei Fahrgeschwindigkeiten über 10 km/h ausgenutzt werden.

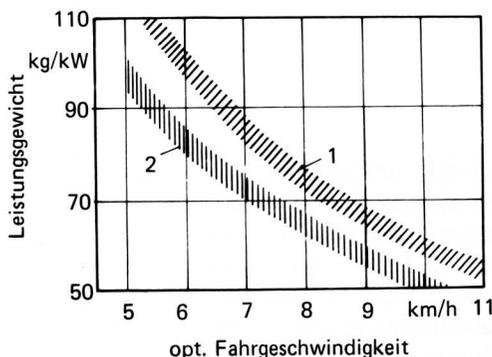


Bild 6. Leistungsbezogenes Gewicht in Abhängigkeit von der optimalen Fahrgeschwindigkeit für den maximalen Zugwirkungsgrad (1) und für minimalen Zeit- und Energieaufwand (2).

Zur Abstimmung von Schlepper und Gerät ist zweckmäßigerweise die Zugkraftcharakteristik des Schleppers zu benutzen. In diesem Diagramm können die Linien konstanter Fahrgeschwindigkeit und die Zugkraftlinie des Arbeitsgerätes eingezeichnet werden. Der Betriebspunkt soll unter Berücksichtigung von begrenzenden Faktoren und betriebstechnischen Forderungen in der Zone liegen, wo die Zugleistung 80–90 % der maximalen Zugleistung entspricht. Über 90 % Auslastung ist eine stabile Arbeit wegen der veränderlichen Belastung schwer möglich.

Bild 7 zeigt die Zugkraftcharakteristik eines großen Allrad-Schleppers und den Zugkraftbedarf von 5-, 6- und 7scharigen Pflügen (Stoppelfeld). Wie man sieht, kann die größte Zugleistung und damit der maximale Zugwirkungsgrad mit dem 5scharigen Pflug erreicht werden, wengleich eine Arbeit mit dem 7scharigen Pflug bei kleinerer Fahrgeschwindigkeit und größerem Schlupf ebenso möglich ist.

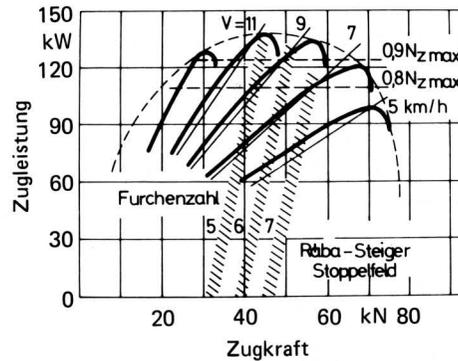


Bild 7. Zugkraftcharakteristik eines großen Allrad-Schleppers zur Abstimmung von Schlepper und Gerät; Getreidestoppel.

Mit Vergrößerung der Arbeitsbreite werden die auf die Fläche bezogenen Fahrwerkverluste und die Wendezeiten immer kleiner, daher stimmen die optimalen Fahrgeschwindigkeiten für den minimalen Zeitaufwand und minimalen Kraftstoffverbrauch nicht mit der Fahrgeschwindigkeit für maximalen Zugwirkungsgrad überein.

Bild 8 zeigt die Abhängigkeit des Zeitaufwandes und des flächenbezogenen Kraftstoffverbrauchs von der Fahrgeschwindigkeit für zwei verschiedene Arbeitsbreiten und für zwei spezifische Pflugwiderstände (Stoppelfeld). Wie durch Vergleich mit der Leistungskurve in Bild 7 ersichtlich ist, ergibt sich das Optimum für minimalen Zeit- und Energieaufwand bei kleinerer Fahrgeschwindigkeit und größerer Arbeitsbreite als für maximalen Zugwirkungsgrad. Diese Meßergebnisse stimmen mit den theoretischen Rechnungen von Stoppel [3] überein.

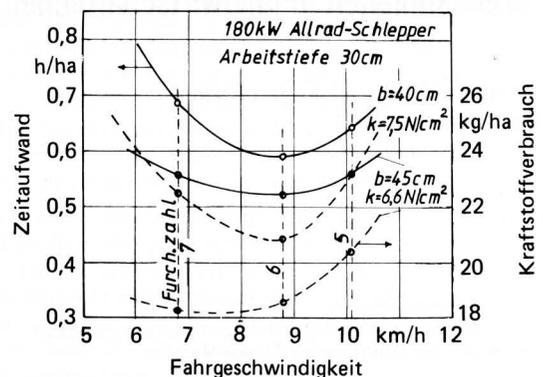


Bild 8. Zeitaufwand (ausgezogene Kurven) und flächenbezogener Energieaufwand (gestrichelte Kurven) beim Pflügen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit; Pflügen 5- bis 7scharig auf zwei verschiedenen Böden.

Ähnliche Beobachtungen ergaben sich auch für andere Schlepper mit verschiedenen leistungsbezogenen Gewichten. Aufgrund von Meßergebnissen und Rechnungen wurde daher in Bild 6 eine zweite Zone für minimalen Zeit- und Energieaufwand angegeben.

Wie aus Bild 1 zu entnehmen ist, weist der Pflugwiderstand bei etwa 18 % Feuchtegehalt ein Minimum auf, während die Scherfestigkeit des Bodens mit Erhöhung des Feuchtegehaltes ständig abnimmt. Das bedeutet, daß die Zugfähigkeit des Schleppers bei trockenem Bodenzustand am größten ist, Bild 9. Wenn man jetzt das System "Schlepper-Arbeitsgerät" betrachtet, ergibt sich das energetische Optimum bei Feuchtegehalten des Bodens von 11 bis 13 %. Bei diesem Feuchtegehalt kann jedoch hinsichtlich des Bearbeitungserfolges nicht das Optimum erreicht werden und, wenn Nachbearbeitung notwendig ist, muß noch zusätzliche Energie aufgewandt werden. Unter Berücksichtigung des Bodenbearbeitungserfolges findet sich ein Gesamtoptimum bei Feuchtegehalten des Bodens von 13–15 %.

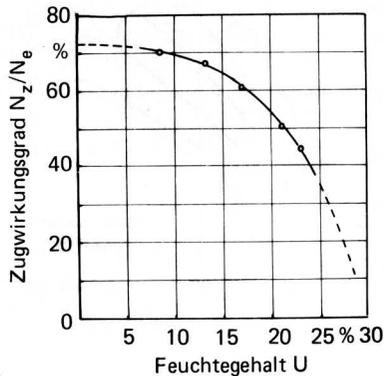


Bild 9. Zugwirkungsgrad eines großen Allrad-Schleppers in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Bodens; Getreidestoppel.

6. Schlußfolgerungen

Die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die rationelle und produktionsorientierte Bodenbearbeitung ist aus energetischer Hinsicht von großer Bedeutung.
2. Der Feuchtegehalt des Bodens hat einen wesentlichen Einfluß auf den Bearbeitungserfolg und Energiebedarf. Das Gesamtoptimum ergibt sich bei 13–15 % Feuchtegehalt.
3. Die Fahrgeschwindigkeit beeinflusst den Bearbeitungserfolg und den Energiebedarf verschiedenartig: eine Saatbettkombination soll mit einer Geschwindigkeit bis 10–11 km/h gefahren werden, während die Mehrheit der Bodenbearbeitungsgeräte bei 7–8 km/h optimal arbeitet.
4. Bei der Geräteauswahl sollte sowohl die Grundbearbeitung als auch die Nachbearbeitung in energetischer und ackerbaulicher Hinsicht in die Betrachtung einbezogen werden.
5. Zur Abstimmung von Schlepper und Gerät ist es zweckmäßig, die Zugkraftcharakteristik des Schleppers zugrunde zu legen.
6. Die optimale Fahrgeschwindigkeit kann auf den maximalen Zugwirkungsgrad oder auf den minimalen Zeit- und Energieaufwand (Verbrauch) bezogen werden. Die erste Beziehung ist mehr von theoretischer Bedeutung (Boden-Fahrzeug-Wechselwirkung), während die zweite für die Praxis ausschlaggebend ist.
7. Die optimale Fahrgeschwindigkeit für minimalen Zeit- und Energieaufwand ist immer kleiner als die für den maximalen Zugwirkungsgrad; beide sind eine Funktion des leistungsbezogenen Gewichtes. Der Einfluß der Bereifung und des Bodenzustandes auf die optimale Fahrgeschwindigkeit ist relativ gering.

Schrifttum

- [1] *Sitkei, G.*: Gesetzmäßigkeiten der Schollenzerkleinerung bei der Saatbettvorbereitung. Vortrag bei der Internationalen Tagung Landtechnik, Braunschweig 7.–9. Nov. 1979.
- [2] *Sitkei, G.*: Allgemeine Zusammenhänge zwischen der Leistung, dem Gewicht und den optimalen Betriebsparametern von Schleppern. *Grundl. Landtechnik* Bd. 28 (1978) Nr. 5, S. 189/91.
- [3] *Stroppel, A. u. W. Schäfer*: Arbeitszeit- und Energiebedarf beim Pflügen in Abhängigkeit vom Getriebeangabe, der Arbeitsbreite des Pfluges und der Schleppermasse. *Grundl. Landtechnik* Bd. 31 (1981) Nr. 5, S. 165/71.

Verfahrenstechnische und ökonomische Auswirkungen von Arbeitsunfällen in landwirtschaftlichen Betrieben

Von Theo Bischoff und Jürgen Frisch,
Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.1

Die Autoren danken der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft Württemberg und den Betriebsleitern für ihre Mitarbeit.

*) Prof. Dr. Th. Bischoff ist Inhaber des Lehrstuhls für Verfahrenstechnik in der Tierproduktion und landwirtschaftliches Bauwesen des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Dipl.-Ing. agr. J. Frisch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in diesem Fachgebiet.

Arbeitsunfälle mit bleibenden Minderungen der Erwerbsfähigkeit des Leiters eines landwirtschaftlichen Betriebes verursachen in der Regel Einschnitte in die betriebliche Entwicklung. Es wird gezeigt, welche Maßnahmen zwei landwirtschaftliche Betriebe ergriffen haben, um die verringerte Arbeitsfähigkeit zu kompensieren. Die ökonomischen Folgen der Veränderungen sind beträchtlich. Es erscheint angebracht, die Anpassungsmöglichkeiten in Betrieben behinderter Landwirte im Rahmen der Rehabilitationsberatung systematisch zu prüfen.