

Leistungsbedarf und Effekte von Stoppelbearbeitungsgeräten

Dr. Michael Weißbach
Prof. Dr. Edmund Isensee

Leistungsbedarf und Effekte von Stoppelbearbeitungsgeräten

Januar 2005

Dr. Michael Weißbach war wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel.

Diese Arbeit wurde von der Prof.-Riemann-Stiftung gefördert. Ursprünglicher Ansatz waren Messungen von Prof. Dr. Jürgen Wilcke, Fachhochschule für Landbau in Rendsburg/Osterrönfeld, zum Leistungsbedarf verschiedener Bodenbearbeitungs-werkzeuge. Weiter fasst diese Arbeit die Ergebnisse von drei Master-Arbeiten zusammen:

Großmann, J.C.: „Vergleichende Messungen konservierender Bodenbearbeitung“

Seehusen, T.: „Systemvergleich verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte zur konservierenden Bodenbearbeitung“

Sowa, F.: „Sensoren zur Erfassung verfahrenstechnischer Kennwerte während der Bodenbearbeitung“.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium- für Landwirtschaft (RKL)

Leiter: Dr. Hardwin Traulsen

Am Kamp 13, 24768 Rendsburg, Tel.: 04331-847940, Fax: 04331-847950

Internet: www.rkl-info.de, E-mail: mail@rkl-info.de

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Gliederung

	Seit
e	
1.	Einleitung 480
2.	Grundlagen 480
2.1	Aufgaben der Bodenbearbeitung 480
2.2	Veränderung der Bodenstruktur 481
2.3	Bodenbearbeitungsverfahren 482
2.3.1	Konventionelle Bodenbearbeitung 482
2.3.2	Konservierende Bodenbearbeitung 483
2.3.3	Stoppelbearbeitung 486
2.3.4	Strohmanagement 487
3.	Aufgaben des Grubbers und Bewertungsmethoden und Messgrößen 488
3.1	Bauart des Grubbers 489
3.2	Schar- und Zinkenform 490
3.3	Tiefe Bearbeitung 493
3.4	Mischen 494
3.5	Lockern und Zerkleinern 494
3.6	Rückverfestigen 495
3.7	Zugkraft und Dieserverbrauch 497
3.8	Weg und Geschwindigkeit 498
3.9	Alternativen zum Grubber 499
4.	Ergebnisse 500
4.1	Stoppelbearbeitung 500
4.1.1	Zugkraft und Leistung 501
4.1.2	Zerkleinerung 502
4.1.3	Rückverfestigung 503
4.1.4	Stroheinarbeitung 503
4.1.5	Feldaufgang 504
4.2	Mittlere Arbeitstiefe (12 –15 cm) 504
4.2.1	Zugkraft und Leistung 505
4.2.2	Zerkleinerung 505
4.2.3	Stroheinarbeitung 506
4.3	Tiefe Bearbeitung 507
4.3.1	Zugkraft und Leistung 507
4.3.2	Zerkleinerung 509
4.3.3	Rückverfestigung 509
4.3.4	Stroheinarbeitung 510
4.4	Gesamteindruck 511
5.	Alternative Verfahren 511
5.1	Mehrmals oder ein Mal grubbern? 511
5.2	Ein Grubber für alle Zwecke? 512

1. Einleitung

Der Boden bildet die Grundlage der landwirtschaftlichen Produktion. Seine naturgegebene Fruchtbarkeit zu wahren und zu fördern ist seit Generationen Ziel des Landwirts (Abb. 1).

Dieses traditionell geprägte Selbstverständnis des Landwirts, mit dem Produktionsfaktor Boden umzugehen, wird heute mit den politisch besetzten Begriffen „Nachhaltigkeit“ und „gute fachlich Praxis“ ausgedrückt.

Der Landwirt nutzt für seinen Standort die Vielfalt acker- und pflanzenbaulicher Möglichkeiten. Darunter bildet die Bodenbearbeitung einen bedeutsamen Eingriff, mechanisch wie biologisch. Neue Ansprüche und neue technische Lösungen beleben die Diskussion über den richtigen Weg. Hier stehen die Gesichtspunkte zu den Konzepten mit tief wendender oder konservierender Bearbeitung im Mittelpunkt.

Daher behandelt die Schrift die grundlegenden Aufgaben der Bodenbearbeitung und leitet daraus die Funktion von Bauart und Gerät sowie deren Effekt ab.

Grundlage dieser Arbeit sind Messungen im Praxiseinsatz zum Kraft- und Leistungsbedarf mit einem mit Messtechnik ausgestatteten Schlepper sowie die erzielte Arbeitsqualität: Zerkleinerung der Aggregate, Mischwirkung, Rückverfestigung gemessen.

2. Grundlagen

2.1 Aufgaben der Bodenbearbeitung

Die Geräte für die Bodenbearbeitung greifen mechanisch in das Bodengefüge ein und sollen je nach Standort und Fruchtart eine optimale Bodenstruktur schaffen und somit positive Auswirkung auf das Pflanzenwachstum und Ertragsniveau ausüben:

- Verbessern der Bodenstruktur durch ein günstiges Porenvolumen und verbesserte Kapillarität

- Schaffen eines physikalisch ungestörten Übergangs zwischen Ober- und Unterboden
- Erfüllung der Ansprüche der Kulturpflanzen an Luft-, Wärme-, Wasserhaushalt des Bodens
- Schaffung von günstigen Voraussetzungen für eine schnelle, sichere Keimung der nachfolgenden Kulturpflanzen
- Einarbeitung von Ernterückständen und Düngemitteln
- mechanische Unkrautbekämpfung, Förderung der Keimung von Ausfallgetreide, Unkraut und Grassamen
- Mindern der kapillaren Wasserverluste
- Schutz gegen Oberflächenabfluss und Erosion

2.2 Veränderung der Bodenstruktur

Die Bodenbearbeitung ist neben dem Klima und dem Bewuchs ein wesentlicher strukturbildender Faktor und verändert die Grob- und Feinstruktur des Bodens. Bodenbearbeitung stellt somit einen tief greifenden Eingriff in den Boden dar.

Die Bearbeitungsmaßnahmen prägen die Bodenstruktur im Oberboden und das Relief des Ackers und beeinflussen den Lebensraum für die Bodenfauna und – flora und den Wurzelraum. Der Begriff „Bodenstruktur“ kennzeichnet den Zustand und die Anordnung der Bodenbestandteile. Der Boden hat je nach Aufbau seiner Struktur einen mehr oder weniger großen Teil an Hohlräumen. Diese als Poren gekennzeichneten Hohlräume haben Einfluss auf die Wasserführung und die Durchlüftung des Bodens.

In der Vergangenheit bestimmten im Wesentlichen die wendende Bodenlockerung und das tiefe Einmischen von Unkräutern und Ernterückständen die Bearbeitung. Sie verlangte die regelmäßige Anwendung des Pfluges. Im umgänglichen Sprachgebrauch wurde vom „reinen Tisch“ gesprochen.

Allerdings ist das Ausmaß jährlich tiefer Lockerung vor dem Hintergrund von Kosteneinsparung und Bodenschutz kritisch zu überdenken.

Eine Reduzierung der Eingriffsintensität verbessert die Aggregation des Bodens. Die an der Oberfläche befindlichen Ernterückstände mindern die Erosion und Verschlammung.

Keimendes Pflanz- und Saatgut benötigt eine verkrustungsfreie Oberfläche und einen für die Wurzeln gut zugänglichen, locker spezielles Saatbett.

Wasser- und Luftleitfähigkeit des Bodens erfordern einen hohen Anteil an luft- und wasserführenden Grobporen mit einer hohen nutzbaren Feldkapazität.

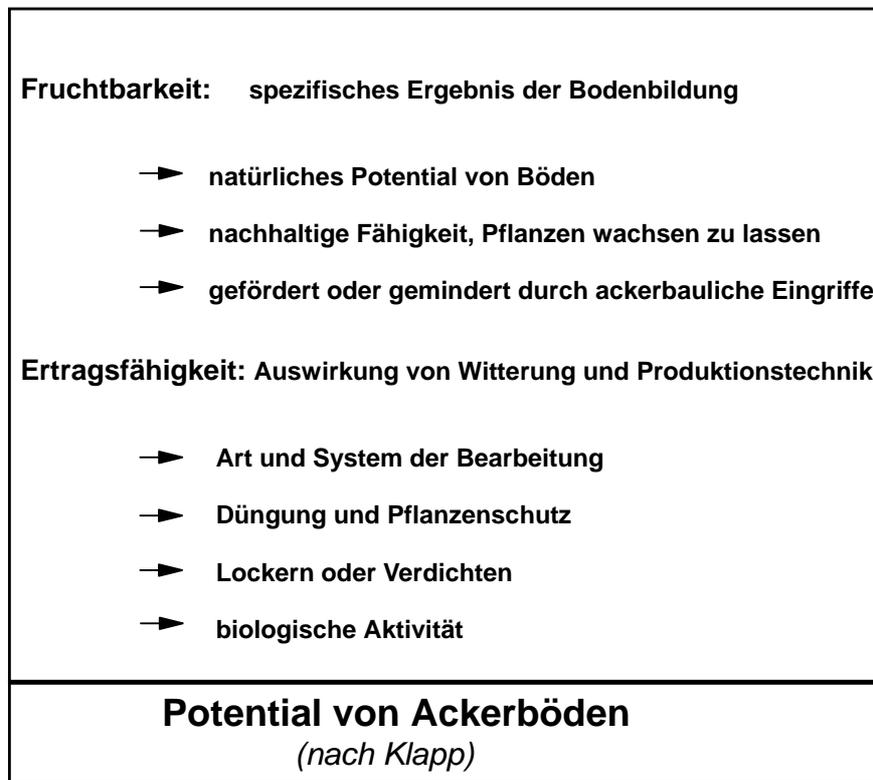


Abbildung 1

2.3 Bodenbearbeitungsverfahren

Grundsätzlich unterscheiden sich die einzelnen Bearbeitungsgänge im Verfahren nach Eingriffsintensität, Tiefe und Zweck:

- Stoppelbearbeitung als flache, die Kapillarität unterbrechende Form, um die Keimung von Ausfallgetreide zu fördern
- Grubbern als tiefere Lockerung und Einmischung organischer Substanz
- Pflügen als krumentiefe, wendende Bearbeitung

2.3.1 Konventionelle Bodenbearbeitung

Wesentliches Kennzeichen der konventionellen Bodenbearbeitung ist der alljährliche Einsatz des Pfluges in 15-30 cm Tiefe. Dabei wird der Oberboden gewendet und Unkräuter und organische Reststoffe werden krumentief

eingearbeitet. In Fruchtfolgen mit hohem Anteil an organischer Substanz oder mit Zwischenfruchtanbau spielt dies eine Rolle, namentlich im ökologischen Landbau, der außerdem auf die mechanische Unkrautbekämpfung angewiesen ist. Das Einarbeiten von Stroh und Stoppel kann auch aus Gründen der Feldhygiene notwendig werden, um beispielsweise die Infektionsrisiken von Pilzkrankheiten zu senken. Außerdem bessert es die Funktionssicherheit der Säaggregate.

Der Boden wird stark gelockert, so dass ein Packer, meist mit Ringen großen Durchmessers, auf mittlerem Boden auch als Doppelpacker den Boden wieder verfestigt.

Der Pflug hinterlässt eine ebene, von Reststoffen freie Oberfläche. Der Grundbodenbearbeitung kann so die Saatbettbereitung mit herkömmlicher Sätechnik folgen. Dagegen steht der Nachteil einer oft zu feinkrümeligen Oberfläche. Diese ist auf sensiblen Böden direkt der Gefahr der Erosion durch Wind und Wasser ausgesetzt. Bei starken Niederschlägen steigt die Verschlammungsgefahr. Die Schlagwirkung der Regentropfen zerstört die Oberflächenstruktur, Feinmaterial verschließt die wasserführenden Poren der Oberfläche. Es entstehen Verschlammung bzw. Verkrustung an der Oberfläche.

Als wesentlicher Nachteil des Pfluges gilt stets die Bearbeitungssohle auch „Pflugsohle“ genannt. Auf Grund einer stets gleich bleibenden Arbeitstiefe bilden die Pflugschare in der Schnittebene eine verdichtete Zone aus. Andererseits ist vermehrt zu beobachten, dass der Boden in natürlicher Struktur aufbricht, also nicht abgesichert wird.

Das Schlepperrad in der Furche trägt horizontale und vertikale Kräfte in der Tiefe ein. Mit der zunehmenden Arbeitsbreite geht dieser Nachteil zurück. Außerdem wird – im Gegensatz zu früher – mit bodenschonender Bereifung gearbeitet.

2.3.2 Konservierende Bodenbearbeitung

Die Konservierende Bodenbearbeitung verzichtet als wesentliches Kennzeichen auf den Pflug und die Wendung des Bodens. Die Bearbeitungsintensität wird hinsichtlich der Art, Häufigkeit und Eingriffstiefe gegenüber der konventionellen Bearbeitung reduziert. So werden die organischen Reste der Vorfrucht je nach Arbeitsverfahren und Arbeitstiefe in den Oberboden eingemischt, oder sie verbleiben an der Ackeroberfläche. Mit Blick auf die Sätechnik ergeben sich daraus als Verfahren:

- **Mulchsaat:** Die Erntereste werden an oder nahe der Oberfläche belassen, die Aussaat erfolgt in die vorhandene Mulchschicht
- **Direktsaat:** Diese Form der Bodenbestellung ist definiert als eine Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung seit der vorangegangenen Ernte.

Die Direktsaat hat unter unseren klimatischen Verhältnissen keine Bedeutung.

Die Mulchsaat hingegen bietet – je nach Technik und Ziel – vielfältige bewährte Erscheinungsformen. Generell gelten folgende Gesichtspunkte (vgl. Abb. 2).

Ein wichtiger Grund liegt in der Verminderung von Erosion durch Wasser und Wind. Das gilt für gefährdete Standorte, Hanglagen, schluffhaltige Böden seit eh und je. Das trifft aktuell all die Praktiker, die den finanziellen Anreiz aus staatlichen Förderprogrammen nutzen wollen. Die Prämie wird mit der Prophylaxe gegenüber Boden und Nährstoffaustrag begründet.

Grundsätzlich gilt, dass das Erosionsrisiko mit abnehmender Intensität der jährlichen Bodenbearbeitung geringer wird. Bei der konservierenden Bodenbearbeitung entfällt die starke Bodenwendung, und die Erntereste verbleiben an der Oberfläche, so dass die Aussaat in die Erntereste erfolgt. Der Boden ist somit länger bedeckt als bei der konventionellen Bodenbearbeitung und weniger den Witterungseinflüssen ausgesetzt.

Das Belassen von Pflanzenresten auf oder nahe der Bodenoberfläche stellt in Kombination mit einem intakten Bodengefüge eine wirksame Maßnahme zur Vorbeugung gegenüber Erosion, Oberflächenabfluss und Verschlammung dar. Denn die Pflanzenreste dämpfen die Aufprallenergie der Regentropfen, und sie behindern als Miniatur-Damm das Abfließen des Wassers oder Wirken des Windes.

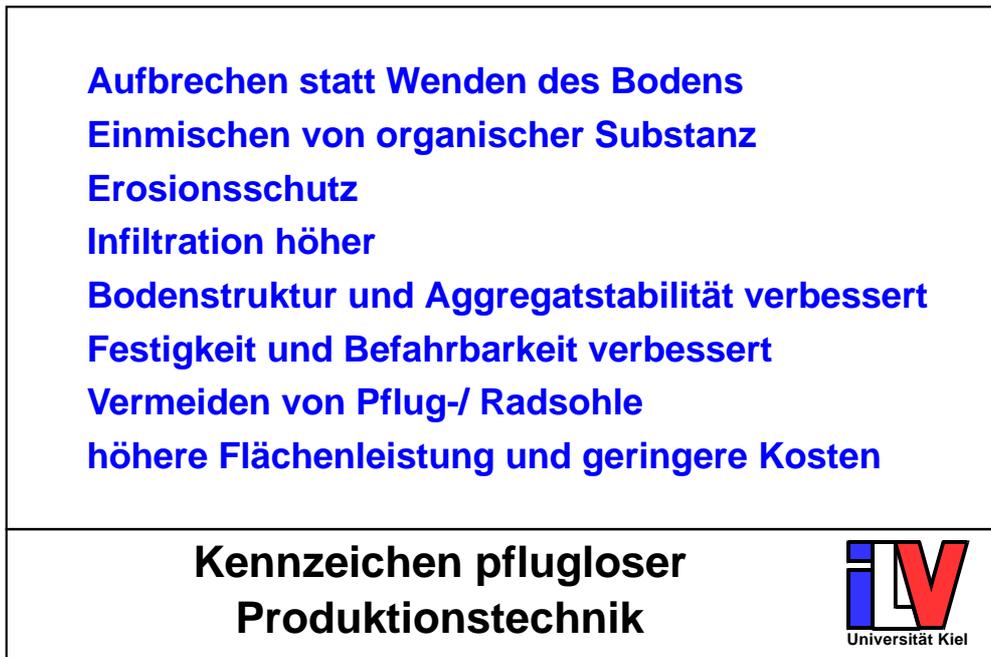


Abbildung 2

Das bedeutet also: je höher der Bedeckungsgrad, desto besser der Effekt. Die öffentliche Förderung kann dazu führen, dass diese Bedeckung über Kennwerte kontrolliert wird.

Zielkonflikte mögen bestehen: Obenauf liegendes Stroh bindet Niederschlag, der nicht dem Boden zugute kommt. Der Häcksler am Mähdrescher soll das Stroh kurz häckseln, damit es gut zu verteilen ist und schnell im Boden umgesetzt wird. Dann lässt also die „mechanische Wirkung“ nach. Andererseits: je feiner das Stroh gehäckselt und mit dem Boden vermischt ist, desto geringer wird wegen der mikrobiellen Umsetzung das Risiko von Pilzinfektionen eingeschätzt.

Zu bedenken ist vor Ort, wann die Risiken der Erosion primär bestehen: über Winter angesichts der starken, andauernden Niederschläge auf den gesättigten Boden, mit oder ohne Bewuchs an Wintergetreide. Das andere Extrem bildet im Frühjahr die noch offene Fläche mit Hackfrucht oder Mais, die dem Risiko von Sturm oder Gewitter ausgesetzt ist. Über diesen Effekt an der Oberfläche hinaus kommt der Wirkung im Boden auf Struktur und Bodenleben Bedeutung zu.

Durch den Pflugverzicht kommt es im Oberboden zu einer Akkumulation von Nährstoffen, da diese nicht mehr in tiefere Bodenschichten eingemischt werden, sondern im Hauptwurzelraum der Pflanzen verbleiben. Das aber hängt davon ab, wie tief der Grubber arbeitet bzw. arbeiten muss, um den Strohertrag

einzuarbeiten. Insofern haben die in der Literatur genannten hohen C- und N-Gehalte in der „Mulchschicht“ (5-10 cm) kaum praktische Relevanz.

Der Verbleib von Pflanzenresten auf der Bodenoberfläche führt zu einer hohen Aktivität der Regenwürmer, die das Material in den Boden einziehen. Damit schaffen sie eine vertikal ausgerichtete Porenstruktur, die die Infiltration von Niederschlag fördert sowie die Festigkeit des Bodens und damit die Befahrbarkeit verbessert.

Die konventionelle Bodenbearbeitung dagegen bricht durch den wendenden Bodeneingriff des Pfluges den natürlichen Bodenverband auf. Die Überlockerung des Oberbodens macht zur Saatbettbereitung weitere Arbeitsgänge zur Rückverfestigung, Brechen der groben Aggregate und Wiederherstellung der Kapillarität nötig. Der überlockerte Boden ist aufgrund der losen Lagerung und der geringen Anzahl an Korn-Korn-Kontakten verdichtungsempfindlicher.

Des Weiteren ist der Wasserhaushalt von Bedeutung. Jede Form der Bodenbearbeitung führt zunächst einmal zu einem zusätzlichen Wasserverlust. Die wendende Bearbeitung bringt feuchten Boden an die Oberfläche, wo er schneller austrocknen kann und dem Einfluss der Witterung stärker ausgesetzt ist. Ernterückstände auf der Oberfläche minimieren die Verdunstung. Bei Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung ist durch die ständige Bodenbedeckung, bzw. die oberflächennahe Einarbeitung der Erntereste die Verdunstung im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung durch den Pflug wesentlich geringer.

Aufgrund der höheren Bodenfeuchte und der dichteren Lagerung erwärmen sich die konservierend bearbeiteten Standorte im Frühjahr langsamer, so dass es zu einer späteren N-Mineralisation gegenüber den gepflügten Varianten kommt.

Im Wettbewerb der Verfahren kommt es wesentlich darauf an, dass der Betriebsleiter die Schwierigkeiten beherrscht, die der Pflugverzicht mit sich bringen kann, (Abb. 3). Auf keinen Fall darf das Ertragsniveau gefährdet werden. Den Problemen von Fruchtfolgekrankheiten ist mit gutem Strohmanagement und tiefer Einarbeitung entgegenzuwirken. Die Technik von Grubber und Sämaschine hat hier deutliche Fortschritte gebracht.

2.3.3 Stoppelbearbeitung

In der Ernte folgt direkt dem Mähdrescher die Stoppelbearbeitung. Sie hat mehrere Ziele zu erfüllen:

- Schaffung guter Aufgangsbedingungen für Unkrautsamen und Ausfallgetreide. Das bedeutet umfassenden Kontakt zwischen Korn und Boden, ohne störendes Stroh, damit die – ohnehin knappe – Feuchtigkeit aus dem Boden an das Korn übergeht. Es reicht also geringe, für die Keimung notwendige Bodenlockerung. Je lockerer, desto mehr muss rückverfestigt werden.
- Unterbrechen des kapillaren Wasseraufstiegs, angesichts der knappen Niederschläge zur Zeit der Bestellung relevant.

Dieser Anspruch steht in etwa im Widerspruch zu

- Mischen von Boden und Stroh, damit von Beginn an der Strohabbau einsetzt. Dieses Ziel steht im Kontext zur Folgekultur. Die Strohmenge hoher Ernteerträge kann ohnehin erst mit der Grundbodenbearbeitung eingebracht werden.

Darüber hinaus bleiben Struktur und Gare erhalten, wenn der Boden nicht austrocknet.

Diese Ziele zu erreichen, bedeutet sofortige Arbeit mit hoher Flächenleistung. „Sofort“ bedeutet in letzter Konsequenz, was tags gedroschen wurde, ist zum nächsten Tag bearbeitet. Die Schlagkraft ist über Arbeitsbreite und geringe Arbeitstiefe zu realisieren. Im Extrem reicht für Raps der Strohstriegel.

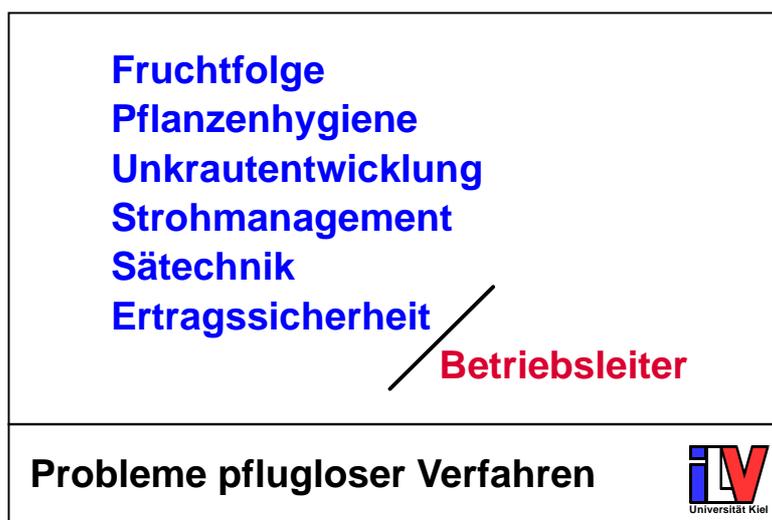


Abbildung 3

Diese Ansprüche lassen sich jedoch nicht erfüllen, wenn weitere Ziele kombiniert werden sollen, so die Einarbeitung der Gülle, um Verluste und Geruchsemission zu vermindern.

2.3.4 Strohmanagement

Unter Strohmanagement werden alle Maßnahmen verstanden, die negative Auswirkungen der Ernterückstände auf die Folgefrucht verringern. Bei wendender Bodenbearbeitung mit dem Pflug ist das Strohmanagement aufgrund der Einarbeitung unter den gewendeten Bodenbalken von nicht so großer Bedeutung.

In der konservierenden Bodenbearbeitung hat der Grubber mit der Lockerung auch das Stroh einzuarbeiten. Für eine gute Saatgutablage mit hoher Auflauftrate und guter Jugendentwicklung sind die Strohmenen gleichmäßig einzubringen. Pro 10 dt/ha Stroh sind etwa 2 cm Einarbeitungstiefe erforderlich, um einen guten Kontakt zwischen Boden und Strohteilchen zu erreichen. Jeder zusätzliche Zentimeter Arbeitstiefe bewegt allerdings ca. 150 t Boden/ha, so dass ein höherer Zugkraftbedarf mit entsprechend höherem Kraftstoffverbrauch resultiert.

Problematisch ist, dass die Strohmenen durch das steigende Ertragsniveau beständig zunehmen.

Erschwerend wirkt, dass durch eine spätere Reife von Weizen, Roggen und Triticale in Kombination mit einer früheren Aussaat der folgenden Winterfrüchte deutlich weniger Zeit für die Strohrotte verbleibt.

Hier erhält der Häcksler am Mährescher große Bedeutung: Neue Maschinen schaffen es, das Stroh auf 5 cm zu zerkleinern. Es lässt sich besser vermischen und verrottet schneller. 75 % sollten kürzer als 10 cm sein. Dann gelingt es eher, das Stroh über die Breite gleichmäßig zu verteilen.

Das Stroh nahe der Bodenoberfläche beeinträchtigt die Saatgutablagequalität. So befinden sich nach dem Pflügen ca. 60–100 % der Erntereste in einer Tiefe von 15–25 cm. Nach der Stoppelbearbeitung – 5 cm tief – liegt über die Hälfte des Strohs an der Oberfläche, nach dem Grubbern in 10 cm Tiefe etwa ein Drittel und in 15 cm nur ein Fünftel, also genug im Sinne des Erosionsschutzes – natürlich abhängig von der Häcksellänge und Bauart des Grubbers.

Dennoch: die Frage, wie viel Stroh an der Oberfläche verbleiben und wie viel eingemischt werden soll, wird von Praktikern und Wissenschaftlern stark

diskutiert. Das hängt zunächst einmal von der Art der Vorfrucht und der Höhe der Stroherträge ab. Weiterhin ist die Querverteilung nach dem Mähdrusch ein entscheidendes Kriterium. Außerdem bindet das Stroh leichte Niederschläge: 1 kg Stroh kann 3-5 l Wasser aufnehmen, also bei 100 dt/ha Masse wären das 3-5 mm Regen, die u.U. wieder verdunsten und nicht der keimenden Saat zur Verfügung stehen.

Folgt dem Getreide eine Winterung so ist die Zeitspanne zur Bodenbearbeitung u.U. sehr knapp, und es ist eine schnelle Strohrotte anzustreben. Da Stroh an der Bodenoberfläche aufgrund des schlechten Bodenkontaktes am schlechtesten verrottet, ist in diesem Falle eine sorgfältige Einmischung erforderlich. Folgt direkt Raps, so schafft tiefes Grubbern ein gutes Saatbett; das Auflaufgetreide lässt sich vom Herbizid beseitigen.

Folgt dem Getreide eine Sommerung, namentlich Mais oder Rübe, so ist es aus Gründen der Verdunstungs- und Erosionsschutzes sinnvoll, eine verzögerte Strohrotte anzustreben und u.U. mehr Stroh an der Oberfläche zu belassen.

3. Aufgaben des Grubbers und Bewertungsmethoden und Messgrößen

Der Markt bietet eine Vielfalt an Grubberbauarten und Anbietern. Generell übernimmt der Grubber die Funktion

- lockern
- mischen
- einebnen
- rückverfestigen

Je nach Ausführung und Einsatz variieren Zugkraft und Geschwindigkeit. Die Arbeitstiefe reicht vom flachen Abschneiden der Stoppeln bis zur tiefen Lockerung, die unter die Pflugsohle oder Spuren reicht, um aufgetretene Schäden oder Strukturmängel zu beseitigen.

3.1 Bauart des Grubbers

Die kompakte Bauweise ermöglicht, das Gerät vom Dreipunktkraftheber tragen zu lassen (Frontgewicht). Sind mehrere Funktionen kombiniert, wird das Gerät angehängt und vorn von Rädern oder einer Walze geführt. Für die Straße ist im allgemeinen ein eigenes Fahrwerk vorgesehen (Abb. 4), oder man setzt eine Packerwalze aus Gummirädern ein.

Die Tiefenführung vorn übernehmen Gummiräder von etwa 20 cm Breite, die im Abstand über der gesamten Arbeitsbreite angeordnet sind. Sie laufen störungsfrei und halten die Höhe auch auf Unebenheiten oder Spuren ein. Andere Lösungen sind im Angebot, so abrollende Schneid-Scheiben, die aber nicht sicher schneiden können – und auch nicht sollen, um die Tiefe zu halten. Hinten wird die Tiefe von der Walze für die Rückverfestigung gehalten.

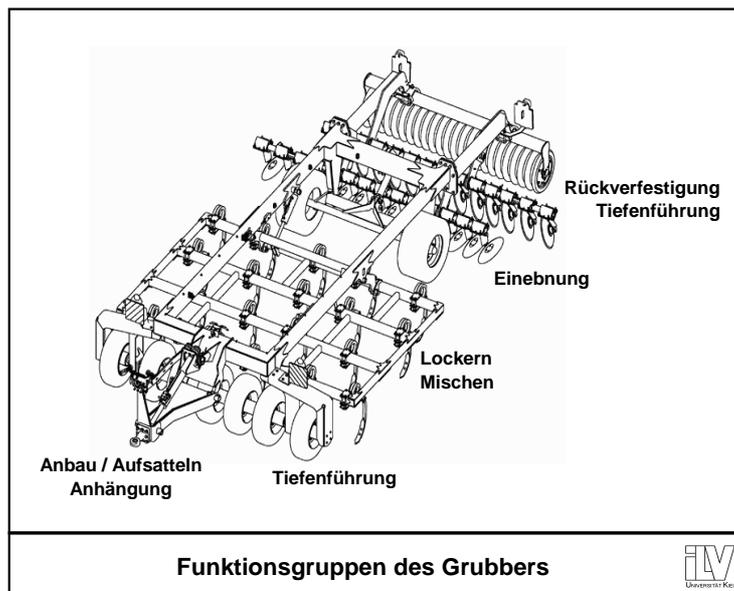


Abbildung 4

Die Einstellung der Tiefe erfolgt über Spindel oder Hubzylinder, fixiert durch Distanzstücke.

Die Tiefe exakt einzuhalten, hat mehrere Gründe: zu tief, bedeutet unnötigen Verbrauch an Zeit und Kraftstoff, zu flach gefährdet den Effekt.

Also sollte die Tiefenführung von einem groß dimensionierten Fahrwerk gewährleistet sein. Dazu dient die Packerwalze, da sie angesichts der Breite kleine Unebenheiten oder Spuren ausgleicht. Aus gleichem Grund übernimmt bei gezogenem Gerät eine Reihe von Walzen oder Gummirädern die Führung vorn. Beim Anbau- oder Aufsattelgerät liegt diese Aufgabe in der genauen Einstellung des Schleppers. Damit wird gewährleistet, dass das gesamte Gerät waagrecht in gleicher Tiefe läuft.

Der Fahrer sollte die Tiefe einfach einstellen können, mechanisch oder bei größeren Geräten hydraulisch von der Kabine aus – stets bei gut erkennbarer Anzeige für die Tiefe. Für wechselnde Bodenbedingungen bieten Hersteller Grubber an, deren Arbeitstiefe während der Fahrt angepasst werden kann,

entweder für: das gesamte Gerät oder nur die relevante Baugruppe, also das Zinkenfeld.

Die wichtigste Funktionsgruppe bilden die Zinken, an 2 oder mehr Balken angeordnet. Sie wird kombiniert mit weiteren mischenden oder einebnenden Werkzeugen.

Der Rahmen und der Abstand der Zinken zueinander sollen genügend Freiraum (> 80 cm) gewähren, damit angehäuften Stroh nicht zu Störungen führt. Dieser Anspruch wächst naturgemäß, wenn mit der Arbeitstiefe der Durchgang kleiner wird.

Die einfache Ausführung bietet 2 Balken, 3 oder mehr Zinkenreihen ergeben eine bessere Überdeckung, also können die Schare schmäler werden.

Aus der Vielfalt an Ausführungen folgt eine Systematisierung nach mehreren Merkmalen:

- nach der primär vorgesehenen Aufgabe, z.B. Tiefgrubber
- nach der Zinkenform
- nach Zahl der Balken, die die Zinken tragen
- nach der Kombination mit Nachlauf-Werkzeugen

3.2 Schar- und Zinkenform

Je nach Aufgabe wählt man ein breit abscherendes oder schmal aufbrechendes Schar (Abb. 5).

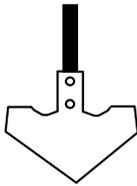
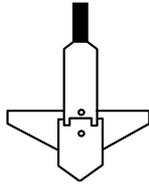
			
Doppelherzschar	Gänsefußschar	Schmalschar	Flügelschar
Breite: 10 - 15 cm	20 - 30 cm	5 - 8 cm	30 - 45 cm
Tiefe: 12 - 20 cm	5 - 10 cm	12 - 20 cm	8 - 15 cm
Verschiedene Scharformen			
			

Abbildung 5

Typisch für die flache Bearbeitung ist das Gänsefußschar. Auf festem oder trockenem Boden tut es sich schwer, einzudringen und die geringe Tiefe konstant zu halten. Den Nachteil meidet das Flügelschar, dessen Spitze wegen des Untergriffs die Arbeitstiefe sichert. Die dreiteilige Ausführung schafft eine höhere Festigkeit und die Möglichkeit, Teile auszutauschen.

Diese Formen bewegen den Boden nur wenig, haben also eine relativ geringe Mischwirkung. Das Stroh bleibt leicht in Streifen liegen – ein Nachteil, der natürlich von mehreren Zinkenreihen gemindert wird.

Für die tiefere Bearbeitung kommen schmalere Schare in Frage: das Flügelschar mit nur 30 cm Breite passt zur mittleren Tiefe: die Spitze reicht 12 cm, der Flügel 8 cm in die Krume bis 20 bzw. 15 cm. Das einfachere „Stoppelschar“ mit 15-20 cm kommt ebenfalls primär für die mittlere Tiefe in Frage.

Soll bei 20 cm gearbeitet werden, wird das Schar mit 5-8 cm schmaler. Denn je tiefer gearbeitet wird, desto bedeutsamer wird die aufbrechende Wirkung. Damit wird die natürliche Aggregatstruktur besser gewahrt als durch die schneidende Funktion der Breitschare, die eher einen Horizont ausbilden.

Die Anordnung von Schar und Zinken beeinflusst die Bewegung des Bodens. Ein flach ausgewinkeltes Schar unterfährt den Boden, er gleitet an dem nach hinten gewundenen Stiel nach oben. Das soll Zugkraft sparen im Vergleich zu dem senkrecht montierten Zinken.

Die Zinken selbst werden verschieden ausgeführt:

- **starr und senkrecht montiert**
- **mit Steinsicherung: Scherbolzen, Blatt- oder Druckfeder**
- **habstarr mit Druckfeder**
- **gefedert: mit Blattfeder, im Bogen geführt, gibt sie nach hinten nach, oder als Spiralfederzinken, der dank der Windungen nach allen Seiten ausweichen kann, Die oszillierende Bewegung verstärkt den lockernden Effekt. Dabei variiert der Anstellwinkel der Schare, sie geben dem harten Boden nach.**

Der starke Schwingungsausschlag birgt die Gefahr, dass bei flacher Arbeitstiefe und hoher Geschwindigkeit Steine nach vorn geschleudert werden. Daher wird über das Zinkenfeld ein Netz gespannt.

Die Scharformen haben einen spezifischen Einsatzschwerpunkt, müssten also je nach Arbeitstiefe gewechselt werden. Das ist ein recht mühsamer Zeitaufwand, allerdings vom Schlagschrauber vereinfacht. Für ein 3 m-Gerät benötigt man immerhin 20-30 Min.

Somit gewinnen vor allem bei breiten und mehrbalkigen Grubbern Schnellwechschelars an Interesse. Die Halterung des Schar ist so geformt, dass sie auf einen Keil am Zinken passt.

Der gezielte Schlag mit dem Hammer löst das Schar aus dem Keil. Umgekehrt wird das Schar auf den Keil fest geschlagen und soll trotz der Vibration bei flacher und tiefer Arbeit fest sitzen – ein Sicherheitssplint vermeidet Verlust auf dem Feld und auf der Straße.

Diese Technik wird interessant, wenn der Verschleiß zu häufigem Wechsel führt, verursacht vom Boden oder schlechtem Material. Und sie ist interessant, wenn beim Universal-Grubber die Schare zu den einzelnen Bearbeitungstiefen getauscht werden.

Die Grundausrüstung kostet gut 10 bis 20 € pro Keil mehr, dazu kommt das passende Schar für 20 bis 40 €. Es ist also doppelt so teuer wie das geschraubte Schar. Da die Keilform zueinander passen muss, ist die freie Wahl im Ersatzteilangebot eingeschränkt.

Tabelle 1: Einige Preis-Beispiele für Grubberschare

Schmalschar 7 cm	10 €
Schnellwechsel	30 €
Breitschar 17 cm	14 €
Schnellwechsel	40 €
Wendelschar 7 cm	14 €
Flügelschar 38 cm	45 €
1 Flügel	12 €
Spitze	6 €
Aufpanzerung	20 €

Bodenbearbeitung hat viel mit Verschleiß zu tun. Die Abrasion wirkt vor allem auf mittleren IS- und sL-Böden, generell bei Trockenheit. Die Güte des Materials ist vom Hersteller gegeben, beschichtete Teile erhöhen die Standzeit, besonders auf trockenen Flächen.

Zur Reduzierung der Kosten kann das mehrteilige Schar einzeln ausgetauscht werden. Die Spitze hält 15-30 ha, der Flügel 30-50 ha nach Erfahrungen aus sL-Böden. Die Verschleißkosten liegen als Mittel aus Praxiserhebungen bei:

0,7 €/ha auf S-Böden
 1,7 €/ha auf sL-Böden
 2,2 €/ha auf LT-Böden

3.3 Tiefe Bearbeitung

Die Grundbodenbearbeitung verläuft i.d.R. in zwei Ebenen: 10-12 cm und/oder 15-20 cm. Wenn der Boden durch Quellung-Schrumpfung locker genug ist, reicht die flachere Bearbeitung: Verfestigter Boden (und hohe Strohmenen) verlangen nach mehr. In jedem Fall: das Saatgut soll schnell keimen und den Wurzelraum schnell „erobern“. Hier wird nicht mehr in einer Ebene gearbeitet, um die Bildung einer Sohle zu vermeiden. Die Schare sind schmaler, ihre Wirkung beruht auf dem Aufbrechen des Bodens. Auf Sandboden ist dieser Aufbruch weniger breit als auf lehmigen. Also müsste dort tiefer gearbeitet werden. Vereinfacht gilt: Der Zinkenabstand entspricht der Arbeitstiefe.

Das (schmalere) Flügelschar arbeitet 8 cm tief, die Spitze 12 cm. Dann liegt der Leistungsbedarf um 3 kW/Schar. Der nächste Bereich liegt um 15 cm für die Flügel und 20 cm für die Spitze des Schar.

Im Sinne der aufbrechenden Wirkung kommen schmale Schare (ca. 5-10 cm breit) für die tiefere Arbeit in Frage. Dazu gehört das alt bekannte Doppelherzschar. Ihre Form fördert den Boden von unten nach oben, teils in Wendelform, und erzielt dadurch den Mischeffekt, also auch Wendel- oder Mulch-Schar genannt.

3.4 Mischen

Die Mischwirkung beruht auf Art und Zahl der Zinken. Der einzelne Zinken fördert den Boden von unten nach oben und wirft ihn nach vorn auf die Oberfläche, er kann dann also nochmals gewendet werden. Besonders für den Mulcheffekt geformte Schare leiten den aufsteigenden Erdstrom im Wechsel nach links oder rechts. Je enger der Zinkenabstand, desto intensiver diese Wirkung. Auf diese Weise werden Stroh und Boden vermischt. Ein Teil aufliegenden Materials fällt in den vom Zinken geöffneten Boden. Zu realisieren ist dies mit mehreren Zinkenreihen. Dann werden Stroh und Boden von Reihe zu Reihe hin und her bewegt.

Diese Art der Bodenbewegung erklärt, dass Stroh nicht bis in Zinkentiefe eingebracht werden kann. Meist liegt es in 10-15 cm Tiefe.

Wie wird der Mischeffekt festgestellt?

Das obenauf liegende Stroh wird bereits nach dem Mähdrescher mit Blick auf Menge und Verteilung bonitiert: Über der Breite an mehreren Stellen mit beiden Armen zusammen geschwadet, um die Menge per Augenschein zu vergleichen.

Nach dem Grubbern ist der Anteil an der Oberfläche und über die Tiefe zu erfassen. Dazu dient die „Gitterfenstermethode“. Hierbei legt man mit dem Spaten oder der Hacke das Bodenprofil frei und legt an der Schnittkante ein 50 cm breites Gitter an. Das Gitter ist mit 5×5 cm großen Fenstern ausgestattet, anhand derer die Beurteilung der Stroheinmischung erfolgt. Um die gesamte Arbeitsbreite abzudecken, wird das Gitter nebeneinander solange versetzt, bis 2 m erreicht sind. Jedes Raster sollte Stroh enthalten. Der Anteil derer, bei denen es zutrifft, wird als Bedeckungsgrad bezeichnet, spezifisch für die Oberfläche und die einzelnen Tiefen.

3.5 Lockern und Zerkleinern

Die Bearbeitung soll den Boden lockern, damit der Luft- und Wasserhaushalt gefördert wird.

Zur Ermittlung der Größenstruktur wurden jeweils nach den Durchgängen der Bodenbearbeitung Proben gezogen. Erschwert wurde die Probenahme durch die extreme Trockenheit und den Strohanteil. Es wurden Bodenmonolithe mit einer definierten Größe von 30 x 30 x 20 cm aus dem bearbeiteten oberen 10 cm des Oberbodens entnommen. Pro Variante wurden 3 Wiederholungen durchgeführt.

Im Labor wurden die Bodenmonolithe auf einer speziellen Siebmaschine bei einer definierten Zahl an Schwingungen in verschiedenen Fraktionen unterteilt (< 10 mm, 10-20 mm, 20-40 mm, 40-100 mm, >100 mm). Die Siebmaschine setzt sich aus zwei parallel laufenden, identischen Siebstapeln mit einer Grundfläche von jeweils 37 x 37 cm zusammen. Jeder der beiden Stapel besteht aus 4 Sieben mit dem oben genannten Lochdurchmesser.

Die Siebmaschine ist mit einem intermittierenden Antrieb ausgestattet. Zur Schonung der Aggregate erfolgt nach jeweils zwei Umdrehungen ein kurzer Stopp des Motors.

Da die Grundfläche der Siebe nicht ausreichte, die einzelnen Proben exakt auszusieben, musste jede Probe gleichmäßig auf beide Siebstapel verteilt werden.

Nach dem Siebvorgang wurden die jeweiligen Fraktionen auf den einzelnen Sieben exakt ausgewogen.

3.6 Rückverfestigen

Der Erdstrom und die Zinkenstiele des Grubbers hinterlassen eine streifenförmigen Oberfläche und Ablage von Stroh bzw. Boden. Daher ist der Boden zu mischen und zu nivellieren. Dafür sind einfache Zinken wenig effektiv, außerdem störanfällig, da sich aufliegendes Stroh häufen kann. Besser, wenn auch aufwendiger und schwerer, wirken Scheiben, die in Tiefe und Winkel sorgfältig einzustellen sind. Dennoch: nach tiefer Arbeit eines nur 2-balkigen Grubbers befriedigt der Erfolg nicht.

Die ebene Fläche bildet ein gutes Saatbett, ob für Ausfallgetreide oder die Drillmaschine.

Dazu gehört auch die Rückverfestigung: Sie verlangt eine hohe Gewichtskraft. Sie lässt sich realisieren, da sich das Eigengewicht des Geräts (1,5 bis 5,5 t) auf der Packerwalze abstützt. Der Effekt wird in der Dichte ausgedrückt. Sie steigt z.B. von 0,9 auf 1,1 g/cm³; die Werte liegen wegen des Strohanteils auf geringem Niveau.

Die Walze selbst muss offene Elemente haben: Ob in Form von Scheiben oder Rohrstäben, mit Zähnen oder Nocken auf der Walze, um hohen spezifischen Flächendruck auszuüben und eine profilierte, nicht eine glatte Oberfläche auszubilden. Andererseits soll sie nicht entmischen und Stroh hochholen. Auf leichtem Boden reicht die Rohrstabwalze, auch als Tandem. Die Bauart mit Zahnpacker, Trapez- oder Keilring, bringt höheres Gewicht mit (Hubkraft!), eignet sich daher für schweren Boden. Das geschlossene innere Zentralrohr vermeidet zu tiefes Einsinken und Aufwerfen des Bodens. Lange Zinken sind dafür gedacht, zu mischen und zu verfestigen, lockern aber mit dem Bewegungsverlauf, wenn die Zinken aus dem Boden heraus kommen.

Nach tiefer Lockerung sinkt die Packerwalze ein, das verursacht beachtlichen Rollwiderstand. Hier sollte der Durchmesser mind. 50 bis 65 cm betragen. Hier liegt gewiss auch der Vorzug der Gummiräder, die im Abstand von gut 10 cm montiert sind. Beim Scheiben- oder Keilring wird von einigen Herstellern die Eindringtiefe begrenzt.

Zur Ermittlung der Rückverfestigung wurden im Versuch die Lagerungsdichte, die Bodenfeuchte und das Porenvolumen anhand von Stechzylinderproben ermittelt. Die Stechzylinder wurden in den oberen 10 cm der Ackerkrume entnommen, mit 10 Wiederholungen pro Variante.

Die Stechzylinder haben einen Durchmesser von 10 cm und sind an der einen Unterseite angeschliffen, um ein Eindringen in den Boden zu erleichtern und eine Zerstörung der Bodenstruktur beim Einbringen der Zylinder zu vermeiden. Sie sind also größer (800 cm³) als die üblicherweise eingesetzten. Die Zylinder wurden mittels eines Fallgewichtes in den Boden getrieben. Die Erde, die nach der Probenahme an der Ober- und Unterseite des Stechzylinders etwas aus dem Zylinder quillt, muss nach der Probenahme vorsichtig mit einem scharfen Spachtel abgeschnitten werden.

Die Lagerungsdichte des Bodens gibt den Anteil der Festsubstanz am Gesamtboden an. Die Trockenrohdichte (TRD) ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Bodenstruktur. Aus der TRD ergibt sich die Anzahl an Korn-Kontakten der festen Bodenpartikel.

Alternativ dazu ist denkbar, den Eindringwiderstand mit dem Penetrometer zu messen. Es misst die Kraft, mit der ein Kegel vertikal von Hand in den Boden gedrückt wird oder horizontal vom Schlepper gezogen wird. Auf diese Weise sind Änderungen im Boden schnell und einfach zu ermitteln.

Alternativ zur Messung der Bodenkenndaten steht, den Erfolg der Rückverfolgung über den Feldaufgang zu quantifizieren: Manuell durch Zählen der Pflanzen oder mechanisiert mit dem Sensor.

Die Pflanzen innerhalb eines 60x60 cm messenden Zählrahmens wurden in jeweils drei Wiederholungen pro Variante gezählt. Die Messung des Bestandes erfolgte mittels des GPS geführten N-Sensors, der an einem 4 m langen Ausleger in der Dreipunkthydraulik des Versuchsschleppers geführt wurde.

Das Prinzip des Grünsensors beruht auf der unterschiedlichen Lichtreflexion der nackten Bodenoberfläche und der Oberfläche der Pflanzen. Die Erfassung des Grünbesatzes erfolgt somit anhand der unterschiedlichen Lichtreflexion der dunklen Ackeroberfläche und der grünen Pflanzen. Hier wurde als Maß das Infrarot zu Grün-Verhältnis (IR/G) gewählt.

3.7 Zugkraft und Dieserverbrauch

Als technisch-wirtschaftliche Kenngrößen dienen Zugkraft und Dieserverbrauch.

Damit ist der Zugwiderstand einzelner Geräte oder Bauformen sowie der Bearbeitungstiefe darzustellen.

Der Dieserverbrauch charakterisiert die Eigenschaften der Motorregelung und die Betriebskosten.

Für Messungen wurde ein Schlepper der Fa. Case (CVX mit 126 kW) mit der Messtechnik und bodenschonender 900er Bereifung (Fa. Grasdorf-Wennekamp, Michelin) ausgerüstet.

Die Zugkraft (F in daN) wird in der Anhängung, also am Dreipunktkraftheber gemessen. Sie gibt den Widerstand von Boden und Gerät wieder. Die Zugleistung (P in kW) ergibt sich, wenn die Geschwindigkeit einbezogen wird, und zwar gemäß:

$$P[\text{kW}] = F [\text{daN}] \times v [\text{km/h}] \times \frac{1}{36}$$

Der Schlepper liefert über die Kraftmessbolzen der Regelhydraulik serienmäßig mehr oder minder gute Daten. Für die Versuche wurden die Unterlenker zusätzlich mit einer eigenen Messeinheit und Kraftsensor ausgestattet, ebenfalls der Oberlenker wegen der Zug- und Druckkräfte im Dreipunktbau. Für gezogene Geräte reicht eine Kraftmessdose in der Anhängung. Die Messwerte geben auch Auskunft über die Heterogenität des Bodens. Unterschiede sind nach der Ursache zu analysieren: nach der Bodenart, der Struktur oder der Verdichtung. Dann kann der Zugwiderstand als Indikator für den Boden im Rahmen teilflächenspezifischer Produktionstechnik dienen. Die Motorleistung beinhaltet zusätzlich die Eigenbewegung des Schleppers und die Verluste in der Übertragung. Sie wird über den Dieserverbrauch und das Motorkennfeld errechnet.

Der Verbrauch wird über ein eigenes Messsystem (Fa. Dieseltechnik Lindemann) erfasst. Ein Messimpuls entspricht 2 cm^3 Diesel. Bedeutsam ist die unterschiedliche Dichte von Vor- und Rücklauf. Mit 10 K Temperatur ändert sich das Volumen um 1% . Der Kraftstoff kann sich immerhin im Rücklauf auf 70° erwärmen. Also ist dies rechnerisch zu kompensieren oder über eine eigene Kühlung zu umgehen.

Alternativ bieten moderne Schlepper das Signal der elektronisch gesteuerten Einspritzpumpe, die dem Motor nur die Menge freigibt, die er für die abgeforderte Leistung braucht.

3.8 Weg und Geschwindigkeit

Für Flächenleistung und Schlupf bildet die Messung der Geschwindigkeit eine wichtige Basis. Das Getriebe gibt serienmäßig die Geschwindigkeit des angetriebenen Rades an, die tatsächliche lässt sich auf verschiedene Weise erfassen.

Der Radarsensor strahlt Mikrowellen in einem bestimmten Winkel auf die Fläche. Sie werden reflektiert und vom Sensor aufgenommen. Die Frequenzunterschiede zwischen gesendeten und empfangenen Wellen entsprechen der Geschwindigkeit. Als Störgrößen können Abweichungen vom Winkel und in der Oberfläche auftreten, also Pflanzenbestand oder aufgeworfene Krümel.

In Versuchen nutzt man häufig das Peisler-Rad, das neben der Maschine angebaut wird und über den Boden schlupffrei abrollt.

Die GPS-Technik gibt über den Wechsel der Position die Entfernung wieder, zugleich die dazugehörige Zeit. Dieses Verfahren eignet sich für großflächige Anwendung, für kleinflächige ist dies Verfahren zu ungenau

Bei allen Methoden bleibt die Notwendigkeit, sie vor Ort zu justieren. Denn der Abrollumfang des Schlepperrads hängt vom Luftdruck der Reifenfederung und dem Bodenzustand ab.

3.9 Alternativen zum Grubber

In der Stoppelbearbeitung erhält die kurz angebaute Scheibenegge Bedeutung. Für die tiefere Bearbeitung wird eine neue Form des Schälplugs angeboten, der das gesamte Stroh flach einarbeitet.

Alternativ zum Grubber schafft auch die Scheibenegge eine gut einstellbar flache, durchgehende Schnittebene. Die schräg gestellten Scheiben (ca. 45-60 cm \varnothing), sind dank Gummilagerung in der Höhe nachgiebig. Sie mischen – im Gegensatz zum Grubber – kaum in horizontaler Richtung. Scheibeneggen können sehr schnell gefahren werden (bis 15 km/h), laufen störungsfrei und gefedert über Hindernisse, Steine oder Strohaufen hinweg. Der Grubber schleppt angehäuften Stroh mit und lässt es allmählich während der Fahrt frei – sofern es trocken ist.

Die Scheiben sitzen beim klassischen Großgerät auf einer Welle, bei der kurzen Bauart jedoch hat jede Scheibe einen eigenen Träger. Sie kann – je nach Fabrikat und Bedarf – schräg zum Boden im Untergriff (z.B. 15 – 25°) oder schräg zur Fahrtrichtung im Anstellwinkel (z.B. 0-20°) eingestellt werden, um die Eingriffsintensität je nach Boden zu bestimmen.

Flache Arbeit auf trockenem Boden lässt allzu leicht schmale Stege stehen – von oben sieht alles gelockert aus. Hier wäre eine stärkere Einstellung zu wählen. Insgesamt erreicht die Kurzscheibenegge max. 10–12 cm Tiefe.

Wenn mehr verlangt wird, sollte die gesamte Bauart darauf abgestimmt sein: die gezackte Scheibe mit großem Durchmesser und langem Spiral-Federweg dringt tiefer ein.

In ihrer kompakten Bauart als Anbaugerät haben sie – obwohl Spezialgerät - Anklang in der Praxis gefunden. Der geringe Zugkraftbedarf erlaubt große Arbeitsbreite und Geschwindigkeit. Die Vielfalt im Angebot der Hersteller deutet ebenfalls auf die Renaissance dieser Technik.

Als Alternative zur tiefen Arbeit mit dem Grubber steht die neue Form eines Pfluges, Ecomat (Fa. Kverneland) genannt. Das Streichblech ist stark zylindrisch geformt, also wird der Boden stark gewendet. Damit wird eine kurze Bauform möglich. 8 Schare können – je nach Schnittbreite – bis 3 m Breite erreichen. Die Arbeitstiefe reicht von 6 bis 18 cm. Sie muss etwas unter der vorausgegangenen Stoppelbearbeitung liegen, damit der Pflug Führung erhält und der Boden sicher gewendet wird. Der Packer ist integriert und wird über den Ausleger zusätzlich mit Druck beaufschlagt.

Dieses System scheint dort bedeutsam, wo Wert auf das saubere Saatbett mit gleichmäßiger Feuchte gelegt wird, oder große Massen organischen Materials die Aussaat stört. Letzteres interessiert im ökologischen Landbau.

4. Ergebnisse

Zu Geräten der Mulchsaat betreut das Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Kiel, mehrere Versuchsserien:

- in Kooperation mit Fa. Amazone, die auf mehreren Standorten mit Bauarten des Hauses Erfahrungen zu Boden und Ertrag gewinnt
- in Verbindung mit der Fachzeitschrift top agrar eine vergleichende Beurteilung
- im Zusammenhang mit der DLG-Prüfung von 11 Grubbern
- eigene Fragestellungen, auch zur teilflächenspezifischen Produktionstechnik

Die Erkenntnisse sollen im Folgenden dargestellt werden, zunächst für die flache Stoppelbearbeitung, differenziert nach den Gerätetypen und zunächst gesondert nach den Standorten.

Die einzelnen Geräte werden nach der Bauart systematisiert:

- a) Anordnung der Zinken an
 - 2 Balken
 - 3 Balken
 - 4 und mehr Balken
 - inkl. Rückverfestigung
- b) Kombination mit mehreren der besprochenen Baugruppen,
- c) Kurzscheibenegge

4.1 Stoppelbearbeitung

Der flache (6-7 cm) Bearbeitungsgang lässt eine hohe Geschwindigkeit zu und ermöglicht eine hohe Flächenleistung.

In die ersten Vergleiche gehen Geräte der Fa. Amazone ein:

- Pegasus:** 2-balkiger Grubber, Flügelschare (ungleiche Tiefe)
43 cm Strichabstand
Hohlscheiben hinter den Zinken
Keilring – Packer
- Cenius:** 3-balkiger Grubber, 13 Wendelschare mit 17 cm breitem Schar, 24 cm Strichabstand, Hohlscheiben, Keilring - Packer
- Centaur:** angehängt mit eigenem Fahrwerk,
Reifenwalze vorn und Keilring-Packer hinten für die Tiefenführung
4-reihiges Zinkenfeld, 15 Federstahl-Zinken,
20 cm Strichabstand,
Schare austauschbar: 18 cm Stoppelschar, flach
7,5 cm Wendelschar, mittel
5 cm Schmalschar, tief
- Catros:** Kurzscheibenegge, 5 m, 46 cm \emptyset
2 Reihen, 12,5 cm Strichabstand
Keilringwalze

Die Arbeitsgeschwindigkeit wurde auf Grund guter fachlicher Praxis vom kundigen Fahrer gewählt. Die Motorleistung bildete hier keine Grenze.

4.1.1 Zugkraft und Leistung

Tabelle 2: Messwerte der Stoppelbearbeitung (Fehmarn 04)

Gerät Arbeitstiefe cm	Geschw. km/h	Zugkraft kN je m	Flächen- leistung ha/h	Diesel- verbrauch l/h	l/ha
Catros 5	13,1	3,5	5,4	25	4,7
Pegasus 6-9	11,8	6,6	3,5	25	7,1
Cenius 7	12,0	4,1	3,6	19	5,2
Centaur 7	12,4	7,0	3,7	25	6,7

Die Kurzscheibenegge benötigt relativ wenig Zugkraft, lässt hohe Geschwindigkeit und 5 m Arbeitsbreite zu. Der geringe Schlupf von 2-4 %

bestätigt die sichere Kraftübertragung der breiten Reifen auf trockenem Boden. Beim Grubber fallen der Zugkraftbedarf – hier auf 1 m Arbeitsbreite bezogen – des 2-balkigen Gerätes auf und damit der höhere Dieserverbrauch je ha. Das liegt offenbar an dem höheren Untergriff der Scharspitze sowie der breiteren Schare. Beim Kombi-Grubber Centaur resultieren die höheren Werte gewiss aus der höheren Arbeitsintensität von Grubber und Kurzscheibenegge.

Messwerte von anderen Standorten verdeutlichen die Spannweite und einige Einflüsse, die auf dem gleichen Schlag auftreten können.

Bei den Messungen in Oppendorf (10 cm) wechselt die Geschwindigkeit mit dem Centaur bei 10 cm Arbeitstiefe und ganz geringem Schlupf, je nach Boden und Hanglage, zwischen 10 und 16 km/h um den Mittelwert 13,6 km/h. Entsprechend ändert sich die Flächenleistung. Die Zugkraft variiert mit 3 bis 7 kN/m recht stark. Der Dieserverbrauch streut 25 % um den Mittelwert von 7 l/ha.

Auf dem sandigen Lehm von Friedrichstal wechselt die Flächenleistung für den Centaur zwischen 3,6 bis 4,2 ha/h bei 10 cm Arbeitstiefe. Der Dieserverbrauch variiert zwischen 4 und 7 l/ha, erreicht am Hang 8 l/ha.

4.1.2 Zerkleinerung

Der Arbeitseffekt wird von der Zerkleinerung und Durchmischung bestimmt.

Die Bodenproben wurden fraktioniert wie in der Grafik (Abb. 6) dargestellt. Im Sinne des Feldaufgangs sind die hohen Anteile kleiner Aggregate des Pegasus hervorzuheben, vermutlich auch von der Tiefenschwankung verursacht. In den folgenden Fraktionen treten kaum Unterschiede auf. Kein Gerät hat Aggregate größer 100 mm erzeugt. Die höhere Anzahl von Baugruppen des Kombi-Grubbers hat sich hier nicht ausgewirkt. Andererseits ist auch kein Zusammenhang zwischen Zerkleinerungsenergie und Zugkraft zu erkennen.

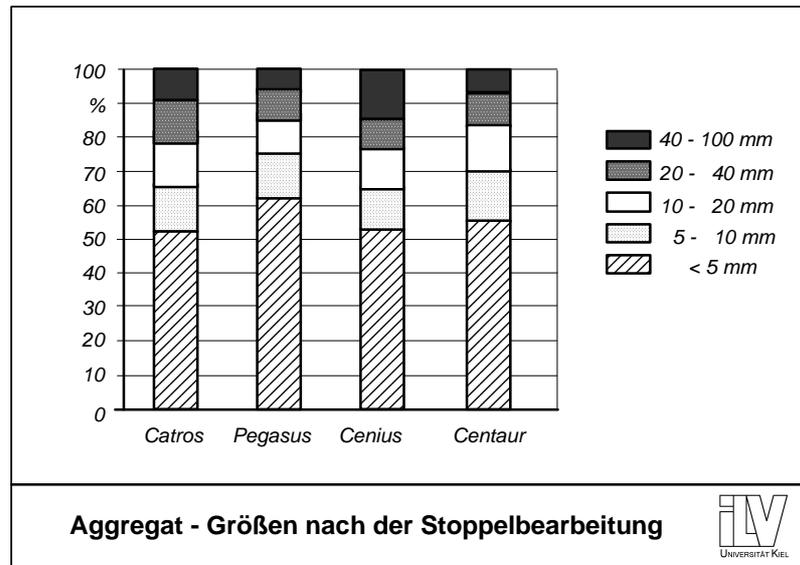


Abbildung 6

4.1.3 Rückverfestigung

Die Rückverfestigung soll im Rahmen der Stoppelbearbeitung dafür sorgen, dass Ausfallgetreide und Unkrautsamen schnell auflaufen. Im eigenen Versuch konnten keine Messungen realisiert werden, da der Boden sehr ausgetrocknet war und keine brauchbaren Ergebnisse zu erwarten waren (s. 2. Bearbeitung)

Versuche im Rahmen des DLG Test 10/03 (Profi 1/04) weisen nach, dass im Vergleich verschiedener Grubbersysteme die Kombi-Grubber (u.a. Centaur von Amazone) aufgrund hoher Walzen- und Gesamtgewichte, die nur bei Aufsattelgeräten möglich sind, die höchste Rückverfestigung erreichen.

4.1.4 Stroheinarbeitung

Das Ziel, wie viel Stroh an der Oberfläche verbleiben und wie viel einzumischen ist, kann unterschiedlich gesehen werden. Angesichts der flachen Bearbeitung ist ohnehin zu erwarten, dass viel an der Oberfläche liegen bleibt.

Der Mähdrescher hatte offenbar das Stroh gut verteilt, denn es traten keine breiten Streifen auf. Angesichts des engen Messrasters von 5 x 5 cm wurden naturgemäß Differenzen im Bedeckungsgrad festgestellt (Tab. 2). Insgesamt lagen 60 % des Strohs obenauf. Nur die tiefere Arbeit des Pegasus verlagerte Stroh von der Oberfläche in die Zone von 5-10 cm.

Tabelle: 3: Bedeckungsgrad mit Stroh nach der Stoppelbearbeitung (Fehmarn 04)

Tief (cm)	Catros		Pegasus		Cenius		Centaur	
	von - bis	Ø						
Oberfläche	25 – 100	68	10 – 75	34	25 – 100	76	25-100	75
0 – 5	10 – 75	36	0 – 50	25	10 – 75	45	25 – 100	42
5 – 10	0 – 25	5	0 – 25	12		0	0 – 10	4

In der Schicht 0-5 cm, die für die Keimung wichtig ist, bestehen für die Geräte keine spezifischen Unterschiede.

4.1.5 Feldaufgang

Das daraus resultierende Auflaufverhalten der Samen wird vom Reflexions-Sensor veranschaulicht. In den 5 Tagen nach der Bearbeitung war kein Niederschlag gefallen, dennoch hatte sich ein schwacher Bestand entwickelt. Der gemessene Reflexionsgrad lag bei allen Varianten um 0,9 mit geringen unspezifischen Differenzen. 10 Tage später jedoch treten Unterschiede auf, obwohl es nicht geregnet hatte (Tab. 4).

Tabelle 4: Reflexionsgrad mit Stroh nach der Stoppelbearbeitung (Fehmarn 04)

	Catros		Pegasus	Cenius	Centaur
IR/G Index	8	6 cm	6 – 9 cm	7 cm	7 cm
	1,2	0,3	0,8	0,4	1,4
Stand.-abw.	0,2	0,05	0,3	0,05	0,2
Zählsumme Pfl./m ² nach 25 Tagen	14	23	23	22	36

Der Sensor am Schlepper erfasst 75 m², die manuelle Zählung nur 0,75 m². Dennoch besteht eine recht weite Streuung der Messwerte. Unter den Geräten liefert die intensive Arbeit des Centaur starken Bewuchs. Die etwas tiefere Arbeit und der geringere Strohanteil mögen die Variante Pegasus gefördert haben. Interessant sind die beiden Flächen mit Catros. Nur 2 cm tiefere Arbeit haben den Bestand gefördert. – Allerdings: die Zählung der Pflanzen bestätigt das nicht.

4.2 Mittlere Arbeitstiefe (12-15 cm)

Der 2. Arbeitsgang wurde auf den Flächen durchgeführt, bei denen die Stoppel bearbeitet waren – mit dem gleichen Gerät, außer nach der Scheibenegge, der der Kombigrubber folgte. Also sind die Ergebnisse als Effekt von 2 Arbeitsgängen zu sehen.

4.2.1 Zugkraft und Leistung

Die Geschwindigkeit (Tab. 5) liegt auf ähnlichem Niveau, da sie die mischende Funktion fördert. Der höhere Zugkraftbedarf des Centaur hat 6 % mehr Schlupf zur Folge und letztlich mehr Dieserverbrauch. Er ist verursacht von der Vorarbeit. Die Kurzscheibenegge hat nicht die ganze Fläche gelockert sondern Stege stehen gelassen. Relativ günstige Werte erzielt der Cenius dank der schmalen Wendelschare.

Tabelle 5: Messwerte zur zweiten, 15 cm tiefen Bearbeitung

Gerät/Arbeitstiefe (cm)	Geschw · km/h	Zugkraft kN/m	Fl.Istg. ha/h	Dieselverbrauch	
				l/h	l/ha
Catros 5/Centraur 15	10,5	9,5	3,0	33	11,0
Pegasus 6-9 / 12-14	11,9	7,3	3,4	23	6,9
Cenius 7 / 15	12,3	6,4	3,6	24	6,7
Centaur 7 / 15	11,0	8,7	3,1	26	8,4

4.2.2 Zerkleinerung

Im Zerkleinerungseffekt fallen nur wenige Punkte auf (Abb. 7). Die kleinen Aggregate nehmen mit 50 % den gleichen Anteil ein. Ähnlich verhält es sich mit den großen Fraktionen. Nur der Cenius hinterlässt einen höheren Anteil >40 mm. Der insgesamt geringere Zerkleinerungseffekt beruht auf den schmalen Zinken, trotz der Anordnung in 3 Reihen.

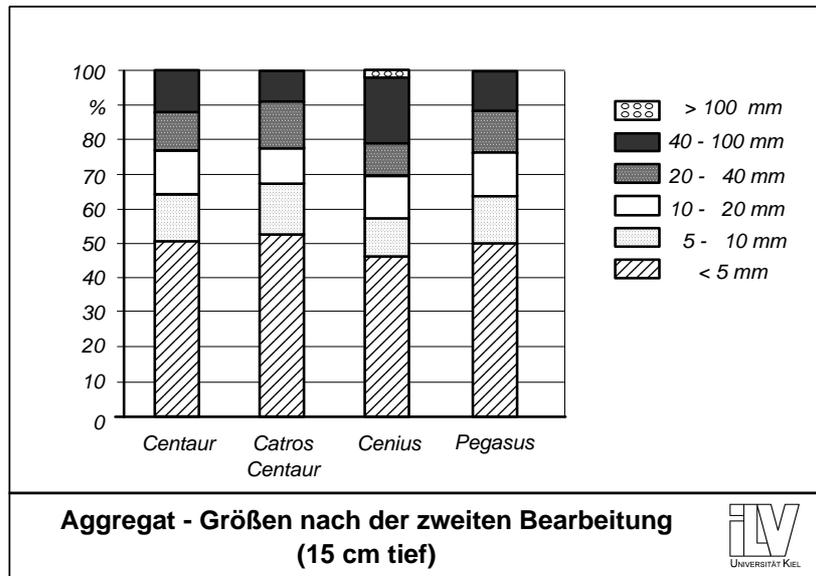


Abbildung 7

4.2.3 Stroheinarbeitung

Die tiefere Bearbeitung bietet dem Stroh mehr Volumen, um eingearbeitet zu werden, 60 % lag nach der Stoppelbearbeitung noch an der Oberfläche, nun sind es bis 15 % weniger (Tab .6).

Tabelle 6: Bedeckungsgrad nach der 2. Bearbeitung (15 cm) Fehmarn 04

Tiefe cm	Catros 6/ Centaur 15		Pegasus 6-9/12-14		Cenius 7/15 Von – bis ∅		Centaur 7/15 von – bis ∅	
	von – bis	∅	von – bis	∅				
Oberfläche	10 – 75	33	10 – 75	37	10 – 75	42	25 – 75	38
0 – 5	10 – 15	27	10 – 75	31	10 – 75	26	10 – 75	28
5 – 10	0 – 50	16	0 – 50	11	0 – 75	4	0 – 75	17
10 – 15	0 – 25	3		0		0	0 – 15	4
Anteil im Boden %	58		53		42		56	

Vor allem der Centaur schafft es, wohl im Zusammenwirken der 4 Zinkenreihen mit der Scheibenegge, das Stroh in höheren Anteilen tief einzubringen. Dem Cenius hingegen gelingt das hier weniger als den anderen Geräten.

4.3 Tiefe Bearbeitung (18-20 cm)

Der dritte Arbeitsgang folgte in ausreichendem zeitlichen Abstand. Sein Ziel liegt darin, Stroh tief einzumischen und ein intensiv gelockerter Saatbett zu schaffen

4.3.1 Zugkraft und Leistung

Der Zugkraftbedarf ist deutlich angestiegen, die Geschwindigkeit zurückgegangen (Tab. 7). Der Schlupf von nur 4-6 % spricht für die gute Kraftübertragung der 900er Reifen auf den bereits gelockerten Flächen.

Tabelle 7: Messwerte zur dritten Bearbeitung (18-20 cm tief)

Gerät/Arbeitstiefe cm	Geschw. km/h	Zugkraft kN/m	Fl.-Istg. ha/h	Dieselverbrauch	
				l/h	l/ha
Catros 6/Centaur 15/20	8,7	11,0	2,5	31	12,4
Pegasus 6-9/12-14/18	8,5	11,0	2,4	27	11,3
Cenius 7/15/20	10,9	9,7	3,1	29	9,4
Centaur 7/15/20	8,9	10,8	2,5	31	12,4

Die etwas geringere Arbeitstiefe beim Pegasus wirkt sich nicht aus, denn die breiten Schare lockern über der vollen Breite. Die Wendelschare des Cenius benötigen weniger Kraft, die höhere Geschwindigkeit lastet den Motor aus, wie der Verbrauch je h andeutet. Die beiden Flächen mit dem Centaur ergeben – bei aller Heterogenität auf dem Acker – identische Werte.

Auf dem Standort Oppendorf wurden ähnliche Werte gefunden. Der Zugkraftbedarf lag im Mittel bei 7,5 kN/m, bei einer Standardabweichung von 9, der Dieselverbrauch bei 31 l/h. Die Streuung hängt mit der Bodenart und dem Relief zusammen; darauf reagiert die Grundbodenbearbeitung sensibler als die Stoppelbearbeitung.

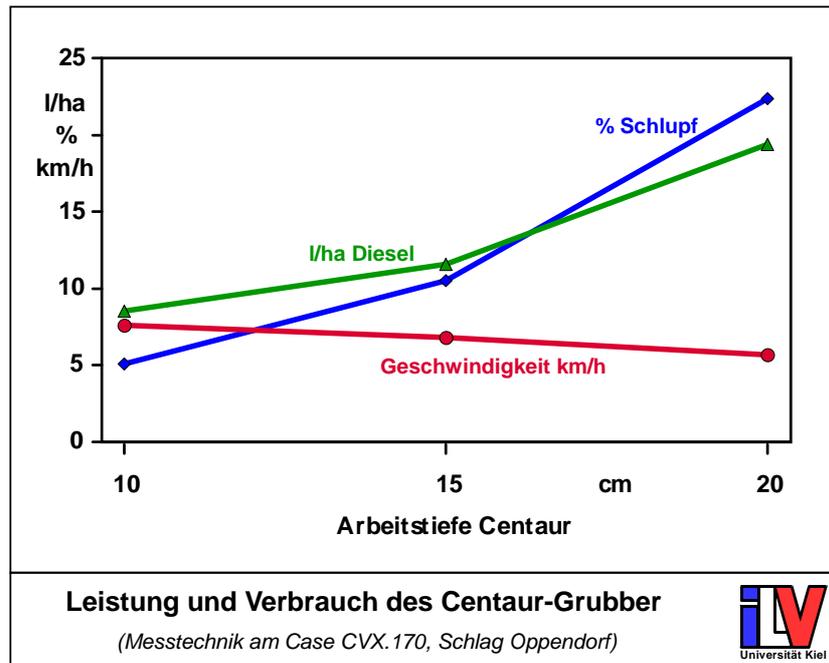


Abbildung 8

Die zusammenfassende Darstellung (Abb. 8) veranschaulicht für den 3-m Centaur, wie mit der Arbeitstiefe die Geschwindigkeit sinkt und der Schlupf steigt. Als Folge daraus nimmt der gemessene Dieserverbrauch zu. Im Mittel liegt der Verbrauch bei 1 l/ha je cm Tiefe. Bei der Deutung der Kurven ist zu beachten, dass die tiefere Bearbeitung auf der bereits gelockerten Fläche erfolgt. Das Mehr an Zugkraft betrifft die zusätzliche Tiefe, aber auch die stärkere Bewegung und Durchmischung des Bodens. Auch der Schlupf ergibt sich aus der stark gelockerten Oberfläche des recht trockenen Bodens.

Auf Friedrichstal arbeitete der Centaur in 10 und 18 cm Tiefe mit dem Wendel- bzw. Schmalschar, im Vergleich dazu der Pflug (30 cm). Wegen der unterschiedlichen Geschwindigkeit wird die Zugkraft in –Leistung umgerechnet. Der wechselnde Boden verursacht eine große Spannweite der Daten (Tab. 8).

Tabelle 8: Zugleistung von Pflug und Grubber (Friedenstal 03)

Gerät und Tiefe	Zugleistung in kW/m von – bis	Ø	kW je cm u. m AB
Pflug 30 cm	20 – 38	27	0,9
Centaur 18 cm	10 – 20	18	1,0
10 cm	10 – 20	14	1,4

4.3.2 Zerkleinerung

Mit Blick auf die Zerkleinerung sollte man erwarten, dass sie von der 3. Bearbeitung gefördert wird. Dagegen aber steht, dass von unten neuer Boden eingebracht wird: gegenüber 15 cm Tiefe ist es ein Drittel mehr. Insgesamt geht der Anteil kleiner, für das Saatbett bedeutsamer Aggregate zurück (Abb. 9). Die beiden kleinen Fraktionen machen ca. 50 % aus, außer wiederum beim Cenius.

Mit zunehmender Eingriffstiefe nehmen insgesamt die mittleren Aggregatgrößen (5-40 mm) zu, es erfolgt eine Verlagerung des Aggregatgrößenspektrums von den groben- bzw. feinen Aggregaten in den mittleren Bereich.

4.3.3 Rückverfestigung

Die tiefe Bodenbearbeitung führt zu abnehmender Bodendichte. Dadurch nimmt der Kontakt der Pflanzen mit den Bodenpartikeln ab, die Wassersorgung der Pflanzen verschlechtert sich. Daher ist es wichtig, den Boden ganzflächig rückzuverfestigen, um gleich bleibende Keimbedingungen für Ausfallgetreide und Unkrautsamen zu schaffen.

Zur Beurteilung wurden mit dem Stechzylinder Proben gezogen, um Dichte, Porenvolumen (PV) und Feuchte zu messen.

Die Dichte erscheint gering, das Porenvolumen hoch (Tab. 9). Aber in der Probe ist ja das Stroh enthalten. Der Centaur hat bessere Werte erzielt – gewiss eine Folge der intensiveren Durchmischung dank der 4 Zinkenreihen und der Scheibenegge, aber auch ein Ergebnis der hohen Gewichtskraft, die auf die Keilringwalze drückt.

Der Feuchtegehalt zeigt mit 9,8 bis 11,6 % geringe Differenzen, die außerdem keine Beziehung zur Dichte haben.

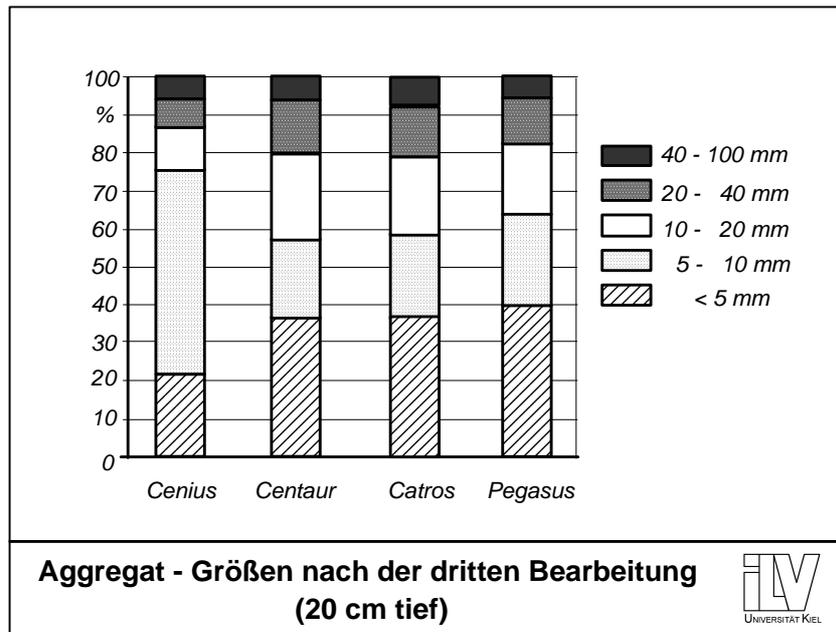


Abbildung 9

Diese Ergebnisse werden naturgemäß von dem Anteil Stroh beeinflusst. Es sollte mit jeder Bearbeitung besser und tiefer verteilt sein.

Tabelle 9: Kennwerte zur Rückverfestigung (20 cm) – (Fehmarn 04)

Kennwert	Catros/Centaur	Pegasus	Cenius	Centaur
Dichte (g/cm ³)	1,29	1,21	1,25	1,28
Porenvolumen %	51,5	54,3	52,6	51,8
Stand.-abweichung	2,6	2,5	2,0	4,1
Feuchte	9,8	11,2	11,6	11,3
Stand.abweichung	0,2	0,3	0,4	0,2

4.3.4 Stroheinarbeitung

Entsprechend der tiefen Einmischung und des großen bewegten Bodenvolumens verbleibt bei allen Varianten wenig Stroh an der Bodenoberfläche und die Querverteilung erfolgt vergleichsweise gut (Tab. 10). Das wird auch durch die Spannweite der Daten deutlich: die stark mit 100 % besetzten Raster gehen zurück, die mittleren Werte nehmen zu. Unter den Geräten fällt Pegasus auf, da wenig Stroh obenauf liegt, ein Teil sogar unter 15 cm eingebracht ist. Die Breitschare heben vermutlich den – trockenen – Boden stark an, schaffen somit freien Raum, in den das Stroh fällt.

Tabelle 10: Strohverteilung nach der tiefen Bearbeitung (18-20 cm)

Tiefe cm	Catros/Centaur 15/20		Pegasus 6-9/12-14/18		Cenius 7/15/20		Centaur 7/15/20	
	von - bis	∅	von - bis	∅	von - bis	∅	von - bis	∅
Oberfläche	10 - 50	24	0 - 50	15	10 - 75	30	10 - 50	23
0 - 5	10 - 50	21	0 - 50	16	10 - 50	24	10 - 50	21
5 - 10	0 - 25	15	0 - 50	16	0 - 25	13	0 - 50	17
10 - 15	0 - 15	3	0 - 25	6	0 - 25	2	0 - 10	4
15 - 20		0	0 - 10	1		0		0
Anteil im Boden %	62		73		57		65	

4.4 Gesamteindruck

In der flachen Stoppelbearbeitung wirkt sich die Besonderheit des Centaurs aus. Die kombinierten Baugruppen führen zu etwa 2 l/ha höherem Dieserverbrauch im Vergleich zu 5 l/ha, erreichen aber eine bessere Rückverfestigung.

Die partielle tiefere Arbeit der Scharspitze am Pegasus schafft kleinere Aggregate des Bodens und eine etwas bessere Stroheinarbeitung.

Bei der mittleren Tiefe benötigt der Centaur wiederum 2 l/ha mehr Diesel (gegenüber 7 l/ha). Er bringt aber das Stroh tiefer ein.

Bei 15 und 20 cm Tiefe wirken sich die schmalen Zinken des Cenius aus mit 10 % geringerem Zugkraft- und Dieserverbrauch, ohne dass die Qualität sichtbar schlechter wird.

5. Alternative Verfahren

Je nach Bedingungen kann es genügen, ein Mal tief zu grubbern oder mehrfach sukzessive tiefer. Dazu einige Daten.

5.1 Mehrmals oder ein Mal grubbern?

Direkt tief zu arbeiten, lässt einen höheren Leistungsbedarf erwarten, als wenn dies nach und nach geschähe. Dazu beispielhaft vergleichende Zahlen aus den Messungen, die vom Institut gemeinsam mit top agrar durchgeführt wurden. (Tab. 11).

**Tabelle 11: Messwerte bei flacher und tiefer Bearbeitung
(ILV + top agrar 2004/3)**

Verfahren	Stopp.-bearb. 5-7 cm		Direkt 15 cm tief	
	Zugkraft kN	Diesel l/h l/ha	Zugkraft kN	Diesel l/h l/ha
Amazone Catros	9,7	18 5		
Lemken 2-balkig	17,9	24 7	24,1	31 10
Horsch 3-balkig	9,6	18 6	21,0	27 9
Kverneland 4 balkig	18,7	25 8	28,2	30 10

Diese Daten liegen in der gleichen Größenordnung wie die in Tab. 2. Nur die Werte für das Horsch-Gerät fallen auf, vermutlich von dem flachen Anstellwinkel oder dem im Wechsel gerichteten Erdstrom verursacht, der wenige „Kollisionen“ zur Folge hat.

Die doppelte Arbeitstiefe steigert den Dieserverbrauch nur um die Hälfte, außer beim Horsch angesichts des geringen Ausgangswerts.

Die – gemittelten – Daten aus den im vorigen Kapitel behandelten Bearbeitungsgängen seien zum Vergleich genannt.

<u>Tiefe</u>	<u>Verbrauch</u>
6-7 cm	6 l/ha
15 cm	<u>7 l/ha</u> <u>13 l/ha</u>
<u>20 cm</u>	<u>11 l/ha</u>
Summe	24 l/ha

Natürlich bildet der Dieserverbrauch nur eine Komponente, wenn es um die angemessene Bearbeitung geht.

5.2 Ein Grubber für alle Zwecke?

Die Aufgaben in der flachen Stoppel- und tiefen Grundbodenbearbeitung unterscheiden sich beachtlich. Ist dazu jeweils ein spezielles Gerät nötig?

Die flache Arbeit erledigt zügig und leistungsfähig die Scheibenegge. Sie kostet mit 10.000 bis 12.000 Euro ähnlich viel wie ein Grubber, schafft aber mit ca. 4 ha/h bis 30 % mehr. Dazu passt ein 2- oder mehrbalkiger Grubber.

Der aufwendige Grubber mit 8 Balken oder kombiniert mit einebnender Scheibenegge, so der Centaur, kosten 25.000 Euro.

Dieser Kombigrubber liefert gleiche oder in einigen Fällen bessere Qualität.

Der Zugleistungs- und damit der Dieselbedarf liegt etwas höher, aber nicht so sehr, wie zu erwarten wäre. Denn der Zugleistungsbedarf je Zinken sinkt. (Tab. 12), wie sich aus der DLG-Prüfung ergibt. Der Boden ist offenbar für die jeweils folgende Zinkenreihe vorgelockert, obwohl die Arbeitsbreite der Schare in der Regel mit dem Zinkenabstand übereinstimmt. Außerdem geht der Zugwiderstand des Packer für die Rückverfestigung im Anteil zurück.

Tabelle 12: Zugleistung am Unterlenker, 2. Durchgang, 15 – 20 cm
(DLG Fokus-Test, profi 1/04)

Bauart		kW/Zinken
2 Balken	7 Zinken	10
3 Balken	10-12 Zinken	6-8
4 Balken	13-14 Zinken	5

Die universelle Nutzung bedeutet in jedem Fall, die Schare zu wechseln: breit und flächendeckend für die Stoppelbearbeitung, schmal und aufbrechend für die Tiefe.

Also fällt der Arbeitsaufwand an, erleichtert durch die
- teureren – Schnellwechselschare.

Insgesamt erfordert die einebnende und verfestigende Wirkung des Kombigrubbers spürbar mehr Energie, ohne dass jeweils und stets ein besserer Effekt erzielt wird.

Zum Vergleich wird in Abb. 10 der 3-balkige Grubber dem Centaur gegenüber gestellt. Bei der Stoppelbearbeitung beträgt der Unterschied 20 %, beim 3. Arbeitsgang nur noch 5%.

Interessant erscheint der Anstieg der Kurven: die ersten 6 cm erfordern viel Leistung, umgerechnet 4 kW je cm Tiefe, der nächste Arbeitsgang benötigt für 9 cm mehr nur noch 2,5 kW je cm. Das entspricht nicht der theoretischen Erwartung, nach der die Leistung proportional mit der Tiefe steigt.

Insgesamt wird also deutlich, dass die einzelnen Systeme sich nicht sehr stark unterscheiden.

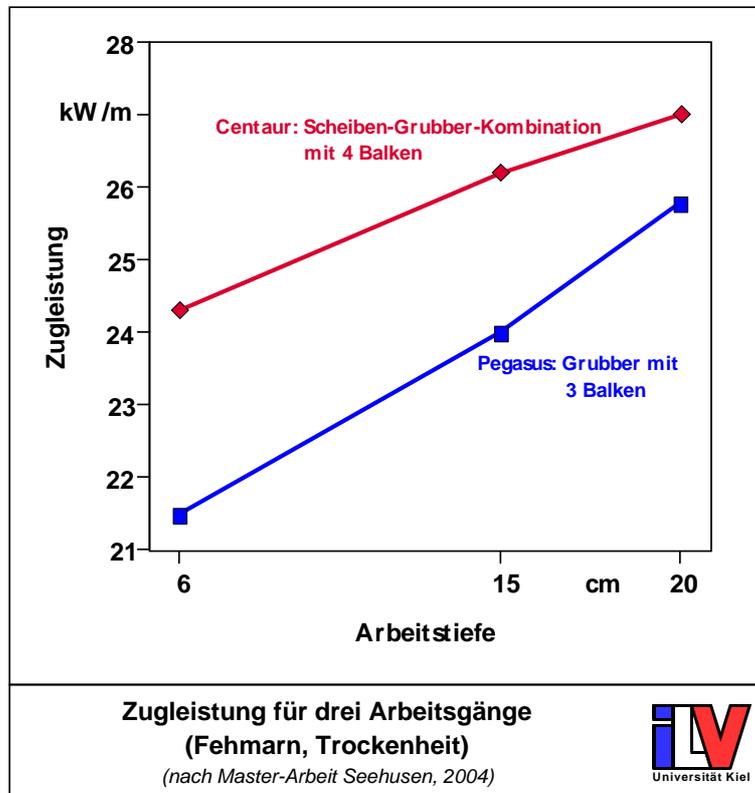


Abb. 10

16. Literaturverzeichnis

Brunotte, J. (2001): Trendas der Bodenbearbeitung, Landtechnik 6, S. 374 – 375

Brunotte, J. M. Wagner, (2001): Bodenschonung und Kosteneinsparung, KTBL-Schrift

Brunotte, J., H.H. Voßhenrich, (2003): Strohverteilung und Präzisionsstoppelbearbeitung, Getreidemagazin, Heft 2, S 114 – 118

Dölger, D., Ilgen, B., (2004): Mulchsaat von Raps muss jedes Jahr aufs Neue angepasst werden, Neue Landwirtschaft, Heft 8, S. 28 – 43

Großmann, J.C. (2004): Vergleichende Messungen konservierender Bodenbearbeitung, Master-Thesis

Hörner, R., Pütz, M. (2003): 11 Grubber im DLG-Fokus Test (Teil 1), profi, Heft 12,

S. 111 114

Hörner, R. Pütz, M. (2004): Die tiefere Bearbeitung (Teil 2), profi, Heft 1, S. 66 – 71

- Hörner, R. (2004): Kurzscheibeneggen mit flottem Tempo – 16 Hersteller -, top agrar, Heft 7, S. 69 – 71
- Hörner, R. (2004): Stoppelbearbeitung mit Zinken oder Scheiben? Top agrar, Heft 3, S. 96 – 102
- Köller, K., Linke, C. (2001): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug, Verlagsunion Agrar
- Pütz, M., Hörner, R. (2003): Bodenbearbeitung für die Mulchsaat (Teil I), profi, Heft 1, S. 66 – 71
- Schutte, B., Hermann, L., Schreiber, M., Kutzbach, H.D. (2004): Die Kartierung des Kraftstoffverbrauchs, Landtechnik, Heft 3, S. 152 – 153
- Seehusen, T. (2004): Systemvergleich verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte zur konservierenden Bodenbearbeitung, Master-Thesis
- Sowa, F. (2004): Sensoren zur Erfassung verfahrenstechnischer Kennwerte während der Bodenbearbeitung, Master-Thesis
- Tebrügge, F., Dreier, M. (1994): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristiger Auswirkung auf den Boden,
S. 5 – 40, Universität Gießen, Wissenschaftlicher Fachverlag
- Ullrich, J. (2002): Einfluss der Produktionsbedingungen auf die Höhe der Reparaturkosten in der Bodenbearbeitung, Diplom-Arbeit
- Uppenkamp, N. (2003): Grubber: Welche Walze passt am besten, top agrar, Heft 1,
S. 112 – 113
- Wolf, H. (2003): Schluss mit Strohmatte und Kümmerwuchs, top agrar, Heft 7, S. 54 – 56
- Neue Landwirtschaft (2003): Pfluglos – mit konservierender Bodenbearbeitung zum Erfolg, NL-Sonderheft, S. 90