



## **Effekte der teilflächen- spezifischen Bodenbearbeitung mit dem Grubber**



**Prof. Dr. Edmund Isensee**  
**Prof. Dr. Yves Reckleben**

## **Effekte der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung mit dem Grubber**

Januar 2009

Prof. Dr. Edmund Isensee war Leiter des Institutes für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Christian-Albrechts-Universität Kiel.

Prof. Dr. Yves Reckleben ist Professor für Agrartechnik an der Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft und Geschäftsführer des RKL.

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Prof. Dr. Yves Reckleben

Am Kamp 15-17, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-708110, Fax: 04331-7081120

Internet: [www.rkl-info.de](http://www.rkl-info.de); E-mail: [mail@rkl-info.de](mailto:mail@rkl-info.de)

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiges Beratungsunternehmen mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

<b>Gliederung</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>43</b>
<b>2. Voraussetzungen der teilflächenspezifischen Bearbeitung .....</b>	<b>45</b>
2.1 Heterogenität des Bodens .....	45
2.2 Bedeutung der Bearbeitungstiefe.....	46
2.3 Algorithmus für die Arbeitstiefe .....	48
2.4 Technische Ausstattung.....	50
<b>3. Versuche und Erprobung.....</b>	<b>51</b>
3.1 Messtechnik am Schlepper und Gerät.....	51
3.2 Applikationskarte.....	53
3.3 Ergebnisse.....	55
3.3.1 Zugkraft.....	55
3.3.2 Schlupf.....	56
3.3.3 Flächenleistung.....	56
3.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	57
<b>4. Wirtschaftlichkeit.....</b>	<b>59</b>
4.1 Ertragsniveau.....	59
4.1.1 Friedrichsthal .....	59
4.1.2 Oppendorf .....	60
4.1.3 Fazit .....	61
4.2 Kosteneinsparung.....	62
4.2.1 Vergleichsmaßstab .....	62
4.2.2 Dieseleinsparung .....	63
4.2.3 Steigerung der Flächenleistung .....	65
4.2.4 Mit welchem Mehr-Preis kann man rechnen?.....	66
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>66</b>
<b>6. Literatur .....</b>	<b>67</b>

## 1. Einleitung

Die Bodenbearbeitung nimmt im Rahmen des Produktionsprozesses eine überragende Stellung ein. Art und Intensität werden von vielen Faktoren beeinflusst (vgl. Abb.1). Generell hat das konservierende Verfahren ohne Pflug eine starke Bedeutung erhalten. Als Vorteil gelten aus Sicht des Bodens die Erhöhung der biologischen Aktivität, die Strukturverbesserung und die damit verbundene Erosionsminderung. Für die Landtechnik bedeutet das Verfahren, Stroh gut zu verteilen und einzumischen. Der nun statt des Pfluges eingesetzte Grubber

ermöglicht eine höhere Flächenleistung, termingerechte Arbeit sowie Einsparung an Betriebskosten.

<p><b>Strohmanagement:</b></p> <p>Strohertrag Strohverteilung Häckselqualität Schnitthöhe Auflage</p> <p><b>Pflanze:</b></p> <p>Feldaufgang Wurzelbildung Fusarium-Risiko Mineralisierung Unkraut-Prophylaxe</p>	<p><b>Boden:</b></p> <p>Strukturverbesserung Erosion Wasserkapazität Bodenleben Befahrbarkeit</p> <p><b>Wirtschaftlichkeit:</b></p> <p>Schlagkraft Dieselverbrauch Verfahrenskosten Ertragssicherheit Arbeits- und Maschinenbedarf</p>
--	--

**Abb.1:** Kriterien und Ziele der Bodenbearbeitung

Dennoch: der Bedarf an Zugleistung und Dieselkraftstoff ist hoch, der Gedanke, weitere Einsparungsgedanken zu entwickeln, liegt nahe.

Die Arbeitstiefe als wichtigster Einfluss tritt in den Mittelpunkt der Überlegungen, wie tief und intensiv der Grubber arbeiten muss. Denn nicht alle Teilflächen eines Schlages müssen aus ackerbaulicher Sicht krumentief gelockert werden. Sandböden neigen zur Dichtlagerung, werden also intensiv bearbeitet, die lehmigen dagegen nicht.

Daraus folgt, ein Verfahren zu entwickeln, das die Arbeit des Grubbers selbstständig nach der jeweils auf dem Teil des Schlages vorliegenden Bodenart steuert. Daraus ergeben sich im Einzelnen folgende Punkte:

- Definition der Bodenart und seiner Position auf dem Acker
- Technik zur Steuerung der Arbeitstiefe
- Kalibrieren des Systems
- Erprobung und Beurteilung

Die praktische Umsetzung des Verfahrens basierte auf der Grubber-Scheibeneggen-Kombination „Centaur“ der Firma Amazone, ausgestattet mit der Steuerelektronik, und dem EM38-Boden-Messsystem sowie den heterogenen Flächen von Gut Friedrichsthal.

## 2. Voraussetzungen der teilflächenspezifischen Bearbeitung

Um die Intensität der Bearbeitung den Gegebenheiten anzupassen, ist die generelle Bedeutung von Boden und Technik darzustellen.

### 2.1 Heterogenität des Bodens

Aus landtechnischer Sicht geben die Daten zum Kraftstoff- und Leistungsbedarf einen qualitativen Eindruck.

#### Kraftstoffbedarf [l/ha] (nach Holz, 2002)

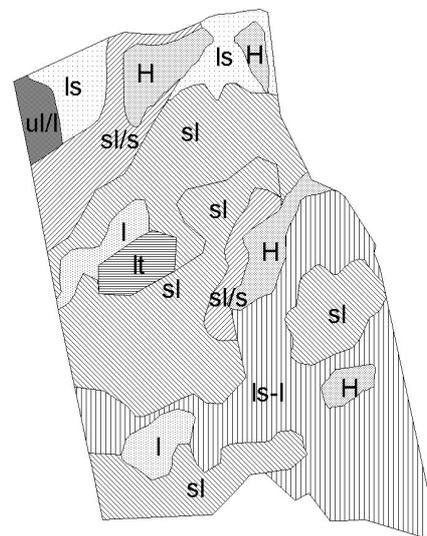
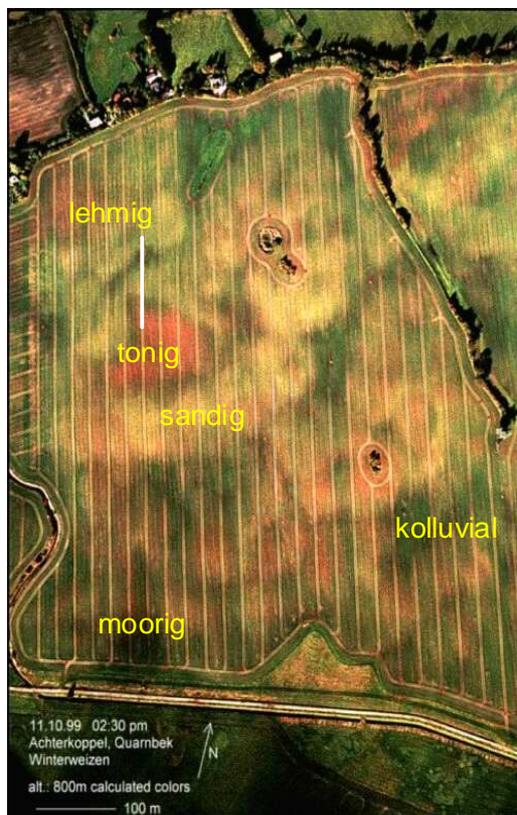
Pflug	16 - 30 l/ha
Grubber	8 - 20 l/ha
Kreiselegge/Drillmaschine	8 - 18 l/ha

#### Leistungsbedarf [kW/m] (nach KTBL)

	v - Arbeit [km/h]	Arbeits- tiefe [cm]	Bodenart		
			leicht [kW/m]	mittel [kW/m]	schwer [kW/m]
Pflug	5 - 7	20 - 30	20 - 35	30 - 60	60 - 120
Grubber	5 - 7	15 - 25	12 - 25	20 - 45	35 - 80
Kreiselegge	5 - 7	8 - 10		15 - 30	

**Abb. 2:** Bedarf an Dieselkraftstoff und Motorleistung in der Bodenbearbeitung

Das Spektrum ist sehr weit, der Einfluss des Bodens beachtlich mit nahezu doppelten Werten von einer Bodenart zur anderen. Das bedeutet also entsprechend höhere Motorleistung und Kraftübertragung oder Einschränkung in der Arbeitsbreite. Dafür mag als augenfälliges Beispiel der Unterschied von Pflug und Grubber dienen. Zur Heterogenität des Ackers liegen aufgrund der Arbeiten zum precision farming viele Daten vor, gewonnen auf Grund der Reichsbodenschätzung, der Bodenansprache vor Ort oder der Messung der scheinbaren Leitfähigkeit mit dem EM38. Ein Beispiel dazu gibt Abb. 3, das die Skizze der kleinräumigen Struktur mit dem Luftbild der gleichen Fläche verbindet. Dort sind einige Teilflächen markiert, so dass der Wechsel von Sand- zu Lehm- und Tonboden zu erkennen ist – also das grundlegende Motiv, die Arbeitsweise des Grubbers anzupassen.



**Kleinräumige Struktur nach direkter Erfassung von Bodenart und Textur**

**Abb.3:** Bonitur und Luftbild einer Fläche im östlichen Hügelland

## 2.2 Bedeutung der Bearbeitungstiefe

Die Bearbeitungsmaßnahmen prägen die Bodenstruktur, also den Lebensraum und die Durchwurzelung, die Wasserführung und Durchlüftung des Bodens. Danach müsste ein „je tiefer desto besser“ gelten. Dagegen steht, dass Bearbeitung die natürlich Struktur und Aggregation stört. Daraus resultieren die Besonderheiten der pfluglosen Verfahren (vgl. Abb. 4 aus RKL 4.1.1.0 Seite 484).

Aufbrechen statt Wenden des Bodens  
 Einmischen von organischer Substanz  
 Erosionsschutz  
 Infiltration höher  
 Bodenstruktur und Aggregatstabilität verbessert  
 Festigkeit und Befahrbarkeit verbessert  
 Vermeidung von Pflug- / Radsohle  
 höhere Flächenleistung und geringere Kosten

**Abb. 4:** Kennzeichen pflugloser Produktionstechnik

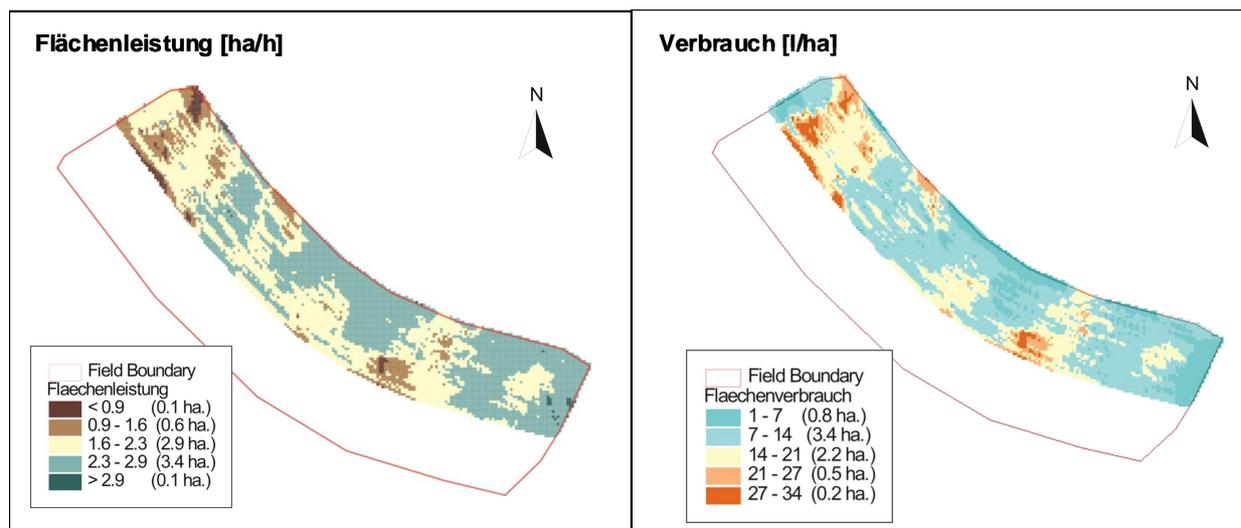
Es kommt also darauf an, den Boden je nach Art und Zustand nur so wenig zu lockern, wie für die Hauptziele des Grubbers

- lockern
- mischen
- einebnen
- rückverfestigen

notwendig erscheint.

Denn ein Zuviel an Arbeitstiefe führt zu deutlich ansteigenden Nachteilen, wie Abb. 5 für ein 3 m breites Gerät veranschaulicht. Zunächst wirkt sich die Tiefe noch nicht sehr stark aus, denn die weiteren Funktionen des Grubbers, also Scheibenegge und Packerwalze nehmen als Grundlast einen beachtlichen Anteil ein. Danach steigen Verbrauch und Schlupf; ein Hinweis darauf, nicht zu tief zu grubbern. Die Geschwindigkeit fällt nur geringfügig ab, da der Fahrer bestrebt ist, sie wegen der Arbeitsqualität konstant zu halten.

Als Faustzahl kann man 1 bis 2 l/ha Diesel je 1 cm Arbeitstiefe ansetzen.



**Abb. 5:** Leistung und Verbrauch des Centaur-Grubber  
(Messtechnik am Case CVX 170, Schlag Oppendorf)

Dennoch: tiefes Arbeiten bringt Vorzüge im Strohmanagement mit den Zielen „einarbeiten“ und „mischen“. Sehr flache Einstellung, wie sie zur Stoppelbearbeitung passt, hinterlässt viel Stroh an der Oberfläche und im Saathorizont, wie Tab. 1 beispielhaft belegt. Die mittlere Tiefe bringt ein deutlich günstigeres Bild, es liegt wesentlich mehr Stroh in der Krume. Noch tieferes Grubbern bessert die Bedingungen für ein Saatbett unwesentlich. Damit wäre ein Spektrum für die angepasste Tiefensteuerung gegeben.

**Tab. 6:** Einarbeitung von Stroh nach Stoppel- und Grundbodenbearbeitung mit Centaur

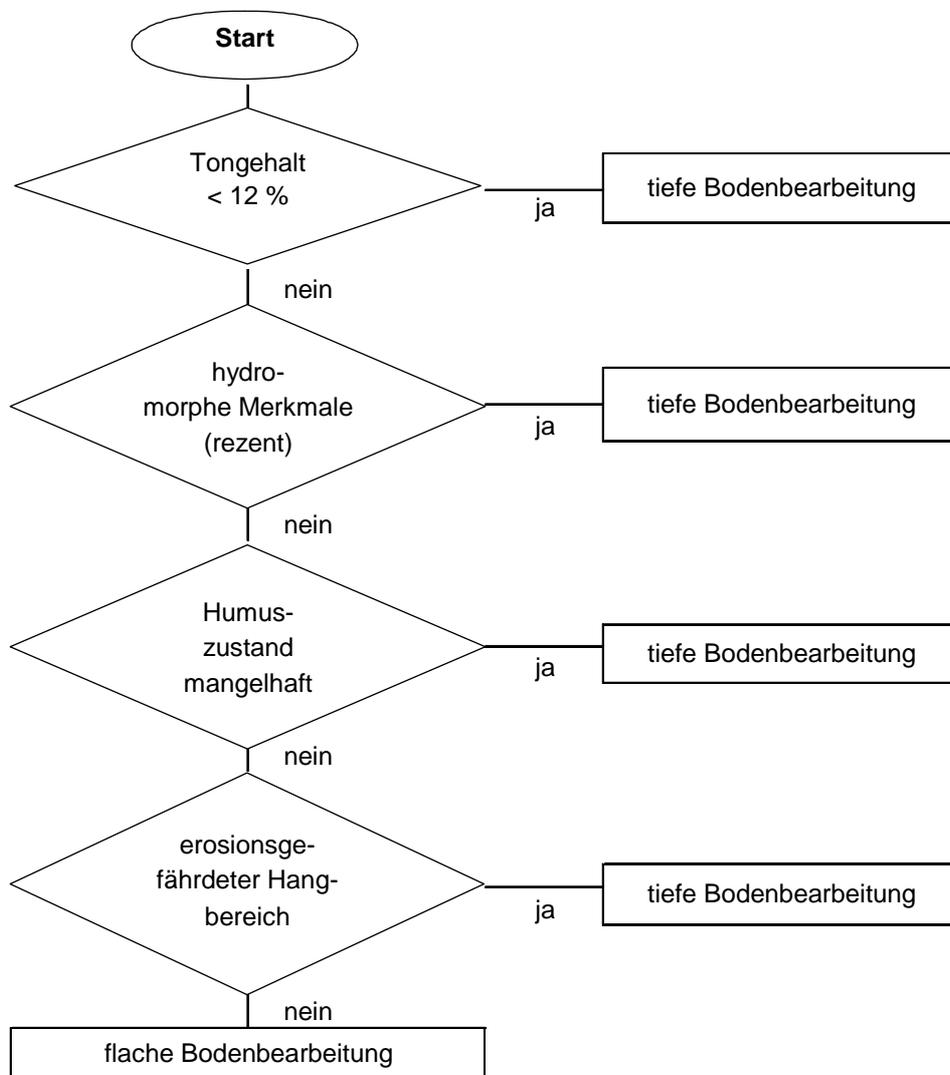
Arbeitstiefe cm	Ø Bedeckungsgrad in % von Stroh		
	Oberfläche	0 - 5 cm	5 - 10 cm
6	75	42	4
15	38	28	17
20	23	21	17

### 2.3 Algorithmus für die Arbeitstiefe

Als Voraussetzung für die angepasste Tiefensteuerung gilt, dass der Boden eine ungestörte Struktur hat, also keine nach feuchten Bedingungen verdichtete Stellen hat, die vorangegangene Grundbodenbearbeitung also unter trockenen

Verhältnissen erledigt war. Das trifft grundsätzlich für die pfluglose konservierende Bodenbearbeitung zu.

Krumentiefe Lockerung soll reduziert werden. Das ist nur vertretbar, wenn das Hauptziel des Lockerns, den Boden zu durchlüften, nicht erforderlich ist, der Boden also etwa 10 % Luftkapazität aufweist. Dieses Maß ist nur schwierig zu erfassen. Daher bietet Voßhenrich gut erkennbare bzw. bekannte Kriterien an (vgl. Abb. 6): ein Boden mit mindestens 12 % Ton und über 1 % Humusgehalt dürfte eine ausreichende Luftführung aufweisen, sofern Stauwasser nicht die Krume stört. Ein deutlich höherer Humusgehalt kann den Nachteil von weniger Ton kompensieren, also auch flache Arbeit erlauben. Anderenfalls empfiehlt es sich zu lockern, wenn es sich beispielsweise um einen Gley- oder Sandboden handelt. Auf humusarmen Kuppen bringt tieferes Lockern organische Substanz in den Boden ein, so dass sich in etwa 5 Jahren die Struktur bessert.

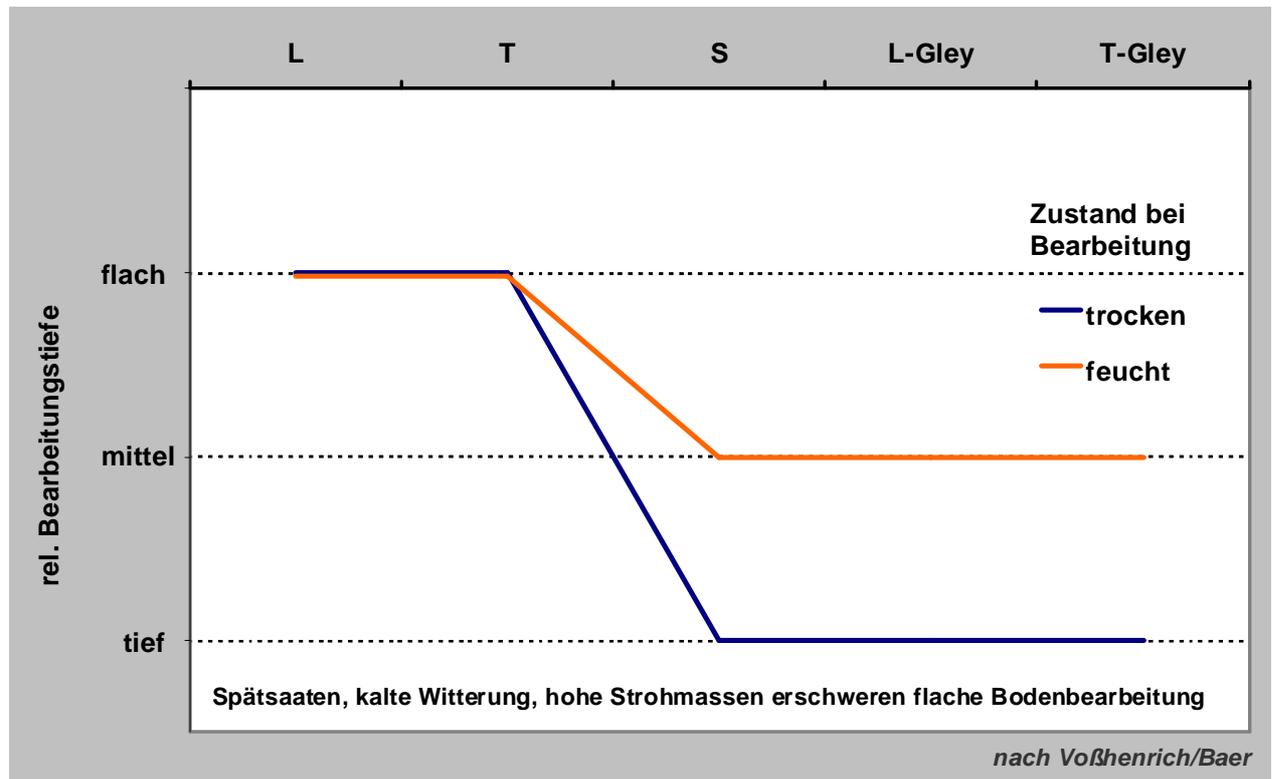


**Abb. 6:** Algorithmus zur Tiefensteuerung des Grubbers

Der Feuchtezustand beeinflusst generell die Intensität. In trockenen Jahren ergibt sich ein weiterer Spielraum, auf Lockerung zu verzichten. Bei Nässe reagiert der Ertrag. Vor allem im Herbst und Winter leidet die Wurzelentwicklung an mangelndem Sauerstoff. Die extreme Form zeigt sich als Reduktion in der blau-grünen Färbung des Bodens in der Krume. Also könnte eine mittlere Bearbeitungstiefe den Kompromiss zwischen notwendiger Lockerung und Strukturerhalt bilden.

## 2.4 Technische Ausstattung

Die teilflächenspezifische Tiefenführung benötigt einen Sollwertgeber auf Grund der Bodenart sowie am Grubber die Möglichkeit, während der Fahrt die Tiefe anzupassen. Die Grubber-Scheibeneggen-Kombination „Centaur“ der Firma Amazone bietet dazu eine Lösung.



**Abb. 7:** Steuerkurve für die angepasste Arbeitstiefe

Die Baugruppe Grubber hängt am Rahmen, der vorn von Stützrollen und hinten von der Packerwalze getragen wird. Diese Konstruktion hält den Rahmen im Abstand zur Oberfläche. Die Grubbereinheit ist im Parallelogramm angeordnet, ein Hydraulikzylinder verstellt den Abstand des Zinkenfeldes zum Rahmen und damit die Arbeitstiefe. Der Zylinder wird von der Schlepperhydraulik, diese wiederum vom

Bordrechner angesteuert. Die jeweilige Tiefe gibt ein Sensor an, der den Winkel des Zugarms zur Waagerechten misst (Abb. 8).



**Abb. 8:** Die Tiefe der Grubber-Baugruppe wird stufenlos hydraulisch verstellt

Ein solches Konzept hat Fa. Amazone anlässlich der Agritechnica 2001 vorgestellt, es wurde als Innovation von der DLG mit einer Silber-Medaille ausgezeichnet. Für die eigenen Versuche wurde im Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik die beschriebene Lösung entworfen, erprobt und eingesetzt.

### 3. Versuche und Erprobung

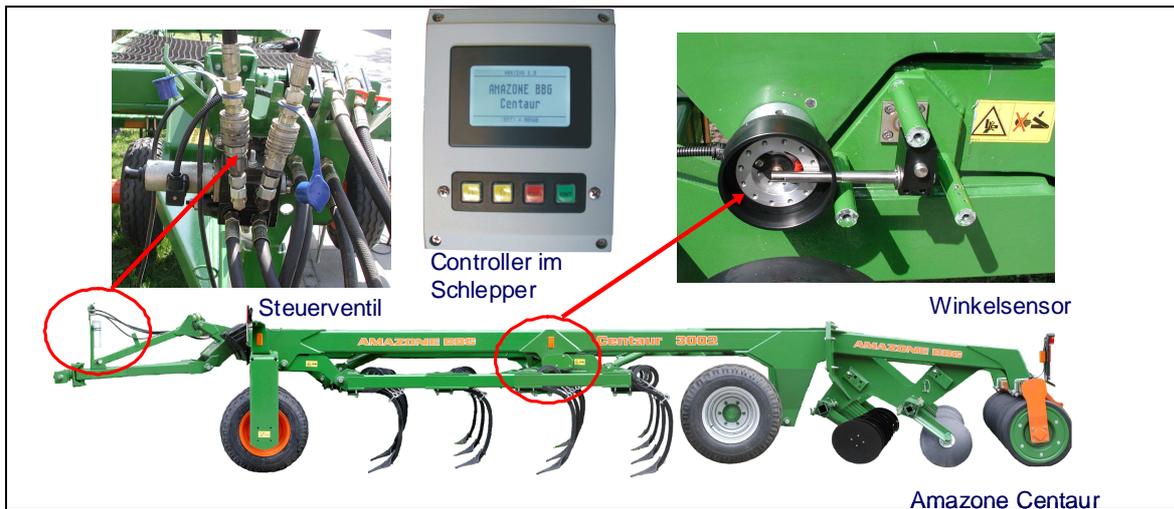
Das Konzept zur angepassten Bodenbearbeitung wurde auf mehreren Standorten erprobt. Der Effekt wurde nach einigen Merkmalen gemessen: primär nach Zugkraft und Flächenleistung, letztlich auch nach dem Ertrag. Dazu wurde entsprechend geeignete Messtechnik eingesetzt.

#### 3.1 Messtechnik am Schlepper und Gerät

Die variierte Arbeitstiefe und der wechselnde Boden wirken primär auf die Zugkraft des Schleppers. Daher erhält er in den Unterlenkern Sensoren für die Kraft sowie -daraus resultierend – für die Geschwindigkeit und den Kraftstoff (Abb. 9). Dessen Messwert für den Durchfluss wird an Hand der zurückgelegten Strecke und Arbeitsbreite in dem Verbrauch je ha umgerechnet. Die Position auf dem Acker, also der jeweiligen Bodenart, gibt der GPS-Empfänger an.

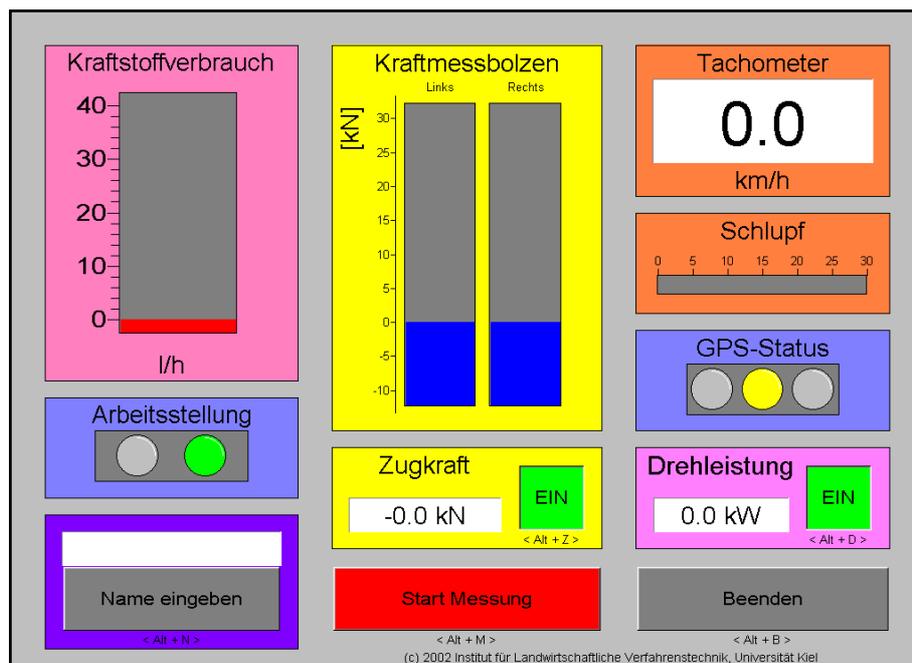
Der Schlepper der Fa. Case leistet 126 kW, hat sein maximales Drehmoment von 725 Nm bei 1400 U/min. Das hydromechanisch leistungsverzweigte Getriebe erlaubt die stufenlose Anpassung der Geschwindigkeit oder die Konstanz bei wechselnden Verhältnissen.

Die Breitreifen (900er) in Verbindung mit Eigengewicht und Ballastierung (vorn 900 kg, hinten 1090 kg) ergeben gute Voraussetzungen, die Zugkraft zu übertragen.



**Abb. 9:** Steuerventil und Winkelsensor für die Tiefenverstellung und Controller im Schlepper

Der Fahrer hat die wesentlichen Stell- und Messgrößen im Blick (Abb. 10), kann also die Funktionen und vor allem den störungsfreien Messverlauf kontrollieren.

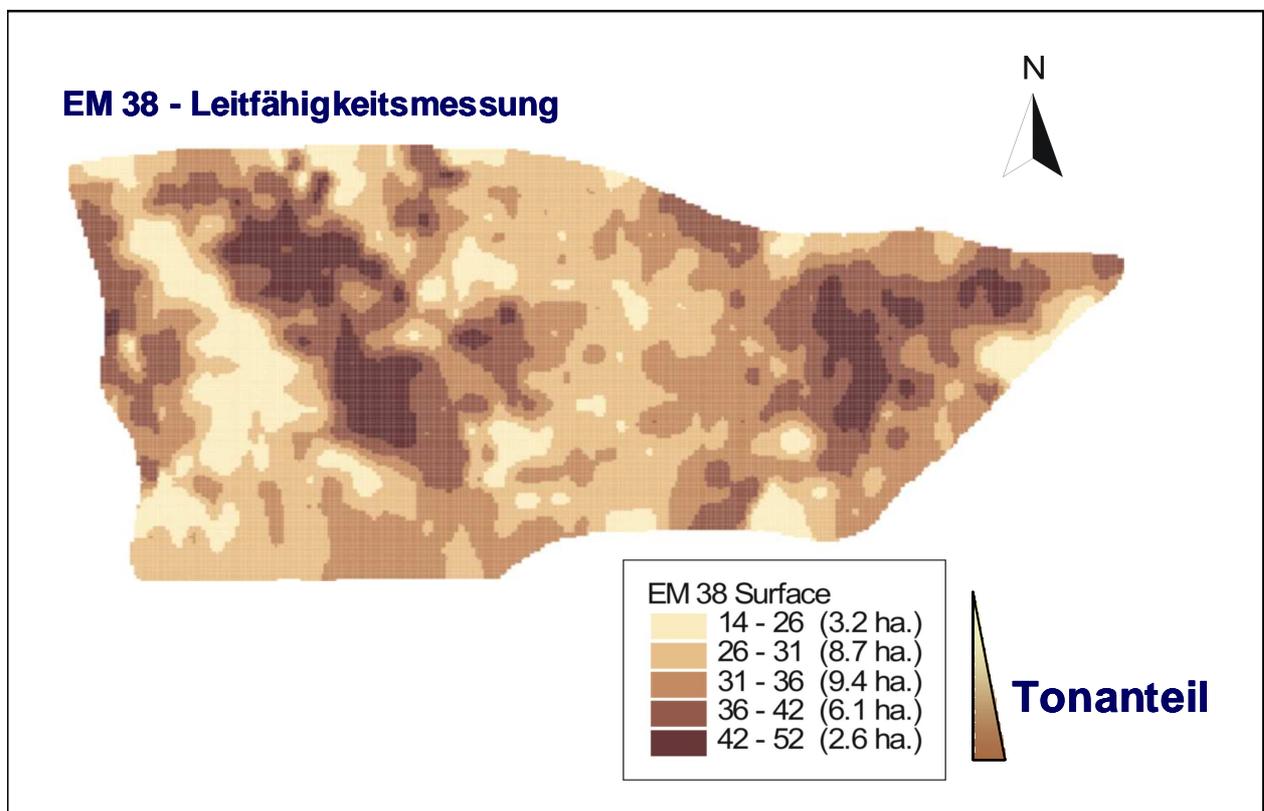


**Abb. 10:** Programmoberfläche zur Erfassung der Messdaten

Die Messdaten werden im Notebook gespeichert und der GPS-Position zugeordnet (Abb. 10). Im Bordrechner ist die Bodenkarte gespeichert, die die unterschiedlich zu bearbeitenden Teilflächen enthält. Je nach Position wird das Ventil des Hubzylinders angesteuert, um den Grubber zu heben oder zu senken. Der kontrolliert und registriert die Tiefe.

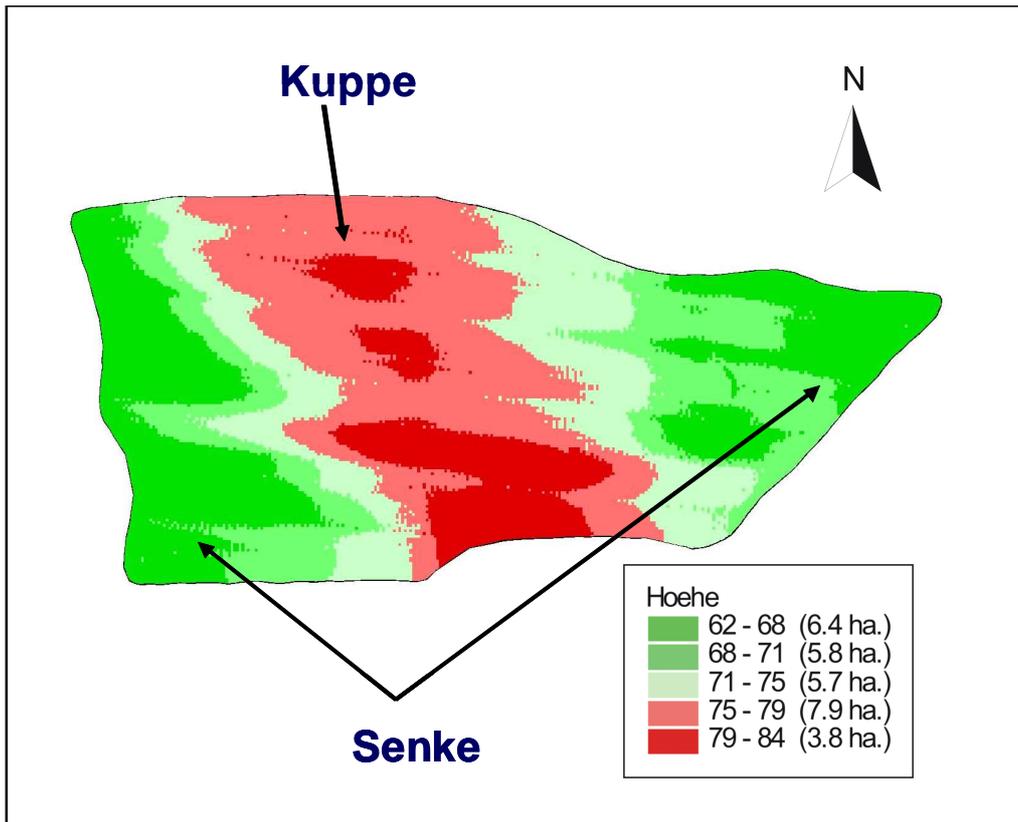
### 3.2 Applikationskarte

Die Versuchsflächen werden mit dem EM38 vermessen. Die Unterschiede auf der Bodenkarte lassen einzelne Bereiche erkennen, die zu einer Teilfläche flacher oder tiefer Bearbeitung zusammen zu fassen ist, wie Abb. 11 für den Betrieb Friedrichsthal veranschaulicht.



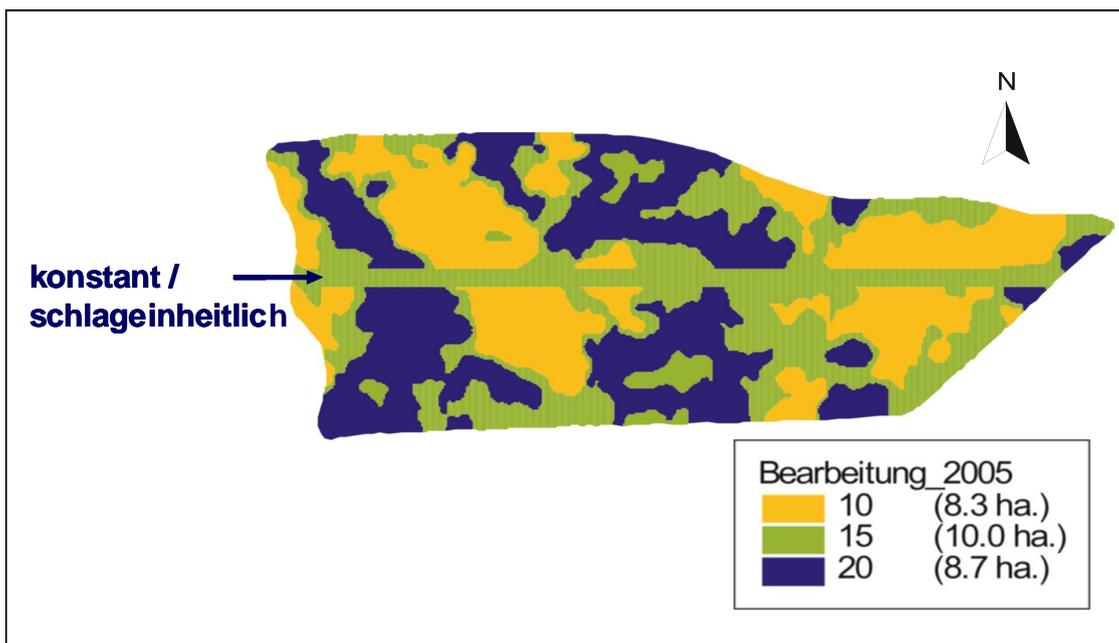
**Abb. 11:** Leitfähigkeitsmessung EM38

Dieser Schlag weist eine weite Kuppe auf, die zu beiden Seiten hin etwa 20 m abfällt (Abb. 12).



**Abb. 12:** Höhenkarte

Aus Relief und Bodenart wird am PC die Applikationskarte erstellt (Abb. 13). Dieses „offline“-Verfahren kostet zwar Zeit, ermöglicht aber eine fachlich ausgewogene Aufteilung des Schlages vorzunehmen. Dazu besteht – im Gegensatz zur „online“-Steuerung der N-Düngung – kein terminlicher Druck.



**Abb. 13:** Applikationskarte zur Tiefensteuerung

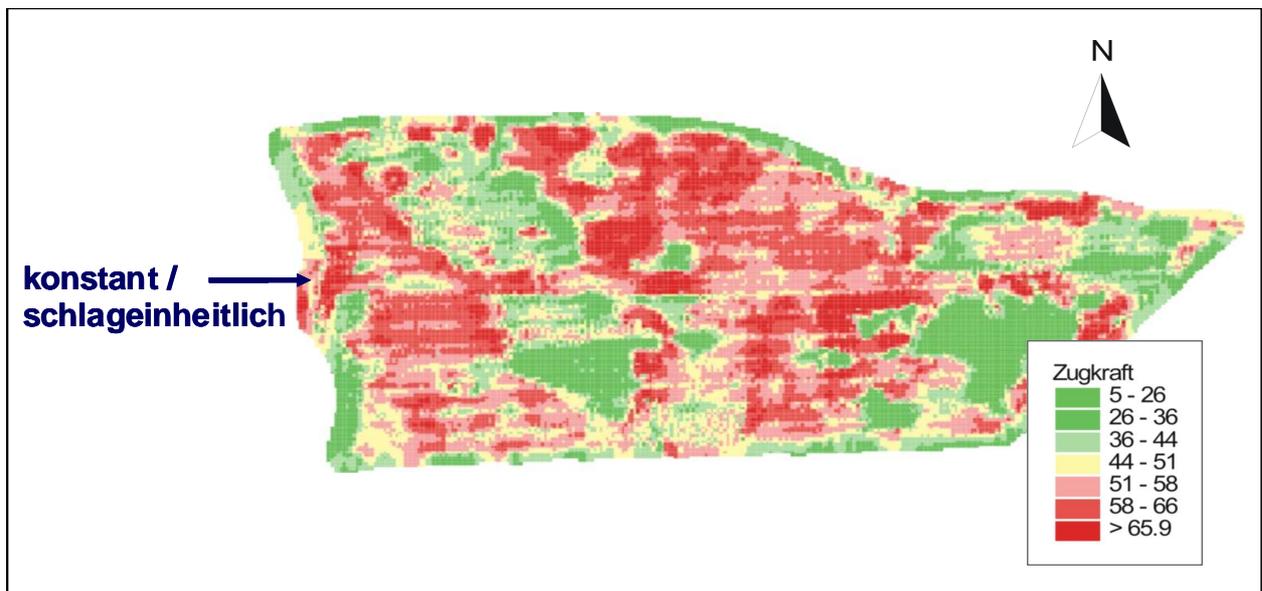
In den Versuchsschlag wird ein Streifen gelegt, der als Referenz betriebsüblich und einheitlich bearbeitet wird. Die übrige Fläche ist nach den 3 Tiefen 10-15-20 cm aufgeteilt. Das gesamte Feld wird praxisüblich der Länge nach bearbeitet, nicht in einzelnen kleinen Parzellen. Dafür wäre die Großtechnik nicht geeignet. Auf diese Weise umfasst jede Variante mit gut 8 ha eine Größenordnung, die realitätsgemäße Ergebnisse gewährt.

### 3.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse von Gut Friedrichsthal werden zunächst analog zur Bodenkarte flächenhaft, sodann in Zahlen dargestellt.

#### 3.3.1 Zugkraft

Der Zugwiderstand hängt direkt mit der Arbeitstiefe zusammen, sodann mit der Bodenart, die ihrerseits ein Kriterium für die Tiefe bildet. Sehr deutlich entsprechen die Flächen mit hoher Zugkraft denen mit größerer Tiefe (Abb. 14).

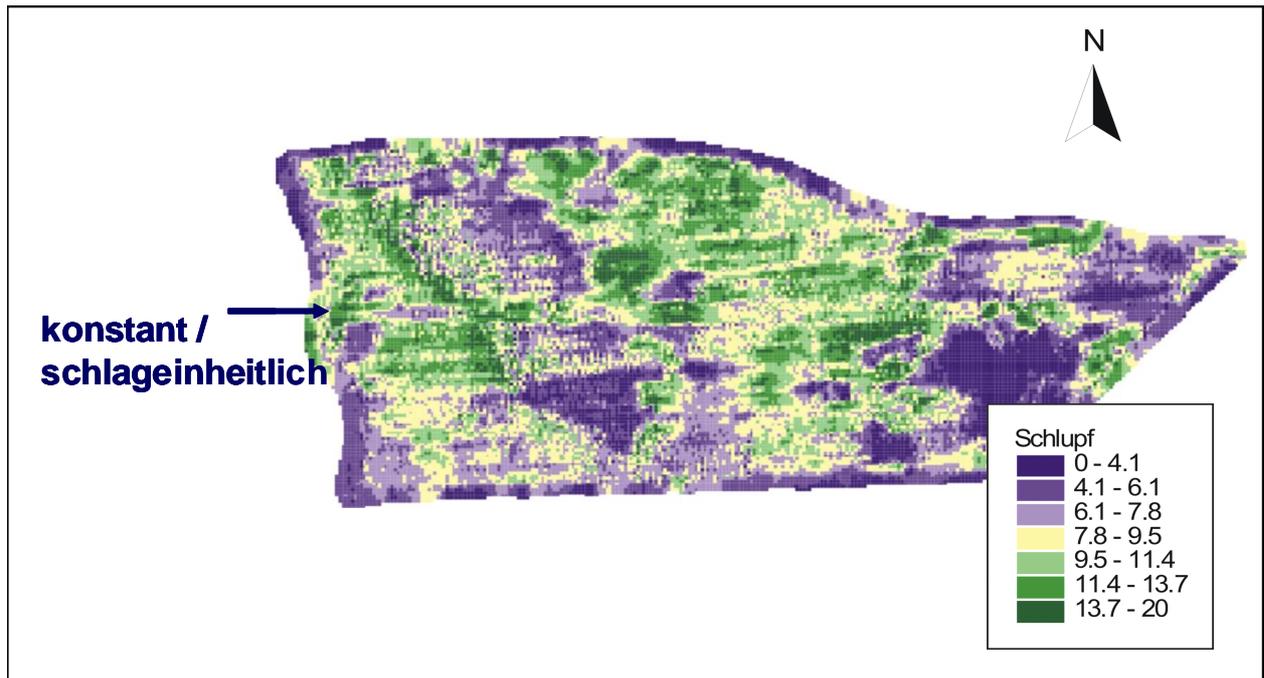


**Abb. 14:** Zugkraftbedarf [kN]

Der einheitlich bearbeitete Streifen weist Unterschiede auf: hohe Zugkraft auf Flächen, die nebenan flach bearbeitet sind – das sind die schwereren T- oder L-geprägten Böden. Umgekehrt erfordert der ansonsten 20 cm tief gegrubberte S-Boden weniger Kraft, allerdings auch von der mit 15 cm geringeren Tiefe beeinflusst. Das hohe Niveau mit über 65 kN beträgt zwei Drittel vom Gesamtgewicht des Schleppers.

### 3.3.2 Schlupf

Mit der Zugkraft ändert sich der Schlupf des Schleppers, obwohl er gut ballastiert und mit Großvolumenreifen ausgestattet ist. Allerdings hatte die Stoppelbearbeitung die Oberfläche gelockert, so dass nun zur Grundbodenbearbeitung schlechtere Bedingungen zur Kraftübertragung bestehen. Außerdem liegen die Spuren für die Fahrten bergauf/bergab nebeneinander. Damit erklärt sich das breite Spektrum bis nahe 20 % (Abb. 15)



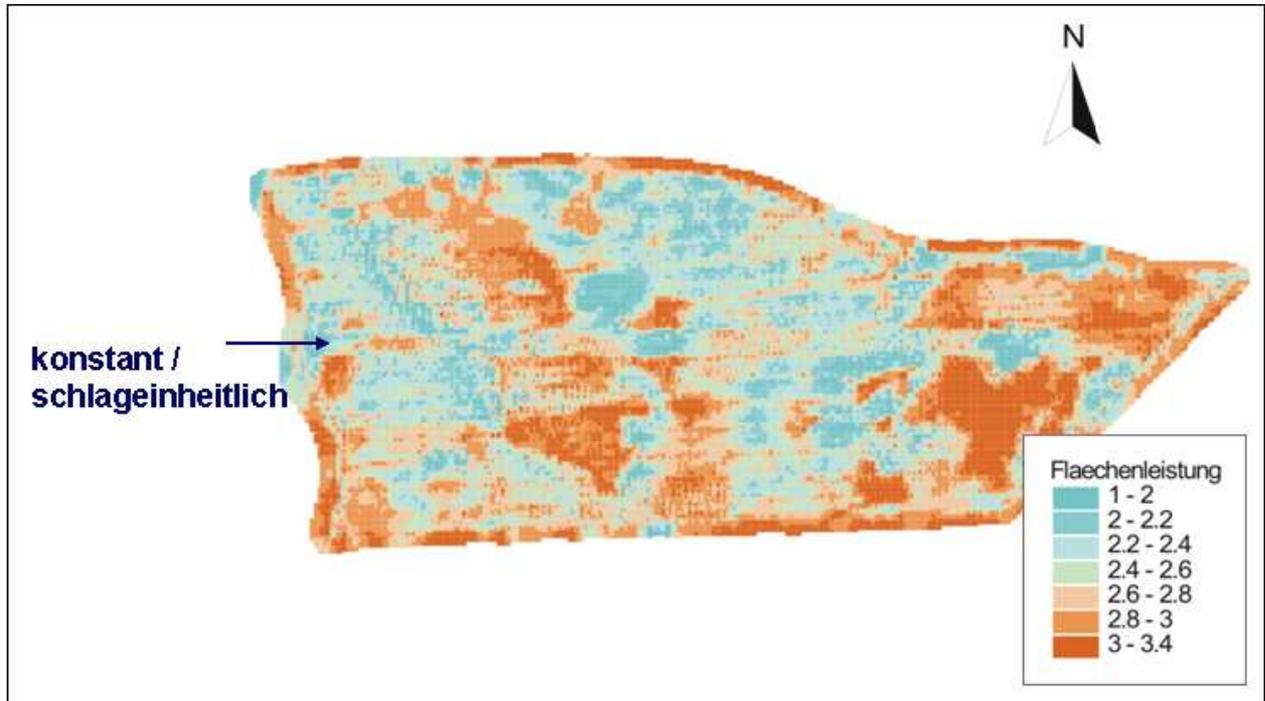
**Abb. 15:** Schlupf [%]

Der Schlupf errechnet sich aus dem vom Getriebe vorgegebenen Umfang der Antriebsräder sowie dem tatsächlichen, vom Radarsensor erfassten zurückgelegten Weg. Erwartungsgemäß liegen die Werte dort niedrig, wo der Grubber flach und mit geringer Zugkraft arbeitet. In dem konstant bearbeiteten Streifen fallen diese Beziehungen weniger auf.

### 3.3.3 Flächenleistung

Die Leistung des Grubbers folgt aus der realen Geschwindigkeit und der Arbeitsbreite. Die Abb. 16 weist eine auffällige Übereinstimmung mit der Abb. 15 zum Schlupf auf. Das ergibt sich als Folge aus der als konstant vorgegebenen Getriebe-Einstellung. Alternativ dazu wäre eine Vorwahl, die stets die maximale Geschwindigkeit einhält – also bei flacher Arbeit den Schlepper schneller fahren lässt. Das würde die Flächenleistung steigern, bei recht hoher Geschwindigkeit

allerdings den Effekt des Durchmischens beeinflussen und dadurch den Anspruch an Zugleistung und Dieserverbrauch erhöhen.



**Abb. 16:** Flächenleistung [ha/h]

### 3.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die auf den Teilflächen gemessenen Werte sind jeweils als Mittelwert in Tab. 1 aufgeführt, um die Beziehungen untereinander zu verdeutlichen.

**Tab. 2:** Ergebnisse der Bearbeitungsvarianten

	Arbeitstiefe (cm)			konstant
	10	15	20	15
Zugkraft [kN]	38	53	57	56
Schlupf [%]	6	9	10	10
Flächenleistung [ha/h]	2,9	2,6	2,5	2,5
Dieserverbrauch [l/ha]	10	12	13	13

In allen Varianten erhöhen sich die Werte von der ersten zur zweiten Tiefe deutlich stärker als zur dritten: beispielsweise steigt die Zugkraft von 10 auf 15 cm um 50 %, auf 20 cm um 60 %, die Differenz beträgt hier also nur 10 % Punkte. Ähnlich verhält sich die Relation beim Schlupf. Danach bringt es also wenig, die Tiefe im Bereich zwischen 15 und 20 cm zu wechseln.

Der Dieserverbrauch weist nur eine geringere Steigerungsrate von 20 bzw. 30% auf. Das liegt daran, dass der Verbrauch den Leistungsbedarf für die Eigenbewegung von Schlepper und abrollender Scheibenegge/Packer-Einheit enthält.

Insgesamt erscheint der Mehrverbrauch gering mit durchschnittlich 0,3 l/ha je cm Arbeitstiefe. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Richtwert, der aus Kapitel 2.2 und Abb. 5 hervorgeht.

Die Flächenleistung geht um 10 bzw. 14 % zurück, zu einem Teil vom Schlupf erklärt, der immerhin um 50 bzw. 66 % ansteigt.

Der Blick auf alle Daten legt die Überlegung nahe, ob der Effekt auf die Flächenleistung zu steigern wäre. Den ersten Hinweis bietet die Zugkraft: der Schlepper schafft im Mittel 57 kN, also 50 % mehr als in der flachen Variante. Daraus ließ sich auf eine entsprechend höhere Geschwindigkeit und Flächenleistung schließen. Allerdings gibt der Messwert hier nur die Zugkraft des Geräts, gemessen am Unterlenker, wieder, nicht den gesamten Rollwiderstand von Schlepper und Grubber.

Einen Hinweis auf die Bedeutung der Zusatzaggregate einer Grubber-Scheibeneggen-Kombination geben Messungen des Instituts. Dessen Zugleistungsbedarf liegt gegenüber einem einfachen dreibalkigen Grubber bei

6 cm Tiefe um 13 %  
15 cm Tiefe um 10 %  
20 cm Tiefe um 5 %

höher. Bei flacher Arbeit wirken die zusätzlichen Baugruppen, im Weiteren die größere Tiefe.

Also erscheint der Dieserverbrauch als eher geeignet. Die Differenz zwischen flach und tief deutet auf ein Potential von 30 % höhere Flächenleistung.

## 4. Wirtschaftlichkeit

Das Bestreben, in der Grundbodenbearbeitung zu sparen, darf nicht auf Kosten des Ertrages geschehen. Denn nur wenige Prozent des Erlöses entsprechen den Kosten der Bearbeitung.

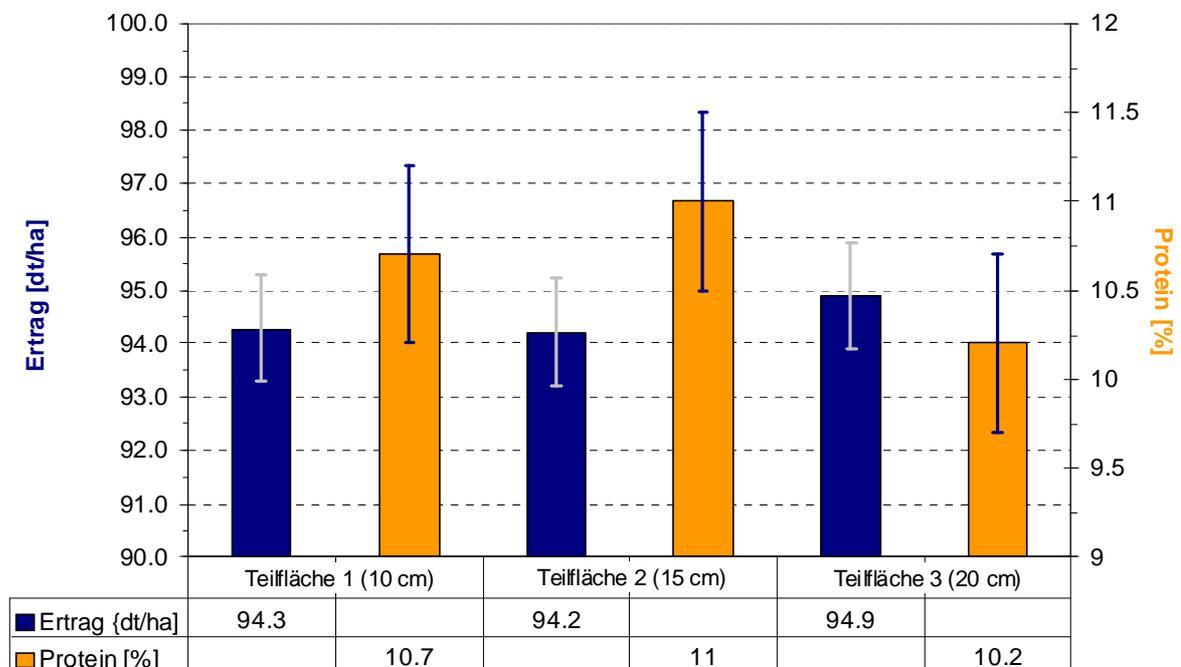
Daher wird dem Kosten-Kapitel eines zur Ertragswirkung vorangestellt; sodann werden die Effekte auf Dieserverbrauch bewertet. Zusätzlich wird die Steigerung der Flächenleistung kalkuliert.

### 4.1 Ertragsniveau

#### 4.1.1 Friedrichsthal

Der Ertrag der Varianten resultiert bei gleicher Düngung und Pflanzenpflege aus der Bodenart und der von ihr abhängigen Arbeitstiefe.

Die Ergebnisse geben das Mittel aller Teilflächen wieder. Die eingezeichnete Streuung der Messwerte von etwa  $\pm 1$  dt/ha und  $\pm 0,5$  % Protein beruht auf den Messpunkten, die ihrerseits für eine Fläche von 12 m<sup>2</sup> stehen.



**Abb. 17:** Ertragsergebnisse Friedrichsthal

Die beiden ersten Varianten mit 10 und 15 cm Tiefe weisen keinen Unterschied im Ertrag auf. Die tiefer bearbeitete, eher von Sand geprüfte Teilfläche erreicht einen knappen, nicht relevanten Vorsprung. Der Proteingehalt liegt mit 0,3 % unwesentlich höher. Die Tiefe scheidet aber als positiver Einfluss aus, da die Ergebnisse von tief bearbeiteten Flächen um 0,5 % niedriger liegen.

Also hat die angepasste, erhöhte oder erniedrigte Arbeitstiefe den gleichen Ertrag erbracht.

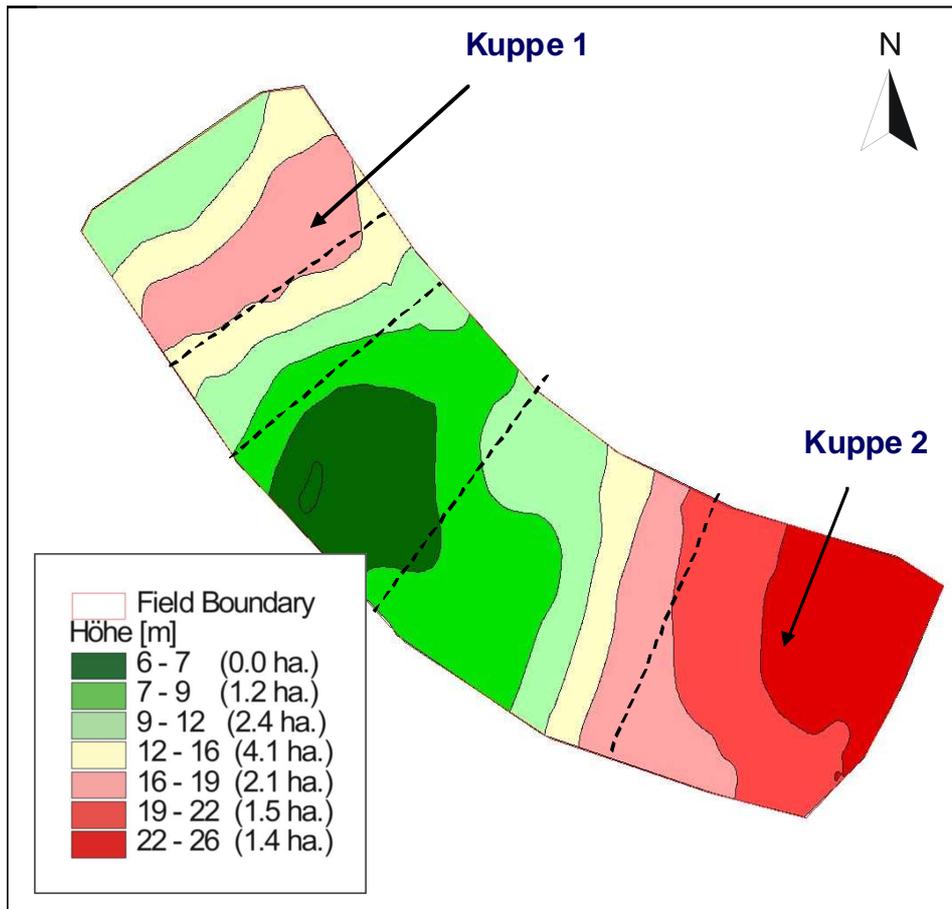
Offen bleibt, ob ein Effekt des Bodens oder der Tiefe vorherrscht. Das lässt sich an Hand der Konstant-Variante erkennen, die mit 15 cm mitten durch den Versuch gelegt ist. Denn dieser Streifen durchschneidet die Teilflächen mit unterschiedlichem Boden und damit unterschiedlicher Tiefe. Wenn der flach bearbeitete Teil weniger erbringt als der benachbarte Streifen mit 15 cm, so deutet, dass auf mangelnde Lockerung. In der Ertragskarte fällt eine Stelle von 100 m Länge auf. Dort ragt dass eine Zone bodenbedingt geringeren Ertrages in den Streifen hinein.

Insgesamt bleibt der erwartete Effekt undeutlich – wohl auch dadurch bedingt, dass die Differenzen gering sind, und die Ertragserfassung benachbarte Werte einbezieht und interpoliert.

#### **4.1.2 Oppendorf**

Auf Gut Oppendorf waren zwei Varianten mit 10 und 20 cm Tiefe angelegt. Die geringere Differenzierung führt zu einem größeren Ausmaß der Teilflächen (Abb. 18). Der Schlag zeichnet sich durch einen weiten Verlauf im Höhenprofil aus, bildet eine ausgeprägte Kuppe und Senke aus. Sie lässt eine bessere Wasserversorgung, aber spätere Erwärmung und höheren Unkrautbesatz erwarten.

Der Raps hat auf dem flach bearbeiteten Teil geringfügig mehr Menge, aber weniger Öl gebracht. Hier lässt offenbar das gute Durchwurzelungsvermögen in Verbindung mit homogener Bodenstruktur die Bearbeitungstiefe in den Hintergrund treten.



**Abb. 18:** Höhenkarte [m], Opendorf

Der Weizen reagiert deutlich auf die flache Arbeit mit knapp 6 dt/ha, allerdings wohl auch als Ergebnis von Bodenart und Feuchte zu interpretieren. Denn ein weiterer Bereich liegt in der Senke. Der Proteingehalt bleibt in Höhe und Streuung unbeeinflusst.

#### 4.1.3 Fazit

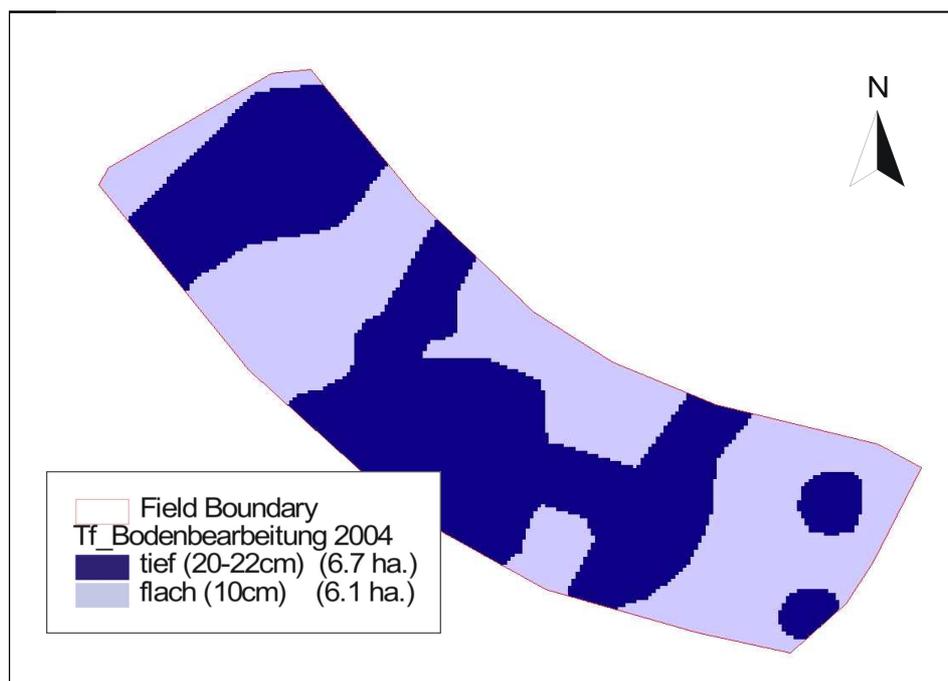
Insgesamt bestätigen die genannten wie weitere Einzelergebnisse, dass die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung zu gleichen Erträgen wie die bisher übliche führt.

## 4.2 Kosteneinsparung

Die angepasste Bearbeitung spart Kosten, weil mit flacher Arbeit der Leistungsanspruch sinkt. Daher ist darzustellen, welcher Flächenanteil auf die jeweilige Tiefe entfällt, welche Werte für den Dieserverbrauch anzusetzen sind, und wie hoch das Potential höherer Flächenleistung ist.

### 4.2.1 Vergleichsmaßstab

Die Bonitur des Schlags nach Bodenart, z.B. mit dem EM38, bildet die Basis zur Applikationskarte. Daraus lassen sich die Anteile flacher, mittlerer oder tiefer Bearbeitung erkennen. Verteilung und Ausmaß dieser Teile veranschaulicht Abb. 19. Im Einzelnen erreichen die Flächen in Fahrtrichtung eine Länge von 80 bis 150 m, im Einzelfall auch 300 m, dies aber nur mit einer Breite von 10 Spuren. Also treten bereits nach 30 oder 50 sec. Regelimpulse auf, wie sie die Steuerelektronik, nicht aber der Fahrer realisieren kann.



**Abb. 19:** Applikationskarte, Oppendorf

Für den Effekt der Einsparung kommt es darauf an, welche Tiefe der Betrieb üblicherweise einhält. Im Sinne guter Praxis wird der Landwirt die gesamte Fläche „sicherheitshalber“ so tief bearbeiten, wie in den kritischen Bereichen nötig. Nehmen diese jedoch nur einen geringen Anteil ein, z.B. 10 %, wird er dessen Anspruch vernachlässigen und insgesamt flacher arbeiten.

Das Beispiel der Abb. 19 weist eine etwa gleiche Verteilung der drei Arbeitstiefen auf. Im Sinne der obigen Einschränkung soll die Kalkulation von höchstens 80 % der Flächen mit flacherer Bearbeitung ausgehen. Diese 80 % würden die beiden anderen Tiefen zu gleichen oder ungleichen Teilen einnehmen. Der geringste Effekt würde im gewählten Beispiel auftreten, wenn 80 % tief gegrubbert werden, die restlichen 20 % auf die beiden anderen Tiefen entfallen.

#### 4.2.2 Dieseleinsparung

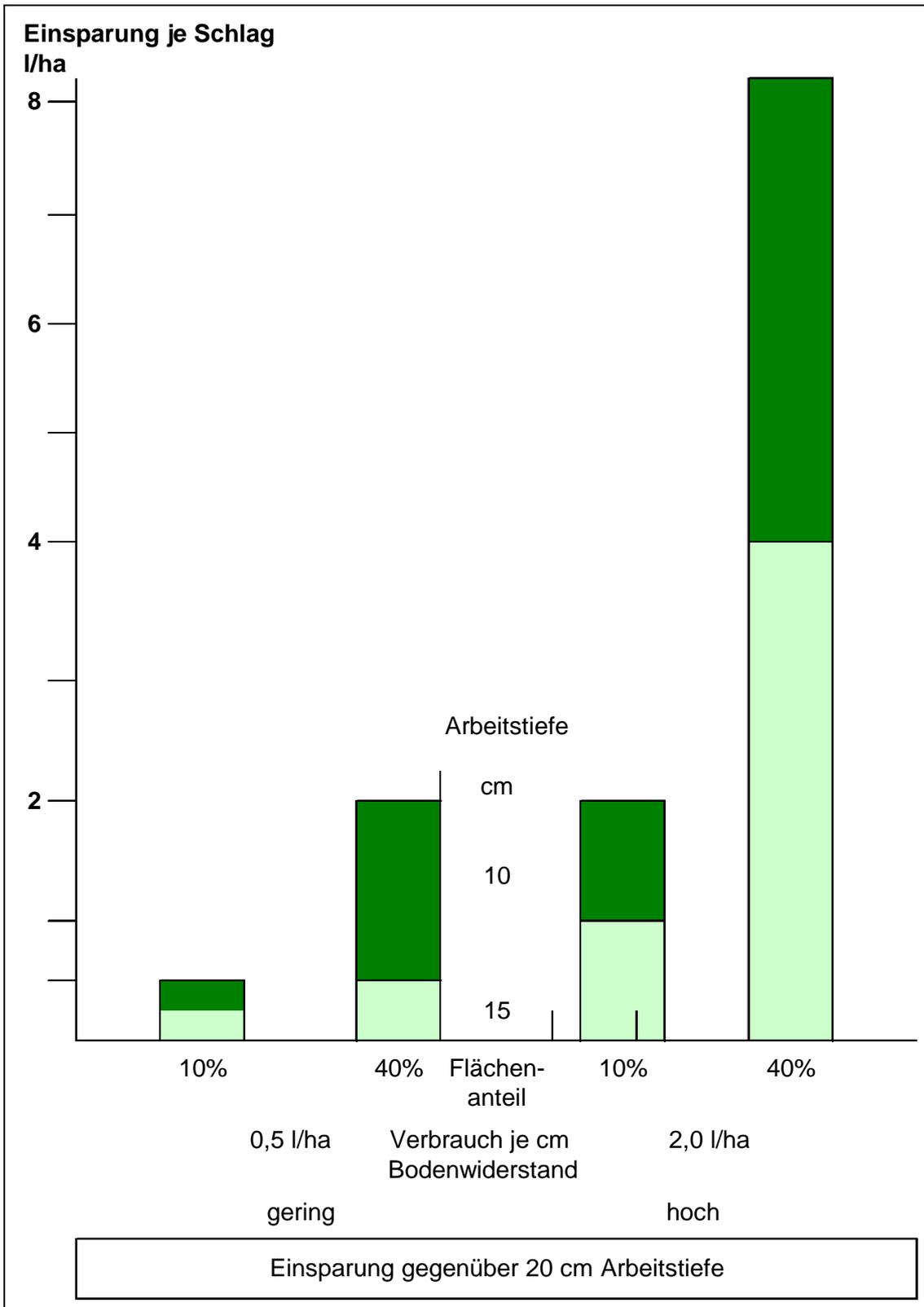
Der primäre Effekt geringerer Arbeitstiefe liegt im geringeren Verbrauch an Dieselkraftstoff. Die Daten dazu variieren im weiten Bereich. Im beschriebenen Versuch (Tab. 2) liegt der Verbrauch für 10 cm bei 10 l/ha, also 1 l/ha je cm, für 20 cm bei 13 l/ha. Die Differenz, also Einsparung, macht 3 l/ha bzw. 0,3 l/ha je cm aus. Der Bedarf für die „Grundlast“ aus Eigenbewegung vom Schlepper und von den Baugruppen des Grubbers, die an der Oberfläche wirken, liegt also hoch.

Aus anderen Messungen leitet sich ein mittleres Niveau von 1 bis 2 l/ha je cm Tiefe ab (vgl. Kap. 2, Abb. 5). Damit wird ein Spektrum mit 0,5 bis 2 l/ha je cm, das in die Kalkulation eingeht, geprägt. Diese Zahlen stehen für geringen oder hohen Zugwiderstand, von Bodenart oder –zustand, feucht oder trocken. Aus diesen Eckpunkten ergibt sich für die einzelnen Tiefen eine Einsparung je Teilfläche:

**Tab. 3:** Spektrum der Verbrauchswerte für Diesel [l/ha]

<b>Arbeitstiefe bei</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>cm</b>
0,5 l/ha je cm	2,5	5	l/ha Teilfläche
2,0 l/ha je cm	10	20	l/ha Teilfläche

Diese Teilflächen nehmen einen unterschiedlichen Anteil am gesamten Schlag ein, wie oben im Kap. 4.2.1 besprochen. Dieser wird mit der Spanne 10 bis 40 % jeweils für 15 und 10 cm Tiefe vorgegeben. Daraus folgt ein weiterer Bereich möglicher Einsparung, wie Abb. 24 darstellt. Sie trennt nach dem Zugkraftbedarf, wie ihn der jeweilige Boden vorgibt. Der geringe Wert steht für ein Verbrauchsniveau von 10 l/ha Diesel, der hohe für gut 30 l/ha. Der untere Abschnitt der Säulen steht für 15 cm Arbeitstiefe, er wird erhöht um die Einsparung bei 10 cm.



**Abb. 20:** Einsparpotentiale der angepassten Arbeitstiefe gegenüber einer konstanten Arbeitstiefen bis 20 cm

Als bedeutsam fällt der Anteil an Fläche auf, die eine reduzierte Arbeitstiefe verträgt. Bei dem oft beobachteten Drittel am gesamten Schlag würden sich ein Maximum von 6 l/ha ergeben.

Zur monetären Bewertung liegt es nahe, die Daten der Abb. 20 mit dem jeweiligen Markt- oder loco-Hof-Preis zu multiplizieren. Auf der Basis von 1,2 €/l umfasst die Abbildung einen Bereich von 1,2 bis 9,6 €/ha, der Schwerpunkt dürfte um 6 €/ha liegen.

#### 4.2.3 Steigerung der Flächenleistung

Der geringere Kraftbedarf kann zu erhöhter Geschwindigkeit genutzt werden. Der Fahrer kann beim modernen, stufenlosen Getriebe die Einstellung wählen, die stets den Motor voll auslastet und somit die maximale Geschwindigkeit erlaubt.

Als Ausgangspunkt gilt die Leistung von 2,5 ha/h gemäß Tab. 2. Die höhere Flächenleistung bedeutet einerseits mehr Schlagkraft, direkt aber geringere Festkosten. Zu diesen Kosten gehören Schlepper (ohne Diesel), Gerät und Fahrer. Auf der Basis von 60 €/h wird der Effekt kalkuliert und zuvor wie in Kap. 4.2.2 für die beiden Extreme, nach denen 10 bzw. 40 % des gesamten Schlages von der Tiefensteuerung des Grubbers profitieren.

**Tab. 4:** Flächenleistung und Festkosten von Grubber und Schlepper

<b>Flächenanteil</b>	<b>Flächenleistung</b>	<b>Festkosten</b>
<b>%</b>	<b>ha/h</b>	<b>€/ha</b>
100	2,50	24,0
40	2,80	21,4
10	2,68	22,4

Daraus ergibt sich eine Einsparung von etwa 2 €/ha. Diese Bewertung kann höher ausfallen, wenn für die gesteigerte Schlagkraft spezifische Nutzungskosten angesetzt werden, also der Vorteil rechtzeitiger Arbeitserledigung betont wird.

#### 4.2.4 Mit welchem Mehr-Preis kann man rechnen?

In den Kapiteln 4.2.3/4 ist die Spannweite möglicher Einsparungen dargestellt – basierend auf den Praxismessungen.

Aus den verringerten Kosten lässt sich auf die verbuchbare Investition für ein Regelsystem schließen, indem deren Wert kapitalisiert wird. Dieser Rechengang beruht – analog zur Kostenkalkulation – auf der erwarteten Nutzungsdauer und Reparaturauffälligkeit.

Es werden nur die spezifischen Mehraufwendungen gegenüber dem Standard-Grubber berücksichtigt. Für die Elektronik wird mit 8 Jahren Dauer, also 12 % des Anschaffungspreises gerechnet, dazu kommen die Pauschalen für Reparatur und Zinsanspruch, insgesamt also 20 % A.

Für das folgende Beispiel dienen mittlere Werte aus den vorigen Kapiteln, also für

Diseleinsparung	6 €/ha
Höhere Flächenleistung	<u>2 €/ha</u>
Insgesamt:	8 €/ha

Diese Einsparung von 8 k/ha wird für 20 % Maschinenkosten kapitalisiert gemäß

$$\frac{100 \times 8}{20} = 40 \text{ €/ha}$$

Danach könnte der Mehrpreis 8.000 € betragen, wenn das System auf 200 ha im Jahr läuft. Mit den unterstellten Annahmen zur Einsparung verschiebt sich naturgemäß auch das Ergebnis zur vertretbaren Mehr-Investition.

Die Spannweite der ermittelten Daten mahnt zur Vorsicht in der Kalkulation und Erwartung. Doch realistischerweise bearbeitet ein Grubber eine wesentlich größere Fläche, die teilflächenspezifisch angepasste Bodenbearbeitung lohnt also auch bei geringen Effekten.

## 5. Zusammenfassung

Der Boden wechselt auf dem Acker in Art und Struktur. Das Feld sollte bzw. braucht nicht einheitlich bearbeitet zu werden. Das Streben nach Bodenschonung, hoher Flächenleistung und geringem Dieserverbrauch regte an, den Acker teilflächenspezifisch zu bearbeiten, also ein zuviel an Tiefe zu vermeiden. Erfahrungen der Fa. Amazone und von Voßhenrich zur sinnvollen Tiefeneinstellung waren zu nutzen.

Nach dem Konzept sind umfangreiche Versuche unter Bedingungen der Praxis ausgeliefert, um den erwarteten Effekt mit Zahlen zu belegen. Zugleich wurde geprüft, ob Ertrag oder Qualität beeinträchtigt werden.

Die Praxis-Ergebnisse werden im einzelnen und in systematischen Zusammenhang dargestellt. Die Einsparung beim Diesel liegt je nach Bodenwiderstand zwischen 0,5 und 2 l/ha je cm Arbeitstiefe. Abhängig vom Flächenanteil, da flacheres Grubbern zulässt, ergibt sich für den Schlag eine Einsparung von 1 bis 8 l/ha. Die geringere Arbeitstiefe erlaubt höhere Geschwindigkeit und damit Flächenleistung, die die Festkosten um 2 €/ha senkt.

Aus den Einsparungen wird der mögliche Mehrpreis errechnet. Angesichts der hohen jährlich bearbeiteten Fläche lohnt die angepasste Bodenbearbeitung.

## 6. Literatur

- Brunotte J.; Voßhenrich H.H. (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 2, S. 28-43
- Großmann J.C. (2004): **Vergleichende Messungen konservierender Bodenbearbeitung**, Master-Thesis, Kiel
- Reckleben B. (2007): **Mehrjährige Erfahrungen mit konservierender Bodenbearbeitung und Bestellung**, Dissertation, RKL-Forschungsbericht Landtechnik Nr. 1, Rendsburg
- Reckleben Y.; Isensee E. (2005): **Teilflächenspezifische Grundbodenbearbeitung hilft Kosten senken**, Bauernblatt SH, August 2005, S. 33-35
- Reckleben Y.; Isensee E. (2005): **Variable Arbeitstiefe spart Zukrafft**, Neue Landwirtschaft, Heft 10/20054, S. 34-36
- Reckleben Y. (2007): **Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung – Kosteneinsparung und Bodenschutz im Mittelpunkt**, Bauernblatt SH, August 2007, S. 37-38
- Seehusen T. (2004): **Systemvergleich verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte zur konservierenden Bodenbearbeitung**, Master-Thesis Kiel
- Sowa F. (2004): **Sensoren zur Erfassung verfahrenstechnischer Kennwerte während der Bodenbearbeitung**, Master-Thesis, Kiel
- Voßhenrich H.H.; Sommer C. (2005): **Lockerungsverzicht und ortsspezifische Bodenbearbeitung**, Bauernblatt SH, August 2005
- Voßhenrich H.H.; Sommer C.; Galtermann B. (2000): **Ortspezifische Bodenbearbeitung**, Landtechnik 4/2000, S. 319
- Weißbach M.; Isensee E. (2005): **Leistungsbedarf und Effekte von Stoppelbearbeitung gewähren**, RKL-Schrift, 4.1.1.0, S. 477ff, Rendsburg