

BETRIEBSTECHNISCHE UND PFLANZENBAULICHE
ASPEKTE VERSCHIEDENER MINIMALBESTELLVERFAHREN

Von dem
Fachbereich für Landwirtschaft und Gartenbau
der Technischen Universität München
zur Erlangung des Grades eines

Dr. agr.

genehmigte Dissertation

Vorgelegt von
Diplom-Agraringenieur
Eckhard Zeltner
geboren zu Prag

I. Berichterstatter: Prof. Dr. H.-L. Wenner
II. Berichterstatter: Prof. Dr. G. Fischbeck

Tag der Einreichung der Arbeit: 21. 7. 1975
Tag der Annahme der Arbeit: 13. 8. 1975
Tag der Promotion: 16. 9. 1975

V o r w o r t

Eine fruchtspezifisch ausgerichtete Bodenbearbeitung und eine exakte Saatgutablage sind das Ziel moderner Bestellverfahren. Dabei soll die Schlepperleistung verlustarm auf das Gerät übertragen werden und die Flächenleistung bei angemessenen Kosten hoch sein. Die Anregung, diese Zusammenhänge bei Minimalbestellverfahren im Rahmen einer Dissertation zu untersuchen, kam von Herrn Dr. agr.M.ESTLER, dem ich an dieser Stelle für seine stets tatkräftige Unterstützung sehr herzlich danke, und von Herrn Prof. Dr.H.L. WENNER, der die Versuche am Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan ermöglichte und dem ich besonders für die hilfreichen Diskussionen und Anregungen bei der Zusammenstellung der Arbeit zu Dank verpflichtet bin.

Weiterhin gebührt Dank allen beteiligten Mitarbeitern der "Landtechnik Weihenstephan" für ihre kameradschaftliche Mithilfe, den Firmen für die meist kostenlose Überlassung der untersuchten Maschinen und den vielen Institutionen und Betrieben, die durch ihre Mitarbeit, ihren Rat und die Bereitstellung von Versuchsflächen die Arbeit entscheidend förderten. Besonders zu nennen sind hier Prof. Dr. G. FISCHBECK, Prof. Dr. H. STEINHAUSER und die Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau.

Die Finanzierung der Untersuchungen übernahm in dankenswerter Weise die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die die Mittel von 1970 bis 1974 im Rahmen eines Einzelprojektes, seit 1974 im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 140 Landtechnik (Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion) der Universität Hohenheim zur Verfügung stellte.

Freising, im September 1975

Eckhard Zeltner

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>1. Einleitung</u>	9
<u>2. Beschreibung der untersuchten Minimalbestellgeräte</u>	17
2.1 Gezogene Zinkengeräte	17
2.1.1 Feingrubber mit aufgebauter Drillmaschine	17
2.1.2 Grubber mit aufgebauter Dünger- und Getreidedrillmaschine	20
2.2 Zapfwelleneggen	22
2.2.1 Rüttelegge mit angebauter Drillmaschine	22
2.2.2 Kreiselegge mit angebauter Drillmaschine	25
2.3 Fräsdrillen	27
2.4 Zinkenrotor	32
<u>3. Leistungsbedarf</u>	34
3.1 Meßmethoden	34
3.1.1 Zugkraftmessungen	34
3.1.2 Drehmomentmessungen	36
3.1.3 Meß- und Auswertkette	36
3.2 Gezogene Zinkengeräte	38
3.2.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit	39
3.2.2 Einfluß der Arbeitstiefe	40
3.2.3 Einfluß der Bodenfeuchte	41
3.2.4 Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken	42
3.3 Rüttelegge	44
3.3.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit	44
3.3.2 Einfluß der Arbeitstiefe	47
3.3.3 Einfluß von Bodenart und -feuchte	48
3.3.4 Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken	49
3.4 Kreiselegge	50
3.4.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit	50
3.4.2 Einfluß der Kreiseldrehzahl	53
3.4.3 Einfluß des Verhältnisses u/v	53

3.4.4	Einfluß der Arbeitstiefe	59
3.4.5	Einfluß von Bodenart und -feuchte	61
3.4.6	Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken	62
3.5	Fräsen	63
3.5.1	Einfluß der Fahrgeschwindigkeit	63
3.5.2	Einfluß der Rotordrehzahl	69
3.5.3	Einfluß des Verhältnisses u/v	71
3.5.4	Einfluß der Arbeitstiefe	77
3.5.5	Einfluß von Bodenart und -feuchte	80
3.5.6	Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken	82
3.6	Zinkenrotor	84
3.6.1	Einfluß der Fahrgeschwindigkeit	84
3.6.2	Einfluß der Rotordrehzahl	87
3.6.3	Einfluß des Verhältnisses u/v	89
3.6.4	Einfluß der Arbeitstiefe	93
3.6.5	Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken	95
3.7	Hubkräfte	96
3.7.1	Meßmethoden	96
3.7.2	Ergebnisse der Versuche	97
3.8	Diskussion der Ergebnisse	101
<u>4.</u>	<u>Pflanzenbauliche Beurteilung der Verfahren</u>	<u>106</u>
4.1	Aufbau der Versuche	106
4.2	Versuchsstandorte	109
4.2.1	Roggenstein	109
4.2.2	Dürnast	111
4.2.3	Frankendorf	111
4.2.4	Weitere Standorte	116
4.3	Bearbeitungseffekt	116
4.4	Saatgutablage	119

	Seite
4.4.1 Saatguttiefenablage	120
4.4.2 Flächenverteilung	126
4.5 Feldaufgang	134
4.5.1 Einfluß der Tiefenablage	136
4.5.2 Einfluß des Zerkleinerungsgrades	136
4.6 Ertragsbestimmende Faktoren	138
4.6.1 Methode	140
4.6.2 Bestockung	143
4.6.3 Tausendkorngewicht	147
4.6.4 Kornzahl/Ähre	149
4.6.5 Ährengewicht	150
4.6.6 Ertrag	151
4.7 Befall mit <i>ophiobolus graminis</i> und <i>cercospora herpotrichoides</i>	154
4.8 Diskussion der Ergebnisse	157
<u>5. Flächenleistung der Verfahren und Arbeitszeitbedarf</u>	161
5.1 Methode	162
5.2 Konventionelle Bestellung	165
5.2.1 Pflug	165
5.2.2 Saatbettkombination	169
5.2.3 Drillmaschine	171
5.3 Bestellsaat	173
5.4 Frässaat	177
5.5 Vergleich der Verfahren	181
5.6 Diskussion der Ergebnisse	186
<u>6. Kosten</u>	189
6.1 Methode	189
6.2 Konventionelle Bestellung	191
6.2.1 Pflug	191
6.2.2 Saatbettkombination	194
6.2.3 Drillmaschine	196

6.3 Bestellsaat	198
6.4 Frässaat	199
6.5 Vergleich der Verfahren	203
6.6 Diskussion der Ergebnisse	208
<u>7. Zusammenfassung</u>	210
<u>8. Literaturverzeichnis</u>	214

1. Einleitung

Minimalbodenbearbeitung ist ein modernes Schlagwort für das Bemühen, den gesamten Arbeits- und Kostenaufwand für die Bodenbearbeitung und die Bestellung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen zu senken.

Dieses Bemühen ist durchaus nicht neu, sondern so alt wie der Ackerbau selbst. So wissen wir von altbabylonischen Pflügen mit Sättrichtern (3000 v.Chr.), die das Saatgut in die Furche legten. Ähnliche Pflüge gab es in China und Indien, wo sie mit bis zu 12 Scharen ausgerüstet waren und so als Vorläufer unserer Sämaschinen anzusehen sind (WERTH 1954 (114)). Einen echten Sämechanismus entwickelte 1636 LOCATELLI in Spanien an seinem Söpflug, der seinerzeit viel beachtet wurde, aber dennoch wieder in Vergessenheit geriet. Der Wunsch, das Pflügen mit dem Säen zu verbinden, blieb aber weiterhin wach, so auch nach der Einführung des eisernen Pfluges (THAER 1803 (110), ROEMER 1929 (89), SACK 1966 (91)). Während in Europa hauptsächlich nur Zwischenfrüchte damit bestellt wurden, ging man in Amerika um 1940 systematisch daran, die Aussaat von Mais und Sojabohnen mit dem Pflug zu verbinden. Nach den bahnbrechenden Vorarbeiten von COOK und MUSGRAVE schälten sich zwei Verfahren heraus: "Wheel track planting" und "Plow-plant" (MUSGRAVE, ZWERMANN und ALDRICH 1955(83) PAGE et al. 1947 (88), OVERDAHL et al 1959 (87), BLAKE 1964 (15)).

Auch in Deutschland entwickelten einige Pionierlandwirte Bestellgeräte, die sie um den Schlepper bauten, um in einem Arbeitsgang mit dem Pflügen auch zu düngen, das Saatbett zu bereiten und zu säen. (FEUERLEIN 1965 (38), CERATZKI 1970 (23), ZÖDLER 1951 (120), DEBRUCK 1969 (24), MEYER 1966 (81)).

Je mehr der Pflug sich vom Hakenpflug weg zum wendenden Streich-

blechpflug entwickelte, umso intensiver wurde der Eingriff in das Bodengefüge und umso höher wurde der Zugkraftbedarf. Deshalb gab es immer wieder Ansätze, den Pflug durch andere Geräte zu ersetzen. Die Wühlarbeit mit dem Grubber wurde Anfang unseres Jahrhunderts stark diskutiert (ACHENBACH 1921 (1), GLANZ 1922 (48)), in Amerika schrieb 1943 FAULKNER (35) sein Buch : Der Unsinn des Pflügens . Auf geeigneten Standorten hatte die Grubberarbeit, besonders nach Zuckerrüben und Kartoffeln, seitdem ihre Berechtigung erhalten. In neuester Zeit erhält der Einsatz des schweren Grubbers wieder starken Auftrieb, besonders in England (GOLISCH 1973 (49), (50), ELLIOT 1972 (28), 1974 (29)). Da aber die Intensität der Bearbeitung durch den Grubber nicht verringert werden soll, wäre eine deutliche Verringerung des Arbeitsaufwandes auch wieder nur durch eine Koppelung mit der Saat zu erreichen.

Ein anderer Weg, den Pflug zu ersetzen, wurde beschritten, indem man versuchte, die Motorleistung des Traktors über eine Gelenkwelle direkt auf ein angetriebenes Werkzeug zu übertragen. Die Gangpflüge Mitte des 19. Jahrhunderts (G. FISCHER et al 1910 (41)) waren die ersten Vorläufer dieser Entwicklung, die in England mit THENARD und GUIBAL 1850, DARBY 1865 und COOPER 1875 begann. 1909 wurde in Leipzig zum ersten Mal in Deutschland der ungarische "Koszegi-Landbaumotor" vorgeführt, dessen rotierende Werkzeuge unseren heute bekannten Fräsen sehr ähnlich waren. V.MEYENBURG führte um 1910 die Federzinken ein, die dann in der Siemens-Schuckert-Gutsfräse Verwendung fanden. Mit dieser Maschine erreichte die Fräskultur einen ersten Höhepunkt im Jahr 1920, der auch die Wissenschaft zu exakteren Untersuchungen anregte (BORNEMANN 1921 (18), 1922 (19), 1929 (20), GADE 1929 (45), HOLLDAK 1929 (63), MARTINY 1931 (79), v. MEYENBURG 1928 (80)). Nach dem Krieg um 1950 begannen wieder neuere Versuche an den mittlerweile mit Winkelmessern oder Spatenmessern ausgerüsteten Fräsen (SÖHNE 1957 (99) , FEUERLEIN 1957 (37) ,

GALLWITZ und BREITFUß 1953 (46), KOHLER 1960 (72), GROTE 1953 (53)). Aber auch diese Untersuchungen liefen immer auf einen Vergleich von Pflug und Fräse hinaus. Erst mit der immer häufiger werdenden Kombination von Fräse und Sämaschine ab 1965 vertrat man die Auffassung, daß die Fräse kein Pflugersatz, sondern lediglich ein Gerät zur pfluglosen Saatbettbereitung sein kann (BACHTHALER 1967 (3), 1970 (5), ESTLER 1969 (31), 1972 (32), 1973 (33)).

Gleichzeitig wurde in England mit der Entwicklung der Paraquate das sogenannte No-Tillage oder Zero-Tillage bekannt, die Saat ohne jede Bodenbearbeitung (ARNOTT et al. 1966 (2), ELLIOT 1972 (28), 1974 (29), HOOD 1965 (65)).

In Amerika gewann dieses Verfahren rasch Anhänger (SHEAR 1968 (93), STRANAK 1968 (106), TRIPLETT et al. 1968 (111)), in Holland (BAKERMANS 1968 (10)) und auch bei uns war und ist es ein Gebiet intensiver Forschung (KAHNT 1969 (68), 1974 (69), BAEUMER 1970 (8), 1972 (9), CZERATZKI 1970 (23), SCHWERTLE 1970 (97), TEUTEBERG 1969 (108), 1971 (109)).

Die Begründung für das Vorantreiben neuer Verfahren liegt in der Entwicklung der Landwirtschaft der letzten Jahrzehnte. Sie war u.a. gekennzeichnet durch die Abwanderung von Arbeitskräften, den Anstieg der Produktionskosten und, daraus resultierend, die Vergrößerung und die Spezialisierung der Betriebe. Dabei stellten sich im Ackerbau folgende Probleme :

1. Die fortschreitende Mechanisierung in der Landwirtschaft bringt es mit sich, daß der Schlepper als Zugmaschine zunehmend abgelöst wird von selbstfahrenden Arbeitsmaschinen. Bei der Getreideernte ist dies fast ausnahmslos der Fall, bei der Hackfrucht- und Futterernte hinkt die Entwicklung noch etwas hinterher. Bei der Bodenbearbeitung ist diese Entwicklung in einigen Ansätzen

(Cantone, Howard) steckengeblieben, so daß heute der K_guf eines starken Schleppers beinahe ausschließlich von den Anforderungen einer schlagkräftigen Bodenbearbeitung bestimmt wird. Das führt dazu, daß immer stärkere Schlepper für die Ackerarbeiten in den kurzen Bestellzeitspannen nötig sind, andererseits diese Schlepper immer weniger Einsatzstunden pro Jahr laufen. Aus diesem Grunde ist eine Verringerung des Leistungsbedarfes zur Bodenbearbeitung anzustreben. Außerdem bewirkt die fast vollständige Mechanisierung der Erntearbeiten, daß der Prozentanteil der Pflüge- und Bestellarbeiten am Gesamtarbeitszeitbedarf ständig steigt, obwohl der absolute Wert der AKh für diese Arbeiten ebenfalls abnimmt. FEUERLEIN 1971 (39) gibt an, daß der prozentuale Anteil für die Ackerarbeiten im Getreidebau in wenigen Jahren von 40 % auf 70 % gestiegen sei. Die Auswertung der Betriebs-tagebücher von ca. 50 bayerischen Betrieben mit Getreideflächen von 3 bis 120 ha durch das Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zeigt die gleiche, aber abgeschwächte Tendenz (Tab. 1).

Tab. 1 : Arbeitszeitbedarf pro Jahr je ha Getreidefläche (aus ca. 50 bayerischen Betrieben)

	Ackerarbeiten + Düngung + Bestellung		insgesamt	
	absolut (AKh/ha)	%	absolut (AKh/ha)	%
1967	20,9	48	43,2	100
1968	19,1	49	39,3	100
1969	17,0	56	30,5	100
1970	16,5	54	30,4	100

Mit einer Einsparung von Geräte-, Schlepper- und Arbeitsstunden

ließen sich daher Maschinenkosten, Energiekosten und auch Lohnkosten einsparen.

2. Die zunehmende Spezialisierung der Betriebe senkt in der Regel zwar den Gesamtarbeitsaufwand pro Jahr, drängt diesen Arbeitsaufwand aber in wenige Arbeitsspitzen zusammen. Im Verfahren Getreidebau liegen diese Spitzen heute eindeutig in den Zeitspannen Bodenbearbeitung und Bestellung. Dies birgt die Gefahr, daß die optimalen Arbeitszeitspannen, die bei Getreide oft nur wenige Tage betragen, nicht mehr eingehalten werden können und so das Ertragsrisiko steigt.
3. Der hohe Stand in der Produktionstechnik, insbesondere der verstärkte Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, der auch mit einem hohen Kapitaleinsatz verbunden ist, verlangt eine möglichst präzise und fruchtspezifisch optimale Vorbereitung des Saatbettes und Ablage des Saatgutes im Boden, um durch hohe Feldaufgänge Saatgut zu sparen und der Pflanze von Anfang an beste Wachstumsverhältnisse zu schaffen.

Es ist also notwendig, den Aufwand an Arbeitszeit und Kosten bei der Bodenbearbeitung und Bestellung zu senken. Dazu sind mehrere Wege möglich, die einzeln oder miteinander wirksam werden können:

1. Verbreiterung der Geräte
2. Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit
3. Koppelung von Einzelarbeitsgängen
4. Einsparung von Arbeitsgängen
5. Erhöhung des Wirkungsgrades bei der Leistungsübertragung vom Schlepper auf das Gerät.

In Übersicht 1 sind die heute im europäischen Raum praktizierten Ver-

Übersicht 1: Verfahren der Bestellung

	Konv. Bestellung	Bestellsaat	Pflugsaat	Frässaat	Rillensaat	Direktsaat
Grundbodenbearbeitung	Pflug (Kreiselpflug, Spatenmaschine, Schwergrubber)			k e i n e		
Saatbettbereitung	Zinkengeräte Wälzegen Zapfwelleneggen Fräsen	Zinkengeräte Zapfwelleneggen Fräsen	+ Pflugnachläufer (Packer, Sternwalze)	Ganzflächenfräse	Streifen- oder Rillenfräse	keine
Saat	Drillmaschine	+ an- oder aufgebaute Drillmaschine	+ Packerrillensaat	+ Breit- oder Bandsaat	+ Rillensaat	Scheibendrillmaschine Grubberdrillmaschine

fahren der Bestellung zusammengestellt. Dabei zeigt die linke Hälfte der Übersicht die Verfahren, die alle Arbeitsgänge der konventionellen Bestellung enthalten, die aber von der konventionellen Bestellung über die Bestellsaat bis hin zur Pflugsaat in zunehmendem Maße gekoppelt werden. Die rechte Hälfte der Übersicht zeigt die Verfahren, die ohne Grundbodenbearbeitung auskommen und die von der Frässaat über die Rillensaat bis zur Direktsaat durch eine Abnahme der Intensität der Saatbettbereitung charakterisiert sind. Aus der kurzen Literaturübersicht ging schon hervor, daß über die Bestellsaat, also die Kombination von Saatbettbereitung und Saat nach einer Pflugfurche, noch sehr wenig Untersuchungen vorliegen. Meist sind es neuere, zapfwellenbetriebene Geräte wie Rüttel- oder Kreiseleggen, die diesen Bestellkombinationen zugrunde liegen. Da aber zu erwarten ist, daß mit diesen Bestellsaatverfahren die Möglichkeit besteht, die vorgenannten Probleme und Aufgaben bei der Bestellung von Getreide zu lösen, ist es notwendig, diese Verfahren intensiv zu untersuchen.

Für die Untersuchungen wurden solche Verfahren ausgewählt, die heute schon eine gewisse Bedeutung in der Praxis haben. Im einzelnen waren dies zwei Grubberdrillen unterschiedlicher Bauart, eine Rüttelegge mit angebauter Drillmaschine, eine Kreiselegge mit angebauter Drillmaschine, zwei Fräsdrillen unterschiedlicher Bauart und ein Zinkenrotor. Mit der vorliegenden Arbeit soll eine Antwort auf folgende Fragen gefunden werden :

1. Wie hoch ist der Zug- und Drehleistungsbedarf der Geräte und welche Schlepperstärken werden bei ihrer Verwendung benötigt? Wie beeinflussen Arbeitsgeschwindigkeit, Werkzeuggeschwindigkeit, Arbeitstiefe, Bodenart und Bodenfeuchte den Leistungsbedarf ?
2. Wie genau ist die Plazierung des Saatgutes im Boden bei den vereinfachten Säsystemen Band- und Breitsaat im Vergleich zur Drillsaat ?

3. Wie wirkt sich der mehrjährige Einsatz von Minimalbestellgeräten auf den Feldaufgang, die Pflanzenentwicklung und den Ertrag aus ?

4. Wie hoch ist der Arbeitszeitbedarf der einzelnen Bestellverfahren und wie hängt er von Arbeitsbreite, Arbeitsgeschwindigkeit, Schlaglänge und Schlaggröße ab ?

5. Wie hoch liegen die Maschinenkosten und die Kosten der Arbeits erledigung in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite der Geräte und der jährlichen Einsatzfläche ?

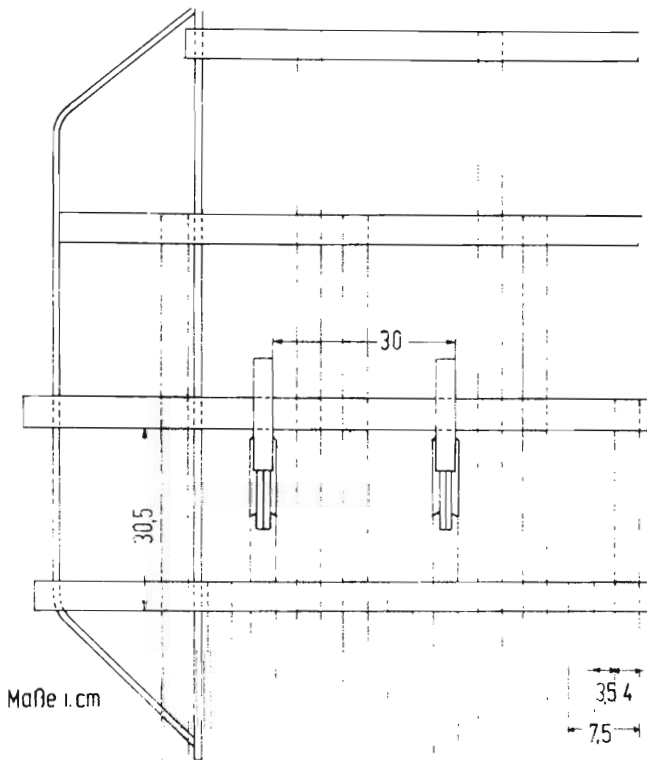
2. Beschreibung der untersuchten Minimalbestellgeräte

2.1 Gezogene Zinkengeräte

2.1.1 Feingrubber mit aufgebauter Drillmaschine

In den Versuchen wurde der Feingrubber KD 25525 der Firma Rau mit einer Arbeitsbreite von 2,50 m verwendet ^{*)}. Der Grubber ist mit Federzinken aus Mn-Si-Federstahl, 32 x 10 mm, ausgerüstet, die unten ein 4 cm breites auswechselbares Schar besitzen. Auf den 4 Zinkenreihen sind die einzelnen Zinken so angeordnet, daß sie einen Abstand von rund 30 cm haben. Die Zinkenreihen sind 30,5 cm voneinander entfernt. Der Strichabstand beträgt dann 7,5 cm. Bei einer Scharbreite von 4 cm bleibt von Scharrand zu Scharrand ein Abstand von 3,5 cm (Abb. 1). Vor der ersten Zinkenreihe läuft eine Schleppschiene, die den Boden einebnet, die Schlepperspuren zustreicht und neben den Stützrädern und der Krümelwalze als dritter Abstützpunkt des gesamten Gerätes dient.

*) Dieses Gerät war zu Beginn der Untersuchungen die einzige, auf dem deutschen Markt befindliche Grubberdrille. Da aber die Zinkenform und -anordnung typisch für eine ganze Gruppe von Feingrubbern ist, können die Ergebnisse durchaus auf ähnliche Geräte übertragen werden.



Maße i. cm

Abbildung 1: Feingrubber (Rau) Zinken- und Strich-Abstände

Die nachlaufende Krümelwalze, die über eine Spindel in der Höhe verstellbar ist, hat einen Durchmesser von 29 cm. Die Krümelwalze hat eine mehrfache Funktion :

1. Krümeln
2. Verdichten
3. Tragen

Die Schollenzerkleinerung ist wohl die wichtigste Aufgabe eines Krümlers, wobei aber in diesem Fall die Abstützung des Gerätes auf den

Boden und die exakte Regulierung der Arbeitstiefe der vorauslaufenden Zinken sehr bedeutsam sind.

Aus diesem Grunde hat die Krümelwalze den großen Durchmesser von 29 cm, damit sie bei starker Belastung in lockerem Boden nicht schiebt, sondern auch größere Schollen übersteigt, zerdrückt und den Boden verdichtet. Trotz des engen Strichabstandes können zwischen den Zinkenspuren Stege unbearbeiteten Bodens stehen bleiben, der Bearbeitungshorizont ist ungleichmäßig. Hier kann die Arbeit der nachlaufenden Wälzgege sehr viel verbessern (SOMMER und ZACH (103)).

Für die Kombination von Feingrubber mit einer Drillmaschine (Abb.2) ist der Rahmen verstärkt und die zweite und dritte Zinkenreihe mit Doppelblattfederzinken ausgerüstet.

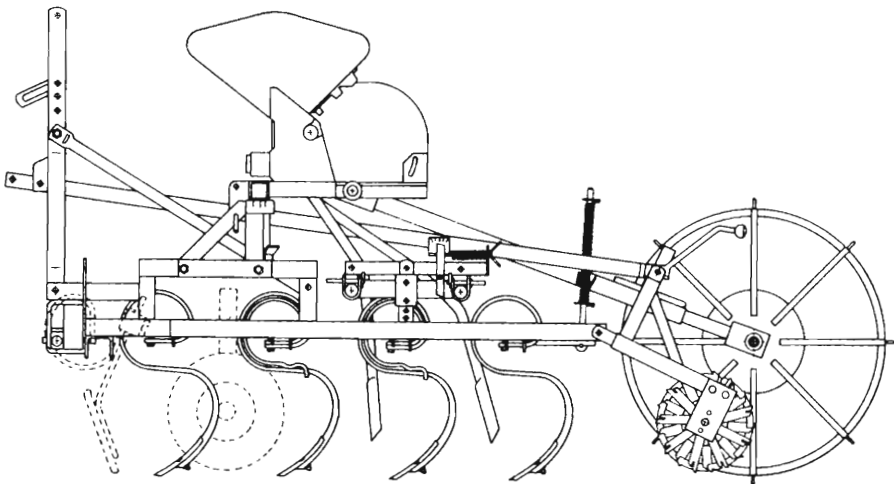


Abbildung 2: Grubberdrille (Rau) mit aufgebautem Saatkasten (Seitenansicht)

Das Gerät wird mit der 3-Punkt-Aufhängung an den Schlepper angebaut, wobei die Oberlenkerverbindung mit dem Gerät in einem Langloch etwa 8 cm Spiel hat. Dadurch wird eine gute Anpassung an den Boden bei gleichbleibender Belastung von Schleppschiene, Stützrädern und Schrägstabwälzgege erreicht. Die Möglichkeit der individuellen Tiefeinstellung von Schleppschiene, Stützrädern und Krümelwalze erlaubt eine gute Anpassung der Krümlerbelastung an die Bodenverhältnisse. Der aufgesattelte Drillkasten ist mit Schnellverschlüssen leicht montierbar. Das Schubrad-Säsystem wird durch ein federbelastetes Antriebsrad geschwindigkeitsabhängig betrieben. Plastikschräuche leiten das Saatgut zu den Saatauslaufrohren, die genau hinter den Zinken der zweiten und dritten Reihe angebracht sind. Der Samen wird dadurch in den noch bewegten Erdstrom hinter den Federzinken geleitet und je nach Schrägstellung der Saatauslaufrohre mit viel oder wenig Erde bedeckt. Diese Winkelverstellung ermöglicht eine gewisse Regulierung der Saattiefe unabhängig von der Arbeitstiefe des Grubbers. Die Platzierung des Saatgutes im Boden geschieht in einem sowohl horizontal als auch vertikal gegenüber der Drillsaat breiteren Bereich, der sogenannten Bandsaat.

2.1.2 Grubber mit aufgebauter Dünger- und Getreidedrillmaschine

Für die Untersuchungen stand ferner das Gerät Tume 250 der finnischen Firma Turengin Sokeritehdas oy zur Verfügung. Es besitzt zwei Reihen S-förmiger Federstahlzinken, die an einem Zinkenträger befestigt sind. Der Abstand der Zinkenreihen voneinander beträgt 30 cm. Auf die Arbeitsbreite von 2,50 m sind 10 Zinken verteilt, so daß sich ein Strichabstand von 25 cm ergibt. Die Zinken selbst sind 3 cm breit und tragen an ihrer Rückseite die Düngerauslaufrohre, die etwa 4 cm über der Scharspitze enden. Die hinter den Säscharen laufende Schrägstabwälzgege mit 8 Stäben hat einen Durchmesser von 24 cm.

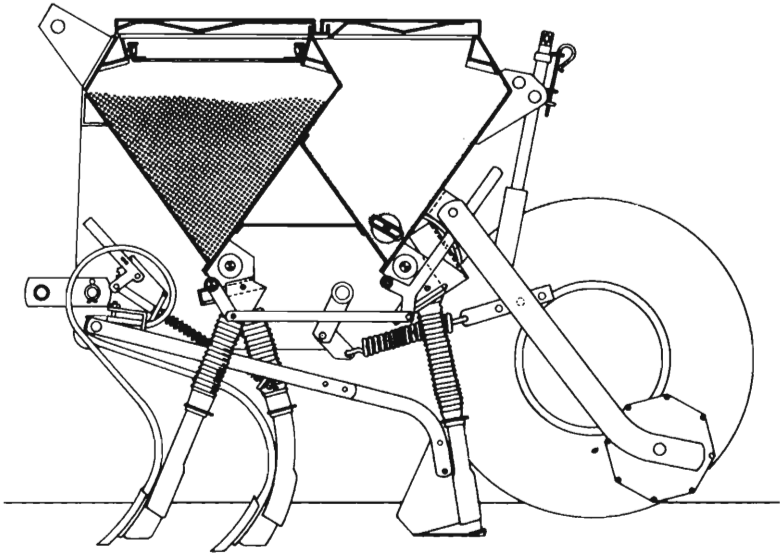


Abbildung 3: Grubberdrille Tume mit Saat- und Düngerkasten
(Seitenansicht)

Das Gerät (Abb. 3) stützt sich auf zwei große Laufräder, die über eine Spindel höhenverstellbar sind. Der Rahmen trägt die beiden Behälter für Dünger und Saatgut. Der Antrieb für die Zuteilung von Dünger und Saatgut erfolgt durch die Laufräder. Die Zinken mit den Düngerausläufen sind so angeordnet, daß zwischen je zwei Saatzeilen eine Düngerreihe in einer Tiefe von 8 - 12 cm abgelegt wird. Es sind also 20 Säscharen in 2 Reihen vorhanden und im Abstand von 40 cm gestaffelt, was einen Saatzeilenabstand von 12,5 cm ergibt. Die Säscharen selbst sind sogenannte Flügelscharen mit einer Breite von 8 cm, die ein etwa 7 cm breites Saatband ablegen. Dies geschieht dadurch, daß die Körner auf ein Prallrohr fallen und unter dem Schar und der

aufgehobenen Erde auseinanderspritzen. Das Gerät kann auch mit normalen Schleppscharen ausgerüstet werden.

2.2 Zapfwelleneggen

Gegenüber den gezogenen Zinkengeräten versprechen die Zapfwelleneggen, auch bei schwierigen Verhältnissen in nur einem Arbeitsgang ein fertiges Saatbett zu bereiten, da ein aktiv angetriebenes Werkzeug eine bessere Zerkleinerungswirkung erzielt. Es gibt derzeit verschiedene praxisreife Lösungen, die sich durch die Bewegungsbahn ihrer Werkzeuge unterscheiden.

2.2.1 Rüttelegge mit angebauter Drillmaschine

Die verwendete Rüttelegge der Firma Amazonen-Werke, H.Dreyer, besitzt zwei parallel hintereinander liegende Balken im Abstand von 20 cm. Sie werden über die Gelenkwelle in gegenläufiger Richtung in eine Hin- und Herbewegung versetzt mit einem Rüttelausschlag bzw. Zinkenhub von ± 60 mm. Der vordere Balken trägt 16, der hintere 15 eingeschraubte, 22 cm lange Dreieckszinken aus spezialgehärtetem Stahl. Die Zinkenbreite beträgt an der Stirnseite 3 cm. Durch die oszillierende Bewegung erhalten die Werkzeuge eine durchschnittliche Eigengeschwindigkeit von 1,08 m/s bei einer Rüttelfrequenz von $\nu = 9$ 1/s.

Die Überlagerung der Seitenbewegung der Zinken mit der Vorwärtsbewegung des Schleppers ergibt einen annähernd sinusförmigen Bewegungsablauf der Zinken im Boden. Die Tatsache, daß sich der Abstand der Balken bei der Bewegung in den Maximalausschlag etwas verringert, verschiebt die Sinuskurven etwas nach vorne bzw. nach hinten (Abb.4)

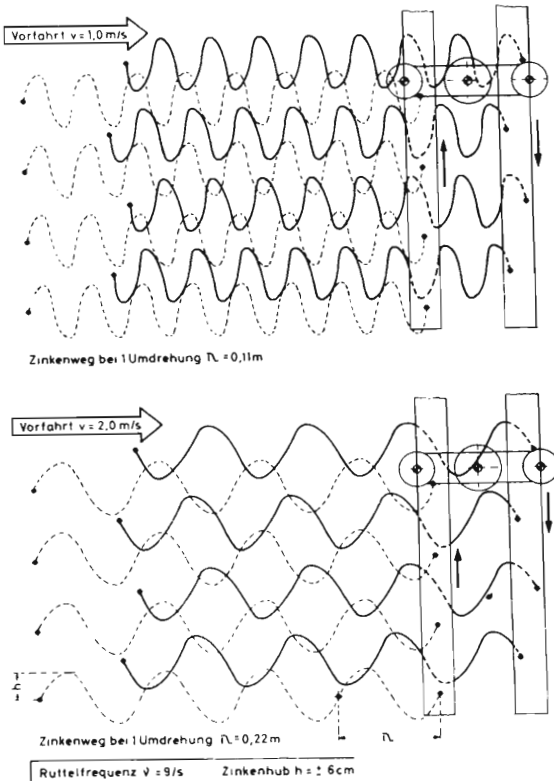


Abbildung 4: Bewegungsablauf der Zinken im Boden (2-balkige Rüttelege)

Die Rüttelege kann mit einer Krümelwalze ausgestattet werden, die hier aber mehr verdichtende Wirkung hat und zur Tiefenregulierung dient. Ansonsten muß die Tiefenregulierung über die Schlepperhydraulik erzielt werden.

Die zweibalkige Rüttelege (Abb.5) kann von der Konstruktion her sehr kurz gehalten werden. So beträgt die Länge, gemessen von den Unterlenkerankelpunkten, nur 54 cm, mit Walze 90 cm. Eine Dämpfung der Drehmomentspitzen, die durch die oszillierende Bewegung zwangs-

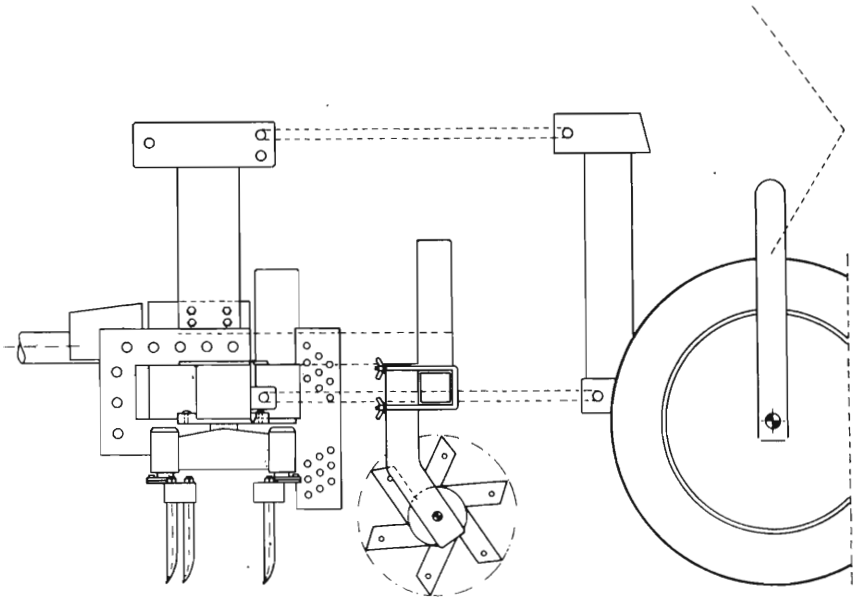


Abbildung 5: Rüttelegge (Amazone) mit Anbaumöglichkeit für Krümelwalze und Drillmaschine (Seitenansicht)

läufig auftreten, wird durch eine große Schwungscheibe erreicht, deren Durchmesser 34 cm und deren Stärke 9,5 cm beträgt.

Die kurze Bauweise prädestiniert die Rüttelegge geradezu, sie mit Sä- oder Pflanzmaschinen zu kombinieren. In den Versuchen war sie ständig mit der Drillmaschine Amazone D 4/25 verbunden.

Ein Schnellkuppler erleichtert ihren An- und Abbau. Die Drillmaschine besitzt einen doppelseitigen Radantrieb, Nortongetriebe, Nockensäräder, federbelastete Schleppschare mit einem Scharschritt und freiem Durchgang von 30 cm. Nach der Drillmaschine läuft ein ebenfalls federbelasteter Saatstriegel.

2.2.2 Kreiselegge mit angebauter Drillmaschine

Die Kreiselegge der Firma Lely besitzt horizontal rotierende Elemente, die mit jeweils 2 Zinken versehen sind. Zwei benachbarte Rotoren drehen sich in gegenläufiger Richtung. Die Durchmesser der Rotoren betragen 25 cm, so daß sich die Kreisbahnen der Zinken bei einem Abstand der Rotorachsen von ebenfalls 25 cm gerade berühren. Die Kreiselegge ist mit einem Wechselgetriebe ausgerüstet. Es ergeben sich dann bei einer Normdrehzahl an der Zapfwelle von 1000 1/min die in Tab. 2 angegebenen Drehzahlen und Umfangsgeschwindigkeiten.

Tab. 2 : Übersetzungsverhältnisse, Drehzahlen und Umfangsgeschwindigkeiten der Kreiselegge

Übersetzung	Drehzahl (1/min)	Umfangsgeschw. (m/s)
12/23	131	1,78
15/20	186	2,53
17/18	237	3,22
18/17	265	3,61
20/15	333	4,53
23/12	480	6,53

Durch die Überlagerung von Fahrgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit bewegen sich die Zinken auf einer Zykloidenbahn (verschlungene Zykloide), die sich mit steigender Fahrgeschwindigkeit immer mehr auseinanderzieht, bis sie bei dem Verhältnis $u/v = 1$ die Form einer "gewöhnlichen Zykloide" erreicht und bei $u/v < 1$ eine "gestreckte Zykloide" wird (Abb. 6).

Die nachlaufende Stützwalze hat weniger die Aufgabe, den Boden weiter zu krümeln oder zu verdichten, sondern vielmehr, das Gerät auf dem

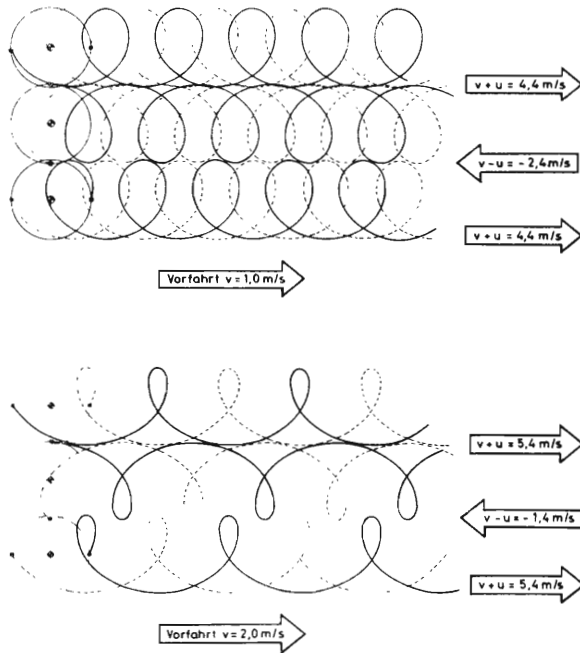


Abbildung 6: Bewegungsablauf der Kreiselegenzinken im Boden

Boden abzustützen und die Arbeitstiefe zu regeln. Ebenso wie die Rüttelegge sitzt die Kreiselegge sehr kompakt kurz hinter dem Schlepper (Abb. 7). In den Versuchseinsätzen war die Kreiselegge (Arbeitsbreite 3,00 m) mit der Aufsatteldrillmaschine Isaria, Typ 6050 gekoppelt. Dazu ist ein Satz Anbauteile notwendig, der den Anbau jedes Dreipunktgerätes möglich macht. Die Drillmaschine besitzt ein Mehrfachübersetzungsgetriebe, Nockensäräder, federbelastete Schleppschare mit einem Reihenabstand von 14,3 cm. Nach der Drillmaschine

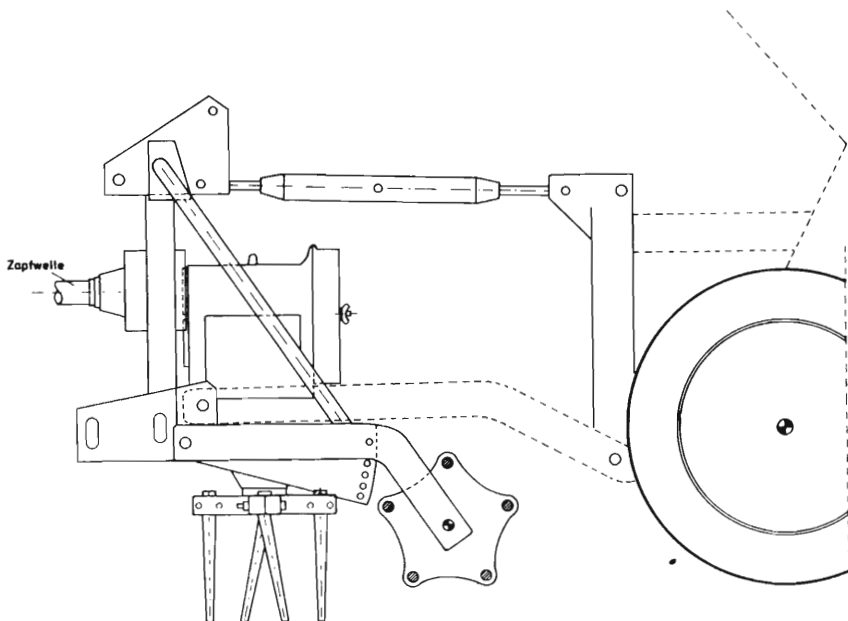


Abbildung 7: Kreiselege (Lely) mit Anbaumöglichkeit für Drillmaschine
(Seitenansicht)

läuft ein dreigeteilter, federbelasteter Saatriegel.

Der Getriebekasten der Kreiselege liegt in der günstigen Höhe so, daß in Arbeitsstellung die Gelenkwelle nahezu waagrecht vom Schlepper zum Gerät läuft. Dadurch ist ein Zapfwellendurchtrieb für angebaute Sä- oder Spritzgeräte mit Zapfwellenantrieb möglich.

2.3 Fräsdrillen

Bei den Untersuchungen an Frässaatmaschinen wurden der Sämavator, Typ T 100 mit einer Arbeitsbreite von 2,60 m der Firma Howard Rota-

vator und die Rau- Rotox-Fräsdritte der Firma Rau mit einer Arbeitsbreite von 2,50 m bzw. ab 1973 von 2,30 m verwendet. Beide Geräte sind Gleichlaufräsen, d.h. der Fräsrotor dreht sich gleichsinnig mit den Schlepperrädern.

Auf der waagrecht liegenden Rotorwelle sind Flansche angeschweißt, die als Halterungsplatten für die Winkelmesser dienen. Die mit Messern besetzten Flansche nennt man Werkzeugkränze. Der Abstand der Messerschneide von der Rotormittelachse wird als Rotorradius r bezeichnet. Das einzelne Messer hat eine Arbeitsbreite b_n , einen Krümmungsradius R und einen Scharschneidenwinkel φ . Der Anstellwinkel der Messer, bezogen auf die Kreisbewegung, wird mit \mathcal{S} bezeichnet. Die Messer haben einen bestimmten Freigriff von einigen Millimetern am Flansch, so daß ein kleiner, unbearbeiteter Bodensteg direkt unter dem Kranz stehen bleibt.

Die Werkzeugschneiden rotieren mit einer Umfangsgeschwindigkeit von

$$v = 2 r \pi \cdot \frac{n}{60} \quad (\text{m/s})$$

um die Fräswelle, wobei n die Rotordrehzahl pro Minute ist.

Dazu kommt die geradlinige Vorwärtsbewegung der Fräse mit der Fahrgeschwindigkeit v . Dadurch entsteht eine Bewegungsbahn der Werkzeuge, die die Form einer Zykloide annimmt, Diese Zykloidenbahn errechnet sich nach der Formel

$$x = r \cdot \cos \omega t + v \cdot t$$

$$y = r \cdot \sin \omega t$$

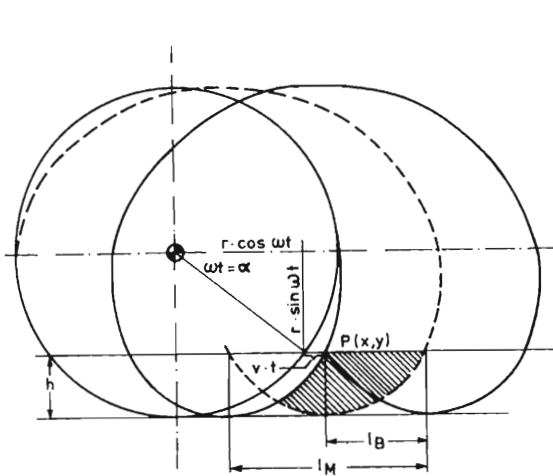
Darin bedeuten r = Fräsenradius

v = Fahrgeschwindigkeit

ω = Winkelgeschwindigkeit der Fräswalze

ωt = Drehwinkel in der Zeit t .

Durch die Möglichkeit, $z = 2$ oder $z = 3$ Messer je Schnittebene zu montieren, ergeben sich zwei oder drei übereinandergelagerte Zykloidenbahnen (Abb.8 und 9)



$x = r \cos \omega t + vt$
 $y = r \sin \omega t$
 r [m] Fräswalzenradius
 ω [1/s] Winkelgeschwindigkeit
 v [$\frac{m}{s}$] Fahrgeschwindigkeit
 ωt [°] Drehwinkel in der Zeit t
 h [m] Arbeitstiefe
 n [$\frac{1}{min}$] Fräswalzendrehzahl
 Z : Zahl der Werkzeuge je Schnittebene

$$l_B = \frac{v \cdot 60}{n \cdot Z} \text{ [m]}$$

$$l_M = 2r \cos \omega t_1 + (t_1 - t_2) v$$

$$= 2 \sqrt{2rh - h^2} + v \frac{\omega t - 90}{3n} \text{ [m]}$$

Abbildung 8: Berechnung der Zykloidenbahn der Fräsmesser (2 Messer je Schnittebene)

Die Bissengröße l_B - das ist die Strecke von einem Messereinschlag zum nächsten in einer Schnittebene - ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit v , der Rotordrehzahl n und der Messerzahl je Schnittebene z und errechnet sich nach der Formel

$$l_B = \frac{v \cdot 60}{n \cdot z} \text{ (m) .}$$

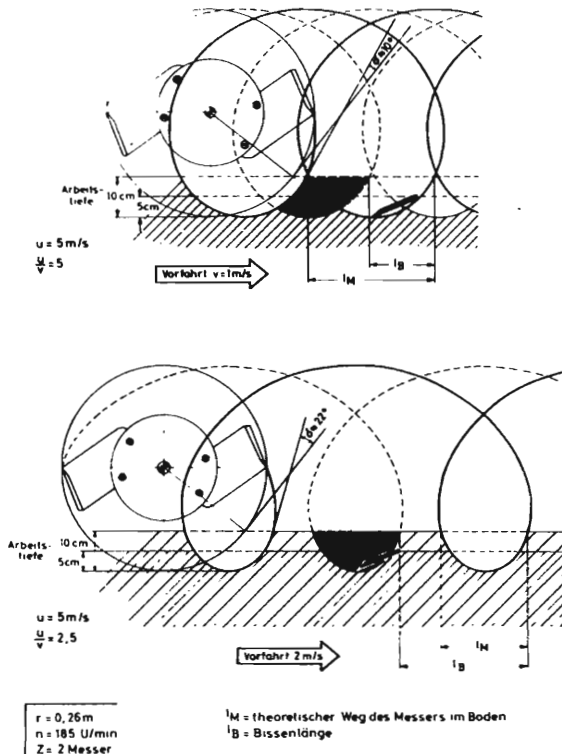


Abbildung 9: Messerbahn und Bissenlänge bei Fräsen

Technische Daten der verwendeten Fräsen :

	Typ H	Typ R
Gesamtarbeitsbreite	2,60 m	2,30 m bzw. 2,50 m
Rotorradius r	0,26 m	0,24 m
Arbeitsbreite der Messer b_n	0,14 m	0,11 m
Krümmungsradius R	40 mm	26 mm
Krümmungswinkel ϵ	97°	94°
Scharschneidenwinkel φ	82°	62°
Schnittwinkel δ	30°	18°
Abstand der Werkzeugkränze	0,25 m	0,21 m
Zahl der Messer je Schnittebene z	2 od. 3	3

Wie schon die vorgenannten Geräte, so waren auch die Fräsen mit einer Nachlaufwalze ausgerüstet. Neben der Hauptaufgabe, das gesamte Gerät auf dem Boden abzustützen und die Arbeitstiefe zu regulieren, kommt ihr auch die Aufgabe zu, große Bodenbrocken zu zerdrücken und bei zu sehr gelockerter Krume wieder für Bodenschluß zu sorgen.

Die beiden untersuchten Fräsdrillen unterscheiden sich sehr wesentlich in der Art ihres Antriebes.

Typ H (Howard):

Diese Fräse besitzt einen sogenannten Seitenantrieb. Hierbei gelangt der Kraftfluß vom Zapfwellenstummel des Schleppers über eine waagrechte Gelenkwelle zu einem Getriebekasten auf dem Gerät, wird dort um 90° auf eine Seite der Fräse gelenkt und gelangt dann über 3 Stirnzahnräder senkrecht nach unten an den Rotor. Das Getriebe mit Wechselrädern ermöglicht die in Tab. 3 angegebenen Drehzahlen des Rotors.

Tab. 3 : Übersetzungsverhältnisse und mögliche Drehzahlen (1/min) bei der Fräse (Typ H).

Zapfwellendrehzahl	von:	540 1/min	1000 1/min
Zähnezahl der Umsteckräder des Wechselgetriebes:	27/15	-	95
	25/16	-	110
	24/17	-	125
	23/18	-	140
	21/20	90	170
	20/21	100	185
	18/23	125	225
	17/24	135	250
	16/25	150	280
	15/27	175	-

Typ R (Rau):

Der Kraftfluß gelangt hier direkt von der Zapfwelle über eine Gelenkwelle schräg nach unten in die Mitte des Rotors. Dort wird die Drehzahl auf 210 1/min herabtransformiert, ohne daß die Möglichkeit der Drehzahlvariation besteht. Das Getriebegehäuse in der Mitte des Rotors benötigt so viel Platz, daß die zwei benachbarten Werkzeugkränze eine Entfernung von 35 cm gegenüber normalerweise 21 cm haben müssen. Der so unbearbeitet stehenbleibende Erdstreifen wird durch einen rotierenden, schräg nach unten aus dem Getriebegehäuse ragendem Quirl bearbeitet.

Im Gegensatz zu den Zapfwelleneggen sind bei den Fräsen die Drillmaschinen direkt über dem Rotor aufgebaut. Der Antrieb des Sämechanismus erfolgt entweder durch ein Stützrad der Fräse oder ein nachlaufendes, federbelastetes Antriebsrad. Die Drillmaschine des Sämatavators wird von der Firma Nodet hergestellt, die der Rau-Fräsdrille von der Firma Hassia. Bei beiden Systemen werden aber keine Säschare verwendet, sondern das Saatgut wird durch Saatauslaufrohre hinter dem Rotor in den noch bewegten Erdstrom geleitet. Dadurch entsteht eine sog. Bandsaat. Beim Sämatavor besteht auch die Möglichkeit, das Saatgut vor dem Fräsrotor auf dem unbearbeiteten Boden abzulegen. Die Körner werden dann in den gesamten bearbeiteten Bereich gleichmäßig eingemischt, und man spricht von der sogenannten Breitsaat. Im Gegensatz zu allen vorgenannten Saatbettbereitungsmaschinen kann die Fräse auch auf einem ungepflügten Boden ein Saatbett herstellen.

2.4 Zinkenrotor

Eine Abwandlung der herkömmlichen Bodenfräse ist der sogenannte Zinkenrotor der Firma Howard Rotavator, bei dem auf der Fräswelle statt Messer runde Zinken montiert sind. Der Durchmesser der Zinken

beträgt ca. 2 cm, ihre Länge 22 cm, so daß sich ein Gesamtdurchmesser des Rotors von 58 cm ergibt. Wie aus Abb. 10 zu ersehen ist, sind die Zinken spiralförmig angeordnet, um eine gleichmäßigere Bearbeitung und einen ruhigeren Lauf zu gewährleisten. Ein Zinkenpaar hat vom nächsten einen Abstand von 5,4 cm, was einem engeren "Strichabstand" entspricht, als bei gezogenen Geräten möglich ist. Bei den Messungen wurde der Zinkenrotavator der Firma Howard Rotavator verwendet, der den Rahmen und das Getriebe der schon lange existierenden Fräse EMU 90 besitzt. Das Wechselradgetriebe ermöglicht in Verbindung mit der wahlweisen Benützung der 540er und 1000er-Zapfwelle Rotordrehzahlen von 95 bis 450 1/min. Bei einem Rotordurchmesser von 58 cm errechnen sich dann Zinkengeschwindigkeiten von 2,9 bis 13,7 m/s. Der Bewegungsablauf der Zinken folgt einer Zykloidenbahn, die sich mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit des Schleppers auseinanderzieht.

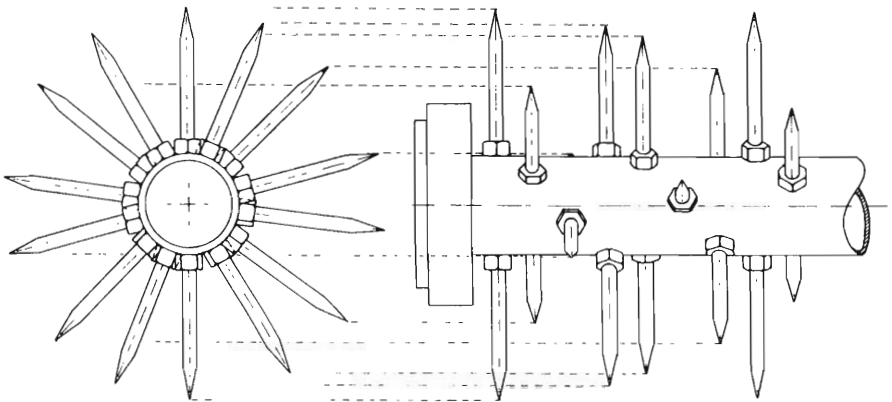


Abbildung 10: Zinkenrotor: Anordnung der Zinken in Seiten- und Vorderansicht

3. L e i s t u n g s b e d a r f

Der Leistungsbedarf eines Bodenbearbeitungsgerätes ist für seine Wirtschaftlichkeit von entscheidender Bedeutung, ebenso seine Abhängigkeit von den Faktoren Bodenart, Feuchtegehalt, Fahrgeschwindigkeit, Werkzeuggeschwindigkeit und Arbeitstiefe. Gerade um diese Einflüsse für die einzelnen Geräte herauszufinden, waren umfangreiche Leistungsbedarfsmessungen notwendig. Die notwendigen Angaben über die Bodenart und die Bodenfeuchte der einzelnen Standorte zu den jeweiligen Meßzeitpunkten sind in Anhangstabelle 10 zusammengestellt.

3.1 Meßmethoden

Die beim Betrieb von Bodenbearbeitungsgeräten auftretenden Kräfte teilen sich auf in Zug-, Dreh- und Hubkräfte. Zur Ermittlung dieser Kräfte wurden die Geräte im Feldeinsatz gemessen. Die Berücksichtigung von Bodenart, Bodenfeuchte, Arbeitstiefe und -geschwindigkeit machte sehr viele Meßfahrten auf unterschiedlichen Standorten nötig. Mit einer elektronischen Meß- und Auswertkette konnte das umfangreiche Datenmaterial gesammelt und verarbeitet werden.

3.1.1 Zugkraftmessungen

Für die Zugkraftmessungen mußte in Anlehnung an SKALWEIT (98) ein Meßrahmen gebaut werden, um die am Schlepper angreifenden Zugkräfte eines über den Dreipunktanbau gekoppelten Gerätes ermitteln zu können. Dieser Meßrahmen (Abb. 11) hängt als Schwinge unter dem Motor- und Getriebeblock des Schleppers und wird durch vier reibungsarme

Lager gehalten. Die Anbaupunkte für Unter- und Oberlenker am Meßrahmen liegen sehr dicht an den Originalanbaupunkten des Schleppers, so daß die Kinematik des Dreipunktgestänges im wesentlichen unverändert bleibt.

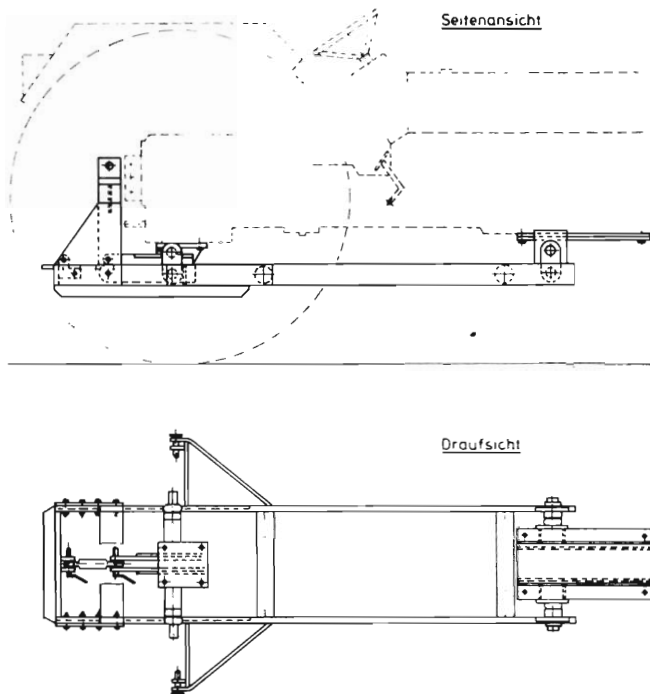


Abbildung 11: Meßschwinge zur Ermittlung der horizontalen Zugkräfte

Dieser Meßrahmen ist in der Lage, alle horizontal und parallel zur Fahrtrichtung auftretenden Kräfte aufzunehmen und über einen Zug- und Druckmeßgeber der Meßkette zuzuleiten. Dazu ist es notwendig, daß die zu untersuchenden Geräte nicht vom Schlepper ganz oder auch nur teilweise getragen werden dürfen, sondern sie müssen sich

selbständig am Boden abstützen. Die Unterlenker müssen während der Arbeit parallel zur Bodenoberfläche stehen. Wird das berücksichtigt, so laufen alle auftretenden Zugkräfte in den Rahmen und damit den Geber ein.

3.1.2 Drehmomentmessungen

Für die Drehmomentmessungen wurde die heute übliche Drehmomentmeßnabe verwendet, die über Dehnungsmeßstreifen die auftretenden Drehmomente und die Drehzahl mißt. Da sich während der Versuche herausstellte, daß Drehmomente bis zu 1000 Nm auftreten können, wurde die Meßnabe in einen Montageblock eingebaut, der sie gleichsam zweimal lagert, einmal mit dem Lager des Zapfwellenstummels am Schlepper und zum anderen mit dem Rillenkugellager im Gehäuse des Montageblockes auf der dem Schlepper abgewandten Seite der Meßnabe. Dadurch und durch den Einbau einer elastischen Kupplung im Gehäuse war die Erhöhung des Meßbereiches auf über 1000 Nm möglich. Allerdings benötigt diese Anordnung einen Raum von 280 mm hinter dem Schlepper. Um die Gelenkwelle mancher kurz hinter dem Schlepper angebauten Geräte beim Ausheben nicht zu stark abzuwinkeln, wurden die Unterlenkerarme und der Oberlenker ebenfalls um dieses Stück verlängert.

3.1.3 Meß- und Auswertkette

Die von den analogen Meßgebern aufgenommenen Werte wurden bis einschließlich 1973 durch ein Kabel vom Schlepper zu dem nebenherfahrenden Meßbus übertragen, dort elektronisch verstärkt und auf Magnetband gespeichert. Seit 1974 konnte eine Telemetrieanlage zur kabellosen Übertragung der Meßwerte eingesetzt werden. Der Meßbus kann dabei am Feldrand stehen bleiben, was natürlich die Arbeit

wesentlich erleichtert, Arbeitskräfte einspart und Störungsquellen vermindert. Die gespeicherten Werte konnten entweder direkt über einen XY-Schreiber aufgezeichnet oder digital verrechnet werden. Um einen möglichst repräsentativen Mittelwert von Zugkraft, Drehzahl und Drehmoment zu erhalten, wurde für jede Geräteeinstellung eine Meßstrecke von in der Regel 50 m mit mindestens vier Wiederholungen durchfahren. Eine Erweiterung der Anzahl der Wiederholungen hätte einen großen Mehrbedarf an Arbeitszeit und Fläche zu Folge, zumal die Streuung der 4 Wiederholungen nur bei etwa 5 % und damit innerhalb des Meßfehlers lag.

Zusätzlich zu dem gemessenen Leistungsbedarf P in kW wird im folgenden auch die spezifische Arbeit A spez. in kJ/m^3 mit angegeben. Diese spezifische Arbeit errechnet sich aus der Leistung, bezogen auf das in der Zeiteinheit bearbeitete Bodenvolumen.

$$A \text{ spez} = \frac{P}{b \cdot h \cdot v} \quad \left(\frac{\text{kW} \cdot \text{s}}{\text{m}^3} \right) = \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right)$$

- wobei P (kW) Leistung
b (m) Arbeitsbreite
h (m) Arbeitstiefe
v (m/s) Arbeitsgeschwindigkeit

Die spezifische Arbeit erlaubt eine genauere Erfassung der Verhältnisse, da Arbeitsbreite, Arbeitstiefe und Fahrgeschwindigkeit mit eingehen.

Bei allen Leistungsbedarfsangaben ist es notwendig, den Bedarf für den Leerlauf mit anzugeben. Dieser Leerlaufbedarf tritt nur bei zapfwellenbetriebenen Geräten auf. Es stellte sich heraus, daß er ausschließlich von der Abwinkelung der Gelenkwelle abhängig ist. So schwankt er z.B. bei einer Fräsdrehbohrmaschine zwischen 0,34 und 3,58 kW.

Bei keinem Gerät liegt er im Mittel über 3 kW, meist deutlich unter 2 kW. In den folgenden Ergebnissen ist dieser Leerlaufbedarf immer mit enthalten, ohne daß es möglich wäre, ihn für die unterschiedlichen Einsatzverhältnisse, z.B. der Arbeitstiefe, gesondert herauszurechnen.

3.2 Gezogene Zinkengeräte

Bei den beiden untersuchten Grubberdrillen entsteht ausschließlich Zugleistungsbedarf, da die Werkzeuge ohne Zapfwellenantrieb geradlinig durch den Boden gezogen werden.

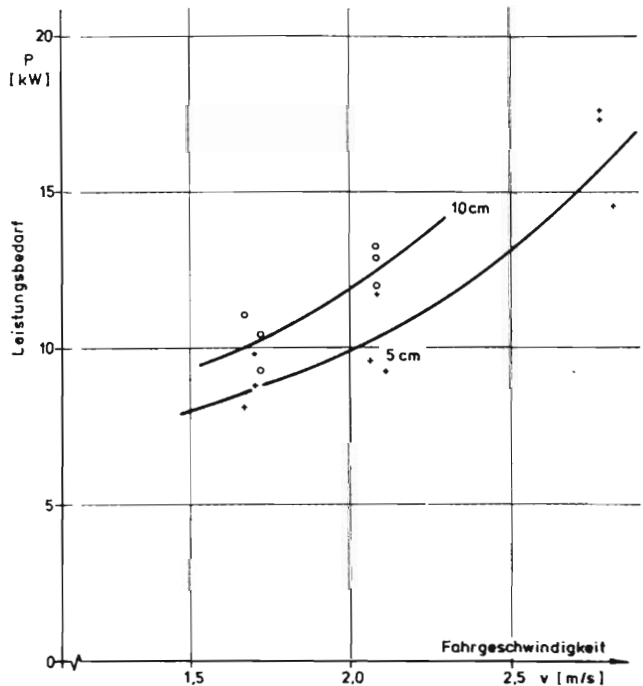


Abbildung 12: Leistungsbedarf einer Grubberdrille (Tume) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v (Schlüterhof)

3.2.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit

Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit steigt der Leistungsbedarf an (Abb. 12 und 13).

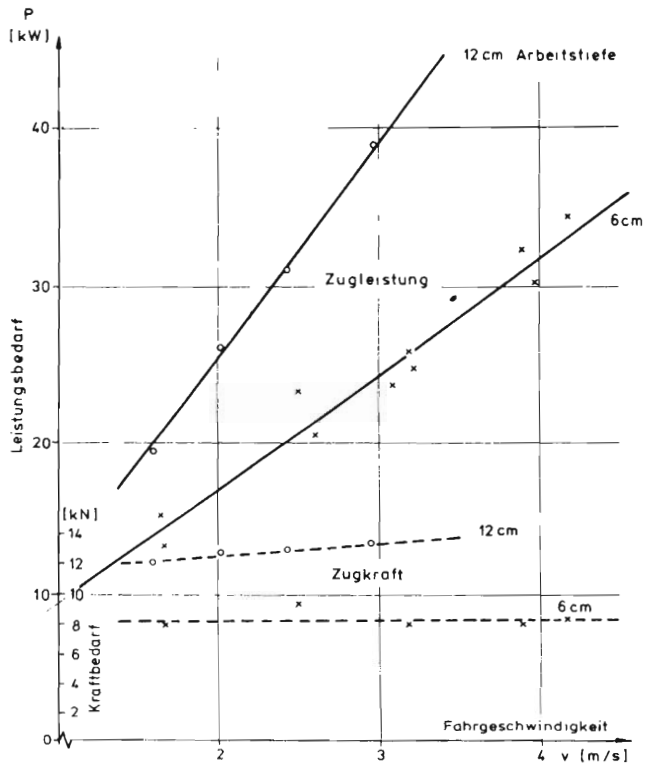


Abbildung 13: Zugkraft und Zugleistungsbedarf eines Feingrubbers in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v (Schlüterhof, tL; 31,6 % Feuchte, 16.5.74)

Der Grund hierfür liegt darin, daß in der gleichen Zeiteinheit mehr Boden bewegt wird und die Bodenteile eine höhere Beschleunigung erfahren. GORJACKIN (51) hat in seiner "rationalen Formel" ausgedrückt, daß der Zugwiderstand mit dem Quadrat der Arbeitsgeschwindigkeit zunimmt. Bei der Grubberdrille Tume wird dieser zunehmende Leistungsbedarfsanstieg mit wachsender Fahrgeschwindigkeit deutlich (Abb.12). So betrug ihr Zugleistungsbedarf auf dem Schlüterhof bei einer Arbeitstiefe von 5 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 1,5 m/s etwa 8 kW, bei der doppelten Geschwindigkeit von 3 m/s etwa 19 kW. Bei dem Feingrubber Rau (Abb. 13) ist der Anstieg der Zugkraft und der Zugleistung sowohl bei einer Arbeitstiefe von 6 cm als auch von 12 cm linear, und nicht, wie zu erwarten wäre, progressiv. Dies könnte so zu erklären sein, daß mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit die gegenüber der Grubberdrille Tume elastischeren Zinken die eingestellte Arbeitstiefe nicht mehr voll erreichen. Insgesamt ist der Leistungsbedarf des Feingrubbers mit aufgebauter Drillmaschine (Rau) höher als der der Grubberdrille Tume und erreicht bei einer Arbeitstiefe von 10 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 2 m/s mit 25 kW den doppelten Wert als die Tume bei vergleichbaren Verhältnissen. Da der Feingrubber Rau mit 33 Zinken, die Grubberdrille Tume aber nur mit 10 Zinken pro 2,50 m Arbeitsbreite bestückt ist, ergibt sich bei den oben genannten Verhältnissen (Schlüterhof - Arbeitstiefe 10 cm, Fahrgeschwindigkeit 2 m/s) ein Leistungsbedarf je Zinken von 0,76 kW beim Feingrubber Rau gegenüber 1,2 kW bei der Grubberdrille Tume.

3.2.2 Einfluß der Arbeitstiefe

Mit zunehmender Arbeitstiefe nimmt der Zugleistungsbedarf bei sonst gleichen Verhältnissen ebenfalls zu. Beim Feingrubber Rau betrug diese Zunahme bei einer Fahrgeschwindigkeit von 2 m/s etwa 9 KW, das sind ca. 50 %, wenn man die Arbeitstiefe von 6 cm auf 12 cm verdoppelte.

Bei der Grubberdrille Tume erbrachte die Verdoppelung der Arbeitstiefe von 5 cm auf 10 cm im gleichen Geschwindigkeitsbereich eine Erhöhung des Leistungsbedarfes um nur 2 kW auf 12 kW, also 20 %.

FERGUSON (36) weist schon darauf hin, daß sich der Zugkraftbedarf bei verschiedenen Strichabständen und Scharschneidewinkeln mit wachsender Arbeitstiefe unterschiedlich verhält.

3.2.3 Einfluß der Bodenfeuchte

Die Ergebnisse der Messungen auf dem gleichen Standort, aber zu unterschiedlichen Zeitpunkten und Feuchtegehalten zeigen in Übereinstimmung mit FOX und DEASON (42) die Tendenz, daß mit zunehmender Feuchte der Leistungsbedarf abnimmt. Da bei diesen Messungen aber zum Teil auch die Parameter Arbeitstiefe und Fahrgeschwindigkeit differieren, erscheint die spezifische Arbeit A_{spez} als das geeignetere Maß, den Einfluß der Bodenfeuchte deutlich zu machen.

Für den Standort Roggenstein ergibt sich aus den Messungen, die von 1972 bis 1974 jeweils zur Frühjahrsbestellung durchgeführt wurden, (Abb. 14), daß mit zunehmender Bodenfeuchte die spezifische Arbeit des Feingrubbers ebenfalls zunimmt. Bei einem Feuchtegehalt von etwa 17 % erreicht die spezifische Arbeit mit etwa 61 kJ/m^3 ihr Maximum und fällt bei noch weiter steigenden Bodenfeuchte wieder ab. Dies dürfte auf die von KNITTEL (71) bestätigte Tatsache zurückzuführen sein, daß bei einem von der Bodenart abhängigen bestimmten Feuchtegehalt der Boden am meisten zerkleinert wird, also der gewogene mittlere Durchmesser der Bodenaggregate am geringsten ist. Dieser "optimale" Feuchtegehalt, der bei gleicher Geräteeinstellung den höchsten Zerkleinerungseffekt zuläßt, liegt für den Standort Roggenstein bei 17 %. Auf diese Beziehung wird in Kapitel 3.5.5 und Kapitel 4.4. noch ausführlicher eingegangen.

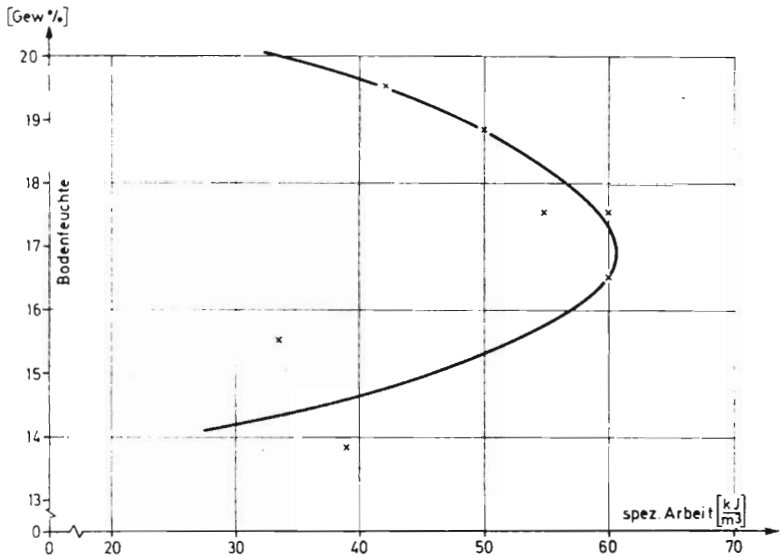


Abbildung 14: Spez.Arbeit des Feingrubbers in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte (Roggenstein)

3.2.4 Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken

Die folgenden Angaben beziehen sich nur auf den Feingrubber mit aufgebauter Drillmaschine (Rau), da sich herausgestellt hat, daß die Grubberdrille Tume durch den sehr weiten Strichabstand nur sehr ungenügend in der Lage ist, in einem Arbeitsgang das Saatbett zu bereiten. Sie sollte daher mehr als Dünger- und Getreidedrillmaschine, und weniger als Grubber betrachtet werden. Aus diesem Grund liegen auch nur wenige Meßergebnisse vor. Der Zugkraftbedarf des Feingrubbers (Rau) betrug auf dem Standort Schlüterhof (tL) (Abb.13) bei einer Arbeitstiefe von 6 cm etwa 8 kN, bei einer Arbeitstiefe von 12 cm

zwischen 12 kN ($v = 1,7$ m/s) und 14 kN ($v = 3$ m/s). Auf den Standorten Roggenstein und Dürnast wurde über mehrere Jahre hinweg der Zugkraftbedarf zur Bestellung von Wintergetreide, Sommergetreide und Mais gemessen.* Dabei ergab sich, daß für eine flache, ca. 5 cm tiefe Bearbeitung zu Sommergetreide nach der Winterfurche bei der für den Grubber günstigen Arbeitsgeschwindigkeit von etwa 8 km/h ($= 2,22$ m/s) ein Zugkraftbedarf von etwa 6 kN auftritt. Für die tiefere Bearbeitung zu Mais und die Wintergetreidebestellung auf frischer Pflugfurche ist allerdings ein Zugkraftbedarf bis zu 12 kN aufgetreten. Daher werden im Folgenden der Leistungsbedarf und die benötigten Schlepperstärken für beide Zugkraftwerte errechnet, um die Spannbreite, die im praktischen Betrieb auftritt, zu erfassen.

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 2,22 m/s errechnet sich aus der Zugkraft 6 kN eine Zugleistung von 13,3 kW, aus der Zugkraft 12 kN eine Zugleistung von 26,6 kW an den Anlenkpunkten der Dreipunkthängung. SÖHNE (101), STEINKAMPF (104), (105) und andere haben in umfangreichen Versuchsreihen die Beziehungen zwischen Zugkraftbedarf, Schlupf, Triebkraftbeiwert und Laufwerkverlusten untersucht. Demnach liegt der Triebkraftbeiwert , also das Verhältnis von Vortriebskraft der Antriebsräder zu Radlast, bei der Saatbettbereitung je nach Reifengröße, Bodenart und -feuchte nicht über 50 %. Daraus errechnet sich für den Feingrubber eine notwendige Radlast von 12 bzw. 24 kN. Dabei ist ein Schlupf von 30 % unterstellt. Der Laufwerkwirkungsgrad beträgt bei diesen Voraussetzungen etwa 60 %, der Getriebewirkungsgrad etwa 85 %, so daß sich eine notwendige Schlepperleistung von 26,1 bzw. 52,2 kW errechnet. Will man alle im Betrieb anfallenden Bestellarbeiten bei unterschiedlichen Verhältnissen im Herbst und im Frühjahr störungsfrei mit dem Feingrubber durchführen, so ist für das 2,50 m breite Gerät ein Schlepper mit 52 kW bzw. 70 PS nötig, der dann auch über die notwendige Radlast und Hubkraft

* Alle Einzelergebnisse sind in einem Anhang zusammengefaßt, der gegen Erstattung der Selbstkosten vom Verfasser, 8050 Freising, Vöttingerstraße 38, bezogen werden kann.

verfügt. Pro 1 m Arbeitsbreite wären das etwa 20 kW, pro Zinken 1,6 kW.

3.3 Rüttelegge

Durch den Antrieb der Eggenbalken über die Gelenkwelle teilt sich der Leistungsbedarf der Rüttelegge in Zug- und Drehleistung auf. Die bei der Bodenbearbeitung relevanten Faktoren wie Arbeitstiefe, Arbeitsgeschwindigkeit, Bodenart und Bodenfeuchte beeinflussen beide Arten des Leistungsbedarfes unterschiedlich.

3.3.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit

Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit steigt, wie bei den gezogenen Zinkengeräten, der Zugleistungsbedarf der Rüttelegge an (Abb. 15). Der Anstieg ist im unteren Bereich der Kurven leicht progressiv, bei Geschwindigkeiten über etwa 1,8 m/s leicht degressiv. Dieser Abfall des Kurvenanstieges kann mit der Tatsache erklärt werden, daß sich bei hohen Geschwindigkeiten ein zu großer Erdstau in der Mitte vor dem Gerät bildet, und so die Arbeitstiefe nicht mehr genau eingehalten werden kann. Steigert man die Fahrgeschwindigkeit von 1 auf 2 m/s, so erhöht sich der Zugleistungsbedarf bei einer Arbeitstiefe von 6 cm von etwa 8 auf 24 kW, bei 12 cm Arbeitstiefe von 10 auf 26 kW.

Anders verhält sich der Drehleistungsbedarf. Einem leichten Anstieg im unteren Geschwindigkeitsbereich folgt bei etwa 1,6 m/s ein Maximum mit etwa 11 kW bzw. 12 kW für die Arbeitstiefen 6 und 12 cm. Bei noch höherer Geschwindigkeit fällt der Drehleistungsbedarf wieder ab. Da die sinusförmige Bewegungsbahn der Zinken im Boden (Abb.4)

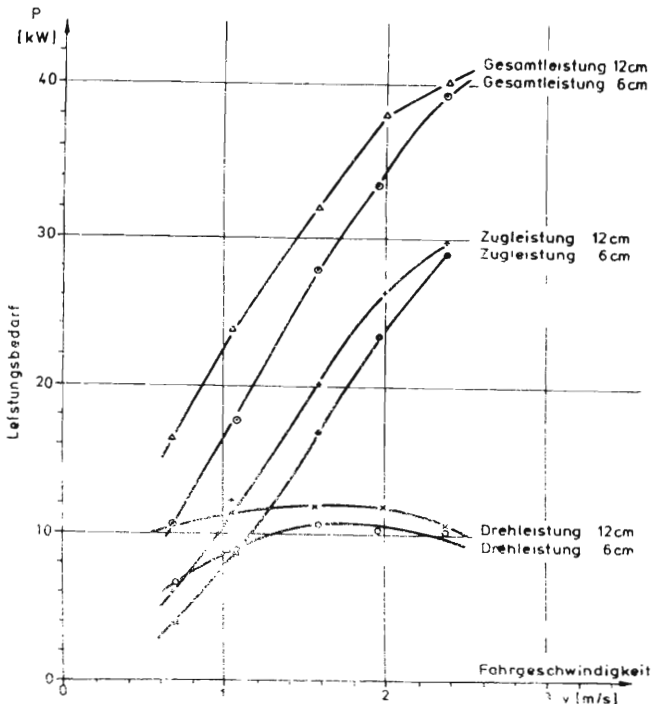


Abbildung 15: Zug- und Drehleistungsbedarf einer Rüttelege in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v (Schlüterhof, t_L , 31,6 % Feuchte, 16.5.74)

sich mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit immer mehr streckt, nimmt auch die Bearbeitungsintensität ab, da pro Flächeneinheit weniger Bodenaggregate getroffen und zerkleinert werden. Diese Abnahme dürfte ab etwa 1,6 m/s stärker ins Gewicht fallen als die Zunahme der bearbeiteten Fläche.

Diese Zusammenhänge werden auch deutlich, wenn man die spezifische Arbeit der Rüttelege in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit in Abb. 16 betrachtet.

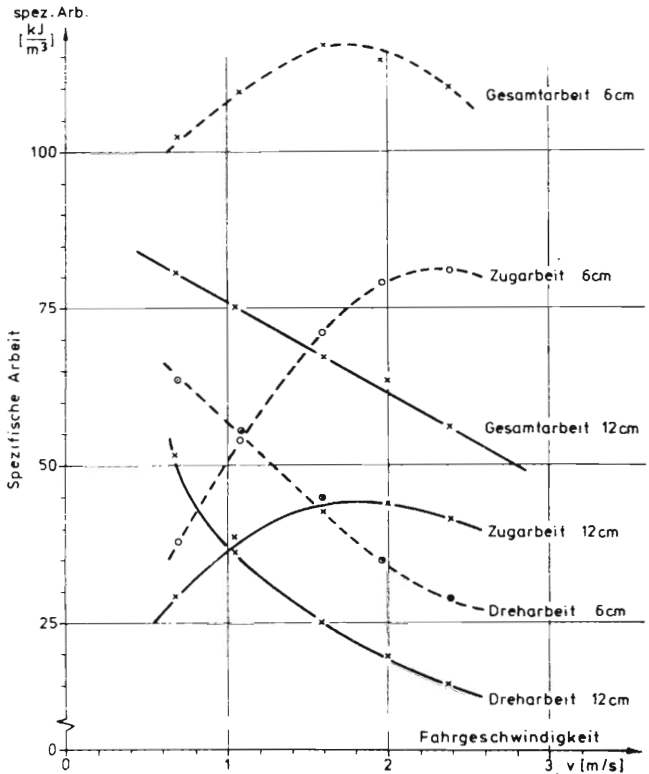


Abbildung 16: Spez.Arbeit der Rüttelege in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v für die Arbeitstiefen 6 cm und 12 cm

Die spezifische Dreharbeit in der unteren Hälfte der Abbildung nimmt mit steigender Fahrgeschwindigkeit ab, und zwar bei den gegebenen Verhältnissen auf dem Standort Schlüterhof bei der Arbeitstiefe von z.B. 6 cm von $57 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$ ($v = 1 \text{ m/s}$) auf $35 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$ ($v = 2 \text{ m/s}$). Überträgt man hier die von KNITTEL (71) (siehe auch Kapitel 3.5.5) für die Fräse gefundene Tatsache, daß spezifische Arbeit und Zerkleinerungswirkung linear miteinander korrelieren, auch auf die Rüttelege, so wäre dieser Abfall der spezifischen Dreharbeit mit

einer Abnahme der Bearbeitungsintensität durchaus zu erklären. Die spezifische Zugarbeit nimmt vermutlich bis zu dem Punkt zu, wo der Erdstau vor dem Gerät die Rüttelegge evtl. etwas anhebt und über diese hinwegfließt. Dies ist bei der größeren Arbeitstiefe von 12 cm bereits bei 1,8 m/s der Fall, bei der flachen Arbeitstiefe von 6 cm erst bei etwa 2,4 m/s.

Der Gesamtleistungsbedarf (Abb. 15), also die Summe aus Dreh- und Zugleistungsbedarf, nimmt mit steigender Fahrgeschwindigkeit zu, und zwar bringt eine Verdoppelung der Fahrgeschwindigkeit von 1 auf 2 m/s bei 6 cm Arbeitstiefe etwas mehr als eine Verdoppelung des Leistungsbedarfes, bei 12 cm Arbeitstiefe etwas weniger.

3.3.2 Einfluß der Arbeitstiefe

Mit wachsender Arbeitstiefe steigt auch bei der Rüttelegge der Leistungsbedarf, und zwar sowohl der Zug- als auch der Drehleistungsbedarf (Abb. 15). Allerdings läßt sich bei dem untersuchten Gerät die Arbeitstiefe über einen bestimmten engen Bereich hinaus nicht beliebig vergrößern. Durch die Fahrgeschwindigkeit staut sich nämlich zwischen und vor den Eggenbalken ein Erdwall, weil der Boden nicht schnell genug zwischen den Zinken hindurch gerüttelt werden kann. Dadurch besteht die Möglichkeit, daß die Arbeitstiefe geringer wird und Erde unbearbeitet über die Balken fließt. Damit erklärt sich das Zusammenlaufen der Leistungsbedarfskurven für die Arbeitstiefen 6 und 12 cm bei etwa 2,5 m/s in Abbildung 15. In diesem Geschwindigkeitsbereich macht der Drehleistungsbedarf nur noch etwa ein Viertel des Gesamtleistungsbedarfes aus, so daß die Vorteile der verlustärmeren Leistungsübertragung über die Gelenkwelle nicht mehr ausgenutzt werden können. Hier müßte dann entweder die Rütteleffizienz erhöht werden, was bei den heutigen Rütteleppen noch nicht möglich ist,

oder aber eine Steigerung der Flächenleistung müßte bei gleichbleibender Geschwindigkeit über eine Verbreiterung des Gerätes erfolgen.

3.3.3 Einfluß von Bodenart und -feuchte

Die gefundenen Meßergebnisse zeigen die Tendenz, daß mit wachsendem Gehalt an abschlembaren Teilchen im Boden der Leistungsbedarf zunimmt. Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß dann auch der Feuchtegehalt höher sein kann. Ein Vergleich der beiden Kurven in Abb. 17, die die spezifische Arbeit der Rüttelegge auf zwei Standorten in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte darstellen, zeigt, daß auf dem sandreicheren Boden Roggensteins die spezifische Arbeit bei 17 % Feuchte im Maximum liegt, auf dem schluffreicheren Boden von Dürnast bei 19 - 20 %.

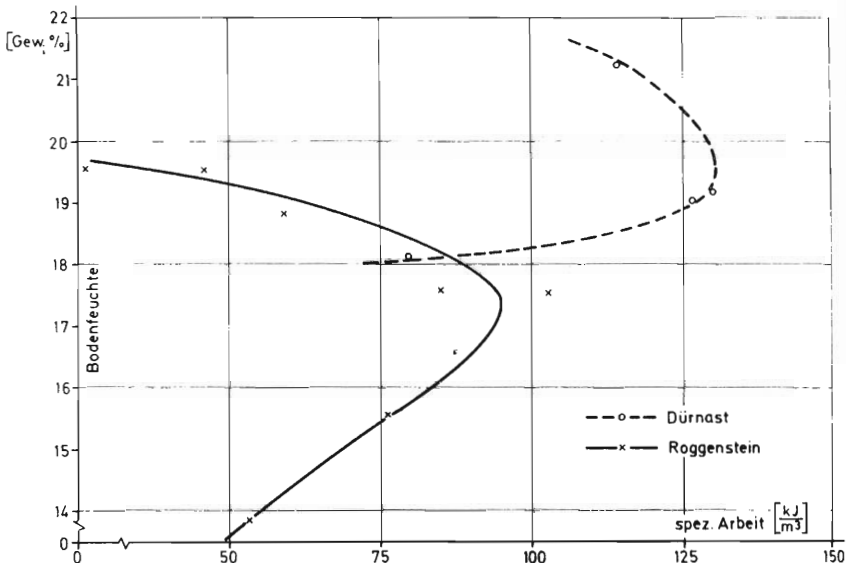


Abbildung 17: Spez.Arbeit der Rüttelegge in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte

Je tonhaltiger der Boden ist, um so höher liegt der Feuchtegehalt zu dem Bearbeitungszeitpunkt, wo mit der gleichen Geräteeinstellung die höchste Zerkleinerungsintensität erreicht und dazu am meisten Leistung verbraucht wird. Die spezifische Arbeit erreicht für diese Verhältnisse in Roggenstein etwa 90 kJ/m^3 , in Dürrnast 130 kJ/m^3 .

3.3.4 Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken

Es erwies sich als günstig, bei der Rüttelege eine Fahrgeschwindigkeit von etwa $1,5 \text{ m/s}$ anzustreben, da hier in der Regel eine gute Zerkleinerungswirkung bei guter Flächenleistung erreicht wird. Ungünstigere Verhältnisse (schwererer, feuchter Boden) verlangen eine langsamere, leichte Böden erlauben eine schnellere Fahrgeschwindigkeit. Bei dieser "mittleren" Geschwindigkeit betrug der Gesamtleistungsbedarf auf dem Standort Schlüterhof (Abb. 15) bei 6 cm Arbeitstiefe etwa 26 kW . Die Messungen zu verschiedenen Bestellzeitpunkten auf den Standorten Roggenstein und Dürrnast (Anhangstabelle 3 u.4) ergaben im Durchschnitt etwas geringere Werte (Dürrnast ca. 20 kW , Roggenstein ca. 18 kW).

Geht man davon aus, daß für eine möglichst störungsfreie Bestellung ein Leistungsbedarf von 25 kW auftritt und dieser Leistungsbedarf sich bei der unterstellten Fahrgeschwindigkeit von $1,5 \text{ m/s}$ in etwa 40% Drehleistung und 60% Zugleistung aufteilt, so errechnen sich für den Zapfwellenantrieb mit einem unterstellten Getriebewirkungsgrad von 85% etwa 12 kW . Für die Zugleistung muß, wieder 85% Getriebewirkungsgrad und 60% Laufwerkwirkungsgrad angenommen, der Schlepper eine Motorleistung von etwa 30 kW haben. Damit wird insgesamt eine Schlepperstärke von 42 kW benötigt. Auf 1 m Arbeitsbreite bezogen, sind dies dann ca. 17 kW . In der Praxis sieht man oft stärkere Schlepper an diesem Gerät. Dies kommt einmal von dem

notwendigen großen Hubkraftbedarf, den die Kombination Rüttelegge mit Drillmaschine verlangt, wie noch zu zeigen sein wird, zum anderen beansprucht die Rüttelbewegung durch hohe Drehmomentspitzen das Schleppergetriebe. Eine Empfehlung von 20 kW pro 1 m Arbeitsbreite wird auch diesen Umständen gerecht.

3.4 Kreiselegge

Wie bei der Rüttelegge, so setzt sich auch bei der Kreiselegge der Gesamtleistungsbedarf aus Dreh- und Zugleistungsbedarf zusammen. Ihr jeweiliger Anteil hängt von Fahrgeschwindigkeit und Maschineneinstellung ab.

3.4.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit

Eine steigende Fahrgeschwindigkeit bewirkt bei der Kreiselegge einen leicht zunehmenden Anstieg des Zugleistungsbedarfes (Abb. 18 und 19). Hier verhält sich also die Kreiselegge wie die gezogenen Zinkengeräte oder auch die Rüttelegge. Aus der zyklidenförmigen Bewegungsbahn der Zinken im Boden (Abb. 6) ergibt sich, daß sich die Vorwärtsbewegung der Zinken mit der Fahrgeschwindigkeit addiert, die Rückwärtsbewegung subtrahiert. Steigert man nun die Fahrgeschwindigkeit, so wird die Relativgeschwindigkeit des Zinkens in dem Bereich, wo er sich nach vorne bewegt, immer größer, und in dem Bereich, wo er sich nach hinten bewegt, immer kleiner. Das Verhalten der Kreiselegge im Hinblick auf den Zugleistungsbedarf nähert sich dann dem einer schnell gezogenen starren Egge.

Bei einer Verdoppelung der Fahrgeschwindigkeit von 1 auf 2 m/s stieg der Zugleistungsbedarf auf dem Standort Grünbach (Abb. 18) bei einer Rotordrehzahl von 250 1/min und einer Arbeitstiefe von

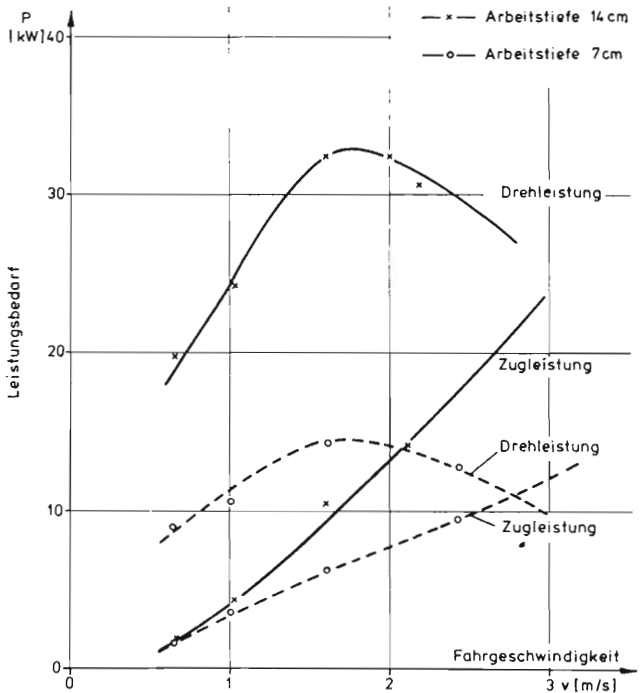


Abbildung 18: Leistungsbedarf der Kreiselegge in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit v (Drehzahl $n = 250$ 1/min; Grünbach, 23.8.72)

7 cm von etwa 3,5 auf 8 kW, bei einer Arbeitstiefe von 14 cm von 4 auf 13 kW an. Insgesamt etwas höher lag der Zugleistungsbedarf der Kreiselegge auf dem Standort Hagenau (Abb.19), wo er sich bei derselben Geschwindigkeitssteigerung von 7 auf 17 kW erhöhte.

Anders verhält sich der Drehleistungsbedarf in Verbindung mit der Fahrgeschwindigkeit. Bei einer Zunahme der Fahrgeschwindigkeit steigt der Drehleistungsbedarf an, erreicht ein Maximum und nimmt

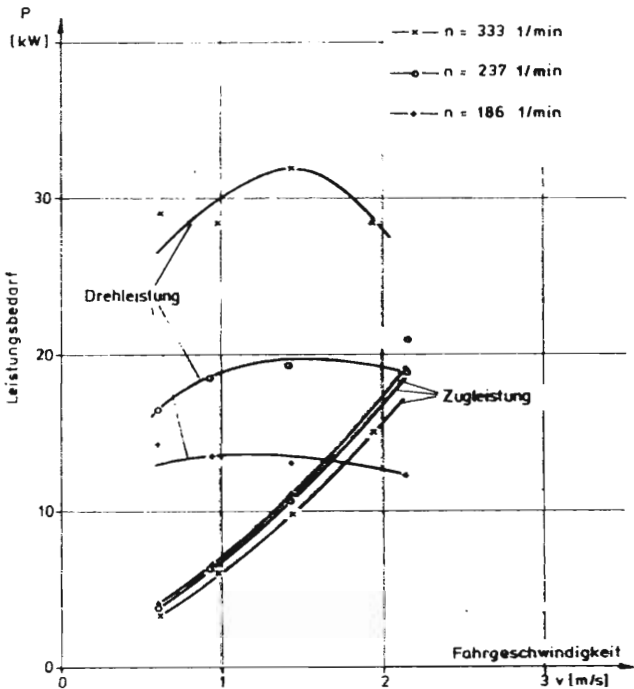


Abbildung 19: Leistungsbedarf der Kreiselegge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v und der Drehzahl n (Hagenau 16.8.73; Arbeitstiefe 10 cm)

dann wieder ab. Ein ähnliches Verhalten war auch bei der Rüttelegge festzustellen. Die Begründung liegt darin, daß bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit das in der Zeiteinheit bearbeitete Bodenvolumen zunimmt und damit auch der Leistungsbedarf ansteigt. Steigert man die Geschwindigkeit weiter, so bleiben zwischen den Zinkenbahnen unbearbeitete Flächen stehen, und die Bearbeitungsintensität nimmt schneller ab, als die Zunahme des bearbeiteten Bodenvolumens ausmacht. Von dieser Fahrgeschwindigkeit an, die im gezeigten Beispiel

in Abb. 18 bei etwa 1,7 m/s liegt, wird dann auch der Drehleistungsbedarf wieder geringer. Auf diese Beziehungen soll im folgenden noch näher eingegangen werden, da die Bewegungsbahn der Zinken ja auch durch die Kreiseldrehzahl bestimmt wird.

3.4.2 Einfluß der Kreiseldrehzahl

Der Zugleistungsbedarf einer Kreiselegge ändert sich durch die Drehzahlvariation kaum. In Abb. 19 wird deutlich, daß die höchste Drehzahl von 333 1/min in ihrem Zugleistungsbedarf bei allen Fahrgeschwindigkeiten etwas unter der geringeren Drehzahl von 237 1/min liegt, und diese wiederum geringfügig unter der Drehzahl von 186 1/min. Die Unterschiede machen aber nur 1 bis 2 kW aus. Anders reagiert der Drehleistungsbedarf. Mit einer Erhöhung der Drehzahl von 186 1/min auf 237 1/min stieg der Drehleistungsbedarf unter den Verhältnissen des Standortes Hagenau von 14 kW auf etwa 19 kW. Eine weitere Erhöhung der Drehzahl auf 333 1/min brachte einen Anstieg der Drehleistung auf etwa 30 kW (Abb. 19 und 20). Daß es hierbei keine großen Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrgeschwindigkeiten gibt, zeigt der flache Parabelverlauf der Drehleistungskurven in Abb. 19, oder, anders dargestellt, das enge Zusammenliegen der Kurven für die einzelnen Geschwindigkeiten in Abb. 20.

3.4.3 Einfluß des Verhältnisses u/v

Wenn nun sowohl die Fahrgeschwindigkeit v als auch die Drehzahl n und damit die Umfangsgeschwindigkeit u der Werkzeuge den Leistungsbedarf beeinflussen, so liegt es nahe, den Quotient u/v für das weitere Vorgehen zu verwenden, da u und v miteinander die Form der Bewegungsbahnen der Zinken bestimmen.

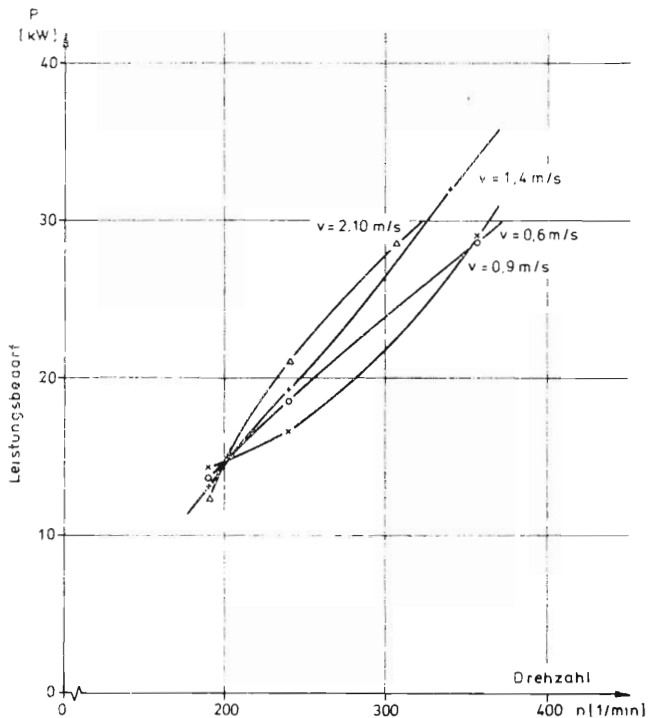


Abbildung 20: Drehleistungsbedarf einer Kreiselegge in Abhängigkeit von der Kreiseldrehzahl n (Hagenau 16.8.73)

Trägt man alle Meßergebnisse der verschiedenen Versuchsreihen, die bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten und Drehzahlen ermittelt wurden, über dem Quotient u/v auf (Abb. 21), so wird deutlich, daß das Maximum aller Kurven im Bereich zwischen $u/v = 2$ und $u/v = 3$ liegt. In diesem Bereich nimmt also die Kreiselegge die meiste Leistung auf. Wird das Verhältnis u/v enger, also entweder v größer und/oder u kleiner, so nimmt der Leistungsbedarf ab, da die Bearbeitungsintensität durch die Streckung der Zykloidenbahnen abnimmt.

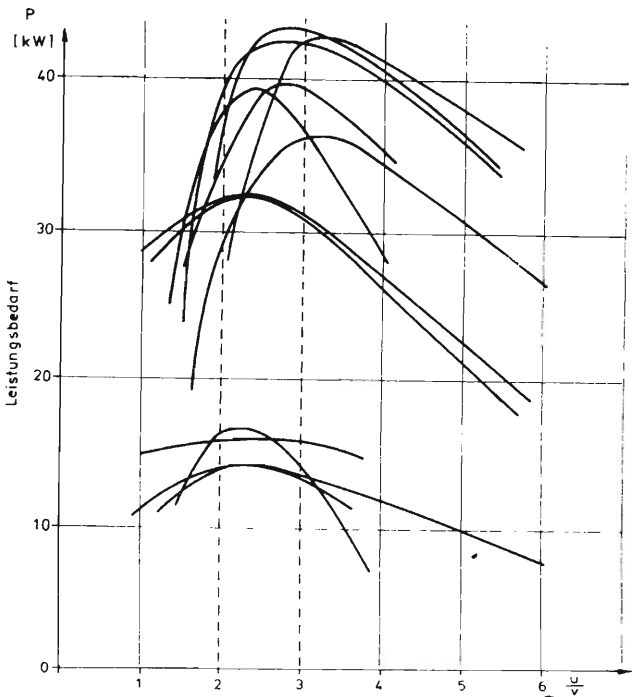


Abbildung 21: Leistungsbeford einer Kreiselegge in Abhangigkeit vom Verhaltis $\frac{u}{v}$ bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen

Wird das Verhaltis u/v weiter, also v kleiner, so nimmt der Drehleistungsbeford ebenfalls wieder ab, da das in der Zeiteinheit bearbeitete Bodenvolumen kleiner wird.

Der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit und damit der bearbeiteten Flache überlagert sich also mit dem der Bearbeitungsintensit. Um diese Einflüsse sichtbarer zu machen, ist es günstig, den Leistungsbeford auf das in der Zeiteinheit bearbeitete Bodenvolumen zu beziehen, also die spezifische Arbeit zu verwenden.

Trägt man die spezifische Arbeit über der Fahrgeschwindigkeit auf, so ergibt sich, daß bei steigender Fahrgeschwindigkeit die spezifische Arbeit abnimmt (Abb. 22) .

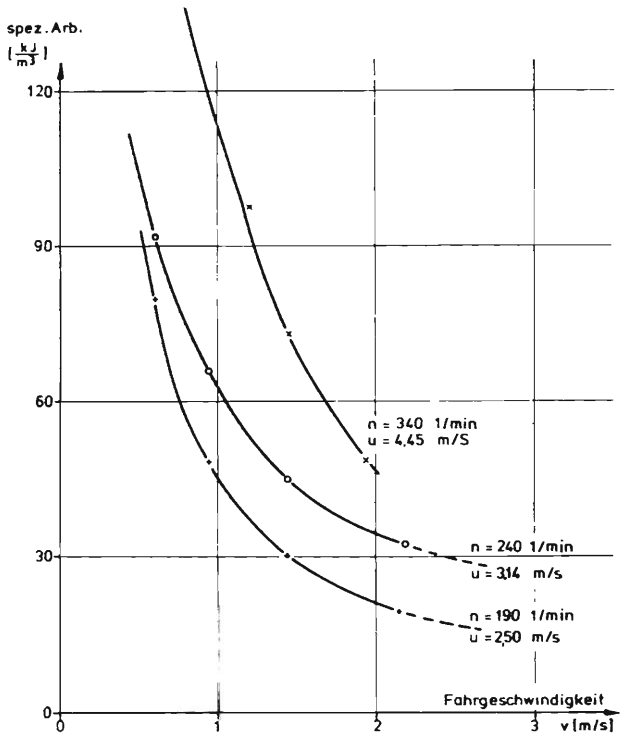


Abbildung 22: Spezifische Arbeit bei einer Kreiselegge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v (Hagenau 16.8.73)

Diese Abnahme ist im unteren Geschwindigkeitsbereich bis zu etwa 1,5 m/s sehr ausgeprägt und flacht dann ab, woraus zu schließen ist, daß ab einer gewissen Streckung der Zykloiden eine weitere Streckung nicht mehr den starken Einfluß auf die spezifische Arbeit und die Bearbeitungsintensität hat. Dafür spricht auch, daß bei einer höheren Drehzahl die spezifische Arbeit zwar insgesamt höher liegt

und für $n = 340$ 1/min bei der Fahrgeschwindigkeit von 1 m/s immerhin 110 kJ/m^3 erreicht, daß aber die deutliche Abnahme bis über einen Geschwindigkeitsbereich von 2 m/s anhält und die Kurve sich erst dann abzuflachen beginnt. Die spezifische Arbeit nimmt auch ab, wenn man die Drehzahl verringert (Abb. 23).

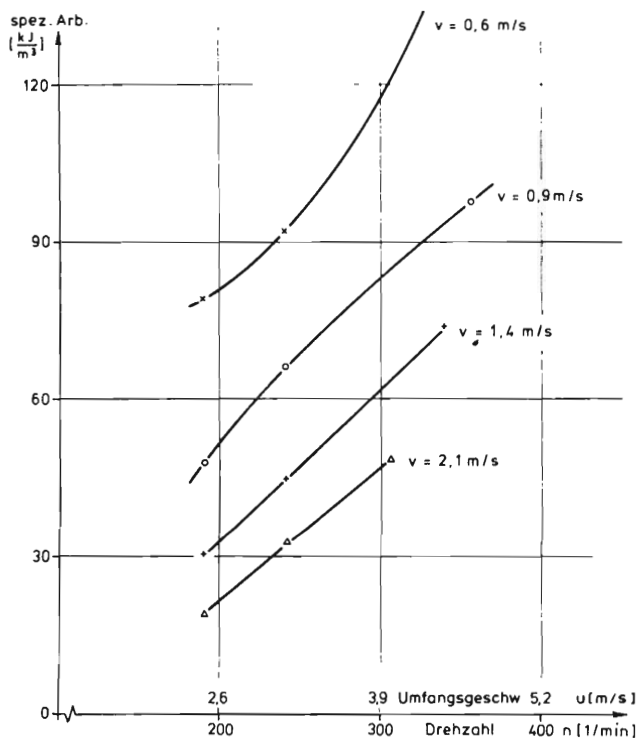


Abbildung 23: Spezifische Arbeit bei einer Kreiselegge in Abhängigkeit von der Drehzahl n (Hagenau 16.8.73)

Bei der langsamen Fahrgeschwindigkeit von $v = 0,6 \text{ m/s}$ ist die spezifische Arbeit am höchsten, nimmt aber in demselben Maße ab, wie bei den schnelleren Fahrgeschwindigkeiten von $0,9 \text{ m/s}$, $1,4 \text{ m/s}$ und

2,1 m/s, wo sie sich bei einer Verminderung der Drehzahl von 300 auf 190 von 45 auf 20 kJ/m³ verringert.

Wenn nun sowohl eine Abnahme der Fahrgeschwindigkeit als auch eine Zunahme der Umfangsgeschwindigkeit die spezifische Arbeit der Kreiselegge erhöhen, so ergibt sich eine direkte, lineare Beziehung zwischen dem Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit u zu Fahrgeschwindigkeit v und der spezifischen Arbeit (Abb. 24).

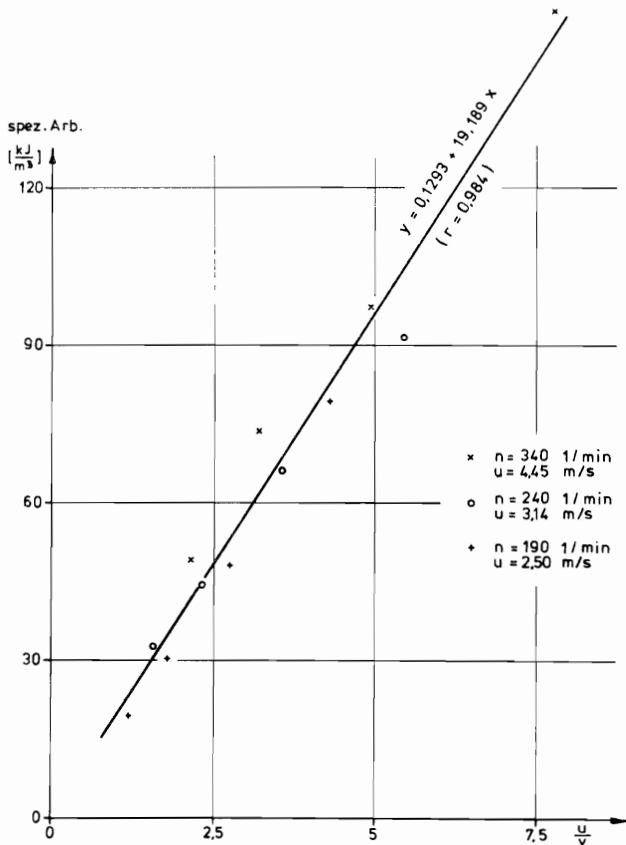


Abbildung 24: Spezifische Arbeit bei einer Kreiselegge in Abhängigkeit vom Verhältnis $\frac{u}{v}$ (Hagenau 16.8.73)

Da sich die Zykloidenbahn nach der Formel

$$x = r \cdot \cos \omega t + v \cdot t$$

$$y = r \cdot \sin \omega t$$

errechnet, und durch den Rotorradius r und die Winkelgeschwindigkeit ω die Umfangsgeschwindigkeit u bestimmt wird, so drückt das Verhältnis u/v direkt die Form der Zykloide aus. Man kann also mit der Regressionsgeraden in Abb. 24, die hochsignifikant ist, eindeutig feststellen, daß die spezifische Arbeit bei gleichbleibender Arbeitstiefe nur von der Form der Zykloide abhängt. Bei einer sehr weit gestreckten Zykloide, also bei einem kleinem Verhältnis u/v (z.B. $u/v = 2,0$) ist die spezifische Arbeit gering (etwa 30 kJ/m^3). Bei dem großen Verhältnis $u/v = 7,5$ ist die Zykloide stark verschlungen und die spezifische Arbeit mit etwa 150 kJ/m^3 sehr hoch. Die absolute Werkzeuggeschwindigkeit und damit die Beschleunigung der Bodenteilchen spielt bei der Kreiselegge im untersuchten Bereich von $u/v = 1$ bis $u/v = 7,5$ und $u = 2,5$ bis $u = 4,5 \text{ m/s}$ keine Rolle, da die Meßpunkte für alle drei unterschiedlichen Drehzahlen auf derselben Regressionsgeraden liegen.

3.4.4 Einfluß der Arbeitstiefe

Es hängt stark von der Bodenart und der vorangegangenen Grundbodenbearbeitung ab, wie stark sich der Leistungsbedarf mit der Arbeitstiefe ändert. So wurden z.B. auf einem humosen Boden, in den Stroh sehr tief eingefräst worden war, bei einer Vergrößerung der Arbeitstiefe von 6 cm auf 14 cm in Schritten von jeweils 2 cm ein fast linearer Anstieg der Drehleistung von insgesamt 8 auf 16 kW für eine 3 m breite Maschine gemessen. Aus Abb. 18 ging schon hervor, daß auf dem Standort Grünbach auf einem gepflügten Boden bei einer Verdoppelung der Arbeitstiefe von 7 auf 14 cm sich auch der Dreh-

Leistungsbedarf bei allen Geschwindigkeiten in etwa verdoppelte. Der Zugleistungsbedarf unterschied sich umso mehr, je schneller gefahren wurde. Für eine weitere Versuchsfläche, die sich durch einen sehr hohen Tongehalt auszeichnete, wurde in Abb. 25 der Leistungsbedarf in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe aufgetragen. Während der Drehleistungsbedarf bei allen Geschwindigkeitsstufen von etwa 20 auf 40 kW anstieg, wenn sich die Arbeitstiefe von 6 auf 15 cm vergrößerte, so konnte eine ähnliche Tendenz beim Zugleistungsbedarf nicht abgesichert werden.

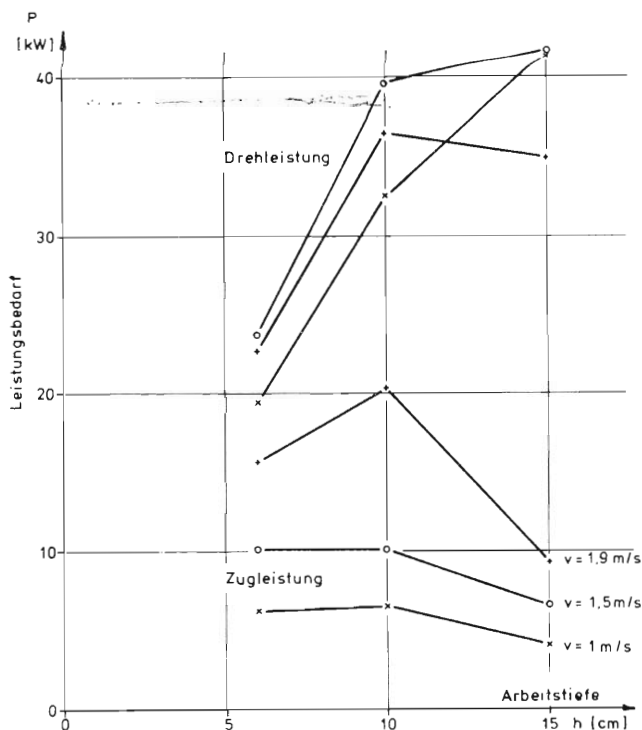


Abbildung 25: Leistungsbedarf einer Kreiselegge in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe h (Pulling 15.5.73; n = 270 1/min)

3.4.5 Einfluß von Bodenart und -feuchte

Der Einfluß der Bodenart darf nur im Zusammenhang mit der Bodenfeuchte und der Bodenstruktur gesehen werden. Tendenzmäßig bewirkte aber wie bei allen Bodenbearbeitungsgeräten, so auch bei der Kreiselegge, ein Ansteigen des Anteiles abschlämmbarer Teilchen ein Ansteigen des Leistungsbedarfes.

Trägt man die spezifische Arbeit der Kreiselegge, wie sie bei den mehrjährigen Bestellterminen in Roggenstern und Dürnast ermittelt wurde, über dem Feuchtegehalt des Bodens auf (Abb.26), so ergibt sich wie bei der Rüttelegge zuerst mit zunehmender Feuchte ein starker Anstieg der spezifischen Arbeit.

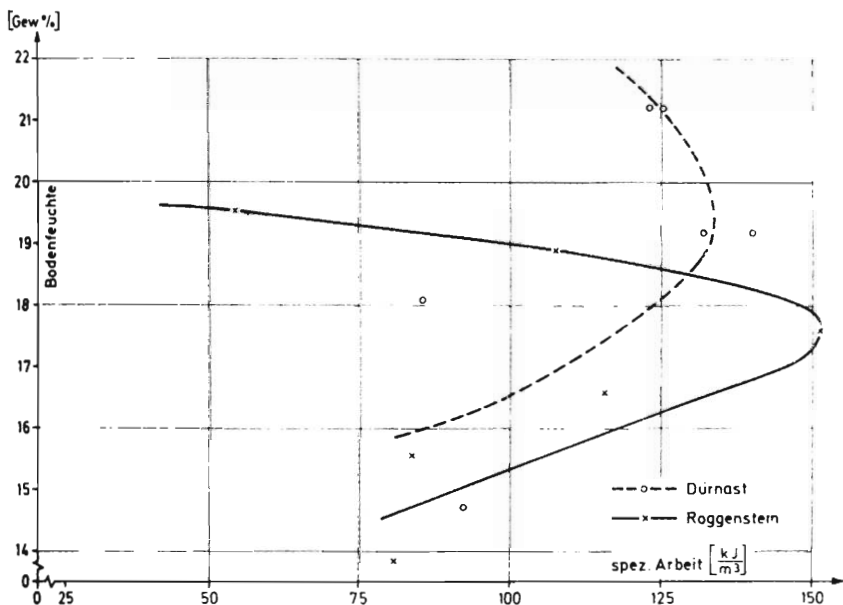


Abbildung 26: Spez.Arbeit der Kreiselegge in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte

Nach dem Überschreiten eines bestimmten Feuchtegehaltes, der von der Bodenart abhängt, nimmt die spezifische Arbeit wieder deutlich ab. Hier gilt das gleiche wie bei der Rüttelege. Bei dem Feuchtegehalt mit der höchsten spezifischen Arbeit wird am meisten Leistung verbraucht und, wie KNITTEL (71) nachwies, die höchste Zerkleinerungswirkung erzielt.

3.4.6 Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken

Da bei der Kreiselegge zusätzlich zu den Faktoren Arbeitsgeschwindigkeit, Arbeitstiefe, und Bodenverhältnissen auch noch die verstellbare Kreiseldrehzahl den Gesamtleistungsbedarf bestimmt, ist es schwer eine allgemeingültige Aussage über den absoluten Leistungsbedarf und die benötigten Schlepperstärken zu machen. Als Grundlage werden daher wieder die Meßergebnisse von den Standorten Roggenstein und Dürrast herangezogen, die zu den Bestellterminen für Winterweizen, Sommergerste und Mais angefallen sind (Anhangstab. 5 und 6). Für eine 3 m breite Kreiselegge genügt zur flachen Saatbettbereitung im Frühjahr ein Gesamtleistungsbedarf von 30 kW. Im Durchschnitt entfällt davon ein Drittel auf Zugleistung, so daß sich mit den Unterstellungen von 85 % Getriebewirkungsgrad und 60 % Laufwerkwirkungsgrad eine nötige Schlepperstärke von 44 kW, das sind ca 15 kW pro 1 m Arbeitsbreite errechnet. Es hat sich aber gezeigt, daß zur Herbstbestellung auf frisch gepflügtem Boden der Gesamtleistungsbedarf des Gerätes auf über 50 kW ansteigen kann. Das bedingt dann Schlepperstärken von etwa 70 kW, pro 1 m Arbeitsbreite also 23 kW. Da aber die Drehzahl der Kreiselegge variierbar ist, kann der Leistungsbedarf über Drehzahl und Fahrgeschwindigkeit der Schleppergröße angepaßt werden.

3.5 Fräsen

Die Zusammenhänge zwischen Konstruktionsmerkmalen einer Fräse, besonders der Messeranordnung, auf der einen Seite und den Antriebsmomenten, Leistungsbedarfswerten und Auswirkungen auf den Boden auf der anderen Seite wurden von GALLWITZ (47), FEUERLEIN (37) und besonders von SÖHNE (99) in ausführlicher Weise dargestellt. In der Zwischenzeit haben sich aber zum Teil die technischen Daten der Fräsen, besonders aber die Einsatzbedingungen wie Arbeitstiefe und Fahrgeschwindigkeit, verändert. Dies macht eine Erweiterung und Vervollständigung der genannten Arbeiten nötig, wenn auch gesagt werden muß, daß Feldversuche nicht die Exaktheit von Bodenrinnenversuchen erreichen können. Trotzdem wurde versucht, die Abhängigkeit des Leistungsbedarfes von Fahrgeschwindigkeit, Drehzahl, Arbeitstiefe und Bodenfeuchte bei heutigen Einsatzverhältnissen zu erfassen. Die Messungen wurden in der Regel auf ungepflügtem Boden, meist zur Stoppelbearbeitung, durchgeführt.

3.5.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit

Die empirische Ermittlung des Leistungsbedarfes einer Fräse bei steigender Fahrgeschwindigkeit ergibt einen parabolischen Verlauf der Leistungskurve, wie das in der Abb. 27 aufgezeichnet ist. Der Anstieg des Leistungsbedarfes bis zum Maximum bei einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit ist dadurch zu erklären, daß mit zunehmender Geschwindigkeit die Bissen der Fräsmesser größer werden. SÖHNE hat 1957 schon gezeigt, daß das einen Anstieg des Drehmoments in der Fräswelle bewirkt. Außerdem wird auch das in der Zeiteinheit bearbeitete Bodenvolumen größer. Nach dem Maximum fällt allerdings der Leistungsbedarf trotz steigender Fahrgeschwindigkeit wieder ab. Die Erklärung hierfür liegt in dem Zykloidenverlauf der Fräsmesser, der sich mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit immer mehr streckt, denn

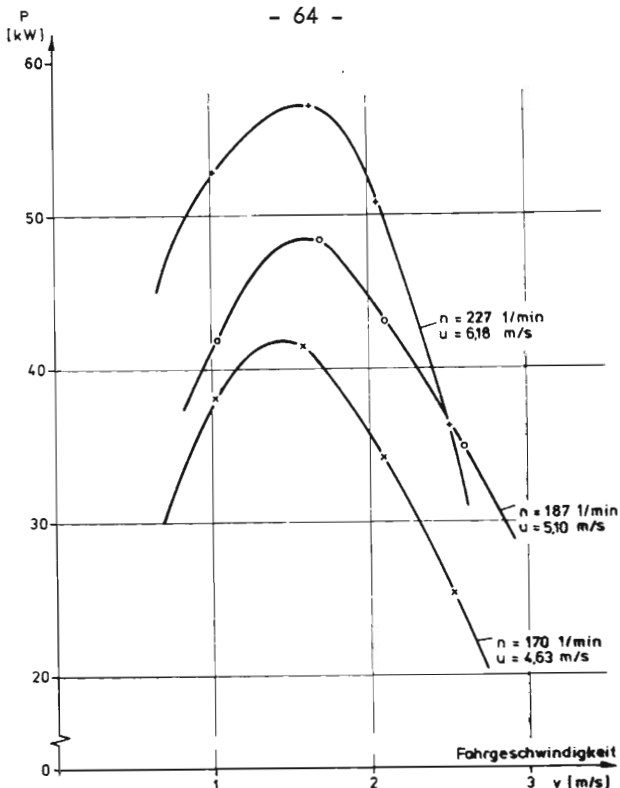


Abbildung 27: Leistungsbedarf der Fräse (Howard) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v (Pettenbrunn 8.8.72; Arbeitstiefe 9 cm)

die Fahrgeschwindigkeit v geht in die Formel der Zykloide direkt ein:

$$x = r \cdot \cos t + v \cdot t$$

$$y = r \cdot \sin t$$

Die Bissenlänge

$$l_B = \frac{v \cdot 60}{n \cdot z} \quad (\text{m})$$

wird bestimmt durch die Fahrgeschwindigkeit v , die Drehzahl n und die Zahl der Messer je Schnittebene z . Der theoretische Weg des Messers im Boden

$$l_M = 2 \sqrt{2 rh - h^2} + v \cdot \frac{\omega t - 90}{3 n} \quad (\text{m})$$

ist abhängig vom Fräsenradius r , der Arbeitstiefe h , der Fahrgeschwindigkeit v und der Drehzahl n . Wie in Abb. 9 zu sehen ist, wird mit steigender Fahrgeschwindigkeit ab einem bestimmten Wert die Bissenlänge l_B größer als der theoretische Weg des Messers im Boden l_M . Es wird also nicht mehr die gesamte Bodenoberfläche bearbeitet, dadurch das bearbeitete Bodenvolumen kleiner, und damit nimmt auch ab diesem Wert der Leistungsbedarf wieder ab. Je höher die Drehzahl ist, umso höher ist auch die Fahrgeschwindigkeit zum Zeitpunkt der maximalen Leistungsaufnahme (Abb.27).

Die spezifische Arbeit wird bei allen Drehzahlen mit steigender Fahrgeschwindigkeit deutlich geringer (Abb. 28). Diese Abnahme ist, zumindest im oberen Geschwindigkeitsbereich ab 2 m/s, leicht degressiv. KNITTEL (71) stellte für die Fräse die Beziehung her, daß die Zerkleinerungswirkung (ausgedrückt im sogenannten Zerkleinerungsgrad ZG, das ist der reziproke Wert des gewogenen mittleren Durchmessers der Bodenaggregate) mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit und damit auch zunehmender Bissenlänge ebenfalls degressiv abnimmt (Abb. 29).

Aus beiden Zusammenhängen, also spezifischer Arbeit und Fahrgeschwindigkeit einerseits (Abb.28) und Zerkleinerungsgrad und Fahrgeschwindigkeit (oder Bissenlänge) andererseits (Abb.29) ergibt sich nun eine direkte, lineare Beziehung zwischen spezifischer Arbeit und Zerkleinerungsgrad dergestalt, daß die Zunahme der spezifischen Arbeit um 100 kJ/m^3 den Zerkleinerungsgrad um 7 Einheiten erhöht (Abb. 30) . Diese Erhöhung des Zerkleinerungsgrades würde bedeuten, daß der gewogene mittlere Durchmesser (GMD) sich um 14,3 mm verringert ($ZG = \frac{100}{\text{GMD}}$ (1/mm)).

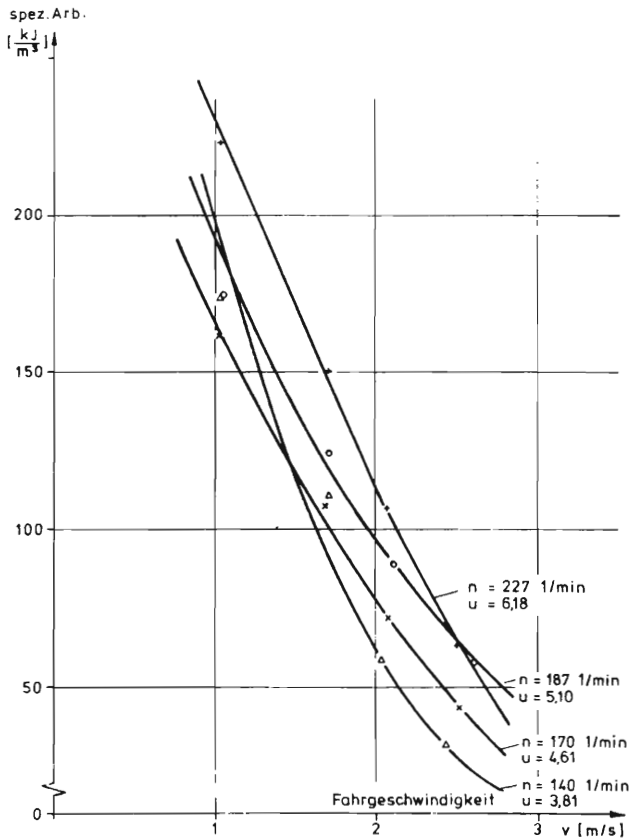


Abbildung 28: Spezifische Arbeit der Fräse (Howard) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v (Pettenbrunn 8.8.72; Arbeitstiefe = 9 cm)

Damit ist zumindest für die Fräse bewiesen, daß die spezifische Arbeit auch als Maßstab für die Zerkleinerungsintensität herangezogen werden kann. Es hängt also von der Bissenlänge ab, wie stark der Boden zerkleinert wird. In Abb.31 (für $z = 3$) und Abb.32 (für $z=2$) ist angegeben, bei welcher Rotordrehzahl und welcher Fahrgeschwindigkeit die Bissenlänge wie groß wird. Die gestrichelte, senkrechte Linie in der rechten Hälfte der Abbildungen gibt an, wo bei einer Arbeitstiefe von 9 cm die Bissenlänge l_B größer als der theoretische

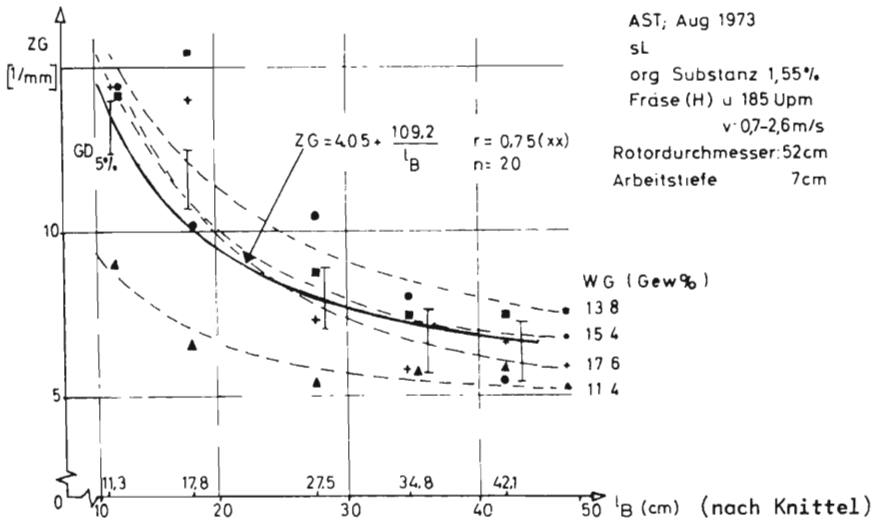


Abbildung 29: Einfluß der Bissenlänge (l_B) bei versch. Wassergehalt (WG) auf den Zerkleinerungsgrad (ZG) einer Fräse

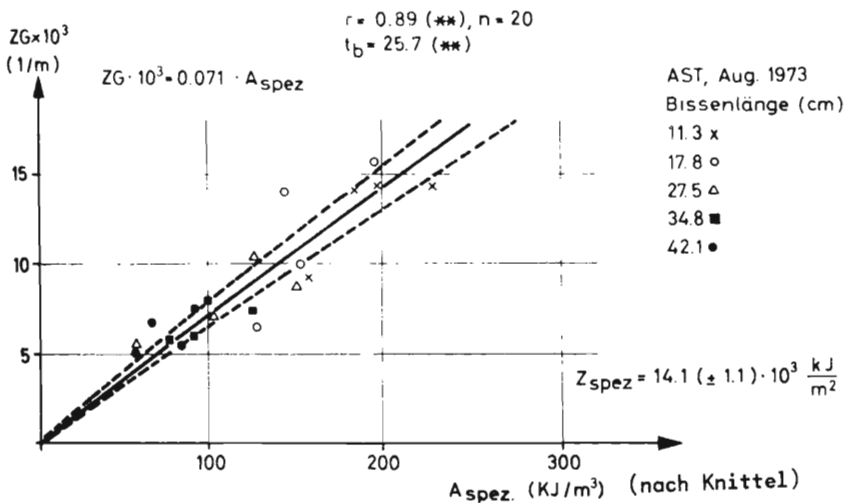


Abbildung 30: Beziehung zwischen spezifischer Arbeit (A_{spez}) und Zerkleinerungsgrad (ZG) einer Fräse

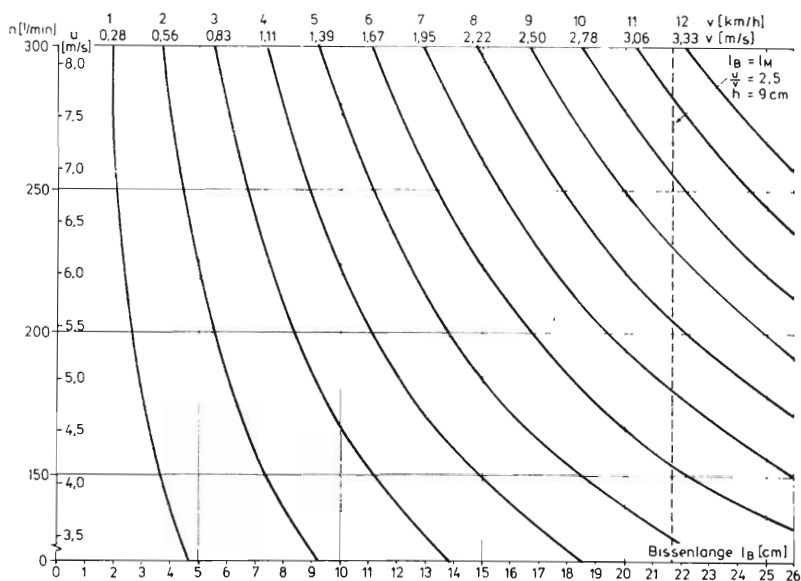


Abbildung 31: Beziehung zwischen Drehzahl n , Fahrgeschwindigkeit v und Bissenlänge l_B bei einer Fräse ($r = 0,26$ m $Z = 3$)

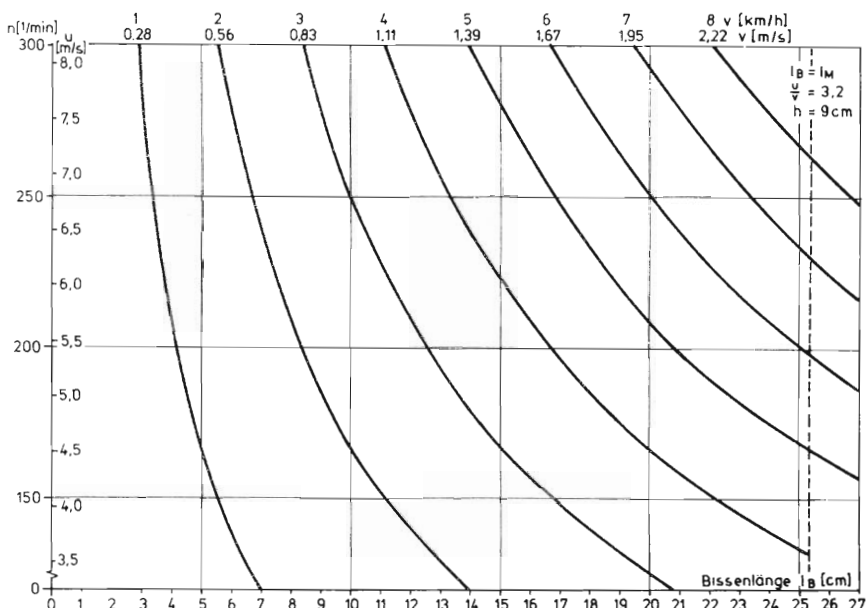


Abbildung 32: Beziehung zwischen Drehzahl n , Fahrgeschwindigkeit v und Bissenlänge l_B bei einer Fräse ($r = 0,26$ m $Z = 2$)

Weg des Messers im Boden l_M wird. Dies ist z.B. für $z = 3$ (Abb. 31) und einer Drehzahl von 250 1/min bei einer Fahrgeschwindigkeit von 2,70 m/s der Fall, für die geringere Drehzahl von 150 1/min bereits bei einer Fahrgeschwindigkeit von 1,60 m/s. Sind nur 2 Messer je Schnittebene angebracht, so werden diese Verhältnisse schon bei geringeren Fahrgeschwindigkeiten bzw. höheren Drehzahlen erreicht (Abb. 32).

3.5.2 Einfluß der Rotordrehzahl

Die Bissengröße kann außer über die Geschwindigkeitsveränderung auch über eine Drehzahlvariation verändert werden. Eine zunehmende Rotordrehzahl verkleinert die Bissenlänge und erhöht damit bei gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit den Leistungsbedarf (Abb. 33). Für die Fahrgeschwindigkeit $v = 2,5$ m/s sind die Drehzahlen von 140 bis 227 1/min zu gering, um eine intensive Bearbeitung der gesamten Oberfläche zu ermöglichen. Der Leistungsbedarf steigt daher im untersuchten Bereich nur auf etwa 37 kW an. Die langsameren Fahrgeschwindigkeiten haben einen höheren Leistungsbedarf bei allen Drehzahlen. Erst wenn eine gewisse Geschwindigkeit unterschritten wird (vergl. $v = 1,7$ und $v = 1,0$ m/s), so liegt die Leistungsbedarfskurve wieder niedriger, da dann der Boden zwar noch intensiver, aber pro Zeiteinheit weniger Fläche bearbeitet wird. Diese intensivere Bearbeitung bei langsamerer Geschwindigkeit wird aus Abb. 34 deutlich, wo der Anstieg der spezifischen Arbeit mit zunehmender Drehzahl für die Geschwindigkeit $v = 1,0$ am steilsten erfolgt und das höchste Niveau aufweist. Je höher die Geschwindigkeit wird, umso geringer ist die spezifische Arbeit über den gesamten Drehzahlbereich hinweg. Wenn auch die Form der Kurven nur schwer erklärbar ist, so bleibt doch als eindeutiges Ergebnis der Anstieg der spezifischen Arbeit mit wachsender Drehzahl des Rotors. Da bei konstanter Fahrgeschwindigkeit das bearbeitete Bodenvolumen annähernd

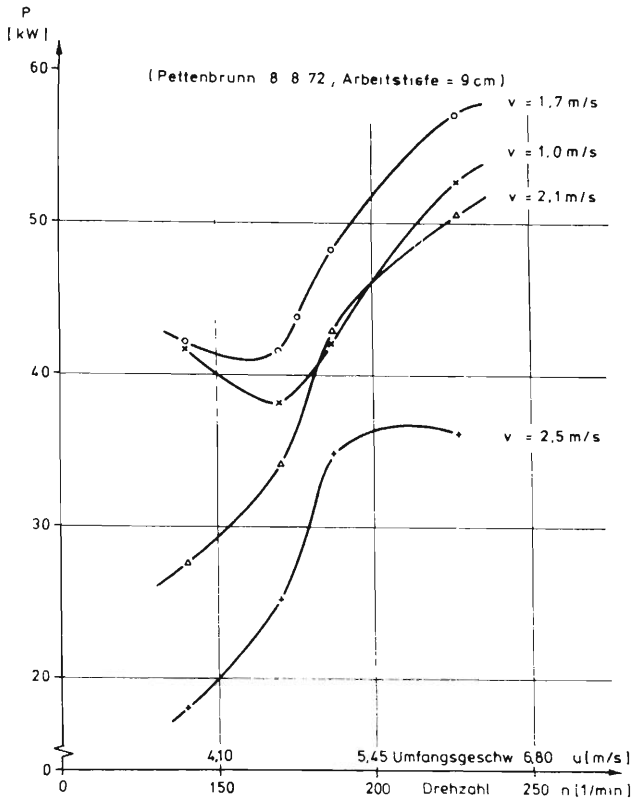


Abbildung 33: Leistungsbedarf der Fräse (Howard) in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl n

gleich bleibt, ist der Anstieg mit der Zunahme der Bearbeitungsintensität zu erklären, die durch die Verkleinerung der Bissenlänge bewirkt wird. Es sind hier also dieselben Beziehungen zwischen Bissenlänge und spezifischer Arbeit zu erkennen, wie das schon bei der Variation der Fahrgeschwindigkeit deutlich wurde. Es liegt also nahe, aus der Umfangsgeschwindigkeit u der Messer und der Fahrgeschwindigkeit v den Quotienten zu bilden, da diese beiden Größen die Bissenlänge bestimmen.

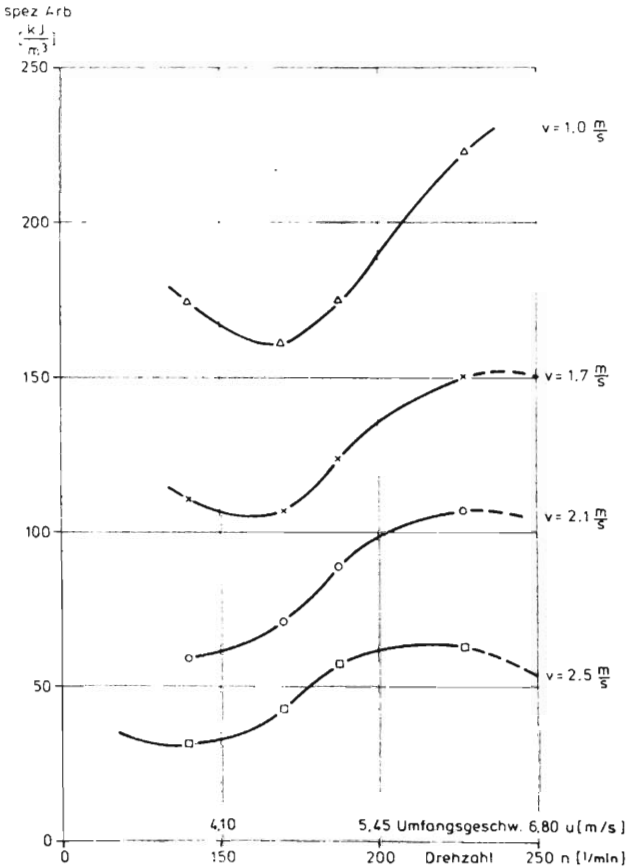


Abbildung 34: Spez.Arbeit der Fräse (Howard) in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl
Pettenbrunn, 8.8.72 (Arbeitstiefe 9 cm)

3.5.3 Einfluß des Verhältnisses u/v

Trägt man den Leistungsbedarf einer Fräse über dem jeweiligen Quotienten u/v auf, wie das in Abb.35 geschehen ist, so wird deutlich, daß für alle Drehzahlen bei einem bestimmten Verhältnis von u/v ein Maximum auftritt. Bei den unterstellten Fräsensdaten liegt es bei $u/v = 3,2$.

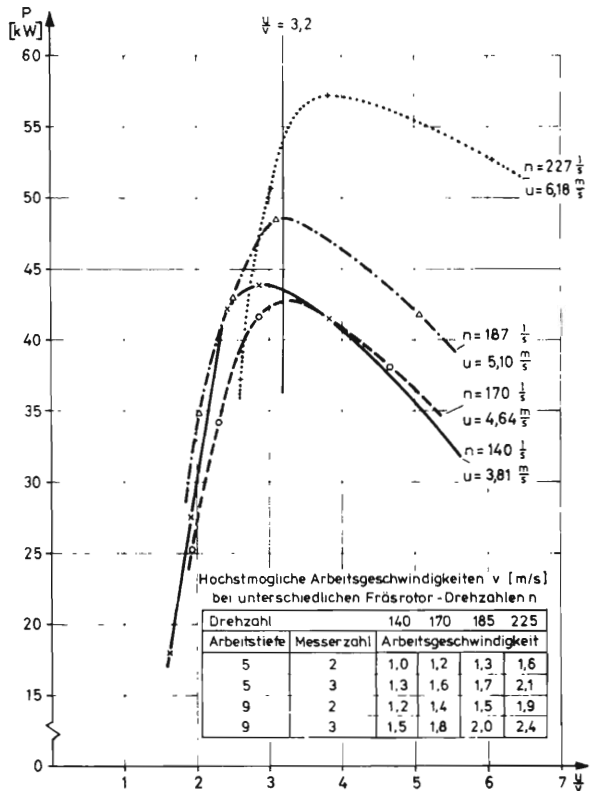


Abbildung 35: Leistungsbedarf einer Fräse bei unterschiedlichen Verhältnissen $\frac{u}{v}$ (u = Umfangsgeschwindigkeit, v = Vorfahrtgeschwindigkeit)

Als Erklärung dieser Tatsache ist anzunehmen, daß dann, wenn gerade noch die gesamte Oberfläche bearbeitet wird, also wenn l_B gleich l_M ist, die höchste Leistung verbraucht wird, da dann auch durch eine weitere Geschwindigkeitssteigerung das bearbeitete Bodenvolumen nicht mehr erhöht wird, wohl aber die Bearbeitungsintensität weiter abnimmt. Setzt man also

$$l_B = \frac{v \cdot 60}{n \cdot z} \quad \text{und} \quad l_M = 2\sqrt{2rh - h^2} + v \cdot \frac{\omega t - 90}{3n}$$

gleich, so errechnet sich für ein bestimmtes n die maximale Geschwindigkeit

$$v_{\max} = \frac{6 n z \sqrt{2rh - h^2}}{180 - z (\omega t - 90)}$$

Für einen bestimmten Fräsestyp mit definiertem Radius (r) und definierter Zahl von Messern je Schnittebene (z) errechnet sich dann je nach Drehzahl eine Umfangsgeschwindigkeit u . Setzt man diese ins Verhältnis zu der für $l_M = l_B$ errechneten Fahrgeschwindigkeit v_{\max} , so ergibt sich das für alle n bzw. u konstante Verhältnis u/v .

Beispiel : $r = 0,26 \text{ m}$
 $z = 3$
 $h = 9 \text{ cm}$

$n_1 = 140 \text{ 1/min}$	$u_1 = 3,81 \text{ m/s}$
$n_2 = 170 \text{ 1/min}$	$u_2 = 4,64 \text{ m/s}$
$n_3 = 187 \text{ 1/min}$	$u_3 = 5,10 \text{ m/s}$
$n_4 = 227 \text{ 1/min}$	$u_4 = 6,18 \text{ m/s}$

Für $l_B = l_M$ errechnet sich bei diesen Unterstellungen

$v_{\max 1} = 1,19 \text{ m/s}$
$v_{\max 2} = 1,45 \text{ m/s}$
$v_{\max 3} = 1,59 \text{ m/s}$
$v_{\max 4} = 1,93 \text{ m/s}$

Daraus ergibt sich

$$u_1/v_{\max 1} = u_2/v_{\max 2} = u_3/v_{\max 3} = u_4/v_{\max 4} = 3,2$$

Dasselbe läßt sich nun für alle Arbeitstiefen h und für die üblichen Messerzahlen je Schnittebene $z = 2$ und $z = 3$ durchführen. Die

Ergebnisse, also die Quotienten u/v , bei denen gerade noch die gesamte Oberfläche bearbeitet wird und wo dann der höchste Leistungsbedarf auftritt, sind in Abb. 36 eingezeichnet.

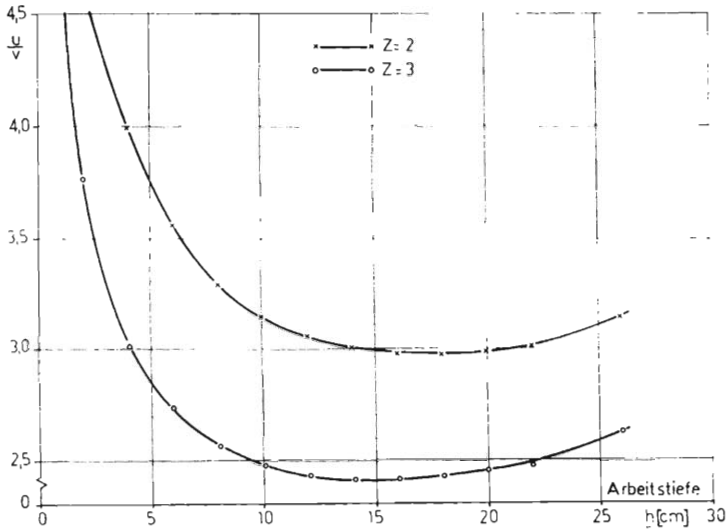


Abbildung 36: Verhältnis $\frac{u}{v}$ in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe h bei einer Fräse $r = 0,26$ m (gültig für alle n)

Daraus geht hervor, daß für eine Fräse mit dem Rotordurchmesser $r = 0,26$ m und zwei Messern je Schnittebene (obere Kurve) für eine Arbeitstiefe von 5 cm das Verhältnis $u/v = 3,75$ nicht unterschritten werden darf. Vergrößert man die Arbeitstiefe auf 10cm, so kann sich das Verhältnis u/v auf 3,2 verringern. Bei drei Messern je Schnittebene kann der Quotient u/v entsprechend geringer sein, für die Arbeitstiefen 5 und 10 cm 2,85 bzw. 2,5. Es ist für die Praxis von großer Wichtigkeit, daß dieses "minimale" Verhältnis u/v nicht unterschritten wird, denn dann wird die Bearbeitungstiefe sehr ungleich, die Wurzeln des einzuarbeitenden Bewuchses werden nicht vollständig abgeschnitten und auch die Druckschäden, verursacht

durch den Messerrücken, können zunehmen. Daher sind in Abb. 37 für $z = 2$ und in Abb.38 für $z = 3$ die höchstmöglichen Fahrgeschwindigkeiten v_{\max} in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl n und der Arbeitstiefe h angegeben. Mit zunehmender Arbeitstiefe bis etwa 10 cm kann die Fahrgeschwindigkeit bei konstanter Drehzahl ebenfalls zunehmen. Die einzelnen Kurven geben die maximalen Fahrgeschwindigkeiten für die Drehzahlen $n = 125$ bis $n = 250$ an.

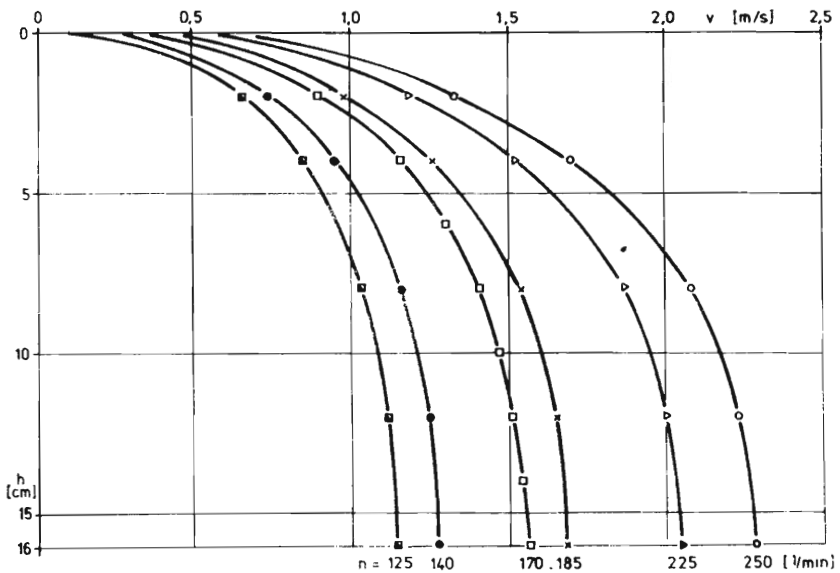


Abbildung 37: Maximale Fahrgeschwindigkeit v_{\max} ($l_B = l_M$) in Abhängigkeit von der Drehzahl n und der Arbeitstiefe h einer Fräse ($r = 0,26$, $Z = 2$)

Bei zwei Messern je Schnittebene (Abb.37) und einer Arbeitstiefe von 5 cm erlaubt die Drehzahl $n = 125$ 1/min höchstens eine Fahrgeschwindigkeit von 0,9 m/s, die Drehzahl $n = 250$ 1/min eine Geschwindigkeit von etwa 1,8 m/s. Genauso kann man die Werte für $z = 3$ aus Abb.38 herauslesen.

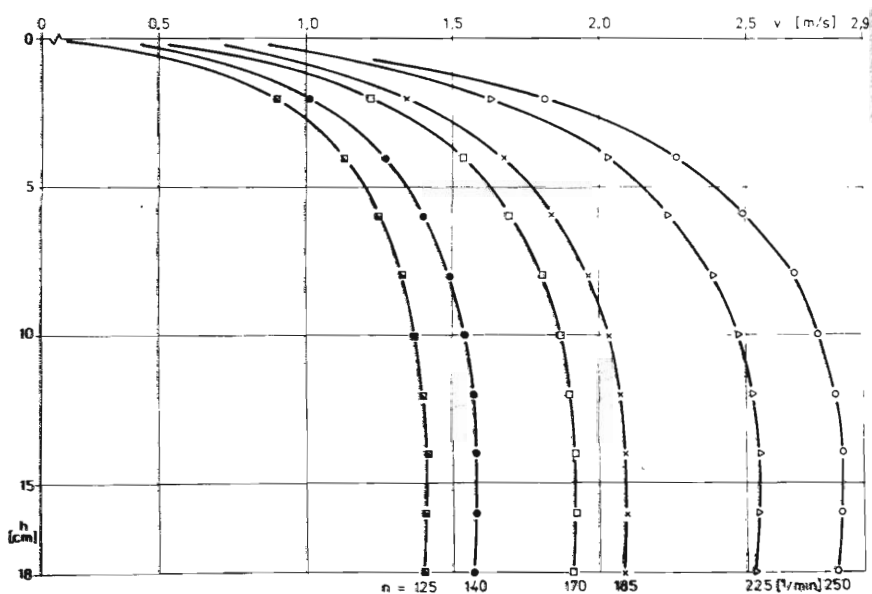


Abbildung 38: Maximale Fahrsgeschwindigkeit v_{\max} ($l_B = l_M$) in Abhängigkeit von der Drehzahl n und der Arbeitstiefe h ($r = 0,26$, $Z = 3$)

Das Verhältnis u/v ist also für den praktischen Einsatz der Fräse bedeutsam. Es bestimmt, genau wie bei der Kreiselegge, die spezifische Arbeit und damit die Zerkleinerungsintensität. In Abb. 39 ist dargestellt, daß eine Zunahme von u/v direkt eine lineare Zunahme der spezifischen Arbeit bewirkt. Da es den Anschein hatte, daß für die einzelnen Drehzahlen der logarithmierte Wert von u/v eine bessere Korrelation liefern würde, wie dies auch in Abb. 29 der Fall war, wurde die Beziehung auch in dieser Richtung untersucht. Es zeigte sich aber, daß das Bestimmtheitsmaß dieser leicht gebogenen Kurve nur unwesentlich über dem der Geraden liegt.

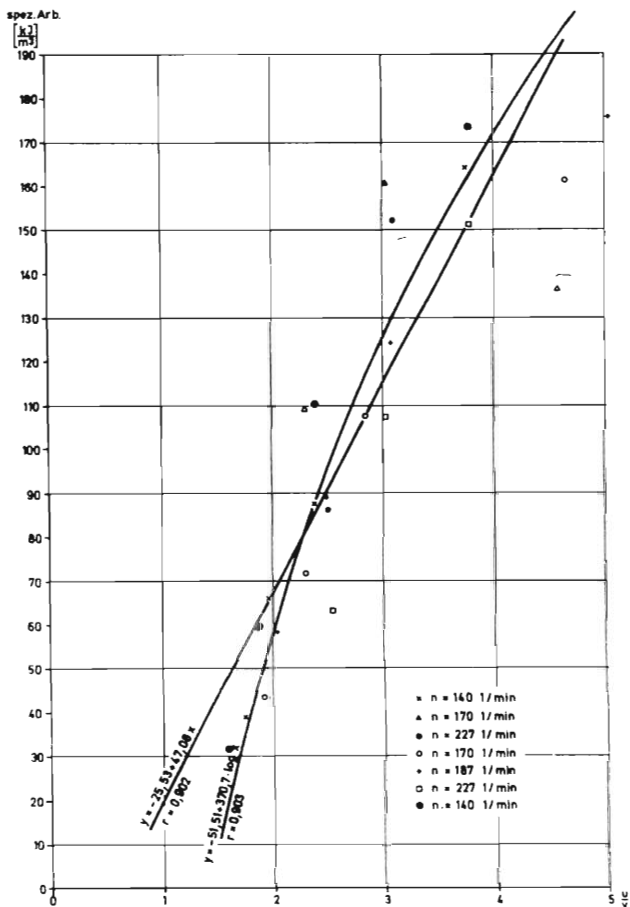


Abbildung 39: Spezifische Arbeit einer Fräse (Howard) in Abhängigkeit vom Verhältnis $\frac{U}{v}$ (Pettenbrunn 8.8.1972)

3.5.4 Einfluß der Arbeitstiefe

Mit zunehmender Arbeitstiefe im für die Praxis relevanten Bereich bis zu 15 cm steigt der Leistungsbedarf linear an. Dieser Anstieg verläuft für den 4-Messerrotor des Types Howard flacher als für den 6-Messerrotor des Types Rau (Abb.40). Dies gilt für einen nach der Getreideernte gleichmäßig verdichteten Boden auf dem Standort Fran-

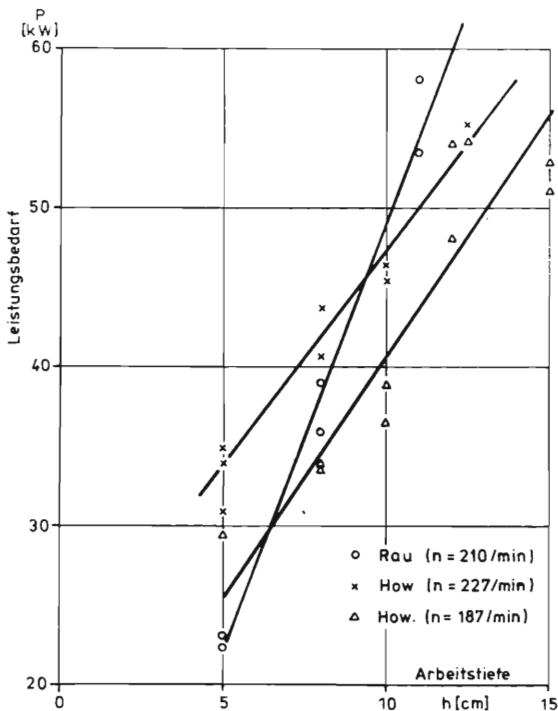


Abbildung 40: Leistungsbedarf der Fräse in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe h (Frankendorf, 2.9.1971 $v = 1,0$ m/s)

kendorf . Eine Verdoppelung der Arbeitstiefe von 5 auf 10 cm erbrachte bei der Fräse Rau eine Verdoppelung des Leistungsbedarfes von ca. 24 auf 49 kW. Bei der Fräse Howard, die bei 5 cm Arbeitstiefe für beide untersuchten Drehzahlen einen höheren Leistungsbedarf hatte, war der prozentuale Anstieg geringer, so daß bei 10 cm Arbeitstiefe ein niedrigerer Leistungsbedarf gemessen wurde als bei der Rau-Fräse.

Die spezifische Arbeit wird mit zunehmender Arbeitstiefe geringer

(Abb.41), was darauf schließen läßt, daß in den tieferen Schichten der Boden feuchter war und leichter zerkrümelte. Die Abnahme der spezifischen Arbeit flach aber ab etwa 10 bis 12 cm ab. Dies könnte auf eine stärkere Verdichtung in diesen Schichten hinweisen.

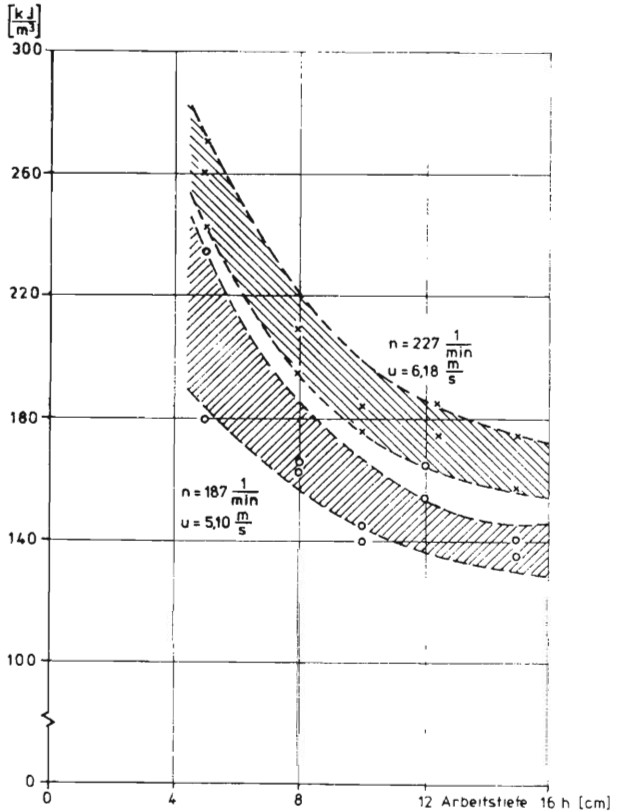


Abbildung 41: Spezifische Arbeit der Fräse (Howard) in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe h (Frankendorf 2.9.1971, $v=1,0$ m/s)

3.5.5 Einfluß von Bodenart und -feuchte

Der Einfluß der Bodenart kann nur bei sonst völlig gleichen Bedingungen ermittelt werden. Dies ist bei praxisnahen Feldversuchen kaum zu erreichen. Tendenzmäßig stellte sich aber heraus, daß der Leistungsbedarf mit zunehmendem Tonanteil steigt. Da der Einfluß der Bodenfeuchte eng damit zusammenhängt, wurden auf ein und demselben Versuchsfeld bei sonst gleichen Bedingungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten Versuchsreihen durchgeführt. So konnte der Einfluß der von ca. 18 Gew. % bis auf 11,4 Gew. % sich vermindernenden Bodenfeuchte auf den Leistungsbedarf (Abb.42) und die spezifische Arbeit (Abb.43) ermittelt werden.

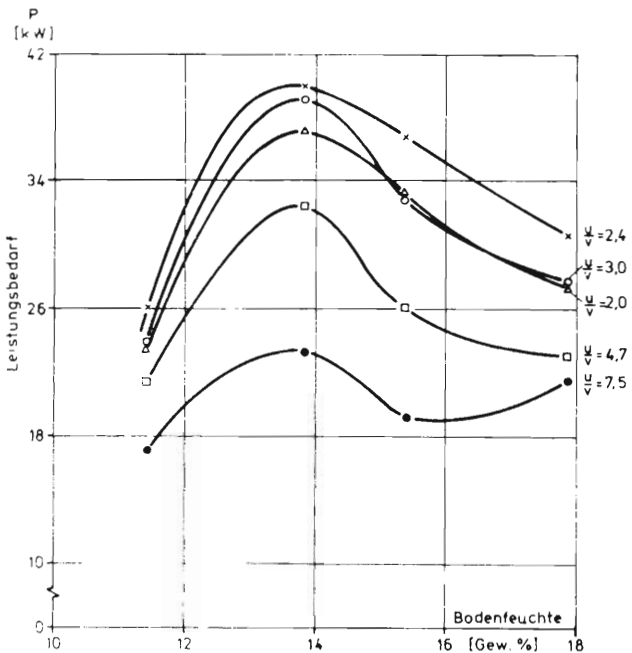


Abbildung 42: Leistungsbedarf der Fräse (Howard) in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte (Ast, August 1973 s.L.z = 2 h = 5 cm)

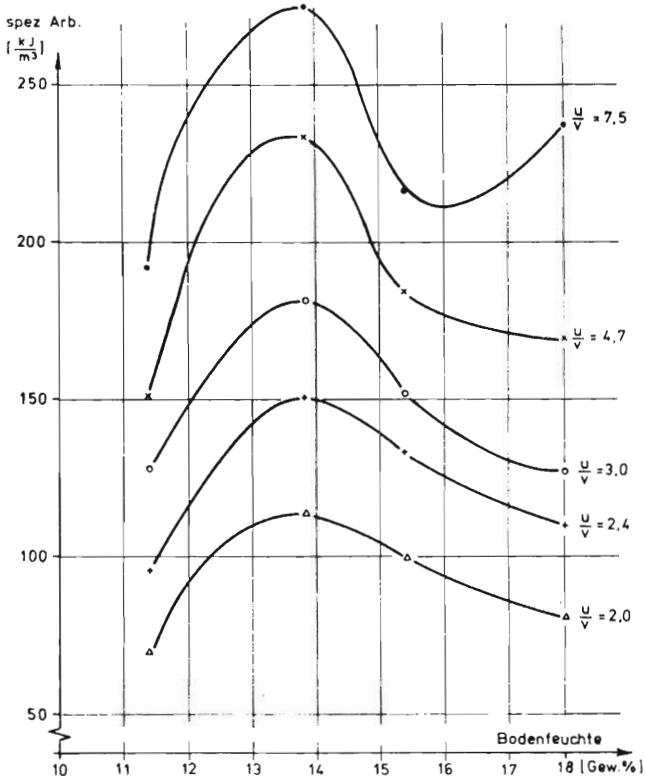


Abbildung 43: Spezifische Arbeit der Fräse (Howard) in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte (Ast, Aug. 73, s.L. z = 2, h = 5 cm)

Bei dem Boden handelte es sich um einen sandigen Lehm mit 13 % Ton, 13 % Schluff, 39 % Feinsand und 35 % Grobsand. Der Anteil der organischen Substanz betrug 1,55 %. Da die verschiedenen Bissenlängen nur durch die Variation der Fahrgeschwindigkeit, nicht durch eine Drehzahlveränderung erzielt wurden, liegt die Leistungsbedarfskurve für $u/v = 7,5$ (Abb.42) am niedrigsten, da die geringste Fahrgeschwindigkeit auch die kleinste Flächenleistung pro Zeiteinheit ermöglichte. Mit steigender Fahrgeschwindigkeit, also kleiner werdendem u/v , erhalten die Kurven ein höheres Niveau, weil die Flächen-

leistung zunimmt. Nur das kleinste Verhältnis $u/v = 2$ liegt wieder tiefer, da die Abnahme der Bearbeitungsintensität bei der hohen Geschwindigkeit stärker war als die Zunahme des bearbeiteten Bodenvolumens. Alle Kurven haben aber ihr Maximum gemeinsam bei knapp 14 % Feuchte. Dies wird ebenso bei der spezifischen Arbeit deutlich (Abb.43). Hier haben alle Kurven, vom kleinsten bis zum größten Verhältnis u/v , also von der größten bis zur kleinsten Bissenlänge ihr Maximum. KNITTEL (71), der gleichlaufend zu diesen Messungen die Zerkleinerungswirkung untersuchte, bestätigte, daß bei diesem Feuchtegehalt der gewogene mittlere Durchmesser der Bodenaggregate am kleinsten war.

Für die Bearbeitung dieses Bodens bei 14 % Bodenfeuchte wird also am meisten Leistung vom Gerät verlangt, und diese Leistung bewirkt den größten Zerkleinerungseffekt. Betrachtet man in diesem Zusammenhang noch einmal die Abbildungen 17 und 26, wo für die Standorte Roggenstein und Dürnast die Abhängigkeit der spezifischen Arbeit von der Bodenfeuchte dargestellt ist, so wird deutlich, daß der Feuchtegehalt zum Zeitpunkt der "optimalen" Zerkleinerung mit zunehmendem Sandanteil fällt. In Dürnast mit einem Sandanteil von 4 % liegt er bei 19,5 %, in Roggenstein mit 19 % Sandanteil bei etwa 17 % und in Ast mit 35 % Sandanteil bei 14 % Feuchte.

3.5.6 Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken

Der absolute Leistungsbedarf einer Fräse moderner Bauart kann mit dem Drehleistungsbedarf nahezu gleich gesetzt werden. Ein Zugleistungsbedarf tritt in der Regel nicht auf, eher ein Schub, der aber im optimalen Drehzahlbereich geringer ist als der Rollwiderstand von Schlepper und Fräse. Nur wenn die Drehzahl im Verhältnis zur Fahrgeschwindigkeit gering wird, wirkt der Fräsrotor wie ein

Antriebsrad und produziert größere Schubkräfte. So wurden Schub- bzw. Zugkräfte gemessen, die um den 0-Punkt schwanken, im Extrem aber bis auf 15 kN in die eine oder andere Richtung ausschlagen können.

Bei keinem anderen bisher behandelten Gerät schwankt der Gesamtleistungsbedarf in so weiten Grenzen, denn die Fräse kann sowohl auf gepflügtem als auch ungepflügtem Boden, zur flachen Saatbettbereitung und zur tieferen Einarbeitung von organischer Masse verwendet werden. Durch die Möglichkeit der Drehzahlvariation kann mit hoher Drehzahl und schneller Fahrgeschwindigkeit viel Leistung verbraucht werden, bei langsamer Drehzahl und geringer Fahrgeschwindigkeit wenig.

Bei den Bestellterminen in Roggenstein und Dürnast (Anhangstab. 7-9) traten Leistungsbedarfswerte auf, die auf gepflügtem Boden für eine 2,50 m breite Maschine im Mittel zwischen 30 und 35 kW lagen, auf ungepflügtem Boden 60 kW erreichten. Geht man davon aus, daß beim Fräsen die gesamte Motorleistung, abzüglich der Getriebeverluste, an den Rotor gebracht wird, so wäre für einen Leistungsbedarf von 60 kW eine Schlepperstärke von 70 kW nötig, eine Arbeitstiefe von ca. 6 cm und eine Fahrgeschwindigkeit von ca. 1,5 m/s unterstellt. Bei etwas größerer Arbeitstiefe und schnellerer Fahrgeschwindigkeit kann dies noch übertroffen werden. Die in der Praxis schon übliche Faustzahl von 40 PS (28 kW) pro 1 m Arbeitsbreite trifft also zu.

Gravierende Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Frästypen traten nicht auf. Die Rau-Fräse scheint in der Tendenz im Leistungsbedarf etwas niedriger zu liegen.

3.6 Zinkenrotor

Da der Zinkenrotor in seiner Arbeitsweise der Fräse sehr ähnlich ist, besonders was den Bewegungsablauf der Werkzeuge und ihre Abhängigkeit von Drehzahl und Fahrgeschwindigkeit anbelangt, so kann vieles, was für die Fräse gilt, auch für den Zinkenrotor übernommen werden.

3.6.1 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit

Der Bewegungsablauf der Zinken ist der gleiche wie bei einer Fräse, deren Kränze mit zwei Messern je Schnittebene besetzt sind. Die Zykloide zieht sich also auch hier mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit auseinander. Die Bissenlänge wird dabei größer und der Zerkleinerungseffekt geringer. Die Messungen ergaben daher in Übereinstimmung mit den Fräseergebnissen zuerst einen Anstieg des Leistungsbedarfes (Abb.44). Ab einer von der Drehzahl abhängigen Geschwindigkeit fällt der Leistungsbedarf wieder ab. Diese Geschwindigkeit wird bei einer Drehzahl von $n = 95$ 1/min, was einer Umfangsgeschwindigkeit von $2,88$ m/s entspricht, bereits bei etwa 1 m/s erreicht. Je höher die Drehzahl wird, umso später wird diese Geschwindigkeit erreicht, wo gerade noch die gesamte Oberfläche bearbeitet wird. Bei einer praxisgerechten Drehzahl von $n = 275$ 1/min beträgt sie etwa $2,5$ m/s. Die spezifische Arbeit nimmt mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit in einem deutlich hyperbolischen Verlauf ab (Abb.45). Die Abnahme ist degressiv und ab einer Fahrgeschwindigkeit von 2 m/s, besonders für die langsameren Drehzahlen, nur mehr schwach. Für kleine Drehzahlen ist die spezifische Arbeit gering und nimmt bei einer Geschwindigkeitssteigerung von 1 auf 2 m/s für $n = 95$ von etwa 20 auf 10 kJ/m³ ab, für die hohe Drehzahl von $n = 450$ 1/min dagegen von 170 auf 110 kJ/m³. Dies hängt genau wie bei der Fräse von der Bissengröße ab.

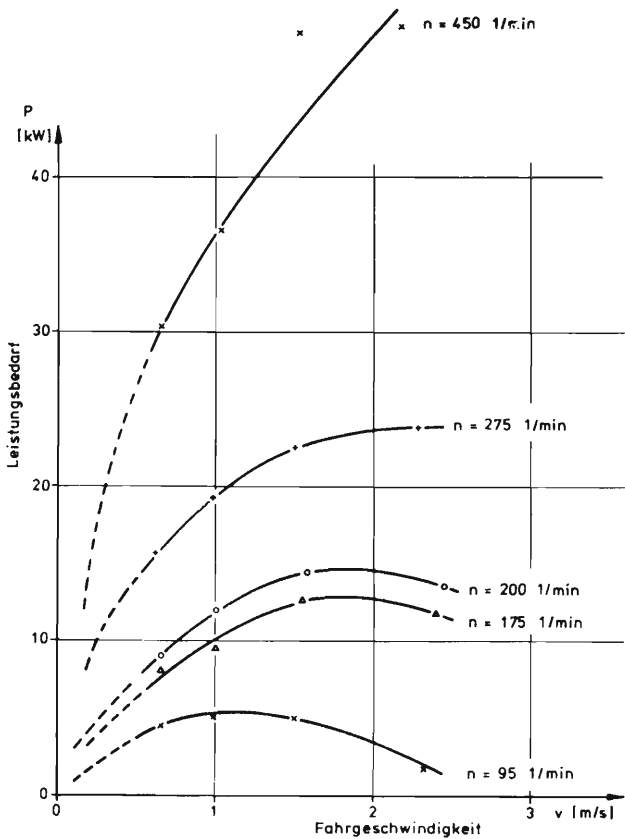


Abbildung 44: Leistungsbedarf des Zinkenrotors in Abhängigkeit von Drehzahl n und Fahrgeschwindigkeit v (Hagenau 24.8.73, Arbeitstiefe 10 cm)

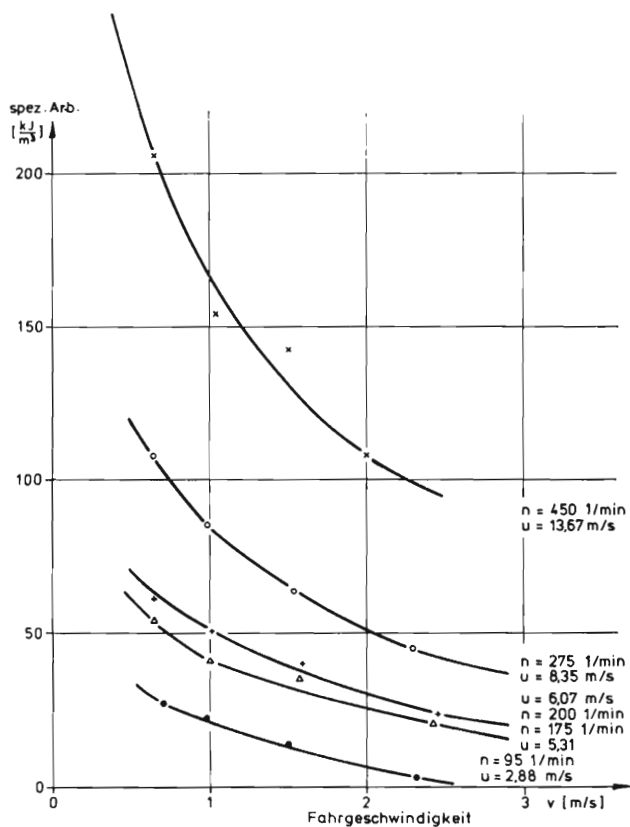


Abbildung 45: Spezifische Arbeit des Zinkenrotors in Abhängigkeit von Drehzahl n und Fahrgeschwindigkeit v (Hagenau, 24.8.73, Arbeitstiefe 10 cm)

3.6.2 Einfluß der Rotordrehzahl

Da die Bissengröße auch durch die Rotordrehzahl bestimmt wird, wurde dieser Einfluß auf den Leistungsbedarf ebenfalls untersucht (Abb. 46).

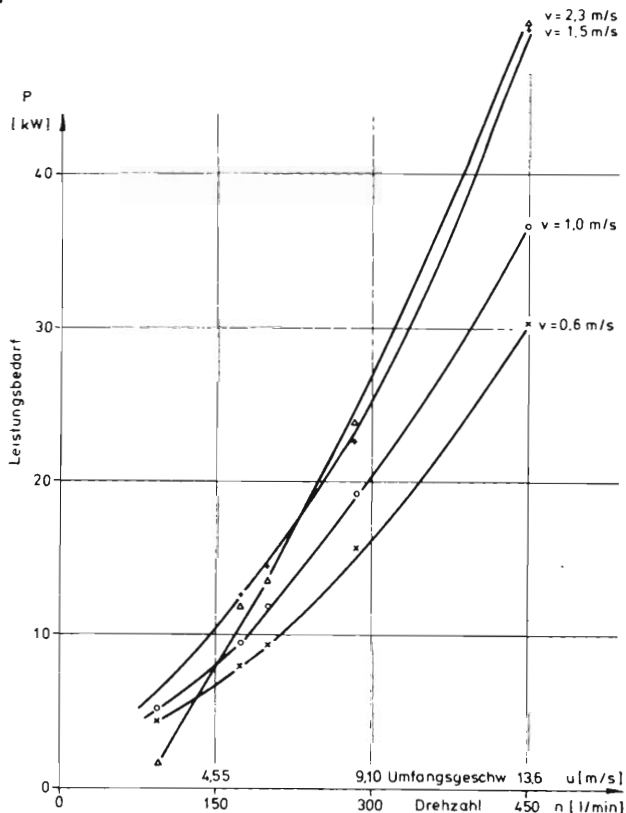


Abbildung 46: Leistungsbedarf des Zinkenrotors in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl n (Hagenau, 24.8.73, Arbeitstiefe 10 cm)

Steigert man bei gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit die Rotordrehzahl von $n = 95$ auf $n = 450$ 1/min, so steigt der Leistungsbedarf für alle untersuchten Fahrgeschwindigkeiten zwischen $v = 0,6$ und $v = 2,3$ m/s progressiv an. Daß für die hohe Geschwindigkeit $v = 2,3$ m/s

der Leistungsbedarf bei geringer Drehzahl unter dem der langsameren Geschwindigkeit liegt, kommt von der ungenügenden Bearbeitungsintensität. Mit zunehmender Drehzahl wird aber zunehmend die gesamte Oberfläche bearbeitet, so daß der Leistungsbedarf über die anderen Kurven hinaus auf etwa 50 kW ansteigt.

Die spezifische Arbeit (Abb. 47) nimmt mit wachsender Drehzahl progressiv zu. Dies ist bei geringer Fahrgeschwindigkeit und damit kleiner Bissenlänge stärker der Fall als bei hoher Fahrgeschwindigkeit und großer Bissenlänge.

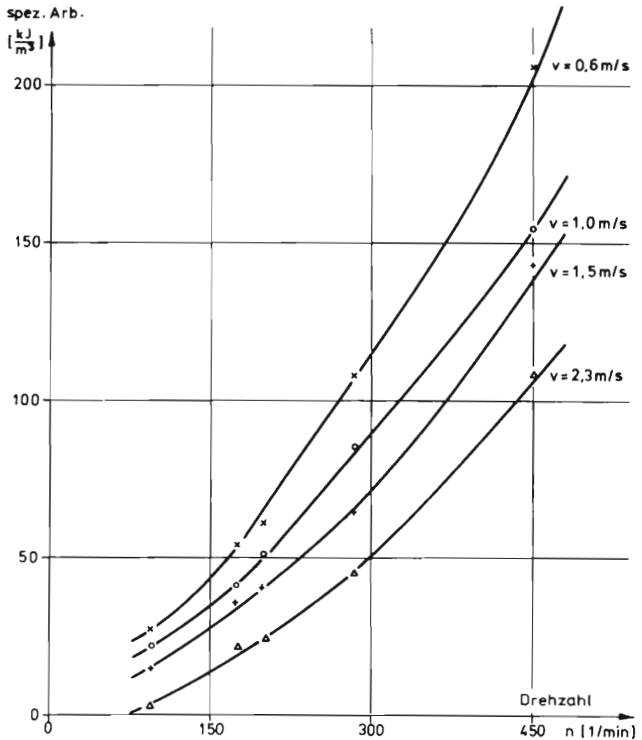


Abbildung 47: Spezifische Arbeit des Zinkenrotors in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl n (Hagenau, 24.8.73, Arbeitstiefe 10 cm)

Der progressive Kurvenanstieg würde bedeuten, daß der Leistungsbedarf und die spezifische Arbeit schneller steigen als die Drehzahlerhöhung. Daher wird es auch hier günstig sein, das Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit u und Fahrgeschwindigkeit v als Maßstab heranzuziehen.

3.6.3 Einfluß des Verhältnisses u/v

Mit zunehmendem Verhältnis u/v steigt bei den niederen Drehzahlen von $n = 95$ bis $n = 200$ 1/min der Leistungsbedarf zunächst an (Abb.48). Ab einem Verhältnis $u/v = 3,2$ nimmt er wieder ab. Bei den höheren Drehzahlen $n = 275$ und $n = 450$ 1/min lagen die Meßwerte alle im bereits wieder abnehmenden Bereich. Bei gleichem Verhältnis u/v , also gleicher Bissenlänge, nimmt der Leistungsbedarf mit der Drehzahl stark zu, da dann ja auch die Fahrgeschwindigkeit und damit die Flächenleistung ansteigt. Für die Drehzahl $n = 275$ 1/min und die Fahrgeschwindigkeit $v = 2,6$ m/s liegt der Leistungsbedarf bei $u/v = 3,2$ mit 24 kW etwa doppelt so hoch wie für die Drehzahl $n = 175$ 1/min und der Fahrgeschwindigkeit $v = 1,7$ m/s. Dies zeigt, wie auch aus Abb. 46 hervorgeht, daß der Leistungsbedarf bei gleicher Bissenlänge stärker ansteigt als die Drehzahlerhöhung. Diese Beziehungen werden noch deutlicher, wenn man den Einfluß des Verhältnisses u/v auf die spezifische Arbeit betrachtet (Abb.49). Im Gegensatz zur Kreiselegge und auch zur Fräse steigt die spezifische Arbeit nicht linear mit wachsendem Verhältnis u/v , sondern eine höhere Drehzahl bewirkt bei gleicher Bissenlänge eine höhere spezifische Arbeit. So beträgt z.B, bei einem Verhältnis $u/v = 8$, was nach der Formel

$$l_B = \frac{v \cdot 60}{n \cdot z} = \frac{v \cdot 2 \pi r}{u \cdot z}$$

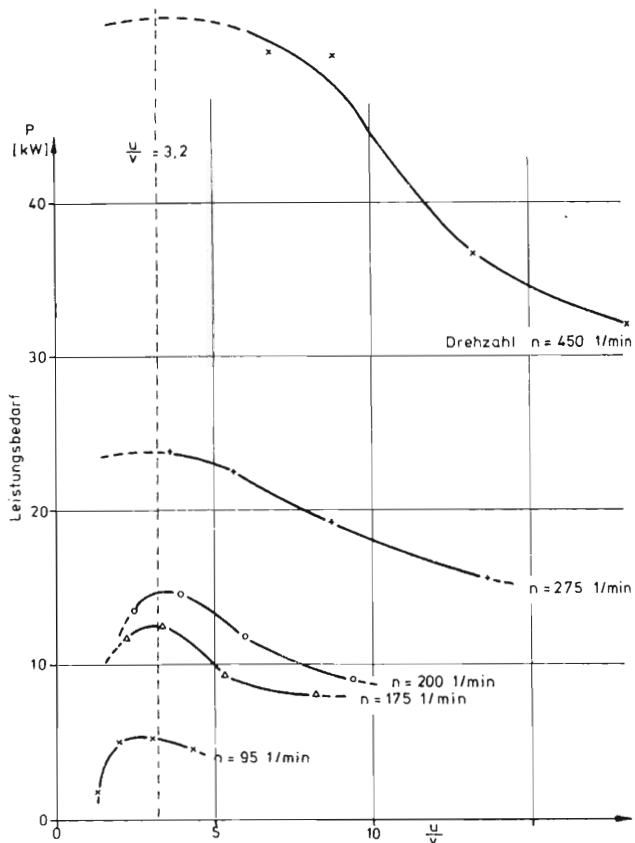


Abbildung 48: Leistungsbedarf des Zinkenrotors in Abhängigkeit vom Verhältnis $\frac{U}{V}$ (Hagenau, 24.8.73, Arbeitstiefe 11 cm)

einer Bissenlänge von etwa 11 cm entspricht, die spezifische Arbeit bei der Drehzahl $n = 175$ 1/min etwa 50 kJ/m^3 , bei der Drehzahl $n = 275$ 1/min schon 80 kJ/m^3 und bei der sehr hohen Drehzahl von 450 1/min sogar etwa 120 kJ/m^3 . Diese Erhöhung der spezifischen Arbeit wurde schon in Abb.47 durch den zunehmenden Anstieg der spezifischen Arbeit bei einer Drehzahlerhöhung deutlich. Die Begründung kann darin liegen, daß durch die größere Umfangsgeschwindigkeit der Zinken bei höherer Drehzahl die Bodenaggregate mehr zerkleinert werden und auch eine höhere Beschleunigung erfahren. Es scheint,

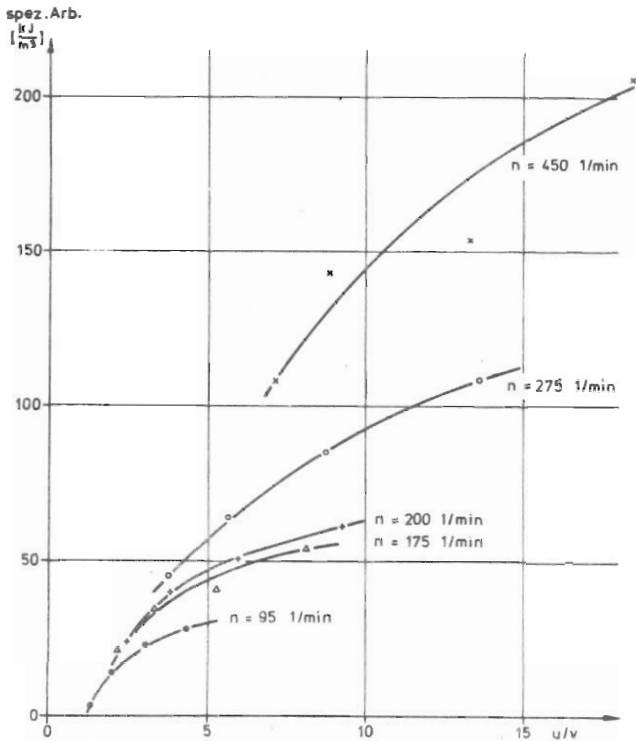


Abbildung 49: Spezifische Arbeit des Zinkenrotors in Abhängigkeit vom Verhältnis $\frac{u}{v}$ (Hagenau, 24.8.73; Arbeitstiefe 10 cm)

daß letzteres die Hauptrolle spielt, denn auch bei der Kreisel-egge bewirkte die Drehzahlerhöhung bei gleichem Verhältnis u/v keine Erhöhung der spezifischen Arbeit, da bei diesem Gerät die Bodenteile nicht in dem Maß durch die Luft gewirbelt und beschleunigt werden.

Wie bei der Fräse, so ergab sich auch für den Zinkenrotor ein bestimmtes Verhältnis u/v , wo, bedingt durch die beiden Komponenten

Flächenleistung und Zerkleinerungsgrad, der Leistungsbedarf ein Maximum aufweist (Abb.48). Dieses Verhältnis, im dargestellten Beispiel $u/v = 3,2$, errechnet sich für den Fall, daß der eine der beiden gegenüberstehenden Zinken den Boden genau da verläßt, wo der andere in den Boden eingedrungen ist, wo also die Bissenlänge l_B gleich dem theoretischen Weg des Zinkens im Boden l_M ist. Die maximalen Fahrgeschwindigkeiten, bei denen, in Abhängigkeit von der Drehzahl, gerade noch die gesamte Oberfläche bearbeitet wird, sind in Abbildung 50 dargestellt.

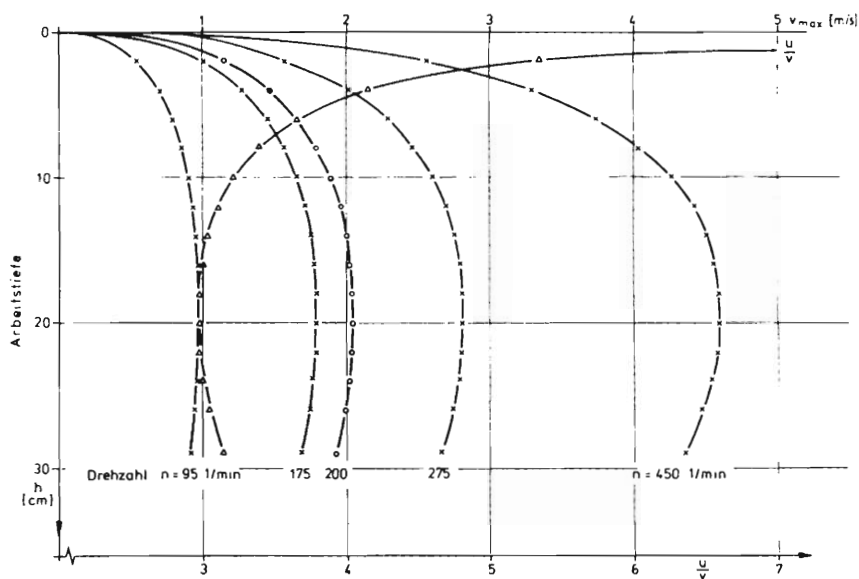


Abbildung 50: Maximale Fahrgeschwindigkeit v_{max} und minimaler Quotient $\frac{u}{v}$ für $l_B = l_M$ des Zinkenrotors in Abhängigkeit von Drehzahl n und Arbeitstiefe h

Die Arbeitstiefe wirkt sich dergestalt aus, daß mit ihrer Vergrößerung bis auf 20 cm auch die Fahrgeschwindigkeit steigen kann. Die langsame Drehzahl von $n = 95$ 1/min erlaubt demnach keine Fahrgeschwindigkeiten über 1 m/s. Die in der Praxis üblichen Drehzahlen

zwischen 175 und 275 1/min gestatten bei der Arbeitstiefe von 10 cm Geschwindigkeiten zwischen 1,6 und 2,6 m/s. Die sehr hohe Drehzahl von 450 1/min würde bei dieser Arbeitstiefe eine Fahrgeschwindigkeit von über 4 m/s zulassen, was aber mit einem sehr hohen Leistungsbedarf verbunden ist. (s. Abb.48).

Das minimale Verhältnis u/v , für das die beschriebenen Beziehungen gelten, ist ebenfalls in Abb. 50 eingezeichnet. Mit zunehmender Arbeitstiefe nimmt es ab, erreicht bei der Arbeitstiefe 10 cm den Wert 3,2 und hat ihr Minimum mit knapp 3,0 bei einer Arbeitstiefe von etwa 20 cm. Hier haben die "Schlaufen" der Zykloide ihren größten "Durchmesser". Ein noch tieferes Eintauchen des Zinkens würde den theoretischen Weg des Zinkens, also die Entfernung vom Eindringen bis zum Verlassen des Bodens, wieder verkürzen und das Verhältnis u/v müßte wieder größer werden. Die großen Arbeitstiefen werden aber in der Praxis kaum verlangt.

3.6.4 Einfluß der Arbeitstiefe

Eine Zunahme der Arbeitstiefe im untersuchten Bereich von 5 bis 15 cm bewirkte beim Zinkenrotor einen linearen Anstieg des Leistungsbedarfes (Abb.51). Dieser Leistungsbedarf ist bei langsamer Fahrgeschwindigkeit (1 m/s) und niedriger Drehzahl (175 1/min) natürlich geringer als bei schneller Fahrgeschwindigkeit (2,5 m/s) und hoher Drehzahl (245 1/min). So stieg unter den Verhältnissen des Standortes Schlüterhof der Leistungsbedarf für $v = 1,0$ m/s und $n = 175$ 1/min bei einer Vergrößerung der Arbeitstiefe von 5 auf 15 cm linear von etwa 4 auf 27 kW, also pro 1 cm Arbeitstiefe um 2,3 kW. Eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf 2,5 m/s bewirkte, daß die Vergrößerung der Arbeitstiefe um 1 cm eine Leistungssteigerung von 2,8 kW ausmachte. Bei der höheren Drehzahl von $n = 245$ 1/min betrug die Werte für $v = 1,0$ m/s ebenfalls 2,8 kW, für $v = 2,5$ m/s 3,8 kW pro 1 cm Arbeitstiefe.

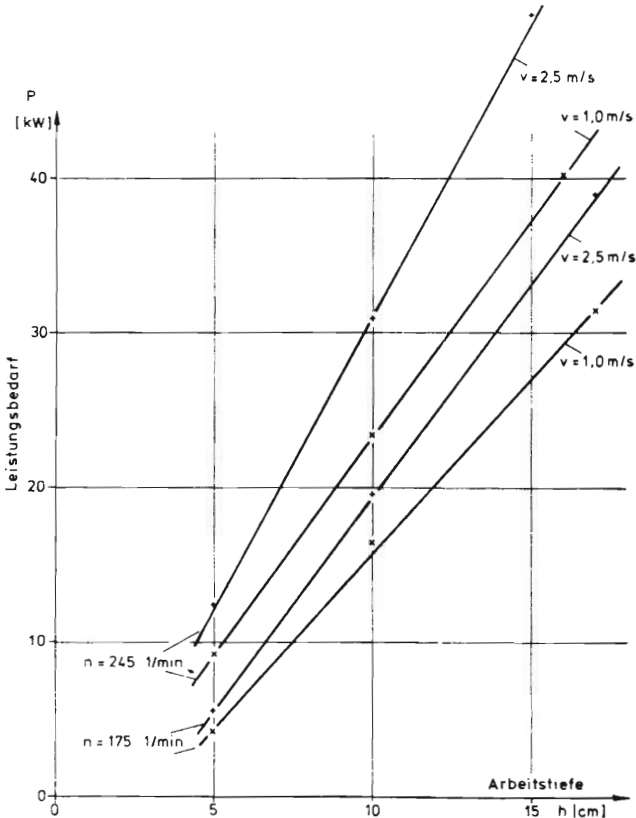


Abbildung 51: Leistungsbedarf des Zinkenrotors in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe h (Schlüterhof 14.5.73)

Die spezifische Arbeit des Zinkenrotors in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe zeigt einen degressiven Anstieg für die beiden untersuchten Drehzahlen und die beiden Fahrgeschwindigkeiten (Abb.52). Der Anstieg kann mit der Zunahme der Lagerungsdichte, die Verminderung des Anstieges mit der Zunahme der Bodenfeuchte erklärt werden. Die Kurven für die langsame Fahrgeschwindigkeit liegen wegen der geringeren Bissenlänge über denen mit der höheren Fahrgeschwindigkeit. Die Vergrößerung der Fahrgeschwindigkeit von 1,0 auf 2,5 m/s

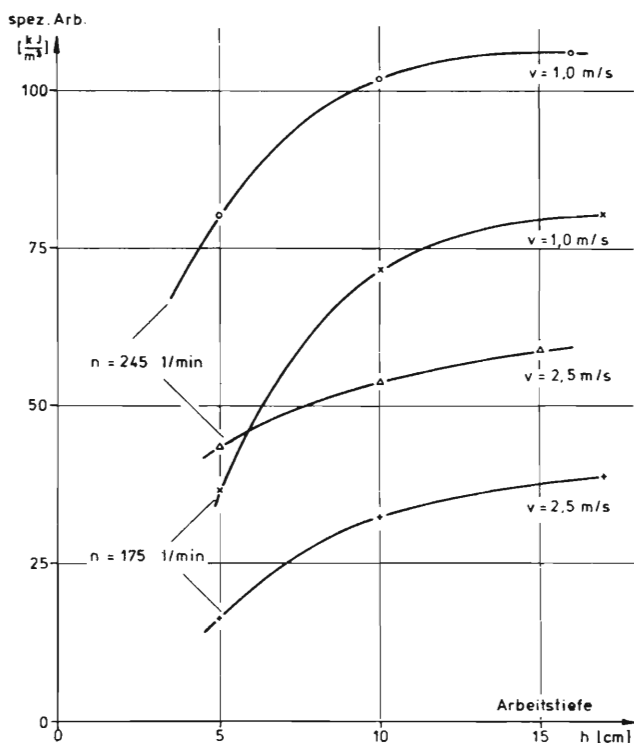


Abbildung 52: Spezifische Arbeit des Zinkenrotors in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe h (Schlüterhof 14.5.73)

verminderte auf dem Standort Schlüterhof die spezifische Arbeit etwa um die Hälfte.

3.6.5 Absoluter Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken

Den absoluten Leistungsbedarf des Zinkenrotors kann man mit der Drehleistung gleichsetzen, denn wie bei der Fräse fällt der Zugleistungsbedarf nicht ins Gewicht. Auch hier traten bei den Untersuchungen abwechselnd Zug- und Schubkräfte auf, die bei dem 2.30 breiten Versuchs-

gerät maximal zwischen + 5 und - 5 kN schwankten. So ergeben sich Leistungsbedarfswerte, wie sie als Drehleistung in den beschriebenen Versuchen gemessen wurden. Sie lagen zur Frühjahrsbestellung auf gepflügtem Boden, bei einer Arbeitstiefe von bis zu 10 cm und einer Drehzahl von 275 1/min zwischen 25 und 30 kW, auf frischer Herbstfurche zwischen 35 und 40 kW. Nimmt man das Mittel der letzten Werte, um dementsprechend den Schlepper zu dimensionieren, so ergibt sich bei 85 % Getriebewirkungsgrad für das 2.30 m breite Gerät eine notwendige Schlepperstärke von 33 kW, also von 19 kW je 1 m Arbeitsbreite.

3.7 Hubkräfte

Die am Schlepper direkt angebauten Bodenbearbeitungsgeräte müssen nicht nur angetrieben und gezogen, sondern zum Transport und während des Wendens ausgehoben und getragen werden. Bei der sehr kurzen Bauweise der Zapfwellengeräte macht das keine Schwierigkeit. Aber die Koppelung mit Drillmaschinen, seien sie aufgebaut oder hinten aufgesattelt, lassen den Hubkraftbedarf oft in einem Maße ansteigen, daß er zum begrenzenden Faktor werden kann. Daher erschien es notwendig, diesen Hubkraftbedarf zu ermitteln.

3.7.1 Meßmethoden

Die Kraft, die senkrecht auf die Unterlenkerarme in den Anlenkpunkten angreift, ist dem Druck in der Hydraulikanlage genau proportional. Daher wurde ein Druckmeßgeber in die Hydraulikanlage des Versuchsschleppers eingebaut und in einem Standversuch ein Kraft-Druck-Diagramm ermittelt. So war es möglich, nicht nur die statischen Kräfte beim Ausheben der Maschine, sondern den Kraftverlauf auch während der Fahrt über eine Holperstrecke zu ermitteln. Auf dieser Hol-

perstrecke sollten Verhältnisse simuliert werden, die der Fahrt auf schlechten Feldwegen entsprechen oder dem Wenden am Feldrand, wenn z.B. ein Schlepperrad vom Rain in die Pflugfurche fährt. Dazu wurden auf einer Asphaltbahn vier Hindernisse aufgebaut:

1. Der Schlepper fährt mit dem rechten Vorderrad und dem rechten Hinterrad über einen 10 cm hohen Keil
2. Der Schlepper fährt mit allen vier Rädern über zwei 10 cm hohe Keile
3. Wie 1. nur hat der Keil eine Höhe von 20 cm
4. Wie 2. nur haben die Keile eine Höhe von 20 cm

3.7.2 Ergebnisse der Versuche

An sechs Minimal-Bestellmaschinen, und zwar an der Grubberdrille (R), der Grubberdrille (T), der Rüttelegge mit Drillmaschine, der Kreiselegge mit Drillmaschine, der Fräsdrille (H) und der Fräsdrille (R) wurde der Hubkraftbedarf im Standversuch gemessen. Dabei war der Saatkasten bei der ersten Messung leer, bei der zweiten mit Saatgut gefüllt. Bei den Fräsdrillen setzt sich während der Arbeit mehr oder weniger viel Erde am Paralleldeckel über den Fräsmessern fest, so daß dies bei den Messungen mit zusätzlichem 100 kg Gewicht berücksichtigt wurde. Bei der Grubberdrille "Tume" kommen zu den 240 kg Saatkasteneinhalt noch weitere 360 kg für den Inhalt des Düngerkastens zur Unterfußdüngung. In Tab. 4 sind die Gewichte und der maximale Hubkraftbedarf für die leeren und mit Saatgut gefüllten Maschinen angegeben.

Tab.4 : Gewicht und maximaler Hubkraftbedarf von Minimalbestell-
maschinen (Arbeitsbreite: 2,50 m, Kreiselegge 3,00 m)

Gerät	Gewicht	Saatgut	Hubkraft	Hubkraft
	leer (kp)	(kp)	leer (kN)	voll (kN)
Grubberdrille (R)	625	200	16,0	19,0
Grubberdrille (T)	610	240+360	10,5	19,5
Rüttelegge + Drillmaschine	815	200	15,5	20,0
Kreiselegge + Drillmaschine	1160	350	20,0	28,0
Fräsdrille (R)	1000	200	20,5	23,5
Fräsdrille (H)	1300	200	23,0	26,0

Der Hubkraftbedarf wird bestimmt durch das Gewicht der Maschine, den Schwerpunktabstand und die Schwerpunktverlagerung während des Aushebens. So ergibt eine steile Oberlenkerstellung einen höheren Hubkraftbedarf als eine flache, da die Maschine bei gleicher Unterlenkerhöhe im Schwerpunkt höher ausgehoben wird. Die sehr kompakt gebaute und kurz angehängte Grubberdrille "Tume" erreicht mit gefülltem Saat- und Düngerkasten ein Gesamtgewicht von etwa 1200 kp. Um diese auszuheben, muß eine Hubkraft von 19,5 kN oder etwa 2000 kp aufgebracht werden. Die im Gesamtgewicht um 200 kp leichtere Rütteleggenkombination dagegen erfordert eine größere Hubkraft, da die hinten angehängte Drillmaschine den Schwerpunkt weit nach hinten verlagert. Das gleiche wird beim Vergleich der Kreiseleggenkombination mit der Howard-Fräsdrille (beide gleiches Gesamtgewicht) deutlich.

Wesentlich größer ist die Belastung der Kraftheberanlage beim Transport der Geräte auf unebener Fahrbahn, besonders bei gefülltem Saatgutbehälter. Diese Verhältnisse wurden auf einer Holperstrecke simuliert. Der Druckverlauf im Hydrauliksystem und die dynamische Belastung sind in Abb. 53 aufgezeichnet. Für diese Versuche wurde der Schlep-

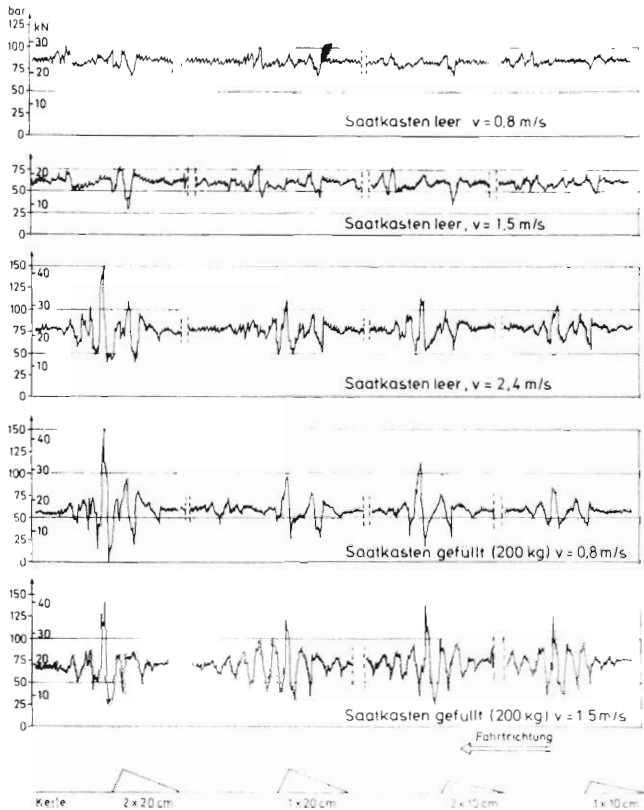


Abbildung 53: Druckverlauf und dynamische Belastung im Hydraulikzylinder für Rüttelegge mit Drillmaschine auf einer Holperstrecke

per Deutz D 100 06 mit dem Kraftheber ZP KR 25 verwendet. Die Konstruktion, das Material und die Kinematik von Dreipunktgestänge und Kraftheberanlage und in gewissem Grade auch die Stelle der Druckmessung innerhalb des Hydrauliksystems beeinflussen die Höhe der Druckspitzen bei der dynamischen Messung des Druckverlaufes. So sind die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere Verhältnisse, z.B. andere Schlepper, zu übertragen. Trotzdem können sie Anhaltspunkte geben, in welchem Maße die Kraftheberanlage bei derartigen Maschinen belastet wird.

Die Meßstrecke mit den vier Hindernissen wurde mit der angehängten Rüttelegge + Krümelwalze + Drillmaschine dreimal leer durchfahren, und zwar mit den Geschwindigkeiten $v_1 = 0,8 \text{ m/s} = 2,9 \text{ km/h}$, $v_2 = 1,5 \text{ m/s} = 5,5 \text{ km/h}$ und $v_3 = 2,4 \text{ m/s} = 8,5 \text{ km/h}$. Bei den Meßfahrten 4 und 5 war der Saatkasten mit 200 kg gefüllt. Da bereits bei der Meßfahrt 3 (leer, 8,5 km/h) der Anbaubock der Rüttelegge sich zu verbiegen begann, wurde auf die Meßfahrt 6 (200 kg, 8,5 km/h) verzichtet. Der Schlepper wurde durch die Schwingungen vorne z.T. so stark entlastet, daß die Lenkfähigkeit sehr stark litt. Aus diesen Gründen konnte auch auf Messungen an anderen Maschinen verzichtet werden, weil keine höheren Druckspitzen in der Hydraulik zu erwarten waren und die Gefahr der Beschädigung der Maschinen sehr groß war.

Das ausgehobene Gerät erzeugte auf ebener Fahrbahn einen Druck von etwa 75 bar, was einer Kraft an den Anlenkpunkten der Unterlenker von 21 kN entspricht. Beim Überfahren der Keile mit hoher Geschwindigkeit (8,5 km/h) oder mit einem Füllgewicht von 200 kp kann es kurzzeitig zu Stoßbelastungen von mehr als 150 bar kommen, was 43 kN entspricht.

Durch das Verbiegen des Anbaubockes der Rüttelegge ab Meßfahrt 3 wurde die dynamische Belastung kleiner, da auf die Unterlenker mehr Druck in horizontaler Richtung wirkte. Sonst wäre, wie aus Abb. 53 zu ersehen ist, bei gefülltem Saatkasten die mittlere Hubkraft um ca. 6 - 8 kN gestiegen, und auch die Spitzen müßten dementsprechend höher liegen. Eine Verdreifachung des Druckes konnte aber trotzdem gemessen werden.

Aus den vorstehenden Kapiteln ging hervor, daß für den Betrieb von Zapfwelleneggen mit einer Arbeitsbreite von bis zu 3,00 m Schlepperstärken von 45 bis 60 kW nötig sind. Das Hubkraftvermögen dieser Schleppergrößen liegt je nach Fabrikat zwischen 20 kN und 32 kN. Die Rüttelegge mit Krümelwalze und gefülltem Saatkasten benötigt,

um aus dem Stand ausgehoben zu werden, ca. 23 kN, die Kreiseleggenkombination (3,00 m) ca. 28 kN. Hieraus wird deutlich, daß das Krafthebersystem unter Umständen eher zum begrenzenden Faktor werden kann als vielleicht die vorhandene Motorleistung.

3.8 Diskussion der Ergebnisse

Die Ermittlung des Leistungsbedarfes verschiedener Bodenbearbeitungssysteme hat auf der einen Seite den Zweck, den absoluten Leistungsbedarf für die jeweiligen Verhältnisse zu bestimmen, um so Empfehlungen für die notwendigen Schlepperstärken geben zu können. Andererseits kann damit auch ein Parameter für die Zerkleinerungswirkung des Werkzeuges im Boden in Form der spezifischen Arbeit gefunden werden. Für das Beispiel Fräse wurde diese Beziehung in Zusammenarbeit mit KNITTEL (71) eindeutig gefunden. Eine Verkleinerung der Bissengröße bzw. eine Vergrößerung des Verhältnisses u/v bringt eine Vergrößerung der spezifischen Arbeit und eine Erhöhung des Zerkleinerungsgrades mit sich. Eine direkte lineare Beziehung zwischen spezifischer Arbeit und Zerkleinerungsgrad ist damit hergestellt. Dies dürfte im selben Maße auch für die Kreiselegge zutreffen, da auch hier die spezifische Arbeit linear mit der Vergrößerung des Verhältnisses u/v ansteigt. Bei Geräten mit hoher Werkzeuggeschwindigkeit, wie z.B. beim Zinkenrotor, ist die spezifische Arbeit bei gleichem Verhältnis u/v außerdem noch von der Rotordrehzahl, und damit der Beschleunigung der Bodenteilchen, abhängig. Eine höhere Beschleunigung ergibt bei gleicher Bissenlänge eine höhere spezifische Arbeit. Ob sich der Zerkleinerungsgrad hier ebenfalls linear zur spezifischen Arbeit verhält, muß in weiteren Untersuchungen noch ermittelt werden.

Die Zusammenhänge zwischen spezifischer Arbeit und Zerkleinerungsgrad werden auch deutlich beim Einfluß der Bodenfeuchte. Bei einem von der Bodenart abhängigen Feuchtegehalt haben sowohl die spezifische Arbeit als auch der Zerkleinerungsgrad ihre höchsten Werte. Fällt oder steigt der Bodenfeuchtegehalt, so werden die Werte geringer. Das heißt also: je mehr Arbeit man in die Bearbeitung eines bestimmten Bodenvolumens hineinsteckt, umso größer ist die Zerkleinerungswirkung. Der Feuchtegehalt des Bodens spielt dabei nur insofern eine Rolle, als zur Erzielung eines bestimmten Zerkleinerungsgrades unterschiedliche Bissengrößen notwendig sind.

Die Leistungsbedarfsmessungen erbrachten außerdem, daß bei rotierenden Geräten bei einem bestimmten Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeuge u zur Fahrgeschwindigkeit v die Leistungsaufnahme des Gerätes am größten ist. Für Fräse und Zinkenrotor läßt sich dies so erklären, daß dann die "meiste" Bodenbearbeitung geleistet wird, bezogen auf das bearbeitete Bodenvolumen und den Zerkleinerungsgrad, wenn gerade noch die gesamte Oberfläche bearbeitet wird, wenn also die Bissenlänge l_B gleich dem Weg des Messers im Boden l_M ist. Dieses Verhältnis u/v wird durch den Rotordurchmesser, die Anzahl der Werkzeuge je Schnittebene und die Arbeitstiefe bestimmt. Die bisherigen Autoren über Frästheorien (GALLWITZ (47), SÖHNE (99), SYBEL und WIMMER (107), und die bei HENDRICK und GILL (59) zitierten Autoren BERNACKI, DALIN und PAVLOV, MATSUO, FURLONG u.a. untersuchten die Fräse nur in den Bereichen $l_M > l_B$, kamen da aber im wesentlichen zu den gleichen Ergebnissen. BERNACKI (11), (12) verwendet ebenfalls die spezifische Arbeit, die er als die geeignetste Kenngröße für den Energieverbrauch ansieht, und findet ähnliche Abhängigkeiten zwischen spezifischer Arbeit, Fahrgeschwindigkeit und Rotordrehzahl. Die Tatsache, daß bei gleichbleibender Bissengröße, also auch gleichbleibendem Verhältnis u/v , die spezifische Arbeit ansteigt, wenn Fahrgeschwindigkeit und Drehzahl

ansteigen, konnte bei der Fräse nur andeutungsweise bestätigt werden, beim Zinkenrotor dagegen sehr gut. Dies mag daher kommen, daß beim Zinkenrotor die Umfangsgeschwindigkeit im Vergleich zur Fahrgeschwindigkeit höher war als bei den Fräsversuchen. Dies ist auch bei BERNACKI der Fall, der kleine Bissenlängen von 6, 9, 12 und 15 cm verwendete. Die Gesamtleistung zum Antrieb des Rotors, die sich ja aus der Leistung zum Abschneiden der Bissen und zum Beschleunigen des Bodens zusammensetzt, wird in diesem Fall mehr durch die Beschleunigungsleistung beeinflusst. Die Abnahme der spezifischen Arbeit bei steigender Fahrgeschwindigkeit, also auch steigender Bissenlänge, wurde schon 1940 von FREVERT (zit. bei HENDRICK und GILL (59)) beschrieben, allerdings auch nur für sehr kleine Bissenlängen bei hohen Umdrehungszahlen bis 400 1/min.

Wenn nun also mit steigender Fahrgeschwindigkeit die Flächenleistung zunimmt, die spezifische Arbeit und damit der Zerkleinerungsgrad, und ab einem bestimmten Verhältnis u/v sogar der Gesamtleistungsbedarf, abnehmen, so ist es notwendig, Flächenleistung und Zerkleinerungsgrad über Schalt- oder Wechselgetriebe an der Fräse in Einklang zu bringen und an die vorhandene Schlepperleistung anzugleichen. Bei Fräse und Zinkenrotor dürfte der optimale Wert dann erreicht sein, wenn sich die Bissenlänge l_B dem Weg des Messers im Boden l_M nähert, wenn also das Fräsmesser den Boden da verläßt, wo das vorhergehende Messer in den Boden eingetaucht ist.

Bei der Kreiselegge sind diese Beziehungen nicht so eindeutig zu klären, aber auch hier gibt es ein bestimmtes Verhältnis u/v , das, empirisch ermittelt, zwischen 2 und 3 liegt. Hier nimmt die Kreiselegge die höchste Leistung auf. Eine weitere Geschwindigkeitssteigerung würde zwar den Zerkleinerungsgrad weiter vermindern, das bearbeitete Bodenvolumen aber nicht vergrößern, da zwischen den Zinkenbahnen unbearbeitete Stege stehenbleiben.

Für die Rüttelegge und die Kreiselegge fehlen bisher in der Literatur diesbezügliche Untersuchungen, es können daher keine Vergleiche gemacht werden.

Wenn zwar die spezifische Arbeit für ein Einzelgerät sehr gut als Parameter für den Zerkleinerungseffekt im untersuchten, relevanten Bereich dienen kann, so ist doch ein Vergleich des Zerkleinerungseffektes der Geräte untereinander anhand der spezifischen Arbeit nicht möglich, da die Einflüsse der unterschiedlichen Werkzeugform und Antriebsart wirksam werden. So fand KNITTEL (71), daß z.B. der Zerkleinerungseffekt bei der Rüttelegge am besten ist, während ihre spezifische Arbeit stets unter der der Kreiselegge liegt. Er errechnete daher den spezifischen Zerkleinerungsaufwand, das ist die Arbeit, die nötig ist, um einen bestimmten Zerkleinerungsgrad zu erreichen. Dabei wird deutlich, daß dieser um so höher ist, je schneller sich die Werkzeuge bewegen, also, je mehr der Boden beschleunigt und bewegt wird. Dabei ist aber der Anteil der notwendigen Schlepperleistung nicht berücksichtigt, der bei der Leistungsübertragung vom Schlepper auf das Gerät im Getriebe, im Reifen, durch Schlupf und Bodendruck verloren geht. Für die notwendigen Schlepperstärken können der Praxis die in Tab.5 aufgeführten Zahlen genannt werden, die sich, gerade wegen der Unterschiede im Wirkungsgrad der Leistungsübertragung, von Gerät zu Gerät nicht mehr allzu stark unterscheiden. Darüber hinaus muß der Hubkraftbedarf mit berücksichtigt werden, der Schleppergrößen über die angegebenen PS-Zahlen hinaus erforderlich machen kann.

Tab. 5 : Leistungsbedarf und benötigte Schlepperstärken für einige Minimalbestellmaschinen pro 1 m Arbeitsbreite

Gerät + Drillmaschine	Leistungsbedarf		Anteil Zugl.	Anteil Drehl.	Verluste bei Kraftübertragung			benötigter Schlepper	
	kW	PS			KW	PS	%	KW	PS
Feingrubber	10	14	3/3	0	10	14	50	20	28
Rüttelegge	10	14	2/3	1/3	10	14	50	20	28
Kreiselegge	13	18	1/3	2/3	7	10	30	20	28
Zinkenrotor	17	24	0	3/3	2	3	10	19	27
Fräse (gepflügt)	22	30	0	3/3	2	3	10	24	33
Fräse (ungepflügt)	28	38	0	3/3	2	3	10	30	41

4. P f l a n z e n b a u l i c h e B e u r t e i l u n g d e r V e r f a h r e n

Die untersuchten Minimalbestellgeräte unterschieden sich z.T. in der Intensität der Bodenbearbeitung. So entfiel z.B. bei der Frässaat eine tiefe Bodenlockerung durch den Pflug, die bei den anderen Verfahren Voraussetzung war. Auch bei der Saatbettbereitung nach einer Pflugfurche traten zwischen den einzelnen Geräten Unterschiede in der Zerkleinerungsintensität auf, die sich auf die Pflanzenentwicklung auswirken könnten. Darüber hinaus ließ die Saatgutablage, die bei den einzelnen Verfahren verschieden war und von der Drill- über die Band- zur Breitsaat reichte, Auswirkungen auf den Feldaufgang erwarten. Aus diesem Grunde wurden auf drei Standorten mehrjährige Versuche angelegt, um einmal den langfristigen Einfluß einer fehlenden Grundbodenbearbeitung auf die Pflanzenentwicklung zu ermitteln, zum anderen, um die Auswirkungen der unterschiedlich intensiven Saatbettbereitung und der unterschiedlichen Saatgutablage über einige Jahre hinweg zu verfolgen.

4.1 Aufbau der Versuche

Nach Vorversuchen in Grünbach 1970/71 bei Winterweizen und in Roggenstein 1971 bei Sommergerste mit ausgewählten Bestellmaschinen wurde im Herbst 1971 der Großversuch Roggenstein angelegt (Abb.54). Die etwa 4 ha große Versuchsfläche war in 3 Hauptparzellen eingeteilt. Die erste Hauptparzelle erfuhr keinerlei Grundbodenbearbeitung, die zweite wurde mit dem Kreiselpflug, die dritte mit dem Scharpflug gepflügt. Die nicht gepflügte Hauptparzelle war in 6 Parzellen mit einer Breite von 5,20 m unterteilt, die nur mehr mit Fräsdrillen bestellt wurden, und zwar:

Bodenbearbeitungsversuch in Roggenstein

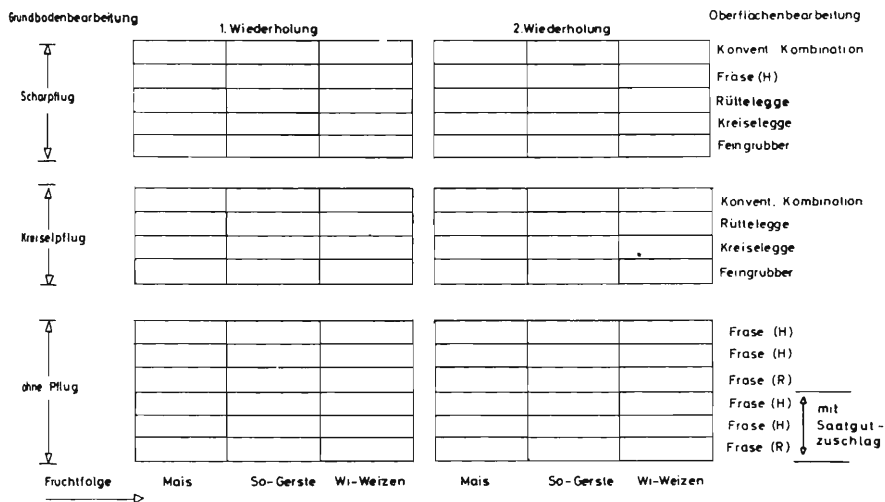


Abbildung 54: Bodenbearbeitungsversuch in Roggenstein

- Parzelle 1: Fräsdrille (R), Bandsaat, mit 20 % Saatgutzuschlag
- Parzelle 2: Fräsdrille (H), Bandsaat, mit 20 % Saatgutzuschlag
- Parzelle 3: Fräsdrille (H), Breitsaat, mit 20 % Saatgutzuschlag
- Parzelle 4: Fräsdrille (R), Bandsaat
- Parzelle 5: Fräsdrille (H), Bandsaat
- Parzelle 6: Fräsdrille (H), Breitsaat

Die mit dem Kreiseelpflug bearbeitete Hauptparzelle war in folgende Parzellen mit unterschiedlicher Saattbettbereitung unterteilt:

Parzelle 7: Feingrubber + Drillmaschine, Bandsaat
Parzelle 8: Kreiselegge + Drillmaschine, Drillsaat
Parzelle 9: Rüttelegge + Drillmaschine, Drillsaat
Parzelle 10: Konventionelle Bestellung , Drillsaat

Die Scharpflugparzelle war ebenso unterteilt:

Parzelle 11: Feingrubber + Drillmaschine, Bandsaat
Parzelle 12: Kreiselegge + Drillmaschine, Drillsaat
Parzelle 13: Rüttelegge + Drillmaschine, Drillsaat
Parzelle 14: Fräsdrille (H) - , Bandsaat
Parzelle 15: Konventionelle Bestellung , Drillsaat

Über die vordere und über die hintere Hälfte des Versuchsfeldes rotierte die Fruchtfolge Winterweizen, Sommergerste und Körnermais, so daß zwei echte Wiederholungen entstanden. Mit diesem Versuchsaufbau war gewährleistet, daß auf den einzelnen Parzellen in jedem Jahr zu jeder Frucht die gleiche Grundboden- und Nachbearbeitung erfolgte. Auch die Maisparzellen wurden genauso bearbeitet, nur die Aussaat erfolgte über alle Parzellen hinweg mit dem gleichen Einzelkornsäugerät. Der Mais wurde deshalb mit in die Fruchtfolge genommen, um einmal eine Blattfrucht in der Rotation zu haben, aber auch deshalb, um die Möglichkeiten der Minimalbestellgeräte in der sehr kurzen und späten Winterweizenbestellzeitspanne nach der Körnermaisernte zu erproben. Nach der Getreideernte wurde das Stroh eingefräst, evtl. eine Queckenbekämpfung durchgeführt und als Zwischenfrucht Sommerraps gesät, der dann vor der Herbstbestellung abgeschlegelt wurde. Düngung und Pflanzenschutz wurden über alle Parzellen hinweg ortsüblich durchgeführt.

Der zweite Großversuch in Dürnast glich im Grundaufbau dem von Roggenstein. Es fehlten hier nur die Fräspartellen mit Saatgutzuschlag, da sich in allen Vorversuchen gezeigt hatte, daß sich dieser im Ertrag nicht auswirkt, und da aus Platzmangel auf 3 Parzellen verzich-

tet werden mußte. Weiterhin wurde auf der Kreiselpflugparzelle die Rüttelegge durch die Fräse ersetzt, um einen besseren Vergleich der Fräse auf gepflügtem und ungepflügtem Boden zu erhalten. Die Parzellenlänge betrug hier im Gegensatz zu Roggenstein (60 m) nur 35 m.

In Frankendorf wurden in den Jahren 1972 und 1973 auf dem gleichen Versuchsfeld verschiedene Bestellsysteme nach einer Winterfrucht zu Sommerweizen untersucht, und zwar

Parzelle 1: Fräsdrille (H), Breitsaat

Parzelle 2: Fräsdrille (H), Bandsaat

Parzelle 3: Fräsdrille (R), Bandsaat

Parzelle 4: Feingrubber + Drillmaschine, Bandsaat

Parzelle 5: Kreiselegge + Drillmaschine, Drillsaat

Parzelle 6: Rüttelegge + Drillmaschine, Drillsaat

Parzelle 7: Grubberdrille (T) , Bandsaat

4.2 Versuchsstandorte

4.2.1 Roggenstein

Das Lehr- und Versuchsgut Roggenstein der TU München-Weihenstephan liegt 530 m über NN auf dem geologischen Ausgangsgestein Würmmoräne. Im Versuchsfeld mit Bodenwertzahlen zwischen 51 und 54 ist der Bodentyp als rendzinaartiger Aueboden, die Bodenart als tL-sT anzusprechen. Eine genauere Charakterisierung der Böden ist in der Anhangtabelle 10 und bei KNITTEL (71) nachzulesen.

Nach der Klimakarte von A. HOCK (64) gehört Roggenstein der mäßig feuchten bis feuchten Klimazone an mit einer langjährigen, mittleren Niederschlagsmenge von 856 mm/Jahr. Wie aus den Summenkurven in Abb.55 zu entnehmen ist, betrug im Vegetationsjahr 1971/72 die Jahressumme

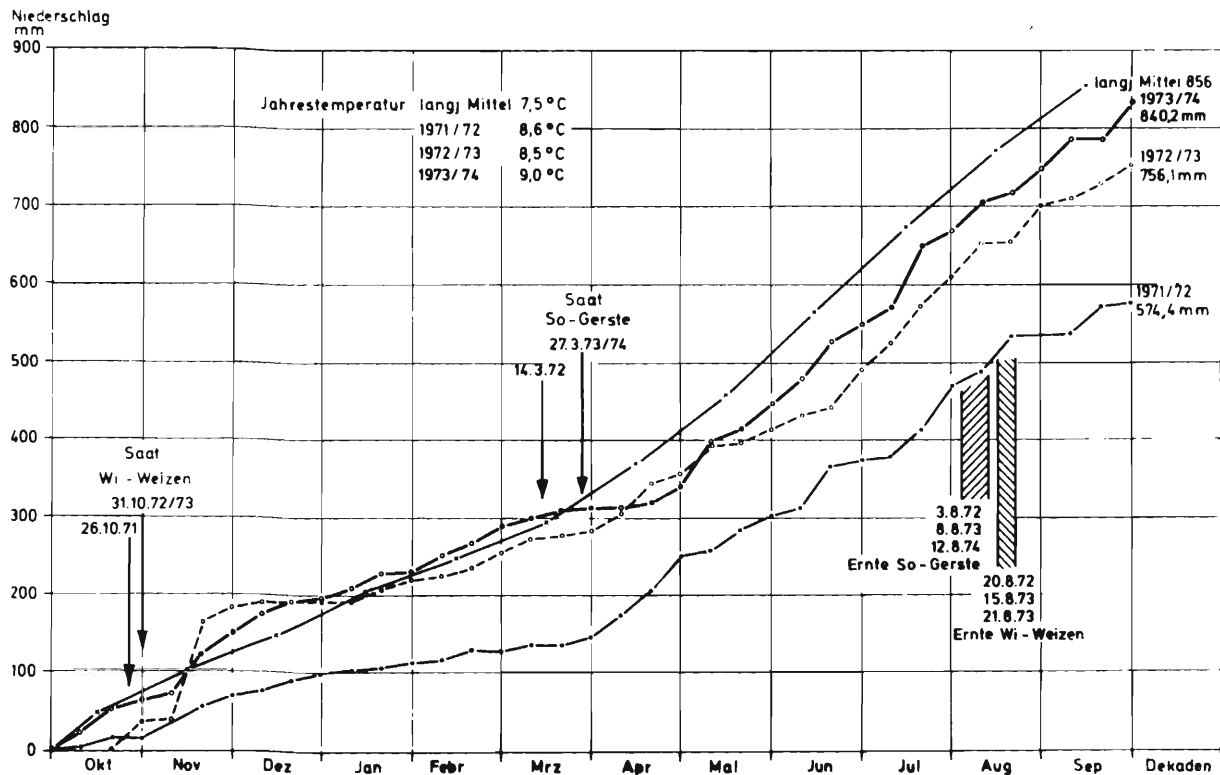


Abbildung 55: Roggenstein - Summenkurve für Niederschläge
nach Dekaden 1971/72
1972/73
1973/74

nur 574 mm, im Vegetationsjahr 1972/73 756 mm, das sind also auch noch 100 mm weniger als der langjährige Durchschnitt. Die mittleren Jahrestemperaturen (Abb. 56) lagen 1971/72 mit $8,6^{\circ}\text{C}$ und 1972/73 mit $8,5^{\circ}\text{C}$ über dem langjährigen Durchschnitt von $7,5^{\circ}\text{C}$.

4.2.2. Dürnast

Das geologische Ausgangsgestein auf dem Versuchsfeld des Lehr- und Versuchsgutes Dürnast bei Freising (480 m über NN) gehört zur oberen Süßwassermolasse. Die Bodenwertzahlen schwanken zwischen 55 und 61. Der vom Bodentyp her als Pseudogley-Ackerbraunerde anzusprechende Boden weist eine Korngrößenzusammensetzung auf, die ihn als mittelschweren Lehm (tL-stL) auszeichnet.

Dürnast-Freising gehört mit einer mittleren Jahresniederschlagsmenge von 814 mm der mäßig feuchten Klimazone an. Ebenso wie in Roggenstein lag die Niederschlagsmenge im Vegetationsjahr 1971/72 mit 483 mm weit unter dem langjährigen Durchschnitt, und auch das Vegetationsjahr 1972/73 erreichte mit 721 mm das langjährige Mittel nicht (Abb. 57). Die mittleren Jahrestemperaturen (Abb. 58) betrugen 1971/72 $7,6^{\circ}\text{C}$, 1972/73 $7,1^{\circ}\text{C}$ gegenüber dem langjährigen Mittel $7,7^{\circ}\text{C}$.

4.2.3 Frankendorf

Der Betrieb Frankendorf (460 m über NN) der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau liegt im Landkreis Erding auf einer Lößplatte. Die Bodenwertzahlen von 74/78 deuten den hohen ackerbau-lichen Wert an. Die Bodenart dieser Parabraunerde ist toniger Lehm (tL-lT).

Zwischen der mäßig feuchten und der feuchten Zone gelegen, hat Frankendorf ein langjähriges Mittel von 790 mm/Jahr. Im Vegetationsjahr 1971/72 lagen die Niederschläge nur bei 443 mm, 1972/73 bei 674 mm (Abb. 59). Die mittlere Jahreslufttemperatur ist in Frankendorf nicht eigens registriert worden, wobei aber die Werte für Dürnast auch hier

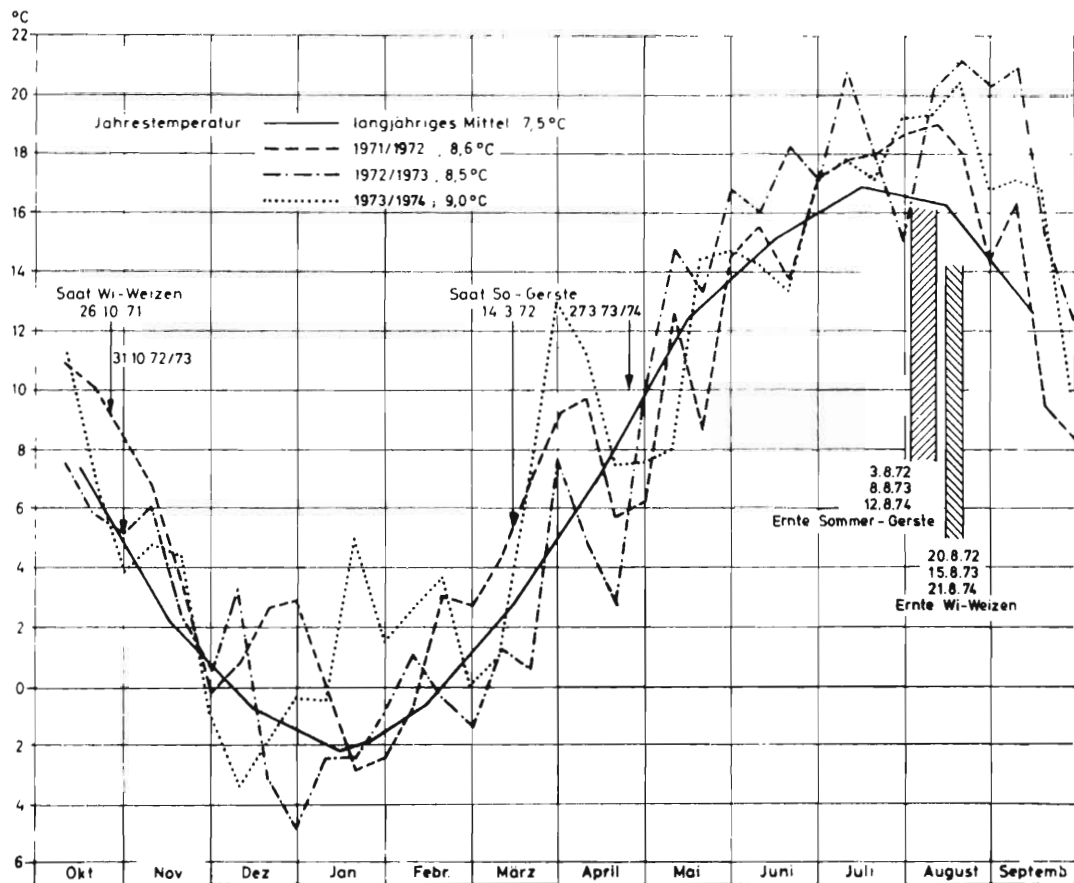


Abbildung 56: Mittlere Tagestemperatur in Dekaden - Roggenstein
(von Oktober bis September 1971 - 1974)

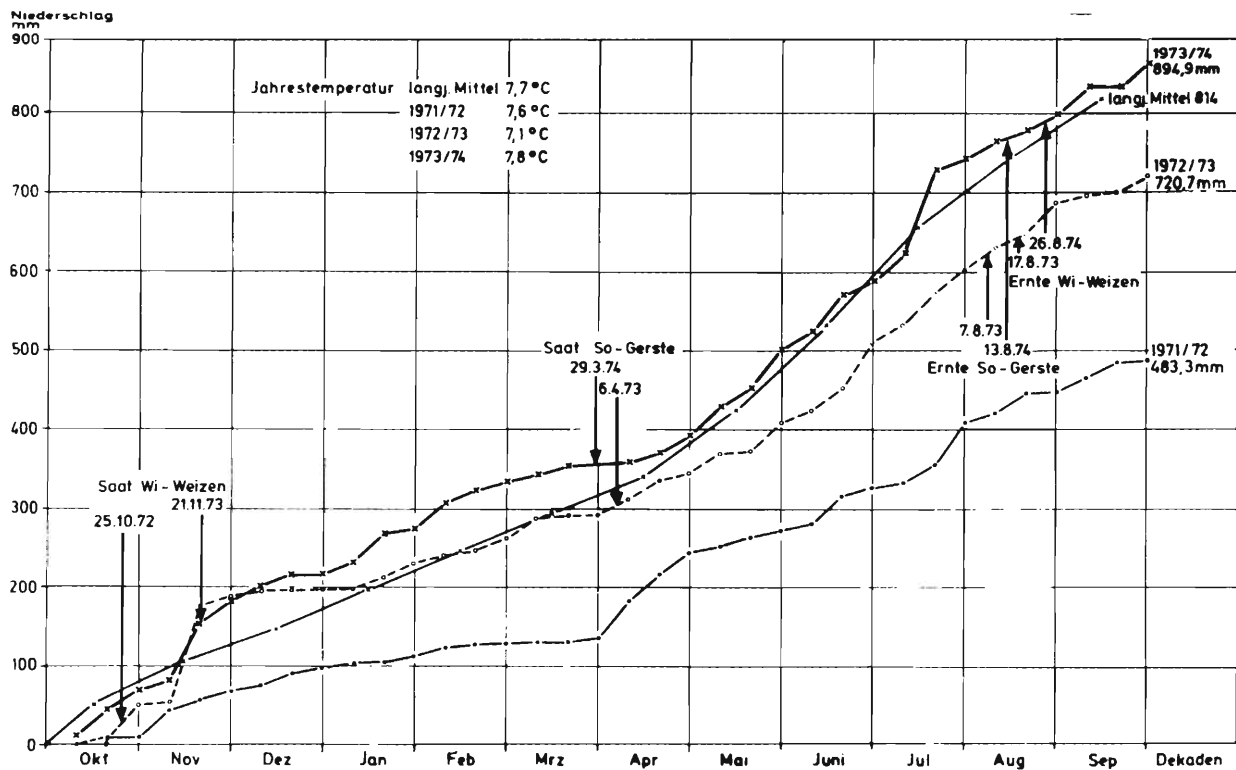


Abbildung 57: Weihestephan - Summenkurve für Niederschläge
Dekaden 1971/72
1972/73
1973/74

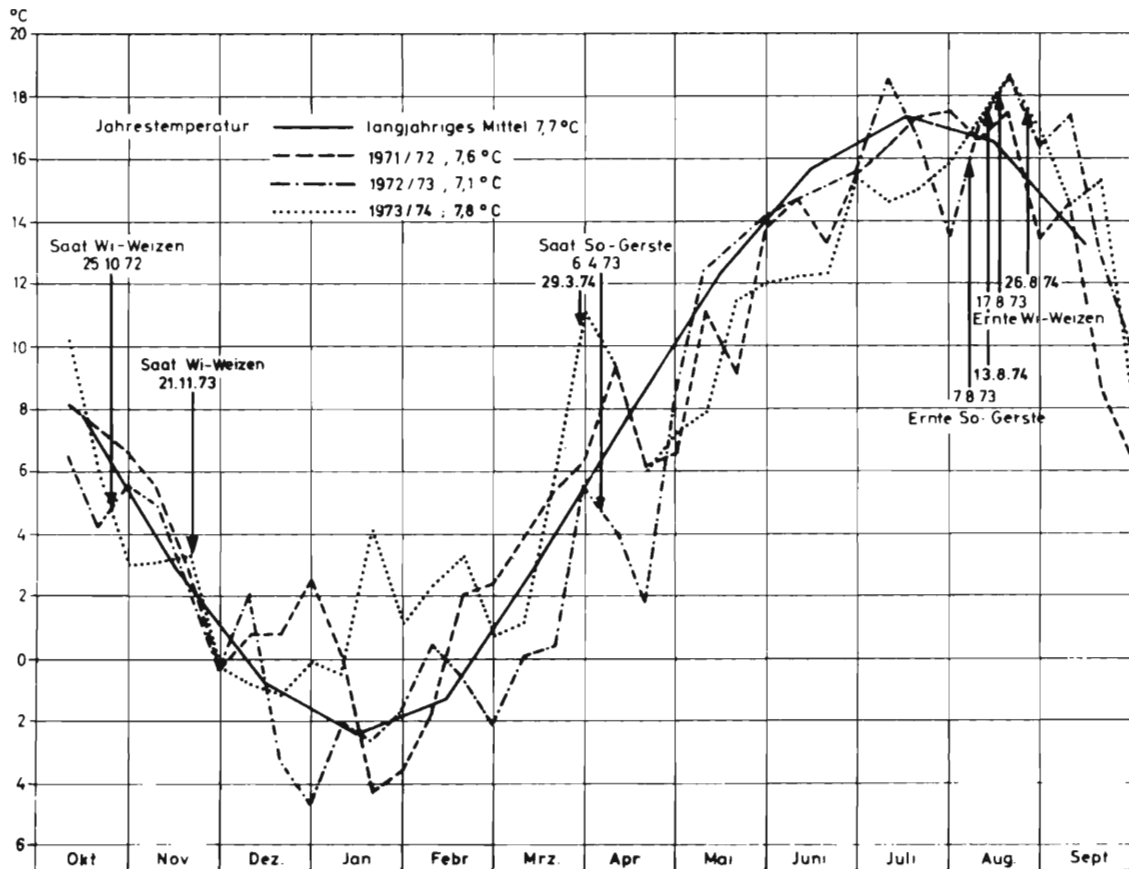


Abbildung 58: Mittlere Tagestemperatur in Dekaden - Weihenstephan -
Dürrest (von Oktober bis September 1971 - 1974)

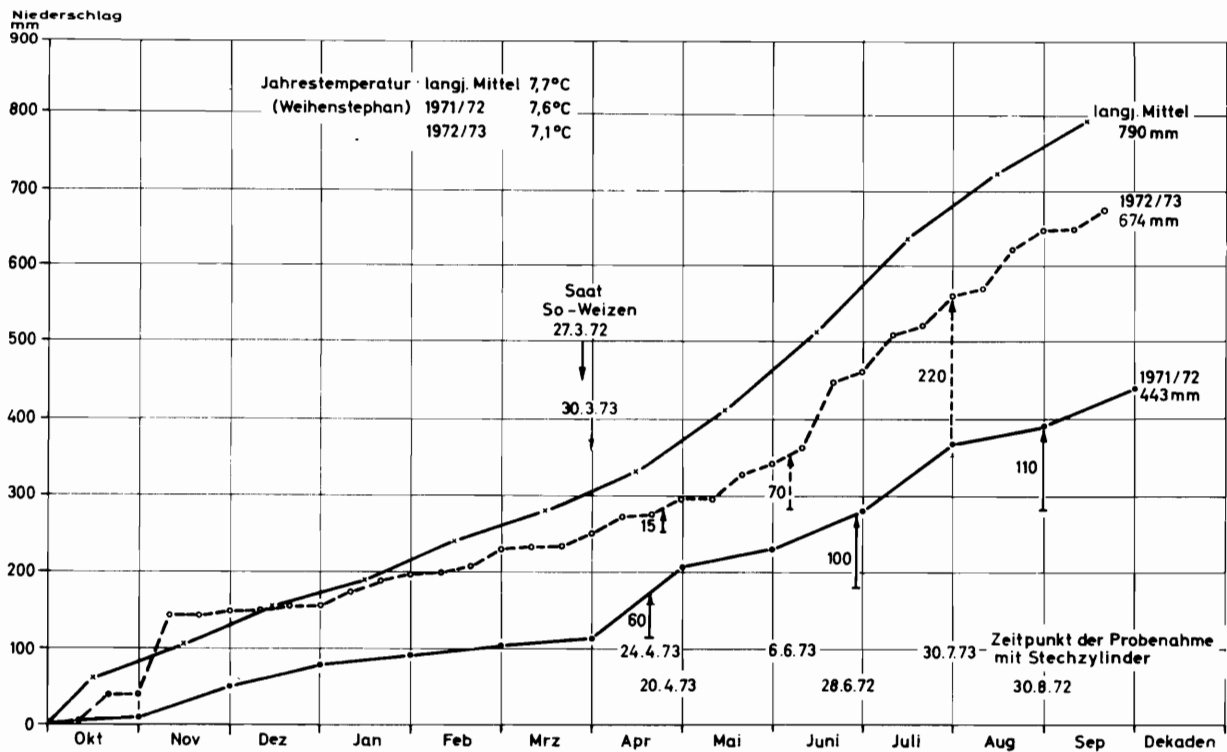


Abbildung 59: Frankendorf - Summenkurve für Niederschläge
Monate 1971/72
Dekaden 1972/73

4.2.4 Weitere Standorte

Weitere Versuchsstandorte in der näheren Umgebung Freising's waren Kranzberg, Pettenbrunn, Grünbach und der Schlüterhof. Hier wurden neben maschinentechnischen Messungen in der Hauptsache Detailuntersuchungen über Bearbeitungseffekt, Saatgutablage und Arbeitszeitbedarf angestellt. Nähere Angaben über die Bodendaten sind in der Anhangstabelle 10 zu finden.

4.3 Bearbeitungseffekt

Die verschiedenen Werkzeugformen und -antriebsarten der eingesetzten Geräte und die unterschiedliche Intensität der Bearbeitung lassen erwarten, daß Unterschiede im Bearbeitungseffekt auftreten, die Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung haben. So wird die Feinheit des Saatbettes den Feldaufgang unmittelbar beeinflussen, aber auch die physikalischen Bodeneigenschaften an der Oberfläche, in mittlerer Krumentiefe und im Unterboden, die durch die Grundbodenbearbeitung und die Saatbettbereitung entscheidende Veränderungen erfahren können, bestimmen mit dem Pflanzenwachstum während der Vegetationszeit. Besonders das Porenvolumen und die Porengrößenverteilung werden durch die Zerkleinerung der Bodenaggregate beeinflusst, wie DOJARENKO (27), KUIPERS (75) und BOEKEL (16) deutlich machten.

Da die Auswirkungen der Minimalbestelltechnik auf physikalische Bodeneigenschaften einen äußerst wichtigen und umfangreichen Teil der Versuche darstellten, wurden sie von KNITTEL (71) in einer gesonderten Arbeit untersucht und beschrieben. Es seien deshalb hier zum besseren Verständnis der folgenden Kapitel nur die wichtigsten Aussagen kurz wiedergegeben.

Als Maßzahl für die Aggregatgrößenverteilung wählte KNITTEL den Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) oder dessen reziproken Wert, den er Zerkleinerungsgrad (ZG) nennt.

In den Versuchen wurden sowohl Streichblech- als auch Kreiselflug eingesetzt, um durch die stärkere Zerkleinerungswirkung des Kreiselfluges, die augenscheinlich ist, bei der Nachbearbeitung mit einem geringeren Aufwand auszukommen bzw. den Boden feiner zu zerkleinern. Beides trat nicht ein. Bei den Leistungsbedarfsmessungen wurde schon klar, daß auf den Kreiselflugparzellen die Nachbearbeitungsgeräte einen gleichen, in der Tendenz eher höheren Leistungsbedarf haben. Der Zerkleinerungsgrad lag, wie aus Tab.6 ersichtlich wird, ebenfalls gleich, in der Tendenz sogar bei dem Scharpflug höher.

Die Tab.7 zeigt den Einfluß der Bestellgeräte auf den Zerkleinerungsgrad nach einheitlicher Grundbodenbearbeitung mit dem Scharpflug. Dabei waren die Geräte so eingestellt, daß sie bei praxisnahen Fahrgeschwindigkeiten ein nach dem Augenschein beurteiltes Optimum in der Qualität der Saatbettbereitung erreichten. Demnach machte die Rüttelegge im Durchschnitt von 5 Standorten das feinste Saatbett (ZG = 8,48), der Feingrubber in nur einem Arbeitsgang das rauheste (ZG = 5,47). Auch die Kreiselegge (ZG = 6,78) und die Fräse (ZG = 6,13) lagen noch ungünstiger als die konventionelle Bearbeitung (ZG = 7,42). Der Zerkleinerungsgrad war logischerweise im Frühjahr und auf leichteren Böden höher als im Herbst und auf schwereren Böden. Der Einfluß der Bodenfeuchte wurde von KNITTEL ebenfalls untersucht. In der Tendenz zeigt sich, daß mit zunehmendem Wassergehalt der Zerkleinerungsgrad abnahm, wenn ein bestimmter "optimaler" Feuchtegehalt des Bodens bereits überschritten war.

Die Fräse als einziges Minimalbestellgerät, das ohne Pflugfurche auskommen kann, wies auf ungepflügtem Boden einen Zerkleinerungsgrad auf, der bei 3,7 lag (Tab. 8). Eine vorhergehende Lockerung durch den Pflug erhöhte den Zerkleinerungsgrad in Roggenstein um 1,8 (1972) bzw. um 3,5 (1973) Einheiten, in Dürnast nahezu überhaupt nicht. Ein Unterschied zwischen den beiden verwendeten Fräsenbau-

Tab. 6 Einfluß der Pflugarbeit auf den Zerkleinerungsgrad (ZG) der Bestellgeräte

	Roggenstein		Dürnast	
	Okt. 1972	Okt. 1973	Okt. 1972	Nov. 1973
WG (Gew. %)	18,7	17,3	19,6	22,1
Scharpflug	7,22 a	6,72 a	5,45 a	4,15 a
Kreiselpflug	5,78 b	6,24 a	5,90 b	4,15 a
	GD ₅ % = 0,80		GD ₅ % = 0,45	

Tab. 7 Einfluß der Bestellgeräte auf den Zerkleinerungsgrad (ZG) an verschiedenen Bearbeitungsterminen

WG (Gew. %)	Franken- dorf 1973	Roggenstein		Dürnast		\bar{x}	VK
		1972	1973	1972	1973		
	18,5	17,7	17,3	19,6	22,1		
Rütlelegge	11,03 a	9,93 a	7,50 a	7,06 a	6,87 a	8,48 a	23,2
konv.Komb.	10,74 a	8,20 b	7,89 a	6,41 ab	4,15 bc	7,42 b	32,4
Kreislegge	11,73 a	5,52 c	6,10 b	6,18 b	4,37 b	6,78 b	41,7
Fräse (II)	9,06 b	9,55 c	7,20 b	4,92 c	4,13 c	6,13 c	33,0
Feingrubber	8,01 c	5,22 c	5,70 c	4,27 d	3,94 bc	5,47 c	28,6
	10,11 a	6,88 b	6,82 b	5,77 c	4,69 d		

Tab. 8 Zerkleinerungsgrad der Fräse (II) nach unterschiedlicher Grundbodenbearbeitung

Arbeitstiefe: 6 cm; WG: Wassergehalt; l_H : Hissenlänge

	Roggenstein		Dürnast	
	Okt. 1972	Okt. 1973	Okt. 1972	Nov. 1973
WG (Gew. %)	18,7	17,3	19,6	22,1
l_H (cm)	22,4	26,1	20,0	17,3
Scharpflug	5,55 a	7,20 a	4,92 a	3,94 a
Kreiselpflug ohne Pflug	-	-	5,04 a	3,54 a
	3,74 b	3,69 b	3,69 b	3,72 a
	GD ₅ % = 1,34		GD ₅ % = 0,81	

arten trat, wie schon bei der Leistungsaufnahme, auch im Zerkleinerungsgrad nicht auf.

Der Zerkleinerungsgrad beeinflußt direkt die Körnerverteilung bei der Saat und den Feldaufgang. In welcher Richtung und in welchem Ausmaße das weitere Pflanzenwachstum durch die Feinheit der Krume beeinflußt wird, konnte bisher aus den Versuchen nicht herausgelesen werden. Entscheidend dafür scheint der Grobporenanteil zu sein. Der in der Literatur genannte Schwellenwert von 10 - 15 Vol % wird aber von keinem Gerät unterschritten, so daß von dieser Seite her dem Pflanzenwachstum keine Begrenzung auferlegt ist. Etwaige Unterschiede in der Pflanzenentwicklung scheinen auf den unterschiedlichen Feldaufgang, der allerdings durch den Zerkleinerungsgrad mit bestimmt wird, und auf die unterschiedlichen Standraumverhältnisse der Einzelpflanzen zurückzuführen zu sein.

4.4 Saatgutablage

Die untersuchten Minimalbestellmaschinen unterscheiden sich z.T. auch in der Art der Saatgutablage. Die mit der Rüttel- oder Kreiselege kombinierte Drillmaschine mit Schleppscharen legt das Saatgut in der bekannten Drillreihe ab. Beim Feingrubber fließen die Körner unmittelbar nach den Zinken aus höhenverstellbaren Rohren in den noch bewegten Erdstrom. Die Fräsen sind ebenfalls mit solchen Särohren ausgestattet, die mehr oder weniger tief in den hinter dem Rotor abfließenden Erdstrom hineinragen. Bei der Fräse (H) besteht zudem die Möglichkeit, das Saatgut breitwürfig vor dem Rotor auf den unbearbeiteten Boden fallen zu lassen. Durch die Fräsarbeit wird es dann in den gesamten Bearbeitungshorizont als Breit-
saat eingemischt.

Für die Keimung und den Feldaufgang ist ein optimales Verhältnis von

Wasser, Luft und Temperatur im Boden entscheidend. Dieses Verhältnis wird einerseits von der Art und der Intensität der Bodenzerkleinerung beeinflusst, andererseits auch von der Art der Saatgutablage, und hier besonders der Tiefenverteilung.

4.4.1 Saatguttiefenablage

Zur Ermittlung der effektiven Tiefe der abgelegten Saatkörner wurde nach der Idee von BREITFUSS (22) ein Bodenobel angefertigt (Abb. 60),

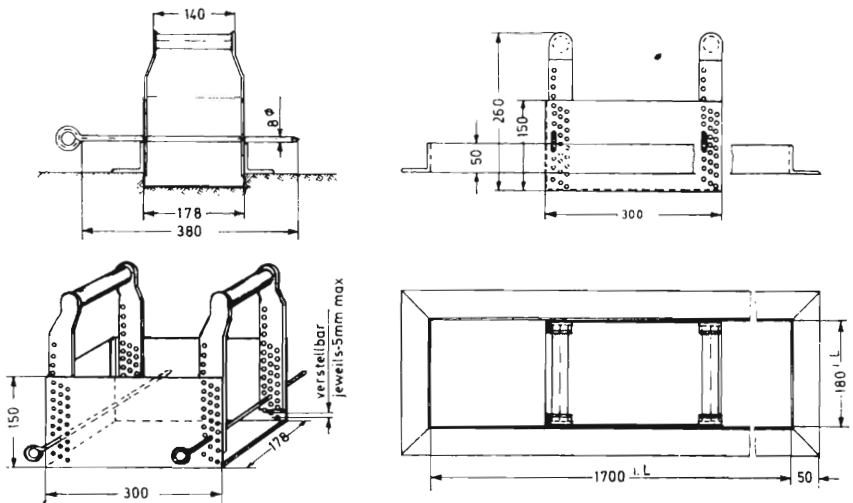


Abbildung 60: Bodenobel zur Bestimmung der Saattiefe

der der Länge nach auf eine Saatreihe gelegt wird. Es können damit Bodenschichten mit einer Stärke von 0,5 cm abgehobelt und in dem Hobelkasten aufgefangen werden. Nach dem Absieben des Bodens lassen

sich die in dieser Schicht enthaltenen Körner auszählen. Man hobelt die Saatreihe so tief aus, bis keine Körner mehr zu finden sind.

In den Abb.61 bis 65 sind einige typische Ergebnisse auf Löß- und Moorboden aufgezeichnet, die den prozentualen Anteil an Körnern in den einzelnen Schichten angeben. Neben der mittleren Saattiefe \bar{x} ist auch die Standardabweichung s mit aufgeführt, die einen Vergleich der Ablagegenauigkeit zuläßt. Auf dem Lößboden des Standortes Frankendorf zeigte sich bei der Fräsdrille (H) (Abb.61), daß die

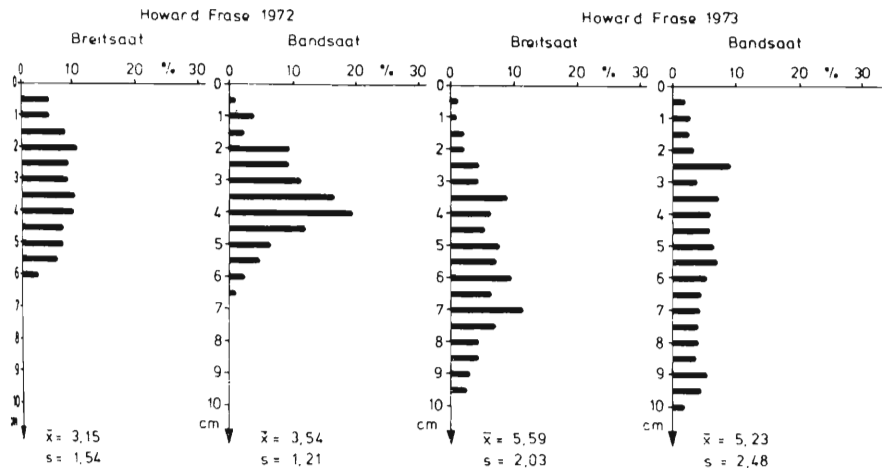


Abbildung 61: Frankendorf - Saatguttiefenablage (Löß)

Bandsaat 1972 eine deutliche Verringerung der Streuung der Tiefenablage gegenüber der Breitsaat brachte und zwar von $s = 1,54$ auf $s = 1,21$ cm. 1973 konnte mit der Bandsaat keine Verbesserung gegenüber der Breitsaat erreicht werden. Die Fräsdrille (R) hatte durch

ihre kurzen Saatauslaufrohre in beiden Jahren trotz gleicher Frästiefe eine geringe Ablagetiefe (Abb. 62). Dadurch blieb die Streu-

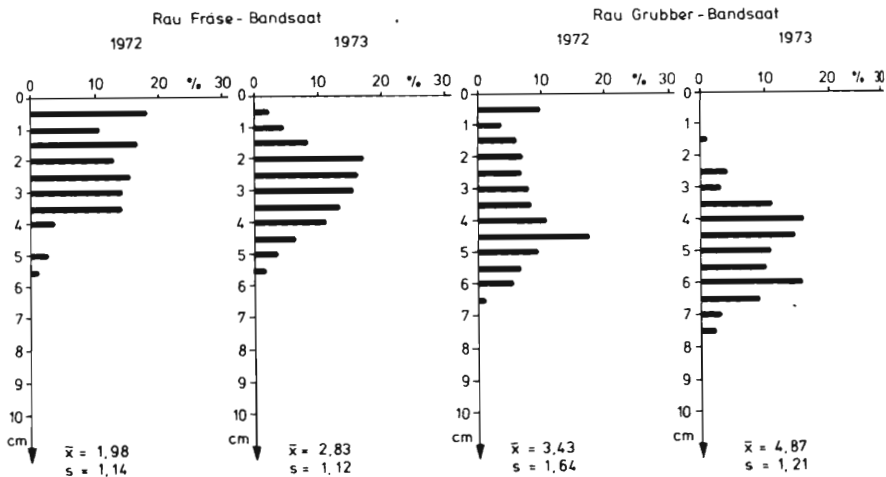


Abbildung 62: Frankendorf - Saatguttiefenablage (Löß)

ung mit $s = 1,14$ und $s = 1,12$ cm klein. Wenn auch ein Teil der Körner, besonders 1972, an der Oberfläche lag, so ist doch zu erkennen, daß die Verteilung über die Tiefe einer Normalverteilung entspricht. Das gleiche gilt auch für die Grubber-Bandsaat, die aber eine größere mittlere Ablagetiefe hatte, da das Saatgut bis auf den Boden der vom Grubberzinken gezogenen Rille fallen kann. Die Drillsaat nach der Kreiselegge wies die geringste Streuung der Tiefenablage unter allen Geräten auf (Abb. 63), aber auch das "Tume"-Flügelschar erreichte, besonders 1973, bei einer mittleren Ablagetiefe von 4,25 cm mit $s = 0,95$ cm eine gute Ablagegenauigkeit.

Auf dem sehr lockeren Moorboden in Roggenstein war die Ablagetiefe bei allen Geräten wesentlich größer (Abb. 64 und 65). Die Bandsaat

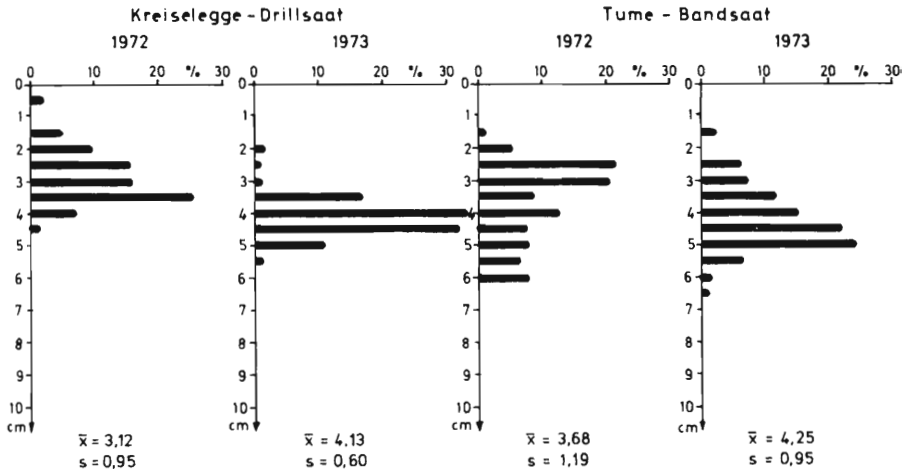


Abbildung 63: Frankendorf - Saatguttiefenablage (LöB)

bei der Fräse brachte wieder eine gewisse Verkleinerung der Streuung von $s = 2,67$ auf $s = 1,93$. Sehr deutlich ist die Wirkung der Winkelverstellung der Saatauslaufrohre bei der Grubberdrille (R) zu sehen. Eine flache Stellung ergab eine mittlere Ablagetiefe von 2,54 cm mit einer Streuung von 1,59 cm, eine steile Stellung vergrößerte die mittlere Ablagetiefe auf 5,74 cm bei einer Streuung von 2,05 cm. Auch auf dem Moorboden erreichten die Drillsaaten nach Kreis- und Rüttelegge die gleichmäßigste Tiefenablage (Abb. 65). Das "Tume"-Flügelchar schnitt ebenso gut ab und hatte mit $s = 0,96$ cm eine den Drillsaaten vergleichbare Streuung.

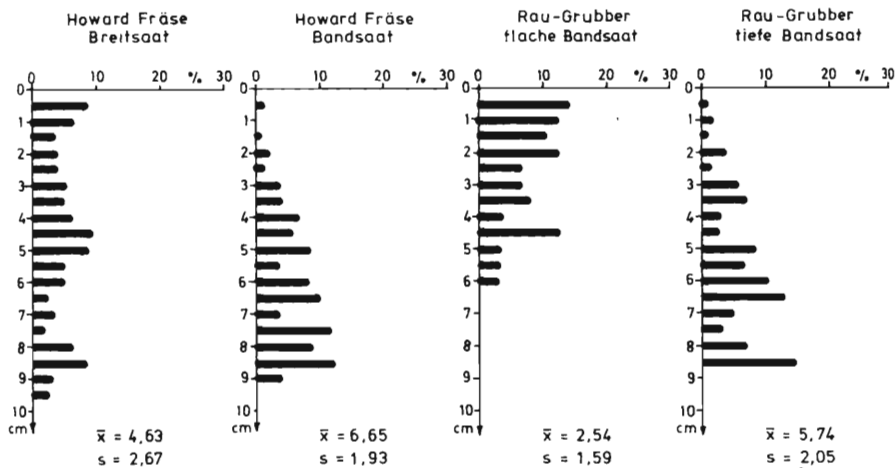


Abbildung 64: Saattiefenversuch-Roggenstein SG, 1973 (Moorboden)

Abb. 64

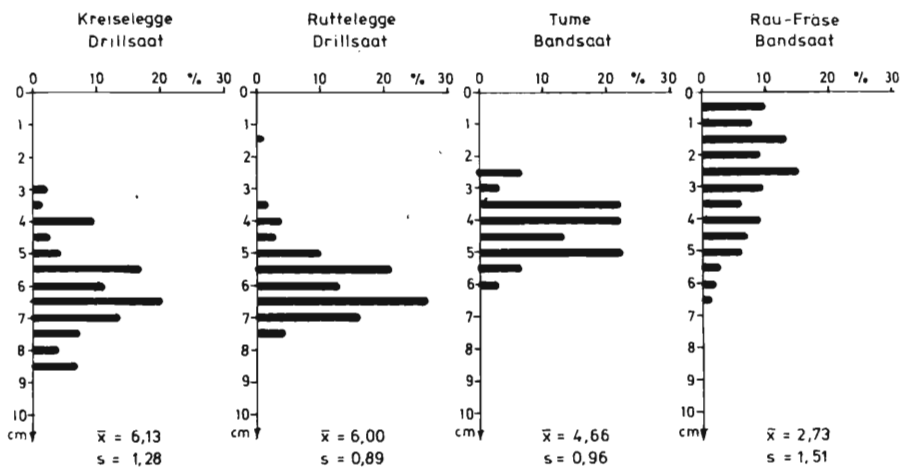


Abbildung 65: Saattiefenversuch - Roggenstein SG, 1973 (Moorboden)

Alle Ergebnisse der Saattiefenmessungen sind in der Anhangtabelle 11 zusammengestellt.

Da die mittlere Ablagetiefe aus gerätetechnischen Gründen nicht immer gleich gehalten werden kann und sowohl eine zu tiefe als auch eine zu flache Saat bei gleicher Streuung sich ungünstig auswirkt, ist neben der Standardabweichung in der Anhangtabelle 11 auch der Variationskoeffizient mit angegeben, der die mittlere Ablagetiefe einbezieht. Die Reihung nach den Variationskoeffizienten der Tiefenablage ergibt für die vier Standorte das in Tab. 9 dargestellte Bild:

Tab. 9 : Reihung der Bestellverfahren nach dem VK der Tiefenablage

	Ränge bei den Wiederholungen				Reihung	Rang
	1	2	3	4		
Amazone Drillsaat	-	1	1	1	1,00	1
Isaria Drillsaat	1	1	2	-	1,33	2
Tume Bandsaat	2	2	2	2	2,00	3
Rau-Grubber Bands.tief	4	3	4	5	4,00	4
Howard Fräse Bandsaat	3	6	3	4	4,00	5
Howard Fräse Breitsaat	5	4	6	3	4,50	6
Rau Fräse Bandsaat	6	5	5	8	6,00	7
Rau Grubber Bands.flach	-	-	7	6	6,50	8

Aus der Tabelle 9 und den Abb.61-64 geht hervor, daß erwartungsgemäß die Drillsaat die exakteste Tiefenablage gewährleistete, obwohl auch hier die Standardabweichung noch Werte bis über 1 cm erreichte. Das "Tume"-Flügelsächar war in der Genauigkeit der Tiefenablage den Schleppscharen der üblichen Drillmaschinen ebenbürtig, brachte aber, was noch zu zeigen sein wird, eine bessere Flächenleistung der Körner. Wenn bei der Grubberbandsaat das Saatauslaufrohr

ganz steil und damit unmittelbar hinter dem Zinken steht, so fällt ein Teil der Körner bis auf den Boden der vom Zinken gezogenen Rille und hat somit einen größeren Streubereich als bei der sehr schrägen Stellung der Saatauslaufrohre für eine flache Saat, bei der auch ein Teil der Körner obenauf liegen. Durch die größere mittlere Ablage-tiefe der tiefen Grubbersaat war aber der Variationskoeffizient hier geringer. Die Saatauslaufrohre der Fräse (H) ragen wesentlich tiefer in den abließenden Erdstrom als die der Fräse (R). Dadurch wurde das Saatgut bei gleicher Frästiefe immer tiefer abgelegt, was dazu führte, daß zwar die Standardabweichung der Tiefenablage größer, der Varia-tionskoeffizient aber kleiner war. Erwartungsgemäß wurde bei der Breitsaat durch die Fräse die Ablagegenauigkeit am wenigsten einge-halten, so daß die Standardabweichung fast immer am größten war.

Die gewonnenen Ergebnisse stimmen mit den von HEEGE (57) gefundenen Werten annähernd überein. In seiner Arbeit weist er auch darauf hin, daß bei den Verfahren, die die Getreidekörner in den Boden einrühren, die Streuung (Standardabweichung) mit wachsender mittlerer Saattiefe zunimmt. Er kommt weiterhin auch zu dem gleichen Schluß, daß die Bandsaat mit Fräse oder Grubber zwar eine Verbesserung gegenüber der Fräsbreitsaat darstellt, daß aber nur die Drillsaat mit den be-kannten Schleppschar-, Säbelschar- oder Zweischeibenschartypen und die Band- oder Breitsaat mit Gänsefuß- oder Flügelschar in der Ge-nauigkeit der Tiefenablage befriedigen können.

4.4.2 Flächenverteilung

Mit zunehmender Größe des Standraums verbessert sich die Versorgung einer Getreidepflanze mit den Wachstumsfaktoren Wasser, Licht und Nährstoffen. Aber nicht nur die Größe des Standraums, sondern auch seine Form hat Einfluß auf diese Faktoren und damit auf den Ertrag.

Viele Arbeiten((HEUSER (62), FURRER (43), (44), HEEGE (55)) haben sich hier und besonders auch in östlichen Ländern mit der Standortverteilung bei Drill-, Gleichstand- und Breitsaat beschäftigt. Dabei stand meistens das Problem des Drillreihenabstandes im Vordergrund. Eine Verringerung des Reihenabstandes hat demnach bei gleicher Pflanzenzahl/m² eine Erhöhung des Ertrages zur Folge (BACHTHALER (7)). Diese Erhöhung erfolgt aber nicht linear mit abnehmendem Reihenabstand, sondern wird ab einer bestimmten Reihenentfernung (ca. 10 cm) nur noch gering sein. HEEGE (55) entwickelte eine Theorie zur Beurteilung der Kornverteilung auch bei Breitsaat durch den "Abstand zum nächsten Nachbarn". Seine Versuche ergaben einen Mehrertrag der gleichmäßig tief abgelegten Breitsaat von 7,6 % gegenüber der konventionellen Bestellung. Demnach muß auch die Kornverteilung bei der Bandsaat einiger Minimalbestellmaschinen als Kompromißlösung zwischen Drill- und Breitsaat Einfluß auf die Pflanzenentwicklung haben.

Die einfachste Ermittlung der Flächenverteilung der Saatkörner geschieht durch das Auszählen der aufgelaufenen Pflanzen in einem Rasterfeld. MAHLSTEDT (78) verwendete zum Auszählen der Pflanzen einer Breitsaat ein Gitterquadrat, das in 49 Felder mit je 100 x 100 mm Seitenlänge aufgeteilt war. Damit konnte er den Beweis liefern, daß sowohl die Zahl der Körner in den kleinen Feldern als auch die Zahl der gekeimten Pflanzen einer Poisson-Verteilung entsprechen. Es ist also durchaus zulässig, von der Verteilung der Pflanzen auf die Kornverteilung zu schließen. Man kann annehmen, daß sowohl bei der Breitsaat als auch bei Band- und Drillsaat die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Pflanzenverteilung gleich der Wahrscheinlichkeit der dazugehörigen Kornverteilung ist.

Bei den Untersuchungen sollten Breit- Band- und Drillsaat miteinander verglichen werden. Für die Ermittlung der Längsverteilung in der Reihe wurde ein Auszählrahmen mit den Maßen 150 x 1000 mm,

der in 10 Felder á 150 x 100 mm unterteilt war, auf die Reihe gelegt und mit 10 Wiederholungen pro Parzelle, also 20 Wiederholungen pro Bearbeitungsvariante, die Pflanzen pro Feld ausgezählt.

Die Längsverteilung in der Saatreihe entsprach, wie die statistische Auswertung ergab (Anhangtabelle 14-19), bei allen Saatverfahren bis auf wenige Ausnahmen einer Normalverteilung. D.h. bei einer Durchschnittspflanzenzahl von z.B. 267 pro m² und einem Reihenabstand von 15 cm sollten pro laufendem Meter 40 Pflanzen, also pro 10 cm 4,0 Pflanzen stehen. Tatsächlich war nun die Klassenbreite 3,5 bis 4,5 cm am häufigsten besetzt, darüber oder darunterliegende Klassen entsprechend einer Normalverteilung weniger häufig. Die Standardabweichung oder besser noch der Variationskoeffizient gibt dann an, wie weit die Klassenmitten um den Mittelwert, also die "Soll-Pflanzenzahl" streuen. Je geringer der Variationskoeffizient ist, um so gleichmäßiger sind die Pflanzen und damit auch die Körner in der Reihe verteilt. In der Tab. 10 sind die gemittelten Variationskoeffizienten für Sommergerste und Winterweizen auf dem Standort Roggenstein aus 3 Versuchsjahren und auf dem Standort Dürnast aus 2 Versuchsjahren aufgeführt. In Roggenstein trat die Tatsache sehr deutlich zu Tage, daß die Verfahren, die die Saat mit Schleppscharen in einer Drillreihe ausbringen, sowohl bei Weizen als auch bei Gerste die gleichmäßigste Verteilung in der Reihe erreichten. Danach folgten die Fräsbandsaaten, wobei kaum ein Unterschied war, ob vorher gepflügt war oder nicht.

Die Grubbersaat hatte in etwa den gleichen Variationskoeffizienten, und am ungünstigsten schnitt die Fräs-Breitsaat ab, d.h. hier waren die Unterschiede von Auszählfeld zu Auszählfeld am größten. In Dürnast war das Feld zum Saatzeitpunkt immer wesentlich grobkrümeliger. Dies war besonders im Vegetationsjahr 73/74 der Fall. Die Schleppschare an den Drillmaschinen bei Kreisel- und Rüttelegge und besonders bei der konventionellen Bestellung durch Spurverdichtung waren

Tab. 10 . Pflanzenverteilung in der Saatreihe bei verschiedenen Bestellverfahren, ausgedrückt durch den Variationskoeffizienten aus 3 x 40 Wiederholungen

Bestellverfahren:	Roggenstein				Dürnast			
	SG	Rang	WW	Rang	SG	Rang	WW	Rang
Fräse (R) Bandsaat	18,50	5	25,93	6	19,32	1	36,77	4
Fräse (H) Bandsaat	18,45	4	25,85	5	21,17	2	49,94	8
Fräse (H) Breitsaat	32,12	8	31,53	8	26,89	7	43,03	6
Grubber Bandsaat	25,10	7	27,90	7	27,43	8	36,04	3
Kreiselegge Drillsaat	14,83	1	18,71	1	23,72	4	27,96	1
Rüttelegge Drillsaat	17,52	3	23,35	3	21,27	3	28,47	2
Fräse (H) Bd auf gepflügt	24,64	6	23,56	4	24,73	5	43,04	7
konv. Bestellung	15,42	2	21,90	2	26,32	6	57,48	5
	Ø20,82		Ø24,84		Ø23,85		Ø40,34	

nicht in dem Maße in der Lage, ihre Vorteile der gleichmäßigeren Ablage auszuspielen. Die Variationskoeffizienten waren hier insgesamt höher, die Reihenfolge der einzelnen Verfahren ist uneinheitlich, und die Unterschiede waren bei Sommergerste gering, bei Winterweizen deutlicher.

Entscheidender noch für eine bessere Standraumverteilung der Pflanzen ist die Querverteilung in der Reihe. Um dies zu ermitteln, wurden auf dem Standort Dürnast Röntgenfilme senkrecht zur Drillreihe in den Boden eingebracht, und zwar pro Reihe 2 x 25 Filme im Format 10 x 24 cm. Die Filme wurden mit einem Blech im Abstand von 5 cm in den Boden geschoben, ohne daß dabei die Lage der Körner verändert worden ist, wie zusätzliche Bodenhobelergebnisse zeigten. Das Saatgut war mit Phosphor radioaktiv markiert worden. Die Strahlung erzeugte auf den Filmen da, wo ein Saatkorn lag, einen schwarzen Fleck. So konnte die Lage der Körner im Boden genau ermittelt werden. In den Abb.66 bis 69 sind vier typische Ergebnisse sozusagen als Querschnitt der Drill-, Band- oder Breitsaatreihe aufgezeichnet. Aus der Tiefen- und Breitenverteilung läßt sich eine Standardabweichung errechnen, die als echter Vergleichsmaßstab dienen kann, weil der Reihenabstand von 15 cm von allen Verfahren in etwa erreicht wird. Abbildung 66 zeigt die Verteilung der Körner im Boden bei einer Drillsaat. Die Streuung in der Tiefenablage betrug auf diesem Boden 1,6 cm, die Streuung quer zur Reihe 1,69 cm. Das "Tume"-Flügelschar verteilte die Körner wesentlich breiter über die Fläche, wie die Streuung von 2,65 cm anzeigt (Abb.67). Abb.68 und Abb.69 zeigen, wie die Band- und Breitsaat bei der Fräse die Saatreihe gegenüber der Drillsaat "bündelte". Dies kam weniger in der Tiefenablage ($s = 1,9$ cm gegenüber $s = 2,1$ cm) zum Ausdruck als in der Flächenverteilung, wo das Saatauslaufrohr die Streuung von $s = 4,12$ cm bei der Drillsaat auf $s = 2,73$ verringerte. Die Streuungen quer zur Saatreihe auch der anderen Verfahren sind in Tab.11 zusammengefaßt. Im Vergleich aller Verfahren sieht man, daß auch eine Drillreihe, gesät mit einem Schleppschar, noch eine Streuung

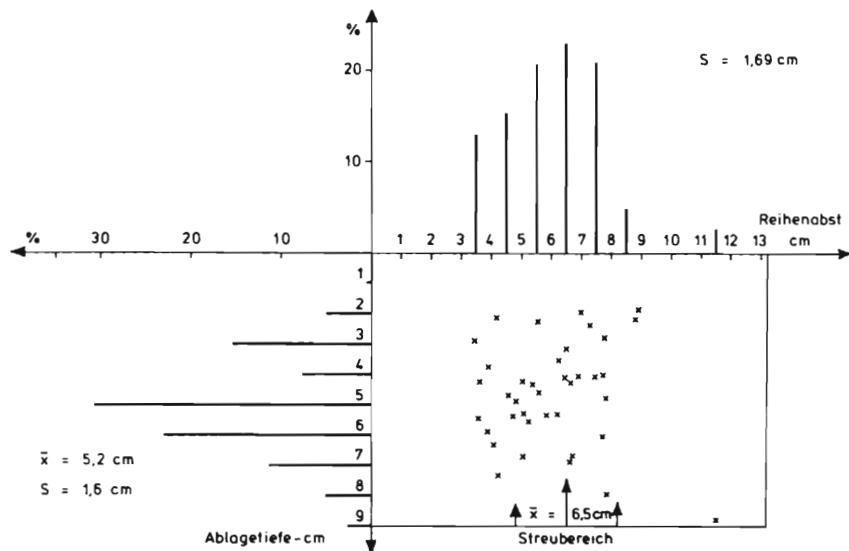


Abbildung 66: Körnerverteilung im Boden Amazone - Drillsaat
Reihenabstand 13,2 cm

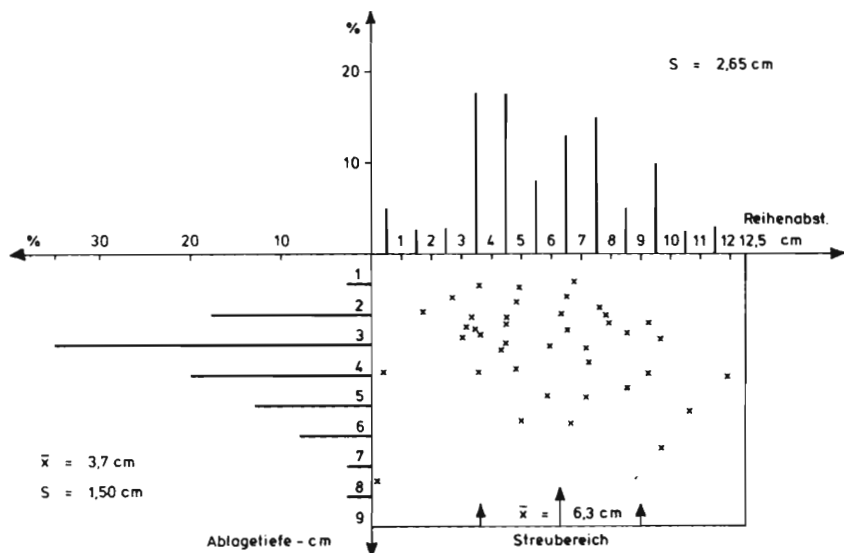


Abbildung 67: Körnerverteilung im Boden Tume - Bandsaat
Reihenabstand 12,5 cm

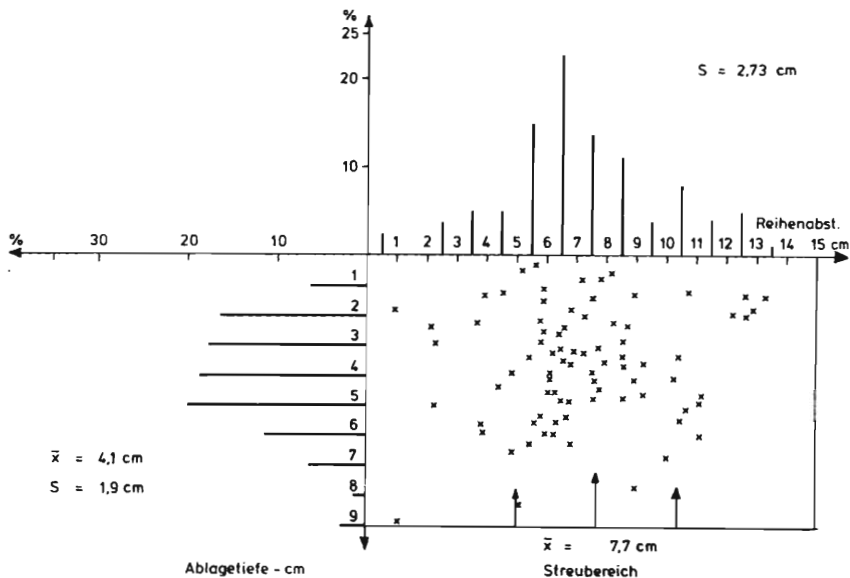


Abbildung 68: Körnerverteilung im Boden Fräse (H) - Bandsaat
Reihenabstand 15,0 cm

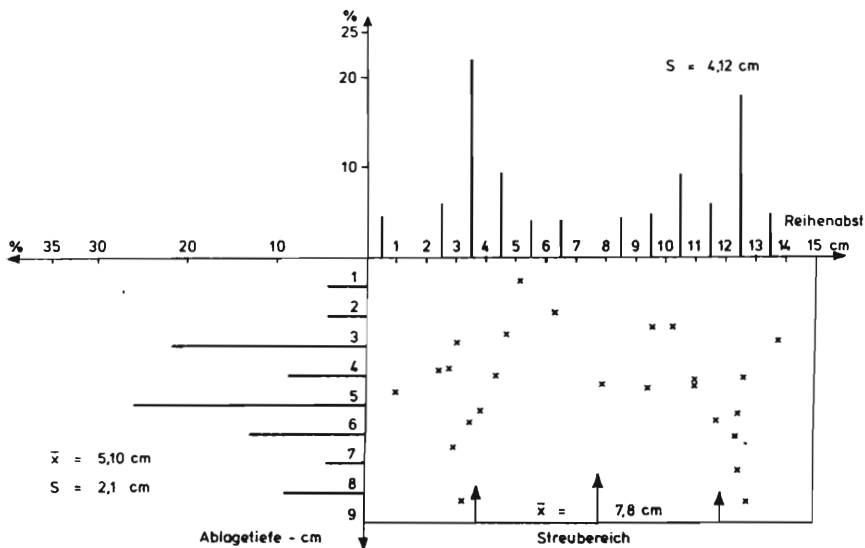


Abbildung 69: Körnerverteilung im Boden Fräse (H) - Breitsaat
Reihenabstand 15,0 cm

von 1,69 cm aufwies, d.h. daß etwa 67 % der gesäten Körner in einem Saatstrang von etwa 3 cm Durchmesser lagen. Es ist also durchaus

Tabelle 11: Die Flächenverteilung der Körner bei verschiedenen Saatverfahren, gemessen an der Streuung quer zur Saatreihe:

Verfahren	Streuung s (cm)
Drillmaschine Drillsaat	1,69
Feingrubber (R), tiefe Bandsaat	2,23
Tume Flügelschar Bandsaat	2,65
Fräse (H) Bandsaat	2,73
Fräse (R) Bandsaat	3,30
Feingrubber (R), flache Bandsaat	3,64
Fräse (H), Breitsaat	4,12

nicht so, daß bei der Drillsaat exakt Korn hinter Korn, aufgereiht wie auf einer Perlenschnur, liegt, sondern daß beträchtliche Abweichungen auftreten. Bei den sogenannten Bandsaatverfahren nahm die Streuung in der Breite zu, und bei der Breitsaat mit einer Streuung von 4,12 cm waren die Körner nahezu gleichmäßig über die Reihenbreite von 15 cm verteilt. Waren bei den Saatverfahren, die die Körner in den abfließenden Erdstrom leiten, die Saatauslaufrohre steil gestellt (s. Grubber tief) oder ragten die Rohre tief in den Erdstrom (s. Fräse (H) Band), so war die Breitenstreuung geringer als bei flacher Stellung der Rohre (Grubber flach, Fräse (R) Band).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß

1. die Drillsaat mittels Schlepsscharen eine größere Streuung in der Breite (und der Tiefe) aufwies, als man allgemein hin annimmt,

2. die Bandsaat in den abfließenden Erdstrom eine ähnliche Breitstreuung erzeugte wie die Bandsaat mittels Flügelscharen und
3. mit zunehmender Verbreiterung des Saatbandes bis hin zur Breitsaat die Verteilung in der Längsrichtung der Reihe ungenauer wurde, d.h., es traten Fehlstellen und Horste auf.

Mit einer zunehmenden Verbesserung der Standraumverteilung für die Einzelpflanze durch die Band- und Breitsaatverfahren nahm aber, wie in Kap. 4.4.1 gezeigt, die Genauigkeit der Tiefenablage ab. Von allen untersuchten Verfahren machte nur das "Tume"-Bandsärschar eine Ausnahme, das eine bessere Flächenverteilung als das Drillschar bei gleich guter Tiefenverteilung gewährleistete.

4.5 Feldaufgang

Der Feldaufgang gibt den Anteil der aufgelaufenen Körner von den insgesamt gesäten Körnern in Prozent an. Er ist das erste meßbare Ergebnis der Qualität der Bestellarbeit, das direkt den Ertrag mit beeinflußt. Die für einen optimalen Ertrag notwendige Pflanzenzahl je m^2 ist ein frucht- und sogar sortenspezifisches Merkmal. Daher ist es notwendig, verfahrensbedingte Unterschiede im Feldaufgang zu wissen, um über höhere Saatmengen dies auszugleichen und damit möglichst nahe an die erwünschte Pflanzenzahl heranzukommen.

Auf den Standorten Roggenstein und Dürnast wurde in den Versuchsjahren 1972/73 und 1973/74 die pro Parzelle ausgebrachte Saatmenge genau gewogen und über das Tausendkorngewicht die Anzahl der Körner je m^2 berechnet. Zur Ermittlung der Zahl der aufgelaufenen Pflanzen je m^2 wurde pro Parzelle in 10 Wiederholungen je ein Meter einer Saatreihe bzw. bei Breit- und Bandsaat eine Fläche von 15 x 100 cm ausgezählt. Der Zeitpunkt des Auszählens richtete sich nach

der Entwicklung der Pflanzen. Der Winterweizen wurde immer erst im zeitigen Frühjahr ausgezählt, da durch die späten Saattermine nach der Körnermaisernte auch im Winter noch Pflanzen aufliefen. Bei Sommergetreide erfolgte die Auszählung, wenn alle Pflanzen aufgegangen waren. Die Feldaufgänge bei der Fräsbreitsaat waren am schlechtesten und lagen um 11 % bis 23 % unter den Vergleichswerten der Drillsaat (Tab. 12). Die Bandsaat verbesserte das Ergebnis nur gering, wobei kein Unterschied bestand, ob das Feld vorher gepflügt war oder nicht. Die Grubberbandsaat lag im allgemeinen über der Fräsbandsaat und wies keine großen Unterschiede mehr zur Drillsaat auf. Warum diese Unterschiede auftraten, dürfte darin begründet sein, daß durch die verschieden feine Krümelung des Saatbettes und die Ungleichmäßigkeit der Tiefenablage der Körner das Angebot an Wasser, Luft und Temperatur verschieden war. Wenn also für eine optimale Bestandesentwicklung eine bestimmte Pflanzenzahl notwendig ist, so müssen diese offensichtlichen Unterschiede im Feldaufgang durch Saatgutzuschläge ausgeglichen werden.

Tab. 12: Feldaufgänge bei verschiedenen Saatverfahren in %
(Durchschnitt aus den Jahren 1973 und 1974)

	Roggenstein		Dürnast	
	WW	SG	WW	SG
Breitsaat Fräse	49,9	72,5	45,2	51,0
Bandsaat Fräse	55,0	75,6	41,2	57,7
Bandsaat Fräse (gepflügt)	55,2	75,8	40,7	66,0
Bandsaat Grubber (gepflügt)	68,3	82,3	57,1	66,9
Drillsaat (gepflügt)	71,6	83,7	59,3	74,1

4.5.1 Einfluß der Tiefenablage

HEEGE (57) weist anhand von Daten aus 42 Fehlversuchen nach, daß der Feldaufgang mit zunehmender Streuung (Standardabweichung) der Tiefenablage abnimmt. Der Feldaufgang von 75 % bei der Drillsaat verringert sich über die Bandsaat zur ganzflächig eingerührten Breitsaat auf rund 55 %. Diese Zahlen stimmen mit den in den eigenen Versuchen ermittelten Werten überein (Tab. 12). Nur ist in den angegebenen Ergebnissen ein Faktor nicht eliminiert, der sehr wohl Einfluß auf die Keimung und den Feldaufgang nimmt: der Feinheitsgrad des Saatbettes.

4.5.2 Einfluß des Zerkleinerungsgrades

Die einzelnen Nachbearbeitungsgeräte zerkleinern den Boden je nach Werkzeugform und Antriebsart unterschiedlich intensiv. KNITTEL (71) untersuchte die Aggregatgrößenverteilung und bildete mit dem reziproken Wert des gewogenen mittleren Durchmessers den sogenannten Zerkleinerungsgrad. Ein hoher Zerkleinerungsgrad zeigt intensive Zerkleinerung, also feines Saatbett an. Die Versuche gaben nun eine signifikante Abhängigkeit zwischen der Feinheit des Saatbettes und dem Feldaufgang wieder (Abb.70). Diese Abhängigkeit überlagert sich mit der von HEEGE (57) gefundenen Beziehung zwischen Feldaufgang und Streuung der Tiefenablage der Körner, da mit zunehmendem Zerkleinerungsgrad diese Streuung abnimmt. Um diese Einflüsse exakt zu quantifizieren und zu trennen, sind weitere Untersuchungen in Vorbereitung.

Nimmt man den Durchschnitt aus den gewogenen mittleren Durchmessern der Aggregatgrößen der mit Feingrubber, Rüttelegge, Kreiselegge, Fräse und konventioneller Bestellung bearbeiteten Pflugparzellen, um

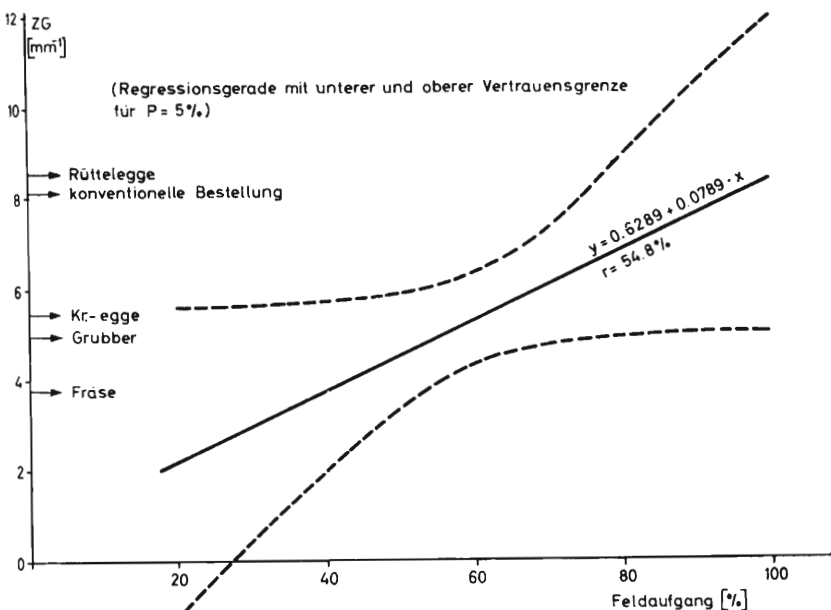


Abbildung 70: Beziehung zwischen Zerkleinerungsgrad ZG und Feldaufgang (Roggenstein 1972/73, Winterweizen)

damit die unterschiedliche Tiefenverteilung zu eliminieren, und stellt ihn dem durchschnittlichen Feldaufgang in diesen Parzellen gegenüber, so ergibt sich für 10 Ergebnisse aus den Jahren 1973 bis 75 und aus 3 Standorten die in Abb. 71 aufgezeichnete Beziehungen. Die mit einem Bestimmtheitsmaß von nahezu 96 % hoch signifikante Korrelation zeigt, daß mit zunehmender Krümelgröße der Feldaufgang abnimmt. In etwa dem gleichen Maße nimmt die Ungenauigkeit der Verteilung in der Reihe zu.

In wieweit der Feldaufgang den Ertrag beeinflusst, ist eine Frage, die vom Witterungsverlauf, der Nährstoff-, Wasser- und Luftdynamik im Boden und ihrer Verfügbarkeit für die Pflanze abhängt. Eine flächenhafte Saatgutverteilung kann hier Nachteile der ungleichmäßigen Tie-

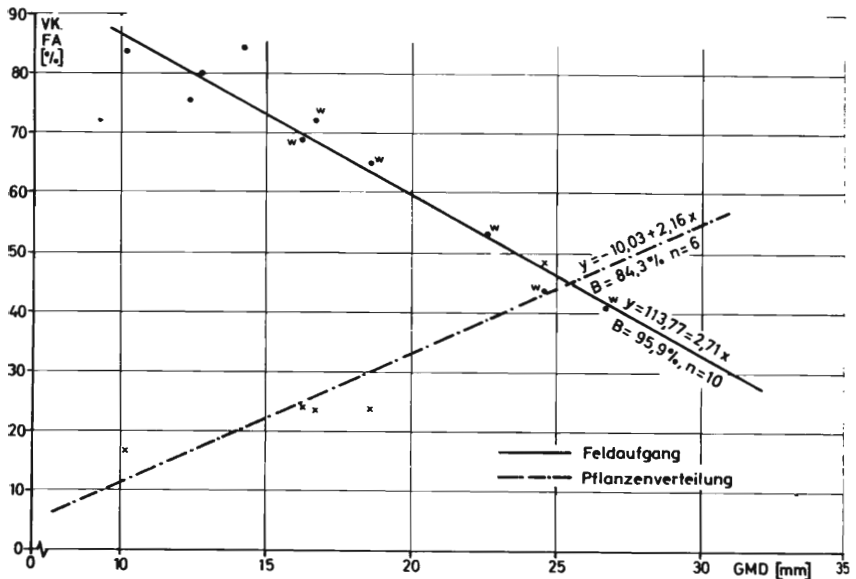


Abbildung 71: Beziehung zwischen Krümelgröße (GMD) Feldaufgang (FA) und Variationskoeffizient (VK) der Pflanzenverteilung

fenverteilung evtl. wieder ausgleichen, indem der Einzelpflanze ein besserer Standraum zugeteilt ist.

4.6 Ertragsbestimmende Faktoren

Der Körnerertrag eines Getreidebestandes setzt sich aus mehreren Ertragskomponenten zusammen. Dies sind die Zahl der Pflanzen und der ährentragenden Halme pro Flächeneinheit und die Zahl und das Gewicht der Körner je Einzelähre. Für die Ausbildung dieser Komponenten können verschiedene Gründe maßgebend werden:

1. Die Erbanlagen einer Fruchtart und auch einer Sorte beeinflussen maßgeblich das Tausendkorngewicht, die Kornzahl je Ähre und damit das Einzelährengewicht.
2. Die Standortverhältnisse, also der Boden als Nährstofflieferant und das Klima tragen ebenfalls wesentlich zur Ausbildung der Ertragskomponenten bei.
3. Die Anbautechnik bestimmt die Pflanzenzahl je Flächeneinheit, resultierend aus der Saatmenge und dem Feldaufgang, und die Standraumzuteilung, resultierend aus dem Säsystem. Die Nährstoffverfügbarkeit ist eine Folge der Nährstoffdynamik und der Wurzelbildung, die beide durch die Art und die Intensität der Bodenbearbeitung beeinflußt werden. Ebenso haben die Dichtlagerung des Bodens, die Kapillarität und die Beschattung des Bodens Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit für die Pflanze.
4. Die Krankheitsanfälligkeit, besonders für *Cercospora*, *Ophiobolus* und *Septoria*, ist zum Teil genetisch bedingt, zum Teil durch Anbaumaßnahmen beeinflussbar und wirkt sich direkt auf den Ertrag aus.

Während die Punkte 1. und 2. und teilweise auch 4. für alle Parzellen auf den Versuchsflächen gleichermaßen gelten, können sich doch die Unterschiede in der Anbautechnik von Parzelle zu Parzelle in den Ertragsfaktoren ausdrücken.

Nun sind in der Vergangenheit viele Versuche mit reduzierter Bodenbearbeitung und unterschiedlichen Saatverfahren durchgeführt worden. Leider fehlt meist eine Angabe über die Zusammensetzung des Ertrages, also die Ertragsfaktoren. Nur BOSSE und HERZOG (21) KAHNT (68) TEUTEBERG (109), DEBRUCK (25) und BACHTHALER (6) machen hier nähere

Angaben, die sich aber meist auf Direktsaat im Vergleich zur Normalbestellung beziehen. So findet TEUTEBERG (109) meist geringere Erträge, die aus geringerer Bestandesdichte bei gleichem Tausendkorngewicht und gleicher Kornzahl je Ähre resultieren, bei Direktsaat, jedoch fast durchweg bessere Ergebnisse bei der Frässaat als bei der Normalbestellung. DEBRUCK (25) kann nach vierjährigem Vergleich von Direktsaat mit konventioneller Bestellung keine gesicherte Über- oder Unterlegenheit des einen oder anderen Verfahrens feststellen, da Unterschiede in der Bestandesdichte je nach Witterungsverlauf und Nährstoffangebot über das Tausendkorngewicht, die Ährengröße, aber auch über den Krankheitsbefall ausgeglichen werden können. Ähnliches berichtet BACHTHALER (6). Der Befall mit Fußkrankheiten wird ebenfalls unterschiedlich beurteilt (BACHTHALER (6), SCHWERDTLE und KOCH (96)), jedoch scheint sich die von HOOD (65) in England gefundene Tatsache zu bestätigen, daß bei Direktsaat *Ophiobolus graminis* weniger stark auftritt und dies auch für *Cercospora herpotrichoides* zutreffen kann. Klarer ist die Aussage über das Auftreten von Unkräutern und Ungräsern. Bei Reduzierung der Bearbeitungsintensität nimmt der Anteil an einjährigen Unkräutern ab, der an mehrjährigen Unkräutern und Ungräsern idR stark zu (SCHWERDTLE und KOCH (96), SCHWERDTLE (97), DEBRUCK (25), KAHNT (68), BACHTHALER (4)).

4.6.1 Methode

Um Aussagen über die Bestandesentwicklung und die Ertragsbildung in den Versuchen machen zu können, wurden die als relevant erscheinenden Faktoren im Bestand ausgezählt bzw. nach dem Drusch gemessen. Insbesondere waren dies

1. Anzahl der Pflanzen je m^2
2. Anzahl der Halme je m^2
3. TKG

4. Anzahl der Körner je Ähre
5. Ährengewicht
6. Ertrag
7. Befall mit *Ophiobolus* und *Cercospora*

Zu 1. Die Anzahl der Pflanzen wurden in der unter 4.4.2 genannten Weise mit je 10 Wiederholungen pro Parzelle ausgezählt

zu 2. Die Anzahl der ährentragenden Halme wurde kurz vor der Ernte in ähnlicher Weise mit 10 Wiederholungen pro Parzelle ausgezählt.

Zu 3. Aus 4 Einzelmessungen des Druschgewichtes wurden je 2 bis 3 Zählungen des Tausendkorngewichtes durchgeführt, so daß dafür insgesamt 8 - 12 Wiederholungen zur Verfügung standen.

Zu 4. Aus dem Ertrag je m^2 und dem Tausendkorngewicht läßt sich die Anzahl Körner je m^2 und mit der Halmzahl dann die Anzahl Körner je Ähre berechnen.

Zu 5. Das Ährengewicht errechnet sich aus dem Tausendkorngewicht und der Anzahl Körner je Ähre.

Zu 6. Bei der Beerntung der Versuche wurden aus jeder Parzelle zwei Mährescherbreiten der Länge nach herausgedroschen und diese zwei Druschmengen als 2 Wiederholungen pro Parzelle weiterverwendet. Da auf den Versuchsfeldern zu jeder Parzelle eine Wiederholung angelegt war, standen 4 Einzelmessungen zur Ermittlung des Ertrages pro Bearbeitungsvariante zur Verfügung.

Zu 7. Der Befall mit *Cercospora herpotrichioides* und *Ophiobolus graminis* wurde nach der international gebräuchlichen Neunerklassifizierung bonitiert, wobei 1 = nicht befallen und 9 = sehr stark befallen bedeutet. Bonitiert wurden etwa 60 bis 100 Halme, die nach dem Zufallsprinzip in 10 Proben aus der Parzelle entnommen waren.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden für die Standorte Roggenstein und Dürnast mittels zweifaktorieller Varianzanalyse verrechnet. Dabei sollten folgende Einflüsse besonders herausgearbeitet werden.

- Einfluß von Kreiselpflug und Scharpflug gegenüber der ungepflügten Parzelle.
- Einfluß der Versuchsjahre 1972/73/74
- Einfluß der Nachbearbeitungsgeräte

Feingrubber
Rüttelegge
Kreiselegge
Fräse
Konventionelle Bestellung

- Einfluß des Saatgutzuschlages auf den unterschiedlichen Fräsparzellen.

Besondere Zusammenhänge wurden mit einfacher und multipler Regression herausgearbeitet, wie z.B. der Befall mit Fußkrankheiten und seine Beziehung zum Bearbeitungs- und Saatverfahren, zur Bestandesdichte und zum Ertrag.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in ihrer Vollständigkeit wegen der Fülle der Daten in den Anhangtabellen 22 bis 31 zusammengefaßt. Daneben sind in den Anhangtabellen 32 bis 33 die F-Werte für die Haupt- und Wechselwirkungen angegeben, um einen schnelleren Überblick über die Signifikanz der Einflüsse zu ermöglichen.

Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse erläutert.

4.6.2 Bestockung

Aus der Anzahl der Halme pro m^2 , dividiert durch die Anzahl der Pflanzen pro m^2 , errechnet sich der sogenannte Bestockungsquotient. Er sagt aus, wieviel ährentragende Halme pro Pflanze ausgebildet werden. Die Bestockungsfähigkeit einer Getreideart hängt neben der Sorteneigenschaft und der Wasser- und Nährstoffversorgung hauptsächlich von der Anzahl der Pflanzen pro m^2 und dem Drillreihenabstand ab. Wenn in den Versuchen unterschiedliche Bestockungsquotienten auftreten, so muß dies, da Sorte und Standortverhältnisse für die einzelnen Parzellen als gleich angesehen werden können, entweder auf die unterschiedliche Pflanzenzahl oder die unterschiedlichen Standraumverhältnisse bei Breit-, Band- oder Drillsaat zurückzuführen sein. Viele Autoren wie BOEKHOLT (17), HEUSER (62), FURRER (43), (44), HEEGE (55) und BACHTHALER (7) haben in ihren Versuchen festgestellt, daß mit zunehmender Saatstärke die Bestockung abnimmt, bei geringer werdendem Drillreihenabstand dagegen zu. Dies führt auch zu einer ertraglichen Mehrleistung bei enger Drillweite, die HEUSER (62) auf den Anstieg der Bestandesdichte, BOEKHOLT (17) und FURRER (43) auch auf ein höheres Einzelährengewicht, bedingt durch vermehrtes Wurzelwachstum, zurückführen. Auch BACHTHALER (7) kommt zu dem Schluß, daß engere Drillweiten durch eine frühere Bodenbeschattung besonders bei trockenen Anbaubedingungen Vorteile bringen.

Der Übergang von der Drillsaat zur Band- und Breitsaat müßte, wie HEEGE (55) nachgewiesen hat, denselben Effekt wie eine Drillweitenverengung haben, da sich bei gleicher Pflanzenzahl die Standraumverhältnisse verbessern.

Bedingt durch die unterschiedlichen Bearbeitungs- und Saatmethoden, waren die Pflanzenzahlen pro m^2 auf den einzelnen Parzellen verschieden.

Dies wurde in Kap. 4,5 beim Feldaufgang deutlich. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß trotz größter Sorgfalt beim Abdrehen der Drillmaschinen die tatsächliche Saatmenge von der Sollmenge abweichen kann, da durch die Übertragung von Schwingungen vom Bodenbearbeitungsgerät auf die Drillmaschine sich der Drillmechanismus im Feldeinsatz anders verhält als im Stand. Da diese Abweichungen in der Saatmenge aber gleichermaßen nach oben und nach unten und bei allen Geräten in nur geringem Maße auftraten, bleibt der Feldaufgang die bestimmende Größe für die Pflanzenzahl.

In Roggenstein lagen im Schnitt der Jahre 1972 bis 1974 die Pflanzenzahlen auf den Fräsparzellen gesichert unter denen der Kreisel- und Scharpflugparzellen. Sie betragen bei Winterweizen 286 pro m² gegenüber 350 bzw. 353 und bei Sommergerste 274 gegenüber 309 bzw. 310. Auch in Dürnast lagen die Fräsparzellen mit ihren Pflanzenzahlen niedriger, bei Weizen mit 229 Pflanzen pro m² gegenüber 252 Pflanzen auf den Kreiselpflug- und 263 auf den Scharpflugparzellen. Bei Sommergerste betragen die Zahlen 193 gegenüber 210 bzw. 234. In der Halmzahl lagen die Fräsparzellen aber wieder gleich mit den gepflügten Parzellen, bei Weizen in der Tendenz eher höher. Dadurch ergaben sich signifikante Unterschiede im Bestockungsquotient, die in Tab.13 zusammengestellt sind.

Die mit der Varianzanalyse errechneten, fast immer signifikanten Unterschiede im Bestockungsquotient zwischen den Frässaatparzellen und den gepflügten Parzellen können also entweder durch eine niedrige Ausgangspflanzenzahl bedingt sein oder durch eine bessere Bestockungsfähigkeit der Pflanzen bei Breit- und Bandsaat. Daher wurde mit einer einfachen Regression die Beziehung zwischen Pflanzenzahl und Bestockungsquotient errechnet, und zwar auf den Standorten Roggenstein und Dürnast jeweils unterteilt in eine Gruppe der Band- und Breitsaatparzellen und eine Gruppe der Drillsaatparzellen, um

Tab.13 : Einfluß verschiedener Grundbodenbearbeitung auf den Bestockungsquotienten von Winterweizen (WW) und Sommergerste SG (1972 - 1974)

Standort:	Fruchtart	Fräse	Kreiselpflug	Scharpfflug	GD ₅ %
Roggenstein	WW	1,68	1,22	1,19	0,12
	SG	2,33	2,29	2,20	0,10
Dürnast	WW	2,13	1,74	1,61	0,38
	SG	3,87	3,54	3,14	0,37

den Einfluß der besseren Standraumverteilung bei Breit- und Bandsaat gegenüber der Drillsaat unabhängig von der Pflanzenzahl zu ermitteln. Die Gleichungen der Regressionsgeraden sind in Tabelle 14 eingetragen. Daraus geht hervor, daß bei der Band- und Breitsaat immer ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Pflanzenzahl und dem Bestockungsquotient besteht. Je kleiner die Ausgangspflanzenzahl ist, um so größer ist der Bestockungsquotient. Das heißt, daß bei diesen Saatverfahren der Pflanzenbestand sehr wohl in der Lage ist, schlechtere Feldaufgänge und damit niedrigere Pflanzenzahlen durch verstärkte Bestockung zu kompensieren und genügend ährentragende Halme zu schieben. Dies gilt in besonderem Maße für Winterweizen.

In der Gruppe der Drillsaatparzellen ist diese Abhängigkeit von Pflanzenzahl und Bestockungsquotient nur in 4 von 10 Fällen nachzuweisen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß bei den Drillsaaten

Tab. 14 : Beziehung zwischen Pflanzenzahl und Bestockungsquotient bei Band- und Drillsaat (P = 0,05)

	Bandsaat			Drillsaat		
Roggenstein:	Regr.Gerade y =	r ²	n	Regr.Gerade y =	r ²	n
1972 WW	4,694-0,0096x	0,70**	9	2,667-0,0037x	0,52	6
SG	4,008-0,0049x	0,47*	12	6,644-0,0135x	0,80*	6
1973 WW	1,722-0,0018x	0,53***	18	1,176-0,0003x	0,02	12
SG	3,994-0,0072x	0,58***	18	1,446-0,0018x	0,01	12
1974 WW	1,889-0,0025x	0,47**	18	2,822-0,0049x	0,59**	14
SG	4,109-0,0065x	0,32*	18	2,840-0,0019x	0,16	14
Dürnast:						
1973 WW	4,238-0,0083x	0,80***	14	2,855-0,0041x	0,48	10
SG	7,513-0,0158x	0,64***	14	4,858-0,0065x	0,28	10
1974 WW	3,324-0,0068x	0,63***	14	1,661-0,0007x	0,07	10
SG	4,441-0,0078x	0,43*	14	5,629-0,0107x	0,68**	10

die Spannweiten und damit auch die Streuung der Pflanzenzahlen um etwa 20 % geringer waren und das natürlich die Korrelationen beeinflusst. Trotzdem kann man sagen, daß die Drillsaaten nicht in dem Masse mangelnde Pflanzenzahlen durch erhöhte Bestockung ausgleichen können, was auf die schlechtere Standraumverteilung mit zurückzuführen sein dürfte. So ergibt sich, daß bei Winterweizen in der Halmzahl kaum mehr ein Unterschied zwischen den Fräs-, Kreiseelpflug- und Scharpflugparzellen besteht, die Fräsparzellen mit und ohne Saatgutzuschlag sich auch nicht mehr unterscheiden und beim Vergleich der Nachbearbeitungsgeräte auf den Pflugparzellen die Unterschiede in der Pflanzenzahl auch in der Halmzahl erhalten bleiben, da die Bestockung auf den Drillsaatparzellen (konventionell, Rüttelegge, Kreiselegge) weni-

ger von der Pflanzenzahl als vielmehr vom Einfluß der Jahre abhängt. Für die Sommergerste gilt, daß auch hier der Unterschied zwischen den einzelnen Jahren sehr ausgeprägt ist, daß auch der Saatgutzuschlag auf den Fräsparzellen sich signifikant in einer geringeren Bestockung auswirkt, daß aber Unterschiede zwischen den gepflügten und den ungepflügten Parzellen kaum auftreten und auch die Nachbearbeitungsgeräte den Bestockungsindex kaum beeinflussen.

4.6.3 Tausendkorngewicht

Der Einfluß der Intensität der Bodenbearbeitung und des Saatverfahrens auf das TKG wurde nur von sehr wenigen Autoren untersucht. Während BOSSE und HERZOG (21) und TEUTEBERG (109) keine eindeutige Aussage treffen, fand DEBRUCK (25) ein leicht höheres TKG bei Direktsaat, BACHTHALER (6) dagegen ein niedrigeres.

Die dreijährigen Ergebnisse in Roggenstein und die zweijährigen Ergebnisse in Dürnast scheinen die Tendenz zu bestätigen, daß die Art und die Intensität der Grundbodenbearbeitung das TKG nicht beeinflußt. Zwar lag es in Roggenstein auf den Fräsparzellen ohne Grundbodenbearbeitung bei Winterweizen mit 41,3 g gesichert unter den Pflugparzellen mit 43,0 bzw. 42,29g; dies dürfte aber auf die geringe Ausgangspflanzenzahl und die damit verbundene verstärkte Bildung von Halmen 2. und 3. Ordnung zurückzuführen sein. In Dürnast war kein Unterschied im TKG bei Weizen festzustellen, bei Gerste auf beiden Standorten nicht.

Der Einfluß der Versuchsjahre zeigte sich sehr deutlich im unterschiedlichen TKG von Jahr zu Jahr, sowohl bei Winterweizen wie bei Sommergerste, was auf unterschiedlichen Witterungsverlauf und unterschiedliche Nährstoffverfügbarkeit zurückzuführen ist (Tab. 15).

Ein Einfluß der Nachbearbeitungsgeräte Feingrubber, Fräse und Kreiselegge im Vergleich zur konventionellen Bestellung konnte in Dürnast weder bei Winterweizen noch bei Sommergerste nachgewiesen werden.

In Roggenstein hatten die Nachbearbeitungsgeräte Feingrubber, Kreiselegge und Rüttelegge bei Weizen ein leicht höheres, bei Gerste ein leicht niedrigeres TKG als die konventionell bestellten Parzellen. Die Unterschiede waren zwar gleichermaßen auf den Scharpflug- wie auf den Kreiselpflugparzellen sichtbar, aber doch recht gering und schwer interpretierbar.

Tab. 15 : Einfluß der Versuchsjahre auf das Tausendkorngewicht in g bei Winterweizen (Caribo) und Sommergerste (Carina)

	Roggenstein		Dürnast	
	WW	SG	WW	SG
1972	35,7	37,2	-	-
1973	40,0	43,2	45,0	38,4
1974	50,8	42,8	46,7	43,7
GD ₅ %	0,88	0,47	0,82	1,69

Ein Saatgutzuschlag von 20 % auf den Fräsparzellen in Roggenstein brachte weder bei Winterweizen noch bei Sommergerste eine absichere Änderung des TKG.

So ergeben auch diese Versuche, daß weder die Art der Grundbodenbearbeitung noch die Art der Saatbettbereitung und Saat einen wesentlichen Einfluß auf das TKG ausüben.

4.6.4 Kornzahl/Ähre

Die Auswirkung unterschiedlicher Bearbeitungsvarianten auf die Kornzahl/Ähre wurde bei bisherigen Versuchen kaum berücksichtigt. Die Kornzahl/Ähre wird beeinflußt von der Anzahl der fertilen Ährchen je Ähre und der Anzahl der fertilen Blüten je Ährchen. Diese weitgehend genetisch bestimmten Merkmale können durch Ackerbaumaßnahmen und hier besonders durch Düngung, beeinflußt werden (MOHR, (82)). Es bestehen aber keine Versuchsergebnisse, die dieses Entstehen der Ertragskomponente Kornzahl/Ähre in Abhängigkeit von Bearbeitungsmaßnahmen oder Säverfahren exakt quantifizieren.

Bei Winterweizen zeigte sich im Durchschnitt der Versuchsjahre kein Unterschied in der Kornzahl/Ähre bei den drei Grundbodenbearbeitungsvarianten, "Kreiselflug", "Scharpflug", und "ohne Bearbeitung", ebenso bei der Sommergerste.

Sehr deutlich waren allerdings die Unterschiede zwischen den Versuchsjahren, besonders bei Winterweizen. So war die mittlere Kornzahl in Dürnast mit 32,2 1974 doppelt so hoch wie in dem Trockenjahr 1973 mit 16,0, wo es offensichtlich zur Nährstofffestlegung kam. Auch in Roggenstein traten von Jahr zu Jahr sehr starke Schwankungen auf. Bei Sommergerste waren die Unterschiede weit weniger ausgeprägt und auch zwischen den 2 Standorten sehr gering. Wenn schon zwischen den Grundbodenbearbeitungsvarianten kaum Unterschiede in der Kornzahl/Ähre auftraten, so war auch durch die verschiedenen Nachbearbeitungssysteme ebenfalls wenig Einfluß zu erwarten. So trat bei Winterweizen weder in Roggenstein (\emptyset 17,0) noch in Dürnast (\emptyset 24,5) eine absicherbare Differenz auf. Bei Sommergerste lagen in Roggenstein die Rüttelegerparzellen mit der höchsten Kornzahl von 13,0 gesichert über den Feingrubberparzellen mit 11,9. In Dürnast waren es die konventionell bestellten Parzellen, die mit 15,7 gesichert über den Feingrubberparzellen mit 13,5 und den Kreiseleggen-

parzellen mit 13,9 lagen.

Bei den Frässaatn wirkte sich der Saatgutzuschlag von 20 % eher mindernd auf die Kornzahl/Ähre aus. Die Unterschiede betragen bei Winterweizen 1,0, bei Sommergerste 0,6, sind aber in keinem Fall abzusichern.

4.6.5 Ährengewicht

Das Ährengewicht oder der Einzelährenertrag resultiert aus der Kornzahl/Ähre und dem TKG. BOSSE und HERZOG (21) fanden keinen signifikanten Einfluß unterschiedlicher Bodenbearbeitungsmethoden auf die Ährenlänge bzw. das Ährengewicht. Von Jahr zu Jahr oder bei verschiedenen Düngungsstufen kann aber das Ährengewicht stark variieren, hauptsächlich durch die Veränderung der Kornzahl je Ähre.

Bei Winterweizen war ein Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf das Ährengewicht in Roggenstein nicht festzustellen. In Dürrast änderte es sich gleichlaufend mit der Kornzahl, so daß die Frässaatparzellen mit 1,047 g/Ähre am niedrigsten und die Scharpflugparzellen mit 1,203 g/Ähre am höchsten lagen. Bei Sommergerste lagen, zumindest in Roggenstein, die Ährengewichte der Frässaatparzellen mit 0,57 g höher als die der Pflugparzellen mit 0,50 g bzw. 0,52 g.

Wie bei der Kornzahl/Ähre, so waren auch beim Ährengewicht die Unterschiede sowohl bei Weizen wie bei Gerste von Jahr zu Jahr sehr stark ausgeprägt.

Die verschiedenen Nachbearbeitungs- und Säverfahren brachten in Roggenstein, wie bei Kornzahl und TKG, gewisse Unterschiede im Ährengewicht. Wohl hervorgerufen durch die geringe Bestockung und die geringe Halmzahl, war bei den Rüttelegerparzellen die Ährenausbildung bei Winterweizen mit 0,794 g/Ähre deutlich besser als der Durchschnitt mit 0,746 g. Bei Sommergerste traten keine Unterschiede auf. In Dürr-

ast waren bei Winterweizen ebenfalls keine Unterschiede festzustellen, bei Sommergerste lagen die konventionelle Bestellung und die Frässaat besser als Kreiselegge bzw. Feingrubber. Diese Unterschiede im Ährengewicht resultierten eindeutig wieder aus Unterschieden in der Kornzahl, nicht des TKG.

Der Saatgutzuschlag von 20 % auf den nicht gepflügten Frässaatparzellen in Roggenstein brachte bei Weizen eine gesicherte Verringerung des Ährengewichtes um 0,07 g, bei Sommergerste nur um 0,03 g. Diese Tendenz ließ sich aber bei allen drei Frässaatverfahren gleichermaßen beobachten, obwohl annähernd gleiche Halmzahlen vorlagen, bei stärkerer Bestockung der Parzellen ohne Saatgutzuschlag.

4.6.6 Ertrag

Die pflanzenbaulich und betriebswirtschaftlich interessanteste Größe ist der Gesamtertrag, besonders der Körnerertrag, wie er nach den unterschiedlichen Bodenbearbeitungs- und Saatbettbereitungsverfahren zu erwarten ist. In der Literatur finden sich viele Versuche, die die Frage der pfluglosen Bestellung im Vergleich zur konventionellen Bestellung behandeln (BOSSE und HERZOG (21), KAHNT (68), TEUTEBERG (108), (109), DEBRUCK (25), BACHTHALER (6) u.a.) Viele kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen, da einmal die verwendeten Geräte nicht gleich waren (3-Scheiben-Drillmaschine, Rillenfräse, Ganzflächenfräse) und da vor allem die Boden- und Witterungsverhältnisse und die verwendeten Fruchtarten und -sorten einen großen Einfluß auf die Ertragsergebnisse haben. Eine Grundtendenz läßt sich herauslesen: Mit zunehmender Gefahr von Sommertrockenheit steigt die relative Vorzüglichkeit der pfluglosen Bestellung, mit kürzer werdenden Bestellzeitspannen auf Problemböden steigt ebenfalls die relative Vorzüglichkeit der pfluglosen Bestellung, aber insgesamt bergen diese Verfahren ein erhöhtes Risiko, auch im Hinblick auf eine verstärkte Verunkrautung.

Da schon die einzelnen Ertragskomponenten Halmzahl, TKG, Kornzahl und Ährengewicht bei den unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden wenig gesicherte, erklärbare Differenzierungen aufwiesen, waren auch im Körnerertrag keine großen Unterschiede zu erwarten, zumal sich Abweichungen in den Ertragskomponenten meist gegenseitig ausgleichen. So bewirkte z.B. eine geringere Bestandesdichte eine höhere Kornzahl, oder, wie das bei Winterweizen in Roggenstein zu beobachten war, ein höheres TKG, bei letztlich gleichem Ertrag (Tab. 16). In Dürnast ließen sich bei einem Ertragsniveau von 42 - 45 dt bei Wi-Weizen ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Hauptparzellen mit variiertes Grundbodenbearbeitung absichern. Die Sommergerste ist nicht in dem Maße wie der Winterweizen in der Lage, Mängel im Feldaufgang, wie z.B. bei der Frässaat, in der Bestockung voll auszugleichen. Bei gleichem Ährengewicht lagen die Fräspartellen in Dürnast auf den leicht staunassen Böden gesichert mit 3 dz/ha unter dem Durchschnitt der gepflügten Partellen (Tab. 16). In Roggenstein waren die Erträge im dreijährigen Durchschnitt zwar gleich, aber dies wurde hauptsächlich bewirkt durch die Überlegenheit der Fräspartellen im Trockenjahr 1973, wo auf dem durchlässigen Aueboden regelrechte Dürreschäden auftraten. Von Jahr zu Jahr können also sehr starke Schwankungen im Ertrag deutlich werden, nicht nur in der absoluten Höhe, sondern auch in der Relation der Verfahren untereinander.

Bei den verschiedenen Nachbearbeitungsverfahren (Tab. 17) zeigte sich in Roggenstein sowohl bei Weizen wie bei Gerste eine gewisse Überlegenheit der konventionellen Bestellung gegenüber den sogenannten Minimalbestellverfahren, was auf den besseren Bodenschluß durch das zweimalige Befahren, z.T. sogar noch mit zusätzlichem Walzengang, und der damit verbundenen exakteren Saatgutablage zurückzuführen sein dürfte. In Dürnast, auf den schwereren, eher zu feuchten Böden, lagen die Verhältnisse, besonders bei Winterweizen, der Tendenz nach umgekehrt. Der Zerkleinerungseffekt des

Tab. 16 : Einfluß verschiedener Grundbodenbearbeitung auf den Ertrag (dt/ha) von Winterweizen (WW) und Sommergerste (SG) (1972 - 1974)

Standort	Fruchtart	Fräse	Kreiselpflug	Scharpflug	GD ₅ %
Roggenstein	WW	30,0	29,3	29,4	2,41
	SG	34,7	33,7	34,7	1,64
Dürnast	WW	42,1	42,3	44,6	2,57
	SG	40,0	42,9	43,1	1,56

Tab. 17: Einfluß verschiedener Minimalbestellgeräte auf den Ertrag (dt/ha) von Winterweizen (WW), Sommergerste (SG) und Sommerweizen (SW) nach einer Pflugfurche

Geräte	Standort				
	Roggenstein 1972-74		Dürnast 1973-74		Frankendorf 1973
	WW	SG	WW	SG	SW
Feingrubber Bandsaat	28,7	32,8	44,8	42,2	57,3
Kreiselegge+Drillsaat	29,3	34,4	42,5	43,5	57,5
Rüttelegge +Drillsaat	27,3	33,7	-	-	56,9
Fräse (H) Bandsaat	-	-	42,9	43,4	56,9
Fräse (H) Breitsaat	-	-	-	-	56,4
Fräse (R) Bandsaat	-	-	-	-	61,5
konv. Bestellung	32,0	35,7	41,6	44,9	-
GD ₅ %	3,05	2,49	4,53	1,52	3,39

Feingrubbers im Frühjahr war in Dürnast zu gering, um für Gerste optimale Wuchsbedingungen zu schaffen. Die Erträge blieben deshalb leicht gegenüber der konventionellen Bestellung zurück (Tab. 17).

In Roggenstein war durch eine Erhöhung der Saatmenge auf den Fräsparzellen um 20 % der Ertrag nicht zu steigern. Tendenzmäßig scheint es sogar eher umgekehrt zu sein, was vielleicht auch wieder durch Trockenperioden erklärbar wäre.

Für den Standort Frankendorf sind die Erträge bei Sommerweizen in der Tab. 17 mit aufgeführt. Bei einem insgesamt sehr hohen Ertragsniveau von über 55 dt/ha lagen die Unterschiede im Ertrag innerhalb der Grenzdifferenz, waren also gleich. Nur die Bandsaat mit der Fräsdrille (R) zeigte mit 61,5 dt/ha eine gewisse Überlegenheit.

4.7 Befall mit ophiobolus graminis und cercospora herpotrichiodes

Zwei Faktoren scheinen nach der Literaturlauswertung die Zunahme des Befallsgrades hauptsächlich zu beeinflussen: der zunehmende Anteil des Getreides in der Fruchtfolge und die produktionstechnische Intensivierung, also in erster Linie die starke Steigerung der Stickstoffdüngung (DIERKS und BACHTHALER (26), GROSSMANN (52)). Die Art der Bodenbearbeitung und Bestellung kann insoweit einen Einfluß auf den Befall ausüben, als

1. Stoppelrückstände mehr oder weniger schnell und intensiv abgebaut werden
2. durch unterschiedliche Feldaufgänge die Zahl der Pflanzen und die Bestandesdichte variiert und
3. die unterschiedlichen Saatmethoden Drill-, Band- oder Breit-
saat das Kleinklima und damit die Infektionsmöglichkeit verändern.

Die Boniturergebnisse wurden daher nach den Einflüssen der Bodenbearbeitung (Pflug und Fräse) und der Saattechnik (Drillsaat und Bandsaat) mittels abnehmender multipler Regression (ABMUR) verrechnet, um diese Einflüsse evtl. quantifizieren zu können.

Als Maß für den Befallsgrad wurde das gewogene Mittel gewählt. Zwar sind die Klassen 1 bis 9 nicht in allen Fällen nach der Normalverteilung belegt, jedoch führte der Versuch, nur die Klassen zu verwenden, die am engsten mit den Merkmalen Bearbeitungsart, Halmzahl und Ertrag in Beziehung stehen, zu keinem Erfolg. Auch ist die Verrechnung mit nur einer Maßzahl, also dem gewogenen Mittel, wesentlich einfacher.

Die Bonituren wurden auf den Standorten Roggenstein und Dürnast bei Winterweizen durchgeführt. Da sich der Befall mit Fußkrankheiten auf beiden Standorten gleichermaßen auswirkte, wurden die Daten zusammen verrechnet. Es stellte sich jedoch heraus, daß es sehr wohl Unterschiede zwischen den Jahren gab, so daß diese getrennt betrachtet werden müssen.

Die Regressionsgeraden errechnen sich nach der Formel

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n,$$

wobei a das konstante Glied und b der Regressionskoeffizient ist. Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen die in Tab.18 aufgeführten Beziehungen, die durch den Regressionskoeffizienten b_1 und das Bestimmtheitsmaß B charakterisiert sind.

Daraus geht hervor, daß ein Einfluß der Halmzahl auf den Befall mit *Ophiobolus graminis* in beiden Jahren nicht nachzuweisen ist. Dabei besteht auch kein Unterschied zwischen Pflug und Fräse und Drill- und Bandsaat. Beim Befall mit *Cercospora herpotrichoides* dagegen

Tab. 18 : Beziehung zwischen der Halmzahl, dem Grad des Befalles mit Ophiobolus und Cercosporella und dem Ertrag

	Halmzahl/m ²			
	1973		1974	
	b ₁	B(%)	b ₁	B(%)
Befall Ophiob.	-0,0018	9	0,002	18,4
(gew.M.) Cercosp.	0,0029	10,6	0,007	46,2
	Befall (gew. Mittel)			
	1973		1974	
	b ₁	B	b ₁	B
Ertrag Ophiob.	- 1,23	16,4	- 4,09	37,5
(dt) Cerc.	0,0178	14,6	- 6,54	42,4

spielte die Halmzahl eine Rolle. Zwar ist das Bestimmtheitsmaß 1973 mit 10,6 sehr gering (Abb. 72), aber 1974 ließ sich die Zunahme des Befalles zu 46,2 % mit der Zunahme der Halmzahl erklären. Demnach brachte die Zunahme der Bestandesdichte um 100 Halme eine Erhöhung des gewogenen Mittels um 0,7 Punkte (Abb. 73). Aber auch hier zeigte sich kein Unterschied zwischen den Bearbeitungsvarianten.

Wie der Krankheitsbefall den Ertrag beeinflusste, geht aus der unteren Hälfte von Tab. 18 hervor. 1973 war der Einfluß wegen des geringen Bestimmtheitsmaßes nur in der Tendenz nachzuweisen. Dagegen zeigte das Jahr 1974 eine deutliche Abhängigkeit des Ertrages vom Befall. So verminderte die Erhöhung des gewogenen Mittels um 1 Punkt bei Ophiobolus den Ertrag um 4,09 dt/ha, bei Cercosporella um 6,54 dt/ha (Abb. 74). Bei Ophiobolus errechneten sich zwei Geraden, eine für

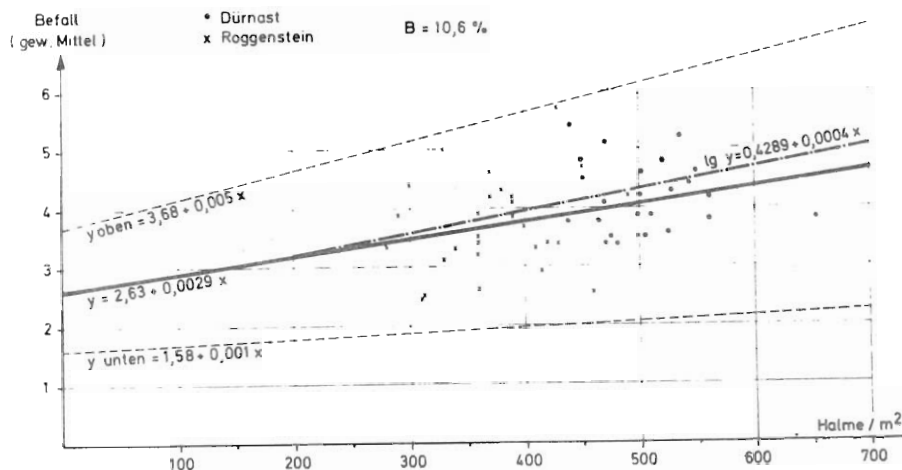


Abbildung 72: Beziehung zwischen Halmzahl und Befall von *Cercosporiella* bei Winterweizen (Dürrnast/Roggenstein 1973; n = 52)

den Pflug, die andere für die Fräse, da 1974 in Roggenstein ein gesicherter Ertragsunterschied zwischen diesen beiden Parzellengruppen war.

4.8 Diskussion der Ergebnisse

Die unterschiedlichen Bestellverfahren unterschieden sich z.T. in der Bearbeitungsintensität und der Art der Saatgutablage. Beides ließ eine Beeinflussung des Pflanzenwachstums erwarten. KNITTEL (71) führte auf den gleichen Parzellen die bodenphysikalischen Untersuchungen durch und stellte fest, daß bei allen Verfahren die für das Pflan-

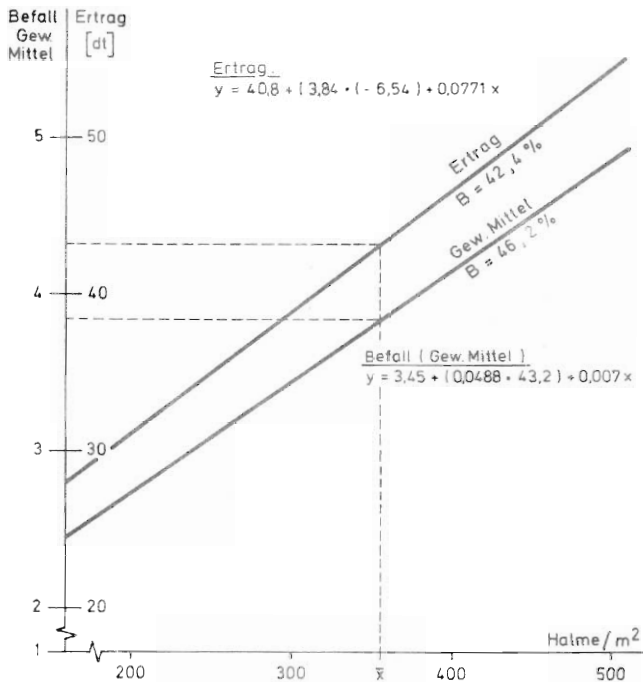


Abbildung 73: Beziehung zwischen Halmzahl und Ertrag und Halmzahl und Befall von Cercosporiella bei Winterweizen (Roggenstein/Dürnast, 1974, n = 50)

zenwachstum erforderlichen Bedingungen geschaffen wurden. Nur der Feldaufgang wird direkt vom Zerkleinerungsgrad beeinflusst. Der gewogene mittlere Durchmesser der Aggregate sollte daher 10 bis 15 mm nicht überschreiten. Der Feldaufgang hängt darüberhinaus auch von der Tiefenverteilung der Saatkörner ab. Bei zu tief abgelegten Körnern schafft der Keimling den Durchbruch an die Oberfläche nicht, bei zu flach gesäten Körnern ist die Gefahr des Austrocknens gegeben. Deswegen ist eine gleichmäßige Tiefenablage entscheidend. Die besten Ergebnisse mit Streuungen zwischen 0,60 und 1,60 cm liefer-

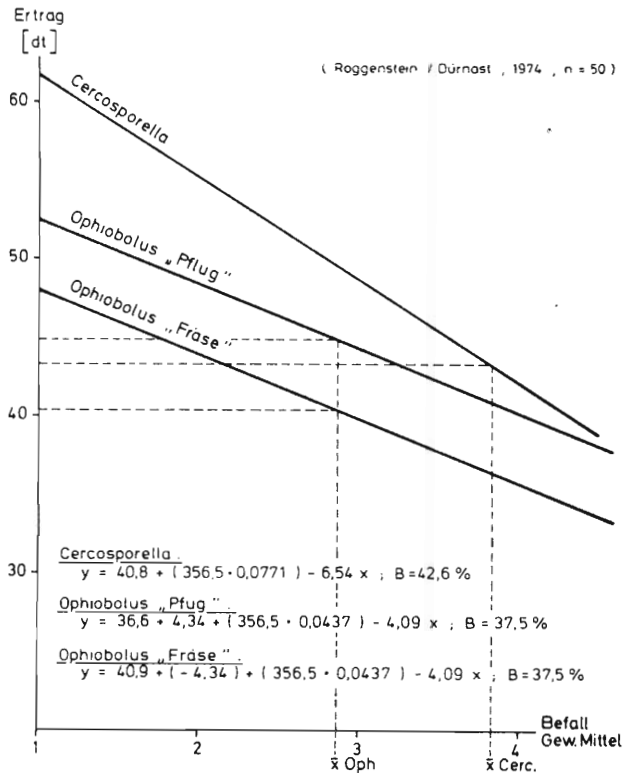


Abbildung 74: Beziehung zwischen dem Grad des Befalles von Cercospora und Ophiobolus und dem Ertrag von Winterweizen

ten die Drillsaat und die Bandsaat mit dem "Tume"-Flügelschar. Bei den Fräsbreit- und -bandsaatverfahren betrug die Streuung bis zu 2,70 cm, was dann zu schlechteren Feldaufgängen führte.

Für die weitere Pflanzenentwicklung war auch die Flächenverteilung der Pflanzen von Bedeutung. Die Band- und Breitsaaten waren viel mehr in der Lage, mangelnde Feldaufgänge durch stärkere Bestockung auszugleichen als Drillsaaten. Dies berührte dann auch die ertrags-

bestimmenden Faktoren. Es traten zwar im einzelnen Unterschiede in der Pflanzen- und Halmzahl, Ähren- und Tausendkorngewicht auf, aber sie ergänzten sich in der Regel so weit, daß alle Verfahren im Ertrag nahezu gleich lagen. Innerhalb der einzelnen Jahre waren die Relationen der Bearbeitungsvarianten unterschiedlich, was wohl in erster Linie durch den Witterungsverlauf bestimmt wurde. Die F-Werte, getestet gegen den Fehler zeigten daher für den Einfluß der Jahre meist eine gute Signifikanz, weniger für den Einfluß der Grundbodenbearbeitung und fast überhaupt nicht für den Einfluß der Saatbettbereitung und Bestellung.

Wenn also langfristig keine bedeutenden Ertragsunterschiede sichtbar werden sollten, dann erlangen die arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Gesichtspunkte, die die Bestellverfahren unterscheiden, Bedeutung und müssen als Entscheidungskriterien herangezogen werden.

5. Flächenleistung der Verfahren und Arbeitszeitbedarf

Die untersuchten Minimalbestellverfahren unterscheiden sich im Leistungsbedarf und ihrer optimalen Arbeitsgeschwindigkeit. Zusammen mit der effektiven Arbeitsbreite bestimmen diese Faktoren die Flächenleistung und den Arbeitszeitbedarf in Abhängigkeit einer bestimmten, verfügbaren Schlepperleistung bei der Bodenbearbeitung und Bestellung am meisten.

Dazu kommen noch verfahrensbedingte Maschinenzeiten wie z.B. die Zeiten für das Auffüllen der Drillmaschinen, Verlustzeiten wegen Störungen, Wartung und Reparaturen, Rüstzeiten und Wegezeiten. Eine große Bedeutung bei der Bodenbearbeitung und der Bestellung haben auch die Wendezeiten, deren Anteil am Gesamtarbeitszeitbedarf von der Schlaggröße und der Schlaglänge abhängt.

In der Literatur sind zwar Arbeitsbedarfszahlen für die herkömmlichen Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung vorhanden, also für das Pflügen, die Saatbettbereitung mit Saatbettkombinationen und das Drillen. Oft fehlen aber Angaben über die verwendete Schleppergröße, die Eignung des Fahrers, die Bodenart, den Bodenzustand u.v.m. Für neuere, z. T. kombinierte Verfahren der Minimalbestelltechnik fehlen Daten noch weitgehend.

Daher war es notwendig, die möglichen Arbeitsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe, der Arbeitsbreite und den Bodenverhältnissen zu messen und die Wendezeiten und Maschinenzeiten zu ermitteln.

5.1 Methode

Um repräsentative Daten zu erhalten, wurden zunächst drei Wege beschritten:

1. Die in den Kalkulationsunterlagen des KTBL*) angegebenen Daten über Bodenbearbeitung und Bestellung wurden durch neuere, unveröffentlichte Informationen des KTBL ergänzt.
2. In bayerischen Betrieben, die seit längerem mit Minimalbestellmaschinen arbeiten, wurden Arbeitszeitmessungen durchgeführt.
3. Es wurde eine Methode entwickelt, um auf rechnerischem Wege den Arbeitszeitbedarf und die Flächenleistung der Bestellverfahren in Abhängigkeit von wenigen Grunddaten wie z.B. Maschinenabmessungen, Fahrgeschwindigkeit, Schlaggröße und Schlaglänge zu ermitteln.

Es zeigte sich, daß die errechneten Werte mit den in praktischen Betrieben gemessenen Daten sehr gut übereinstimmten. Daher wurden im folgenden nur noch diese errechneten Werte weiterverwendet, da nicht für alle Verfahren und alle Arbeitsbreiten genügend Meßdaten vorlagen und um eine Vergleichbarkeit auch mit Arbeitsbreiten und Verfahren zu ermöglichen, die heute noch nicht in der Praxis verwendet werden.

Die einzelnen Geräte haben bestimmte, optimale Geschwindigkeiten, die bei der Kalkulation unterstellt wurden. Dementsprechend sind

*) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt

die erforderlichen Schleppergrößen zugeordnet (Tab. 19)

Tab. 19: Unterstellte Daten für die Schlepperstärke und die Arbeitsgeschwindigkeit zur Bestellung

Gerät:	Schlepperstärke (PS) pro Schar bzw. 1 m Arbeitsbreite	Fahrgeschwindigkeit (km/h)
Pflug	25	7
Saatbettkombination	20	8
Drillmaschine	-	10
Kreiselegge + Drillm.	25	6
Fräsdrille	40	5

Für die Berechnung der Wendezeiten und der Vorbeetbreiten wurde der optimale Weg eines Wendevorganges in Abhängigkeit von der Gerätebreite und des Wenderadius des Schleppers unterstellt. Die so errechneten Werte stimmen mit den unter Praxisbedingungen gemessenen Werten gut überein, stellen aber sozusagen "Optimalwerte" dar, die bei ungeschickterem Wendevorgang oder größerer Vorbeetbreite nicht erreicht werden. Hier müßten dann Zuschläge gemacht werden, ebenso wie bei den Auffüllzeiten für die Drillmaschine, wo der kürzeste Weg zum Wagen und geschicktes Rangieren vor und nach dem Befüllen unterstellt sind.

So ergibt sich für den Weg für eine Wendung die Beziehung:

$$s_w = 2 (l_g + l_s) + 2 r \pi / 2$$

- wobei s_w : Weg für 1 Wendung
 l_g : Länge des Gerätes
 l_s : Länge des Schleppers
 r : Wenderadius

Dieser Wendeweg gilt für beide Wendearten, also den sog. Schwalbenschwanz mit Zurückstoßen und der Wendung in einem Kreisbogen bei genügend breitem Gerät. In letzterem Fall ist lediglich die Wendegeschwindigkeit höher als im ersten, ja sie kann sogar bei sehr breiten Geräten höher als die Arbeitsgeschwindigkeit sein. Die Wendezeit errechnet sich aus dem Wendeweg und der Wendegeschwindigkeit, zuzüglich eines Zuschlages von 10 %.

Als Vorbeetbreite wurde das nächste ganzzahlige Vielfache der Arbeitsbreite des Gerätes unterstellt, das größer als die Mindestvorbeetbreite ($= l_g + l_s + r$) ist. Für die Geräte- und Schlepperlängen wurden Durchschnittswerte der auf dem deutschen Markt angebotenen Maschinen gewählt.

Mit diesen so ermittelten Planzeiten wurden nach einem von AUERNHAMMER(124) entwickelten Programm die Arbeitszeitbedarfszahlen für verschiedene Verfahren der Bestellung errechnet in Abhängigkeit von Arbeitsgeschwindigkeit, Arbeitsbreite, Schlaglänge und Schlaggröße. Damit besteht die Möglichkeit, Einzelarbeitsgänge zu Verfahren zu kombinieren. Z.B. setzt sich die konventionelle Bestellung aus den Einzelarbeitsgängen Pflügen, 2 mal Saatbettbereiten und Drillen zusammen, die Bestellsaat aus Pflügen und einem Arbeitsgang mit der Bestellsaatmaschine (z.B. Kreiselegge + Drillmaschine). Rüst- und Störzeiten sind bei der Berechnung des Arbeitszeitbedarfes nicht berücksichtigt, da, zumindest für die neueren Verfahren, zu wenig und widersprüchliche Daten vorliegen und auch die eigenen Messungen keine absicherbaren Ergebnisse brachten. Bei der Bodenbearbeitung und der Bestellung spielen diese Zeiten jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Sollten für das eine oder andere Verfahren diese Zeiten ermittelt werden, lassen sie sich schnell dem errechneten Arbeitszeitbedarf hinzufügen. Das gleiche gilt für die Fahrten

zwischen Hof und Feld, die ebenfalls unberücksichtigt blieben.

Als Schlagform wurde immer ein Rechteck unterstellt, als Bearbeitungsform das Arbeiten Spur an Spur, also keine Bearbeitung in Beetform.

Weiterhin wurde unterstellt, daß alle Einzelarbeitsgänge nacheinander durchgeführt werden, also keine Parallelarbeit mit zwei oder mehr Fahrern und Schleppern möglich ist. Die weiteren Unterstellungen sind in den Anhangtabellen 36 bis 38 angegeben.

Die Berechnung der Flächenleistung und des Arbeitszeitbedarfes wurde für das konventionelle Bestellverfahren, die Bestellsaat mit der Kreiselegge mit angebauter Drillmaschine und die Frässaat mit einer Fräsdricke durchgeführt.

5.2 Konventionelle Bestellung

Da das konventionelle Verfahren der Bestellung mindestens drei Arbeitsgänge mit drei verschiedenen Geräten umfaßt (Pflug, Saattbettkombination und Drillmaschine), müssen die Einzelarbeitsgänge und die Einflußgrößen für die Flächenleistung und deren reziproken Wert, den Arbeitszeitbedarf, gesondert betrachtet werden.

5.2.1 Pflügen

Die Leistung beim Pflügen in ha/h ändert sich sehr stark mit der Scharzahl und damit der Arbeitsbreite der Pflüge. In Abb. 75 ist die Flächenleistung pro Stunde über der Arbeitsbreite und der dazugehörigen Schleppergröße aufgetragen. Die Leistung steigt bis zu vier Scharen und einer Schlepperleistung von 100 PS zunächst

progressiv an und erreicht z.B. für einen 2-ha-Schlag mit 300 m Schlaglänge 0,72 ha/h.

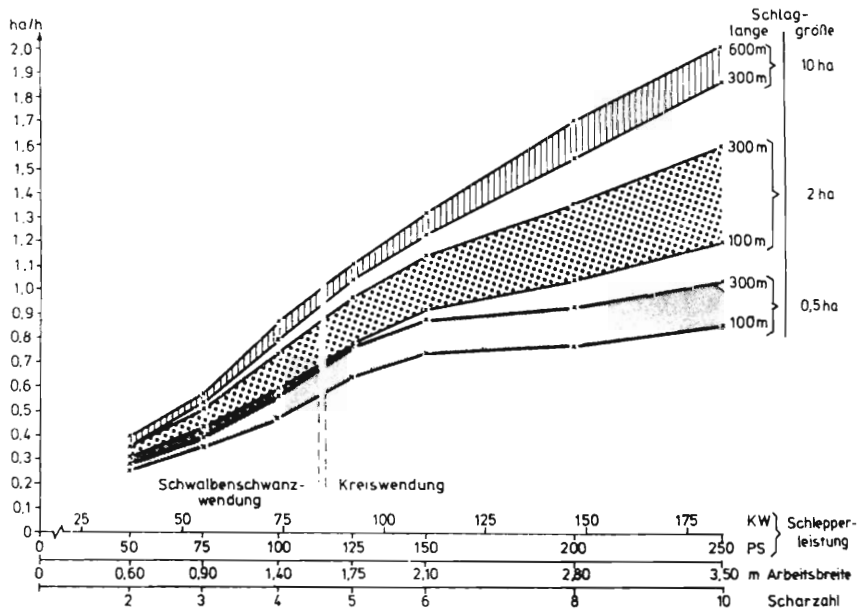


Abbildung 75: Leistung mehrschariger Kehrpfüge in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite, Schlaggröße und Schlaglänge (ohne Rüst- und Wegezeiten, $v = 7$ km/h)

Der Grund für die progressive Zunahme liegt darin, daß sich bei der "Schwalbenschwanzwendung" die Vergrößerung der Arbeitsbreite und damit die Verringerung der Wendevorgänge stärker auswirken als die Vergrößerung der Einzelwendezeit. Ab einer Pfluggröße von 5 Scharen, wo für den dann aufgesattelten Pflug eine Halbkreiswendung unterstellt ist, ist dies nicht mehr in dem Maße der Fall.

Neben der Arbeitsbreite ist die Arbeitsgeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung. Aus Abb. 76 wird ersichtlich, daß auf kleinen

Schlägen (0,5 ha) bei allen Pfluggrößen eine Steigerung der Geschwindigkeit von 5 auf 7 km/h nur wenig Einfluß auf die Leistung pro Stunde hat.

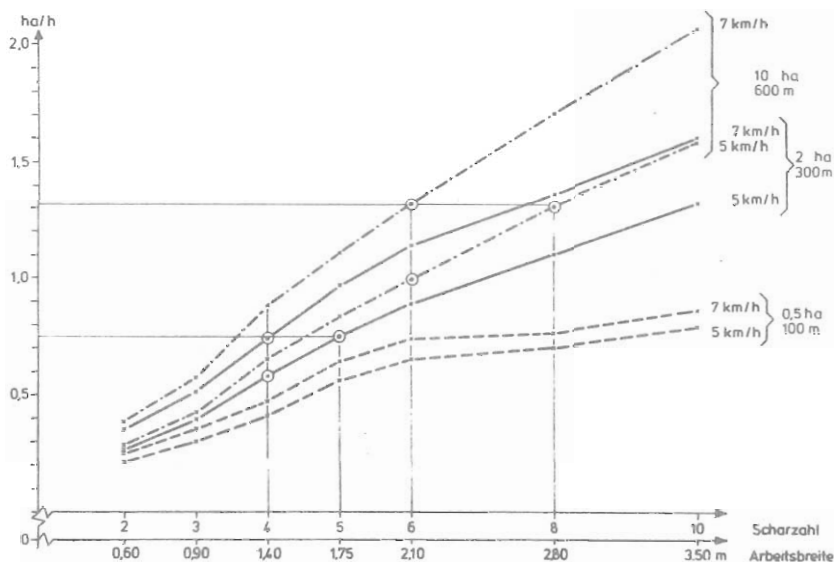


Abbildung 76: Leistung mehrschariger Kehrflüge in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite, Schlaggröße bei 2 Fahrgeschwindigkeiten (ohne Rüst- und Wegezeiten)

Aber bereits bei einem 2-ha-Schlag mit einer Schlaglänge von 300 m macht sich eine Erhöhung der Pfluggeschwindigkeit sehr deutlich bemerkbar. So bringt bei einem 4-Scharpflug die Erhöhung der effektiven Fahrgeschwindigkeit von 5 auf 7 km/h eine Erhöhung der Leistung von 0,58 ha/h auf 0,75 ha/h, also genau so viel, wie eine Vergrößerung des Pfluges von 4 auf 5 Schare bewirken würde. Bei einem 6-Scharpflug macht die gleiche Geschwindigkeitssteigerung eine Leistungssteigerung von 1,0 ha/h auf 1,32 ha/h aus, das ist ebensoviel, wie eine Vergrößerung auf

8 Schare bringen würde. Nun tritt die Frage auf, ob beim Pflügen die Geschwindigkeitssteigerung von 5 auf 7 km/h ein höheres Leistungsangebot vom Schlepper verlangt als die Vergrößerung um 1 bzw. um 2 Schare, bei letztlich gleicher Flächenleistung. Dies dürfte sehr stark von der Bodenart und dem Bodenzustand abhängen. Da eine Geschwindigkeitssteigerung beim Pflügen ein stark progressives Ansteigen des Zugkraftbedarfes bewirkt, dürfte auf schwerem Boden mit einem hohen spezifischen Pflugwiderstand die Vergrößerung des Pfluges bei gleichbleibender mittlerer Geschwindigkeit eher vorzuziehen sein, auf leichtem Boden dagegen die Steigerung der Geschwindigkeit. Die Kostenfrage sei hierbei unberührt.

Der Einfluß der Arbeitsbreite und der Fahrgeschwindigkeit ändert sich mit der Schlaggröße und der Schlaglänge. So beträgt auf einem 0,5-ha-Schlag die Leistung eines 10-Scharpfluges nicht etwa das Fünffache eines 2-Scharpfluges, sondern mit 0,85 ha/h nur gut das Dreifache, da bei dieser kleinen Schlaggröße ab etwa 5 bis 6 Scharen eine weitere Vergrößerung des Pfluges keine höhere Leistung mehr bringt (Abb. 75). Je größer die Schläge und die Schlaglängen werden, um so linearer und steiler ist der Leistungsanstieg mit steigender Scharzahl. Die Anzahl der Wendevorgänge und der Anteil des Vorbeetes in Relation zum Hauptfeld werden kleiner, was zu einer Steigerung der Stundenleistung führt.

Auch der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit ist von der Schlaggröße stark abhängig. So bringt eine Geschwindigkeitssteigerung von 5 auf 7 km/h bei einem 4-Scharpflug auf einem 0,5-ha-Schlag nur eine Leistungssteigerung von etwa 0,4 auf knapp 0,5 ha/h, auf einem 10-ha-Schlag dagegen von 0,65 auf 0,90 ha/h (Abb. 76). Je größer die Arbeitsbreiten werden, um so deutlicher macht sich dieser Einfluß bemerkbar.

5.2.2 Saatbettkombination

Auch bei den Saatbettkombinationen ergibt die Verbreiterung der Geräte mit zunehmender Schlepperleistung eine Zunahme der Flächenleistung, die bis zu den großen Arbeitsbreiten von 8 und 10 m nahezu linear verläuft (Abb. 77)

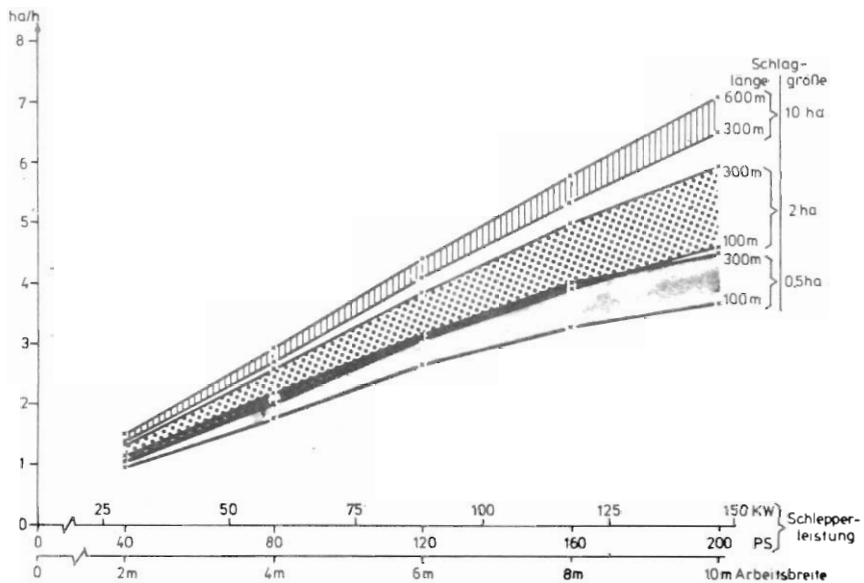


Abbildung 77: Leistung der Saatbettkombination in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite, Schlaggröße und Schlaglänge (ohne Rüst- und Wegezeiten, $v = 8 \text{ km/h}$)

Bei einem 2-ha-Schlag z.B. steigt die Leistung mit einer Verdoppelung der Arbeitsbreite von 2 auf 4 m von 1,31 auf 2,56 ha/h. Eine weitere Verdoppelung der Arbeitsbreite auf 8 m bringt ebenfalls fast noch einmal eine Verdoppelung der Leistung auf 5,0 ha/h. Nur bei kleinen Schlaggrößen (0,5 ha) flacht der Kurvenanstieg ab einer Arbeitsbreite von 6 m leicht ab.

Beim Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf die Flächenleistung zeigt sich ähnliches wie beim Pflug (Abb.78).

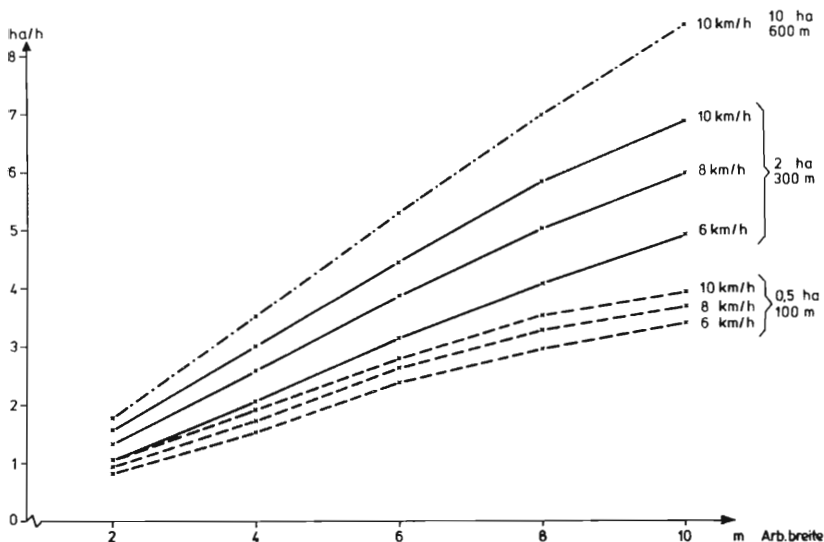


Abbildung 78: Leistung der Saatbettkombination in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit (ohne Rüst- und Wegezeiten)

Auf kleinen Flächen ist mit einer Steigerung der Geschwindigkeit von 6 über 8 auf 10 km/h nur wenig mehr an Leistung zu erreichen. Aber bereits auf einem 2-ha-Schlag mit 300 m Schlaglänge bewirkt eine Steigerung von 6 auf 8 km/h eine Erhöhung der Flächenleistung einer 2-m-Kombination um 26 %, einer 6-m-Kombination um 23 % und einer 10-m-Kombination um 21 %. Daraus läßt sich schließen, daß es bei kleineren Kombinationen erst einmal darauf ankommt, durch Steigerung der Geschwindigkeit alle Reserven der Leistungserhöhung auszuschöpfen, ehe ein größeres Gerät gekauft werden soll.

Der Einfluß der Schlaggrößen wird in beiden Abb.77 und 78 deutlich. Bei der gleichen Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h liegt auf einem 0,5-ha-Schlag die Flächenleistung für kleine Arbeitsbreiten um 40 %, für große Arbeitsbreiten bis zu 10 m um 50 % unter der auf einem 10-ha-Schlag. Die Vergrößerung der Schlaglänge von 100 auf 300 m wirkt sich auf der größeren Fläche von 2 ha ebenfalls günstiger aus als auf dem 0,5-ha-Schlag. Als Beispiel sei eine Arbeitsbreite von 6 m herangezogen. Auf einer Schlaggröße von 0,5 ha bewirkt die Vergrößerung der Schlaglänge von 100 auf 300 m eine Leistungssteigerung von 2,63 auf 3,13 ha/h, also um 0,5 ha/h. Auf einem 2-ha-Schlag bewirkt die gleiche Änderung der Schlaglänge eine Leistungssteigerung von 3,08 auf 3,85 ha/h, also um ca. 0,8 ha/h. Aus Abb.78 geht hervor, daß hohe Fahrgeschwindigkeiten und große Arbeitsbreiten erst bei großen Schlägen voll wirksam werden.

5.2.3 Drillmaschine

Auch bei der Drillmaschine bewirkt eine Vergrößerung der Arbeitsbreite einen nahezu linearen Anstieg der Flächenleistung (Abb.79). Eine 4 m breite Maschine hat eine um ca. 75 bis 80 % höhere Leistung als eine 2-m-Maschine, daß heißt, es können bei einer Schlaglänge von 300 m und einer Schlaggröße von über 2 ha in der Stunde ca. 2,7 ha gedrillt werden, gegenüber 1,5 ha bei nur 2 m Arbeitsbreite. Mit einer 6-m-Maschine ist die Leistung auf 3,9 ha/h zu steigern.

Aus Abb. 80 geht hervor, daß man die Einflüsse von Fahrgeschwindigkeit, Schlaggröße und Schlaglänge auf die Flächenleistung nur sehr schwer unabhängig voneinander betrachten kann. Während beim

Einfluß der Schlaggröße klar wird, daß bei kleinen Arbeitsbreiten bereits ab 1 - 2 ha, bei 5 m Arbeitsbreite ab 3 - 4 ha eine Vergrößerung der Schläge keine Leistungssteigerung mehr bringt, so ist der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit doch stark von der Schlaglänge abhängig.

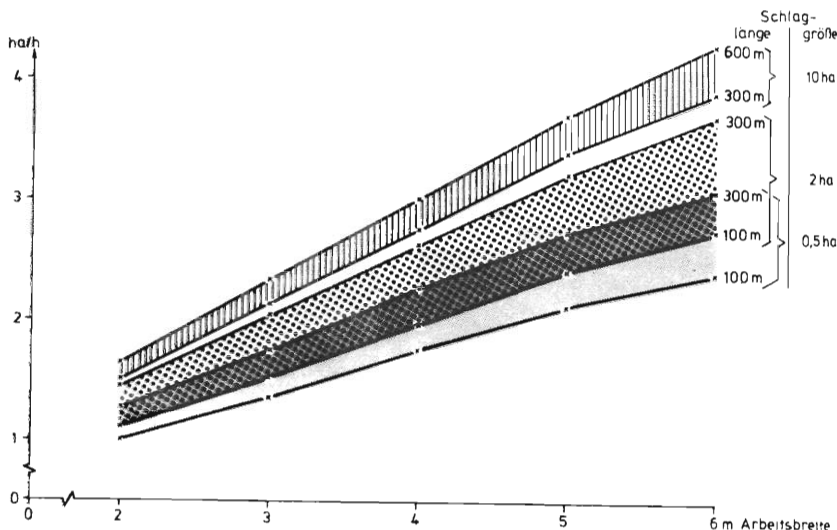


Abbildung 79: Leistung der Drillmaschine in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite, Schlaggröße und Schlaglänge (ohne Rüst- und Wegezeiten, $v = 10$ km/h, Saatmenge: 220 kg/ha)

So ist bei 5 m Arbeitsbreite mit einer Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h und nur 100 m Schlaglänge eine geringere Leistung zu erzielen als mit der langsameren Fahrgeschwindigkeit 7 km/h bei 300 m Schlaglänge. Setzt man diese Schlaglänge und 5 ha Schlaggröße voraus, so bringt die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 7 auf 10 km/h eine Leistungssteigerung von 2,64 ha/h auf 3,35 ha/h, also um 27 %.

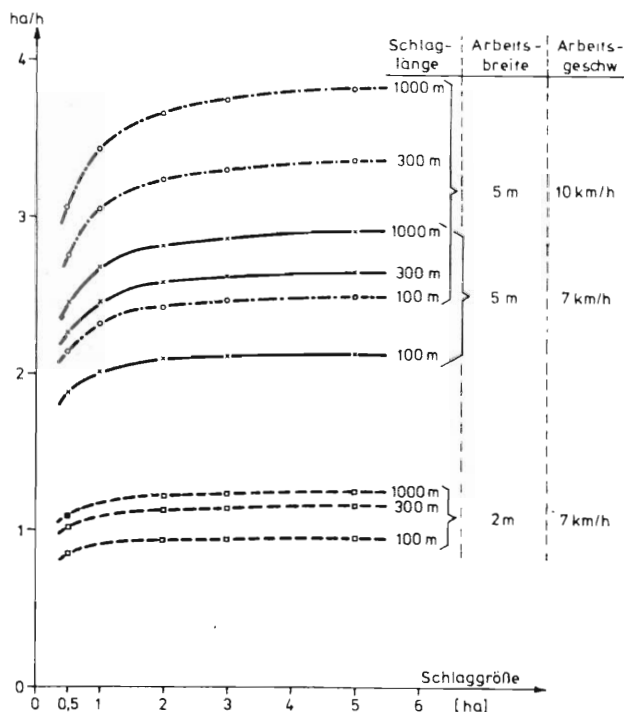


Abbildung 80: Leistung der Drillmaschine in ha/h in Abhängigkeit von Schlaggröße und Schlaglänge bei 2 Geschwindigkeiten (ohne Rüst- und Wegezeiten, Saatmenge: 220 kg/ha)

5.3 Bestellsaat

Die Bestellsaat setzt wie die konventionelle Bestellung eine saubere Pflugfurche voraus. Die Saatbettbereitung und die Saat sind zusammengelegt auf der Grundlage der Kombination von einem i.d.R. zapfwellenbetriebenen Nachbearbeitungsgerät (Kreiselegge,

Rüttelegge, Zinkenrotor) mit Drillmaschine. Als Beispiel wird die Kombination Kreiselegge mit Drillmaschine gewählt, da sie in der Praxis bisher die größte Bedeutung besitzt. Die Werte können aber durchaus auf andere Zapfwellengeräte übertragen werden, bei der Rüttelegge nur mit der Einschränkung, daß nur die Variation der Geschwindigkeit den Bearbeitungseffekt beeinflussen kann.

Bei der Kombination Kreiselegge + Drillmaschine wurde unterstellt, daß eine Schlepperleistung von 25 PS je 1 m Arbeitsbreite unter normalen Verhältnissen ausreichend ist. Um eine Vergleichbarkeit mit anderen Verfahren auch bei einem Leistungsangebot von über 100 PS zu haben, wurde der Arbeitszeitbedarf zusätzlich für eine 6-m-Maschine berechnet, obwohl sie in Kombination mit einer Drillmaschine heute noch nicht auf dem Markt ist.

Mit zunehmender Arbeitsbreite steigt auch bei der Kreiselegge mit Drillmaschine die Flächenleistung an, und zwar bis zu einer Arbeitsbreite von 4 m nahezu linear, dann flacht der Anstieg etwas ab (Abb. 81). Auf einem 2-ha-Schlag mit 300 m Schlaglänge hat eine 4 m breite Maschine bei 6 km/h eine Flächenleistung von 1,7 ha/h. Eine 2,50 m breite Maschine leistet nur 1,1 ha/h. Während auf einem 0,5-ha-Schlag mit einer Länge von 100 m der Einsatz einer 6-m-Maschine gegenüber der 4-m-Maschine die Leistung nur um 0,24 ha/h, das sind 20 %, erhöht, macht dies auf einem 10-ha-Schlag mit einer Länge von 600 m 0,80 ha/h oder 41 % aus.

Die Abhängigkeit der Flächenleistung von der Fahrgeschwindigkeit ist in Abb. 82 dargestellt. Eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 4 auf 6 km/h erhöht bei einer 3-m-Maschine die Leistung von 1,0 auf 1,33 ha/h (Schlaggröße 2 ha, Schlaglänge 300 m). In etwa die gleiche Erhöhung der Leistung ist durch den Einsatz einer 4 m breiten Maschine zu erzielen.

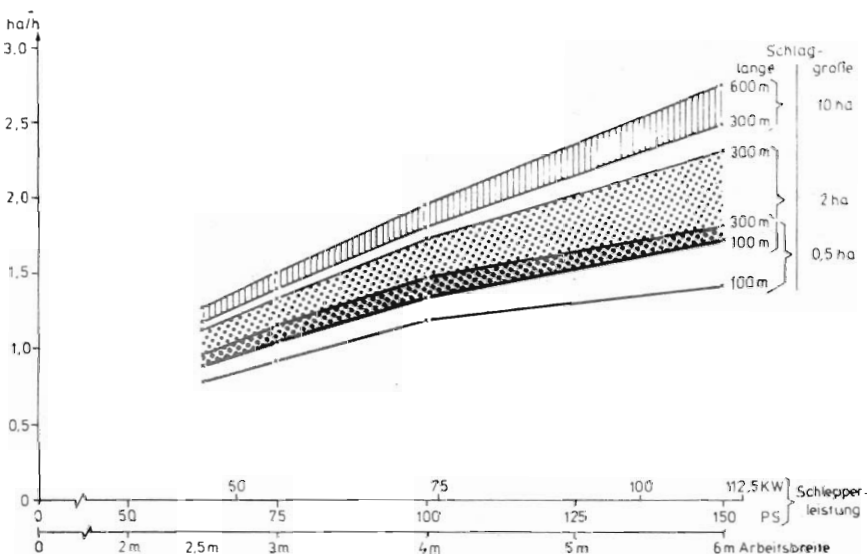


Abbildung 81: Leistung der Bestellkombination Kreiselegge + Drillmaschine in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite, Schlaggröße und Schlaglänge (ohne Rüst- und Wegezeiten, $v = 6 \text{ km/h}$, Saatmenge: 220 kg/ha)

Nun stellt sich die Frage, ob eine Leistungssteigerung durch eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit und der Drehzahl günstiger ist als durch eine Verbreiterung des Gerätes. Dazu ist es notwendig zu wissen, wie sich der Leistungsbedarf der Kreiselegge mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit vergrößert. In Abb.83 sind die Leistungsbedarfsanstiege eingezeichnet, wie sie auf dem Standort Hagenau auftraten. Bei Einhaltung eines bestimmten Zerkleinerungsgrades ($u/v = 2,6$) erhöhte sich der Leistungsbedarf um 80 %, wenn die Fahrgeschwindigkeit von 3,2 km/h auf 5 km/h erhöht wurde. Diese gleiche Zunahme von 80 % trat auch bei einem höheren Zerkleinerungsgrad ($u/v = 4,0$) auf. Setzt man voraus, daß die Relation der Geschwindigkeitssteigerung von 3,2 auf 5 km/h und

von 4 auf 6 km/h die gleiche ist, dann ergibt sich, daß die Verbreiterung des Gerätes von 3 auf 4 m eine Zunahme der Schlepperleistung von 33 % verlangt, die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 4 auf 6 km/h dagegen von etwa 80 %, bei letztlich gleicher Flächenleistung. Von der benötigten Schlepperleistung her gesehen ist also die Steigerung der Flächenleistung über eine Verbreiterung des Gerätes günstiger zu beurteilen als über eine Erhöhung von Fahrgeschwindigkeit und Drehzahl.

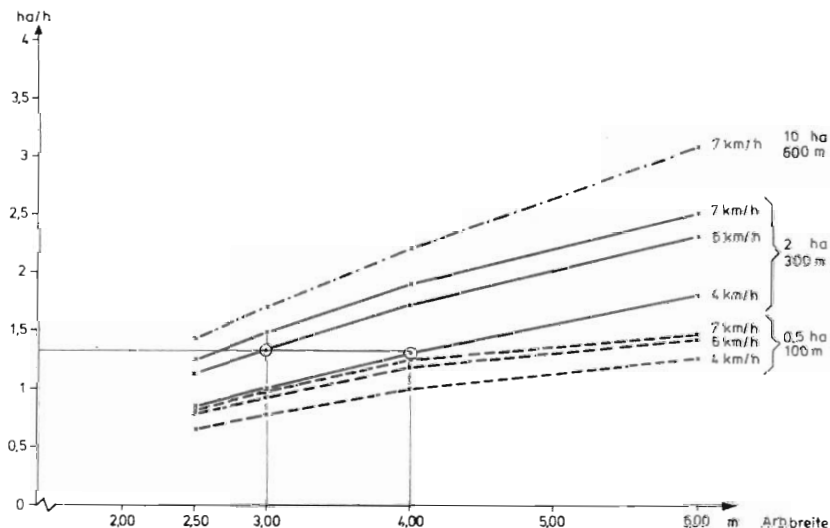


Abbildung 82: Leistung der Bestellkombination Kreiselegge und Drillmaschine in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit (ohne Rüst- und Wegezeiten, Saatmenge 220 kg/ha)

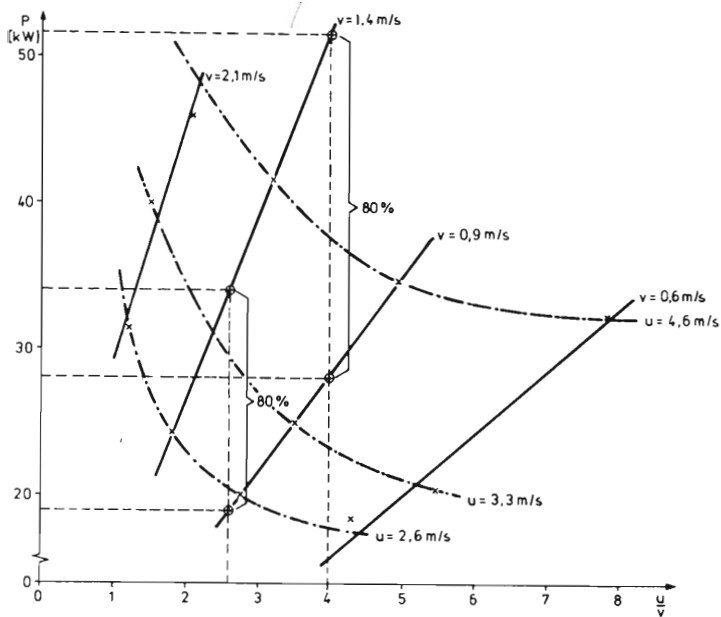


Abbildung 83: Beziehung zwischen Leistungsbedarf, Fahrgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeuge einer Kreiselegge (Hagenau, 16.8.1973)

5.4 Frässaat

Bei der Frässaat als einem Verfahren, das auch ohne vorhergehende Pflugfurche eine Getreidebestellung ermöglicht, ist unterstellt, daß unter normalen Verhältnissen 40 PS für 1 m Arbeitsbreite benötigt werden. Um einen Vergleich mit der konventionellen Bestellung auch bei großen Schlepper- und Maschineneinheiten zu haben, wurden die Flächenleistung und der Arbeitszeitbedarf auch für Arbeitsbreiten von 4,10 m und 4,60 m errechnet, obwohl es in dieser Größe bisher noch keine Fräsdrillen gibt. Die angewandte Methode läßt aber diese Erweiterung durchaus zu, da die

Teilzeiten durch Schlepper- und Gerätegröße rechnerisch ermittelt werden können.

Die Flächenleistung der Fräsdrille nimmt mit wachsender Arbeitsbreite in der in Abb.84 gezeigten Weise zu.

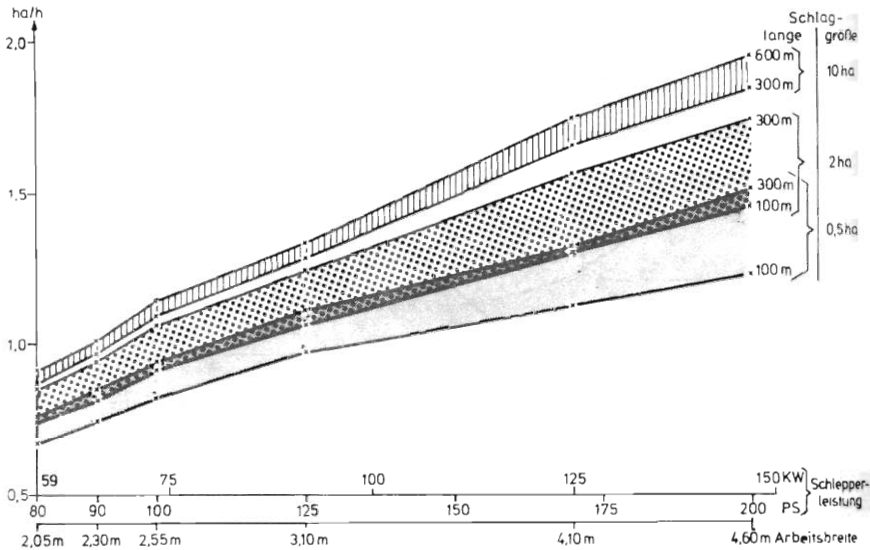


Abbildung 84: Leistung der Fräsdrille in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite, Schlaggröße und Schlaglänge (ohne Rüst- und Wegezeiten, $v = 5$ km/h, Saatmenge: 220 kg/ha)

Bei der unterstellten Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h kann eine 2,05 m breite Maschine in einer Stunde 0,85 ha bearbeiten (2 ha, 300 m). Eine 2,55 m breite Maschine erreicht unter diesen Voraussetzungen die in der Praxis gebräuchliche Faustzahl von 1 ha/h. Eine weitere Zunahme der Arbeitsbreite läßt bei mittlerer Schlaggröße die Flächenleistung nahezu linear ansteigen, so daß bei 4,60 m Arbeitsbreite 1,74 ha/h erreicht werden.

Der Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit ist erheblich, wie aus Abb.85 hervorgeht.

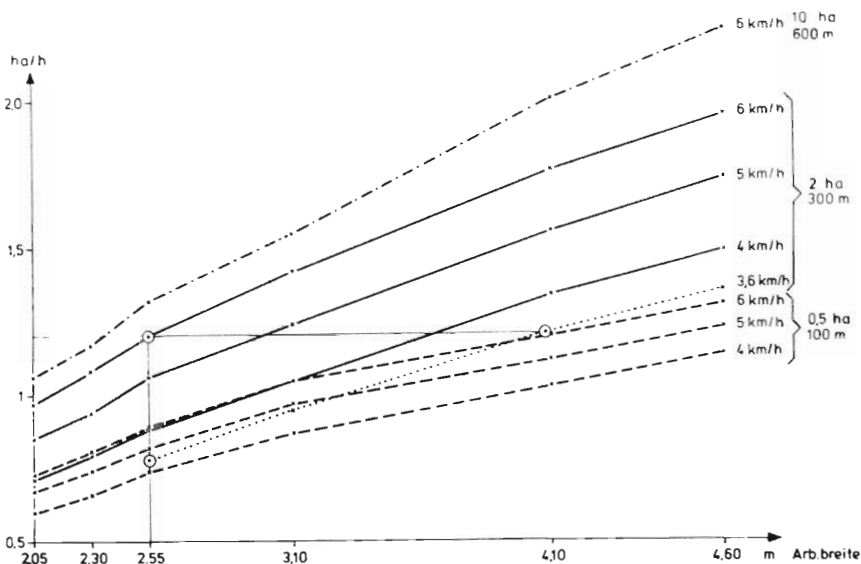


Abbildung 85: Leistung der Frässaatmaschine in ha/h in Abhängigkeit von Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit (ohne Rüst- und Wegezeiten, Saatmenge: 220 kg/ha)

So bewirkt eine Steigerung von 4 km/h auf 5 km/h bei einer 2,50 m breiten Maschine eine Zunahme der Flächenleistung von 0,88 auf 1,06 ha/h, also um 0,18 ha/h, das sind 20 % (2 ha, 300 m). Eine weitere Steigerung der Fahrgeschwindigkeit auf 6 km/h erhöht die Flächenleistung um 0,14 ha/h. Mit größer werdenden Arbeitsbreiten wird die prozentuale Zunahme der Flächenleistung durch die Geschwindigkeitssteigerung etwas geringer.

Bei der Fräsdrille läßt sich wie bei der Kreiselegge die Geschwindigkeit steigern, ohne daß der Bearbeitungseffekt verändert wird, da ja auch die Drehzahl im selben Verhältnis erhöht werden kann.

Daher interessiert auch hier, wie die Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit bei gleichem Zerkleinerungsgrad den Leistungsbedarf beeinflusst, und ob nicht eine Verbreiterung der Maschine, die die Flächenleistung im selben Maß verbessert, vom Leistungsbedarf her günstiger wäre. In Abb.86 ist der Anstieg des Leistungsbedarfes bei steigender Fahrgeschwindigkeit und konstantem u/v aufgezeichnet. Bei einer Arbeitstiefe von 5 cm und einem Verhältnis $u/v=3,2$ bewirkte auf dem Standort Pettenbrunn eine Geschwindigkeitssteigerung von 1,0 m/s auf 1,7 m/s eine Zunahme der Leistungsaufnahme von 80 %, bei $u/v = 4,0$ von 95 %. Wurde 9 cm tief gearbeitet, so betrug die Steigerung des Leistungsbedarfes bei gleichen Verhältnissen 109 % bzw. 104 %.

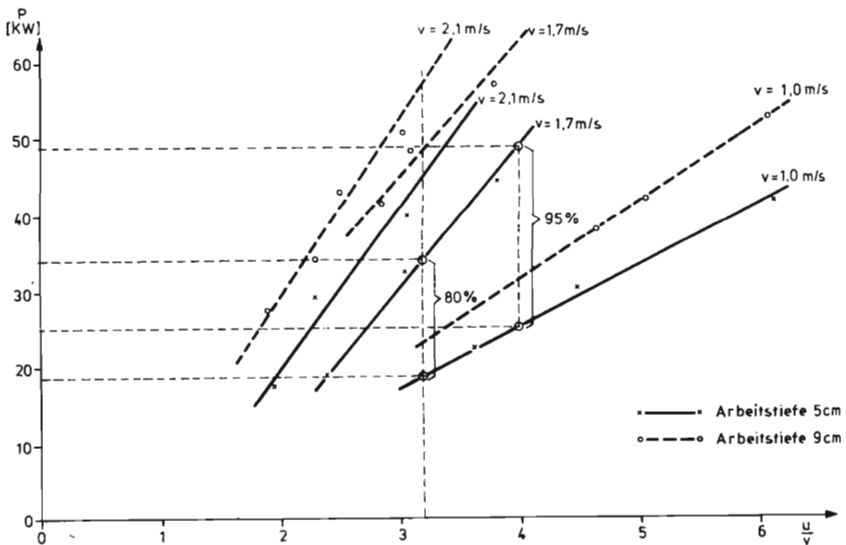


Abbildung 86: Beziehung zwischen Leistungsbedarf und Fahrgeschwindigkeit einer Fräse in Abhängigkeit vom Verhältnis $\frac{u}{v}$

Um dieselbe Steigerung der Flächenleistung wie bei der Vergrößerung der Fahrgeschwindigkeit von 1,0 m/s (= 3,6 km/h) auf 1,7 m/s (= 6,1 km/h) zu erreichen, wäre eine Verbreiterung des Gerätes von 2,55 m auf 4,10 m nötig (Abb.85). Bei den unterstellten Daten bedarf diese Verbreiterung ein Mehr an Leistung von 65 %. Also auch bei der Fräsdrille wäre, die Verhältnisse des Standortes Pettenbrunn unterstellt, die Steigerung der Flächenleistung durch Geräteverbreiterung günstiger als durch schnelleres Fahren. Dies bezieht sich nur auf den nötigen Leistungsbedarf, nicht aber auf die Kosten.

5.5 Vergleich der Verfahren

Der reziproke Wert der Flächenleistung ist der Arbeitszeitbedarf in h/ha, und, da es sich ausschließlich immer nur um eine Arbeitskraft handelt, in Akh/ha. In diesem Arbeitszeitbedarf sind, wie schon erwähnt wurde, Rüst-, Stör- und Wegezeiten nicht enthalten. Stellt man den Arbeitszeitbedarf der Verfahren "konventionelle Bestellung" (Pflug, 2 x Saatbettkombination, Drillmaschine), "Bestellsaat" (Pflug, Kreiselegge + Drillmaschine) und "Frässaat" zueinander in Vergleich (Abb. 87), so zeigt sich eine deutliche Degression mit zunehmender Schlepperstärke und Arbeitsbreite. Diese Degression des Arbeitszeitbedarfes ist beim konventionellen Verfahren und der Bestellsaat bis zu Schleppergrößen von 100 bis 125 PS sehr deutlich, nimmt aber bei weiter steigenden Schleppergrößen immer mehr ab. Prozentual ist die Degression auch bei der Frässaat die gleiche, absolut durch den wesentlich geringeren Zeitbedarf je ha natürlich geringer.

So errechnen sich für das konventionelle Verfahren Arbeitszeitbedarfszahlen, die für einen 50-PS-Schlepper bei 6 h/ha liegen, für einen 100-PS-Schlepper bei 3 h/ha, für einen 150-PS-Schlepper

bei 1,96 h/ha und für einen 200-PS-Schlepper bei 1,70 h/ha. Demgegenüber ist der Arbeitszeitbedarf bei der Bestellsaat einschließlich Pflugfurche im Durchschnitt aller Schleppergrößen um etwa 15 % niedriger. Die Frassaat benötigt, bedingt durch den Wegfall der Pflugfurche, bei Schlepperstärken unter 100 PS weniger als ein Drittel, bei größeren Schlepperstärken etwas mehr als ein Drittel des Arbeitszeitbedarfes der konventionellen Bestellung.

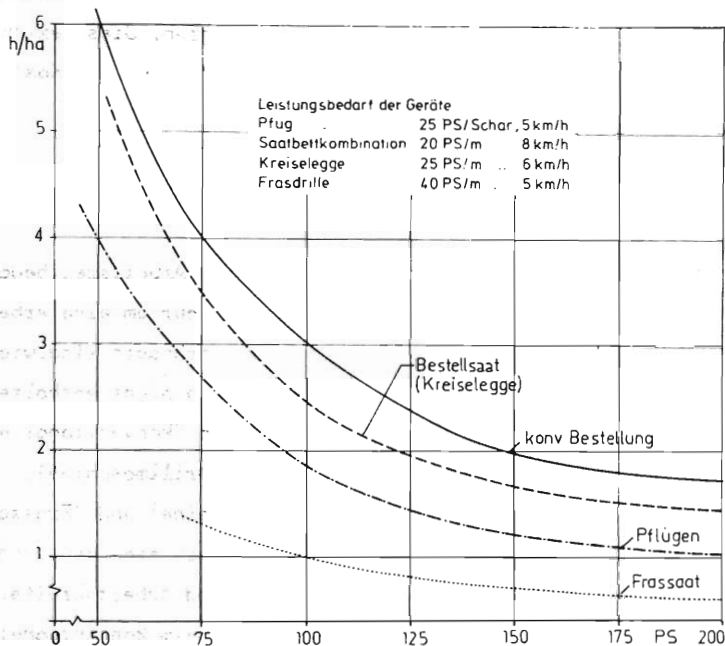


Abbildung 87: Arbeitszeitbedarf verschiedener Bestellverfahren in Abhängigkeit von der Schlepper- und Gerätegröße (ohne Rüst- und Wegezeiten, Saatmenge: 220 kg/ha)

Für den Fall, daß das Pflügen in eine arbeitsarme Zeit verlegt werden kann, gewinnt der Zeitbedarf für die reine Bestellung, also die Saatbettbereitung und die Saat, an Bedeutung. Er liegt, die Auslastung eines 100-PS-Schleppers vorausgesetzt, beim konventionellen Verfahren bei 1,16 h/ha, während die Bestellsaat

mit 0,61 h/ha deutlich darunter bleibt. Die Frössaat, charakterisiert durch schmalere Gerätebreite (2,55 m) und langsamere Fahrgeschwindigkeit (5 km/h) auf ungepflügtem Boden, liegt mit 0,98 h/ha auch noch unter der konventionellen Bestellung. Diese Relationen verschieben sich bei kleineren oder größeren Schlepperstärken nicht allzu sehr, wie Abb. 87 zeigt.

Unterteilt man den Arbeitszeitbedarf je 1 ha eines Verfahrens in seine Teilzeiten, also die Zeiten für die Hauptfeldbearbeitung ohne Wendezeit, die Vorbeebearbeitung ohne Wendezeit, die Wendezeit für die Hauptfeldbearbeitung, die Wendezeit für die Vorbeebearbeitung und die Maschinenzeit (= Zeit für Befüllen der Sämaschine), so fällt auf, daß mit zunehmender Gerätegröße der prozentuale Anteil der unproduktiven Zeiten, also der Wende- und Maschinenzeiten, zunimmt (Abb. 88). Bei der konventionellen Bestellung beträgt der Arbeitszeitbedarf bei einer Mechanisierung, die auf 50 PS Schlepperleistung abgestimmt ist, 6,02 h/ha. Davon entfallen 76,3 % auf die reine Hauptfeldbearbeitung ohne Wenden und 6,9 % auf die Vorbeebearbeitung ohne Wenden. Die Wendezeiten für das Hauptfeld machen 8,3 %, die für das Vorbeet 7,6 % aus. Die Maschinenzeit für das Auffüllen der Sämaschine beträgt nur etwa 1 %. Mit der Steigerung der Schleppergröße und der Arbeitsbreite der Folgegeräte nimmt der Prozentanteil für die Hauptfeldbearbeitung in der dargestellten Weise ab bis auf 58,1 % bei 200 PS. Der Anteil der Vorbeebearbeitung nimmt von 6,9 % auf 11,1 % zu, da die Vorbeete bei größeren Geräten ja breiter werden müssen. Die Wendezeit für die Hauptfeldbearbeitung bleibt in ihrem Prozentanteil gleich, dafür steigt aber der Anteil der Wendezeit für das Vorbeet von 7,6 % auf 19,7 %. Der Anteil der Maschinenzeit ist auch bei der Mechanisierung für den 200-PS-Schlepper mit 2,8 % gering. In ähnlicher Weise verringert sich bei der Bestellsaat (Abb. 88, mittlere Darstellung) der Prozentanteil der Hauptfeldbearbeitung,

während in erster Linie der Anteil der Wendezeiten für das Vorbeet zunimmt. Das gleiche gilt für die Fräsdrille, wo jedoch der Anteil der Maschinenzeit mit 7 % bis 9 % relativ hoch ist, da ja mit dem einzigen Arbeitsgang, der anfällt, auch gesät wird und die Auf-füllzeiten, die zwar in ihren absoluten Werten denen der Drill-maschine ähnlich sind, prozentual stärker ins Gewicht fallen.

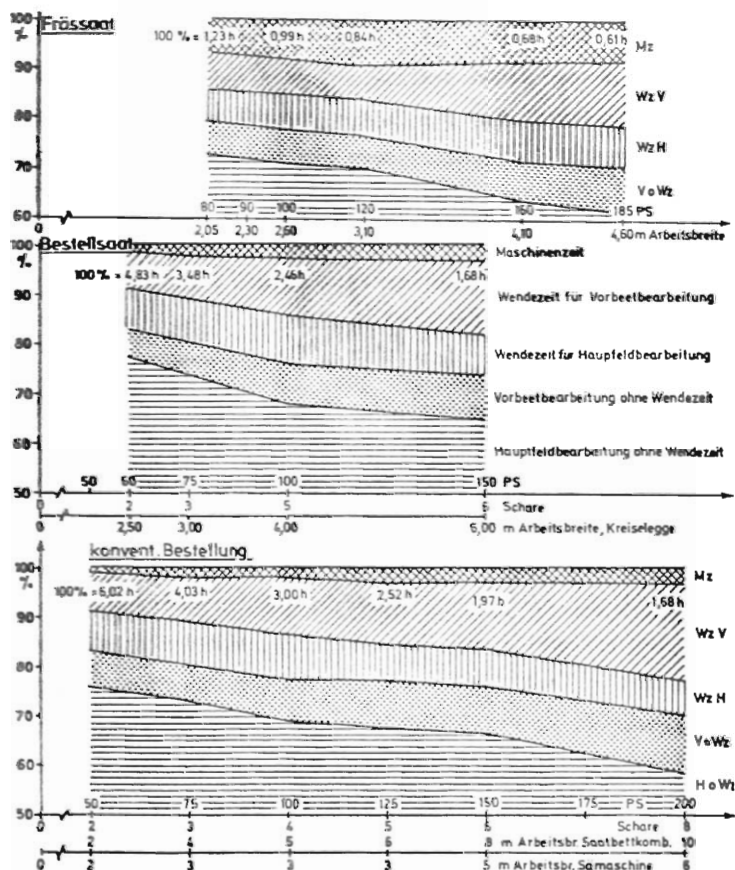


Abbildung 88: Anteil der Teilzeiten bei verschiedenen Bestellverfahren in Abhängigkeit von der Schlepper- und Gerätegröße (Schlaggröße 1 ha, Schlaglänge 300 m)

Um die einzelnen Verfahren "Konventionelle Bestellung", "Bestell-saat" und "Frässaat" bei einer bestimmten Schlepperleistung ver-

gleichen zu können, sei als Beispiel ein 100-PS-Schlepper unterstellt. Beim konventionellen Verfahren werden ein 4-Scharpflug, eine 5 m breite Saattbettkombination und eine 3-m-Drillmaschine benötigt, um 1 ha in 3 Stunden fertig bestellen zu können. Der Anteil für die reine Bearbeitung des Feldes ohne Wende- und Maschinenzeiten beträgt dabei 77 %. 23 % von 3 h/ha, also etwa 0,7 h, entfallen auf die unproduktiven Zeiten Wenden und Auffüllen. Bei der Bestellsaat beträgt dieser "unproduktive Anteil" bei 1 ha Schlaggröße 24 % von 2,46 h, also nur etwa 0,6 h. Bei der Frässaat ist dieser Anteil mit 22 % von 0,99 h/ha = 0,22 h weitaus am geringsten.

Ebenso könnte man als Bezugsbasis die gleiche Flächenleistung heranziehen. So kann mit der Bestellsaat 1 ha in 1,68 h bearbeitet werden, wenn ein 150-PS-Schlepper, ein 6-Scharpflug und eine 6-m-Bestellkombination zur Verfügung stehen. 74 % der Arbeitszeit würden dabei auf die reine Bearbeitung ohne Wende- und Maschinenzeiten entfallen. Um die gleiche Leistung zu erzielen, wäre beim konventionellen Verfahren ein 200-PS-Schlepper, ein 8-Scharpflug, eine 10-m-Kombination und eine 6-m-Drillmaschine nötig. Hierbei würden nur 70 % der Arbeitszeit auf die reine Bearbeitung entfallen. Dieser Unterschied zwischen den Verfahren bei gleicher Flächenleistung läßt sich dann gut in den Kosten ausdrücken.

Bei größeren Schlägen, aber gleicher Schlaglänge, bleibt der absolute Wert der Teilzeiten je ha gleich. Nur der Wert für die Wendezeiten für das Vorbeet wird geringer. Dadurch steigt der prozentuale Anteil der Zeiten für die reine Bearbeitung des Feldes ohne Wende- und Maschinenzeiten. Die Relation der Verfahren untereinander bleibt aber im wesentlichen gleich.

5.6 Diskussion der Ergebnisse

Als Grundlagen für die bisherigen arbeitswirtschaftlichen Berechnungen bei der Bodenbearbeitung wurden i.d.R. die Unterlagen des KTBL benützt. Diese sind jedoch in mancher Hinsicht den heutigen Schlepper- und Gerätegrößen nicht mehr voll angepaßt und zu wenig differenziert. Aus diesem Grunde wurden die Arbeitszeitbedarfszahlen ermittelt aus dem gemessenen Leistungsbedarf, den daraus resultierenden Fahr- und Wendegeschwindigkeiten, der Schlepper- und Gerätegröße und den daraus resultierenden Wendeformen, Vorbeetbreiten und Auffüllzeiten. Diese Arbeitszeitbedarfszahlen liegen meist etwas unter den bisher, zumindest für die konventionelle Bestellung, veröffentlichten Werten (KTBL (121), ENGEL (30), HEEGE (58), SCHULZE (94)). Dagegen kommt KRUPP (74) in der DDR für das konventionelle Verfahren zu fast haargenau den gleichen Werten.

Die Abhängigkeit des Arbeitszeitbedarfes von der Schlaggröße und -länge wurde von OLFE (85) bereits unterstrichen. Die Berücksichtigung von steigenden Gerätegrößen, Schlaggrößen, Fahrgeschwindigkeiten usw. zeigt deutlich, wie z.B. weit hinter dem Schlepper hinausragende Geräte, wie es die Pflüge sind, viel mehr von der Schlaggröße abhängig sind als sehr kurze Geräte (Fräsdrille). So kann auch auf kleinen Schlägen mit einer Verbreiterung der Fräsdrille noch eine deutliche Leistungssteigerung erzielt werden, während dies beim Pflug ab einer gewissen Größe nicht mehr möglich ist, da die Vorbeetbreiten zu groß sein müssen. Ebenso kann eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit da die größte Wirkung auf die Flächenleistung haben, wo der Anteil der Wendezeiten am Gesamtarbeitszeitbedarf gering ist, also bei genügend großen Schlaglängen ab 300 m und Flächen ab etwa 2 ha. Die ermittelten

Daten lassen es auch zu, die Frage zu beantworten, ob eine Steigerung der Flächenleistung günstiger über eine Vergrößerung der Fahrgeschwindigkeit oder eine Verbreiterung der Geräte zu erreichen ist. Bei den zapfwellenbetriebenen Geräten Kreiselegge und Fräse, die eine Geschwindigkeitssteigerung ohne Beeinflussung des Zerkleinerungseffektes zulassen, hat sich gezeigt, daß eine Verbreiterung des Gerätes mit einer geringeren Steigerung des Leistungsbedarfes auskommt als eine Erhöhung der Geschwindigkeit.

Besonders für die Kostenrechnung wird es interessant sein, welcher Anteil des Arbeitszeitbedarfes als Wende- und Auffüllzeit von der insgesamt pro Tag oder Bestellzeitspanne zur Verfügung stehenden Zeit unproduktiv verbraucht wird. Prozentual unterscheiden sich diese Anteile bei den untersuchten Verfahren kaum, aber der absolute Wert liegt doch bei der Frässaat erheblich unter dem der Bestellsaat, und dieser wieder deutlich unter dem des konventionellen Verfahrens.

Die Rüst- und Wegezeiten hängen sehr stark von der inneren und äußeren Betriebsstruktur ab und sind deshalb hier nicht berücksichtigt. Sie können aber, wenn genauere Angaben hierüber vorliegen, leicht dem Arbeitszeitbedarf je durchschnittlicher Flächengröße zuaddiert werden. Da dies für jeden einzelnen Arbeitsgang gesondert geschehen muß, schneiden die kombinierten Verfahren Fräs- und Bestellsaat dabei günstiger ab als das konventionelle Verfahren.

Unberücksichtigt bleiben mußte auch die Frage der verfügbaren Arbeitskräfte. Bei den Berechnungen wurde unterstellt, daß alle Arbeiten absätzig mit nur einem Schlepper von einem Fahrer erledigt wurden. In Betrieben, die über Schleppergrößen von 100 PS und mehr verfügen, ist in der Regel ein Zweitschlepper vorhanden,

mit dem dann z.B. das Drillen parallel zur Saatbettbereitung durchgeführt werden kann. Dies hätte dann eine andere Relation des Arbeitszeitbedarfes der Verfahren zur Folge.

6. K o s t e n

Von besonderer Bedeutung sind schließlich die Kosten. Daher wurde eine vereinfachte Kostenrechnung durchgeführt, um einen Vergleich der Verfahren auch von dieser Seite zu ermöglichen. Diese vereinfachte Kostenrechnung kann aber eine genaue Kalkulation für die Verhältnisse des Einzelbetriebes nicht ersetzen.

Die Kosten der Arbeitserledigung setzen sich zusammen aus den Maschinenkosten und den Kosten für Schlepper und Fahrer. Entscheidenden Einfluß auf die Kosten der Arbeitserledigung üben der Anschaffungspreis der Geräte und der Arbeitszeitbedarf aus. Beide werden durch die Arbeitsbreite mitbestimmt, so daß für die Verfahren "Konventionelle Bestellung", "Bestellsaat" und "Frässaat" die Kosten pro ha bei konstant gehaltener Einsatzfläche pro Jahr in Abhängigkeit von der Schlepper- und dazu passenden Gerätegröße errechnet werden sollen. Darüber hinaus soll für die einzelnen Gerätegrößen die Kostendegression bei zunehmender jährlicher Einsatzfläche ermittelt und ein Kostenvergleich der Verfahren vorgenommen werden.

6.1 Methode

Für die Berechnung der Maschinenkosten ist der Anschaffungspreis ausschlaggebend. Den Kalkulationen liegen Durchschnittspreise zugrunde, wie sie sich 1974 aus den auf dem deutschen Markt angebotenen, vergleichbaren Geräten ergaben. So gingen z.B. in den Anschaffungspreis kleinerer und mittlerer Pflüge die Listenpreise sehr vieler Firmen ein, während im anderen Fall z.B. bei der Kreiselegge nur ein Preis zur Verfügung stand, da diese nur von einer Firma hergestellt wird.

Für die Kalkulation nach der "vereinfachten Formelrechnung" von SCHAEFER-KEHNERT (92) ist die Abschreibungsdauer entscheidend. Für die gezogenen Geräte, also Pflug, Saatbettkombination und Drillmaschine, wurde eine Nutzungsdauer von 10 Jahren unterstellt. Dagegen wurde bei den zapfwellenbetriebenen Geräten wie Kreiselegge und Fräsdritte eine Nutzungsdauer von nur 7 Jahren angenommen. Exakte Daten hierüber fehlen noch weitgehend, aber eine Untersuchung von SCHWAB (95) bei westfälischen Lohnunternehmern ergab, daß die in den KTBL-Unterlagen unterstellten 8 Jahre als zu lang angesehen werden.

Für den Zinsanspruch wurden wie üblich 6 % vom halben Anschaffungspreis, für die Unterbringung 1 % vom Anschaffungspreis unterstellt. Da auch über die tatsächlichen Reparaturkosten gerade bei neueren Verfahren noch keine Werte vorliegen, wurden sie nach der Formel errechnet:

$$\text{Reparaturkosten} = \frac{A \cdot 0,5}{n}$$

wobei A = Anschaffungspreis

n = wirtschaftliche Nutzungsdauer nach der Arbeit in ha ist.

Zu den so errechneten Maschinenkosten kommen die Kosten für Schlepper und Fahrer, um die sogenannten "Kosten der Arbeitserledigung" zu erhalten. Bei den Schlepperkosten wurden nur die veränderlichen Kosten pro Schlepperstunde einschließlich Betriebsstoffkosten nach dem KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft (121) verwendet und die festen Kosten nicht berücksichtigt, da diese nur schwer den einzelnen Betriebszweigen oder Arbeitsgängen zugeordnet werden können. Für den Fahrer wurden 10 DM pro Stunde angesetzt. Als Arbeitszeitbedarf, der ja in die Kosten der Arbeitserledigung eingeht, wurden die in Kapitel 4.3. errechneten Daten für Schlaggröße = 1 ha und Schlaglänge = 300 m verwendet.

6.2 Konventionelle Bestellung

Wie beim Arbeitszeitbedarf, sind auch bei der Ermittlung der Kosten, bei der konventionellen Bestellung die Einzelarbeitsgänge Pflügen, Saatbettbereiten und Säen gesondert zu betrachten und anschließend beim Vergleich der Verfahren zum Gesamtverfahren zu kombinieren.

6.2.1 Pflug

Am wichtigsten ist zunächst das Gerät für die Grundbodenbearbeitung, der Pflug. Es wurden Pfluggrößen von 2 bis 10 Scharen berechnet, für die Schleppergrößen von 50 bis 250 PS erforderlich sind. Da sich bei zunehmender Einsatzfläche pro Jahr der Anteil an Abschreibung, Zinsanspruch und Unterbringung je ha verringert, nehmen auch die Kosten der Arbeitserledigung ab (Abb. 89). Die festen Kosten eines

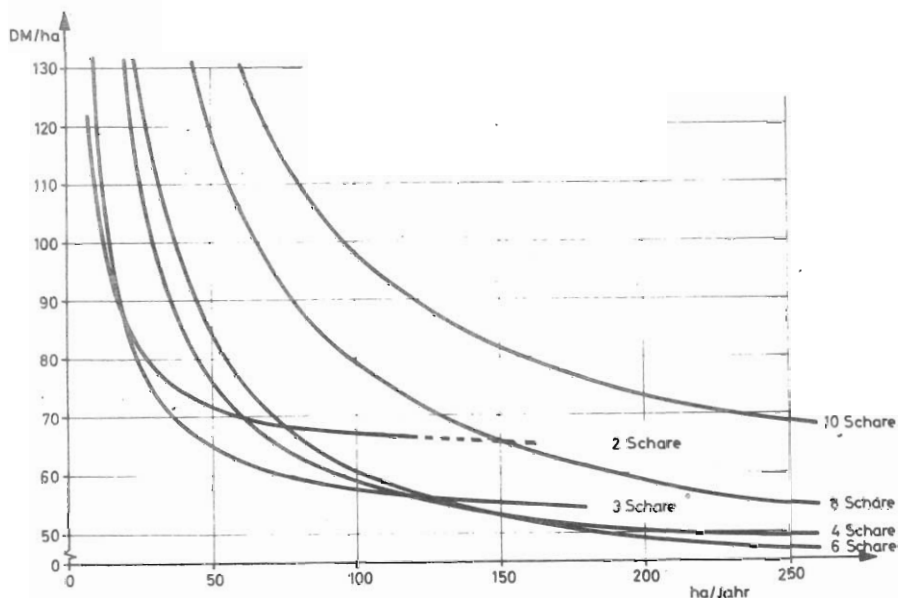


Abbildung 89: Kosten der Arbeitserledigung bei mehrscharigen Kehr-
pflügen in Abhängigkeit von der jährlichen Einsatz-
fläche

2-Schar-Volldrehpfluges betragen 14 % vom Anschaffungspreis von 3.500,-- DM, also 490,-- DM/Jahr. Bei einer jährlichen Einsatzfläche von 10 ha ergeben sich damit feste Kosten von 49,-- DM/ha. Dazu kommt ein Reparaturkostenanteil von 2,19 DM/ha und die Kosten für den Schlepper mit 20,97 DM/ha und den Fahrer mit 38,90 DM/ha. Daraus errechnen sich die Kosten der Arbeitserledigung in Höhe von 111,06 DM. Eine Vergrößerung der jährlichen Einsatzfläche auf 50 ha verringert den Festkostenanteil auf 9,80 DM/ha. Die Kosten für Reparaturen, Schlepper und Fahrer bleiben konstant, so daß die Kosten der Arbeitserledigung 71,86 DM/ha betragen. Eine Vergrößerung der jährlichen Einsatzfläche um weitere 10 ha würde die Kosten nur noch um 2,80 DM/ha senken.

Mit zunehmender Fläche pro Jahr werden größere Pflüge vergleichsweise günstiger. So unterschreiten bereits bei 20 ha die Kosten des dreischarigen Pflügens die des zweischarigen, da die Einsparung an Arbeitszeit und damit an variablen Kosten für Schlepper und Fahrer größer ist als die Zunahme der Maschinenkosten. Die Maschinenkosten betragen bei 20 ha für den 2-Scharpflug 26,69 DM/ha, die Kosten für Schlepper und Fahrer 59,87 DM/ha. Für den 3-Scharpflug betragen die Werte 38,76 DM/ha und 47,71 DM/ha. Daß der 4-Scharpflug erst bei 110 ha jährlicher Einsatzfläche günstiger als der 3-Scharpflug wird, liegt daran, daß der Durchschnittspreis mit 12.500,-- DM im Vergleich zu 5.200,-- DM des 3-Scharpfluges sehr hoch ist. Bei Volldrehpflügen ist nämlich hier die Grenze, wo vom Anbaupflug auf den Aufsattel-pflug übergegangen werden muß. Das verursacht einen technischen Mehraufwand und damit auch einen höheren Kapitalaufwand. Ab etwa 120 ha nähern sich auch die Kosten des 6-Scharpfluges denen des 4-Scharpfluges bei 55,-- DM/ha. Die Kosten des 5-Scharpfluges sind in Abb. 89 nicht eingezeichnet, da der Kurvenverlauf zwischen den beiden eng beieinanderliegenden Kurven des 4- und 6-Scharpfluges nur sehr undeutlich zu verfolgen gewesen wäre. 8- und 10-scharige Pflüge liegen in ihren Kosten auch bei großen jährlichen Einsatzflächen über

300 ha deutlich über dem 6-Scharpflug, so daß ihr Einsatz nur mit der Erhöhung der Schlagkraft, nicht aber mit einer Senkung der Kosten zu rechtfertigen ist. Der Grund dafür liegt darin, daß mit steigender Scharzahl von 2 auf 6 Schare und mit zunehmender Schleppergröße von 50 auf 150 PS die Kosten für Schlepper und Fahrer zwar von nahezu 60 DM/ha auf 33,86 DM/ha fallen, beim 8-Scharpflug bereits wieder auf 35,50 DM/ha steigen und beim 10-Scharpflug bei 43,50 DM/ha liegen. Die Einsparung an Arbeitszeit durch diese großen Pflüge kann das nicht wettmachen, was die Verteuerung der variablen Schlepperkosten und besonders der Maschinenkosten ausmacht. Die Maschinenkosten bei 100/ha jährlicher Einsatzfläche betragen nämlich für den 4-Scharpflug 23,49 DM/ha, für den 6-Scharpflug 29,60 DM/ha (Abb. 90). Der Kostensprung bei 4 Scharen ist dadurch bedingt, daß 4-scharige Vollerpflüge i.d.R. aufgesattelt sind. Auch der Übergang zum 8- und 10-Scharpflug verursacht eine sprunghafte Erhöhung der Maschinenkosten auf 45,70 DM bzw. auf 54,57 DM pro ha. Die komplizierte Technik und das überaus geringe Angebot (nur 2 Hersteller) verteuern den Anschaffungspreis und damit die festen Kosten. Bei den Kosten der Arbeitserledigung (obere Kurve in Abb. 90) ist daher bis zum 4-Scharpflug eine Verringerung bis auf ca. 50,-- DM/ha zu beobachten, da die Verbilligung der Kosten für Schlepper und Fahrer mehr ausmacht als die Verteuerung der Maschinenkosten. Für 4-, 5- und 6-Scharpflüge ist der Unterschied in den Kosten der Arbeitserledigung nur gering. Aber eine weitere Steigerung der Arbeitsbreite auf 8 und 10 Schare verursacht bei 100 ha jährlicher Einsatzfläche durch den starken Anstieg der Maschinenkosten und durch die Zunahme der variablen Kosten für die 200 und 250 PS starken Schlepper ein Anwachsen der Kosten auf nahezu 100,-- DM/ha.

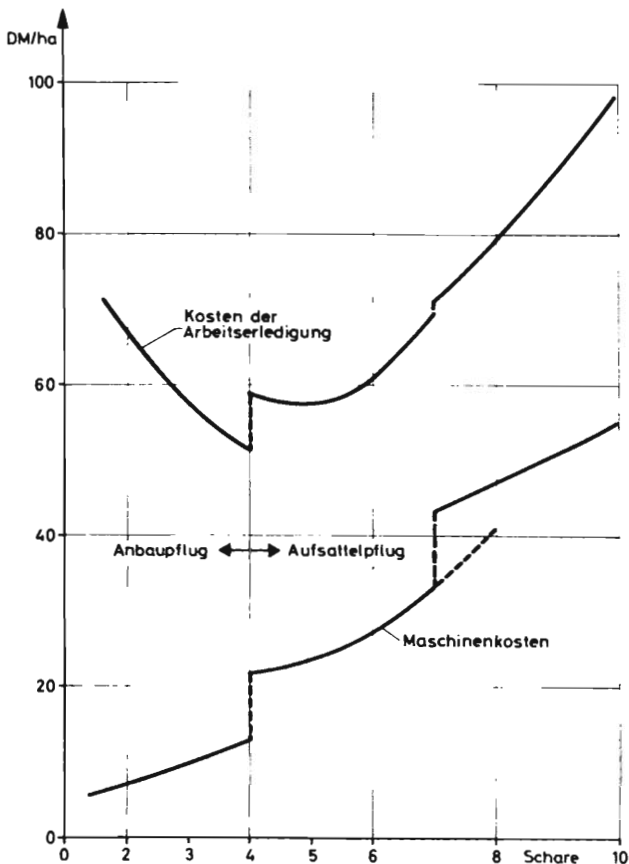


Abbildung 90: Kosten in DM/ha beim Pflügen in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite (Bearbeitungsfläche 100 ha/Jahr)

6.2.2 Saatbettkombination

Die Saatbettbereitung mit Saatbettkombinationen hat mit etwa 25 % vom Gesamtarbeitszeitbedarf der konventionellen Bestellung einen wesentlich geringeren Zeitbedarf als das Pflügen. Deswegen sind Einsparungen am Arbeitszeitbedarf und damit an den Kosten für Schlepper und Fahrer durch die Verwendung größerer Arbeitsbreiten meist geringer als die Verteuerung der Maschinenkosten. In Abb. 91 wird die deutliche Kostendegression bei Einsatzflächen bis zu 50 ha jährlich sicht-

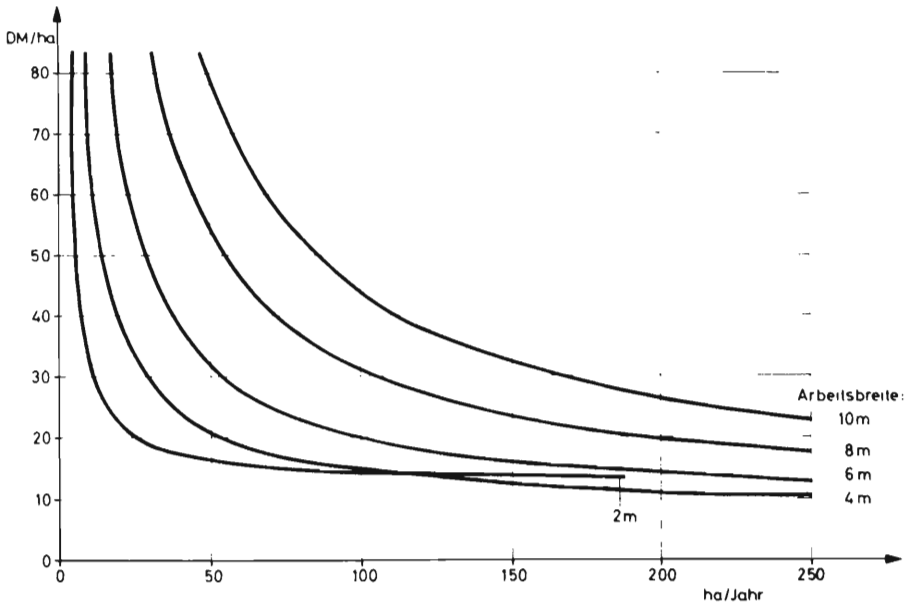


Abbildung 91: Kosten der Arbeitserledigung bei Saatbettkombinationen in Abhängigkeit von der jährlichen Einsatzfläche

bar. Bei größeren Einsatzflächen flachen die Kurven, besonders bei kleinen Arbeitsbreiten, sehr schnell ab. So ist ab etwa 40 ha bei einer 2-m-Kombination keine Verringerung der Kosten zu erzielen, die hier 17,23 DM/ha, aufgeteilt in 5,48 DM Maschinenkosten und 11,75 DM Arbeitskosten, betragen. Bereits ab dieser Grenze wird der Einsatz einer 3- oder 4-m-Kombination zu empfehlen sein, da diese in den Kosten nur unwesentlich höher, in der Schlagkraft aber bedeutend günstiger liegen. Das gleiche gilt beim Übergang von der 4- auf die 6-m-Kombination bei etwa 80 bis 100 ha. Hier differieren die Kosten nur um etwa 5,-- DM/ha. Noch breitere Geräte sind in den Kosten der Arbeitserledigung selbst bei 250 ha/Jahr immer teurer, da sie durch eine aufwendige Technik für die Anpassung an Bodenunebenheiten und für das Einklappen in Transportstellung stark verteuert werden.

6.2.3 Drillmaschine

Bei den Drillmaschinen wird ab einer Arbeitsbreite von 4 m in der Regel der breite Saatkasten ersetzt durch den zentralen Saatgutbehälter mit mechanischer oder pneumatischer Saatgutverteilung. Dies hat eine Verteuerung des Gerätes und damit auch der Maschinenkosten zur Folge (Abb. 92). Bei nur 50 ha jährlicher Einsatzfläche bewirkt

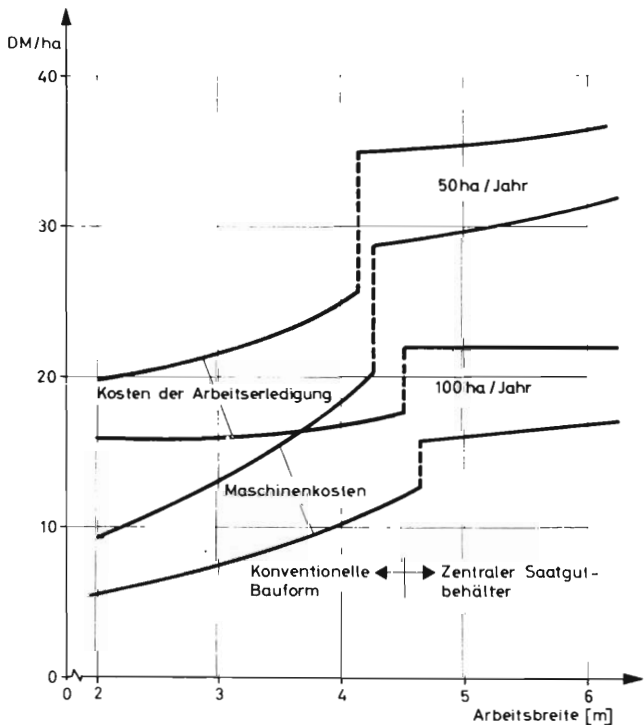


Abb. 92

Abbildung 92: Kosten in DM/ha beim Drilling in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite (Bearbeitungsfläche 50 und 100 ha/Jahr)

dieser Übergang von 4 auf 5 m Arbeitsbreite eine Steigerung der Maschinenkosten von 18,49 DM/ha auf 29,71 DM/ha. Dadurch werden die Kosten der Arbeitserledigung von 25 DM/ha auf 35,50 DM/ha angehoben. Bei 100 ha jährlicher Einsatzfläche macht der Kostensprung nur etwa 6 ,-- DM/ha aus.

Die Kosten der Arbeitserledigung verringern sich bis zu 50 ha/Jahr sehr deutlich (Abb. 93). Die Arbeitsbreiten 2,3 und 4 m liegen in den

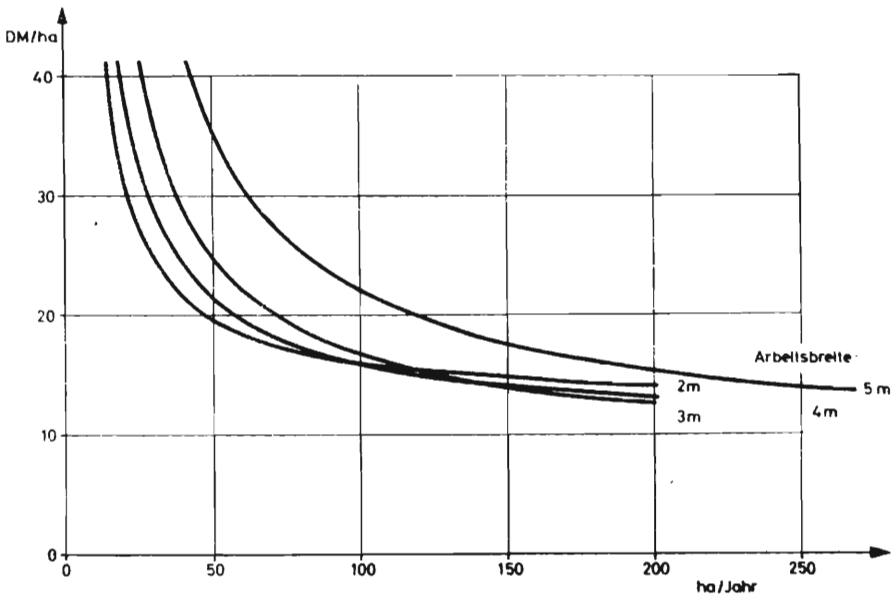


Abbildung 93: Kosten der Arbeitserledigung bei Drillmaschinen in Abhängigkeit von der jährlichen Einsatzfläche

Kosten so dicht zusammen, daß man sagen kann, für bis zu 50 ha/Jahr ist eine 2-m-Maschine, für 50 - 80 ha eine 3-m - Maschine und ab 80 ha eine 4-m-Maschine sinnvoll, da hier die Kosten/ha bereits auf unter 20,-- DM abfallen. Maschinenbreiten von 5 m und mehr werden, von der

Kostenseite her gesehen, erst ab etwa 120 bis 150 ha/Jahr interessant. Die Kosten für die 5- und 6-m-Maschine mit Zentralbehälter liegen so dicht beieinander, daß in Abb. 93 nur eine Kurve eingezeichnet wurde.

6.3 Bestellsaat

Als Beispiel für die Bestellsaat wird wie im Kapitel Flächenleistung nur die Kreiselegge mit angebauter Drillmaschine berechnet, da sowohl der Arbeitszeitbedarf als auch die Anschaffungspreise in etwa vergleichbar sind mit anderen Zapfwelleneggen. Bei den relativ teureren Geräten bewirkt die Wahl eines breiteren Gerätes eine deutliche Steigerung der Maschinenkosten (Abb. 94). Der Übergang von 3 auf 4 m Arbeitsbreite erhöht die Maschinenkosten bei 50 ha/Jahr von 42,-- DM/ha auf 58,-- DM/ha. Bei 100 ha/Jahr steigen die Maschinenkosten von 23,-- DM/ha auf 31,-- DM/ha. Eine weitere Vergrößerung der Arbeitsbreite auf 6 m läßt die Maschinenkosten und die Kosten der Arbeitserledigung fast linear ansteigen.

Die Kosten der Arbeitserledigung liegen für die Arbeitsbreiten von 2,50 m und 3,00 sehr dicht beisammen, da sich die höheren Maschinenkosten der breiteren Maschine durch die niedrigeren Kosten für Schlepper und Fahrer nahezu ausgleichen (Abb. 95). Bei 30 ha/Jahr beträgt der Unterschied nur etwa 5,-- DM/ha, das sind bei einem Kostenniveau von 80,-- DM/ha nur 6 %. Daraus kann man schließen, daß die Arbeitsbreite von 2,50 m nur für sehr kleine Einsatzflächen von unter 30 ha interessant ist. Die Arbeitsbreite von 3,00 m paßt in nahezu alle Betriebe. Erst ab einer jährlichen Einsatzfläche von mehr als 125 ha wird die 4-m-Maschine auch von der Kostenseite her etwa gleich günstig. Für die Arbeitsbreite von 6 m sind Einsatzflächen von über 220 ha/Jahr nötig, um die Kosten unter 40,-- DM/ha zu senken.

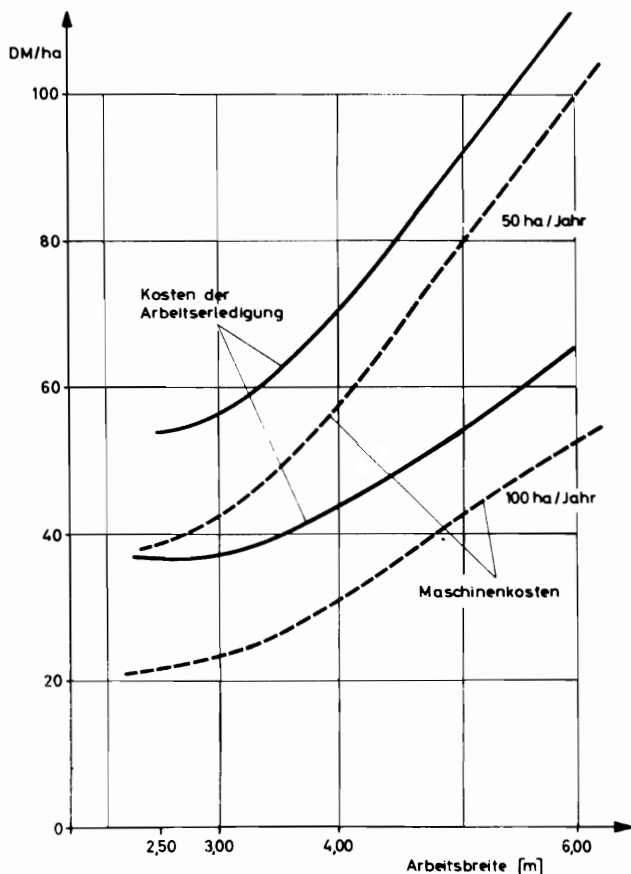


Abbildung 94: Kosten in DM/ha bei der Bestellsaat (Kreiselegge) in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite (Bearbeitungsfläche 50 und 100 ha/Jahr)

6.4 Frässaat

Die Fräsdrillen sind charakterisiert durch ihren hohen Anschaffungspreis. Selbst bei der kleinsten Arbeitsbreite von 2,05 m betragen die Maschinenkosten bei einer jährlichen Auslastung von 50 ha ca. 40,-- DM/ha, von 100 ha 24 DM/ha (Abb. 96). Bei der Vergrößerung der Arbeitsbreite über 2,30 m auf 2,55 m steigen die Maschinenkosten zunächst progressiv auf 54,-- DM/ha (50 ha) bzw. 31,-- DM/ha (100 ha) an. Erst der Übergang von 2,50 m auf 3,10 m bringt eine Abflachung der Kurve. Die

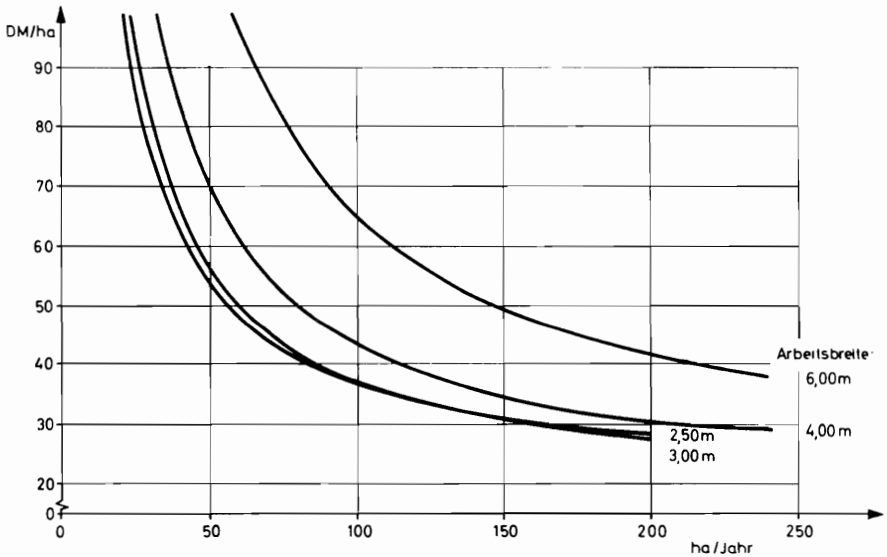


Abbildung 95: Kosten der Arbeitserledigung bei der Bestellkombination Kreiselegge + Drillmaschine in Abhängigkeit von der jährlichen Einsatzfläche

Maschinenkosten für die Arbeitsbreiten 4,10 m und 4,60 m liegen deutlich höher, da die Anschaffungspreise für diese heute noch größten Fräsen sehr hoch sind. Da zwischen 3,10 m und 4,10 m keine Geräte auf dem Markt sind, entsteht in diesem Bereich irgendwo der Kostensprung, der sich voll auch auf die Kosten der Arbeitserledigung überträgt. Es fällt auf, daß sich mit zunehmender Maschinenbreite und damit auch Schlepperleistung der Anteil der Kosten für Schlepper und Fahrer nicht in dem Maße verringert, wie die Arbeitsbreite zunimmt. Für 2,05 m betragen diese Arbeitskosten 21,89 DM/ha. Sie errechnen sich aus dem Arbeitszeitbedarf von 1,23 h/ha, der sowohl mit den variablen Schlepperkosten für einen 80-PS-Schlepper (4,91 DM/h) als auch mit den Betriebsstoffkosten (2,89 DM/h) und den Lohnkosten (10,-- DM/h) mul-

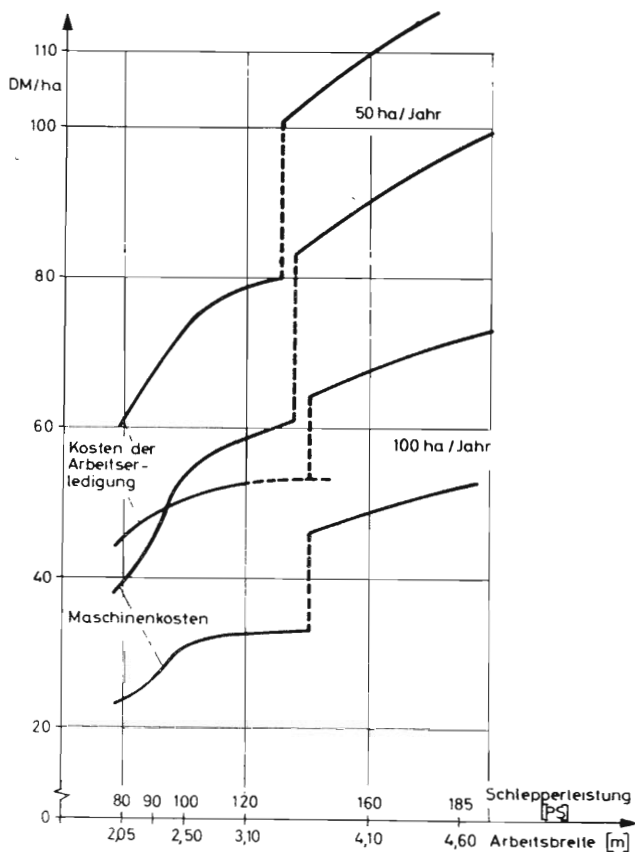


Abbildung 96: Kosten in DM/ha der Frössaat in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite (Bearbeitungsfläche 50 und 100 ha/Jahr)

tipliziert wird. Die Summe ergibt dann 21,89 DM/ha. Für die um 50 % breitere Maschine mit 3,10 m ist ein 120-PS-Allrad-Schlepper nötig. Seine variablen Kosten (9,31 DM/h), die Betriebsstoffkosten (4,63 DM/h) und der Lohnanspruch mit dem Arbeitszeitbedarf von 0,84 h/ha multipliziert, ergeben Arbeitskosten von 20,11 DM/ha, also nur 1,78 DM/ha weniger als bei 2,05 m Arbeitsbreite. Die Gesamtkosten der Arbeitserledigung betragen dann für 50 ha/Jahr 78,80 DM/ha, für 100 ha/Jahr 52,64 DM/ha. Der starke Anstieg der Maschinenkosten läßt schon erkennen, daß

Fräsdrillen mit einer hohen jährlichen Einsatzfläche ausgelastet werden müssen. Dies wird auch in Abb. 97 deutlich, wo bis zu 80 ha/Jahr auch bei der 2,05 m-Maschine eine starke Kostendegression auf-

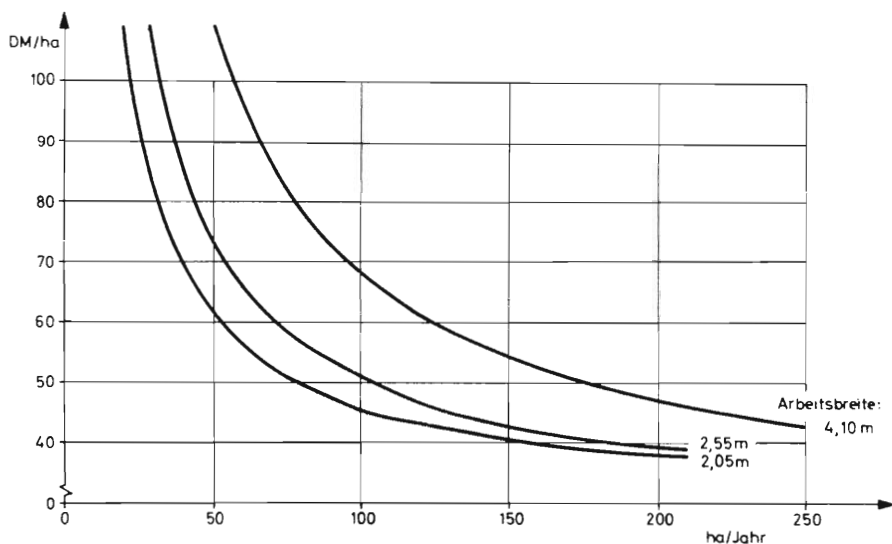


Abbildung 97: Kosten der Arbeitserledigung bei Fräsdrillen in Abhängigkeit von der jährlichen Einsatzfläche

tritt. Erst ab einer ha-Zahl von 100/Jahr gelangt auch eine 2,50-m-Maschine in den Kostenbereich von unter 50,- DM/ha. Die Kosten für die 3,10-m-Maschine liegen sehr knapp darüber, so daß sie der besseren Übersichtlichkeit wegen nicht eingezeichnet wurden. Die Erweiterung der Arbeitsbreite auf über 4 m hätte einen starken Anstieg der Kosten zur Folge, so daß solche Geräte erst ab 180 bis 200 ha/Jahr interessant werden.

Hinzu kommt, daß die Flächenleistung der Fräsdrillen durch den Wegfall der Pflugfurche sehr hoch ist, ja sogar noch höher ist als die

Flächenleistung für Saatbettbereitung und Saat bei der konventionellen Bestellung. Daher ist die Notwendigkeit, sehr große Arbeitsbreiten einzusetzen, nicht in dem Maße gegeben. Dies wird besonders aus dem Vergleich der drei Bestellverfahren deutlich.

6.5 Vergleich der Verfahren

Zum Vergleich der verschiedenen Bestellverfahren ist es notwendig, eine bestimmte Vergleichsbasis zu finden. Dazu eignen sich entweder die Schleppergrößen, die durch die verschiedenen Verfahren und Arbeitsbreiten ausgelastet werden, oder die zu bestellende Fläche pro Jahr oder auch die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage. Nimmt man die verschiedenen Schlepperstärken von 50 bis 200 PS und ordnet ihnen die entsprechenden Geräte zu, so ergibt sich für die einzelnen Verfahren ein mit der Schlepperstärke sich ändernder Verlauf der Kostenrelationen (Abb. 98). Dabei ist eine jährliche Einsatzfläche von 100 ha unterstellt.

Die Kosten für das Pflügen reduzieren sich, wie schon in Abb. 90 gezeigt, bei 100 ha/Jahr bis zum 4-Scharpflug, steigen da wegen der Verteuerung durch das Aufsatteln sprunghaft an und erhöhen sich von da an exponential weiter. Addiert man die Kosten für die Saatbettbereitung dazu, so bleibt die Form der Kurve in etwa erhalten, nur auf höherem Kostenniveau. Addiert man noch die Kosten für die Saat dazu, so kommt zu dem einen Kostensprung bei 100 PS (= 4-Scharpflug) noch ein Sprung bei 125 PS dazu, wo von der konventionellen 4-m-Drillmaschine auf die 5-m-Drillmaschine mit Zentralbehälter übergegangen wird. Daraus ergibt sich die Kurve "konventionelle Bestellung", die bei 50 PS mit ca. 110,-- DM/ha beginnt und bis 100 PS und angebautem 4-Scharpflug auf ca. 90,-- DM/ha fällt. Mit einem aufgesatteltem Pflug liegen die Kosten hier bei 100,-- DM/ha und steigen bis zum 5-Scharpflug nur ge-

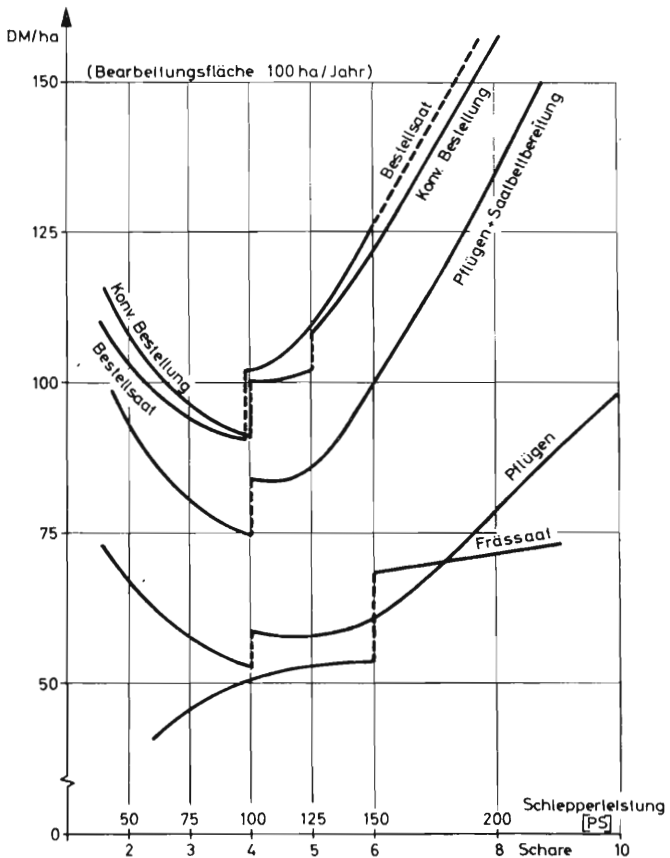


Abbildung 98: Kosten der Arbeitserledigung bei verschiedenen Bestellverfahren in Abhängigkeit von der Schlepper- und Gerätegröße

ringfügig auf 102,-- DM/ha. Die Verwendung größerer Geräteeinheiten bringt eine starke Erhöhung der Kosten. So betragen diese bei der Geräteausstattung für einen 200-PS-Schlepper (8-Schar-Pflug, 10 m-Saatbettkombination, 6-m-Drillmaschine) bereits 156,-- DM/ha.

Der Kostenverlauf der Bestellsaat nimmt, da auch hier das Pflügen einen gewichtigen Teil ausmacht, einen ähnlichen Verlauf. Bei 100 ha jährlicher Einsatzfläche liegt die Bestellsaat bis 100 PS etwas nied-

riger, ab 100 PS aufwärts etwas höher in den Kosten als die konventionelle Bestellung.

Bei der Frässaat sind die Kosten durch den Wegfall der Pflugfurche deutlich geringer. Bei den Arbeitsbreiten bis 3,10 m, die heute angeboten werden, betragen die Kosten 52,-- DM/ha, also etwa die Hälfte der Kosten der konventionellen Bestellung und der Bestellsaat. Die größeren Arbeitsbreiten von 4,10 und 4,60 werden zwar heute noch nicht gebaut, würden aber nach dem heutigen Stand der Technik eine sprunghafte Verteuerung der Kosten auf ca. 70,-- DM pro ha bringen. Würde eine größere Bearbeitungsfläche pro Jahr unterstellt, so würden die Verfahren mit großen Geräten im Vergleich zu den kleinen natürlich günstiger abschneiden.

Geht man daher von der jährlich zu bestellenden Getreidefläche aus, so zeigen sich die Kostenrelationen der einzelnen Verfahren deutlicher für bestimmte Betriebsverhältnisse. Dazu ist es notwendig, der unterstellten Getreidefläche eine bestimmte Schleppergröße und davon abhängig die Gerätegröße zuzuordnen. Entscheidend dafür sind die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage. Für viele Betriebe dürften 30 Feldarbeitstage oder 240 AKh für die Bodenbearbeitung und die Bestellung des Getreides zutreffen (JSENSEE (66)). Um mit dem konventionellen Verfahren in dieser Zeit eine Getreidefläche von 40 ha bearbeiten zu können, ist ein 50-PS-Schlepper mit der dazugehörigen Geräteausstattung notwendig. Für 80 ha ist es ein 100-PS-Schlepper und für 120 ha ein 150-PS-Schlepper (Tab. 20). Der Arbeitszeitbedarf/ha und die Kosten/ha sind in Abb. 99 für die einzelnen Flächen und Schleppergrößen aufgetragen. In Tab. 20 sind zusätzlich noch die Anschaffungspreise für die benötigten Geräte mit angegeben. Demnach entstehen bei der Bearbeitung von 40 ha mit einem 50-PS-Schlepper nach der konventionellen Bestellmethode Kosten von 125,45 DM/ha. Die Bestellsaat liegt geringfügig mit 136,56 DM/ha darüber, wobei ihr Anteil an Maschinenkosten mit 61,44 DM/ha nahezu doppelt so hoch wie

Tabelle 20: Kenndaten der Bestellung bei unterschiedlichen Betriebs- und Gerätegrößen

Bestellverfahren	KB	BS	FS ^{x)}	KB	BS	FS	KB	BS	FS
Getreidefläche ben.Schl.PS		40 ha 50 PS			80 ha 100 PS			120 ha 150 PS	
Arb.Zeitbedarf (AKh/ha)	6,03	4,83	1,45	3,02	2,45	0,98	1,98	1,67	0,68
Arb.Zeit ges. (AKh)	241	193	58	241	196	78	238	200	81
Ansch.Preise ges.(DM)	7 600	12 700	8 700	23 500	28 600	12 700	42 700	44 200	22 800
Kosten/ha (DM)	125,45	136,56	70,98	108,17	113,10	56,33	111,66	114,49	61,18
Flächenleistung (ha) bei 240 AKh/Jahr	40	50	166	80	98	245	121	144	350
Kosten/ha (DM) bei 240 AKh/Jahr	125,45	125,58	40,45	108,17	101,99	37,70	111,66	106,08	38,34

KB = konv. Bestellung einschl. Pflügen

BS = Bestellsaat einschl. Pflügen

FS = Frässaat

x) gilt für 2,05 m Fräsdrille bei 4 km/h

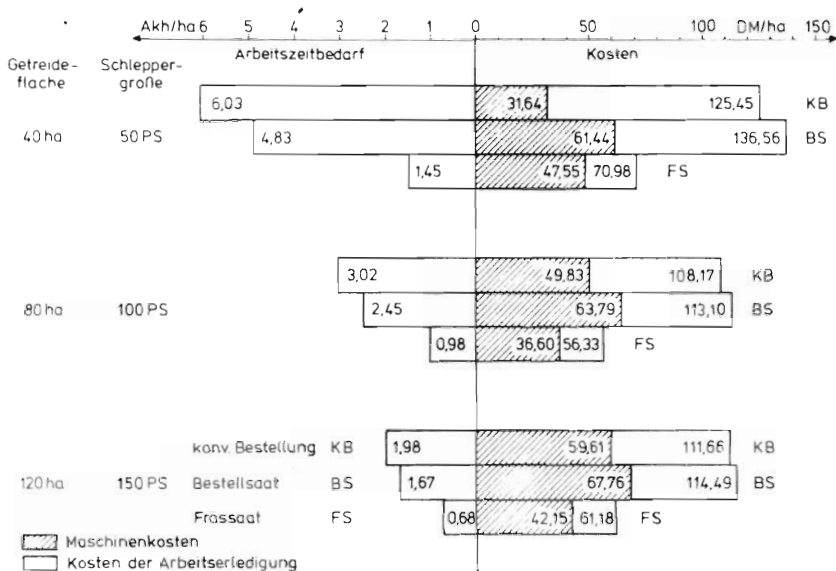


Abbildung 99: Arbeitszeitbedarf und Kosten verschiedener Bestellsysteme bei unterschiedlicher Schlepper- und Gerätegröße und Einsatzfläche pro Jahr

bei der konventionellen Bestellung liegt. Bei der Frässaat liegen bei 40 ha die Maschinenkosten mit 47,55 relativ hoch, da die kleinste Fräsdrille mit 2,05 m für einen 50-PS-Schlepper immer noch zu groß ist. Für die Berechnung der Arbeitskosten wurde daher die langsame Fahrgeschwindigkeit von nur 4 km/h unterstellt, woraus sich dann 71,-- DM/ha als Kosten der Arbeitserledigung ergeben. Bei 80 ha Getreidefläche steigen die Maschinenkosten der konventionellen Bestellung auf etwa 50,-- DM/ha, die Kosten der Arbeitserledigung fallen aber auf 108,-- DM/ha. Bei der Bestellsaat bleiben die Maschinenkosten gleich, aber die Kosten der Arbeitserledigung liegen bei 80 ha/Jahr günstiger. Bei 120 ha Getreidefläche ändert sich die Relation der Kosten nicht, und auch das Niveau bleibt auf der selben Höhe.

Geht man nun von der verfügbaren Arbeitszeit von 240 AKh aus und ermittelt die ha-Zahlen, die die einzelnen Verfahren in dieser Zeit bearbeiten können, so ergeben sich die in der unteren Hälfte von Tab. 20 angegebenen Werte. Wenn mit einem 50-PS-Schlepper mit dem konventionellen Verfahren 40 ha bearbeitet und bestellt werden können, so sind es mit der Bestellsaat 50 ha und mit der Frässaat 166 ha. Die Kosten/ha betragen, in der gleichen Reihenfolge, 125,45 DM, 125,58 DM und 40,45 DM. Die entsprechenden Daten für 100-PS- und 150-PS-Schlepper sind aus Tab. 20 zu entnehmen.

6.6 Diskussion der Ergebnisse

Bei der Berechnung der Kosten der Arbeitserledigung für die Bodenbearbeitung und Bestellung wurden nach einem vereinfachten Rechengang die Maschinenkosten und die Arbeitskosten, also die variablen Schlepperkosten und der Lohnanspruch des Fahrers, ermittelt. Dabei zeigte sich, daß die Maschinenkosten mit zunehmender Gerätegröße bei konstanter Einsatzfläche pro Jahr meist progressiv ansteigen. Besondere technische Notwendigkeiten, die bei der Vergrößerung der Arbeitsbreite entstehen, wie der Übergang vom Anbaupflug zum Aufsattelpflug oder zum zentralen Saatgutbehälter bei Großdrillmaschinen, verteuern die Kosten oft sprunghaft. Die Zunahme der Maschinenkosten mit wachsender Arbeitsbreite kann durch die Abnahme der Kosten für Schlepper und Fahrer nur in den unteren PS-Klassen kompensiert werden, wenn man 100 ha jährliche Bearbeitungsfläche unterstellt. Ab Schleppergrößen von etwa 120 bis 150 PS nehmen die Schlepperkosten je ha nicht mehr ab, ja sie steigen sogar bei 200- und 250-PS-Schleppern wieder an. Dieser Anstieg verursacht zusammen mit den steigenden Maschinenkosten eine starke Verteuerung der Kosten bei großen Einheiten. Daraus ist zu folgern, daß für Schlepper ab etwa 150 PS Einsatzflächen von 100 ha/Jahr zu wenig sind. Erst

eine deutliche Vergrößerung der Einsatzflächen kann Großschlepper bis 250 PS mit den dazugehörigen Gerätebreiten wieder günstiger in den Kosten der Arbeitserledigung erscheinen lassen.

Es erscheint daher vorteilhafter, den Vergleich der Verfahren auf der Grundlage einer bestimmten Getreidefläche und einer bestimmten, dazu passenden Geräteausstattung durchzuführen. Bei den untersuchten Einsatzflächen 40, 80 und 120 ha/Jahr lag die Bestellsaat in ihren Kosten immer leicht über der konventionellen Bestellung. Die reinen Arbeitskosten für Schlepper und Fahrer waren aber geringer. Die Frässaat erreicht, durch den Wegfall der Pflugfurche, nur etwa die Hälfte der Kosten der Arbeitserledigung, so daß sie nicht nur aus Gründen der Schlagkraft, sondern auch aus Kostengründen interessant bleibt. Die Arbeitsproduktivität der Verfahren steigt mit zunehmender Zusammenlegung von Einzelarbeitsgängen von der konventionellen Bestellung über die Bestellsaat bis zur Frässaat. So kann die Fräsdreille in der gleichen Zeit etwa die 3- bis 4-fache Fläche bearbeiten, als dies mit der konventionellen Bestellung möglich wäre, wobei die Kosten/ha sich dann auf nur gut ein Drittel reduzieren.

Auf der anderen Seite kann aber auch eine Verkürzung der Bestellzeitspanne durch schlagkräftigere Verfahren selbst bei gleichen oder etwas höheren Kosten (Bestellsaat) gesamtbetrieblich günstiger sein, wenn dadurch die optimalen Saattermine besser eingehalten werden können und damit das Ertragsrisiko gemindert wird.

Bei den vorliegenden Ergebnissen muß berücksichtigt werden, daß es sich um Modellrechnungen handelt, die eine exakte, auf den Einzelbetrieb zugeschnittene Kostenrechnung nicht ersetzen können.

7. Zusammenfassung

Da heute nahezu 70 % der Feldarbeit im Getreidebau auf die Bodenbearbeitung und Bestellung entfallen, wirken sich Einsparungen an Arbeitszeitbedarf und Kosten hier besonders aus. Eine Möglichkeit dazu stellen die sogenannten Minimalbestellverfahren dar. Man versteht darunter Verfahren, die entweder die Arbeitsgänge Saatbettbereitung und Saat zusammenlegen zur sogenannten Bestellsaat, oder auf bestimmte Arbeitsgänge wie z.B. die Grundbodenbearbeitung ganz verzichten. Ein Beispiel hierfür ist die Frössaat. Diese Einsparung an Arbeitszeit und Kosten darf aber nicht zu Lasten der Bodenstruktur, der Pflanzenentwicklung und des Ertrages gehen. Ziel dieser Arbeit war es daher, die betriebstechnischen und pflanzenbaulichen Aspekte der z.T. neueren Minimalbestellverfahren zu untersuchen.

Eine wichtige Aufgabe war es, zunächst den Leistungsbedarf der verschiedenen gezogenen und zapfwellenbetriebenen Minimalbestellgeräte zu messen. Dabei interessierte neben dem absoluten Leistungsbedarf pro 1 m Arbeitsbreite und der dafür notwendigen Schlepperstärke vor allem die Abhängigkeit des Leistungsbedarfes von den Einflußfaktoren Fahrgeschwindigkeit, Werkzeuggeschwindigkeit, Arbeitstiefe, Bodenart und Bodenfeuchtegehalt. Während bei den gezogenen Saatbettbereitungsgeräten, wie z.B. den Feingrubbern, der Leistungsbedarf mit wachsender Fahrgeschwindigkeit progressiv anstieg, fiel bei den zapfwellenbetriebenen Geräten ab einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit der Drehleistungsbedarf wieder ab. Dies rührte daher, daß zwei Komponenten den Leistungsbedarf beeinflussen, einmal die Fahrgeschwindigkeit und damit das in der Zeiteinheit bearbeitete Bodenvolumen, zum anderen die Zerkleinerungsintensität, die durch die Bewegungsbahnen der Werkzeuge im Boden bestimmt wird. Mit steigender Fahrgeschwindigkeit nimmt das bearbeitete Bodenvolumen zu, die Zerkleinerungsintensität dagegen ab. Für die rotierenden Geräte (Kreiselegge, Zinkenrotor,

Fräse) ergaben sich daraus bestimmte Relationen von Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeuge u und Fahrgeschwindigkeit v , die nicht unterschritten werden sollten. Bei der Kreiselegge liegt dieses Verhältnis u/v zwischen 2 und 3, bei modernen Bodenfräsen und Zinkenrotoren je nach Arbeitstiefe bei 3,2 bis 3,5. Es stellte sich weiter heraus, daß die spezifische Arbeit in kJ/m^3 sowohl mit dem Verhältnis u/v als auch mit dem Zerkleinerungsgrad ZG eng korreliert. Nur bei Geräten mit sehr hoher Umfangsgeschwindigkeit (Zinkenrotor) hatte neben dem Verhältnis u/v auch die Beschleunigung der Bodenaggregate einen Einfluß auf die spezifische Arbeit und den Leistungsbedarf. Bei einem bestimmten Feuchtegehalt, der von der Bodenart abhängt, wird der Boden bei gleich gehaltener Geräteeinstellung am intensivsten zerkleinert. Dabei entsteht dann auch der höchste Leistungsbedarf der Geräte. Für einen Boden mit einem Sandanteil von nur 4 % lag dieser für die Zerkleinerungswirkung "optimale" Feuchtegehalt bei 19,5 Gew.%, für einen Boden mit 19 % Sandanteil bei etwa 17 Gew. % und für einen Boden mit 35 % Sandanteil bei 14 Gew. %.

Wenn auch der Leistungsbedarf der Geräte starke Unterschiede aufwies, so differierten doch die benötigten Schlepperstärken nicht mehr allzusehr. Die Geräte mit einem hohen Zugleistungsanteil (Feingrubber, z.T. auch Rüttelegge) hatten zwar einen geringeren Leistungsbedarf als rotierende Geräte, aber durch die Verluste bei der Leistungsübertragung durch den Schlupf benötigen fast alle Geräte Schlepperstärken von 20 kW je 1 m Arbeitsbreite. Nur die Fräse benötigt, wenn vorher nicht gepflügt ist, etwa 30 kW.

Zur Bestimmung der Einflüsse der Minimalbestellverfahren auf die Pflanzenentwicklung wurden drei mehrjährige Versuche auf verschiedenen Standorten angelegt. Es zeigte sich, daß die unterschiedliche Zerkleinerungsintensität den Feldaufgang direkt beeinflußt, indem ein hoher Zerkleinerungsgrad, also feines Saatbett ($5 \text{ mm} < \text{GMD} < 15 \text{ mm}$) einen hohen Feldaufgang bewirkte, ein grobes Saatbett ($15 \text{ mm} < \text{GDM} < 25 \text{ mm}$)

den Feldaufgang dagegen bis auf 40 % verminderte. Aber auch die Art der Saatgutablage in Form der Drill-, Band- und Breitsaat hatte, besonders durch die unterschiedlich genaue Tiefenablage, Einfluß auf den Feldaufgang. Die Flächenverteilung der Körner und damit der Pflanzen wirkte sich dergestalt aus, daß die Pflanzen mit der besseren Standraumverteilung Unterschiede im Feldaufgang besser durch höhere Bestockung ausgleichen konnten als die Pflanzen in einer Drillreihe. Die Komponenten, die den Ertrag beeinflussen, wie Halmzahl, Tausendkorngewicht, Ährengewicht u.a. wurden mittels zweifaktorieller Varianzanalyse verrechnet. Dabei ergaben sich zwar Unterschiede in der Pflanzen- und Halmzahl, auch im Ähren- und Tausendkorngewicht, aber sie ergänzten sich in der Regel so weit, daß alle Verfahren im Ertrag nahezu gleich bzw. Unterschiede nicht abzusichern waren. Die konventionelle Bestellung als Vergleichsbasis zeigte in Roggenstein bei Sommergerste eine gewisse Überlegenheit, lag sonst aber im Ertrag gleich mit den Minimalbestellverfahren. Es zeigte sich weiter, daß der Einfluß der Standorte und der Einfluß der Versuchsjahre weitaus größer war als der Einfluß des Bestellsystems.

Die Notwendigkeit, die Flächenleistung bei der Bodenbearbeitung und Bestellung zu steigern, ist eine der Haupttriebfedern zur Einführung neuer Minimalbestellverfahren. Zur Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes und der Flächenleistung wurde, ausgehend von Arbeitszeitmessungen, eine Methode entwickelt, die aus wenigen Grunddaten wie Maschinenabmessungen, Arbeitsgeschwindigkeit, Wendegeschwindigkeit, Schlaggröße und Schlaglänge eine rechnerische Bestimmung ermöglicht. Es zeigte sich, daß die Einflüsse von Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeit sehr stark mit der Schlaggröße und Schlaglänge gekoppelt sind. Weit hinter den Schlepper hinausragende Geräte wie der Pflug oder schnell gefahrene Geräte wie die Saatbettkombination benötigen bei großen Geräteeinheiten auch große Schläge. Kurzgebaute, langsamer fahrende Minimalbestellgeräte können auch auf kleineren Schlägen mit Arbeits-

breiten, die Schlepper über 100 PS auslasten, schlagkräftig arbeiten. Wenn man den jeweiligen Schlepperstärken von 50 bis 200 PS die dazu passende Geräteausstattung zuordnet, so liegt über alle Schleppergrößen hinweg die Bestellsaat im Arbeitszeitbedarf etwa um 15 % unter der konventionellen Bestellung. Die Frässaat benötigt nur etwa ein Drittel des Zeitbedarfes der Normalbestellung.

Um schließlich noch einen Kostenvergleich der Verfahren durchzuführen, wurden nach einer vereinfachten Rechenmethode die Maschinenkosten und die Kosten für Schlepper und Fahrer in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite und der jährlichen Einsatzfläche errechnet. Die mit steigender Arbeitsbreite bei konstanter jährlicher Einsatzfläche steigenden Maschinenkosten werden nur bei kleineren Geräteeinheiten durch die Abnahme der Arbeitskosten kompensiert. Bei einer Bearbeitungsfläche von 100 ha/Jahr steigen ab einer Schleppergröße von etwa 120 PS die Kosten der Arbeitserledigung wieder an. Größere Schlepper mit den dazu passenden Geräteeinheiten benötigen also mehr als 100 ha Einsatzfläche pro Jahr. Auf unterschiedliche Getreideflächen und die darauf abgestimmten Schleppergrößen bezogen, bleibt die Kostenrelation zwischen der konventionellen Bestellung, der Bestellsaat und der Frässaat in etwa gleich, und zwar liegt die Bestellsaat in den Kosten immer geringfügig über der konventionellen Bestellung, die Frässaat dagegen nur etwa bei der Hälfte.

Wenn also langfristig keine entscheidenden Ertragsunterschiede zwischen den Verfahren auftreten, so sprechen die Vorteile der verlustärmeren Leistungsübertragung durch den Zapfwellenantrieb und der höheren Schlagkraft durch den geringeren Arbeitszeitbedarf und damit die höhere Arbeitsproduktivität zu Gunsten der Minimalbestellverfahren, so daß ihr Einsatz, vor allem in den Einmannbetrieben, zur Lösung der Probleme bei der Bestellung beitragen kann.

8. L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

1. ACHENBACH, F.: Der Ackerbau ohne Bodenwendung zur Sicherstellung der Ernteerträge
Neudamm 1921
2. ARNOTT, R.A.,
CLEMENT, C.R.: The use of herbicides in alternate husbandry as a substitute for ploughing
Weed Res. 6 (1966), S. 142 - 157
3. BACHTHALER, G.: Verfahren der pfluglosen Ackerkultur durch Anwendung von Spezialherbiziden
Bayer.Landw.Jb. 44 (1967), H. 5, S. 515-534
4. BACHTHALER, G.: Die Entwicklung der Unkrautflora in Abhängigkeit von veränderten Feldbaumethoden
Z.Acker- u. Pflanzenbau 127 (1968), S.327 ff.
5. BACHTHALER, G.: Die Stellung der Direktsaat und die Minimal-Bodenbearbeitung in der Fruchtfolge
Merck-Blätter 20 (1970) H. 1, S. 39-48
6. BACHTHALER, G.: Ergebnisse mehrjähriger Direktsaatversuche auf ackerbaulichen Problemstandarten Bayerns
Landw.Forschung 26/I. Sonderh. (1971), S. 245 - 263.
7. BACHTHALER, G.: Der Einfluß von Drillweite und Saatstärke auf Ertrag und Qualität von Winterweizen unter verschiedenen ökologischen Bedingungen
Z.Acker- und Pflanzenbau 134 (1971), S.25-41
8. BAEUMER, K.: Die Standortsfaktoren Boden und Klima bei pflugloser Bestellung
Merck-Blätter 20 (1970) H. 1, S. 32-37
9. BAEUMER, K.,
PAPE, G.: Ergebnisse und Aussichten des Anbaues von Zuckerrüben im Ackersystem ohne Bodenbearbeitung
Zucker 25, H. 22 (1972), S. 711 - 718

10. BAKERMANS, W.A.P.,
KUIPERS, H.,
DE WIT, C.T.: Ervaringen met akkerbouw zonder grond-
bewerking
Landbouwkd. T 80 (1970), S. 440 - 449
11. BERNACKI, H.: Untersuchungen von Scharfräsen in der
Bodenrinne und auf dem Acker
Grundl. d. Landtechnik (1962) H. 15,
S. 28 - 36
12. BERNACKI, H.: Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen
VEB-Verlag Technik, Berlin 1972
13. BERNACKI, H.,
HAMAN, J.: Grundlagen der Bodenbearbeitung und
Pflugbau
VEB-Verlag Technik, Berlin 1972
14. BERNACKI, H.: Vergleich des Energieaufwandes für die
Bodenbearbeitung mit verschiedenen Werk-
zeugen
agrartechnik 23 (1973), H. 1, S. 5 - 8
15. BLAKE, G.R.: Minimum Tillage: Bodenbearbeitung, Be-
stellung und Pflege mit geringstem Auf-
wand ohne Ertragsminderung
Grundl. d. Landtechnik (1964), H. 19,
S. 5 - 10
16. BOEKEL, P.: Soil structure and plant growth.
Netherl.J.agric.Sci. 11 (1963) S.120-127
17. BOEKHOLT, K.: Zur Frage der Drillweite im Getreidebau
Z.Acker-u.Pflanzenbau 105 (1957),S.395-408
18. BORNEMANN: Zur Fräsmaschinenarbeit auf schweren Böden
DLP 48 (1921), H. 13
19. BORNEMANN: Bodenphysikalische Studien zur Fräskultur
DLP 49 (1922), H. 47

20. BORNEMANN: Die Ackerbaumethode der Zukunft: Fräskultur und Humusdünger
DLP 56 (1929), H. 23
21. BOSSE, O.,
HERZOG, R.: Wirkung unterschiedlich intensiver Bearbeitung eines anlehmigen Sandbodens auf einige Bodeneigenschaften u. verschiedene Merkmale der Pflanzenentwicklung 3. Mitt.
Albr. Thaer-Archiv 13 (1969), H. 12,
S. 1141 - 1159
22. BREITFUSS, J.: Untersuchungen über die gleichmäßige Tiefenablage der Saat von Rübensäegeräten
Landt.Forschung 4 (1954), H. 3, S. 32-83
23. CERATZKI, W.: Möglichkeiten und Grenzen für den Einsatz pflugloser Bestellverfahren
Merck-Blätter 20 (1970), Folge 1, S. 23 - 31
24. DEBRUCK, J.: Was ist Minimalbodenbearbeitung ?
Mitt. d. DLG 84 (1969) H. 5, S. 194 - 198
25. DEBRUCK, J.: Bodenbearbeitung und Direktsaat auf schwach pseudovergleyter Parabraunerde
Landw.Forschung 26/I. Sonderh. (1971), S.230-244
26. DIERCKS, R.,
BACHTHALER, G.: Beziehung zwischen steigenden Getreideanteilen in der Fruchtfolge und antiphytophathogenem Potential des Bodens
Z.Pfl.-Krankh., Pfl.path. Pfl.schutz 76 (1969)
S. 84
27. DOJAREKNKO,
zit.b.KRAUSE,H.: Russische Forschungen auf dem Gebiete der Bodenstruktur
Landw.Jahrbücher 73 (1931), S. 603 - 690
28. ELLIOT, J.G.: Minimum tillage and crop establishment
In: 4. Rep. Weed Res.Org. 1969-1971 (1972),
S. 16 - 18

29. ELLIOT, J.G.,
POLLARD, F.: Cerealproduction by minimum cultivation
In: 5. Rep. Weed Res.Org. 1972-1973 (1974)
S. 32 - 42
30. ENGEL, R.: Auswirkung neuzeitlicher Bodenbearbeitung
auf Arbeitswirtschaft, Boden und Ertrag
Landtechnik 29 (1974), H. 3, S. 104-107
31. ESTLER, M.: Arbeitswirtschaftliche Forderungen und Stand
der Technik bei der Minimal-Bodenbearbeitung
In: Landtechnik von morgen, Freising, (1969),
H. 7, S. 10 - 14
32. ESTLER, M.: Minimal-Bestelltechnik
DLZ 23 (1972), H. 2, S. 58 - 61
33. ESTLER, M.: Die Minimal-Bestelltechnik
Grundl.d.Landtechnik 23 (1973), H. 1, S.13-15
34. ESTLER, M.,
ZELTNER, E.: Leistungsbedarf von Maschinen für die Mini-
mal-Bestelltechnik
In: Berichte über die Jahrestagung der
Landtechnik Weihenstephan (1973), S.90-99
35. FAULKNER: Der Unsinn des Pflügens
1943
36. FERGUSON, W.: Some draught measurements of scarifiershares.
J. agric.Eng.Res. 15 (1970), H. 2, S.194-199
37. FEUERLEIN, W.: Die Fräse im landwirtschaftlichen Einsatz
In: Grundl.d.Landtechnik, H. 9 (1957),
S. 88 - 98
38. FEUERLEIN, W.: Die Minimal-Bodenbearbeitung
Landtechnik 20 (1965), H. 6, S. 184 - 188

39. FEUERLEIN, W.: Die Minimalbodenbearbeitung, ihre Möglichkeiten und ihre Grenzen
Landtechnik 26 (1971), H. 5, S. 117 - 121
40. FEUERLEIN, W.: Geräte zur Bodenbearbeitung
Angewandte Landtechnik, H. 2, Stuttgart 1971
41. FISCHER, G.,
et al.: Die Entwicklung des landwirtschaftlichen
Maschinenwesens in Deutschland
Festschrift zum 25-jährigen Bestehen der
DLG, Berlin 1910
42. FOX, W.R.,
DEASON, D.,
WANG: Tillage energy applications
Trans. ASAE 10 (1967), H. 6, S. 43 - 36
43. FURRER, O.: Einfluß von Drillweite, Saatmenge und Hacken
auf Entwicklung von "Probus"-Winterweizen
Schweiz.Landw.Forschung IV (1965), H. 1,
S. 92 - 104
44. FURRER, O.,
STAUFFER, W.: Einfluß von Drillweite und Saatmenge bei
Sommerweizen
Schweiz.Landw.Forschung IX (1970), S.361-379
45. GADE, C.: Einfluß von Fräse und Pflug auf Bodenzustand
und Ertrag
Landw.Jahrbuch 70 (1929), S. 39 - 142
46. GALLWITZ, K.,
BREITFUSS, J.: Vergleichende Untersuchungen an Bodenfräs-
werkzeugen in zwei Modellböden
Landt.Forschung 3 (1953), S. 125 - 129
47. GALLWITZ, K.: Arbeitsaufwand und Krümelbildung von Fräs-
werkzeugen in der Bodenrinne
Grundl.d.Landtechn.(1957), S. 54 - 57
48. GLANZ, F.: Die Wühharbeit im Ackerboden
Wien, Leipzig, 1922

49. GOLISCH, G.: Ackerbau in England - heute
Mitt. d. DLG 88 (1973), H. 15, S. 423 - 424
50. GOLISCH, G.: Aspekte des modernen Ackerbaus
Mitt.d.DLG 88 (1973), H. 29, S. 830 - 832
51. GORJACKIN, W.P.
zit.b.BERNACKI, M.: Theorie des Pfluges
Moskau 1927
52. GROSSMANN, F.: Mykologische Probleme im intensiven Getreidebau
IN: Mitt.f.d.Landbau: Sonderkultur intensiver
Getreidebau H. 3 (1973), S. 131 - 145
53. GROTE, G.: Untersuchungen über die Einwirkung rotierender
Bodenbearbeitungswerkzeuge auf Boden und
Pflanze
Z.Acker-u.Pflanzenbau 97 (1953), S. 155-176
54. HECKMANN, G.,
SÖRGE, F.P.: Zur Methode der Einbeziehung von Rüst- und
Wegezeiten in die Gesamtarbeitszeit
Die Landarbeit 25 (1974), 48/9, S.62-66
55. HEEGE, H.: Die Gleichstand-, Drill- und Breitsaat des
Getreides unter besonderer Berücksichtigung
der flächenmäßigen Kornverteilung
KTBL-Berichte über Landt., H. 112, 1967
56. HEEGE, H.: Saatbettherrichtung für Getreide
Landtechnik 29 (1974), H. 3, S. 108 - 109
57. HEEGE, H.: Tiefenablage der Körner bei der Getreidebestellung
Landtechnik 29 (1974), H. 3, S. 115 - 120
58. HEEGE, H.: Technik der Getreidebestellung
AID-Heft 373, Bonn 1974

59. HENDRICK, J.,
GILL, W.R.: Rotary-tiller design parameters
Trans.ASAE 14 (1971), H. 4, S. 669 - 683
60. HERZOG, R.,
BOSSE, O.: Wirkung unterschiedlich intensiver Bearbeitung
eines anlehigen Sandbodens auf einige Boden-
eigenschaften und verschiedene Merkmale der
Pflanzenentwicklung 1. Mitt.
Albr. Thaeer-Archiv 13 (1969), H. 8, S.739-763
61. HERZOG, R.,
BOSSE, O.,
IGEL, H.: Wirkung unterschiedlich intensiver Bearbeitung
eines anlehigen Sandbodens auf einige Boden-
eigenschaften und verschiedene Merkmale der
Pflanzenentwicklung 2. Mitt.
Albr. Thaeer-Archiv 13 (1969), H. 11, S. 1061-
1069
62. HEUSER, W.: Untersuchungen über die Höhe und Struktur des
Ertrages beim Wintergetreide unter dem Einfluß
verschiedener Drillweiten
Z.Acker-u.Pflanzenbau 98 (1954), S. 25 - 52
63. HOLLDAK, H.: Experimentelle Untersuchungen über Beanspruchung
und Verhalten verschiedener Bodenfräswerkzeuge
Landmaschine 9 (1929), S. 621-624/637-640
64. HOCK, A.: Klimakarte von Bayern
1 : 2 500 000
(1955)
65. HOOD, A.E.M.: Der Einsatz von Paraquat als Alternative zum
Pflügen
Z.Pfl.Krankh.,Pfl.path.,Pfl.schutz, Sonderheft
III (1965), S. 291 - 296
66. ISENSEE, E.: Bewertung kombinierter Arbeitsverfahren für
Bodenbearbeitung und Bestellung
Antrittsvorlesung Gießen, 1973
67. ISENSEE, E.: Zur Frage der Zeitspannen in landwirtschaft-
lichen Betrieben
Die Landarbeit 25 (1974), H. 6, S. 45 - 49

68. KAHNT, G.: Ergebnisse zweijähriger Direktsaatversuche auf drei Bodentypen
Z.Acker- u Pflanzbau 129 (1969), S. 277 - 295
69. KAHNT, G.: Pflugloser Körnerfruchtbau
Landtechnik von morgen Folge 12, (1973) herausgegeben v. Motorenfabrik Schlüter, Freising
70. KNITTEL, H.: Wirkung moderner Bodenbearbeitungsgeräte auf das Bodengefüge
In: Landtechnik von morgen (1974), H. 13, S.13-17
71. KNITTEL, H.: Auswirkungen der Minimal-Bestelltechnik auf physikalische Bodeneigenschaften
Forschungsbericht Agrartechnik der MEG, Nr. 6, 1975
72. KOHLER, M.: Untersuchungen über die Saatbettherstellung zu Winterweizen
Ldw.Jahrb.d.Schweiz 9 (1960), S. 115 - 193
73. KREHER, K.: Termine, Zeitspannen und Arbeitsvoranschläge in der nordwestdeutschen Landwirtschaft
KTBL-Berichte über Landtechnik H. 10, 1950
74. KRUPP, G.: Über Einsatzkennwerte der neuen sowjetischen Traktoren K-701, T-150 und T-150 K
agrartechnik 24 (1974), H. 1, S. 6 - 9
75. KUIPERS, H.: Water content at p F2 as a characteristic in soil-cultivation research in the Netherlands
Netherl.J.agric.Sci. 9 (1961), S. 27 - 35
76. KUNZE, A.: Bodenbearbeitung und Bestellung in hoher Qualität - eine wichtige Voraussetzung für die weitere Steigerung und Stabilisierung der Erträge
agrartechnik 24 (1974), H. 1, S. 20 - 22
77. LERMER, J.: Arbeitszeitspannen und verfügbare Arbeitstage unter dem Einfluß von Klima und Bodenart im niederbayerischen Raum
Bayer.Landw.Jahrbuch 38 (1961), H. 2, S.157-195

78. MAHLSTEDT, J.: Pneumatische Saatgutzuteilung bei Sämaschinen für die Getreidebreitsaat
KTBL-Berichte über Landtechnik H. 145, 1972
79. MARTINY, B.: Die Bodenfräse in der Landwirtschaft auf Mineralboden
RKTL-Schriften H. 28, Berlin 1931
80. MEYENBURG, K.v.: Entwicklung der Fräskultur
Landmaschinen-Markt (1928), H. 5
81. MEYER, G.: Ziel: 1 Ak je 100 ha!
Mitt. der DLG 81 (1966), H. 38, S. 1421-1423
82. MOHR, G.: Zur Ertragsbildung einer Winterweizenmonokultur unter dem Einfluß variiertes Stickstoffdüngung und ackerbaulicher Maßnahmen
Diss. Kiel 1971
83. MUSGRAVE, R.B.,
ZWERMANN, P.J.,
ALDRICH, S.R.: Plowplanting of corn
Agr.Eng. 36 (1955), S. 593 - 594
84. OKSANEN, E.H.: Entwicklung und Einsatz von Kombinationsgeräten für Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat in Finnland
agrartechnik 24 (1974), H. 1, S. 30 - 31
85. OLFE, H.C.: Bodenbearbeitung aus der Sicht der Betriebstechnik
Landtechnik 26 (1971), H. 5, S. 109-113
86. OTTO, G.: Zugwiderstand eines Grubberschares
Arch. Landtechnik 7, (1968), H. 1, S. 73-82
87. OVERDAHL, C.J.,
BLAKE, G.R.,
VAN DOREN, C.A.,
HOLT, R.R.: Where do we stand on minimum tillage
Minnesota Farm and Home Science 16 (1959), S.14

88. PAGE, J.B.,
WILLARD, C.J.,
Mc CUEN, C.W.: Progress report on tillage methods in preparing land for corn
Soil Sci.Soc.Am.Proc.11 (1947), S. 77 ff.
89. ROEMER, TH.: Bodenbearbeitung
In: Aereboe, Roemer u. Hansen:
Handbuch der Landwirtschaft, Berlin 1929
90. ROWE, R.J.,
BARNES, K.K.: Influence of speed on elements of draft of a tillage tool
Trans. ASAE 4 (1961), H. 1, S. 55 - 57
91. SACK, H.: Überlegungen zur Minimal-Bodenbearbeitung
Landtechnik 21 (1966), H. 3, S. 71 - 72
92. SCHAEFER-KEHNERT, W.: Die Kosten des Landmaschineneinsatzes
KTBL-Berichte über Landtechnik, H. 74, 1963
93. SHEAR, G.M.: The development of the no-tillage concept in the United States
Outlook on Agriculture 5 (1968) S. 247-251
94. SCHULZE, K.F.: Bodenbearbeitung im Wandel
Landtechnik 26 (1971), H. 5, S. 106 - 108
95. SCHWAB, R.: Hundert geben Antwort
Lohnunternehmen 29 (1974), H. 12, S. 3161-362
96. SCHWERTLE, F.,
KOCH, W.: Das Auftreten von Unkräutern und Krankheiten bei Getreide und Mais nach Direktsaat
In: Mitt.Biol.Bundesanst.f.Landw.-u.Forstw.
H. 121 (1967), S. 214 - 217
97. SCHWERTLE, F.: Das Unkrautproblem bei pfluglosen Bestellmethoden
Merck-Blätter 20, (1970), H. 1, S. 51 - 60

98. SKALWEIT, H.: Messungen des Zugwiderstandes von Dreipunkt-Anbaugeräten
Landt.Forschung 8 (1958), H. 4, S. 108-109
99. SÖHNE, W.: Einfluß von Form und Anordnung der Werkzeuge auf die Antriebsmomente von Ackerfräsen
In: Grundlagen d.Landt.H.9, (1957), S.69-87
100. SÖHNE, W., THIEL, R.: Technische Probleme bei Bodenfräsen
In: Grundl.d.Landtechnik H. 9, (1957), S.39-49
101. SÖHNE, W.: Wechselbeziehungen zwischen Schlepperleistung, Reifenabmessungen und Ackerboden
Landtechnik 25 (1970), H.10. S. 306-312
102. SÖRGE, F.P., STEINKAMPF, H.: Zur Berechnung der Arbeitgeschwindigkeit am Beispiel des Eggen
Die Landarbeit 25 (1974), H. 8/9, S. 66 - 69
103. SOMMER, C., ZACH, M.: Aufgaben und Funktion der Wälzgege in einer Saatbettkombination
Landtechn.Forschung 19 (1971), H. 3/4, S.81-88
104. STEINKAMPF, H.: Zur Methodik der Rollradien- und Radschlupfmessung
Grundl.d.Landtechnik 21 (1971), H. 2, S.40-44
105. STEINKAMPF, H.: Was leistet ein Schlepper ?
Mitt.d.DLG 88 (1973), H. 34, S. 966 - 968
106. STRANAK, A.: Soil compaction and direkt drilling of cereals
Outlook on Agriculture 5, 214-246 (1968)
107. SYBEL, H.v., WIMMER, F.: Untersuchungen über die Bodenaufschließung durch Fräsen mit starren Winkelmessern und gefederten Spitzhaken
Die Gartenbauwissenschaft 24 (1950), H. 4, S. 2 - 43

108. TEUTEBERG, W.: Pfluglose Ackerkultur
Landw.Forschung 23/II, Sonderh. (1969)
109. TEUTEBERG, W.: Versuche mit pflugloser Ackerkultur in
Schleswig-Holstein
Landw.Forschung 26/I. Sonderh.(1971), S.224-229
110. THAER, A.: Beschreibung der nutzbarsten neuen Ackergeräte
Hannover 1803
111. TRIPPLETT, G.B., Effect of corn (Zea mays) stover mulch on
van DOREN, D.M., no-tillage corn yield and water infiltration
SCHMIDT, B.L.: Agronomy J. 60 (1968) S. 236 - 239
112. WENNER, H.-L., Perspektiven der Landtechnik im intensiven
ESTLER, M.: Getreidebau
In: BASF-Mitt.f.d.Landbau (1973), H. 3,
S. 73 - 90
113. WENNER, H.-L., Chancen und Grenzen leistungsstarker Schlepper
WEIDINGER, A.: In: Landtechnik von morgen (1973), H. 12,
S. 5 - 12
114. WERTH, E.: Grabstock, Hacke und Pflug
Ludwigsburg 1954
115. WISSING, P., Zum ökonomischen K-700-Einsatz
KUNZE, A.: agrartechnik 23 (1973), H. 1, S. 1 - 4
116. ZACH, M., Arbeitseffekte und Leistungsbedarf eines
STEINKAMPF, H., Kreiselpfluges
SOMMER, C.: Landbauforschung Völkenrode 23, (1973),
H. 1, S. 29 - 40
117. ZELTNER, E.: Neues auf dem Maschinensektor der Minimal-
Bestelltechnik
In: Landtechnik von morgen (1973), H. 12,
S. 26 - 33

118. ZELTNER, E.: Der Einfluß verschiedener Minimal-Bestellsysteme auf Pflanzenentwicklung und Ertrag
In: Berichte über die Jahrestagung der Landtechnik Weihenstephan
119. ZELTNER, E.: Was kostet die Bestellung ?
Mitt.d.DLG 89 (1974), H. 40/41, S. 1197-1199
120. ZÖDLER, H.: Zwischenfruchtbestellung in einem Arbeitsgang
Landtechnik 6 (1951), H. 12, S. 437-438
121. ----- KTBL-Taschenbuch der Arbeits- und Betriebswirtschaft
Hiltrup 1974
122. ----- Firmenprospekte
- E D V - Programme:
123. AUERNHAMMER, H.: PESK (Programm zur Erstellung statistischer Kenngrößen).
In: Programmbibliothek der Landtechnik Weihenstephan 1974
124. AUERNHAMMER, H.: ZEFA (Zeitbedarf für die Feldarbeit)
In: Programmbibliothek der Landtechnik Weihenstephan 1975
125. ----- ABMUR (Abbauende multiple Regression)
In: Programmbibliothek der Landtechnik Weihenstephan 1974
126. ----- AUFMUR (Aufbauende, multiple Regression)
In: Programmbibliothek der Landtechnik Weihenstephan 1974
127. ----- Varianzanalyse
In: Programmbibliothek d RZ am BELF