



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik

# Untersuchung des Leistungsbedarfes und der Zerkleinerungswirkung von Kreiseleggen mit unterschiedlichen Kreiseldurchmessern

Endbericht



August 2004



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik

Endbericht

# Untersuchung des Leistungsbedarfes und der Zerkleinerungswirkung von Kreiseleggen mit unterschiedlichen Kreisdurchmessern

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Vöttinger Str. 36, 85354 Freising

Projektleiter:  
LOR Dr. M. Demmel

Bearbeiter:  
Dipl.-Ing. agr. (FH) H. Kirchmeier  
Dipl.-Ing. agr. (FH) R. Geischer

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzungen der Untersuchung .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau.....</b>	<b>5</b>
3.1	Mittlerer Aggregatdurchmesser (GMD) .....	11
3.2	Drehmomentmessung.....	13
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der Untersuchung.....</b>	<b>14</b>
4.1	Krümelerung .....	14
4.2	Leistungsbedarf .....	16
4.2.1	Leerlaufleistung.....	16
4.2.2	Leistungswerte Kreiseleggeneinsatz.....	17
4.3	Krümelerung und Leistungsbedarf .....	18
4.4	Bewertung und Diskussion .....	20
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>24</b>
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>24</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchte Kreiseleggen mit 10,12 und 14 Kreiseln .....	6
Abbildung 2: Kreiseleggenzinken.....	7
Abbildung 3: Feldeinteilung und Probenahmesystem .....	8
Abbildung 4: Probennahme für die Bestimmung der Krümelerung.....	9
Abbildung 5: Lufttrocknung der Bodenproben in Aluschalen.....	9
Abbildung 6: Verteilung Bodenart und Bodenfeuchte bei der Bearbeitung.....	10
Abbildung 7: Analysensiebmaschine mit aufgebautem Siebturm.....	11
Abbildung 8: Siebfraktionen (li.: >1,25/1,25/2,5 mm – re.: 5/10/20/40 mm).....	12
Abbildung 9: Online Drehmomentmessung.....	14
Abbildung 10: GMD und Zapfwellenleistung in den Parzellen .....	15
Abbildung 11: GMD und Zapfwellenleistung der einzelnen Varianten.....	19

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grunddaten und Einstellungen zum Kreiseleggenvergleich .....	7
Tabelle 2: Krümelung der Varianten .....	16
Tabelle 3: Leistungsbedarf Leerlauf .....	17
Tabelle 4: Leistungsbedarf der Varianten .....	17
Tabelle 5: Werkzeuggeschwindigkeit, Leistungsbedarf und Krümelung .....	18

## 1 Einleitung

Agrarpolitische Entwicklungen zwingen die Landwirtschaft, unter anderem auch bei der Bodenbearbeitung, verstärkt zu Kosteneinsparungen. Deshalb ist mit einer weiteren Zunahme bei der konservierenden Bodenbearbeitung mit einer gleichzeitigen Reduzierung des Pflugeinsatzes auf ein notwendiges Minimum zu rechnen. Grubber und/oder Scheibeneggen bzw. Kombinationen daraus sind die Schlüsselmaschinen für die konservierende Bodenbearbeitung. Für die Saatbettbereitung und Saat dominieren in kleinparzellierten Strukturen und bei stark wechselnden Böden noch immer 3 m breite Bestellkombinationen aus Kreiselegge, Packerwalze und Aufbausämaschine, die ausgerüstet mit Scheibensäscharen, auch für die Mulchsaat verwendet werden können [2]. Gerade für kleinere bis mittlere Betriebe stellt diese Kombination eine leistungsfähige Technik bei der Bestellung dar. Durch die kompakte Bauweise von Kreiseleggen ist eine Kombination mit Sätechnik möglich. Für Traktoren mit rund 60 –110 kW wird deshalb auch in Zukunft die Kreiselegge, gerade mit 3 m Arbeitsbreite, eine wichtige Rolle spielen.

Wie bei allen Bodenbearbeitungsmaßnahmen sind auch beim Kreiseleggeneinsatz neben der Erfüllung der pflanzenbaulichen Anforderungen die Effektivität der Leistungsumsetzung und die Wirtschaftlichkeit von großer Bedeutung. Zapfwellenangetriebene Bodenbearbeitungsgeräte haben bei der Umsetzung der Traktormotorleistung in einem Arbeitseffekt generell einen höheren Wirkungsgrad als gezogene Geräte. Darüber hinaus ist natürlich von Interesse, ob auch zwischen den verschiedenen zapfwellenangetriebenen Bodenbearbeitungs- und Saatbett-

bereitungsgeräten Unterschiede in der Effektivität der Leistungsumsetzung existieren.

## 2 Zielsetzungen der Untersuchung

Bei den auf dem Markt angebotenen Kreiseleggen lassen sich auf Grund der Anzahl und der Durchmesser der Kreisel (Zinkenträger) drei Bauformen unterscheiden: Kreiseleggen mit 10, 12 und 14 Kreisel je 3 m Arbeitsbreite. Der Trend ging in der Vergangenheit zu weniger Kreisel bei gleicher Arbeitsbreite. Die Mehrzahl der angebotenen Maschinen verfügt deshalb über 10 oder 12 Kreisel je 3 m Arbeitsbreite. Daneben wird noch ein Kreiseleggentyp mit 14 Kreisel angeboten. Ursache für diesen Trend hin zu weniger Kreisel ist wahrscheinlich die mögliche Kosteneinsparung bei der Produktion. Untersuchungen über die Wirkung unterschiedlicher Kreisel- bzw. Zinkenanzahlen sind derzeit nicht bekannt. Einzelne Landwirte berichten, dass Kreiseleggen mit 10 Kreisel einen höheren Kraftbedarf bei gleichzeitig höherem Zinkenverschleiß aufweisen als Geräte mit 12 Kreisel.

**Ziel der Untersuchungen war es deshalb die unterschiedlichen Kreiseleggenbauarten (10,12 und 14 Zinkenträger) hinsichtlich der Krümelung und des Leistungsbedarfs (Zapfwellenleistung) zu untersuchen.**

## 3 Versuchsaufbau

Für den Versuch standen drei Kreiseleggen mit 3 m Arbeitsbreite, 10, 12 und 14 Kreisel und annähernd gleichen Zinkengrößen und Formen zur Verfügung (PÖTTINGER Lion 300, MASCHIO DC-V 3000 und MASCHIO HB 3000 Z) (Abbildung 1). Alle drei Geräte sind mittelschwere Typen und waren mit Krümelschiene und Zahnpackerwalzen mit 500 mm Durchmesser ausgerüstet. Als Antriebsmaschine diente ein Traktor der Firma FENDT Typ Favorit 716 Vario. Die Fläche für die Untersuchung befand sich in Salmannskirchen im Landkreis Erding.



Abbildung 1: Untersuchte Kreiseleggen mit 10,12 und 14 Kreisel  
(v. l.: Lion 300, DC-V 3000, HB 3000 Z)

Folgendes Vorgehen wurde für die Untersuchung im Frühjahr 2004 gewählt:

1. Der Einsatz soll auf einer frisch gepflügten Fläche stattfinden.
2. Die Arbeitstiefe soll 10 cm betragen.
3. Die Arbeitsgeschwindigkeit soll 7,5 km/h betragen.
4. Zu vergleichen sind die beiden Einstellungen „mit“ und „ohne“ Krümelschiene.
5. Die drei verschiedenen Kreiseleggen sollen jeweils mit einer hohen (etwa 360 U/min) und einer niedrigeren (etwa 300 U/min) Kreiseldrehzahl gefahren werden (bei 1000 U/min Zapfwellengeschwindigkeit).
6. Zur Beurteilung der Krümelleistung werden Bodenproben gesiebt, der „mittlere gewogene Aggregatgrößendurchmesser“ (GMD) berechnet und den statistischen Kenngrößen gegenübergestellt.
7. Der Leistungsbedarf wird mittels Drehmoment- und Drehzahlmessung an der Zapfwelle bestimmt.

Der daraus entwickelte Versuchsplan ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Es sind alle technischen Parameter der Kreiseleggen (Kreiseldurchmesser, Zinkenanstellwinkel, Zinkenweg je Kreiseldrehung) und der vier Versuchsvarianten (Kreiseldrehzahl, Zinkengeschwindigkeit, Fahrgeschwindigkeit, Uhrzeit und Witterung) aufgeführt.

Die Zinkenformen werden aus Abbildung 2 ersichtlich.



Abbildung 2: Kreiseleggezinken

(v. l.: Lion 300, DC-V 3000, HB 3000 Z)

Tabelle 1: Grunddaten und Einstellungen zum Kreiseleggenvergleich

Parameter	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4		
	hohe Drehzahl mit Krümelschiene		hohe Drehzahl ohne Krümelschiene		niedrige Drehzahl ohne Krümelschiene		niedrige Drehzahl mit Krümelschiene		
Datum	19.05.2004								
Uhrzeit	9.45 - 10.50		11.40 - 12.40		13.55 - 14.55		15.00 - 16.00		
Schlag	Flanninger Breite (Betrieb Josef Rottmeier, Erding)								
Bodenzustand	trocken (am 17.05 abends gepflügt, 18.05 Sonne, am Morgen zum 19.05 Niederschlag 5mm)								
Fahrgeschwindigkeit	7,5 km/h								
Arbeitstiefe	9 - (10) cm								
Kreiseldurchmesser / Anstellwinkel / Zinkenstärke	14	22,5 cm / 9° / 12 mm							
	12	25,0 cm / 7° / 12 mm							
	10	33,0 cm / 13° / 12 mm							
Einstellung Planierschiene	mit 8 cm ü. Bo.		ohne		ohne		mit 8 cm ü. Bo.		
Einstellung Getriebe / theoretische Drehz.	14	17/23	357	tats.	364	15/25	290	tats.	295
	12	17/23	357	gemessene	364	16/24	322	gemessene	328
	10	19/21	367	Drehzahl	367	17/23	300	Drehzahl	305
Zinkenweg je Umdrehung (aller Zinken auf der ges. Breite)	14	19,78 m (100%)							
	12	18,84 m (95%)							
	10	20,72 m (105%)							
Zinkengeschwindigkeit (tats. Drehzahl)	14	4,29 ms <sup>-1</sup> (100 %)			3,47 ms <sup>-1</sup> (81 %)				
	12	4,76 ms <sup>-1</sup> (111 %)			4,29 ms <sup>-1</sup> (100 %)				
	10	6,34 ms <sup>-1</sup> (148 %)			5,27 ms <sup>-1</sup> (123 %)				

Für die statistische Absicherung des Versuches wurden innerhalb der 4 Varianten mit jeder Kreiselegge fünf Parzellen (5 echte Wiederholungen) bearbeitet. Die einzelnen Varianten wurden hintereinander mit einem Sicherheitsabstand von 10 m in das Feld eingemessen und mit Stäben gekennzeichnet. Die genaue Parzelleneinteilung ist in Abbildung 3 dargestellt. Ebenfalls dieser Abbildung zu entnehmen ist die Vorgehensweise (Beprobungsraster) bei der Probenahme für die Ermittlung der Krümelung. Innerhalb jeder Parzelle (Fahrspur) wurden 5 Proben gezogen. Somit wurden 25 Einzelproben zu jeder Kreiselegge in jeder der 4 Versuchsvarianten und damit insgesamt 300 Bodenproben für die Ermittlung der Krümelung gezogen.

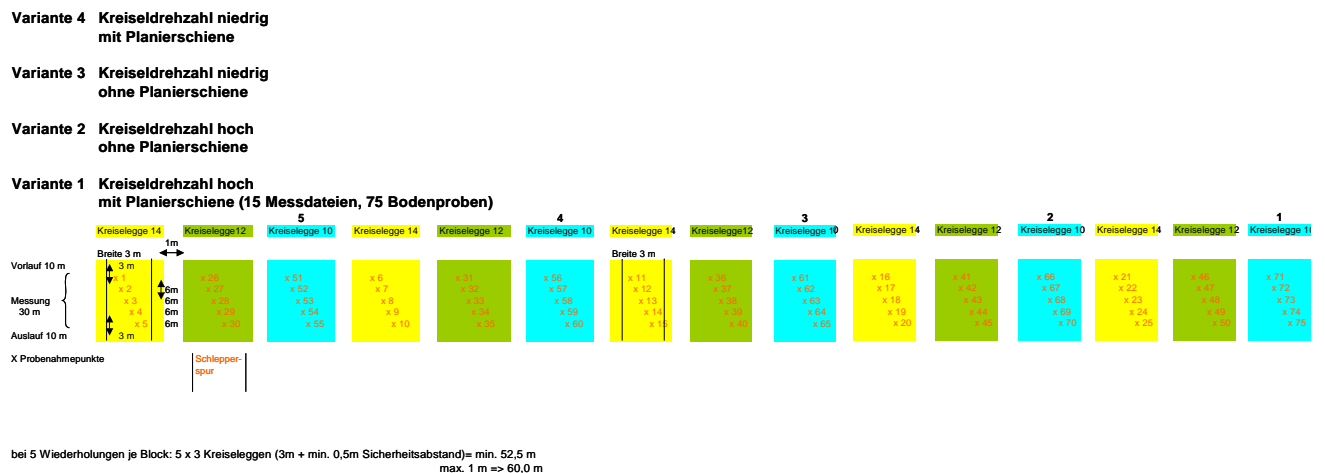


Abbildung 3: Feldeinteilung und Probennahmesystem

Die Proben wurden nach dem oben dargestellten Schema mit einem eigens gefertigten Bodenprobenstecher auf einer Tiefe bis 8 cm entnommen. Der Probenstecher, wie in Abbildung 4 gezeigt, umfasst ein Volumen von 1,56 Liter. Die damit gewonnenen Proben wurden in geeignete Aluschalen gegeben und an der Luft getrocknet (Abbildung 5).





Abbildung 4: Probennahme für die Bestimmung der Krümelung

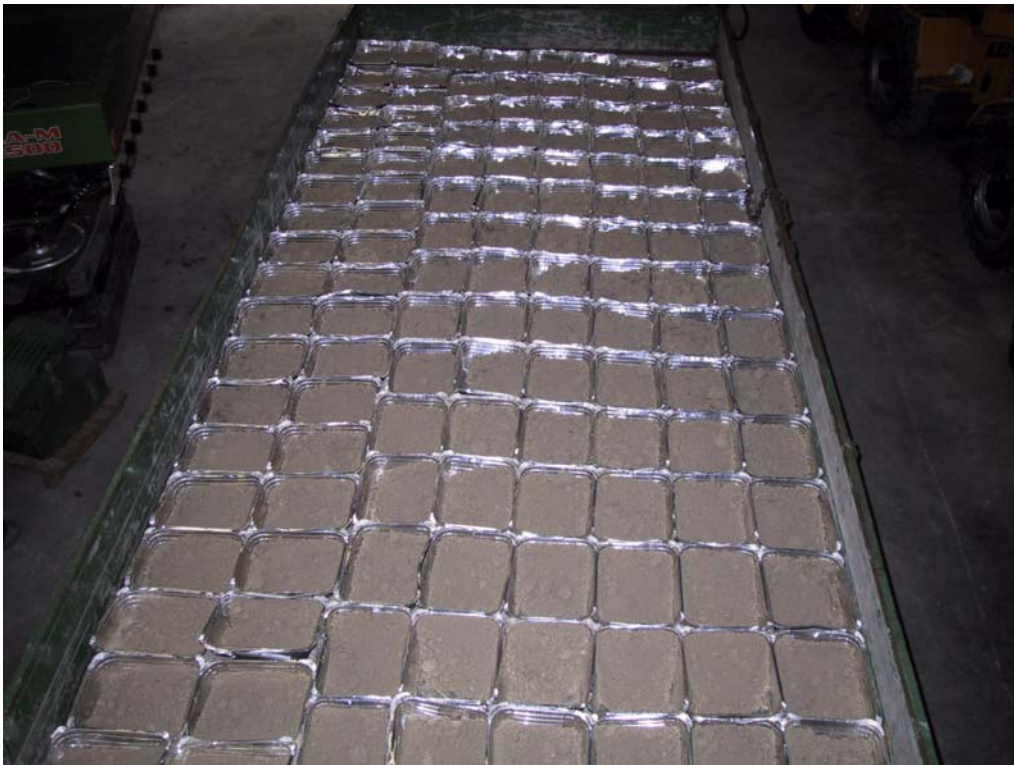


Abbildung 5: Lufttrocknung der Bodenproben in Aluschalen

Zusätzlich zu den Proben für die Ermittlung der Krümelung wurden gleichmäßig über die Parzellen (Abbildung 6) verteilt 8 Proben zur Bestimmung der Bodenart und Bodenfeuchte entnommen. Dazu wurde eine kleine Bodenmenge an jedem der 5 Probenpunkte (Abbildung 3) entnommen und in Form einer Mischprobe in eine luftdicht verschließbare Dose (Abbildung 4) gegeben. Diese Proben wurden von einem anerkannten landwirtschaftlichen Labor (Agrolab, Oberhummel) auf Bodenfeuchte und Bodenart untersucht.

Die Ergebnisse sind als Mittelwert für jede der 4 Varianten dargestellt.

Abbildung 6 zeigt, dass trotz der Zeitunterschiede bei der Bearbeitung der jeweiligen Varianten (Tabelle 1) keine deutlichen Unterschiede vorhanden waren. Es fand also keine nennenswerte Abtrocknung während der Versuchsdurchführung statt, die eventuell eine Auswirkung auf die Krümelung gehabt hätte.

Die ermittelten Bodenarten nach der Sieb- /Schlammanalyse sind ebenfalls in Abbildung 6 dargestellt. Bei 5 von 8 Proben ist die ermittelte Bodenart ein sandiger Lehm. Bei den übrigen 3 Proben weicht die Bodenart laut Sand-, Ton- und Schluffanteil geringfügig davon ab. Die ermittelten Werte liegen laut Labor im Rahmen der Messgenauigkeit und somit ist kein nennenswerter Unterschied zwischen den Versuchsparzellen vorhanden. Vielmehr handelt es sich um einen zum Großteil homogenen Bereich mit natürlichen Schwankungen, die immer im Boden vorzufinden sind.

Variante 4					Ton 17,4 % sandiger Lehm	Feuchte MW	14,6%				Ton 18,7 % sandiger Lehm			
Variante 3			Ton 15,6 % stark lehmiger Sand			Feuchte MW	13,4%		Ton 18,8 % sandiger Lehm					
Variante 2	Ton 16,6 % stark sandiger Lehm					Feuchte MW	15,7%		Ton 16,7 % stark lehmiger Sand					
Variante 1					Ton 17,1 % sandiger Lehm	Feuchte MW	14,5%				Ton 18,1 % sandiger Lehm			

Abbildung 6: Verteilung Bodenart und Bodenfeuchte bei der Bearbeitung

### 3.1 Mittlerer Aggregatdurchmesser (GMD)

Zur Bestimmung der Krümelung der verschiedenen Kreiseleggen wurde der „Mittlere Gewogene Aggregatdurchmesser (GMD nach Estler und Knittel 1996)“ herangezogen. Dazu sind die gewonnenen Proben nach erfolgter Lufttrocknung mittels einer Analysensiebmaschine (Abbildung 7) in die einzelnen Fraktionen getrennt worden. Die Literatur [1,3] nennt hier die Siebkombination 80/40/20/10/5/2,5/1,25 mm Lochdurchmesser. Das größte Sieb mit 80 mm kam nicht zum Einsatz, da bei der Saatbettbereitung mit der Kreiselegge diese Kluten nicht erwartet werden.



Abbildung 7: Analysensiebmaschine mit aufgebautem Siebturm

Die Siebmaschine vom Hersteller Retsch (Typ AS 400 control) führt eine horizontale Kreisbewegung mit 15 mm Radius aus. Dabei kann die Drehzahl stufenlos von 50 – 300 U/min und die Siebdauer im Minutentakt geregelt werden. Vorversuche haben ergeben, dass mit einer Siebdauer von 1 Minute bei 220 U/min das Probenmaterial in die verschiedenen Fraktionen getrennt wird, ohne dass dabei Kluten zerstört und zermahlen werden und damit das Ergebnis verfälscht werden könnte. Diese Voreinstellung wurde über den gesamten Versuchsablauf konstant

gehalten. Ebenfalls konstant gehalten bzw. überprüft wurde der Feuchte Gehalt der Bodenproben, da das Sieben über eine Woche Zeit in Anspruch nahm und sich eine eventuell ändernde Feuchte auf das Siebverhalten auswirken könnte. Die Feuchte lag relativ konstant zwischen 2,2 und 3,0 Gewichtsprozent.

Nach jeder Siebung wurden die einzelnen Fraktionen (Abbildung 8) sowie die Gesamtmenge der Probe gewogen und die Siebe für den nächsten Durchgang gereinigt und wieder zusammengesteckt.



Abbildung 8: Siebfraktionen (li.: >1,25/1,25/2,5 mm – re.: 5/10/20/40 mm)

Die so ermittelten Gewichtsanteile jeder einzelnen Fraktion werden zum „Gewogenen Mittleren Aggregatdurchmesser“ (GMD) verrechnet. Dieser errechnet sich aus der Summe der einzelnen Fraktionen (jeweiliges Gewicht der Aggregatgrößenklasse in g mal jeweilige Klassenmitte der Aggregatgrößenklasse in mm) geteilt durch die gesamte Probenmasse. Dadurch entsteht ein Wert mit der Maßeinheit mm, der als Vergleichsgröße für die Krümelung herangezogen werden kann. Je nach zu säender Kultur und Saatgutgröße soll der GMD in einem bestimmten Bereich liegen [1]:

Beispiel: Winterweizen: 10 –15 mm

Zuckerrüben: 8 –12 mm

Der GMD ist ein Maß für die durchschnittliche Aggregatgröße über den gesamten Bearbeitungshorizont nach einer Bodenbearbeitung. Es ist damit kein Rückschluss auf die Verteilung der Kluten (Aggregatgrößen) im Horizont möglich. Auch über die Oberflächenbeschaffenheit (Rauhigkeit) der Bodenoberfläche kann damit keine Aussage getroffen werden.

### **3.2 Drehmomentmessung**

Die erforderliche Leistung bei der zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitung setzt sich aus einer Zugleistungs- und einer Drehleistungskomponente zusammen. Unter trockenen Bedingungen, auf ebenem Gelände und ohne zusätzliche Gewicht- und Zugbelastung (z. B. aufgebaute Sämaschine) wird vom Traktor hauptsächlich Zapfwellenleistung abverlangt. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass beim Zugleistungsanteil keine Unterschiede zwischen den drei auf gleiche Arbeitstiefe eingestellten Kreiseleggen besteht. Im Rahmen der Untersuchung wurde deshalb nur die Drehleistung an der Zapfwelle gemessen. Zur Erfassung der Antriebsleistung wurde eine WALTERSCHEID Drehmomentmesswelle Typ DLC SE 250 in die Gelenkwelle zwischen Traktor und Kreiselegge eingebaut. Die Messnabe hat einen Messbereich von +/- 2500 Nm und wurde direkt an den Zapfwellenstummel des Traktors gekoppelt. Die Messnabe wurde mittels einer Flanschgabel in die vorhandene Gelenkwelle integriert. Wegen des übereinstimmenden Wellenprofils war es möglich den Traktorseitigen Teil der Gelenkwelle für alle 3 Kreiseleggen unverändert am Traktor zu belassen. Maschinenseitig wurde mit 2 verschiedenen Gelenkwellenteilen gearbeitet. Zur Sicherheit (auch zum Schutz der Drehmomentmessnabe) waren die Gelenkwellen mit identischen WALTERSCHEID Nockenschaltkupplungen ausgerüstet.

Die Aufzeichnung der Messergebnisse erfolgte online mit einem Robust PC (KONTRON: Typ IP Lite) und der Messdatenerfassung Caesar Mops der Firma CAESAR DATENSYSTEME. (Abbildung 9). Das Drehmomentsignal und die Drehzahl der Gelenkwelle wurden mit einer Rate von 400 Hz aufgezeichnet, visualisiert und abgespeichert. Die Drehzahl wurde direkt in U/min aufgezeichnet. Für

das Drehmoment lieferte die Messwelle eine Spannung von  $\pm 5$  V, entsprechend  $\pm 2500$  Nm. Aus Drehmoment und Drehzahl wurde die Leistung berechnet.

Der Start und das Ende der Messung erfolgte während der Fahrt, d.h. bei voller Drehzahl und Fahrgeschwindigkeit. Während der Anfahrphase und des Auslaufes wurden die Messwerte zwar aufgezeichnet aber nicht abgespeichert, sodass in die Berechnung lediglich Werte der bei voller Drehzahl von rund 1000 U/min im Boden arbeitenden Kreiseleggen eingehen. Bei einer Messstrecke von 30 m und  $2,1 \text{ ms}^{-1}$  (7,5 km/h) Fahrgeschwindigkeit fielen knapp 6000 einzelne Messwerte je Wiederholung an, die zu einem Mittelwert verrechnet wurden. Innerhalb jeder Variante wurden die Kreiseleggen jeweils 5 mal eingesetzt, sodass insgesamt 5 Messungen je Variante und je Kreiselegge zustande gekommen sind.



Abbildung 9: Online Drehmomentmessung

## 4 Ergebnisse der Untersuchung

### 4.1 Krümelung

Nach der Siebung der Proben wurden die Ergebnisse zu einem GMD je Probe und zu einem GMD gesamt je Kreiselegge und Variante berechnet. Die einzelnen Werte zu jeder Probe sind im Anhang zu finden. Abbildung 10 zeigt die GMD Werte zu jeder der 60 Parzellen mit exakter räumlicher Anordnung. Zur Vollstän-

digkeit wurde zusätzlich der ermittelte durchschnittliche Leistungsbedarf und die Bodenart mit abgebildet.

4	8,55 mm 21,40 kW	8,78 mm 16,72 kW	9,65 mm 23,52 kW	10,05 mm 21,90 kW	9,96 mm 17,24 kW	Ls 8,95 mm 23,96 kW	10,24 mm 22,42 kW	10,30 mm 18,27 kW	8,90 mm 24,98 kW	11,35 mm 24,46 kW	15,22 mm 17,75 kW	Ls 9,95 mm 25,99 kW	15,55 mm 23,96 kW	12,54 mm 18,27 kW	11,37 mm 23,96 kW
3	8,23 mm 24,96 kW	10,09 mm 16,72 kW	7,55 mm 20,88 kW	11,06 mm 23,44 kW	9,80 mm 16,20 kW	9,63 mm 21,90 kW	9,87 mm 26,02 kW	11,32 mm 16,70 kW	10,53 mm 23,96 kW	Ls 12,94 mm 25,99 kW	11,64 mm 17,23 kW	12,23 mm 22,40 kW	14,25 mm 24,95 kW	12,62 mm 17,78 kW	13,73 mm 22,40 kW
2	7,87 mm 27,06 kW	Ls4 9,42 mm 34,21 kW	9,70 mm 21,38 kW	8,72 mm 25,01 kW	7,36 mm 33,72 kW	6,62 mm 22,42 kW	8,53 mm 27,03 kW	7,85 mm 34,73 kW	6,60 mm 23,94 kW	12,55 mm 27,01 kW	Ls4 9,87 mm 34,27 kW	8,41 mm 23,96 kW	12,97 mm 27,55 kW	12,44 mm 35,21 kW	9,55 mm 22,92 kW
1	6,69 mm 24,98 kW	6,16 mm 28,59 kW	6,57 mm 34,24 kW	9,22 mm 23,96 kW	8,54 mm 28,59 kW	Ls 6,94 mm 34,76 kW	6,02 mm 24,98 kW	8,52 mm 28,07 kW	8,65 mm 37,28 kW	11,65 mm 25,47 kW	14,21 mm 28,07 kW	Ls 9,13 mm 35,21 kW	11,41 mm 26,51 kW	10,19 mm 30,12 kW	7,75 mm 35,76 kW

Ls	sandiger Lehm	10 Kreisel/3m AB
Ls4	stark sandiger Lehm	12 Kreisel/3m AB
Sl4	stark lehmiger Sand	14 Kreisel/3m AB

Abbildung 10: GMD und Zapfwellenleistung in den Parzellen

Die verschiedenen Farben in der Abbildung kennzeichnen die 3 unterschiedlichen Kreiseleggen. Bei genauer Betrachtung der GMD Werte der jeweils 5 Wiederholungen innerhalb der einzelnen Variante ist zu erkennen, dass die Werte teilweise deutlich schwanken, obwohl gleiche Bedingungen vorliegen (Kreiseleggeneinstellung, Bodenart).

Dies zeigt sich auch bei der Verrechnung der Messwerte der Wiederholungen zu einem Mittelwert (mit Standardabweichung) der jeweiligen Variante (Tabelle 2).

Tabelle 2: Krümelung der Varianten

Variante	Kreisel je 3 m AB	Mittlerer GMD [mm]	Standardabw. GMD [mm]	Mittlerer GMD relativ
4	10	9,72	1,97	92
	12	10,84	2,89	82
	14	11,26	2,84	79
3	10	11,35	3,30	78
	12	10,87	2,69	82
	14	11,02	2,48	81
2	10	9,26	2,63	96
	12	10,13	2,97	88
	14	8,17	2,61	109
1	10	7,81	2,22	114
	12	9,12	3,05	98
	14	8,90	2,92	100

## 4.2 Leistungsbedarf

### 4.2.1 Leerlaufleistung

Neben des Leistungsbedarfes während der Arbeitsposition im Feldeinsatz wurde der Leistungsbedarf der einzelnen Kreiseleggen im Leerlauf gemessen. Dazu wurden die Kreiseleggen durch geschickte Positionierung des Schleppers über einer Furche in Arbeitsstellung gebracht, ohne dabei den Boden zu berühren. Dann wurde über einen Zeitraum von 10 Sekunden bei konstanter Drehzahl (1000 U/min) die Messung sowohl bei der hohen Kreiseldrehzahl (Variante 1 / 2 als auch bei der niedrigen Drehzahl (Variante 3 / 4) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3 dargestellt.



Tabelle 3: Leistungsbedarf Leerlauf

Kreiselegge	Leistungsbedarf [kW]	
	hohe Drehzahl	niedrige Drehzahl
Pöttinger 10	12,7	8,1
Maschio 12	7,8	4,6
Maschio 14	9,8	5,3

#### 4.2.2 Leistungswerte Kreiseleggeneinsatz

Ausgangspunkt für die Darstellung der Leistungsbedarfswerte sind die Mittelwerte aus den mit 400 Hz aufgezeichneten 5000 – 6000 Einzelmesswerten je Wiederholung (Parzelle), wie sie auch in Abbildung 10 dargestellt sind. Im Vergleich zu dem GMD (Krümelung) variiert der Drehleistungsbedarf je Variante und Kreiselleggenbauform sehr viel weniger. Dies belegen auch die geringen Standardabweichungen aus den 5 Wiederholungen, welche der Tabelle 4 zu entnehmen sind.

Tabelle 4: Leistungsbedarf der Varianten

Variante	Kreisel je 3 m AB	Mittlere Drehleistung [kW]	Standardabweichung Drehleistung [kW]	Mittlere Leistung relativ
4	10	24,3	1,0	97
	12	22,9	1,3	92
	14	17,8	0,7	71
3	10	25,0	1,1	100
	12	22,4	1,1	90
	14	16,7	0,6	67
2	10	34,2	0,6	137
	12	26,5	1,0	106
	14	22,9	1,1	92
1	10	35,3	1,2	141
	12	28,6	0,8	114
	14	25,0	1,1	100

### 4.3 Krümelung und Leistungsbedarf

Eine direkte Gegenüberstellung der Krümelung und des Drehleistungsbedarfes der unterschiedlichen Kreiseleggenbauformen und Einsatzvarianten zeigen Tabelle 5 und Abbildung 11.

Tabelle 5: Werkzeuggeschwindigkeit, Leistungsbedarf und Krümelung

Varianten	Variante 1			Variante 2			Variante 3			Variante 4		
<b>Kenngroßen</b>												
Krümelschiene	mit			ohne			ohne			mit		
Kreisel pro 3 m AB	10	12	14	10	12	14	10	12	14	10	12	14
Kreiseldurchmesser [m]	0,330	0,250	0,225	0,330	0,250	0,225	0,330	0,250	0,225	0,330	0,250	0,225
<b>Werkzeugweg / Umdr. [m]</b>	<b>20,72</b>	<b>18,84</b>	<b>19,78</b>	<b>20,72</b>	<b>18,84</b>	<b>19,78</b>	<b>20,72</b>	<b>18,84</b>	<b>19,78</b>	<b>20,72</b>	<b>18,84</b>	<b>19,78</b>
<b>Werkzeugweg / Umdr. rel. [%]</b>	<b>105</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>95</b>	<b>100</b>
Kreiseldrehzahl real [1/min]	367	364	364	367	364	364	305	328	295	305	328	295
Kreiseldrehzahl real [1/s]	6,12	6,07	6,07	6,12	6,07	6,07	5,08	5,47	4,92	5,08	5,47	4,92
<b>Werkzeuggeschw. [m/s]</b>	<b>6,34</b>	<b>4,76</b>	<b>4,29</b>	<b>6,34</b>	<b>4,76</b>	<b>4,29</b>	<b>5,27</b>	<b>4,29</b>	<b>3,47</b>	<b>5,27</b>	<b>4,29</b>	<b>3,47</b>
<b>Werkzeuggeschw. rel. [%]</b>	<b>148</b>	<b>111</b>	<b>100</b>	<b>148</b>	<b>111</b>	<b>100</b>	<b>123</b>	<b>100</b>	<b>81</b>	<b>123</b>	<b>100</b>	<b>81</b>
Arbeitsgeschwindigkeit [km/h]	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Arbeitsgeschwindigkeit [m/s]	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
Flächenleistung [m <sup>2</sup> /s]	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
<b>Werkzeugweg je m<sup>2</sup> [m/m<sup>2</sup>]</b>	<b>20,28</b>	<b>18,29</b>	<b>19,20</b>	<b>20,28</b>	<b>18,29</b>	<b>19,20</b>	<b>16,85</b>	<b>16,48</b>	<b>15,56</b>	<b>16,85</b>	<b>16,48</b>	<b>15,56</b>
<b>Werkzeugweg je m<sup>2</sup> rel. [%]</b>	<b>106</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>106</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>86</b>	<b>81</b>	<b>88</b>	<b>86</b>	<b>81</b>
<b>Messwerte</b>												
<b>Drehleistungsbedarf [kW]</b>	<b>35,3</b>	<b>28,6</b>	<b>25,0</b>	<b>34,2</b>	<b>26,5</b>	<b>22,9</b>	<b>25,0</b>	<b>22,4</b>	<b>16,7</b>	<b>24,3</b>	<b>22,9</b>	<b>17,8</b>
<b>Drehleistungsbedarf rel. [%]</b>	<b>141</b>	<b>114</b>	<b>100</b>	<b>137</b>	<b>106</b>	<b>92</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>67</b>	<b>97</b>	<b>92</b>	<b>71</b>
<b>Krümelung GMD [mm]</b>	<b>7,81</b>	<b>9,12</b>	<b>8,90</b>	<b>9,26</b>	<b>10,13</b>	<b>8,17</b>	<b>11,35</b>	<b>10,87</b>	<b>11,02</b>	<b>9,72</b>	<b>10,84</b>	<b>11,26</b>
<b>Zerkleinerungsgrad (1/GMD)</b>	<b>0,128</b>	<b>0,110</b>	<b>0,112</b>	<b>0,108</b>	<b>0,099</b>	<b>0,122</b>	<b>0,088</b>	<b>0,092</b>	<b>0,091</b>	<b>0,103</b>	<b>0,092</b>	<b>0,089</b>
<b>Zerkleinerungsgrad rel. [%]</b>	<b>114</b>	<b>98</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>88</b>	<b>109</b>	<b>79</b>	<b>82</b>	<b>81</b>	<b>92</b>	<b>82</b>	<b>79</b>

### Aggregatgröße (GMD) und Zapfwellenleistung der einzelnen Varianten

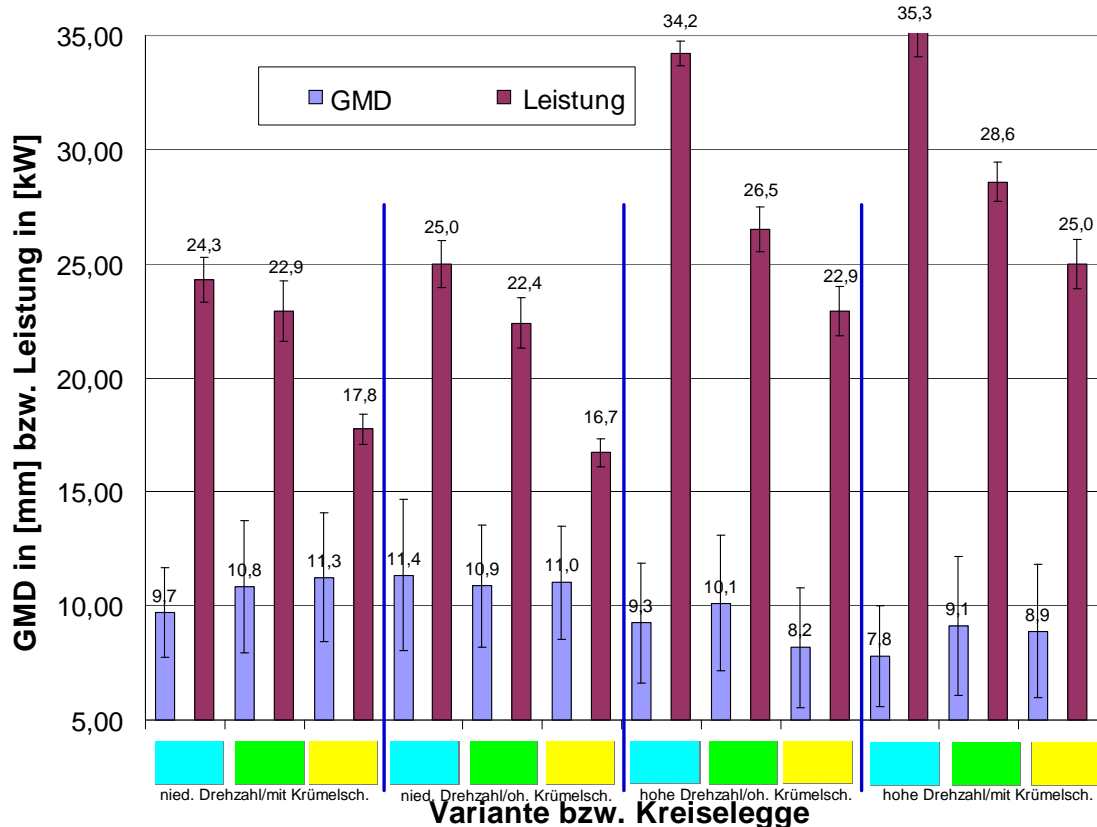


Abbildung 11: GMD und Zapfwellenleistung der einzelnen Varianten

Deutlich zu erkennen ist, dass in allen Varianten (hohe bzw. niedrige Kreiseldrehzahl, mit bzw. ohne Krümelschiene) die Kreiselegge mit 10 Kreisel jeweils den höchsten Leistungsbedarf aufweist. Die Kreiselegge mit 12 Kreisel nimmt eine Mittelstellung ein, während das Gerät mit 14 Kreisel jeweils den niedrigsten Leistungsbedarf aufweist. Ein deutliche Abnahme des Leistungsbedarfes bei allen Kreiseleggen um etwa 20 % ist zwischen den Varianten 1/2 (hohe Kreiseldrehzahl) und 3/4 (niedrige Kreiseldrehzahl) zu erkennen. Dies liegt an der Drehzahlreduzierung bei sonst gleichen Bedingungen. Weniger deutlich bzw. nicht signifikant abzusichern sind Unterschiede zwischen den Varianten mit bzw. ohne Krümelschiene.

Demgegenüber zeigt die Krümelung uneinheitliche Reaktionen auf die unterschiedlichen Kreiseleggenbauarten und die Einsatzvarianten. Teilweise lassen sich leichte Tendenzen erkennen (Variante 4, etwas bessere Krümelung bei den

Kreiseleggen mit weniger Kreiseln), jedoch können diese Unterschiede nicht statistisch abgesichert werden.

#### 4.4 Bewertung und Diskussion

Bei der Durchführung der gesamten Untersuchung wurden besonders hohe Anforderungen an eine ordnungsgemäße Versuchsdurchführung und Auswertung gestellt. Für die Ermittlung des GMD wurden mit 25 Einzelproben je Kreiselegge und Variante deutlich mehr Proben genommen als in der Literatur gefordert. Auch bei der Probengröße mit 1,56 Liter wurde weit über die Vorgaben hinausgegangen. Die Literatur [1] nennt hier folgende Parameter:

- Probenbehälter: zylindrische Gefäße mit 10 cm Durchmesser und 10 cm Höhe (entspricht 0,78 Liter)
- 6 – 8-fache Wiederholung unmittelbar nach Oberflächenbearbeitung.

Auch bei der Auswahl des Versuchsfeldes wurde auf eine möglichst gleichmäßige Boden- und Geländebeschaffenheit geachtet. Die Laboruntersuchungen zur Bodentextur zeigen eine gewisse natürliche Variation der Bodenart über die Versuchspartellen. Nach Aussagen des Labors bewegen sich die Unterschiede im Ton-, Schluff- und Sandanteil (die zur Bestimmung der Bodenart führen) innerhalb der Messgenauigkeit der Sieb-/Schlamm-Analyse. Die geringen Unterschiede dürften sich kaum auf die Bearbeitung ausgewirkt haben, wie auch die Ergebnisse der GMD Ermittlung zeigen.

Die Zusammenstellung der Ergebnisse (Abbildung 11) zeigt eine sehr große Streuung (Standardabweichung) bei der Krümelung (GMD). Diese großen Standardabweichungen treten bei allen Varianten und Kreiseleggen gleichermaßen auf. Sie bewegen sich zwischen 1,97 mm und 3,30 mm. Im Vergleich dazu liegen die Messwerte (Mittelwerte) zwischen 7,81 mm und 11,35 mm. Somit können die Unterschiede beim GMD weder zwischen den Varianten noch zwischen den unterschiedlichen Kreiseleggen einer Variante statistisch abgesichert werden. Dennoch sind Tendenzen zu erkennen. Bei der höheren Drehzahl weisen alle Kreiseleggen einen etwas kleineren GMD, also eine stärkere Krümelung auf als bei der niedrigeren Drehzahl.

Statistisch eindeutig sind die Unterschiede beim Leistungsbedarf zwischen den Kreiseleggenbauformen innerhalb der einzelnen Varianten. Die Standardabweichungen sind hier, im Vergleich zu der absoluten Höhe der Messwerte, deutlich kleiner. Es zeigt sich bei allen Varianten derselbe Trend. Mit zunehmender Kreiselanzahl sinkt der Kraftbedarf. Die Ursache dafür sind die unterschiedlichen Zinkengeschwindigkeiten (Tabelle 5)

Mit zunehmender Kreiselanzahl nimmt der Kreiseldurchmesser und damit die Zinkengeschwindigkeit bei gleicher Kreiseldrehzahl ab. Die Höhe des Kraftbedarfs sinkt etwa um den gleichen Prozentsatz wie die Zinkengeschwindigkeit. Dies spiegelt sich auch in der deutlichen Abnahme der Leistung bei allen Kreiseleggen bei der Reduzierung der Kreiseldrehzahl (von Variante 1/2 zu 3/4) wider. Nahezu keine Auswirkung auf den Leistungsbedarf scheint die Tatsache zu haben, dass mehr eingreifende Zahnräder (je mehr Kreisel desto mehr Zahnräder) mehr Verlustleistung in der Kraftübertragung bedeuten. Dieser Effekt kommt offensichtlich wegen der stark unterschiedlichen Zinkengeschwindigkeiten nicht zum Tragen. Weniger deutlich bzw. statistisch nicht sicher unterscheidbar ist der Unterschied in der Leistung mit bzw. ohne Krümelschiene. Mit Krümelschiene war bei der gewählten Einstellung der Leistungsbedarf rund 1 kW höher als ohne. Eine tiefere Einstellung der Krümelschiene, die eine stärkeres Aufstauen von Erde bewirkt, würde sicherlich einen größeren Anstieg des Leistungsbedarfes bewirken.

Festzuhalten bleibt, dass die Untersuchungen im Frühjahr 2004 auf einem mittelschweren Standort durchgeführt worden sind. Deshalb können die Ergebnisse nicht generell auf andere Standorte und Bedingungen übertragen werden.

## **5 Zusammenfassung**

Zur Saatbettbereitung für die Maisaussaat im Frühjahr 2004 wurden 3 unterschiedliche Kreiseleggen bezüglich ihrer Krümelleistung und ihres Leistungsbedarfes auf einem mittelschweren Standort untersucht. Es handelte sich dabei um Geräte mit 3 m Arbeitsbreite mit 10, 12 und 14 Kreisel.

Es wurde ein Versuch mit 4 Varianten und 5 echten Wiederholungen je Variante auf einem mittelschweren Standort (überwiegend sandiger Lehm) durchgeführt. Zwei Varianten wurden mit hoher Kreiseldrehzahl und zwei mit einer niedrigeren Drehzahl bei jeweils konstanter Fahrgeschwindigkeit und Zapfwellendrehzahl durchgeführt. Zusätzlich wurde jeweils der Einsatz mit und ohne Krümelschiene untersucht.

Zur Ermittlung der Krümelung wurden unmittelbar nach der Bearbeitung Bodenproben entnommen, die nach erfolgter Lufttrocknung durch Siebung in die einzelnen Fraktionen getrennt und zum „Gewogenen Mittleren Aggregatdurchmesser“ (GMD) verrechnet worden sind.

Zur Ermittlung der Antriebsleistung wurde zwischen Traktor und Kreiselegge eine Drehmomentmessnabe in die Gelenkwelle integriert und die Messwerte mit einer Aufzeichnungsrate von 400 Hz ermittelt und später ausgewertet.

Aus den 25 Wiederholungen der GMD Werte jeder Kreiselegge innerhalb einer Variante wurde ein Mittelwert mit Standardabweichung gebildet. Auf Grund der hohen Standardabweichungen und der wenig differierenden Messwerte konnte bei der Krümelung – ausgedrückt durch den „Gewogenen Mittleren Aggregatdurchmesser“ - weder zwischen einzelnen Kreiseleggenbauformen innerhalb einer Variante noch zwischen den Varianten ein absicherbarer Unterschied festgestellt werden. Tendenzen bei der Höhe der Mittelwerte sind zu erkennen, dürfen jedoch nicht überbewertet werden.

Aus den 5 Drehmomentmessungen zu jeder Kreiselegge innerhalb der 4 Varianten wurde ebenfalls ein Mittelwert für den Leistungsbedarf gebildet. Hier zeigte sich ein eindeutiger Trend, der in allen Varianten identisch war. Der Kraftbedarf nimmt mit zunehmender Kreisellanzahl und damit abnehmender Zinkengeschwindigkeit ab. Auch bei den Varianten mit reduzierter Kreiseldrehzahl nimmt der Kraftbedarf bei allen Kreiseleggen ab, etwa im selben Verhältnis wie sich die Zinkengeschwindigkeit verringert.

## 6 Ausblick

An die Bodenbearbeitung werden zunehmend höhere Ansprüche gestellt. Dies liegt zum einen an dem steigenden Kostendruck und zum anderen an den Kultur- und Umweltansprüchen. Hier gilt es ein Optimum zwischen den Kulturansprüchen, den Umweltanforderungen und der Ökonomik zu erreichen. Eine Schlüsselrolle spielt hierbei die Bodenbearbeitungstechnik und ihr Einsatz.

Bei der Verwendung von Kreiseleggen zur Saatbettbereitung, aber auch bei allen anderen zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten, muss deshalb eine entsprechende Aufmerksamkeit auf die Werkzeuggeschwindigkeit (Kreiseldrehzahl und –durchmesser) und die Fahrgeschwindigkeit gelegt werden, um den Ansprüchen der Saat und der Wirtschaftlichkeit gleichzeitig gerecht zu werden.

Die Geräteauswahl und Geräteeinstellung wird umso schwieriger je unterschiedlicher die Bedingungen bei der Bodenbearbeitung sind (Herbst- oder Frühjahrsbestellung, leichte oder schwere Böden, ...).

Um auch Erkenntnisse über die Verhältnisse während der zumeist schwierigeren Herbstbestellung zu erhalten wäre es wünschenswert, die Messungen bei entsprechenden Bedingungen im Herbst zu wiederholen.

## **7 Literaturverzeichnis**

- 1 Auernhammer, H.: Vorlesungsunterlagen Verfahrenstechnik im Pflanzenbau. 6. Saatverfahren, 2003/2004, S. 3 - 12
- 2 Köller, K.: Jahrbuch Agrartechnik. 4. Bodenbearbeitungstechnik. Band 15. Münster: VDMA Landtechnik, 2003, S. 91 - 96
- 3 Schönhammer, J.: Der Arbeitseffekt zapfwellengetriebener Bodenbearbeitungsgeräte. Dissertation am Institut für Landtechnik der Technischen Universität München, 1982, S. 38 - 43

## **8 Danksagung**

Die Bearbeiter möchten sich an dieser Stelle bei der Firma MASCHIO Deutschland GmbH und der BayWa AG München für die Unterstützung der Untersuchung bedanken.

Unser Dank gilt zudem Herrn Dr. Josef Rottmeier und Herrn Nikolaus Rottmeier, die uns die Fläche für die Versuche zur Verfügung gestellt haben.

## **9 Anhang**