VERFAHRENSTECHNISCHE KRITERIEN

DER HOCHMECHANISIERUNG IM KÖRNERMAISBAU

Habilitationsschrift

zur Erlangung des Grades eines

habilitierten Doktors der Landwirtschaft (Dr. agr. habil.)

vorgelegt

von

Dr. agr. Manfred Estler

G L I E D E R U N G

	Seite
I. EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG	1
II. VERFAHRENS-TEILBEREICH "MAISBESTELLUNG"	7
1. Äußere Saatgutbeschaffenheit	8
1.1 Entwicklung und Stand der Saatgutkalibrierung	11
2. Saattechnik bei kalibrierungs-abhängigen Einzelkorn-Sämaschinen	15
2.1 Maschinenaufbau und -funktion	16
2.2 Einflüsse auf die Zellenbefüllung	19
2.3 Verfarenstechnische Probleme	20
3. Saattechnik bei kalibrierungs-unempfindlichen Einzelkorn-Sämaschinen	22
3.1 Maschinenaufbau und -funktion bei mechanischem Belegprinzip	23
3.2 Maschinenaufbau und -funktion bei pneumatischem Belegprinzip	25
4. Technische Möglichkeiten zur Steigerung der Flächenleistung	28
4.1 Vergrößern der Arbeitsbreite	28
4.2 Steigern der Arbeitsgeschwindigkeit	30
4.3 Vergleichsversuche über den Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit	30
4.3.1 Versuchsanstellung	33
4.3.2 Bewertungsmaßstäbe	34
4.3.3 Versuchsergebnisse der Jahre 1971 - 1974	38
4.4 Vergleich der kalibrierungs-unempfindlichen Säsysteme	62
4.4.1 Kornablage im Sollbereich	62
4.4.2 Standgenauigkeit	65
4.4.3 DLG-Prüfungsergebnisse	68
. Zellenfrequenz-Kornform-Ablagegenauigkeit	68
. Hangneigung-Ablagegenauigkeit	69
. Zapfwellendrehzahl-Gebläsedruck-Kornablage	71
4.5 Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf die Tiefenablage der Saatkörner	72
4.5.1 Einsatzversuche zur Korn-Tiefenablage	74
4.5.2 Mathematische Betrachtung des Einbettungsvorganges	82

Seite

5. Verfahrenstechnische Kriterien bei der Maiseinzelkornsaat 91

5.1 Flächenleistung 92

5.1.1 Einfluß von Arbeitsbreite, Schlaglänge und Schlaggröße 92
5.1.2 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit 93
5.1.3 Einfluß des Saatgutbehälter-Inhalts 96
5.1.4 Ablagekontrolle 98

5.2 Arbeitszeitbedarf 100

5.3 Kosten der Arbeitserledigung 103

5.4 Minimalbestellung 105

6. Zusammenfassung der Ergebnisse "Maisbestellung" 107

III. VERFAHRENS-TEILBEREICH "KÖRNERMAISERNTE" 112

1. Ernte reiner Maiskörner 113

1.1 Fragebogenerhebung zur Erntetechnik 114

1.2 Technische Entwicklungen bei den Verfahren "Pflückdrusch" und "Pflückrebeln" 116

1.3 Technische Voraussetzungen zur Leistungssteigerung 122

1.4 Verfahrenstechnische Untersuchungen 125

1.4.1 Flächenleistung 125
1.4.1.1 Einfluß von Fahrgeschwindigkeit, Arbeitsbreite, Schlaggröße und Schlaglänge 125
1.4.1.2 Einfluß des Reihenabstandes 130

1.4.2 Arbeitszeitbedarf 133

1.4.3 Kapazitätsplanung und -anpassung 135
1.4.3.1 Ermittlung der Erntekapazität 136
1.4.3.2 Wechselwirkung Korntankinhalt - zulässige Feldentfernung 138
1.4.3.3 Verarbeitungskapazität 139

2. Ernte verschiedener Aufbereitungsstufen von Maiskolben 142

2.1 Gründe für die Miternte von Rohfaserträgern 144

2.2 Fütterungsbezogene Anforderungen an das Erntegut 147

2.3 Ernte von Lieschkolbenhäcksel oder -schrot 149

2.3.1 Ernteverfahren 150
2.3.2 Technische Lösungen zur Verringerung des Rohfasergehalts 153

Seite

2.4 Ernte von Maiskolbenschrot 157

2.4.1 Ernteverfahren 157

2.5 Ernte von Maiskorn-Spindel-Gemisch 158

2.5.1 Ernteverfahren 159

2.5.2 Untersuchungsergebnisse zur Deformationskraft für die Kolbenzerkleinerung 162

2.5.3 Technische Lösungen zur Steuerung des Rohfasergehalts 165

2.5.4 Fütterungsversuche mit unterschiedlichen Rohfaser- und Konservierungsstufen bei Schweinen 174

2.6 Verfahrensvergleich 177

3. Zusammenfassung der Ergebnisse "Maisernte" 186

IV. VERFAHRENS-TEILBEREICH "FOLGEARBEITEN NACH DER ERNTE" 190

1. Konventionelle Verarbeitung des Maisstrohes 191

1.1 Pflanzen- und ackerbauliche Aspekte 191

1.2 Strohbergung zu Futterzwecken 193

1.3 Konventionelle Verfahren der Zerkleinerung und Einarbeitung von Maisstroh 195

1.3.1 Anbau-Strohhäcksler am Mähdrescher 195

1.3.2 Spezial-Maisstrohschläger 197

1.3.2.1 Bauarten 197

1.3.2.2 Leistungsbedarf 198

1.3.2.3 Flächenleistung 201

1.3.2.4 Arbeitszeitbedarf 203

1.3.3 Geräte zur Einarbeitung 204

1.3.4 Fragebogenerhebung "Strohzerkleinerung und -einarbeitung" 206

2. Unterbau-Maisstrohschläger am Mähdrescherpflückvorsatz 207

2.1 Entwicklung eines Unterbau-Strohschlägers nach dem Horizontalschnitt-Prinzip 208

2.1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung 208

2.1.2 Vorversuch mit Schneidwalzen unter den Reißwalzen 210

Seite

2.1.3 Parallelogrammgeführter Horizontalschneider 212
2.1.3.1 Konstruktiver Aufbau 213
2.1.3.2 Ergebnisse der Prüfstandsversuche (Schnittqualität und Leistungsbedarf) 215
2.1.3.3 Ergebnisse der Einsatzversuche 221
2.1.3.4 Verfahrenstechnische Auswirkungen 222

2.2 Unterbau-Strohschläger nach dem Schlegelprinzip 225

2.2.1 Konstruktiver Aufbau 225
2.2.2 Leistungsbedarf und Schnittqualität 227

3. Zusammenfassung der Ergebnisse "Strohzerkleinerung und -einarbeitung" 227

V. SCHLUSSBETRACHTUNG UND FOLGERUNGEN 230

VI. LITERATURSAMMLUNG 238

VII. ANHANG 266

I. EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG

Die Wettbewerbskraft des Betriebszweiges "Maisbau" hat sich im Vergleich zu anderen Fruchtarten in den letzten Jahren erheblich verbessert. Ausschlaggebend hierfür waren primär

- die ereheblichen Fortschritte auf dem Gebiet der Hybridmaiszüchtung
- die Weiterentwicklungen im landtechnischen Bereich, die zu einer konsequenten Mechanisierung und Rationalisierung aller Arbeitsgänge von der Saat bis zur Ernte und Konservierung geführt haben
- die relative betriebswirtschaftliche Vorzüglichkeit des Körner- und Silomaisanbaues gegenüber konkurrierenden Fruchtarten.

Die aus dem Zusammenwirken dieser unterschiedlichen Komponenten resultierenden, positiven Effekte haben bewirkt, daß sich der Maisanbau im Verlauf der letzten 15 Jahre in der Bundesrepublik Deutschland sprunghaft ausgedehnt hat.

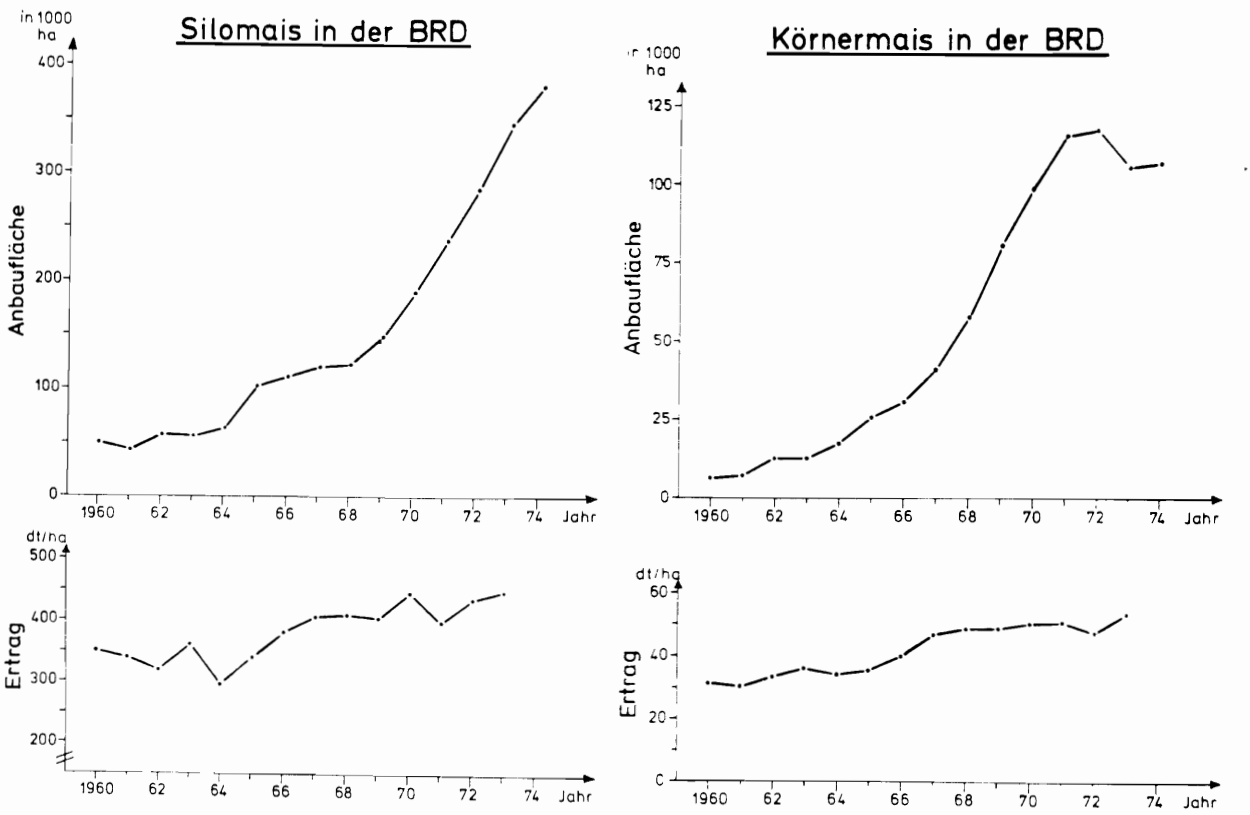


Abb. 1: Entwicklung der Anbauflächen und Erträge bei Silomais und Körnermais in der BRD

In Abhängigkeit von der jeweiligen Betriebsstruktur und Betriebsorganisation, von den klimatischen und Standortbedingungen sowie der angestrebten Nutzungsform erfolgte die Ausweitung der Anbauflächen vorwiegend auf Kosten einer Einschränkung des Hackfrucht- oder Ackerfutterbaues bzw. einer Substitution anderer Futtergetreidearten.

In den Anbaujahren 1972 und 1974 ergaben sich vor allem in den "Grenzlagen" des Maisanbaues Probleme hinsichtlich einer sicheren Ausreife der Maispflanzen. Die hierbei aufgetretenen erntetechnischen Probleme, die Schwierigkeiten auf dem energetischen Sektor und die derzeitige marktwirtschaftliche Situation für Inlandsmais haben bewirkt, daß der Körnermaisbau im Gesamtbereich der BRD in letzter Zeit stagniert bzw. leicht rückläufig ist. Dagegen wurde die Silomaisanbaufläche erheblich ausgeweitet und beträgt derzeit etwa das 3-fache der Körnermaisanbaufläche. Bei den Erträgen zeigt die Entwicklung langfristig bei Körner- und Silomais eine steigende Tendenz.

Die Entwicklung auf dem Sektor "Körnermais" läßt sich besonders prägnant an einem Vergleich der "traditionellen" Anbaugebiete Baden-Württemberg und Bayern mit den "neuen" Körnermaisanbaugebieten in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein veranschaulichen.

Bundesland	1960 ha	62 ha	64 ha	66 ha	68 ha	70 ha	72 ha	74 ha	Steigerung gg. 1960 1) %
Bayern	1 145	2 885	5 737	11 665	21 287	40 195	43 940	45 727	399,4
Baden-Württembg.	3 888	7 652	10 287	15 318	21 915	30 729	31 871	29 656	176,2
Nordrhein-Westf.	260	303	264	815	4 995	10 797	19 707	13 672	525,8
Niedersachsen	143	306	175	581	4 788	8 527	10 813	8 760	612,6
Schleswig-Holst.	15	17	64	11	152	488	758	552	368,0

Tabelle 1: Entwicklung der Körnermais-Anbauflächen in ausgewählten Bundesländern (1960 = 100 %)

Daran läßt sich erkennen, daß seit einigen Jahren vor allem in den neuen, als "Grenzlagen" des Maisanbaues geltenden Gebieten die Anbauflächen kräftig ausgedehnt wurden. Das Weiterwandern des Körnermaisanbaues in diese klimatisch ungünstigeren Grenzlagen hat zur Folge, daß dort aus Gründen der größtmöglichen Risikoabsicherung früh abreifende Maissorten bevorzugt werden. Diesen Entwicklungen wird auch von Seiten der Hybridmaiszüchtung konsequent Rechnung getragen. Auf dem Saatgutmarkt für Körnermais sind in der BRD derzeit 39 Maissorten zugelassen (73). Hiervon entfallen 17 Sorten (43,6 %) auf die frühe und mittelfrühe Reifegruppe, 17 Sorten (43,6 %)auf die mittelspäte und 5 Sorten (12,8 %) auf die späte Reifegruppe. Die Tendenz zur Verwendung frühreifer Sorten wird noch anschaulicher, wenn man das derzeit in der Sortenwertprüfung stehende Sortiment betrachtet. Hier gehören 54 Sorten (57 %) der frühen und mittelfrühen, 41 Sorten (43 %) der mittelspäten Reifegruppe an. Damit soll für den allgemeinen Maisanbau, insbesondere aber für die ungünstigeren Anbaulagen eine frühe und sichere Abreife der Maispflanzen und die gesicherte Körnerreife gewährleistet werden.

Da die Neuzüchtungen darüber hinaus ein höheres Ertragspotential, eine bessere Standfestigkeit und höhere Kälteresistenz besitzen, wird von Seiten der Pflanzenzüchtung dem praktischen Maisanbauer ein sehr wesentliches Instrument zur nachhaltigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit des Körnermaisanbaues gegenüber konkurrierenden Fruchtarten bereitgestellt. Für den Einsatz hochtechnisierter Landmaschinen und Arbeitsverfahren bildet die züchterische Weiterentwicklung eine wertvolle Hilfestellung, vor allem im Hinblick auf einen einwandfreien Maschineneinsatz und den verlustarmen, reibungslosen Ablauf der Erntearbeiten.

Die Mechanisierung des Gesamtverfahrens "Körnermaisbau" hat sich im wesentlichen an den Anforderungen zu orientieren, die sich aus einer

zukunftsgerichteten ökonomischen, verfahrenstechnischen und betriebsorganisatorischen Zielsetzung unter Berücksichtigung der energetischen Situation ergeben. Zweifellos wird künftig der Steigerung der Arbeitsproduktivität, also der Erzeugungsleistung je Arbeitskraft, eine vorrangige Bedeutung zukommen. Dies ist jedoch nur dann zu erreichen, wenn im gleichen Zuge eine Erhöhung des Arbeitsvolumens und die Ausstattung der Arbeitskräfte mit hochtechnisierten Mechanisierungslösungen erfolgt. Dies umso mehr, als in nahezu allen Verfahrens-Teilbereichen des Körnermaisanbaues sehr knappe und eng begrenzte Arbeitszeitspannen vorliegen. Eine hohe Schlagkraft im Mechanisierungsbereich ist daher für die termingerechte Arbeitserledigung unerläßlich.

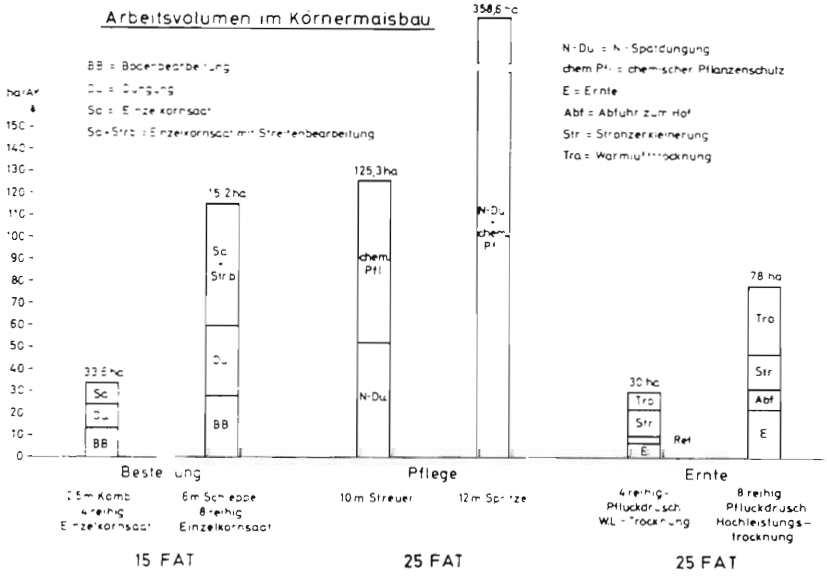


Abb. 2: Arbeitsvolumen im Körnermaisbau bei unterschiedlicher Mechanisierung der Verfahrens-Teilbereiche (nach WENNER, 126)

Eine hohe Schlagkraft des Gesamtverfahrens erfordert nicht allein eine hohe Leistung der einzelnen Arbeitsgänge, sondern auch das Koordinieren aller Anforderungen, die sich aus dem Bestreben einer

Optimierung nacheinander ablaufender Arbeitsgänge ergeben. In besonderem Maße gilt dies für den Bereich der Erntearbeiten. Hier ist die exakte Abstimmung der Ernteleistung auf dem Feld mit der Transport-, Annahme- und Konservierungskapazität unerläßlich, um schwerwiegende negative Auswirkungen vor allem im ökonomischen Bereich zu verhindern. Dies gilt gleichermaßen für die terminliche und leistungsbezogene Koordination der Erntearbeiten mit den Folgearbeiten für die Bodenbearbeitung in der Herbstzeitspanne und die Wintergetreidebestellung.

Besonderer Wert ist in allen Bereichen auf das Einhalten einer hohen Qualität der Arbeitserledigung zu legen, da diese in wesentlichen Teilbereichen in direkter Wechselbeziehung zu Auswirkungen im ackerbaulichen, pflanzenbaulichen und ökonomischen Bereich stehen. Als typisches Beispiel hierfür ist der Verfahrensteilbereich "Maisbestellung" anzusehen. Hier beeinflußt eine zweckmäßige Auswahl und sachgerechte Anwendung der Maschinen direkt das Erzielen der standort- und sortenspezifisch optimalen Pflanzenbestandszahlen. Diese wiederum stellen eine der wesentlichsten Voraussetzungen für ein günstiges Pflanzenwachstum und hohe Ernteerträge dar.

Aufgabe und Anliegen der landwirtschaftlichen Verfahrens- und Betriebstechnik ist es, unter Berücksichtigung der künftigen strukturellen Entwicklung der Landwirtschaft eine ausreichend gesicherte Basis für die Bewertung des Produktionsfaktors "Technik" zu erarbeiten (ROSEGGER 104). Das Erarbeiten von Kenndaten zur Quantifizierung technischer, arbeitswirtschaftlicher, standortbezogener und monetärer Größen unter Berücksichtigung der biologischen Faktoren stellt die Voraussetzung für die Optimierung der Maschinenelemente und Landmaschinen, aber auch der gesamten Arbeitsverfahren dar.

Die Zielsetzung der vorliegenden, das Gesamtverfahren "Körnermaisbau" erfassenden Arbeit besteht deshalb darin, anhand einiger wesentlicher Kriterien aufzuzeigen, welche zukunftsorientierten maschinen- und verfahrenstechnischen Ansätze und Möglichkeiten, aber auch interdisziplinäre Auswirkungen sich bei der Hochmechanisierung des Betriebszweiges "Körnermaisbau" unter besonderer Berücksichtigung der Aussenwirtschaft abzeichnen. Besonderes Gewicht wird folgenden Überlegungen beigemessen:

- Anhand umfangreicher Versuchsergebnisse aus den verschiedenen Teilbereichen des Gesamtverfahrens "Körnermaisbau" ist aufzuzeigen, welchen Leistungsstand die derzeitig angewandten Mechanisierungslösungen und landtechnischen Arbeitsverfahren auf verfahrenstechnischem Gebiet aufzuweisen haben.

- Aufgrund dieser Ergebnisse und Erfahrungen gilt es zu analysieren, ob dieser Stand der Landtechnik auch künftigen Anforderungen gerecht werden kann und ggf. welche technisch-konstruktiven, verfahrenstechnischen und arbeitsorganisatorischen Möglichkeiten bei weiteren Rationalisierungsmaßnahmen auszuschöpfen sind, um die künftigen Erfordernisse in diesem Betriebszweig hinsichtlich hoher Schlagkraft bei gleichzeitiger hoher Arbeitsqualität realisieren zu können.

- Darüber hinaus sollen die neuralgischen Punkte im Verfahrensablauf aufgezeigt werden, an denen eine moderne, leistungsfähige und hochtechnisierte Landtechnik anzusetzen hat, um noch bestehende Divergenzen bei Leistungsfähigkeit, Arbeitsvolumen und Qualität der Arbeitserledigung einzelner Teilbereiche abzubauen.

- Das Aufzeigen der Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Verfahrens-Teilbereichen schafft die Basis, um eine Optimierung des Maschineneinsatzes, eine Anpassung an die standortspezifischen

Voraussetzungen und den reibungslosen Ablauf des Gesamtverfahrens mit hohem Feldwirkungsgrad zu erreichen.

. Es sind aber auch die Möglichkeiten zu diskutieren, welchen Beitrag die Anwendung hochmechanisierter Arbeitsverfahren im Bereich des Körnermaisbaues bei der Erfüllung der Forderungen nach einer Verminderung des Anbaurisikos, termingerechter Arbeitserledigung, Anpassung an die vorliegenden acker- und pflanzenbaulichen Erfordernisse, Verlustverminderung, flexiblem Maschineneinsatz, hohe Arbeitsproduktivität und Senken der Kosten der Arbeitserledigung leisten können.

In diese Überlegungen sind die Aussichten einer Verwendung der Verfahren im überbetrieblichen Maschineneinsatz mit einzubeziehen, um die Voraussetzungen für ein ausreichendes Flächenangebot und damit eine ökonomisch rentable Maschinen-Nutzung zu schaffen.

II. VERFAHRENS-TEILBEREICH "MAISBESTELLUNG"

Eine ordnungsgemäße Durchführung der Bestellarbeiten bildet bereits eine der wesentlichen Voraussetzungen für das Erzielen des angestrebten Pflanzenbestandes, einer gleichmäßig raschen Jugendentwicklung der Maispflanzen und damit auch hoher Ernteerträge. Unter "ordnungsgemäß" ist dabei ein Komplex unterschiedlicher Faktoren zu verstehen, von der richtigen Sortenwahl über die standortspezifisch optimale Saatbettvorbereitung bis zur eigentlichen Durchführung der Aussaat, jeweils unter Berücksichtigung der von Standort und geplanter Verwertungsrichtung vorgegebenen Bedingungen und einer zweckmäßigen Mechanisierung.

Generell gilt, daß für die Maisbestellung eine relativ kurze Arbeitszeitspanne vorliegt. Diese wird limitiert durch die hohen Ansprüche

des Maises an die für eine rasche Keimung erforderliche Bodentemperatur von etwa 9 - 10°C, sowie durch die bei einer verspätet durchgeführten Saat zu erwartenden Ertragseinbußen und höheren Wassergehalte im Korn (RINTELEN, 103). Da aber das Einhalten optimaler, sortenspezifischer Pflanzenbestandszahlen eine der wesentlichen Voraussetzungen für das Erzielen hoher und sicherer Ernteerträge darstellt, ist trotz der Forderung nach einer hohen Schlagkraft bei den Bestellarbeiten auch eine entsprechend exakte Kornablage im Boden unerläßlich.

Aus diesem Grund haben sich Einzelkorn-Sämaschinen für die Aussaat von Silo- und Körnermais in den letzten Jahren weitgehend durchgesetzt. Ihre Funktion wird, unabhängig vom Belegprinzip, von folgenden wesentlichen Faktoren beeinflußt:

- äußere Beschaffenheit des Saatgutes, vor allem Kornform und -größe
- Prinzip der Zellenbelegung (mechanisch, pneumatisch)
- Anzahl und Form der Zellen
- Umlaufgeschwindigkeit des Säorganes (entsprechend der Fahrgeschwindigkeit der Einzelkornsämaschine)
- Anordnung des Saatgutbehälters und Befüllstrecke
- optimale Koordination sämtlicher Bauteile für die Korneinbettung im Boden.

1. Äußere Saatgutbeschaffenheit

Größe und Form der Maiskörner sind sowohl vom Korntyp als auch von der Wuchsstelle des einzelnen Kornes am Kolben abhängig. Während Hartmais-Körner eine breite, ovale Form besitzen, ist das Zahnmaiskorn flach und gestreckt. Bei Kreuzungsprodukten treten diese typi-

schen Formen, aber auch alle Zwischenformen auf. Am Maiskolben sind bei einwandfreier Befruchtung die im mittleren Kolbenteil befindlichen Körner in Größe und Form sehr gleichmäßig ausgebildet. An der Spitze und Basis des Kolbens können sich jedoch abweichende Formen bilden, bei Zahnmaistypen beispielsweise dicke bis kugelige Körner. KIETREIBER (76), THIELEBEIN (zitiert bei 76) und FIALA (zitiert bei 76) konnten nachweisen, daß bei Zahnmais diese von der Normalform abweichenden, runden Körner ungünstigere Keimungsergebnisse und Anomalien an der Keimpflanze bewirken.

Unabhängig davon übt das Maiskorn infolge seiner dreidimensionalen Formunterschiede einen erheblichen Einfluß auf die exakte Einzelbelegung der Zellen im Sämechanismus aus. Bei einem Gemisch unterschiedlicher Korngrößen und Kornformen stehen der Gerätehersteller und der praktische Landwirt gleichermaßen vor dem technisch nahezu unlösbaren Problem, aus einem außerordentlich heterogenen Saatgut einen exakten Einzelkornbestand herzustellen. Eine gleichmäßige Belegung der Säzellen mit einzelnen Körnern ist um so eher zu erreichen, je einheitlicher das zugeführte Saatgut in Form und Größe ist. Deswegen wird bereits seit längerer Zeit versucht, eine Vereinheitlichung des Saatgutes zu erreichen.

Prinzipiell bieten sich hierfür 2 Verfahren an:

- generelle Vereinheitlichung auf <u>eine</u>, möglichst kugelige Form
- Aufteilung in Einzelpartien mit vorgegebenen Abmessungen und Größenbereichen.

Eine generelle Vereinheitlichung läßt sich nur durch die Pillierung, das heißt das Einhüllen der Maiskörner in eine quellfähige Hüllsubstanz erreichen (Abb. 3).

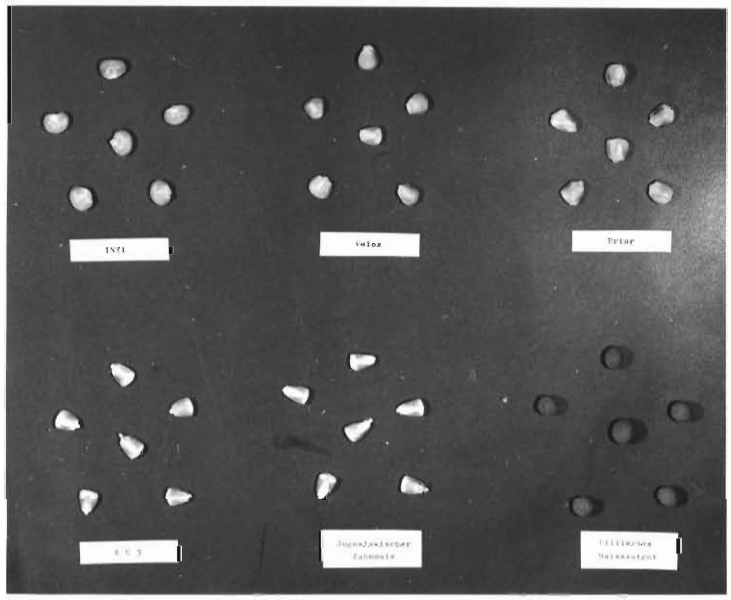


Abb. 3: Kornformen und Korngrößen bei Maissaatgut

Erste Versuche hierzu wurden 1969 von der "Saat- und Erntetechnik, Eschwege "durchgeführt. Sehr bald zeigte sich jedoch, daß den unbestreitbaren Vorteilen einer Pillierung:

- einheitlicher Durchmesser
- kugelige Form
- Möglichkeit zur Beimischung von Pflanzenschutzmitteln in die Hüllsubstanz

auch eine Reihe sehr wesentlicher Nachteile gegenübersteht:

- um alle Korngrößen zu vereinheitlichen, ist ein Pillendurchmesser von ca. 14 mm erforderlich
- Pillen dieser Größe lassen sich mit den meisten vorhandenen Einzelkorn-Sämaschinen nicht ausbringen
- Gefahr von Pillendurchbruch bei mechanischer Beanspruchung (Transport, Lagerung)
- bei trockenen Bodenverhältnissen besteht die Gefahr von Aufgangsverzögerung.

1.1 Entwicklung und Stand der Saatgut-Kalibrierung

Dagegen bietet die Kalibrierung die Möglichkeit, die sortenspezifisch sehr unterschiedlichen Größen und -formen in Gruppen mit exakt einzuhaltenden Größenabmessungen zu sortieren. Die hierfür verwendeten Kalibrierungsanlagen sind mit einem System von Rundloch-, Schlitzlochsieben und Trieuren ausgestattet, um eine exakte Sortierung der Körner in den drei Dimensionen Breite, Dicke und Länge vorzunehmen.

Während im Ausland die Kalibrierung von Maissaatgut schon seit langem üblich ist, wird das in der BRD vermehrte Saatgut erst ab 1969 nach einem einheitlichen Schema aufbereitet. Seit 1970 wird die sogenannte "Krozinger Kalibrierungsempfehlung" eingehalten, die insgesamt 7 Kalibrierungsstufen vorsieht, in welche sich die bei sämtlichen Maissorten auftretenden Kornformen und -größen einordnen lassen.

Kornform		Absiebung			
		6-7mm Φ	7-9mm Φ	9-11mm Φ	9-11mm Φ
flach	Korndicke (mm)	4-5 ⌀	4-6 ⌀	4-6 ⌀	6-8 ⌀
	max. Kornlänge (mm)	11 ⌀	13 ⌀	13 ⌀	13 ⌀
	Kaliber-Kennzeichnung	klein-flach	mittel-flach	groß-flach	dick-flach
rund	Korndicke (mm)	5-6 ⌀	6-7 ⌀	8 ⌀	
	max. Kornlänge (mm)	10 ⌀	12 ⌀	13 ⌀	
	Kaliber-Kennzeichnung	klein-rund	mittel-rund	groß-rund	

Zeichenerklärung Φ = Rundloch-Absiebung ⌀ = Schlitzloch-Absiebung

Abb. 4: Schema der Maiskalibrierung nach der "Krozinger Kalibrierungsempfehlung"

Das nachfolgende Siebdiagramm veranschaulicht die Anordnung der Rundloch- und Schlitzlochsiebe. Die angegebenen Längenmaße ergeben sich nach statistischen Gesetzesmäßigkeiten aus dem ermittelten durchschnittlichen Verhältnis von Kornbreite und Kornlänge bei wechselnden Kornformen.

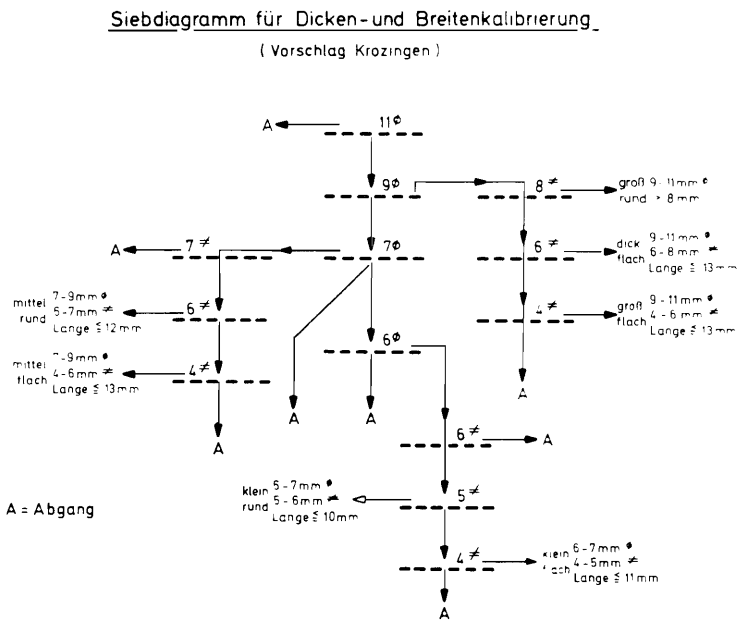


Abb. 5: Siebdiagramm für die Dicken- und Breitenkalibrierung (Vorschlag Krozingen)

Nachprüfungen an kalibriertem Saatgut, die im Institut für Landtechnik, Bonn, durchgeführt wurden ergaben, daß die Maßhaltigkeiten im Vergleich zu den vorgegebenen, siebtechnischen Abmessungen sehr gut erreicht wird.

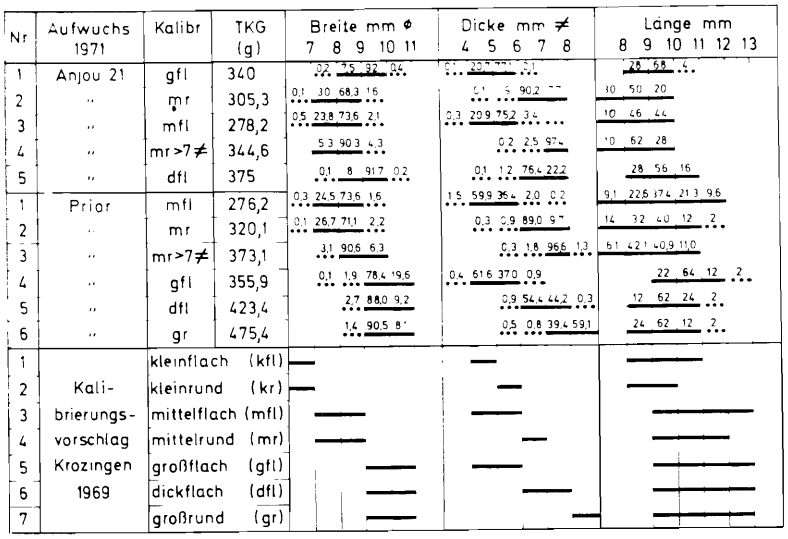


Abb. 6: Ergebnisse der Nachprüfung von Kalibrierungsmaßen am Maiskorn (nach BRINKMANN, 15)

Neben dem in deutschen Saatmaisbetrieben vermehrten und nach der o.g. Kalibrierungsempfehlung aufbereiteten Saatgut wird auf dem deutschen Markt auch Saatgut ausländischer Herkunft angeboten, welches zum Teil abweichende Kalibrierungsstufen und Kalibermaße aufweist. In Frankreich vermehrtes Saatgut wird z.B. generell nach Länge, Breite und Dicke in 15 Stufen aufbereitet, Beispiele für Siebdiagramme und Kalibrierungsstufen der auch in der BRD bedeutsamen Sorten INRA und DEKALB sind im Anhang aufgeführt (Anhangs-Tabellen 1 - 3).

Mit der Kalibrierung des Maissaatgutes wurde neben der Schaffung günstigerer Bedingungen für die Funktion der Einzelkornsägeräte ein weiterer, nicht unerheblicher Vorteil erzielt: die Verbesserung der Saatgutqualität. SEITZ (113) berichtet von Untersuchungen an deutschen Saatgutvermehrungen über die Beziehungen zwischen Kornform und Tetrazolium-Keimwert. Dabei ergab sich eine stark negative Korrelation zwischen beiden Kriterien von der mittelflachen bis zur groß-

runden Kornfraktion. Bei günstigen Aufwuchsbedingungen (1971) wurden wesentlich bessere Tetrazolium-Keimwerte erreicht als bei ungünstigen Bedingungen (1972).

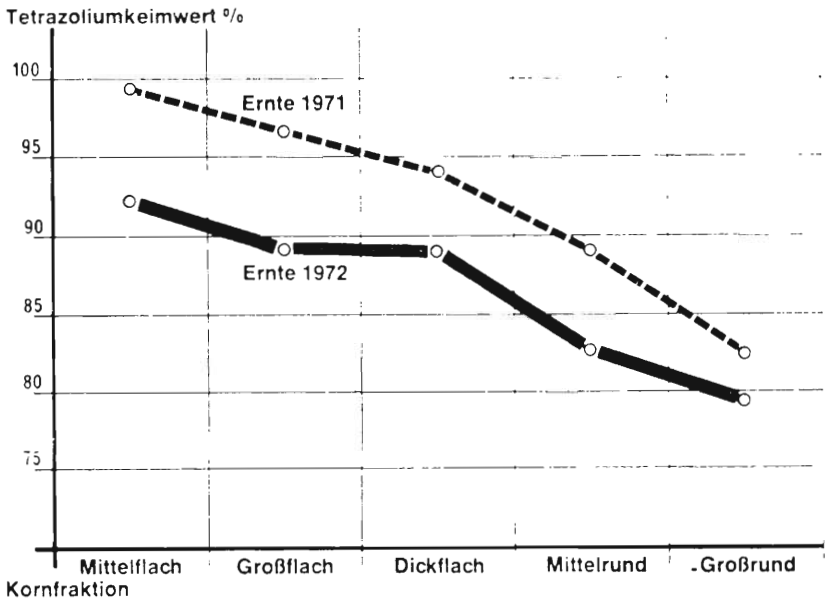


Abb. 7: Relationen zwischen Tetrazolium-Keimwert und Kornfraktion bei unterschiedlichen Aufwuchsbedingungen

Auch FIALA (46) konnte nachweisen, daß zwischen der Saatgutkalibrierung, der Schlechtwetter-Resistenz und dem Feldaufgang signifikante Relationen bestehen. So zeigten z.B. mittelrunde und kleinrunde Kornfraktionen im Durchschnitt ungünstigere Ergebnisse als flache Kornformen.

Die Saatgutkalibrierung bietet daher die Möglichkeit, die Kornformen mit abfallendem Saatgutwert auszuschließen und nur diejenigen Körner für die Verwertung als Saatgut auszuwählen, die den hohen Anforderungen an die Saatgutqualität entsprechen. Als zusätzlicher Vorteil der Saatgutkalibrierung ist die weitgehende Vereinheitlichung des Tausendkorngewichtes (TKG) anzusehen. Untersuchungsergebnisse des Maiswerkes Krotzingen (148) und einschlägiger Saatgut-Vertriebsfirmen

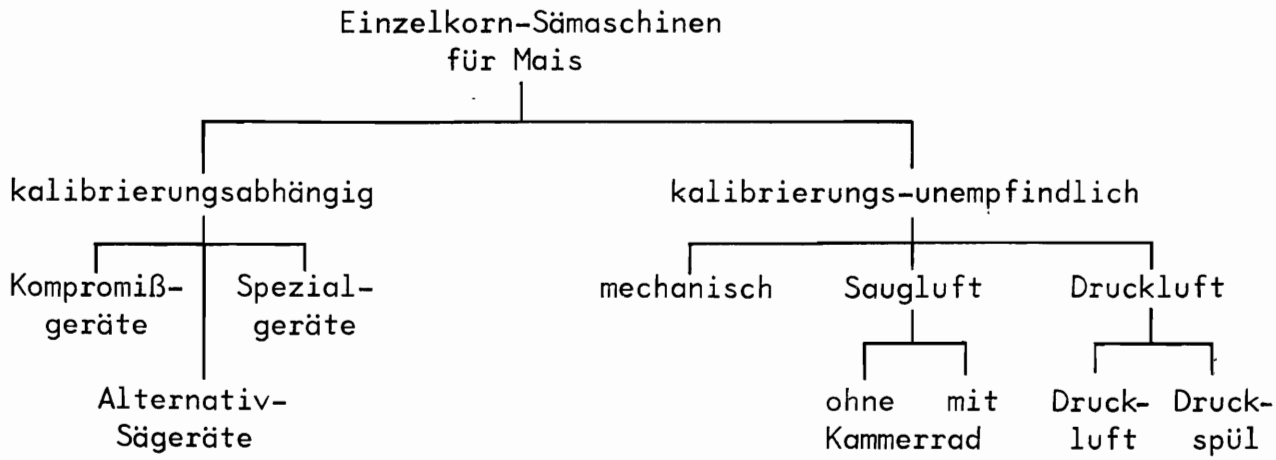
(149) ergaben, daß innerhalb einer Kalibrierungsstufe sehr geringfügige Abweichungen des Tausendkorngewichtes vorliegen. Dadurch wird der gleichmäßige Feldaufgang günstig beeinflußt.

Sorte	Kalibrierung								
	mittel-flach			mittel-rund			groß-flach		
	Anzahl Proben	TKG(g) Ø	TKG(g) von-bis	Anzahl Proben	TKG(g) Ø	TKG(g) von-bis	Anzahl Proben	TKG(g) Ø	TKG(g) von-bis
Prior	16	283	280-285	7	364	350-370	14	361	360-370
Perdux	9	280	280	3	336	330-350	9	380	380
Anjou 21	15	285	285	10	295	295	2	340	340
May-Bay	15	290	290	3	320	320	2	345	345
Pamo	3	280	280	2	335	330-340	2	360	360
Velox	5	280	280	1	290	290	1	350	350

Tabelle 2: Tausend-Korn-Gewicht (TKG) bei ausgewählten Sorten und Kalibrierungsstufen

2. Saattechnik bei kalibrierungs-abhängigen Einzelkorn-Sämaschinen

Die technisch-konstruktive Entwicklung und funktionelle Gestaltung der Einzelkornsämaschinen für Mais ist derzeit gekennzeichnet durch eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten, die sich systematisch wie folgt einordnen lassen:



Direkte Auswirkungen der Saatgut-Kalibrierung ergeben sich in erster Linie auf den Einsatz der Einzelkorn-Sämaschinen mit konventionellem, mechanischem Belegprinzip (kalibrierungs-abhängige Einzelkornsämaschinen).

Bei diesen Maschinen durchläuft ein mit Zellen unterschiedlicher Form versehenes Säorgan den Saatgut-Vorratsbehälter. Unter Ausnutzen der Schwerkraft und des Rollvermögens der Maiskörner sollen sich die Zellen mit jeweils einem Korn füllen. Überzählige Körner werden von rotierenden Abkämmwalzen, feststehenden messerartigen Abstreifern oder Abstreifbürsten entfernt.

2.1 Maschinenaufbau und -funktion

Für die kalibrierungs-abhängigen Einzelkorn-Sämaschinen mit mechanischem Ablageprinzip sind folgende typischen Grundkonstruktionen und Zellenradanordnungen üblich:

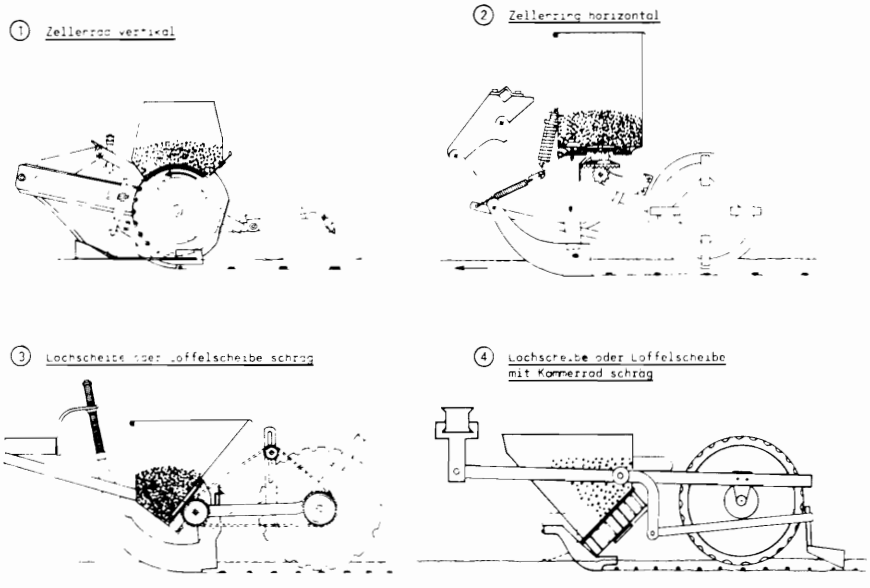


Abb. 8: Anordnung der Säorgane bei kalibrierungs-abhängigen Einzelkorn-Sämaschinen

. Geräte mit vertikalem Zellenrad

Zu dieser Gerätegruppe zählen die "Kompromiß-Sägeräte", das heißt Konstruktionen, die sowohl für die Aussaat von Rüben als auch - bei Verwendung entsprechender Zellenräder, Säschare und Druckrollen - zur Maissaat verwendet werden können. Es handelt sich um Geräte mit geringem Eigengewicht und begrenztem Inhalt des Saatgutvorratsbehälters.

. Geräte mit horizontalem Zellenrad

Klassischer Vertreter dieser Gerätegruppe ist das amerikanische Spezial-Einzelkornsägerät mit großvolumigem Saatgutvorratsbehälter, aber auch großer Fallhöhe (27 - 45 cm). Bei europäischen Konstruktionen wurde die Fallhöhe wesentlich reduziert, um eine exaktere Kornablage in der Reihe zu erreichen.

Neben Spezial-Maissägeräten, die in Bauweise und Ausstattung auf die speziellen Erfordernisse der Maissaat ausgerichtet sind, werden auch "Alternativ-"Geräte angeboten. Bei diesen können an einem kompletten Grundrahmen mit Zentralantrieb und Untersetzungsgetriebe wahlweise spezielle Sägeräte für Rüben oder für Mais angelenkt werden.

. Geräte mit schräg angeordnetem Säorgan

Auch in dieser Gruppe sind Spezial-Maissägeräte und Alternativ-Geräte vorhanden. Sie unterscheiden sich vor allem darin, daß bei den Alternativ-Geräten das Zellenrad mit einem darunter angeordneten, synchron rotierenden Ablegemagazin gekoppelt ist. Dadurch wird die Fallhöhe wesentlich reduziert und eine Verwendung bei der Rübensaat begünstigt.

Für die obengenannten Säorgane werden Zellenformen verwendet, die an die typischen sortenspezifischen und kalibrierungsbedingten Formen der Maiskörner angepaßt sind.

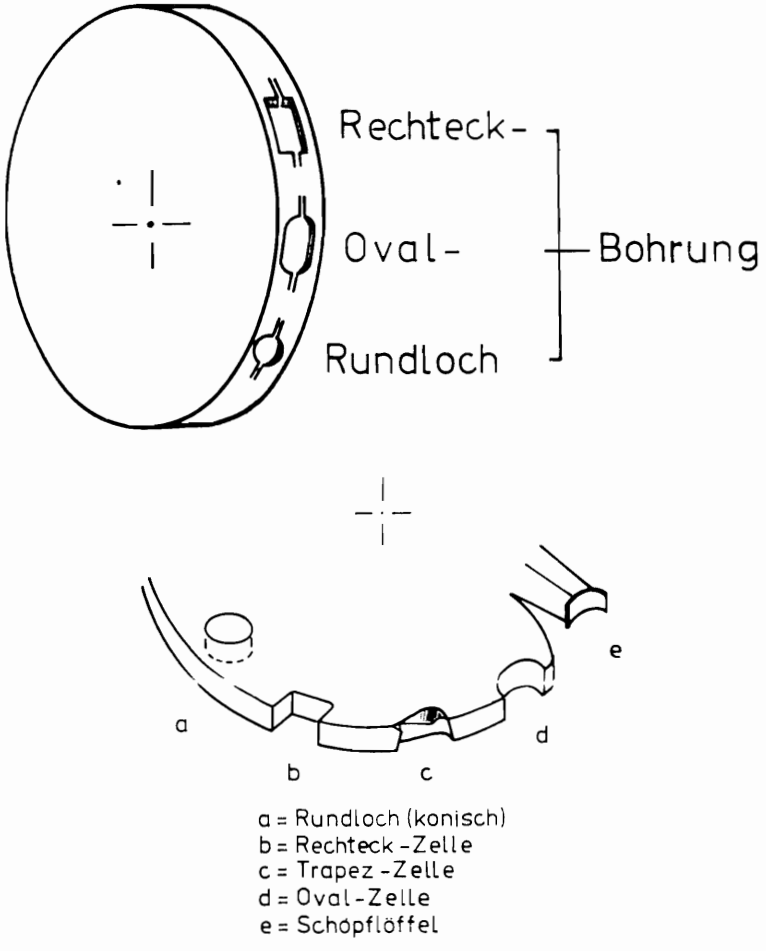


Abb. 9: Typische Zellenform bei vertikaler Anordnung (oben) und horizontaler bezw. geneigter Stellung (unten) des Säorgans

Durch eine sorgfältige Abstimmung von Form und Größe der Saatkörner mit den Säzellen ist eine exakte Einzelkornbelegung jeder Zelle zu erreichen.

Angepaßt an die unterschiedlichen Kornabmessungen, die in den einzelnen Kalibrierungsstufen vorliegen, werden für Einzelkornsämaschinen mit mechanischem Belegprinzip in der Regel mehrere Säscheiben mit entsprechenden Zellenabmessungen angeboten. Die Anzahl der für die Erfassung aller in der "Krozinger Kalibrierungsempfehlung" enthaltenen Kalibrierungsstufen erforderlichen Säscheiben ist gerätebedingt sehr unterschiedlich. Je nach Fabrikat werden bis zu 11 Säscheiben für die Aussaat der 7 Kalibrierungsstufen angeboten (45).

Dies führt teilweise zu Verunsicherungen der Bedienungspersonen, erschwert die optimale Zuordnung von Kornabmessungen und Zellengrößen und kann eine mangelhafte Zellenbefüllung bewirken.

2.2 Einflüsse auf die Zellenbefüllung

Der bei den mechanischen Einzelkorn-Sämaschinen funktionell vorliegende Befüllvorgang hat zur Folge, daß eine sichere Zellenbelegung nur dann zu erreichen ist, wenn

- dem einzelnen Saatkorn ausreichend Zeit zum Hineingleiten in die Zelle gegeben wird
- eine möglichst lange Befüllstrecke vorhanden ist, d.h. ein möglichst hoher Anteil der insgesamt am Säorgan vorhandenen Zellen jeweils zur Befüllung offensteht.

Die verfügbare Befüll<u>zeit</u> ist eine Funktion von Durchmesser des Säorganes, Zellenzahl, gewähltem Kornabstand in der Reihe und Fahrgeschwindigkeit. Sie äußert sich in einer spezifischen Umlaufgeschwindigkeit der Zellen (m/s) und der daraus resultierenden Zellenfrequenz. Diese Wechselwirkungen sind in Abbildung 10 dargestellt.

Nach den geltenden DLG-Prüfrichtlinien (150) sind maximal 10 % Fehlbelegungen und 10 % Doppelbelegungen zulässig. Die Darstellung zeigt, daß bei geringem Zellenraddurchmesser vor allem die Fehlbelegungen mit zunehmender Zellenfrequenz rasch ansteigen und bereits bei ca. 10,5 cm/s Umlaufgeschwindigkeit den zulässigen Wert überschreiten. Im gleichen Maße verringern sich die Doppelbelegungen.

Die Befüll<u>strecke</u> ist dagegen abhängig von der Gerätekonstruktion und differiert zwischen den unterschiedlichen Säorgan-Anordnungen ganz erheblich (vgl.Abbildung 7). Die geringste Befüllstrecke liegt

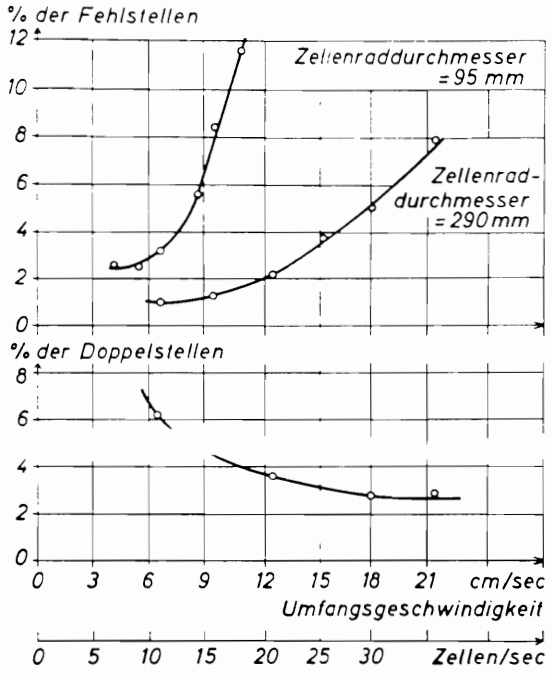


Abb. 10: Beziehungen zwischen Durchmesser des Säorgans, Umfangsgeschwindigkeit und Fehl-/Doppelstellen

bei horizontaler Säscheibenanordnung mit ca. 80 % vor.

2.3 Verfahrenstechnische Probleme

Nachdem die exakte Einzelkornerfassung und -ablage als eines der Hauptkriterien bei der Maissaat anzusehen ist, sollte bei den geschilderten, kalibrierungsabhängigen Einzelkorn-Sägeräten aufgrund der vorgenannten Einflußkriterien eine Arbeitsgeschwindigkeit von maximal 4 - 5 km/h eingehalten werden (bei mittlerer Füllstrecke von 50 - 70 %).

Während bei Spezial-Sägeräten vorwiegend der Einzelantrieb vorliegt, wird bei den gewichtsmäßig leichteren Kompromiß- und Alternativ-Sämaschinen der Zentral-Antrieb mit mehrstufigem Untersetzungsgetriebe bevorzugt. Damit wird nicht nur ein sicherer Antrieb der Säorgane (auch bei rauher Saatbettvorbereitung) gewährleistet, sondern auch die rasche, einheitliche und zentrale Einstellung des gewünschten Kornabstandes in der Reihe für alle Aggregate gemeinsam ermöglicht. Die großdimensionierten, mit kräftig profilierter Bereifung ausgestatteten Antriebsräder gewährleisten einen schlupfarmen Antrieb.

Eine vergleichende Zusammenstellung der wichtigsten technischen Kenndaten für Einzelkornsämaschinen zeigt Abb. 11.

Bauart des Säorgans	Ablageprinzip	Lage das Säorgans	Anzahl Zellen	Fallhöhe 1)	Werkstoff des Säorganes	Antrieb 2)	günstige Arbeitsgeschw. km/h	max. Saatgutbehälterinhalt l	max. Saatgutbehälterinhalt kg	kalibrierungsabhängig
Lochscheibe	mech.	horizontal schräg	16-18	mittel /klein	Metall	E Z	bis 5	15	12	ja
Zellenring	mech.	horizontal	24	groß	Metall Kunststoff	E	bis 5	20	16	ja
Zellenrad	mech.	vertikal	25-39	klein	Metall mit Gummieinlage Metall	E / Z	bis 5	15	12	ja
Löffelrad	mech.	schräg (Quer zur Fahrtrichtung)	10	mittel	Metall	E	bis 5	8	6,4	ja
Löffelrad mit Ablagemagazin	mech.	schräg (längs zur Fahrtrichtg)	18/36	klein	Metall	E	bis 6(9)	24	19	nein
Lochring mit Ablagemagazin	pneum. (Saugluft)	vertikal	24	klein	Metall	Z	bis 9	23	18,5	nein
Lochscheibe (1 oder 2 Lochreihen)	pneum. (Saugluft)	vertikal	18-30	klein	Metall	Z	bis 9	22	17,5	nein
Zellenrad	pneum. (Druckluftspülsystem)	vertikal	24	klein	Metall	Z	bis 9	22	17,5	nein
Lochtrommel	pneum. (Druckluft)	vertikal	24	klein	Metall	Z	bis 7	270	216	nein

Abb. 11: Technische Kenndaten für Einzelkorn-Sämaschinen (oben:kalibrierungs-abhängige, unten:kalibrierungsunempfindliche Säsysteme).

1) Fallhöhe klein = 15 cm
mittel = 15-30 cm
groß = 30 cm

2) E = Einzelantrieb
Z = Zentralantrieb

Aus der Zusammenstellung geht hervor, daß kalibrierungs-abhängige Einzelkornsämaschinen neben den bereits geschilderten Beschränkungen in der Arbeitsgeschwindigkeit einen weiteren, bei der Aussaat von Mais gewichtigen Nachteil aufweisen: den geringen Inhalt des Saatgutbehälters. Auf die Wechselwirkungen zwischen Saatgutbehälterinhalt und Saatfläche/Füllung wird in Abschnitt 5.1.3 näher eingegangen. Generell ist festzuhalten, daß die erzielbare Flächenleistung von den beiden Kriterien "Arbeitsgeschwindigkeit" und "Saatgutbehälterinhalt" direkt beeinflußt wird. Eine ungünstige Hauptfeldzeit sowie ein hoher Anfall an Nachfüllzeiten bewirken zwangsläufig geringe Flächenleistungen bzw. einen hohen Arbeitszeitbedarf/ha.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die Kalibrierung des Maissaatgutes nicht nur erhebliche Vorteile auf pflanzenbaulichem Gebiet verursacht, sondern auch für die große Zahl noch im Einsatz befindlicher, mechanischer und kalibrierungsabhängiger Sägeräte die Voraussetzung für das Erzielen exakter Pflanzenbestände bei entsprechender Fahrgeschwindigkeit darstellt. Die Abstimmung von Kornform und Zellenabmessung ist wesentlich erleichtert. Darüber hinaus zeigen die Erfahrungen, daß auch die sogenannten "kalibrierungsunempfindlichen" Einzelkornsämaschinen positiv auf die Beschickung mit exakt kalibriertem Saatgut reagieren.

3. Saattechnik bei kalibrierungs-unempfindlichen Einzelkorn-Sämaschinen

Die kalibrierungs-unempfindlichen und auf das Erzielen höherer Arbeitsgeschwindigkeiten bei gleichzeitig hoher Ablagegenauigkeit konstruierten Maschinen lassen sich nach dem Belegprinzip im Vergleich zu den konventionellen Sägeräten in folgende Gruppen einteilen:

Säsysteme bei den kalibrierungs-unempfindlichen Maschinen

Mechanische Säsysteme

. Verbessertes Löffelradsystem mit Kammerrad (deutsche Entwicklung

. Klemmfinger-Sägerät mit Kammerrad (US-amerikanische Entwicklung)

Pneumatische Säsysteme

. Saugluftsysteme - Lochscheibe mit 1 Reihe Lochbohrungen (deutsche und französische Entwicklung)

- Lochscheibe mit 2 Reihen Lochbohrungen (französische Entwicklung)

- Lochring gekoppelt mit Kammerrad (deutsche Entwicklung)

. Druckluftsysteme - Druckspülsystem (deutsche Entwicklung)

- Druckluftsystem (US-amerikanische Entwicklung)

3.1 Maschinenaufbau und -funktion bei mechanischem Belegprinzip

Bei dem verbesserten Löffelradsystem (Abb. 12) wurde im Gegensatz zu früheren Konstruktionen das Löffelrad längs zur Fahrtrichtung angeordnet und die Löffelzahl auf 18, neuerdings sogar auf 36 Löffel erhöht. Neu hinzugekommen ist außerdem ein synchron mit dem Löffelrad rotierendes Kammerrad, in welches die Saatkörner am oberen Kulminationspunkt der Löffelumlaufbahn übergeben werden. Die Körner werden anschliessend vom Kammerrad zur Abwurfstelle transportiert und mit geringer Fallhöhe von ca. 14 cm in die Saatfurche abgelegt.

Der Antrieb erfolgt über einen Kettentrieb mit Wechselkettenrädern (zum Verstellen der Kornabstände in der Reihe) von der großdimensionierten Druckrolle. Diese ist in der Standardausführung als doppelt-konische Metalldruckrolle ausgebildet, als Sonderausführung ist sie mit einem Walkgummi-Überzug versehen.

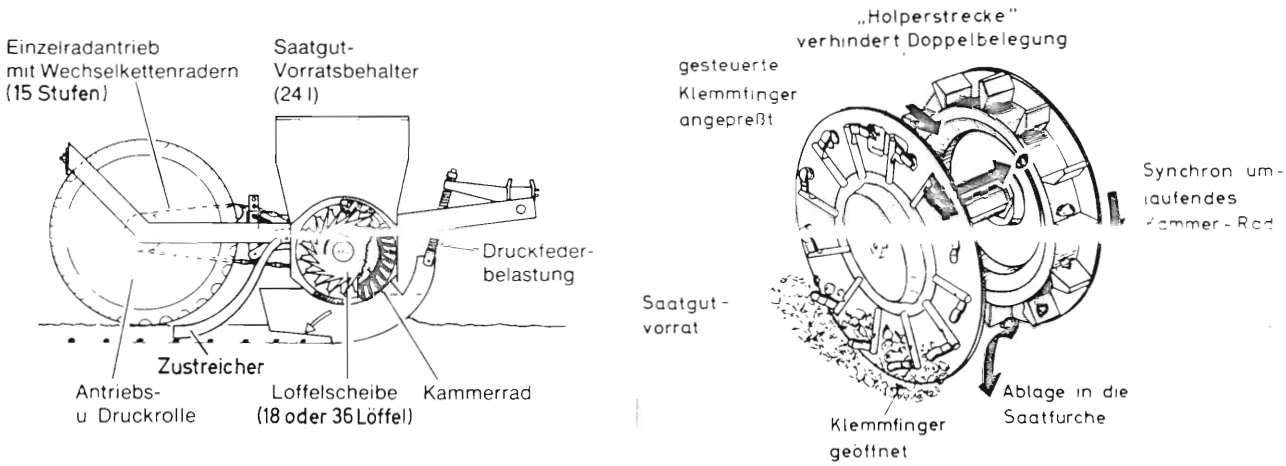


Abb. 12: Bauarten von mechanischen, kalibrierungs-unempfindlichen Säsystemen.
(links: Löffelscheibe mit Kammerrad
rechts:US-Klemmfinger-System).

Das Klemmfingergerät (Abb. 12) stellt eine relativ aufwendige, US-amerikanische Entwicklung dar, die in der BRD versuchsweise eingesetzt wurde. Die Aufnahme der Körner im Saatgutbehälter erfolgt über 12, von Kurvenscheiben gesteuerten Klemmfinger. Diese passieren anschließend eine "Holperstrecke" auf welcher die überzähligen Körner abfallen sollen. Die verbleibenden, einzelnen Körner werden anschliessend in ein synchron rotierendes Kammerrad übergeben, welches den Transport zur Saatfruche übernimmt.

3.2 Maschinenaufbau und -funktion bei pneumatischem Belegprinzip

Die pneumatischen Säsysteme arbeiten mit Saug- oder Druckluft. Die Gebläse werden von der Schlepper-Zapfwelle angetrieben und erzeugen Luftdrücke bzw. Unterdrücke in einem Arbeitsbereich von 800 - 2 000 mm WS. Die Saugluftgeräte sind zur besseren Lochbesetzung mit Flügelrädern oder Mitnehmerfingern auf den Lochscheiben ausgestattet.

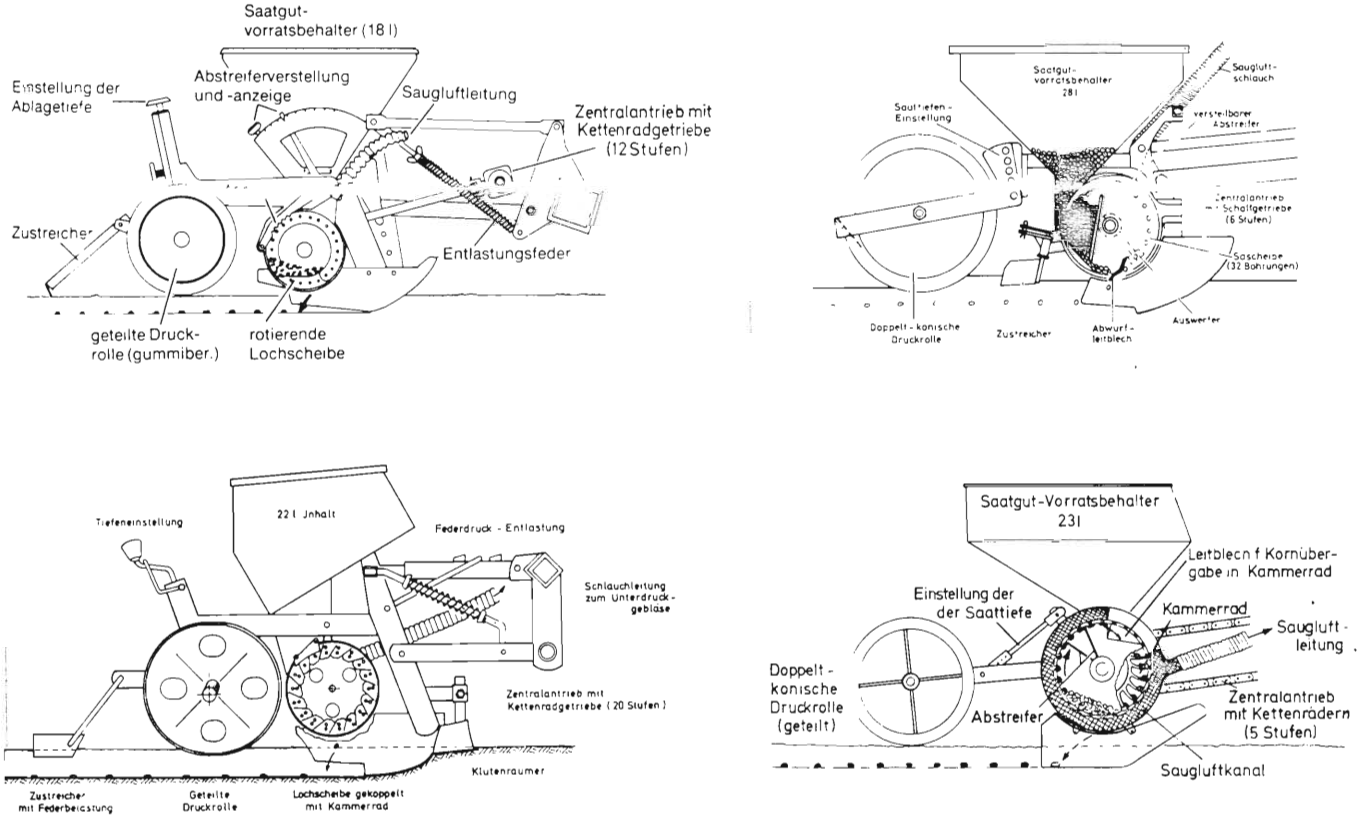


Abb. 13: Bauarten von pneumatischen Einzelkorn-Säsystemen (Saugluftprinzip)
(links oben: Lochscheibe mit 1 Lochreihe (französische Entwicklung)

rechts oben: Lochscheibe mit 1 Lochreihe (deutsche Entwicklung)

links unten: Lochscheibe mit 2 Lochreihen (französische Entwicklung)

rechts unten: Lochring mit Kammerrad (deutsche Entwicklung)

Bei den Saugluftgeräten mit Lochscheibe (1 oder 2 Reihen Lochbohrungen) werden die Körner vom Saugluftstrom an die Lochbohrungen angesaugt. Da mit erheblichem Luftüberschuß gearbeitet wird, können sich an einer Lochbohrung mehrere Körner ansetzen. Bei der Lochscheibe mit einer Reihe Lochbohrungen ist deshalb ein von Hand verstellbarer, meist gezahnter Abstreifer angebracht (Abbildung 13), welcher die überzähligen Körner entfernt. Bei der mit 2 Reihen von Lochbohrungen ausgestatteten Lochscheibe mit Flügelrad verschiebt ein Abstreifblech die Körner von der äußeren zur inneren Lochreihe. Hierbei erfolgt die "Vereinzelung" der angesaugten Körner. Im unteren Teil des Sägehäuses wird kurzzeitig der Unterdruck aufgehoben, die Körner fallen mit geringer Fallhöhe in die Saatfurche.

Ein kombiniertes Belegsystem verfolgt das Gerät mit Lochring (Abb.13). An der Innenseite des Lochringes werden die Körner angesaugt und anschließend von elastischen, jedoch nicht verstellbaren Abstreifern "vereinzelt". Im oberen Sägehäusebereich wird kurzzeitig der Saugluftstrom aufgehoben. Die Körner gelangen über ein Leitblech in das synchron rotierende Kammerrad, welches den Transport zur Ablagestelle übernimmt.

Beim Druckspülsystem (Abb. 14) unterstützt die Druckluft zusammen mit der Schwerkraft und dem Rollvermögen der Körner das Befüllen der trichterförmigen Zellenbohrungen, die auf dem Umfang des rotierenden Säorganes angebracht sind. Da mehrere Körner in eine Lochbohrung gelangen, werden die überzähligen Körner mit Hilfe einer Druckluftdüse herausgespült. Lediglich das an der Trichtermündung liegende Korn wird durch die Druck- und Sogwirkung festgehalten und zur Abwurfstelle transportiert. Der Druckluftstrom dient demzufolge nicht zur Zellenbefüllung, sondern in erster Linie als Einzelungshilfe.

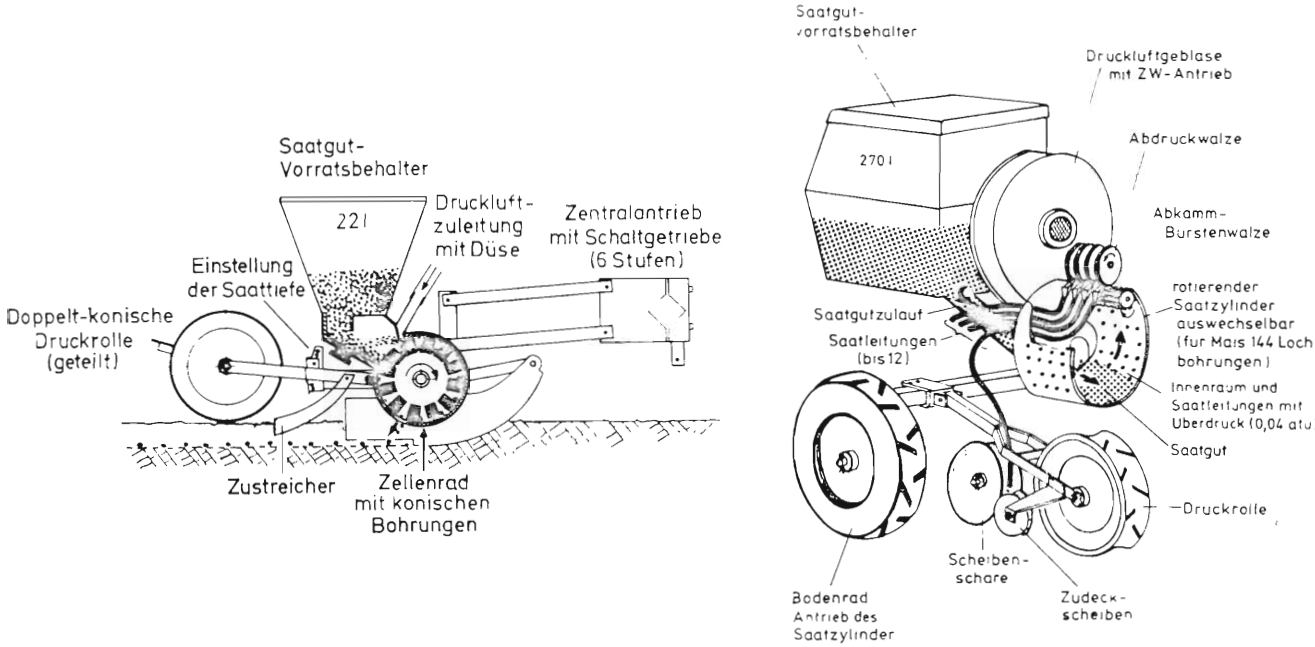


Abb. 14: Bauarten von pneumatischen Einzelkorn-Sämaschinen (Druckluftprinzip)

(links: Druck-Spülsystem, rechts: US-Druckluftsystem)

Ein "echtes" Druckluftsystem stellt demgegenüber eine US-amerikanische Konstruktion dar (Abb. 14). Diese Maschine besitzt ein zentrales Zuteilorgan, auf welchem für jede Saatreihe eine Lochreihe vorhanden ist. Die Körner werden von dem Druckluftstrom an die Innenseite der rotierenden Lochtrommel gedrückt. Eine elastische Abstreifbürste entfernt überzählige Körner von den Löchern. Am oberen Kulminationspunkt verschließt eine flexible, gefederte Gummiwalze von aussen die Lochbohrungen. Dadurch wird der Druckluftstrom kurzzeitig unterbrochen, die Körner fallen in trichterförmige Öffnungen und werden anschließend vom Druckluftstrom zur Ablagestelle geblasen. Die Druckluft dient bei dieser Konstruktion zur Zellenfüllung und als Transportmittel.

4. Technische Möglichkeiten zur Steigerung der Flächenleistung

Die engbegrenzte Saatzeitspanne und die aus einer verzögerten Aussaat resultierenden ökonomischen und betriebstechnischen Nachteile haben die Entwicklung neuer technischer Möglichkeiten zur Steigerung der Flächenleistung bei gleichzeitig hoher Qualität der Einzelkornablage wesentlich vorangetrieben. Generell bieten sich hierfür zwei Wege an:

. Vergrößern der Arbeitsbreite (Erhöhen der Reihenzahl)

. Steigern der Arbeitsgeschwindigkeit

oder auch eine Kombination beider Effekte. Betrachtet man darüber hinaus die gesamte Feldbestellung, also die Saatbettvorbereitung und Aussaat als einen Komplex, dann kommt einer "Minimal-Bestellung" bei Mais (Zusammenfassen der beiden genannten Arbeitsgänge) ebenfalls eine besondere Bedeutung zu. Hierauf wird später noch einzugehen sein.

4.1 Vergrößern der Arbeitsbreite

Ein Vergrößern der Arbeitsbreite wird überall dort angestrebt, wo aufgrund der technisch-konstruktiven Voraussetzungen am Sägerät eine Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit nicht möglich ist oder als alleinige Maßnahme nicht ausreicht.

Die Bemessung der Arbeitsbreite bzw. der Reihenzahl orientiert sich in der Regel an den Belangen des praktischen Maschineneinsatzes und den Wechselwirkungen mit der Mechanisierung der weiteren Arbeitsgänge. Wie eine statistische Erhebung von REUSS (94) über die Mechanisierung des Körnermaisbaues in 125 Betrieben ergab, wird die vierreihige Einzelkorn-Sämaschine mit 82,4 % der Verwendungshäufigkeit eindeutig be-

vorzugt, gefolgt von dreireihigen Maschinen (5,6 %) und zwei- bzw. sechsreihigen Maschinen (je 4,8 %). Diese 4-reihigen Maschinen befinden sich zu 73,4 %, also in überwiegendem Maße in Eigenbesitz, 12 % werden von Lohnunternehmern und 6,7 % in Maschinenringen eingesetzt. Eine gleiche Bevorzugung der vierreihigen Arbeitsweise ist auch bei den Mähdrescher-Pflückaggregaten anzutreffen.

Ein Steigern der Arbeitsbreite über 4 Reihen (bei 75 cm Reihenentfernung gleichbedeutend mit einer Maschinen-Gesamtbreite von mehr als 3 m) hinaus ist aus folgenden Gründen problematisch:

- infolge Beschränkung der zulässigen Straßenfahrbreite auf 3,0 m (laut StVZO) wird die Verwendung von Langfahreinrichtungen erforderlich

- die Übereinstimmung mit der Reihenzahl des Erntevorsatzes ist erschwert

- konstruktive und einsatztechnische Probleme ergeben sich aus der erforderlichen Flexibilität über die gesamte Maschinenbreite bei unebener Bodenoberfläche und die Stabilität der Gesamt-Maschine. Bei Dreipunkt-Anbau-Maschinen kommt die erhebliche Belastung der Schlepper-Hydraulik infolge des erhöhten Gesamtgewichtes, insbesondere bei gefülltem Saatgut- und Reihend+ngerbehälter hinzu.

- es entsteht ein erheblich höherer Anschaffungspreis.

4.2 Steigern der Arbeitsgeschwindigkeit

Ein Steigern der Arbeitsgeschwindigkeit ist deshalb als der erfolgversprechendere Weg anzusehen. Es erfordert aber den Übergang auf neue Ablagesysteme, da bei den konventionellen, mechanischen Maissägeräten die günstigste Arbeitsgeschwindigkeit bei den im Körnermaisbau üblichen Kornabständen in der Reihe von 15 - 16 cm nach vorliegenden Untersuchungen etwa 4 - 5 km/h beträgt (34,35), bei Silomaisabständen (10 - 12 cm) entsprechend niedriger liegt. Da diese neuentwickelten Einzelkornsämaschinen zudem den Vorteil einer weitgehenden Unempfindlichkeit gegenüber unterschiedlichen Kornformen und -grössen besitzen, werden von ihnen die beiden Haupt-Nachteile der konventionellen, mechanischen Einzelkorn-Sägeräte aufgehoben. Es stellt sich jedoch die Frage, in wieweit die geforderte Ablagegenauigkeit bei einer Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit aufrecht erhalten werden kann.

4.3 Vergleichsversuche über den Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit

Im praktischen Einsatz der Einzelkorn-Sämaschinen unterliegt die exakte Einzelkornablage einer Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse. Als die wichtigsten sind anzusehen:

- Saatgutbeschaffenheit (Breite, Dicke, Länge, Form und Gewicht)
- Funktion des Belegsystems
- Abstreifer-Einstellung
- Einhalten des richtigen Luftdruckes bzw. Vakuums
- Fallhöhe
- Flugbahn des Kornes nach dem Abwurf

. Form und Tiefe der Saatfruche

. Form, Anordnung und Einstellung des Zustreichers

. Durchmesser, Form und Belag der Druckrolle

. Bodenart und Bearbeitungszustand.

Von der Funktion des Belegsystems wird zweifellos der direkteste Einfluß auf das Erfassen der Körner im Saatgutvorrat sowie die Ablage der einzelnen Körner in einstellbaren Abständen in der Reihe ausgeübt. Im Hinblick auf das ordnungsgemäße Einbetten der Körner in den Boden unter Vermeidung des Verroll-Effektes in der Saatfurche sowie eine ausreichende Verdichtung des Bodens um die Körner sind jedoch Sämechanismus, Schar, Zustreicher und Druckrolle als ein technischer Gesamtkomplex mit kumulativen Effekten anzusehen und zu beurteilen.

Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit und/oder steigenden Pflanzenbestandszahlen (sorten- und nutzungsbedingt) erhöhen sich die Anforderungen an den Sämechanismus, denn trotz kurzer Abwurfintervalle soll eine exakte Kornablage hinsichtlich Abstand in der Reihe und Ablagetiefe erreicht werden. Die hierbei vorliegenden Verhältnisse lassen sich am besten anhand einer kurzen Gegenüberstellung veranschaulichen:

Beispiel Körnermais:

Aussaat: 80 000 Körner/ha
Reihenentfernung: 75 cm
Fahrgeschwindigkeit: 8,0 km/h

Bei diesen Unterstellungen betragen die Kornabwurf-Intervalle 0,075 s.

Beispiel Silomais:

Aussaat: 120 000 Körner/ha

Restliche Unterstellungen wie vorher.

Hier liegt ein Intervall von 0,05 s vor.

Die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Kornmerkmalen, der Maschineneinstellung und der Einzelkornerfassung durch das Säorgan wurden von STIEGER (36) an 4 pneumatischen Einzelkornsämaschinen mit unterschiedlichem Ablagesystem untersucht. Er stellte fest, daß eine exakte Einzelkornerfassung unter bestimmten Voraussetzungen (vor allem optimale Abstreifereinstellung) bis zu Fahrgeschwindigkeiten von 12 km/h und darüber möglich ist, jedoch gerätespezifisch erhebliche Unterschiede bestehen. Das Korngewicht übt einen entscheidenden Einfluß auf die Einzelkornerfassung aus, wenn die Umfangsgeschwindigkeit des Säorgans 0,5 m/s übersteigt und keine wirkungsvolle Unterstützung der Kornerfassung erfolgt. Hinsichtlich der Kornabgabe in die Saatfurche zeigten Geräte mit Kammerrad eine wesentlich stärkere Streuung als solche mit Lochscheibe.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen CERA et al (59) bei Laboruntersuchungen an Mais-Einzelkornsämaschinen. Sie stellten für Geräte mit horizontaler Säscheibenanordnung fest, daß mindestens 96 % der Säzellen richtig belegt sind, wenn die Umfangsgeschwindigkeit der Zellen max. 0,3 m/s beträgt.

Von praktischen Einsatzversuchen mit kalibrierungs-unabhängigen Maissämaschinen bei Arbeitsgeschwindigkeiten über 6 km/h berichten u.a. SCHIERMEYER (109), FRIZEN (48, 49), FRIZEN et al (50, 51), SCHRÖDL (110, 111). In diesen Arbeiten wird übereinstimmend auf die Abhängigkeit der Ablagegenauigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und auf die Bedeutung einer optimalen Maschineneinstellung besonders hingewiesen.

Seit dem Jahr 1971 werden in Weihenstephan unter den hier vorliegenden, speziellen Standortbedingungen gezielte Vergleichsversuche unter praxisnahen Bedingungen mit einem jeweils aktuellen Programm mechanischer und pneumatischer Einzelkorn-Sämaschinen durchgeführt.

Im Vordergrund der Untersuchungen standen die folgenden Problemkreise, wobei sich bei der Versuchsanstellung in den einzelnen Versuchsjahren gewisse Abweichungen ergaben, auf die jeweils besonders hingewiesen wird.

- Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei unterschiedlichen Kornabständen in der Reihe
- Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf die Ablagetiefe der Saatkörner
- Einfluß von Form und Belag der Druckrolle auf den Feldaufgang
- Vergleich der Ablagegenauigkeit bei den Einzelaggregaten einer 6-reihigen Druckluft-Sämaschine.

4.3.1 Versuchsanstellung

Die Untersuchungen zur Ermittlung der Wechselwirkungen zwischen Arbeitsgeschwindigkeit und Ablagegenauigkeit wurden in einem weitgespannten Geschwindigkeitsbereich zwischen ca. 3,5 km/h und - im Hinblick auf die angestrebte Steigerung der Flächenleistung bei der Maissaat - ca. 12 km/h durchgeführt. Die jeweils gewählten Geschwindigkeitsstufen waren bedingt durch die Gangabstufung des zur Verfügung stehenden Ackerschleppers unter besonderer Berücksichtigung gerätespezifischer Anforderungen (z.B. Einhalten der erforderlichen Gebläsedrehzahl.) Beim Saatgut wurden soweit möglich, unter-

schiedliche Kornfraktionen berücksichtigt, um zusätzliche Einflüsse der Korngrößen ermitteln zu können.

Als Kornabstände in der Reihe wurden anhand der Betriebsanleitungen theoretische Sollabstände eingestellt, wie sie für die unterschiedlichen Nutzungsformen des Maises allgemein üblich sind: 14 bis 16 cm in der Reihe für Körnermais, 10 bis 11 cm für Silomais.

Das Erfassen des Pflanzenbestandes erfolgte zu einem Zeitpunkt, wenn aufgrund wiederholter Nachprüfungen mit dem erfolgten Auflaufen aller lebensfähigen Pflanzen zu rechnen war, im allgemeinen im 2- bis 4-Blatt-Stadium. Je Versuchsvariante wurden mindestens 700 Kornabstände mit einem Markiergerät erfaßt, welches die Pflanzenabstände und abgelegten Kornzahlen pro Pflanzstelle auf einem Papierstreifen als einfache Löcher (Einzelpflanzen) bzw. Doppellöcher (Doppelpflanzen) markiert und speichert. Die Auswertung der Lochstreifen erfolgte dankenswerterweise im Institut für Landtechnik in Bonn auf einer automatischen Meß- und Klassiereinrichtung. Dieses Gerät (51) tastet mit einem Reflex-Lichtstrahl das durchlaufende, gelochte Papierband ab. Dabei wird jedes ausgestanzte Loch gezählt, der Abstand zum vorhergehenden ausgemessen und klassiert. Die absolute Häufigkeit gleicher Kornabstände kann unmittelbar abgelesen werden, für eine vergleichende Darstellung ist jedoch eine Umrechnung auf relative Häufigkeit erforderlich.

4.3.2 Bewertungsmaßstäbe

Als Beurteilungsmaßstab für die Ablagegenauigkeit wurden die Pflanzenabstände in der Reihe nach den geltenden DLG-Prüfbestimmungen für Mais-Einzelkornsägeräte bewertet (150). Danach wird unterschieden zwischen dem "Soll-Bereich" und der "Standgenauigkeit".

Für die Bewertung des "Soll-Bereiches" gilt folgendes: Pflanzenabstände vom 0,0 bis 0,5fachen des jeweils eingestellten Korn-Sollabstandes gelten als "Doppelstellen". Pflanzenabstände vom 0,5 bis 1,5fachen des Sollabstandes bilden den "Sollbereich", Abstände über dem 1,5fachen des Sollabstandes zählen als Fehlstellen. Für differenzierte Beurteilungen kann noch untergliedert werden in Fehlstellen erster Ordnung (1,5 bis 2,5faches), zweiter Ordnung (2,5 bis 3,5faches), dritter Ordnung (über 3,5faches des Sollabstandes). Das Bewertungsschema ist in Abbildung 15 schematisch dargestellt.

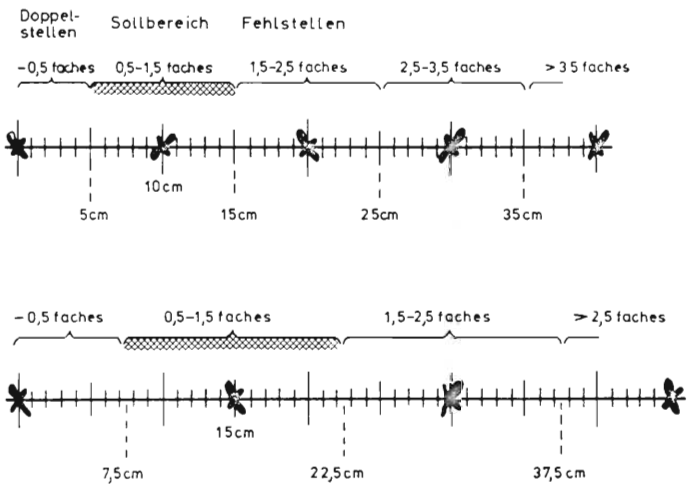


Abb. 15: Definition des "Soll-Abstandes" (Schema)

Aufgrund einer freien Vereinbarung der Forschungs- und Prüfungsinstitutionen mit den Herstellerfirmen von Mais-Einzelkornsägeräten wurde 1970 eine zusätzliche Bewertungsgröße eingeführt, die "Standgenauigkeit" (153). Mit diesem Wert werden alle Körner erfaßt, die ± 3,5 cm vom theoretischen Korn-Sollabstand oder einem entsprechend Vielfachen des Korn-Sollabstandes abgelegt werden. Dadurch läßt sich der Einfluß von Fehlstellen bei der Bewertung der Ablagegenauigkeit eliminieren. Diese Einengung des Sollabstand-Wertes erschien insbesondere bei

größeren Kornabständen in der Reihe sinnvoll. Beträgt z.B. der Kornsollabstand 16 cm, so gelten alle zwischen 8 und 24 cm (0,5 - 1,5 faches des Korn-Sollabstandes) abgelegten Körner als "im Sollbereich". Die Standgenauigkeit engt dagegen diesen Bewertungsmaßstab auf 12,5 - 19,5 cm ein. Eine schematische Darstellung dieses Bewertungsmaßstabes zeigt Abbildung 16.

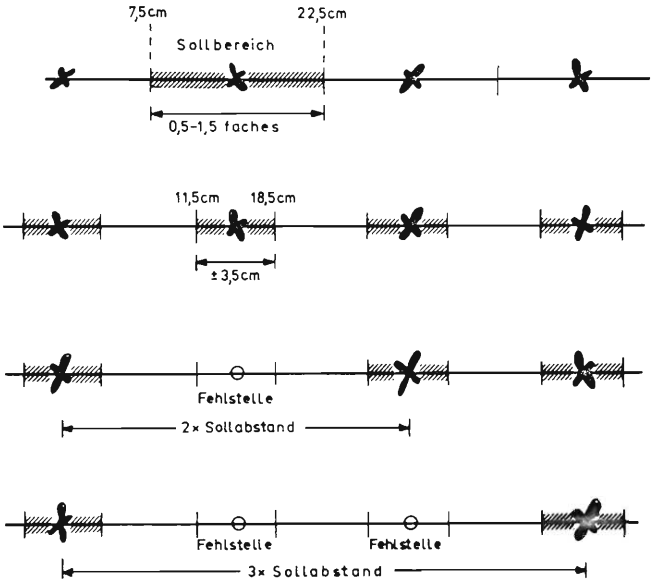


Abb. 16: Definition der "Standgenauigkeit" (Schema)

Die Frage, ob eine dermaßen exakte Kornablage und die damit verbundenen, technischen Aufwendungen auch zu meßbaren pflanzenbaulichen und ökonomischen Vorteilen führt, wird seit jeher intensiv diskutiert. Insbesondere die Sägeräte-Hersteller verfolgen weitere Verbesserungen der Ablagegenauigkeit nur zögernd, wenn nicht gleichzeitig eine günstigere Pflanzenentwicklung und/oder höhere Erträge nachzuweisen sind.

Die Literatur über den Einfluß von Pflanzenzahl, Pflanzenverteilung und Reihenabstand auf den Ertrag bei Körner- und Silomais ist sehr umfangreich. STICKLER und FRANK (118), COLLINS und SHEDD (24),

SVINAREV (114), ZWEIFLER (138), HEPTING (63), ZSCHEISCHLER (137), BRYAN und BLASER (17), NÖSBERGER (89), BURROWS et al (19), HAYNES und SAYRE (62) und PAMFIL (91) berichten übereinstimmend, daß die vorgenannten Faktoren beim Einhalten gleicher Gesamtzahlen an Maispflanzen/Hektar nur geringen Einfluß auf den Ertrag ausüben.

Umfangreiche Exaktversuche über die Auswirkungen wechselnder Kornabstände in der Reihe auf den Ertrag wurden bislang nur sporadisch angelegt, da eine umfassende Beurteilung ein mehrfaktorielles, sehr aufwendiges Versuchsprogramm mit mehrjähriger Versuchsdauer erfordert. Lediglich ZSCHEISCHLER (135) berichtet von einjährigen Untersuchungen, bei denen ein exakter Kornabstand von 15 cm verglichen wurde mit 10 % Fehlstellenanteil, 10 % Doppelbelegungen, einem Wechsel zwischen 10 % Fehlstellen und 10 % Doppelbelegungen sowie einem periodischen Wechsel aller zulässigen Abstände innerhalb der Toleranzen. In dem günstigen Versuchsjahr 1971 zeigte sich, daß nur das Versuchsglied mit 10 % Fehlstellen und dementsprechend geringeren Pflanzenzahlen/m^2 einen Minderertrag von 7,1 % aufwies. Alle anderen Varianten ergaben praktisch die gleichen Erträge, wie sie bei exaktgleichmäßigen Pflanzenabständen von 15 cm in der Reihe erreicht wurden.

Im praktischen Feldeinsatz wird die Pflanzenverteilung auch durch den Feldaufgang beeinflußt (Triebkraft, Keimfähigkeit des Saatgutes). Um dies auszugleichen, wurden jeweils Meßstrecken mit annähernd vergleichbarem Feldaufgang für die Auswertung herangezogen. Dadurch ist zumindest für das jeweilige Versuchsjahr ein Quervergleich der Geräte möglich.

Für die Ergebnisse der Vorversuche aus den Jahren 1971 und 1972 erfolgte die Auswertung und Darstellung der Meßdaten unter Angabe der absoluten Anzahl von Pflanzenabständen auf der Meßstrecke. Ab dem Versuchsjahr 1973 wurde die heute allgemein übliche Auswertungs- und Darstellungsform der "relativen Häufigkeit" benutzt.

4.3.3 Versuchsergebnisse der Jahre 1971 bis 1974

Vorversuch 1971

In diesem Jahr kamen erstmals in nennenswertem Umfang neu entwickelte, kalibrierungs-unabhängige Einzelkornsämaschinen mit mechanischem und pneumatischem Ablageprinzip auf dem Markt. Die Versuchsanstellung sah deshalb einen direkten Vergleich mehrerer Säsysteme vor, die an einem gemeinsamen Geräte-Grundrahmen angelenkt wurden (Abb. 17).

Abb. 17: Geräteanordnung beim Vorversuch 1971

(von links: 2 Aggregate Zellenring mit Kammerrad, Saugluftprinzip; 1 Aggregat konventionelles, mechanisches Prinzip; 1 Aggregat Schöpflöffel mit Kammerrad, kalibrierungs-unempfindlich)

System I : Zwei Aggregate einer pneumatischen Sämaschine (Saugluftprinzip) mit Lochring und Kammerrad, Zentralantrieb (deutsche Entwicklung).

System II : Ein Aggregat der verbesserten Löffelradmaschine, Kammerrad und Einzelradantrieb (deutsche Entwicklung).

System III: Ein Aggregat eines konventionellen, kalibrierungsabhängigen Sägerätes mit Gummi-Lochring und Einzelradantrieb (deutsche Entwicklung).

Der theoretische Kornsollabstand betrug 14 - 15 cm, das Saatgut entstammte der Sorte "Prior" (Kalibrierung mittelrund). Von fünf Fahrgeschwindigkeitsvarianten konnte aus technischen Gründen die 9,1 km/h Stufe nicht ausgewertet werden.

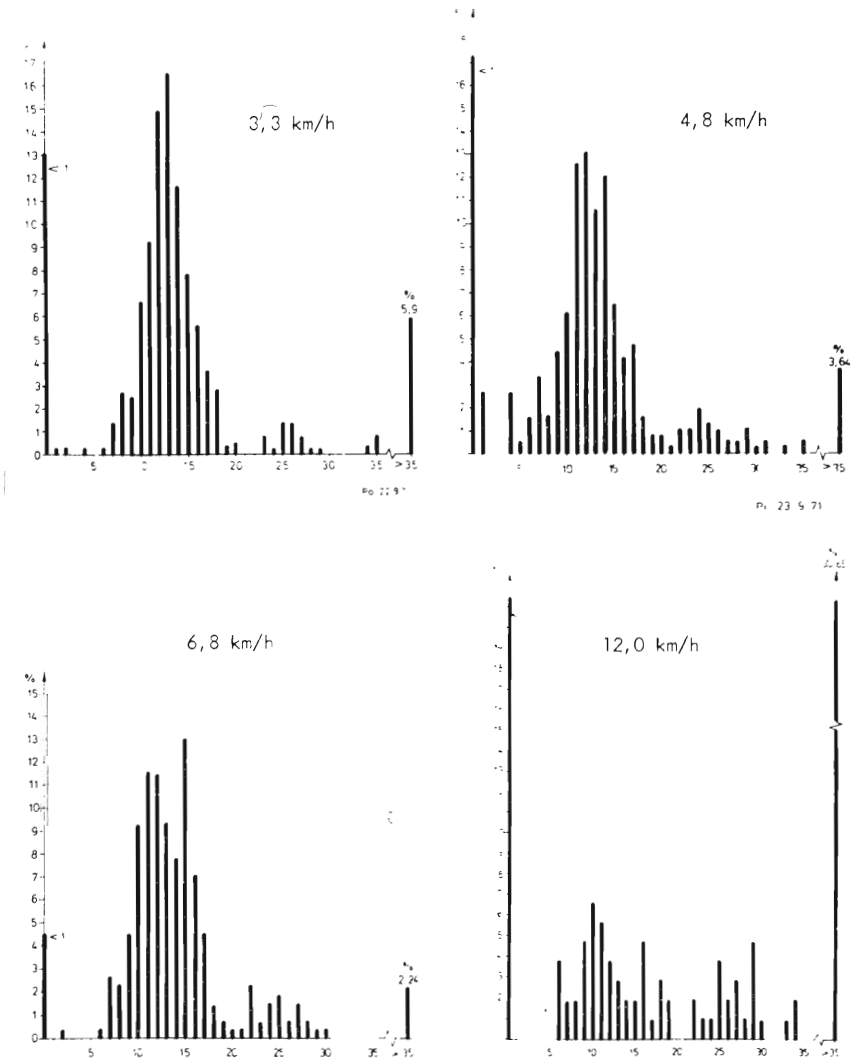


Abb. 18: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System I (1971)

Die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Auswirkung steigender Arbeitsgeschwindigkeiten auf die Ablagegenauigkeit lassen erkennen, daß das System I bis zu einer Vorfahrt von 6,8 km/h eine sehr gleichmäßig-hohe Anzahl von Pflanzen im Sollbereich, aber auch ausgeprägte Anteile von Fehl- und Doppelbelegungen aufweist (Abb. 18). Überraschend ist dabei, daß bei den Varianten 3,3 km/h und 4,8 km/h die Doppelbelegungen wesentlich höher sind als bei 6,8 km/h. Das gesamte Verteilungsbild deutet darauf hin, daß für dieses System eine Fahrgeschwindigkeit von ca. 6 - 7 km/h das Optimum darstellt.

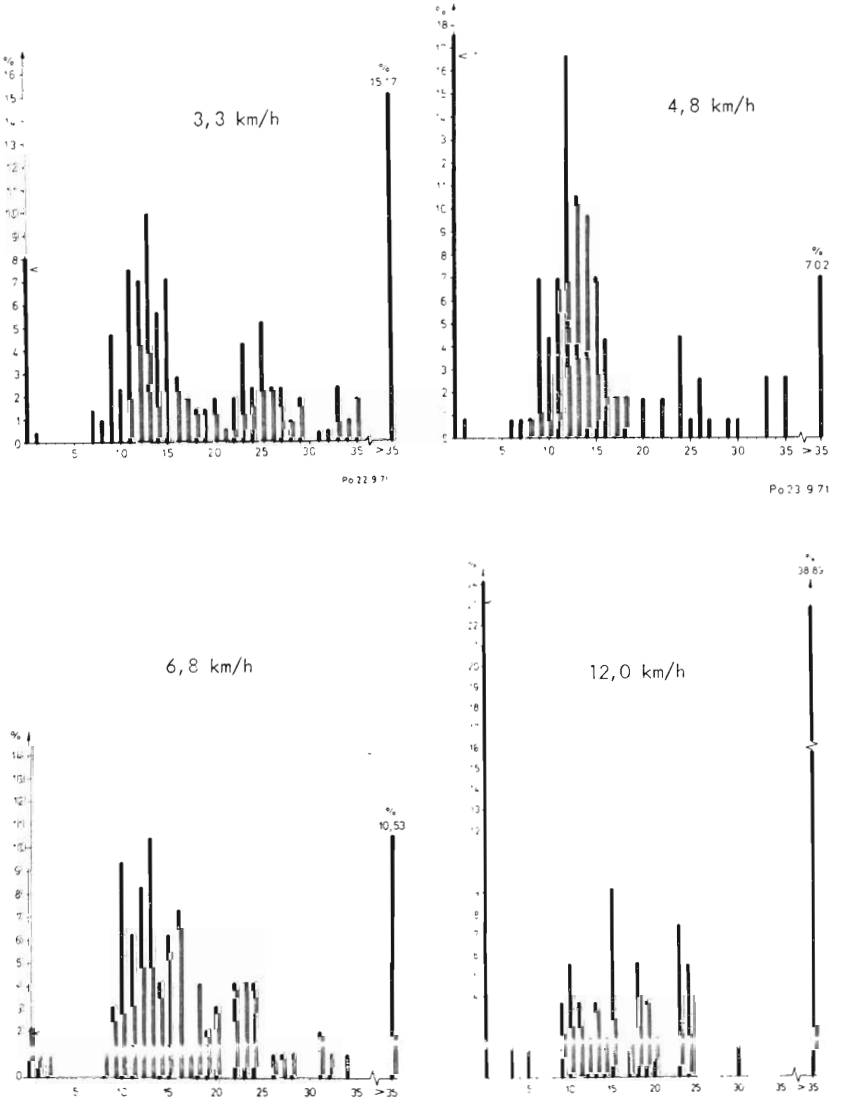


Abb. 19: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System II (1971)

Das System II (Abb. 19) weist bei einer Geschwindigkeit von 4,8 km/h die günstigste Kornverteilung auf, jedoch liegt der Anteil von Doppelbelegungen bei über 17 %. Bei den niedrigeren und höheren Geschwindigkeitsstufen überwiegen dagegen die Fehlstellenanteile.

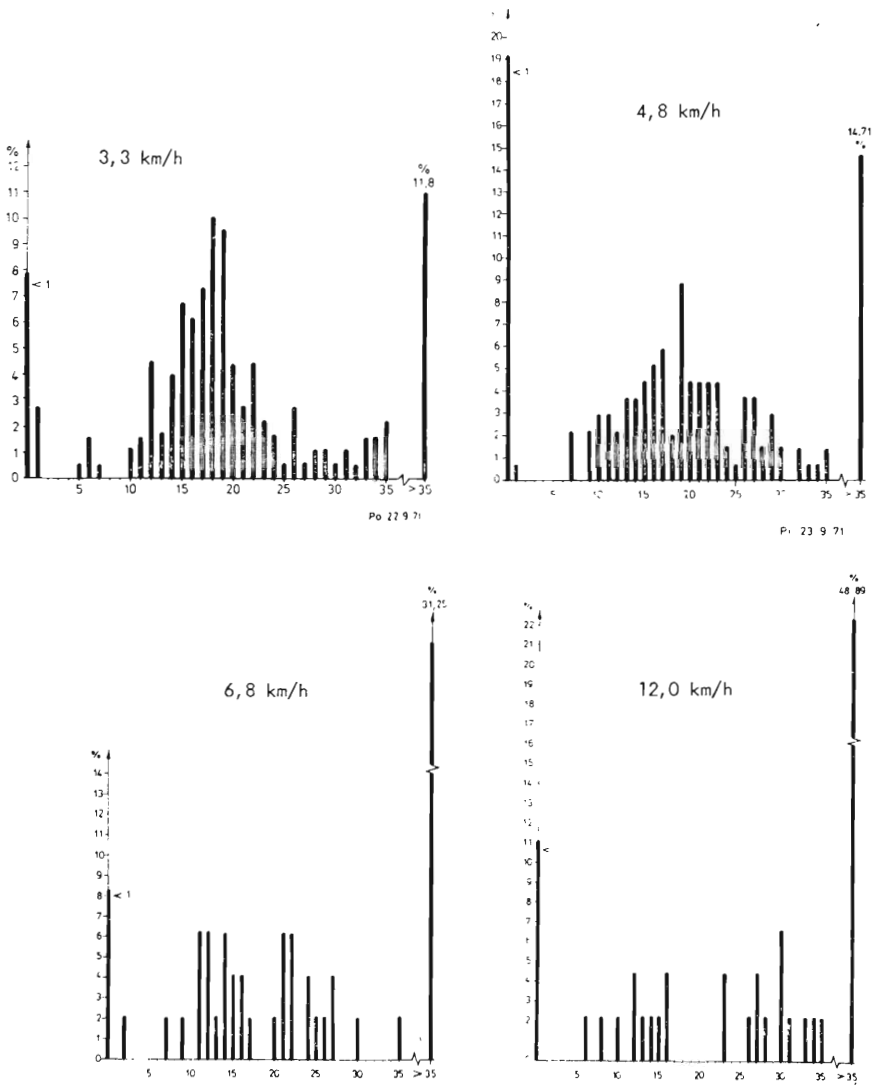


Abb. 20: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System III (1971)

Demgegenüber kann das System III (Abb. 20) lediglich bei einer Fahrgeschwindigkeit von 3,3 km/h ein befriedigendes Ablageergebnis erzielen. Der Fehlstellenanteil liegt trotz exakter Abstimmung von Kornkaliber und Zellenform auch bei dieser Fahrgeschwindigkeit bereits bei 11, 8 %. Eine Steigerung der Fahrgeschwindigkeit führt zu einer rapiden Verschlechterung der Ablageergebnisse.

Ein Steigern der Arbeitsgeschwindigkeit auf 12 km/h führt bei allen Systemen zu einer extremen Verschlechterung der Ablagegenauigkeit. Hier liegt eine schlechthin unkontrollierte Kornablage mit extrem hohen Fehlstellen und Doppelbelegungen vor.

Versuchsjahr 1972

In diesem Jahr konnten folgende Ablagesysteme vergleichend untersucht werden:

System I : Saugluftgerät mit Lochring und Kammerrad (deutsche Entwicklung).

System II : verbessertes Löffelradsystem mit Kammerrad (deutsche Entwicklung).

System III : Saugluftgerät mit Lochscheibe, eine Reihe Lochbohrungen (französische Entwicklung).

System IV : Druck-Spülsystem (deutsche Entwicklung).

Die Systeme III und IV wurden auf zwei Versuchsstandorten bei gerätebedingten theoretischen Kornabständen von ca. 10 bzw. 13,5 cm eingesetzt. Da jedoch die Systeme I und II lediglich auf einem Standort mit 10 cm Kornabstand in der Reihe zum Einsatz gelangen konnten, bezieht sich der Systemvergleich auf diesen einen gemeinsamen Versuchsort. Als Maissorte stand die französische Sorte "INRA 200" zur

Verfügung. Geringfügige Unterschiede in den Geschwindigkeitsstufen ergaben sich aus der Gangabstufung der beiden verwendeten Ackerschlepper.

In den graphischen Darstellungen der Ablageergebnisse kennzeichnet die äußere Klammer unter der Abszisse den Bereich des Korn-Sollabstandes, die innere Klammer den Standgenauigkeits-Bereich.

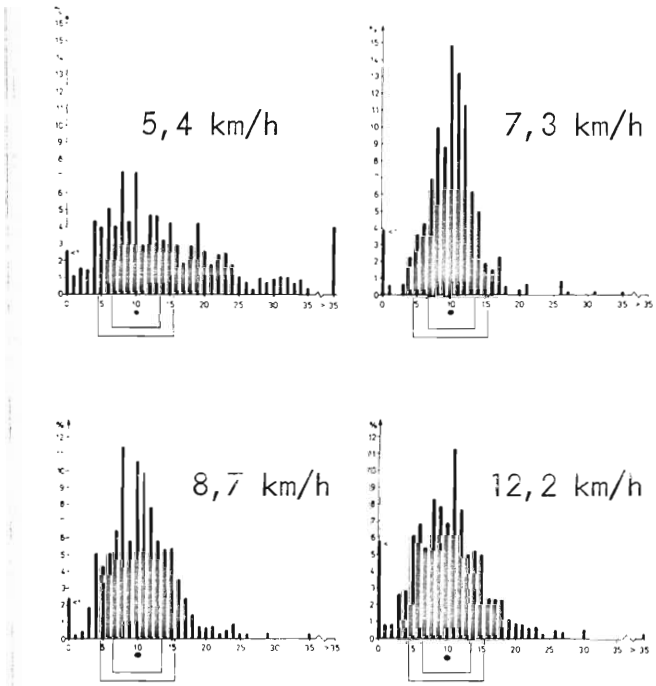


Abb. 21: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System I (1972)

Die Versuchsergebnisse zeigen für das System I bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 5,4 km/h eine befriedigende, bei allen höheren Fahrgeschwindigkeiten eine relativ günstige Pflanzenverteilung (Abb. 21). Erstaunlich ist der über alle Geschwindigkeitsbereiche hinweg geringe Anteil von Fehl- und Doppelbelegungen.

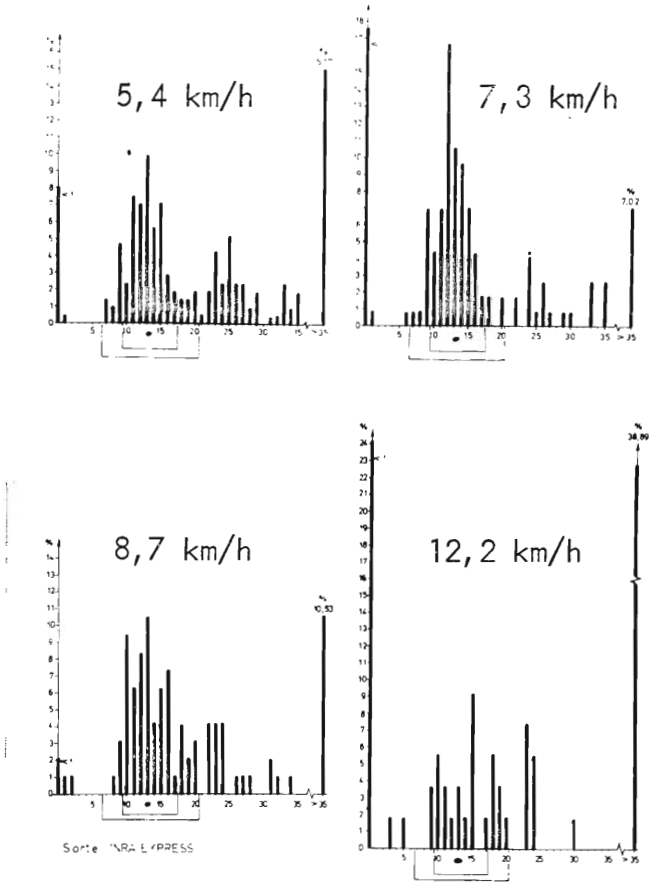


Abb. 22: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System II (1972)

Das System II erreichte bis zu einer Vorfahrt von 6,8 km/h eine günstige Pflanzenverteilung, verursachte aber bei 3,3 km/h einen relativ hohen Anteil an Fehlstellen, bei 4,8 km/h viele Doppelbelegungen. Die günstigsten Werte wurden bei 6,8 km/h erreicht, bei einem weiteren Steigern der Arbeitsgeschwindigkeit nimmt die Ablagegenauigkeit sprunghaft ab (Abb. 22).

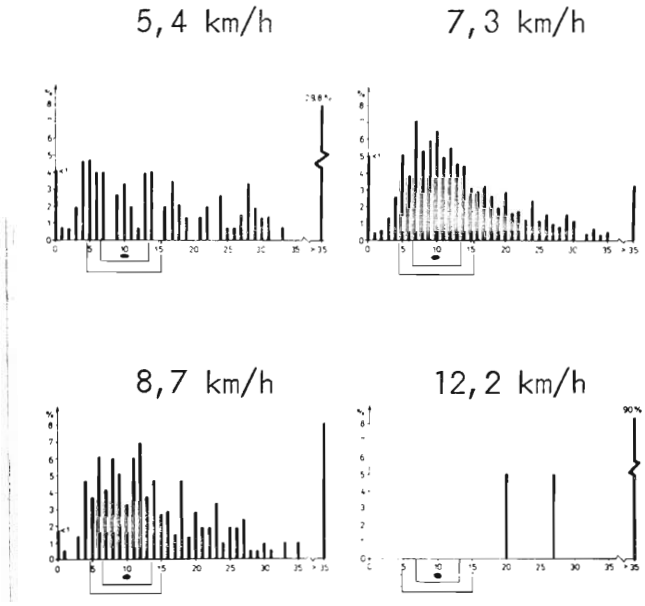


Abb. 23: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System III (1972)

Bei System III (Abb. 23) zeigt sich in allen Geschwindigkeitsbereichen eine relativ ungünstige Pflanzenverteilung ohne ausgeprägte Spitze im Sollbereich. Die Doppel- bzw. Fehlstellenanteile liegen bei 7,2 und 8,6 km/h zwar niedrig, bei 5,4 und 12,2 km/h ergeben sich jedoch extrem hohe Fehlstellenanteile.

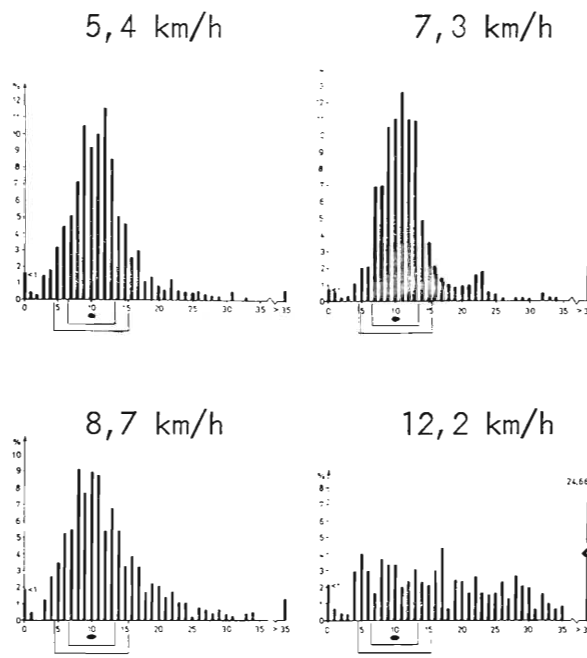


Abb. 24: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System IV (1972)

Dagegen weist das System IV insbesondere bei Fahrgeschwindigkeiten bis 8,3 km/h eine sehr gute Ablagegenauigkeit auf (Abb. 24). Die Anteile von Doppel- und Fehlstellen sind erstaunlich gering. Erst ab einer Fahrgeschwindigkeit von 11,3 km/h ist ein spürbarer Anstieg der Fehlstellen zu beobachten.

Versuchsjahr 1973

Im Versuchsjahr 1973 wurde in Anpassung an die fortgeschrittene technische Entwicklung ein etwas abgewandeltes Geräteprogramm eingesetzt:

System I : Saugluftgerät mit Lochring und Kammerrad (deutsche Entwicklung)

System II : Saugluftgerät mit Lochscheibe, eine Reihe Lochbohrungen (französische Entwicklung).

System III : Druckspülsystem (deutsche Entwicklung).

System IV : neu in die Vergleichsuntersuchungen aufgenommen wurde ein Druckluftsystem mit zentraler Lochtrommel und Transport der Körner zum Säschar mittels Druckluftstrom (US-amerikaische Entwicklung).

Die Systeme I bis III standen in der vierreihigen Version zur Verfügung, das System IV in der sechsreihigen Ausstattung. Das Saatgut entstammte aus der Sorte "DEKALB SENATOR".

Für den direkten Systemvergleich wird die Darstellungsform der prozentualen Häufigkeit bei Doppel-, Soll- und Fehlstellen über der Fahrgeschwindigkeit und den theoretischen Sollabstand verwendet. Die Graphiken mit den Einzelergebnissen, dargestellt als Normalverteilung, befinden sich im Anhang (Abb.4-7)

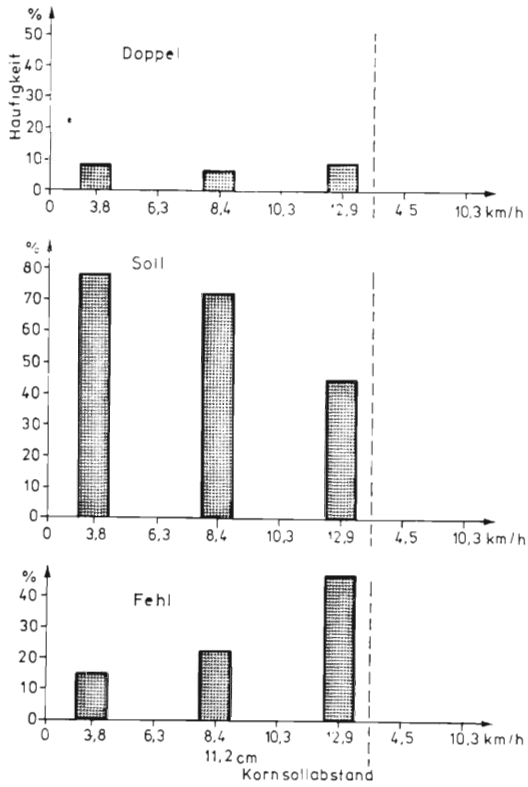


Abb. 25: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System I (1973)

Das System I konnte aus technischen Gründen nur bei 11,2 cm Kornsollabstand und drei Geschwindigkeitsstufen untersucht werden. Es zeigte über alle Geschwindigkeitsstufen hinweg einen geringen Anteil an Doppelbelegungen (Abb. 25). Dagegen lagen die Fehlbelegungen bereits bei 3,8 km/h über dem zulässigen Wert von 10 % und nahmen mit steigender Vorfahrt erheblich zu.

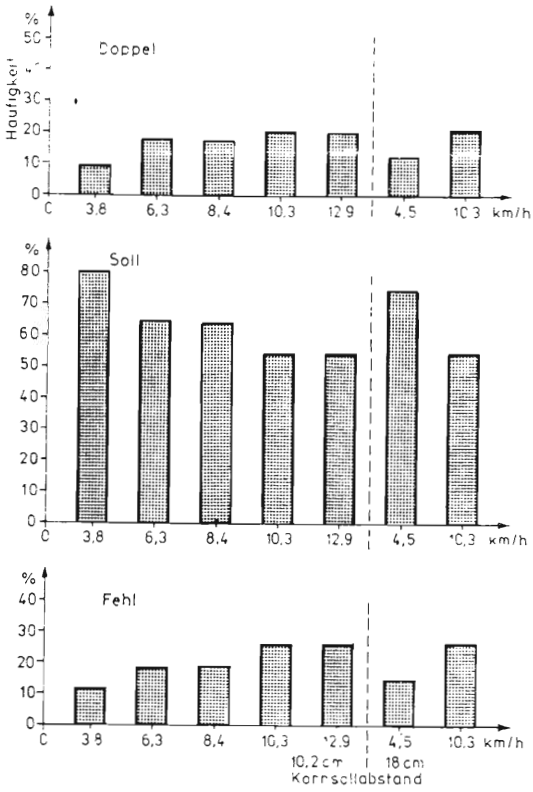


Abb. 26: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System II (1973)

Bei System II verhielten sich Fehlstellen - und Doppelstellenanteile mit steigender Fahrgeschwindigkeit nahezu konstant (Abb. 26), lagen jedoch mit Ausnahme der Doppelstellen bei 3,8 km/h stets über den zulässigen Werten. Überraschend ist, daß bei 18 cm Korn-Sollabstand und vergleichbaren Arbeitsgeschwindigkeiten keine günstigeren Werte im Vergleich zu 10,2 cm Kornabstand erzielt werden konnten.

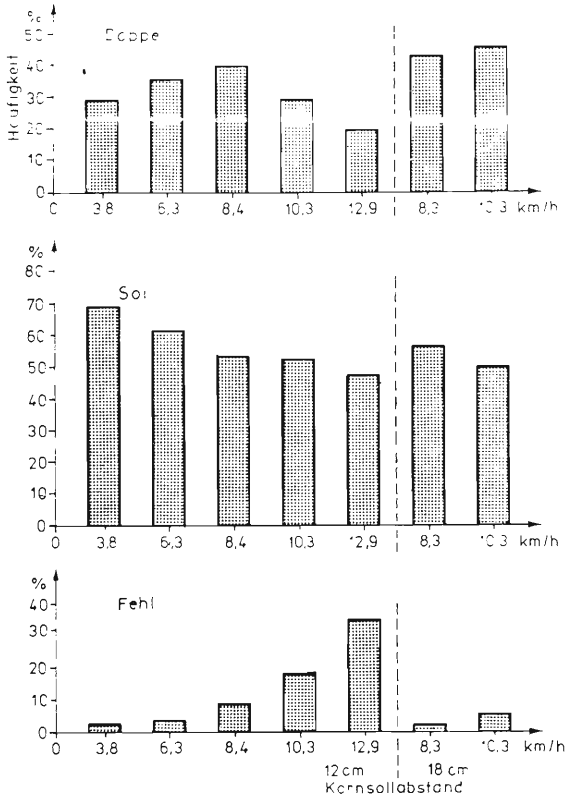


Abb. 27: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System III (1973)

Das System III verursachte bereits bei geringer Vorfahrt extrem hohe Doppelbelegungen (Abb. 27). Wie eine Nachprüfung ergab, wurden diese durch eine fehlerhafte Anzeige des Luftdruckes am Manometer und damit Vorliegen eines zu geringen Luftdruckes an der Spüldüse verursacht. Dieser Umstand macht die Probleme offenkundig, die beim praktischen Einsatz pneumatischer Einzel-Sämaschinen entstehen können. Dagegen übersteigen die Fehlstellenanteile erst ab einer Fahrgeschwindigkeit von 10,3 km/h und einem Kornabstand von 12 cm die zulässigen Werte.

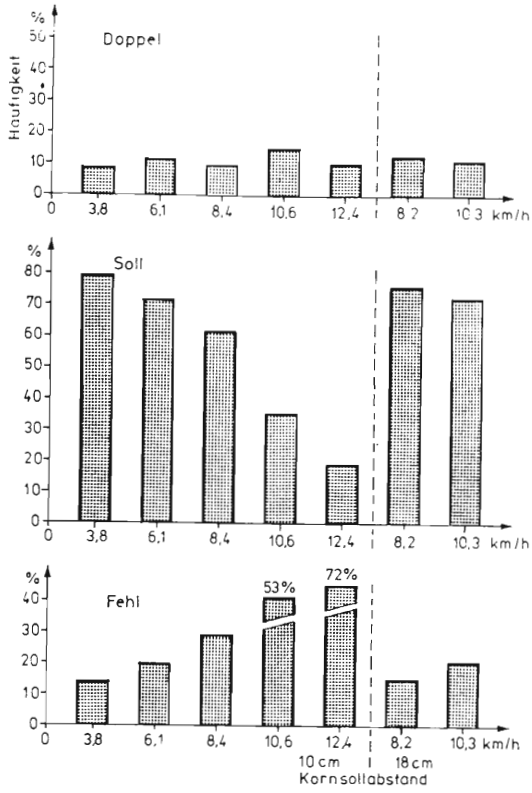


Abb. 28: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System IV (1973)

Bei dem US-System IV äußert sich die Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit in einer einseitig extremen Erhöhung des Fehlstellenanteiles. Die Doppelbelegungen bleiben dagegen im gesamten Geschwindigkeitsbereich nahezu konstant (Abb. 28) und übersteigen kaum die 10 % Marke. Die Ursache hier ist in der unzureichenden Funktion und fehlenden Verstellbarkeit der Abstreifbürste zu suchen. Die hier dargestellten Untersuchungsergebnisse stellen Mittelwerte aus allen 6 Reihen dar. Die Differenzen in der Kornablage zwischen den äußeren und den inneren Reihen sind in den Anhangs-Graphiken (6 , 7) zusammengestellt.

Versuchsjahr 1974

Für die Versuchseinsätze im Jahr 1974 standen insgesamt sechs kalibrierungs-unempfindliche Einzelkorn-Sämaschinen mit unterschiedlichem Ablageprinzip bzw. konstruktiv abweichender Gestaltung des Sämechanismus zur Verfügung:

- System I : Verbesserte Löffelradmaschine mit Kammerrad und 18-Löffel- bzw. 36-Löffel-Scheibe (deutsche Entwicklung)
- System II : Saugluftsystem mit Lochring und Kammerrad (deutsche Entwicklung)
- System III : Saugluftsystem mit Lochscheibe, eine Reihe Lochbohrungen (deutsche Entwicklung)
- System IV : Saugluftsystem mit Lochscheibe, 2 Reihen Lochbohrungen (französische Entwicklung)
- System V : Druckspülsystem (deutsche Entwicklung)
- System VI : Druckluftsystem mit Lochtrommel und pneumatischem Saatguttransport (US-amerikanische Entwicklung)

Die Systeme I - V standen in 4-reihiger Ausführung zur Verfügung. Für die Auswertung der hier erzielten Ablageergebnisse wurden jeweils die beiden mittleren Maschinenreihen herangezogen, um Einflüsse der Randreihen auszuschließen. Das System VI ist eine sechsreihige US-amerikanische Konstruktion, bei welcher alle 6 Reihen für die Auswertung erfaßt wurden.

Das Saatgut entstammte der Sorte "Dekalb Brilliant", Kalibrierungsstufe mittelflach, TKG 235 - 250 g, der durchschnittliche Feldauf-

aufgang betrug 92 %.

In diesem Versuchsjahr wurde ein mehrfaktiorelles Untersuchungs- und Auswertungsprogramm mit folgenden Varianten erstellt und abgewickelt:

. Zwei Kornsollabstände (10,5-11,5 cm und 15,0-16,0 cm).

. Mehrere Fahrgeschwindigkeitsstufen in Abhängigkeit vom jeweils vorhandenen Schlepper: zwischen 6,3 und 11,6 km/h für die Systeme I - V sowie 4,3 und 8,4 km/h für das System VI. Die genauen Geschwindigkeitsstufen sind jeweils auf den graphischen Darstellungen bzw. in den Tabellen angegeben.

. Einfluß des Kornabstandes in der Reihe und der Fahrgeschwindigkeit auf den Sollbereich, auf Fehlstellen und Doppelbelegungen.

. Einfluß des Kornabstandes und der Fahrgeschwindigkeit auf die Standgenauigkeit

. Bei System VI Einfluß des Säsystems auf die Kornverteilung in den einzelnen Saatreihen

. Tiefenablage der Saatkörner bei steigender Fahrgeschwindigkeit

Hinsichtlich des Einflusses der Arbeitsgeschwindigkeit auf den Sollbereich, auf Fehl- und Doppelstellen ergaben sich für die verschiedenen Ablagesysteme folgende Ergebnisse (die Normalverteilungsgrafiken befinden sich im Anhang, Abb.8-12):

System I, Löffelscheibe "K" mit 18 Löffeln: Bei 10,5 cm Kornabstand konnte auch bei 6,3 km/h mit nur 52,2 % der Pflanzen im Sollbereich keine befriedigende Ablagequalität erzielt werden (Abb. 29). Mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit verringert sich dieser Wert weiterhin und beträgt bei 9,3 km/h nur noch 37,5 %. Gleichzeitig erhöhen

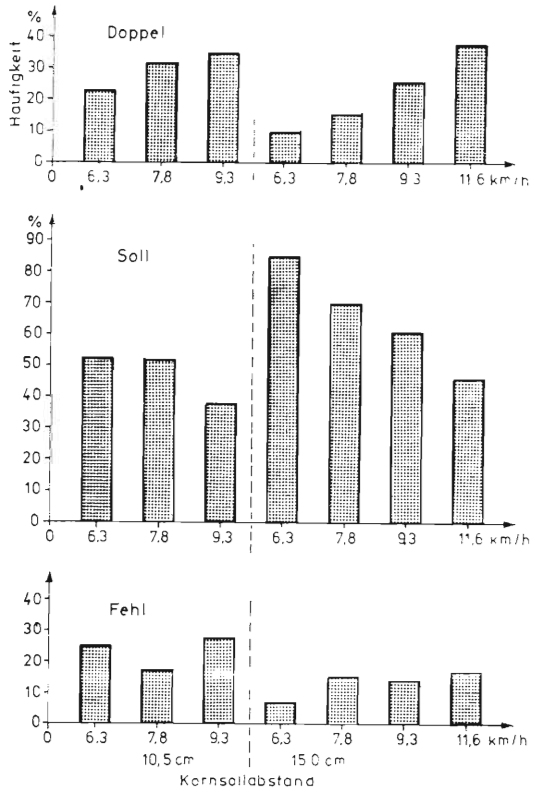


Abb. 29: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System I mit 18-Löffel-Scheibe (1974)

sich vor allem die Doppelstellen. Sie liegen bereits bei 6,3 km/h mit 23,3 % wesentlich über dem zulässigen Maximalwert von 10 %, steigern sich dann bei 9,3 km/h auf 34,3 %. Die graphische Darstellung nach dem Prinzip der Gaus`schen Verteilung (Anhang, Abb. 8) läßt erkennen, daß in allen Geschwindigkeitsstufen im Sollbereich keine ausgeprägte Verteilungsspitze vorliegt.

Bei 15,0 cm Kornsollabstand zeigen sich zumindest in den unteren Geschwindigkeitsbereichen günstigere Werte. Bei 6,3 km/h liegen 84,3 % der Körner im Sollbereich, Doppel- und Fehlstellen bleiben deutlich unter der zulässigen Höchstgrenze. Dies äußert sich in der graphischen Darstellung in einem ausgeprägten Verteilungsgipfel über dem

Sollbereich. Bereits bei 7,8 km/h sind jedoch schon 15,7 % Doppelstellen 14,8 % Fehlstellen zu verzeichnen, nur noch 69,5 % der Körner liegen im Sollbereich. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit verschlechtern sich diese Werte zusehens, insbesondere die Doppelstellen nehmen sprunghaft zu. Dies ist, ebenso wie bei 10,5 cm Kornabstand darauf zurückzuführen, daß bei steigender Arbeitsgeschwindigkeit und damit auch steigenderUmfangsgeschwindigkeit der Löffelscheibe die Zeitspanne für das Abfallen überzähliger Körner von den Schöpflöffeln zu kurz ist. Die konstruktiv vorgesehene "Vereinzelung" der Körner auf dem Wege bis zur Übergabe in das Kammerrad kann nicht erfolgen.

System I, Löffelscheibe "K" mit 36 Löffeln: Die oben geschilderten, negativen Auswirkungen einer Steigerung der Umlaufgeschwindigkeit der Löffelscheibe bei steigender Fahrgeschwindigkeit lassen sich in erster Linie durch ein Erhöhen der Löffelzahl kompensieren. Deshalb wurde versuchsweise eine Löffelscheibe mit 36 Löffeln (Abb. 30) in Verbindung mit dem vorhandenen Kammerrad verwendet, welches ohnehin in der Grundausstattung mit 36 Kammern ausgestattet ist.

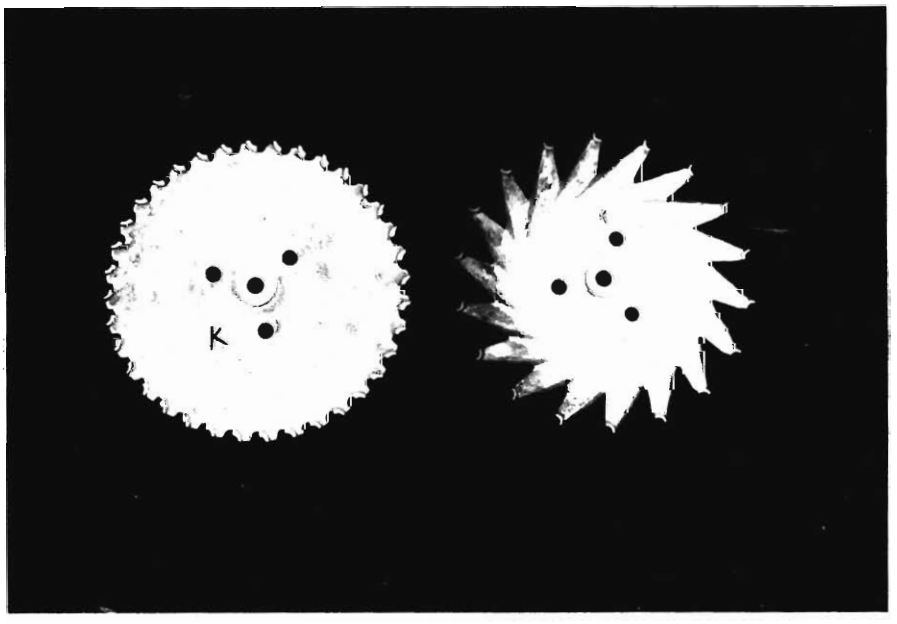


Abb. 30: Löffelscheiben für Ablagesystem I
(rechts: ursprüngliche Bauform mit 18 Schöpflöffeln;
links: weiterentwickelte Löffelscheibe mit 36 Schöpflöffeln).

Durch die hiermit bewirkte Halbierung der Umlaufgeschwindigkeit wurden erheblich günstigere Ablageergebnisse erzielt (Abb. 31). Noch bei 7,4 km/h werden bei beiden Kornsollabständen rund 75 % der Körner im Sollbereich abgelegt, erst eine weitere Geschwindigkeitssteigerung reduziert die Werte auf 58,9 % bzw. 62,2 %. Die graphische Darstellung zeigt wesentlich ausgeprägtere Verteilungsgipfel über dem Sollbereich (vgl. Anhang).

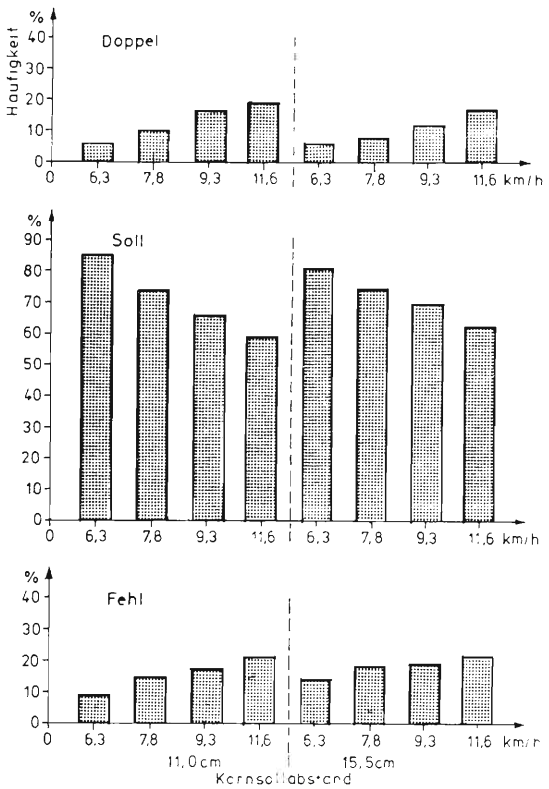


Abb. 31: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System I mit 36-Löffel-Scheibe (1974)

In den Negativ-Stellen ergibt sich eine Umkehrung gegenüber der 18-Löffel-Scheibe. Während dort eindeutig höhere Doppelbelegungen zu verzeichnen waren, überwiegen bei der 36-Löffel-Scheibe die Fehl-

stellen in allen Geschwindigkeitsstufen. Die Ursache hierfür ist in der bei diesem Prototyp noch nicht optimal gestalteten Löffelform zu suchen.

System II: Bei einem Kornsollabstand von 10,5 cm konnten nur bei 6,3 km/h mit 77,4 % aller Körner im Sollbereich eine befriedigende Ablagegenauigkeit erzielt werden (Abb. 32). Dagegen wird bei 15 cm Kornabstand noch bei einer Fahrgeschwindigkeit von 9,3 km/h mit 79,0 % der Pflanzen im Sollbereich, 10,7 % Doppel- und 10,3 % Fehlstellen ein sehr gutes Ablageergebnis erreicht. In allen Geschwindigkeitsstufen ist der Anteil an Doppelstellen etwas höher als der an Fehlstellen. Die graphische Darstellung zeigt bei den niedrigen Geschwindigkeitsstufen einen deutlichen Verteilungsgipfel über dem Sollbereich, bei höheren Arbeitsgeschwindigkeiten flacht dieser jedoch ab (vgl. Anhang).

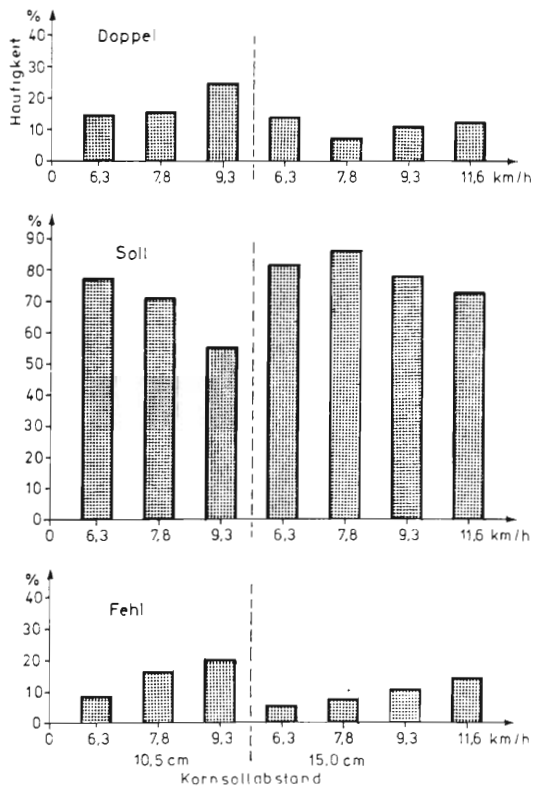


Abb. 32: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System II (1974)

System III: Dieses Ablagesystem brachte bei beiden Kornsollabständen und in allen Geschwindigkeitsstufen eine relativ gleichmäßig-hohe Anzahl von Pflanzen im Sollbereich (Abb. 33). Ebenso lagen die Doppelstellen mit Ausnahme der Variante 15,0 cm/11,6 km/h immer unterhalb des zulässigen Maximalwertes von 10 %. Dagegen sind in allen Geschwindigkeits- und in beiden Kornabstandsstufen unzulässig hohe Fehlstellenanteile zu verzeichnen. Nachprüfungen ergaben als Ursache, daß in der Wirkung des Abstreifers zwischen den Abdrehproben und dem praktischen Feldeinsatz erhebliche Unterschiede bestehen. Eine beim Abdrehen (mit aus technischen Gründen meist geringerer Geschwindigkeit) optimale Abstreifereinstellung führt bei den im praktischen Versuchseinsatz eingehaltenen Arbeitsgeschwindigkeiten und damit höheren Umlaufgeschwindigkeiten der Lochscheibe zu einem überhöhten Abstreifen der Körner und damit Fehlstellenanteil. Die graphische Darstellung zeigt, daß in allen Varianten trotz der günstigen Ablageergebnisse kein ausgeprägter Verteilungsgipfel über dem Sollbereich vorliegt (vgl. Anhang).

System IV: Dieses erstmals in den Vergleichsversuchen eingesetzte System brachte sehr unterschiedliche Ergebnisse. Zwar wurde bei 16,0 cm Sollabstand und 6,3 km/h die beste Ablagegenauigkeit aller Vergleichsgeräte mit 87,9 % der Pflanzen im Sollbereich erreicht (Abb. 34). Die übrigen Werte zeigen jedoch keine einheitliche geschwindigkeitsabhängige Tendenz. Auffallend ist das ungünstige Abschneiden bei engem Kornabstand, hier wurden auch bei der niedrigsten Geschwindigkeitsstufe mit 14,3 % bzw. 16,5 % die zulässigen Werte für Doppel- und Fehlstellen wesentlich überschritten. Bei 16,0 cm Kornsollabstand überwiegen jedoch eindeutig die Fehlstellen. Auch bei diesem System ist in der graphischen Darstellung außer bei der Variante 10,5 cm/6,3 km/h kein ausgeprägter Verteilungsgipfel zu erkennen (vgl. Anhang).

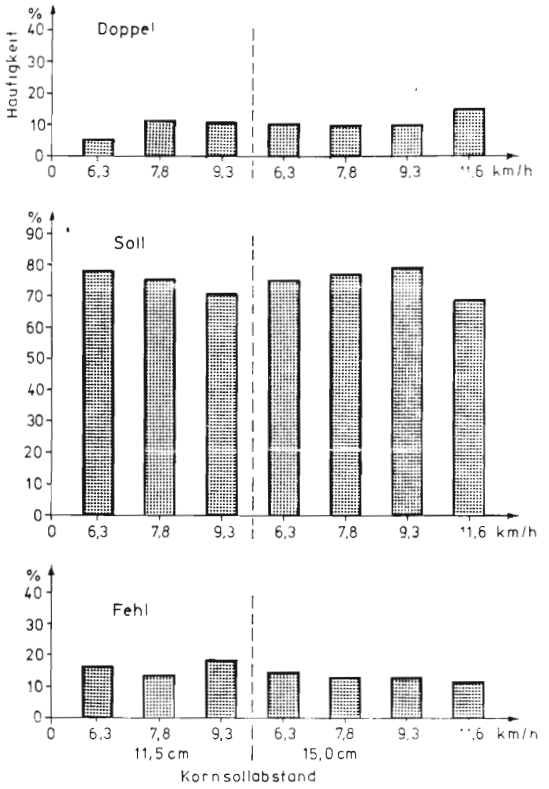


Abb. 33: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System III (1974)

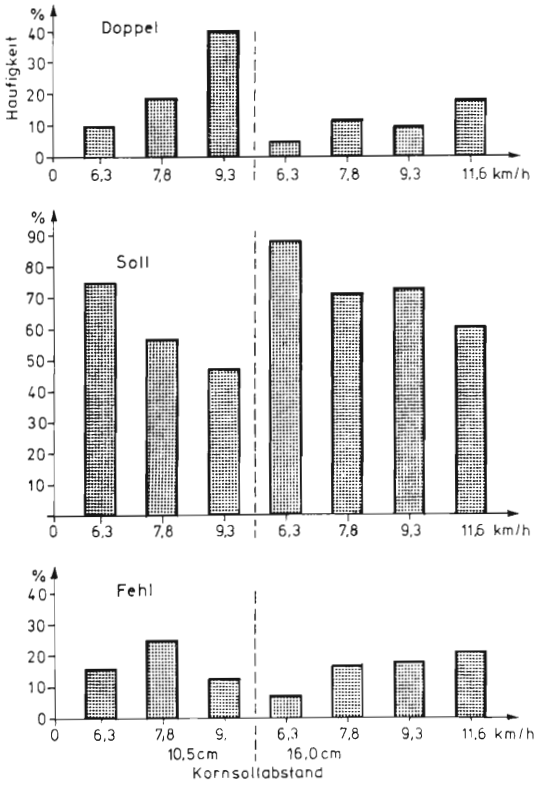


Abb. 34: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System IV (1974)

System V: Dieses System zeigte in beiden Kornsollabstands-Stufen mit Ausnahme der schnellsten Fahrgeschwindigkeit recht ausgeglichene und günstige Ablageergebnisse (Abb. 35). Auffallend ist der geringe Anteil an Fehlstellen bei 15,3 cm Kornsollabstand, der bis einschließlich 9,3 km/h unterhalb 9 % liegt und auch bei 11,6 km/h nur 12,4 % beträgt, allerdings auf Kosten eines höheren Anteils an Doppelstellen. Die Erfahrungen zeigten, daß bei diesem Druckspülsystem dem Einhalten des optimalen Luftdruckes in Abhängigkeit vom Korngewicht (Tausendkorngewicht) im Hinblick auf das Erzielen einer hohen Ablagequalität besondere Bedeutung zukommt. Die graphische Darstellung bestätigt diese Ergebnisse mit deutlichen Verteilungsgipfeln zumindest in den unteren Geschwindigkeitsstufen (vgl. Anhang).

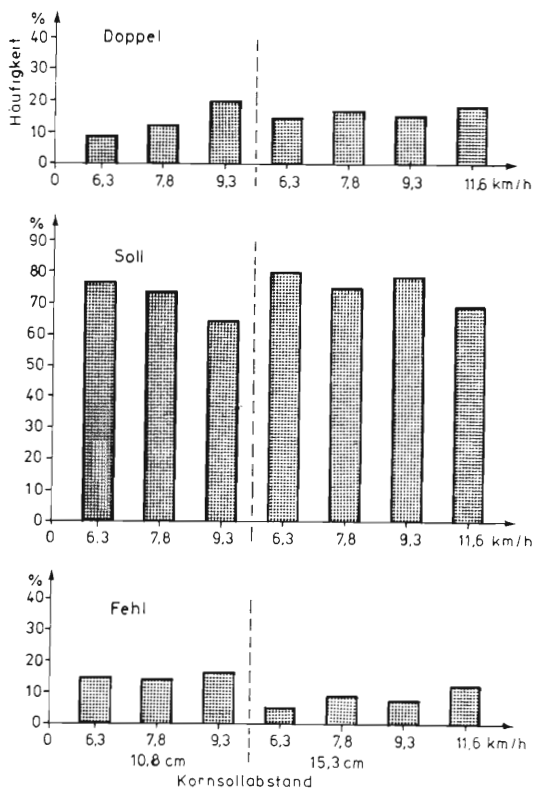


Abb. 35: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System V (1974)

System VI: Mit diesem System konnten aus technischen Gründen lediglich drei Geschwindigkeitsstufen gefahren werden, wobei sich in der Fahrgeschwindigkeit schlepperbedingt geringfügige Unterschiede zu den vorgenannten Versuchseinsätzen ergaben.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß sowohl hinsichtlich des Sollbereiches (bester Wert 67,9 % bei 15,6 cm und 4,3 km/h) als auch bei den Doppel- und Fehlstellen (beste Werte 16,6 % bzw. 15,5 %) im Vergleich zu den übrigen Ablagesystemen relativ ungünstige Werte erreicht werden (Abb. 36). Dies äußert sich auch in der graphischen Darstellung, wo in keiner Variante ein echter Verteilungsgipfel zu erkennen ist. Als Ursache hierfür ist unter anderem die Funktion der Abstreifbürste anzusehen, deren Wirkung nicht verstellbar ist und

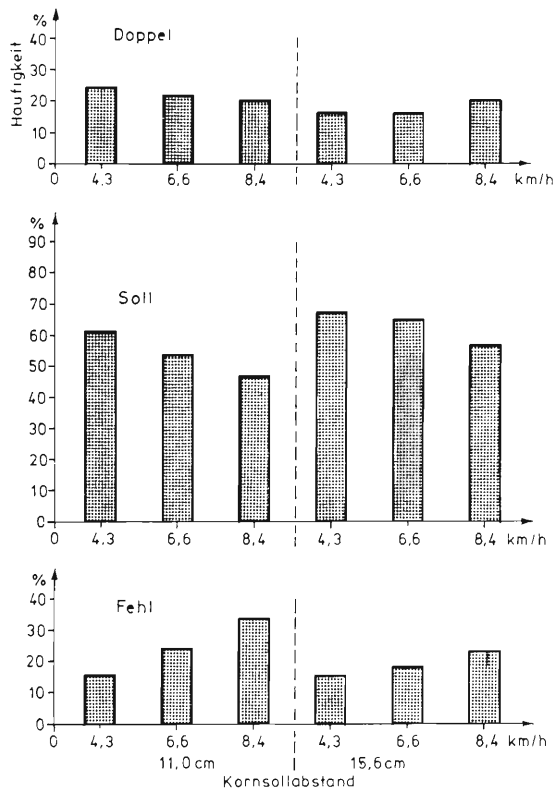


Abb. 36: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit bei System VI (1974) (Darstellungen der Normalverteilung im Anhang)

dadurch keine Feineinstellung ermöglicht, wie dies bei anderen Ablagesystemen der Fall ist. Der Vergleich zwischen den Ablageergebnissen der einzelnen Reihen ist wiederum in den Anhangs-Darstellungen (7,11,12) zu finden.

4.4 Vergleich der kalibrierungs-unempfindlichen Säsysteme

Die umfangreichen Versuchsergebnisse insbesondere des Anbaujahres 1974 machen es möglich, die eingesetzten Ablagesysteme einem direkten Vergleich hinsichtlich der erzielten Ablagegenauigkeit zu unterziehen.

4.4.1 Kornablage im Sollbereich

Ein Vergleich der Ablageergebnisse im Sollbereich ist für alle Säsysteme für das Jahr 1974 in Tabelle 3 zusammengestellt.

System	Korn-Sollabstand 10,5 - 11,5 cm			Korn-Sollabstand 15,0 - 16,0 cm			
	6,3 km/h	7,8 km/h	9,3 km/h	6,3 km/h	7,9 km/h	9,3 km/h	11,6 km/h
I Löffelscheibe, 18 Löffel	52,2	51,8	37,5	84,3	69,5	60,5	46,1
I Löffelscheibe, 36 Löffel	85,0	74,5	66,1	80,6	74,4	70,0	62,2
II Lochring + Kammerrad	77,4	71,0	55,3	81,3	86,5	79,0	72,9
III Lochscheibe (1Reihe)	78,3	75,3	71,0	75,0	77,3	78,7	68,9
IV Lochscheibe (2 Reihen)	74,2	56,4	47,1	87,9	71,2	72,9	60,2
V Druckspülsystem	76,5	73,7	64,0	80,2	74,3	78,2	69,5
	4,3 km/h	6,6 km/h	8,4 km/h	4,3 km/h	6,6 km/h	8,4 km/h	— —
VI Druckluftsystem	62,5	53,7	45,7	67,9	64,4	60,0	— —

Tabelle 3: Vergleich der Sollbereichs-Ergebnisse (Angaben in %)

Dabei zeigt sich, daß generell das mechanische Schöpflöffelsystem zumindest mit der neuentwickelten 36-Löffel-Scheibe in nahezu allen Kornsollabstands- und Fahrgeschwindigkeitsvarianten vergleichbare oder bessere Ablageergebnisse erzielt wie die pneumatischen Säsysteme. Ermittelt man innerhalb der einzelnen Varianten die Reihenfolge der Systeme und bildet daraus eine durchschnittliche Wertzahl, so ergibt sich folgende generelle Reihenfolge:

Reihenfolge der Systeme	Wertzahl[1)]
1. System II	2,4
2. System III	2,6
3. System I/36	3,0
4. System V	3,4
5. System IV	4,3
6. System I/18	5,4

Tabelle 4: Reihenfolge und Wertzahl der Ablagesysteme im Sollbereich

[1)] Beispiel: System I nimmt in den verschiedenen Varianten lt. Tab. 3 folgende Plätze ein (Platz 1 = günstigstes Ergebnis, Platz 6 = ungünstigstes Ergebnis): 3/4/4/3/1/1/1 ≙

Platzzahl 17 : 7 Varianten = Wertzahl 2,4

Das System VI konnte infolge der abweichenden Fahrgeschwindigkeitsstufen bei diesem Vergleich nicht direkt berücksichtigt werden, würde sich jedoch an vorletzter Stelle einordnen.

In Anbetracht der Tatsache, daß vielfach das exakte Einhalten der gewünschten Gesamt-Pflanzenzahl/ha höher bewertet wird als der genaue Kornabstand in der Reihe, wurde in einer zusätzlichen Auswertung die folgenden Werte einander gegenübergestellt:

1. theoretische Anzahl Körner/ha laut Betriebsanleitung für den entsprechenden Kornsollabstand

2. tatsächlich abgelegte Anzahl Körner/ha

3. aufgelaufene Pflanzen/ha bei einem Feldaufgang von durchschnittlich 92 %

4. prozentuale Abweichung der unter 2 und 3 ermittelten Werte von dem Tabellenwert

Die Ergebnisse, die in den Anhangstabellen (13 - 19) zusammengestellt sind, geben ein außerordentlich unterschiedliches Bild. Während sich bei einigen Systemen die tatsächlich abgelegte Anzahl von Körnern nur konstant geringfügig vom Tabellenwert unterscheidet (z.B. SystemI/ 36 Löffel, System III) liegen bei anderen Systemen stark abweichende oder innerhalb einer Kornsollabstandsgruppe erheblich differierende Werte vor (z.B. System I/18 Löffel/10,5 cm; System II; System V; System VI). Da sich diese Unterschiede auch im aufgelaufenen Pflanzenbestand - allerdings durch den verringerten Feldaufgang abgeschwächt - wiederfinden, kommt letztlich doch dem Einhalten einer möglichst hohen Ablagequalität mit geringen Doppel- und Fehlstellen eine vorrangige Bedeutung zu.

4.4.2 Standgenauigkeit

Die Standgenauigkeit wurde für alle Geräte zusätzlich zur Sollablage ermittelt. Wie bereits erwähnt umfaßt die Standgenauigkeit einen Bereich von ± 3,5 cm vom theoretischen Kornsollabstand. Die ermittelten Werte für die Geräte I - V sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

		Fahrgeschwindigkeit km/h			
		6,3	7,8	9,3	11,6
System	Korn-Soll-abstand	%	%	%	%
I K 18 Metall[1]	10,5 cm 15,0 cm	48,0 64,0	53,6 45,6	40,6 33,8	- 33,6
I K 36 Metall	11,0 cm 15,5 cm	71,9 58,0	62,6 43,9	51,7 44,9	49,3 39,3
II	10,5 cm 15,0 cm	68,9 66,5	60,6 61,0	58,6 55,6	- 41,4
III	11,5 cm 15,0 cm	54,9 54,9	56,3 51,6	50,7 47,1	- 43,0
IV	10,5 cm 16,0 cm	60,3 52,4	48,8 43,2	52,6 39,8	- 38,5
V	10,8 cm 15,3 cm	77,6 80,1	64,5 67,3	57,1 61,2	- 44,3

[1] Metall-Druckrolle

Tabelle 5: Standgenauigkeit bei steigender Arbeitsgeschwindigkeit

Die Ergebnisse für die Systeme I - V zeigen, daß bei allen Geräten die durchschnittliche Standgenauigkeit mit steigender Vorfahrt konstant abnimmt. Erstaunlich sind jedoch die zum Teil geringfügigen Unterschiede zwischen 10,5 - 11,5 cm bzw. 15,0 - 16,0 cm Korn-Sollabstand (z.B. System II, II und V).

In Anlehnung an die Auswertung des Sollbereiches wurde auch für die Ergebnisse der Standgenauigkeitsuntersuchungen eine Wertzahl für die einzelnen Systeme gebildet:

Reihenfolge der Systeme	Wertzahl
1. System V	1,1
2. System II	2,3
3. System I/36	3,6
4. System III	3,9
5. System IV	4,6
6. System I/18	5,1

Tabelle 6: Reihenfolge und Wertzahl der Ablagesysteme für die Standgenauigkeit

Diese Reihung zeigt, daß auch in den Standgenauigkeits-Ergebnissen das System II einen der vorderen Plätze einnimmt, aber auch das mechanische Löffelradprinzip mit 36 Löffeln liegt auf Platz 3 relativ günstig. Das System V, welches bei der Sollbereichs-Wertzahl auf Platz 4 liegt, erzielte bei den Standgenauigkeitsuntersuchungen das weitaus beste Ergebnis, welches sich in der sehr guten Wertzahl von 1,1 äußert.

Für das System VI wurden die Versuchsergebnisse gesondert ausgewertet. Wie bereits geschildert (vergleiche Seite 27) werden bei diesem Ablagesystem die Körner von einem zentralen Zuteilmechanismus mittels Druckluft in Saatleitungen unterschiedlicher Länge zu den 6 Ablagestellen gefördert. Die Länge der Transportrohre differiert zwischen 2,2 m bei den inneren Rohren bis zu 3,5 m bei den beiden äußeren Leitungen. Da erwartet wurde, daß sich in Abhängigkeit von der Transportstrecke Veränderungen im Einhalten eines exakten Kornabstandes in der Reihe ergeben, sollte die getrennte Ermittlung der Standgenauigkeit für jede einzelne Reihe eine zusätzliche Aussage ermöglichen. Die Ergebnisse, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind, zeigen jedoch kein einheitliches Bild.

Einsatzdaten		Reihe 1	2	3	4	5	6	Ø von 6 Reihen	Grenzdifferenz[1] %
Korn-Sollabstand 11,0 cm									
	4,3	62,4	45,3	55,4	59,8	51,6	64,2	56,5	39,5
Fahrgeschwindigkeit (km/h)	6,6	49,0	41,2	49,0	43,3	36,2	46,1	44,1	35,5
	8,4	34,8	29,9	46,2	31,7	35,7	31,6	35,0	58,0
Korn-Sollabstand 15,6 cm									
	4,3	52,6	41,3	48,7	46,1	42,3	42,3	45,6	25,0
Fahrgeschwindigkeit (km/h)	6,6	34,7	40,3	43,0	43,2	47,3	41,4	41,7	36,5
	8,4	42,4	38,6	36,5	37,9	38,5	38,0	38,7	16,0

[1] schlechteste Reihe = 100 %

Tabelle 7: Standgenauigkeit und Grenzdifferenz für die Einzelreihen bei System VI

Zwar nimmt die Standgenauigkeit mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit in beiden Kornsollabstands-Bereichen konstant ab, doch läßt sich keine einheitliche Relation zwischen Transportstrecke in der Saatleitung und der Standgenauigkeit ermitteln. Auch eine Reihung wie zuvor bei Sollabstand und Standgenauigkeit erbringt nur für die Reihen

1, 2, 4 und 6 eine annähernd einheitliche Tendenz. Überraschend hoch ist jedoch die maximale Grenzdifferenz zwischen den 6 Reihen (Abweichungen vom höchsten zum niedrigsten Wert), die im ungünstigsten Fall 58,0 % beträgt, aber auch noch im günstigsten Wert 16,0 % aufweist. Diese Ergebnisse decken sich in etwa mit Untersuchungen von BRINKMANN und Mitarbeitern (16) über die Kornablage dieses Systems auf einem Leimstreifen-Prüfstand.

4.4.3 DLG-Prüfungsergebnisse

Im Rahmen der offiziellen Maschinenprüfungen der DLG an Einzelkorn-Sämaschinen fallen in größerem Umfang Ergebnisse an (157), die zur Beurteilung der jeweiligen Maschine ermittelt, jedoch nicht im einzelnen in den Prüfberichten aufgeführt werden. Einige dieser Detail-Untersuchungsergebnisse sollen nachfolgend zur Erläuterung und zum Vergleich mit den eigenen Versuchsergebnissen angeführt werden.

Zellenfrequenz-Kornform-Ablagegenauigkeit

Für verschiedene kalibrierungs-unempfindliche Einzelkorn-Sämaschinen wurde bei den DLG-Maschinenprüfungen der Einfluß der Zellenfrequenz in Abhängigkeit von der Kornform auf die Ablagegenauigkeit ermittelt. Die in Abbildung 37 zusammengestellten Ergebnisse zeigen, daß abhängig von der Kornform und -größe sowie der Anzahl von Zellen/Sekunde (Zellenfrequenz) die Ablagegenauigkeit der verschiedenen Säsysteme teils sehr einheitlich verläuft, zum Teil jedoch die zulässigen Werte von 10 % Fehlstellen und 10 % Doppelbelegungen erheblich über- oder unterschritten werden. Dabei ist bezeichnend, daß bei den Kalibrierungen "mittelrund" und "großrund" die Abweichungen erheblich geringer sind, als bei den flachen Kornfraktionen.

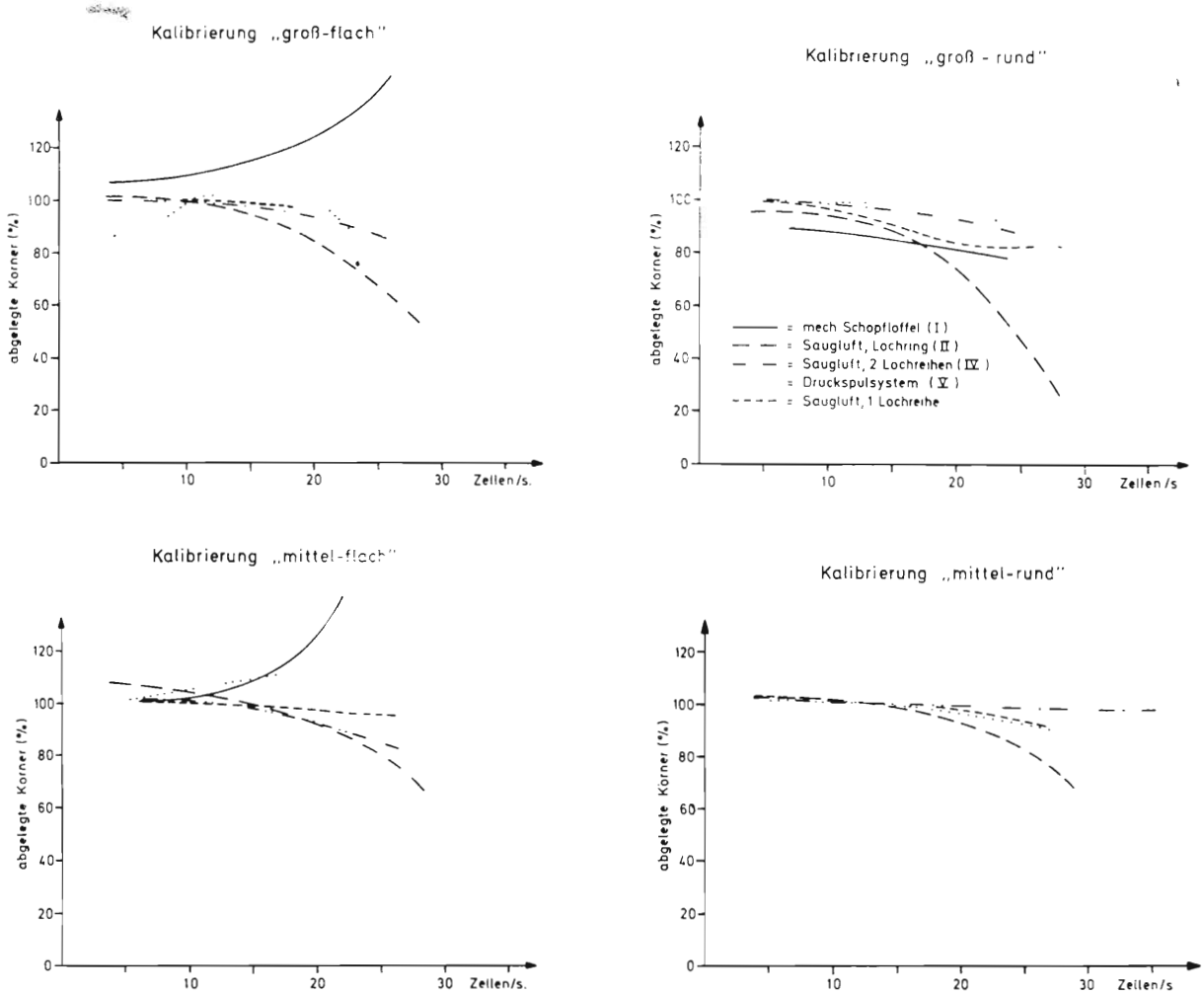


Abb. 37: Ablagequalität bei steigender Zellenfrequenz (nach DLG, 157)

Hangneigung-Ablagegenauigkeit

Bei der Maissaat in hängigem Gelände wird die Maschinenfunktion sehr unterschiedlich beeinflußt, je nachdem, ob in der Schichtlinie oder Fallinie gearbeitet wird. Neben den Auswirkungen auf den Schlupf an den Antriebsrädern und die Abtrift der Maschine beeinflußt die Hangneigung auch die Qualität der Zellenbelegung. Für die Säsysteme mit Saugluft (2 Lochreihen) und das Druckspülsystem sind die Ergebnisse von Prüfstanduntersuchungen in der Abbildung 38 dargestellt. Es werden die unterschiedlichen Reaktionen der Säsysteme auf Hangneigungen von 18 % bei Schichtlinien- und Fallinienarbeit veranschaulicht.

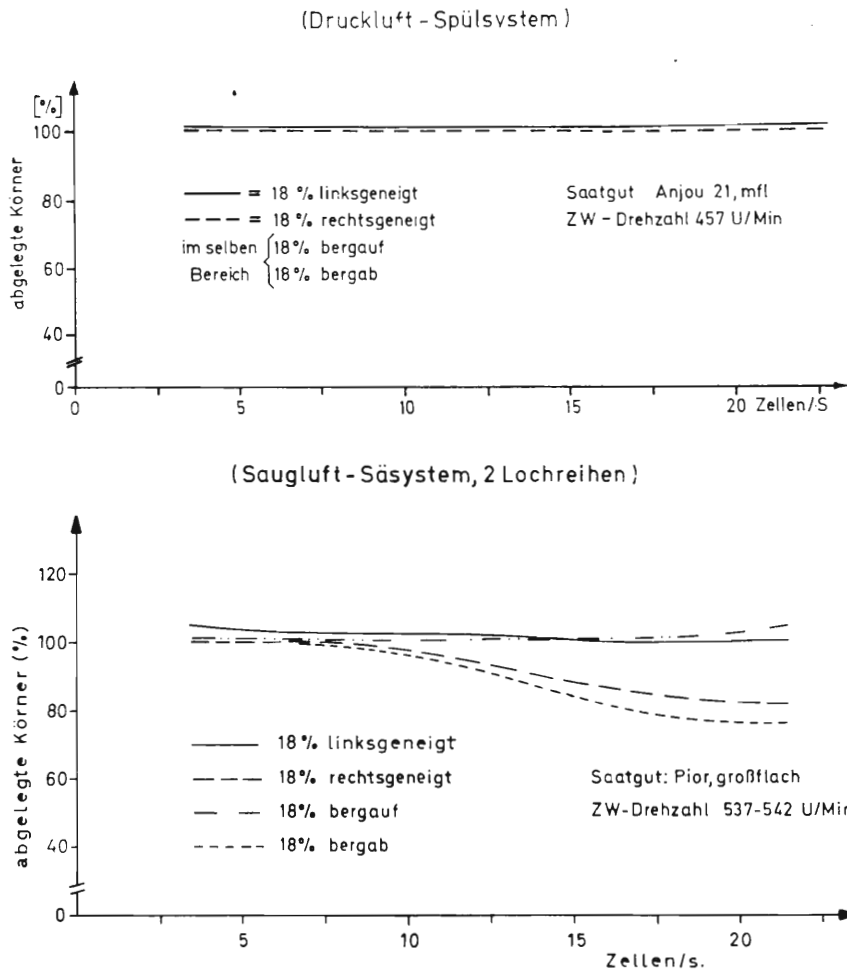


Abb. 38: Einfluß der Hangneigung auf die Ablagequalität (oben: Druckspülsystem; unten: Saugluftsystem, Lochscheibe mit 2 Lochreihen)

Dabei zeigt sich, daß bei dem Saugluft-Säsystem die Arbeit in Schichtlinie (rechts- und linksgeneigtes Gerät) einen wesentlich stärkeren Einfluß auf die Ablagegenauigkeit ausübt, als die Falllinienarbeit.

Dagegen sind beim Druckspülsystem bei allen Neigungen relativ geringe Auswirkungen festzustellen.

Zapfwellendrehzahl-Gebläsedruck-Kornablage

Pneumatische Einzelkorn-Sämaschinen erzeugen den Saugluftstrom oder Druckluftstrom mittels eines Gebläses, welches auf der Sämaschine aufgebaut ist und von der Schlepper-Zapfwelle betrieben wird. Sowohl bei der Arbeit in der Ebene, insbesondere aber bei der Arbeit in hängigem Gelände kann es zu Schwankungen in der Zapfwellen-Drehzahl kommen. Damit verändern sich zwangsläufig die Druckverhältnisse in den Säorganen. Wie sich diese Schwankungen auf die Qualität der Kornablage auswirken können, ist in den Abbildungen 39 und 40 dargestellt.

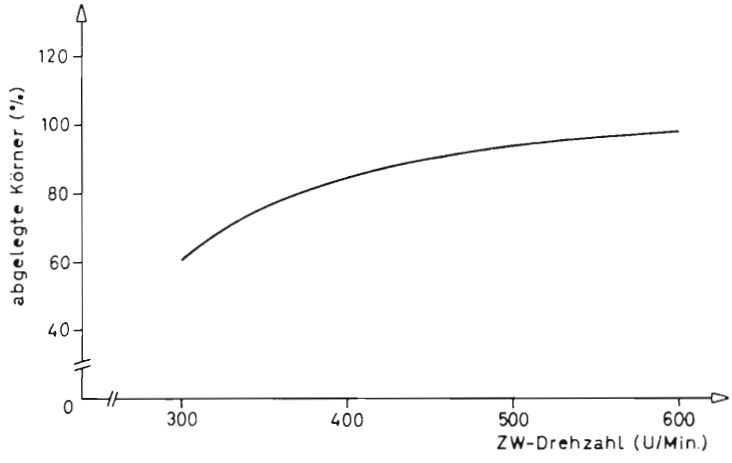


Abb. 39: Einfluß der Zapfwellen-Drehzahl auf die Ablagequalität (Saugluftsystem, Lochscheibe mit 2 Lochreihen)

Die Zapfwellen-Drehzahl übt einen direkten Einfluß auf die Zellenfüllung aus, da eine zu geringe Drehzahl einen nicht ausreichenden Gebläsedruck bewirkt und die Saatkörner nicht an die Lochbohrungen angesaugt und dort festgehalten werden können.

Beim Druckspülsystem wirkt sich der Gebläsedruck in einem unterschiedlichen Herausspülen überzähliger Körner aus.

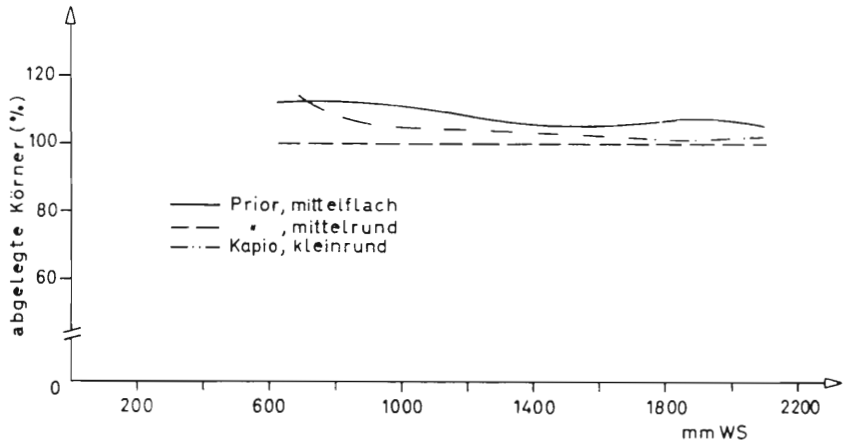


Abb. 40: Einfluß des Gebläsedruckes auf die Ablagequalität (Druckspülsystem)

4.5 Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf die Tiefenablage der Saatkörner

Die Exaktheit der Kornablage in der Saatfurche sowohl hinsichtlich eines gleichmäßigen Kornabstandes in der Reihe, als auch bezüglich einer einheitlichen Saattiefe wird vorrangig von dem Ablagesystem und dem Säschar, sowie deren optimaler technisch-konstruktiver Abstimmung beeinflußt. Der praktische Ablauf der Einbettung des Saatkornes in den Boden läuft in mehreren Teilabschnitten ab:

1. Erfassen des Saatkornes im Vorratsbehälter
2. Vereinzelung
3. Transport zur Abgabestelle
4. Abwurf des Kornes
5. Flugphase
6. Aufprall auf die vom Säschar gezogene Saatfurche

7. Bedeckung mit Boden, welcher hinter dem Säschar zusammenfließt (teilweise mit Unterstützung durch Zustreicher)

8. Anpressen des Bodens durch die Druckrolle.

Für eine Betrachtung der Korn-Tiefenablage sind die Teilabschnitte 4 - 7 heranzuziehen, da hiervon die prägnantesten Einflüsse ausgeübt werden.

Die Gleichmäßigkeit der Pflanzenentwicklung, insbesondere der Keimung und des Feldaufganges wird durch eine gleichmäßig tiefe Kornablage direkt beeinflußt. In amerikanischen Veröffentlichungen z.B. PIONEER SEEDS (154) wird von einschlägigen Versuchen berichtet, bei denen sich eine signifikante Relation zwischen Ablagetiefe, Aufgangsdauer, Feldaufgang und Ertrag ergab. Auch BATEMAN (9) wies nach, daß eine günstige Saattiefe die optimale Wasserversorgung, Keimtemperatur, Aufgangsdauer und Kolbenbildung beeinflußt.

Voraussetzung für eine gleichmäßig eingehaltene Ablagetiefe ist, daß das vom Söorgan abgeworfene Saatkorn mit Sicherheit auf die vom Säschar gezogene Furchensohle gelangt und erst dann von lockerem Boden bedeckt wird. Eine derartige Einbettung der Samen ist auch aus ackerbaulicher Sicht anzustreben (Ausnutzen des kapillaren Bodenwassers für die Keimung).

Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit und/oder steigenden Pflanzenbestandszahlen (= engeren Kornabständen in der Reihe) steigert sich in direkter Abhängigkeit von der jeweiligen Getriebeeinstellung die Umlaufgeschwindigkeit der Säorgane und damit auch die Abwurfgeschwindigkeit der Saatkörner. Aufgrund dessen ist zu erwarten, daß sich steigende Fahrgeschwindigkeiten auch in einer ungleichmäßigen Kornablagetiefe auswirken.

4.5.1 Einsatzversuche zur Korn-Tiefenablage

Um diese Überlegungen durch eine praktische Überprüfung zu ergänzen, wurden im Versuchsjahr 1974 bei den genannten Ablagesystemen I - IV (Seite 52) die Kornablagetiefe bei 2 Kornsollabständen und 3 bzw. 4 Geschwindigkeitsstufen ermittelt. Bei System I sollte darüber hinaus die Auswirkungen von Metalldruckrollen und Druckrollen mit flexiblem Gummiüberzug ermittelt werden.

Sofort nach der Saat erfolgte die Ermittlung der tatsächlichen Ablagetiefe mittels eines Bodenhobels. Dieses Auswertgerät, nach einem Vorschlag von BREITFUSS (14) gefertigt, besteht aus 2 Bauteilen, dem Führungsrahmen und dem Hobelkasten. Der rechteckige, aus Winkelprofil-Stahl gefertigte Führungsrahmen dient zur seitlichen und horizontalen Führung des Hobelkastens (Abb. 41). Der Rahmen wird so über einer Saat-

Abb. 41: Ermittlung der Korn-Tiefenablage mit dem Bodenhobel

reihe abgelegt, daß sich die Rahmenoberkante auf gleicher Höhe mit der Bodenoberfläche über dem Saatkorn befindet. Der Hobelkasten selbst ist frontseitig offen, das Bodenblech besitzt eine geschärfte Schneide

Die Rückwand ist geschlossen. Front- und rückwandseitig sind senkrecht Lochbohrungen angebracht, durch welche horizontal je ein Führungsstab geschoben wird. Die Anordnung der Lochbohrungen erlaubt ein stufenweises Abhobeln von Bodenschichten mit jeweils 0,5 cm Stärke. Die bei jeder Hobeltiefe im Hobelkasten aufgefangene Erdschicht wird abgesiebt und die vorhandene Anzahl von Saatkörnern ermittelt. Die Auswertung erstreckte sich je Versuchsvariante auf jeweils zwei nebeneinanderliegende Saatreihen.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte in zwei Richtungen:

- Ermittlung und graphische Darstellung der relativen Häufigkeit abgelegter Körner in den einzelnen Tiefenbereichsstufen

- Darstellung des Gesamttiefenbereiches, in welchem die Saatkörner bei jeder Variante abgelegt wurden.

Die prozentuale Verteilung der Körner in den entsprechenden Hobeltiefen ergab ein unerwartet unterschiedliches Bild. Keines der eingesetzten Ablagesysteme ist in der Lage, eine auch nur annähernd exakte Ablage der Saatkörner auf die eingestellte Ablagetiefe zu erreichen. Die gesamten graphischen Darstellungen der Ablageergebnisse sind in den Anhangsdarstellungen (Abb. 20 - 24) zusammengestellt. Hier sollen nur zwei typische Ergebnisse einander gegenübergestellt werden.

Die Darstellungen zeigen, daß bei einem System mit optimaler Abstimmung des gesamten Einbettungs-Mechanismus (System II) eine relativ engbegrenzte Streuung der Körner im Tiefenbereich erreicht wird, eine ungünstige Gestaltung sich jedoch in einer sehr starken Streuung auswirkt (System IV).(vgl. auch Abbildung 42).

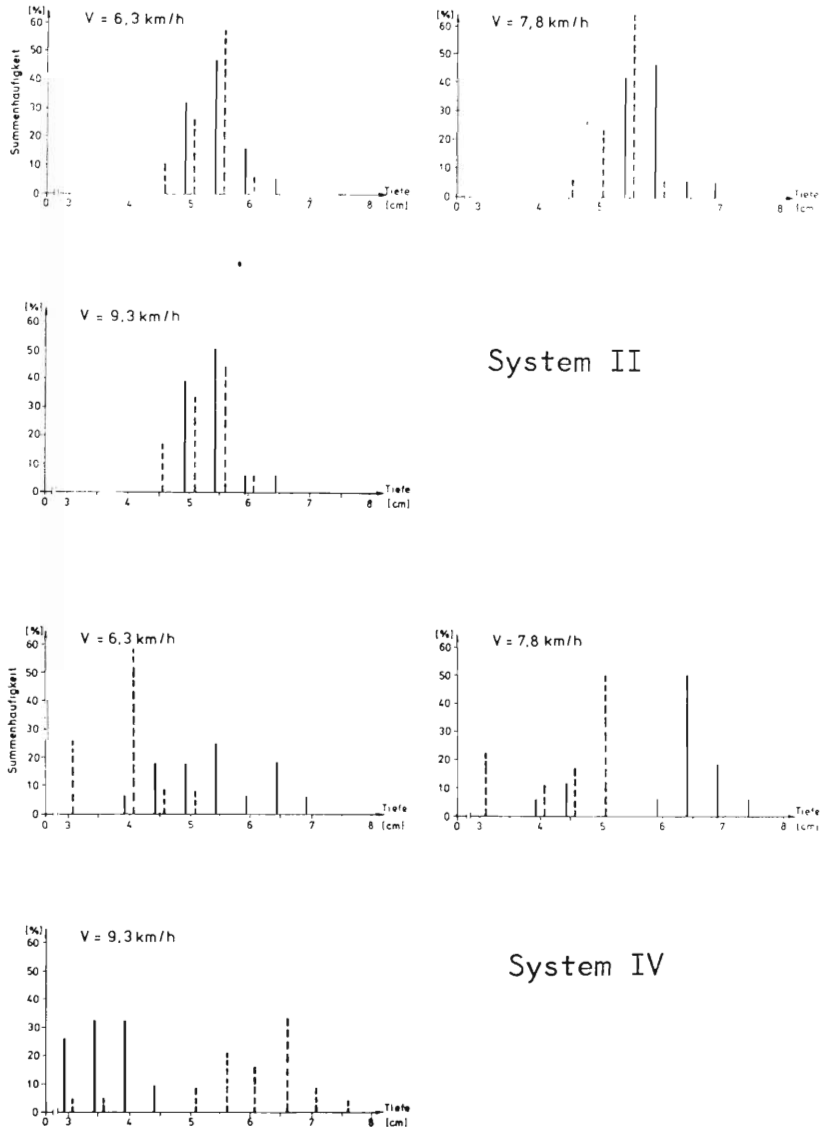


Abb. 42: Ergebnisse der Korn-Tiefenablage
(oben: System II; unten: System IV)

Daneben wurden die Ergebnisse der Kornablagetiefen-Erhebung statistisch ausgewertet und in Abhängigkeit vom Kornabstand und Fahrgeschwindigkeit für jedes Gerät

. Mittelwert ($\bar{x}$)

. Varianz (var)

. Standardabweichung (S) und

. Variationskoeffizient (VK)

ermittelt. Die gesamten Werte sind in den Anhangstabellen (Tab.20-24) zusammengestellt. Da es beim Einsatz der Einzelkorn-Sämaschine aus gerätetechnischen Gründen nicht immer möglich ist, eine einheitliche mittlere Ablagetiefe einzuhalten, stellt jedoch der Variationskoeffizient den im Vergleich zur Standardabweichung objektiveren Beurteilungsmaßstab dar. Beide Werte wurden für einen direkten Vergleich in den Abbildungen 43 - 47 einander gegenübergestellt.

Eine Beurteilung der Ablagetiefe nach dem Variationskoeffizienten ergibt folgendes:

System I: Während bei der Löffelscheibe mit 18 Schöpflöffeln (K 18) der Variationskoeffizient stark schwankt, ist er bei der 36-Löffel-Scheibe (K 36) wesentlich ausgeglichener und niedriger (Abb. 43 und 44).

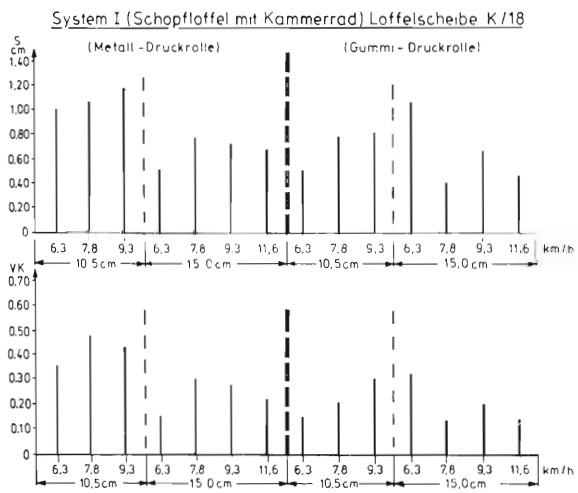


Abb. 43

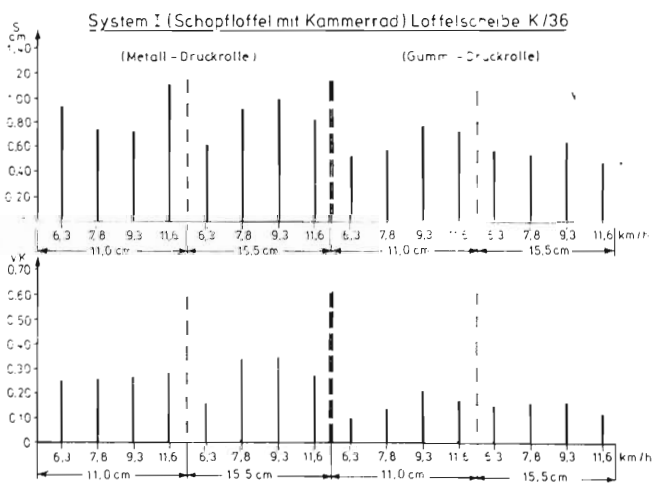


Abb. 44

Variationskoeffizient für die Korntiefenablage

Ein Vergleich der Geräte mit unterschiedlich ausgestatteter Druckrolle zeigt, daß bei beiden Löffelscheiben die mit einem flexiblen Gummibelag versehene Druckrolle wesentlich besser abschneidet und sich vor allem bei der K 36-Scheibe durch eine sehr gute Ausgeglichenheit auszeichnet.

System II: Die Werte sind zwar zwischen den verschiedenen Fahrgeschwindigkeitsstufen relativ ausgeglichen (Abb. 45) liegen jedoch bei einem Kornabstand von 15 cm etwa doppelt so hoch wie bei 10,5 cm. Bei extrem hoher Fahrgeschwindigkeit von 11,6 km/h wird ein Wert von 0,48 erreicht.

System III: Hier verändern sich Standardabweichung und Variationskoeffizient konstant mit steigender Fahrgeschwindigkeit (Abb. 45). Auch bei diesem System tritt bei 15,0 cm Kornabstand in der höchsten Fahrgeschwindigkeitsstufe ein vergleichweise hoher Variationskoeffizient von 0,41 auf.

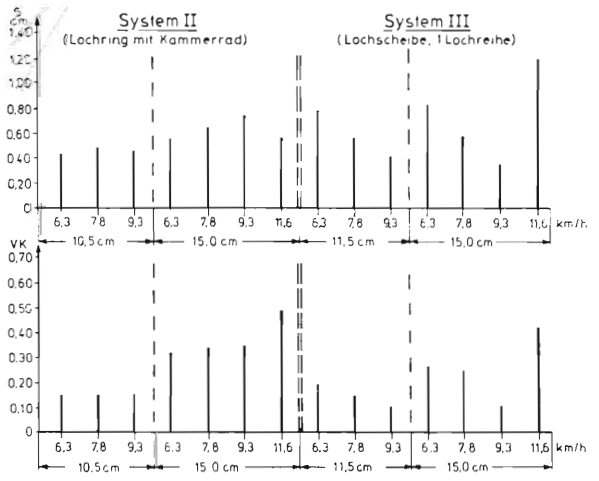


Abb. 45: Variationskoeffizient für die Korntiefenablage

System IV: Diese Einzelkornsämaschine (Abb. 46) verzeichnet sowohl bei der Standardabweichung als auch beim Variationskoeffizient die ungünstigsten Werte aller untersuchten Säsysteme. Auffallend ist auch die erhebliche Unausgeglichenheit in den verschiedenen Vorfahrtsbereichen.

System V: Der Variationskoeffizient liegt konstant unter 0,25, in beiden Ablagebereichen ist jedoch ein relativ unausgeglichenes Bild zu verzeichnen (Abb. 46).

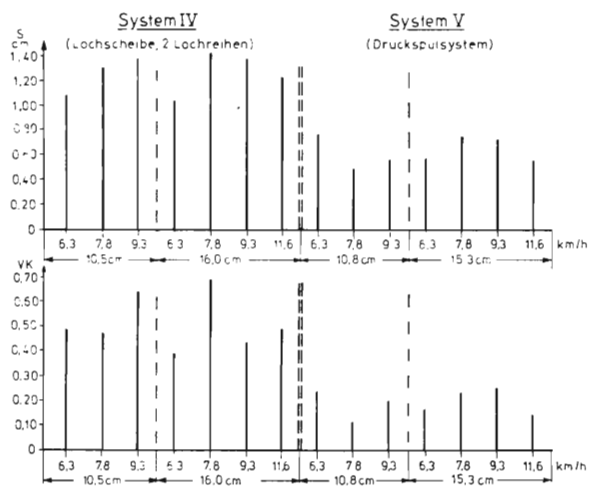


Abb. 46: Variationskoeffizient für die Korntiefenablage

System VI: Die amerikanische Druckluftmaschine verzeichnet Variationskoeffizienten, die in allen Geschwindigkeitsbereichen unter 20 % liegen, bei 15,6 cm Kornabstand und 4,3 km/h sogar unter 0,10 (Abb. 47). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Geschwindigkeitsbereiche generell niedriger lagen als bei den Vergleichsgeräten.

Als Ursachen für diese z.T.erheblichen Unterschiede sind im wesentlichen drei Komplexe anzusehen:

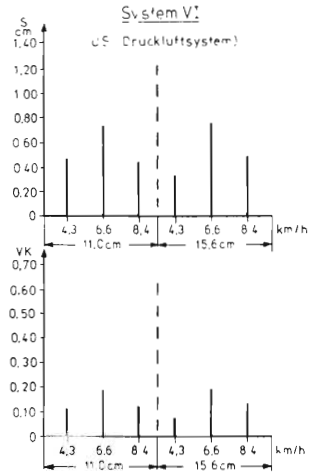


Abb. 47: Variationskoeffizient für die Korntiefenablage

. Gerätegewicht

. Bauweise der Druckrolle

. konstruktive Gestaltung der gesamten, für die Korn-Einbettung vorhandenen Bauteile.

Das Gesamtgewicht eines Gerätes setzt sich im praktischen Einsatz aus dem Geräte-Leergewicht sowie dem Gewicht des Saatgutvorrates zusammen. Letzteres ist direkt abhängig von dem Fassungsvermögen des Saatgutvorratsbehälters. In Tabelle 8 wurde für die Variationskoeffizienten, die bei den verschiedenen Systemen innerhalb eines Kornablagebereiches ermittelt wurden, ein Mittelwert gebildet und dem Geräte-Gesamtgewicht gegenübergestellt. Dabei zeigt sich, daß bei Gerätesystemen mit geringem Gesamtgewicht (z.B. System II und IV) in einem oder beiden der Kornabstandsbereiche auch ungünstige Variationskoeffizienten vorliegen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit leichtere Geräte infolge der Keilwirkung des Schares einen "Schwimmeffekt" aufweisen, wodurch die Gleichmäßigkeit

System			Variations-koeffizient Ø	Geräte-gewicht[1] kg
I	K 36	11,0	0,26	106,2
	M	15,5	0,28	
I	K 36	11,0	0,15	106,2
	G	15,5	0,14	
II		10,5	0,14	72,4
		15,0	0,36	
III		11,5	0,14	88,4
		15,0	0,25	
IV		10,5	0,53	78,6
		16,0	0,50	
V		10,8	0,18	87,6
		15,3	0,20	
VI		11,0	0,14	2)
		15,6	0,13	

1) Gewicht/Einzelgerät bei gefüllten Saatgut-vorratsbehälter

2) Über Druckfeder stufenlos einstellbar

Tabelle 8: Beziehungen zwischen Variationskoeffizient und Gerätegewicht

der Saattiefe beeinträchtigt wird. Erfahrungsgemäß tritt dieser Effekt besonders bei ungleichmäßiger, grobscholliger Saatbettvorbereitung oder bei Vorhandensein von Steinen, Pflanzenrückständen (z.B. Maisstroh) etc. im Boden auf. Die bei System IV vorliegenden, ungünstigen Werte haben ihre Ursache mit Sicherheit auch in der vorhandenen Entlastungsfeder für den Sämechanismus. Diese Einflüsse konnten jedoch aus versuchstechnischen Gründen im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht exakt ermittelt werden.

Geräte mit hohem Gesamtgewicht oder technischen Einrichtungen, die Belastung des Säschares über Druckfedern zu regulieren (US-Druckluftsystem) erreichten hingegen entsprechend günstigere Variationskoeffizienten.

Der Einfluß der Druckrollengestaltung wird bei einer Betrachtung der Variationskoeffizienten bei Gerätesystem I/Gummidruckrolle und System VI offensichtlich. Beide Gerätesysteme waren mit Druckrollen ausgestattet, deren Laufflächen mit einem flexiblen Gummiüberzug versehen sind. Nachdem die Tiefenführung der Säschare von der Druckrolle gesteuert wird, wirkt sich der flexible Laufflächenbelag der Druckrollen in Verbindung mit dem darauf lastenden, hohen Gewicht der Einzelkornsämaschine ausgleichend aus. Dies äußert sich in günstigeren Variationskoeffizienten, als sie bei Geräten mit Metall-Druckrollen zu verzeichnen sind.

4.5.2 Mathematische Betrachtung des Einbettungsvorganges

Aufgrund der theoretischen Überlegungen und der Ergebnisse aus den praktischen Einsatzversuchen wurde versucht, anhand eines mathematischen Modells für mehrere kalibrierungs-unempfindliche Einzelkornsämaschinen den Einbettungsvorgang zu analysieren. Ziel der Berechnungen war es, eine Begründung für die im praktischen Einsatz ermittelte, ungleichmäßige Kornablagetiefe zu finden und hieraus Beurteilungskriterien für die konstruktive Gestaltung und Zueinanderordnung der für die Saatguteinbettung verantwortlichen Bauteile der Einzelkorn-Sämaschinen zu schaffen.

Der Abwurf des Kornes vom Säaggregat erfolgt, abhängig von der jeweiligen Gerätekonstruktion, am unteren Totpunkt der Umlaufbahn des Säaggregates in horizontaler Richtung oder kurz vor Erreichen des

unteren Totpunktes in einer mit verschiedener, gerätespezifisch nach unten verlaufender Wurfrichtung. Für die mathematische Berechnung wurde ein horizontaler Abwurf, wie er von mehreren Geräten eingehalten wird, unterstellt. Die Wurfbahn berechnet sich daher nach der mathematischen Gleichung für den freien, horizontalen Wurf.

Horizontaler Wurf

$$X = V_0 t \qquad y = \frac{g}{2} t^2 \qquad (1)$$

Das Gewicht der Körper (Saatkörner) kann infolge des geringen Einzelkorngewichtes, der geringen Einzelkorn-Differenz bei unterschiedlichen Korngrößen sowie der kurzen Fallzeit des Kornes vom Abwurf bis zum Aufprall auf die Saatfurche unberücksichtigt bleiben.

Die Wurfweite und Flugbahn der Maiskörner sind im wesentlichen abhängig von:

Umfangsgeschwindigkeit der Säzellen

Diese ist wiederum gleichbedeutend mit der Abwurfgeschwindigkeit des Saatkornes. Die Abwurfgeschwindigkeit ist direkt abhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit der Sämaschine und dem gewählten Kornabstand in der Reihe, die infolge der mechanischen Getriebeübersetzung in einem festen Verhältnis zueinander stehen.

Fallhöhe

Bei einem unterstellten horizontalen Kornabwurf geht die Fallhöhe direkt als Einflußgröße in die Berechnung ein. Um eine echte Beziehung zu den Ergebnissen des praktischen Einsatzversuches herbeizuführen, wurden die gerätespezifisch vorgegebenen Fallhöhen (Höhe der Kornabwurfstelle über der Unterkante des Säschares) verwendet.

Für einige der im praktischen Einsatz untersuchten, kalibrierungsunempfindlichen Einzelkornsämaschinen nach dem mechanischen Prinzip (Löffelscheibe mit Kammerrad) sowie nach dem Saugluft- und dem Druckspül-System ist die Umlauf- (Abwurf-) Geschwindigkeit bei 4 Fahrgeschwindigkeiten und 2 Kornabständen in der Reihe in der folgenden Tabelle 9 zusammengestellt.

System	Zellen-/ Lochzahl	Sä-organ-Ø mm	Korn-abstand cm	Umlaufgeschwindigkeit (m/s) bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h (1,66m/s)	8 km/h (2,22 m/s)	10 km/h (2,77 m/s)	12 km/h (3,33 m/s)	Fall-höhe cm
I (mech.,Löffel-scheibe + Kam-merrad)	18	300	10,5	0,83	1,11	1,38	1,66	14,5
			15,0	0,58	0,775	0,97	1,16	
	36	300	10,5	0,415	0,555	0,69	0,83	14,5
			15,0	0,29	0,387	0,485	0,58	
II Saugluft, Loch-ring+Kammer-rad)	24	269	10,2	0,562	0,750	0,938	1,125	14,5
			15,5	0,383	0,510	0,638	0,765	
IV (Saugluft,Loch-scheibe, 2 Loch-reihen)	18	206	10,0	0,569	0,800	0,996	1,19	15,5
			15,0	0,398	0,493	0,665	0,80	
V (Druckluft,Druck-spülsystem)	24	249,5	10,0	0,52	0,71	0,88	1,07	7,0
			15,0	0,35	0,44	0,58	0,71	

Tabelle 9: Technische Kennwerte für ausgewählte Säsysteme

Unter Berücksichtigung der gerätespezifischen Fallhöhe errechnet sich die

<u>Wurfweite (statisch)</u>

$$W_W = V_0 \sqrt{\frac{2\,h}{g}} \qquad (2)$$

des Kornes bis zum Aufprall auf die Saatfurche.

Eine statische Betrachtung der Abwurf-Vorgänge bei stehendem Gerät ergibt, daß das Maiskorn entgegengesetzt zur Arbeitsrichtung des Sägerätes eine Flugbahn beschreibt, deren Verlauf und Länge direkt von der Abwurfgeschwindigkeit abhängig ist. Eine derartige statische Betrachtung ist jedoch nicht zulässig, da der Abwurfvorgang während der Vorfahrt des Gerätes erfolgt.

Eine dynamische Betrachtung ergibt dagegen eine Umkehrung der Abwurfverhältnisse. Selbst bei geringer Arbeitsgeschwindigkeit ist die Vorfahrt des Gerätes erheblich höher als die Abwurfgeschwindigkeit des Kornes vom Säorgan. Dadurch entsteht eine in Fahrtrichtung der Einzelkornsämaschine verlaufende Flugbahn des Saatkornes. Auf diese Verhältnisse haben bereits BARALDI und ZANCHE (8) sowie O'DOGHERTY (90) hingewiesen.

In einer Gleichung für den Kornabwurf in der dynamischen Phase ist deshalb bei der Berechnung der Wurfweite die Arbeitsgeschwindigkeit um den Wert der Abwurfgeschwindigkeit zu vermindern.

Wurfweite (dynamisch)

$$W_w = (V_F - V_U) \cdot \sqrt{\frac{2\,h}{g}} \qquad (3)$$

V_F = Geräte-Fahrgeschwindigkeit

V_U = Umfangsgeschwindigkeit des Säorgans (= Abwurfgeschwindigkeit)

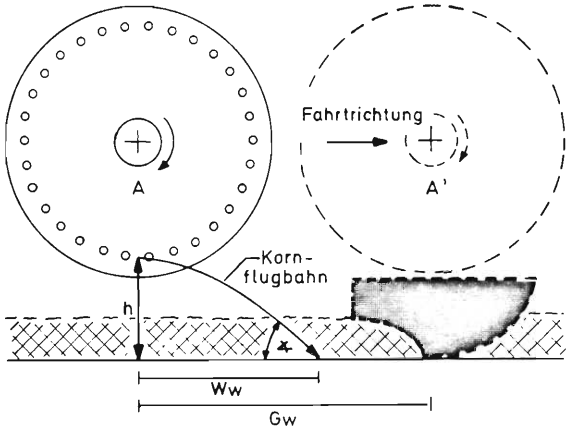
Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, daß sich die Einzelkornsämaschine während der Flugphase des Kornes mit einer im Vergleich zur Korn-Geschwindigkeit überproportionalen Fahrgeschwindigkeit vorwärts bewegt. Zusätzlich zur Wurfweite (W_w) ist daher bei einer Betrachtung des Einbettungs-Vorganges auch die Geräteweite (Gw) zu berechnen und zu betrachten.

Geräteweite

$$Gw = t \cdot V_F \qquad (4)$$

In dieser Formel steht t für die Fallzeit des Kornes vom Abwurf bis zum Aufprall in der Saatfurche.

Die in der Wurfphase wirksam werdenden Zusammenhänge sind in Abbildung 48 schematisch dargestellt. Dabei zeigt sich, daß das Säorgan



h = Fallhöhe α = Aufprallwinkel
Ww = Wurfweite Gw = Geräteweite
A = Standort des Säorgans beim Kornabwurf
A' = Standort beim Aufprall auf den Boden

Abb. 48: Dynamische Phase des Kornabwurfes (schematisch)

in dem Zeitraum zwischen Kornabwurf (Position A) und Aufprall des Saatkornes (Fallzeit) eine infolge der Differenz zwischen Flugge-

schwindigkeit des Kornes und Fahrgeschwindigkeit des Sägerätes grössere Wegstrecken (definiert als "Geräteweite") zurücklegt als die Wurfweite des Kornes beträgt. Das Säorgan befindet sich zum Zeitpunkt des Kornaufpralles in Position A'. In einem Simulationsmodell wurden die Werte für Wurfweite, Geräteweite und Wurfzeit, sowie die Differenz zwischen Wurf- und Geräteweite errechnet. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 10 zusammengestellt.

System	Korn-abstand cm	Wurfweite (cm) bei 6 km/h (1,67 m/s)	8 km/h (2,22 m/s)	10 km/h (2,78 m/s)	12 km/h (3,33 m/s)	Geräteweite (cm) bei km/h 6	8	10	12	Differenz Geräteweite-Wurfweite (cm) bei km/h 6	8	10	12
I 18	10,5	14,4	19,1	24,1	28,7	28,7	38,2	47,8	57,3	14,3	19,1	23,7	28,6
18	15,0	18,7	24,8	31,1	37,3					10,0	13,4	16,7	20,0
I 36	10,5	21,6	28,6	35,9	43,0					7,1	9,6	11,9	14,3
36	15,0	23,7	31,5	39,5	47,3					5,0	6,7	8,3	10,0
II	10,2	19,1	25,3	31,7	37,9	28,7	38,2	47,8	57,3	9,6	12,9	16,1	19,4
	15,5	22,1	29,4	36,8	44,1					6,6	8,8	11,0	13,2
IV	10,0	19,1	25,2	31,7	38,0	29,7	39,5	49,4	59,2	10,6	14,3	17,7	21,2
	15,0	22,6	30,7	37,6	45,0					7,1	8,8	11,8	14,2
V	10,0	13,6	18,0	22,7	27,0	20,0	26,5	33,2	39,8	6,4	8,5	10,5	12,8
	15,0	15,8	21,3	26,3	31,3					4,2	5,2	6,9	8,5

Tabelle 10: Wurfweite, Geräteweite und Differenzweite bei ausgewählten Säsystemen

Besonders interessant sind die für die Wegstrecken-Differenz gefundenen Werte, da sich hieraus die im praktischen Einsatz beobachteten Streuungen der Ablagetiefe bei höherer Fahrgeschwindigkeit erklären lassen. Durch die Scharflanken wird die Saatfurche hinter dem Schar so lange offen gehalten, bis der Boden infolge des Schütteffektes wieder zusammenfließt und die Saatfurche schließt. Wie lange die Saatfurche geöffnet bleibt, bzw. wie rasch der Boden hinter dem Schar zusammenfließt, hängt von mehreren Faktoren ab.:

. Länge der Scharflanken

. Öffnungsweite der Saatfurche

. Furchentiefe

. Bodenart

. Bodenzustand (Aggregatsgrößen)

. Anordnung von Zustreicher bzw. Druckrolle.

Nur wenn diese Faktoren optimal aufeinander abgestimmt sind, ist in allen Fahrgeschwindigkeitsbereichen ein Ablegen der Saatkörner auf die volle Furchentiefe gewährleistet. Insbesondere bei hohen Fahrgeschwindigkeiten und demzufolge großer Differenz zwischen Wurf- und Geräteweite besteht sonst die Gefahr, daß die Saatkörner bereits vor dem Auftreffen auf dem Furchengrund von dem zusammenfließenden Boden erfaßt und in einer unkontrollierbaren Tiefe des Saathorizontes eingebettet werden.

Diese Wechselwirkungen sind auch im Zusammenhang mit der Wurfbahn der Saatkörner zu sehen, die in Abhängigkeit von Abwurfgeschwindigkeit, Fahrgeschwindigkeit und gerätespezifischer Fallhöhe einen unterschiedlichen Verlauf aufweist.

In Abbildung 49 sind die Wurfbahnen für zwei unterschiedliche Säsysteme (I/18, Schöpflöffel mit Kammerrad sowie V, Druckluft-Spülsystem) mit der konstruktiv vorgegebenen Fallhöhe bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h = 1,76 m/s (Flugbahn a) und 12 km/h = 3,33 m/s (Flugbahn b) dargestellt. Punkt A kennzeichnet den Standort des Gerätes bei Abwurf des Kornes, Punkt A`a den Standort beim Auftreffen des Kornes mit der Flugbahn a auf den Boden. Der Punkt A`b, also Standort des Gerätes bei Auftreffen des Kornes der Flugbahn b konnte aus darstellungstechnischen Gründen nicht eingezeichnet werden.

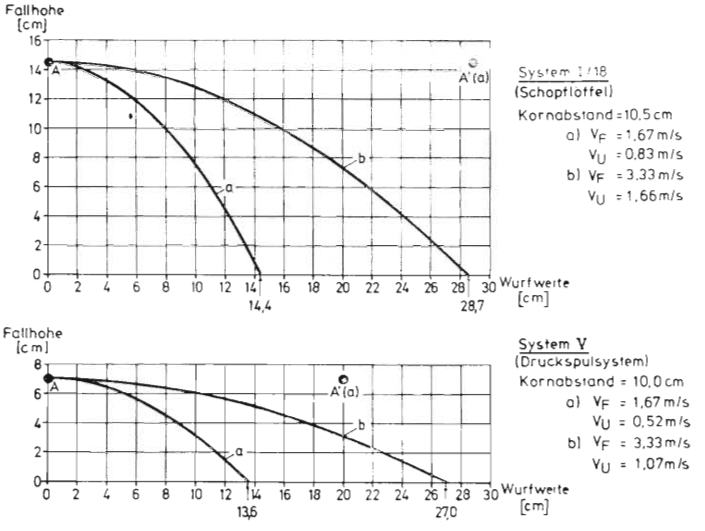


Abb. 49: Flugbahnen von Maiskörnern bei verschiedener Fallhöhe und Abwurfgeschwindigkeit

Es zeigt sich deutlich, daß bei Gerätesystem I infolge der großen Fallhöhe von 14,5 cm sowie der hohen Abwurfgeschwindigkeit eine erhebliche Differenz zwischen Geräteweite und Wurfweite entsteht (vergleiche auch Tabelle). Beim Aufprall des Kornes der Flugbahn a auf den Boden nach einer Wurfweite von 14,4 cm hat sich das Gerät infolge der langen Fallzeit von 0,1719 Sekunden (vergleiche Tabelle 10) bereits um 28,7 cm vorwärtsbewegt. Bei Gerätesystem V bewirkt dagegen die geringere Fallhöhe (7,0 cm) und damit kürzere Fallzeit (0,1195 s) eine wesentlich geringere Differenzweite. Das Gerät hat sich beim Aufprall des Kornes der Flugbahn a nach 13,6 cm auf den Boden nur um 20 cm vorwärtsbewegt. Allerdings verändert sich gleichzeitig der Aufprallwinkel, so daß unerwünschte Verrollerscheinungen auftreten können.

Aufgrund der geschilderten Zusammenhänge ist zu folgern, daß bei hoher Abwurfgeschwindigkeit und großer Fallhöhe infolge der langen Fallzeit des Kornes eine erhebliche Differenz zwischen Wurf- und Geräteweite entsteht. Dies kann zu einer Ablage der Körner außerhalb der schützenden Scharflanken und zur Einbettung in unterschiedlichen

System	Fallhöhe cm	Fallzeit s	Aufprallwinkel (Grad) bei: 6 km/h	8 km/h	10 km/h	12 km/h
I/18 Zellen	14,5	0,1719	63 57	56 49	50 43	45 38
I/36 Zellen	14,5	0,1719	53 50	45 42	39 36	34 31
II	14,5	0,1719	56 52	49 44	42 38	37 33
IV	15,5	0,1778	58 54	50 45	44 39	39 34
V	7,0	0,1195	45 41	37 33	31 28	27 24

Tabelle 11: Fallzeit und Aufprallwinkel bei ausgewählten Säsystemen

Ablagetiefen führen. Im Gegensatz dazu bewirkt die Kombination "geringe Abwurfgeschwindigkeit und niedrige Fallhöhe" eine wesentliche Verkürzung der Differenzweite.

Da die Differenz zwischen Wurf- und Geräteweite mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit erheblich ansteigt (vergleiche Tabelle 10), können als einsatztechnische und konstruktive Möglichkeiten, ein exaktes Einhalten der gewünschten Ablagetiefe zu gewährleisten, im wesentlichen folgende Maßnahmen angesehen werden:

. Verminderung der Abwurfgeschwindigkeit (z.B. durch Vergrößern des Säorgan-Durchmessers oder Erhöhen der Zellen-/Löffelzahl bei gleichem Durchmesser)

- Kein überhöhtes Steigern der Fahrgeschwindigkeit, um ein überproportionales Ansteigen der Differenzweite zu verhindern.

- Hohes Geräte-Gesamtgewicht (Eigengewicht, Fassungsvermögen des Saatgut-Vorratsbehälters)

- Ausreichende Länge der Scharflanken, um eine lange Öffnung der Saatfurche auch bei Böden mit günstigem Schüttverhalten zu gewährleisten.

- Verwenden von Druckrollen mit flexiblem Gummibelag auf den Laufflächen.

- Einbau von Leitflanken im Kornabwurfbereich, um eine optimale Wurfbahn des Kornes zu erreichen. Diese technische Vorrichtung wird neuerdings von einer Herstellerfirma für Saugluft-Einzelkornsämaschinen mit einer Lochreihe verwendet (16C).

5. Verfahrenstechnische Kriterien bei der Mais-Einzelkornsaat

Die bisherigen Ausführungen veranschaulichen sehr deutlich, daß im praktischen Einsatz der Einzelkorn-Sämaschinen die Gesamtheit der Baugruppen-Teile (Säorgan, Schar, Druckrolle, Zustreicher) als ein komplettes System anzusehen ist. Der konstruktiv optimalen Gestaltung und Zueinanderordnung dieser Bauteile sowie ihrer aufgrund der jeweils vorliegenden Einsatzbedingungen günstigen Einstellung kommt im Hinblick auf die optimale Einbettung der Samen in den Boden als Voraussetzung für die rasche und gleichmäßige Keimung und Pflanzenentwicklung besondere Bedeutung zu.

Aus betriebstechnischer Sicht unterliegt der Maschineneinsatz bei der Maissaat vorrangig der Forderung nach hoher Flächenleistung bei gleichzeitig höchstmöglicher Ablagequalität, um in der knapp bemessenen Arbeitszeitspanne eine hohe Arbeitsproduktivität zu erzielen.

5.1 Flächenleistung

Aufbauend auf umfangreiche Arbeitszeitstudien während der Versuchsjahre 1973 und 1974 wurden Leistungsberechnungen für den Arbeitsgang "Maissaat" unter Berücksichtigung verschiedener Parameter vorgenommen. Grundlage dieser Berechnungen ist das Simulationsprogramm, welches von AUERNHAMMER am hiesigen Institut entwickelt wurde. Der Ablauf dieses Programmes ist in Abb. 50 dargestellt.

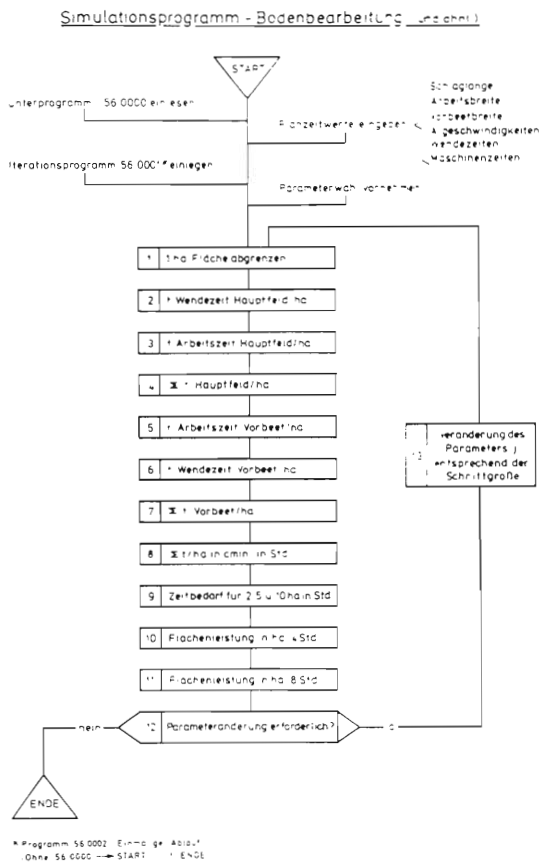


Abb. 50: Ablauf des Simulationsprogrammes 56 0002 für die Berechnung der Flächenleistung

5.1.1 Einfluß von Arbeitsbreite, Schlaglänge und Schlaggröße

Mit Hilfe des vorgenannten Rechenprogrammes wurde die Flächenleistung bei der Maissaat unter Berücksichtigung der Parameter

- Fahrgeschwindigkeit (km/h)
- Reihenzahl
- Arbeitsbreite (m AB)

. Schlaggröße (ha)

. Schlaglänge (m)

errechnet. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 51, 52 und 53 graphisch dargestellt.

Die Darstellungen lassen erkennen, daß insbesondere die Schlaggröße einen erheblichen Einfluß auf die Flächenleistung bei der Maissaat ausübt. Dies gilt für alle drei unterstellten Geschwindigkeitsstufen. Während jedoch bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6 und 8 km/h der 30 ha-Schlag gegenüber dem 1 ha-Schlag bei vierreihiger Arbeitsweise lediglich eine Steigerung der Flächenleistung um ca. 0,75 ha verursacht, wirkt sich die Schlaggröße beim Einsatz vielreihiger Einzelkorn-Sämaschinen ganz erheblich aus.

Hier bewirkt der Übergang vom 1 ha-Schlag zum 30 ha-Schlag bei 6 km/h Fahrgeschwindigkeit und 6-reihiger Arbeitsweise eine Steigerung der Flächenleistung um ca. 1,0 ha/h, bei 8-reihigen Maschinen um ca. 1,25 ha/h. Wird die Fahrgeschwindigkeit auf 10 km/h gesteigert, erhöht sich die Flächenleistung um 1,75 bzw. 2,3 ha/h.

Mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit und Schlaggröße nimmt außerdem der Einfluß steigender Schlaglängen erheblich zu. Ist bei 6 km/h die von der Schlaglänge verursachte Brandbreite innerhalb einer Schlaggröße relativ schmal, nimmt sie bei hoher Arbeitsgeschwindigkeit und vielreihiger Arbeitsweise stark zu.

5.1.2 Einfluß der Fahrgeschwindigkeit

Betrachtet man isoliert den Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Flächenleistung in Abhängigkeit von Schlaggröße und Schlaglänge (Abb. 54, 55 und 56), so ergibt sich, daß mit zunehmender Schlaggröße und Schlaglänge die Flächenleistung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit erheblich zunimmt.

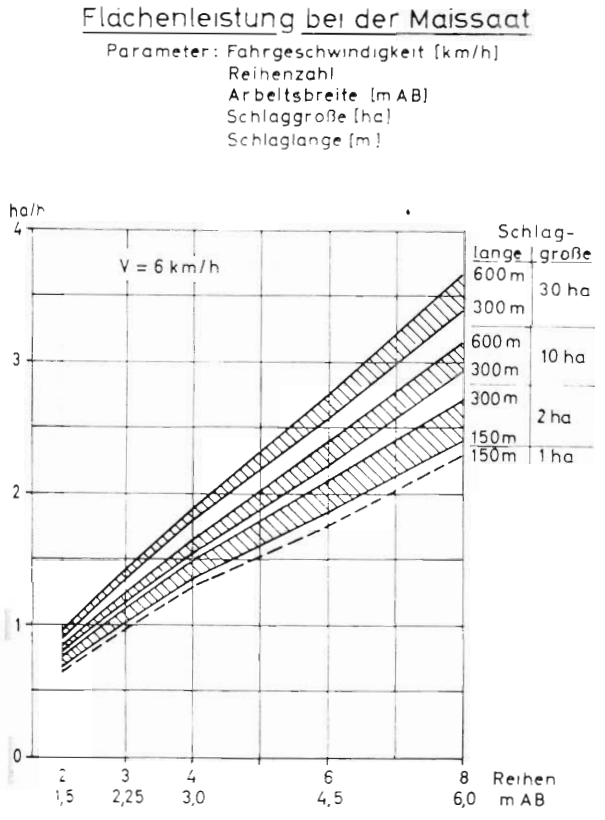


Abb. 51

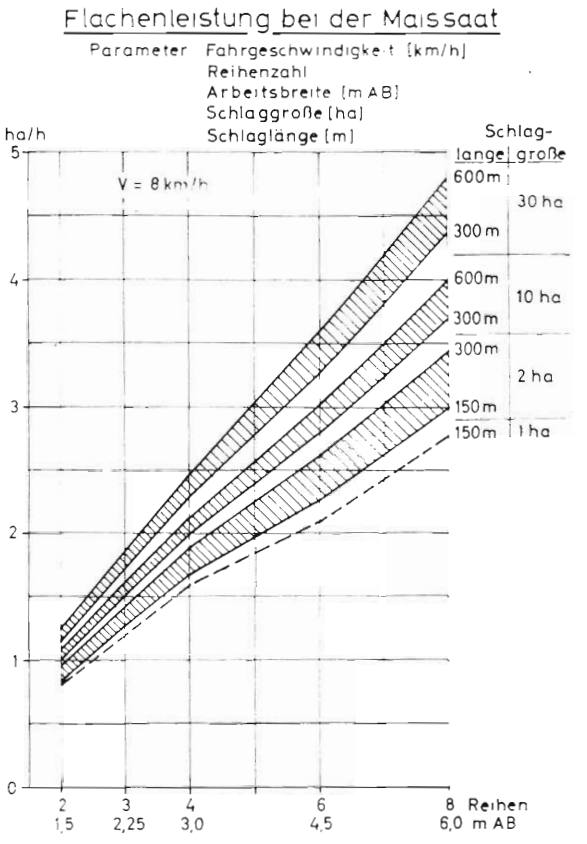


Abb. 52

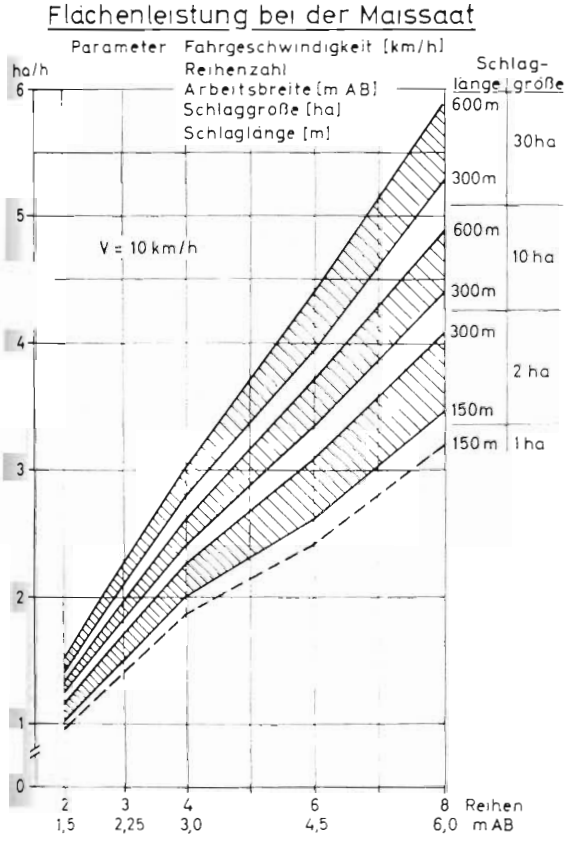


Abb. 53

Flächenleistung bei der Maissaat

Abb. 51: Fahrgeschw. 6 km/h

Abb. 52: Fahrgeschw. 8 km/h

Abb. 53: Fahrgeschw. 10 km/h

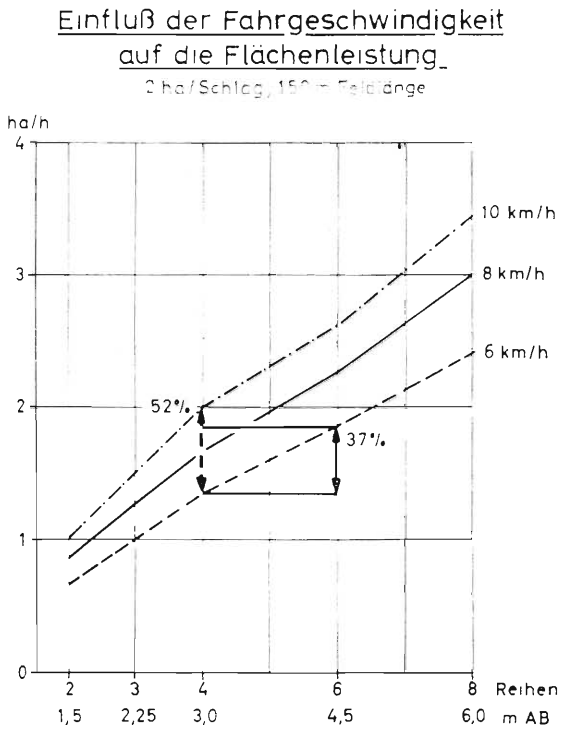


Abb. 54

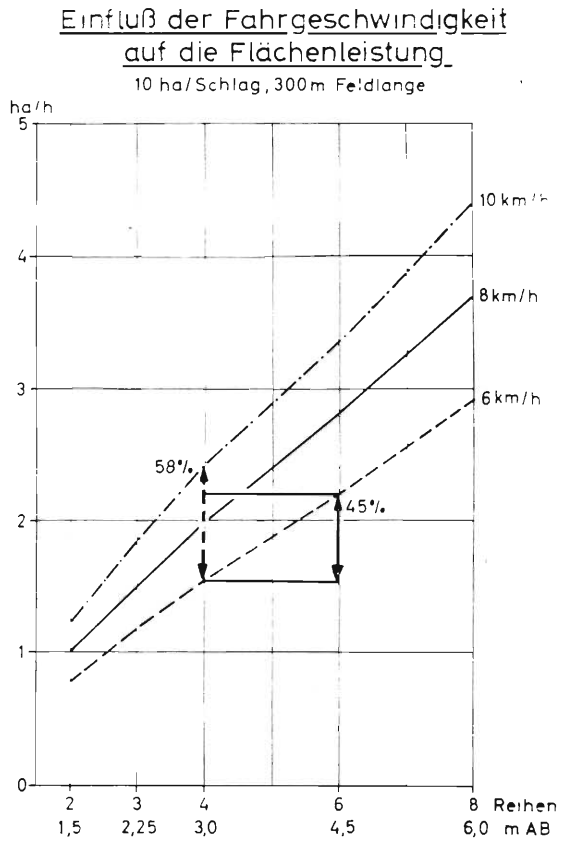


Abb. 55

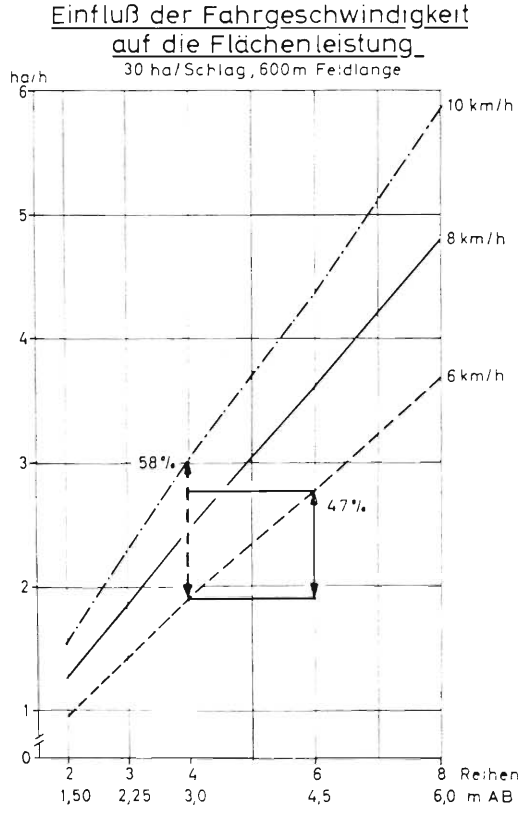


Abb. 56

Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Flächenleistung

Abb. 54: 2 ha-Schlag

Abb. 55: 10 ha-Schlag

Abb. 56: 30 ha-Schlag

Darüber hinaus ändert sich der Steigungswinkel der Leistungskurven sehr wesentlich, d.h. mit zunehmender Schlaggröße und Schlaglänge übt die Fahrgeschwindigkeit einen direkten und erheblichen Einfluß auf die Steigerung der Flächenleistung aus.

Außerdem zeigt sich, daß eine Steigerung der Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h auf 10 km/h einen wesentlichen Zuwachs an Flächenleistung in Höhe von 52 - 58 % bringt. Ein Erhöhen der Arbeitsbreite (Reihenzahl) würde sich dagegen beim Übergang von 4 Reihen auf 6 Reihen nur in einer Mehrleistung von 37 - 47 % auswirken. Erst die Steigerung von 4-reihiger auf 8-reihige Arbeitsweisen und gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit wirkt sich in einer vergleichsweise erheblich höheren Flächenleistung aus. Die Steigerung beträgt hier bei 6 km/h 83,0 % (2 ha-Schlag) bis 97,4 % (30 ha-Schlag). Diese Tendenz gilt ebenso bei den höheren Fahrgeschwindigkeitsstufen.

Bei diesen Berechnungen wurden normale Einsatzbedingungen unterstellt (geübter Fahrer, rechteckige Feldform etc.). Im praktischen Einsatz können jedoch Einflüsse vorliegen, durch welche die Flächenleistung unter Umständen sehr wesentlich beeinträchtigt wird. Einige der wesentlichen Einflußfaktoren werden nachfolgend diskutiert.

5.1.3 Einfluß des Saatgutbehälter-Inhaltes

Das Fassungsvermögen der bei derzeitigen Mais-Einzelkornsämaschinen installierten Saatgut-Vorratsbehälter schwankt in weiten Grenzen. Es ist am geringsten bei den "Kompromiß"-Sägeräten mit 8 - 15 l. Bei mechanischen und pneumatischen kalibrierungs-abhängigen und -unempfindlichen Spezial-Maissämaschinen sind zwischen 20 und 40 l Inhalt üblich. Lediglich die US-amerikanische Druckluft-Einzelkornsämaschine mit zentralem Säorgan besitzt einen Vorratsbehälter mit 270 l Inhalt.

Diese Unterschiede beruhen u.a. auf konstruktiven Besonderheiten, die durch die in Mitteleuropa und USA vorherrschenden Einsatzverhältnisse bedingt sind. In Mitteleuropa überwiegt infolge der geringen Teilstückgröße und oftmals unregelmäßiger Feldform nach wie vor die Verwendung von Dreipunkt-Anbaumaschinen. Vor allem bei stabilen Maschinenkonstruktionen mit hohem Eigengewicht limitiert die bei den üblichen Saatschleppern vorhandene Hubkraft am hydraulischen Kraftheber die zusätzlichen Gewichte für Saatgut und Reihendünger. Für den Großflächeneinsatz in den USA werden dagegen seit langem Aufsattelmaschinen verwendet, die mit eigenem, hydraulisch betätigtem Fahrwerk ausgerüstet sind und keine derartige Begrenzung der Zusatzlasten verursachen.

Wie erheblich die Leistung von Einzelkornsämaschinen durch unterschiedlich bemessene Saatgut-Vorratsbehälter beeinflußt wird, ist in der nachfolgenden Tabelle 12 dargestellt.

Inhalt des Saatgut-Vorratsbehälters		Körner je Behälter (TKG 340 g)	Saatfläche ha/Füllung (4-reih. Sägerät)		Leistungs-Variation
Liter	kg	Stck.	80.000 Körner/ha	110.000 Körner/ha	%
15	12,0	35.300	1,76	1,28	70
20	16,0	47.000	2,36	1,72	93
22	17,5	51.500	2,56	1,84	100
24	19,0	55.800	2,80	2,04	111
270	216,0	635.000	7,93	5,77	314

Tabelle 12: Saatfläche bei unterschiedlichem Saatgutbehälter-Inhalt

Es zeigt sich, daß bei steigendem Saatgutbehälterinhalt die mit einer Füllung auszusäende Fläche ganz erheblich ansteigt. Im Arbeitszeitbedarf äußert sich dies in einer Reduzierung der Versorgungszeit (Nachfüllzeit) um den Wert, der als Fahrzeit zum Versorgungswagen jeweils anfällt. Für eine Betrachtung der Leistungsvariation wurde ein Vor-

ratsbehälter mit 20 l Inhalt als Durchschnittsgröße unterstellt (100 %). Im Vergleich dazu verringert sich die Saatfläche pro Füllung bei einem 15 l-Behälter auf 70 %, sie steigert sich andererseits bei dem 270 l-Behälter auf 314 %.

5.1.4 Ablagekontrolle

Die Kontrolle der Kornablage erfolgt in drei Bereichen:

1. Überprüfung der generellen Zellenbelegung
2. Einstellung der Einzelkornbelegung (sofern konstruktiv vorgesehen)
3. Nachprüfung des Kornabstandes in der Saatfurche.

Während die Einstellung der Einzelkornbelegung in der Regel beim Abdrehen vor dem Feldeinsatz durchgeführt wird und später lediglich bei der Nachkontrolle des Kornabstandes in der Reihe mit erfaßt (und ggf. berichtigt) wird, ist eine Überwachung der generellen Zellenbelegung bzw. der Funktion der einzelnen Säaggregate ständig erforderlich. Dies um so mehr, als mit wenigen Ausnahmen an den Einzelkorn-Sämaschinen keine Vorrichtungen vorhanden sind, die z.B. Defekte an den Antriebselementen und dadurch Stillstand einzelner Säaggregate anzeigen.

Bei US-amerikanischen Einzelkorn-Sämaschinen mit horizontal angeordneter Säscheibe werden seit langem mechanische Anzeigevorrichtungen verwendet. Diese stützen sich nach dem Schwimmer-Prinzip mit einer Auflageplatte auf dem Saatgutvorrat ab. Ein nach oben geführtes Anzeigeschild zeigt das Absinken des Saatgutvorrats an. Bei gleichmässiger Füllung aller Säaggregate kann hiermit vergleichend eine mangelhafte oder fehlende Funktion eines Aggregates festgestellt werden, allerdings nur in entsprechend großen Zeitabständen.

Der Trend zu höheren Arbeitsgeschwindigkeiten verlangt vom Schlepperfahrer die volle Konzentration auf die Steueraufgaben. Eine ständige Kontrolle der im Heckanbau angebrachten Säaggregate ist, vor allem bei vielreihigen Sämaschinen, kaum mehr möglich. Hinzu kommt die Forderung nach höchstmöglicher Exaktheit der Kornablage, deren Kontrolle mit den genannten mechanischen Vorrichtungen nur unzureichend zu verwirklichen ist.

Abb. 57: Ablagekontrolle durch optische Anzeige im Blickfeld des Schlepperfahrers

Deshalb wurden in letzter Zeit elektronische Kontrollvorrichtungen entwickelt, die nach dem Lichtschranken- oder Prallflächenprinzip eine kontinuierliche Kontrolle des Kornabfalles durchführen. Durch optische Anzeigeinstrumente, die im Blickfeld des Fahrers am Armaturenbrett des Schleppers angebracht sind (Abb. 57) ist dann die Ab-

lagekontrolle für jedes einzelne Säaggregat vom Schleppersitz aus möglich. Durch günstige Anordnung der Meßstellen im Fallschacht der Säaggregate konnten früher beobachtete Schwierigkeiten (z.B. fehlerhafte Funktion bei Staubentwicklung) ausgeschaltet werden.

5.2 Arbeitszeitbedarf

Der Arbeitszeitbedarf (h/ha) stellt den reziproken Wert der Flächenleistung (ha/h) dar und ist bei 1-Mann-Verfahren gleichbedeutend mit dem Gesamt-Arbeitszeitbedarf, ausgedrückt in AKh/ha. Bei den Berechnungen des Arbeitszeitbedarfes wurden daher die für die Ermittlung der Flächenleistung (Abb. 51 - 53) verwendeten Grunddaten hier berücksichtigt.

In Abbildung 58 ist der Arbeitszeitbedarf je Hektar bei Fahrgeschwindigkeiten von 6, 8 und 10 km/h sowie für ausgewählte Kombinationen von Schlaggröße und Schlaglänge dargestellt.

Es zeigt sich, daß sich bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h ein Steigern der Arbeitsbreite (Reihenzahl) wesentlich stärker in einer Verringerung des Arbeitszeitbedarfes auswirkt, als bei höheren Fahrgeschwindigkeiten. So bewirkt z.B. bei 1 ha Schlaggröße, 150 m Schlaglänge und 6 km/h Fahrgeschwindigkeit der Übergang von 4-reihiger auf 6-reihige Arbeitsweise eine Verringerung des Arbeitszeitbedarfes von 0,78 h/ha auf 0,57 ha/h (= 73,2 % des Ausgangswertes), von 4-reihiger auf 8-reihige Arbeitsweise dagegen einen Rückgang von 0,78 h/ha auf 0,43 h/ha (= 55,2 % des Ausgangswertes). Bei 10 km/h Fahrgeschwindigkeit und gleichbleibenden übrigen Bedingungen verringert sich der Arbeitszeitbedarf bei Erhöhung der Arbeitsbreite von 4 auf 6 Reihen von 0,54 h/ha auf 0,41 h/ha (75,9 %) bzw. beim Übergang von 4 auf 8 Reihen von 0,54 h/ha auf 0,31 h/ha (= auf 57,5 % des Ausgangswertes).

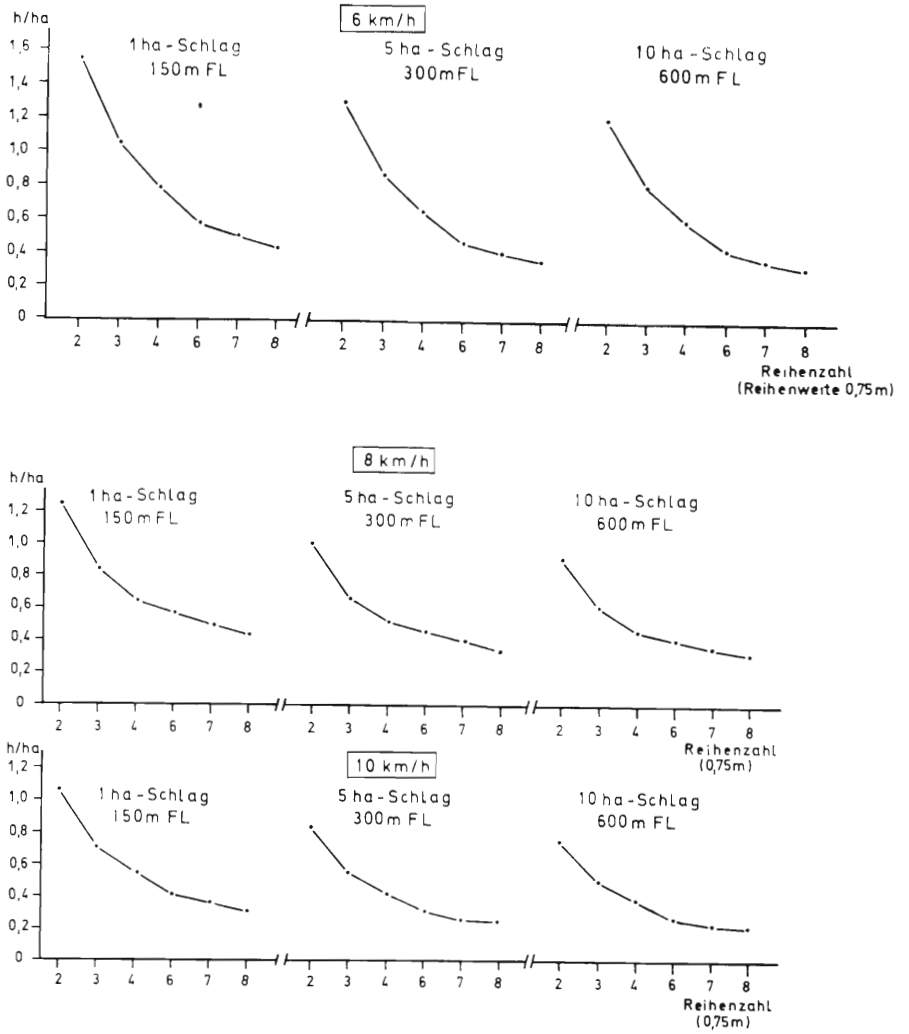


Abb. 58: Arbeitszeitbedarf für die Maissaat in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit, Arbeitsbreite (Reihenzahl) und Schlagabmessungen

Beim 10 ha-Schlag mit 600 m Feldlänge bringt die Steigerung von 4 auf 6 Reihen bei 6 km/h Fahrgeschwindigkeit eine Veränderung des Arbeitszeitbedarfes von 0,61 auf 0,42 h/ha (= 68,9 % des Ausgangswertes), der Übergang von 4 auf 8 Reihen eine solche von 0,61 auf 0,32 h/ha (= 52,5 %).

Bei 10 km/h Fahrgeschwindigkeit verringert sich der Arbeitszeitbedarf bei einem Übergang von 4 auf 6 Reihen von 0,38 auf 0,27 h/ha (= 71,1 %), von 4 auf 8 Reihen 0,38 auf 0,21 h/ha (55,5 % des Ausgangswertes).

Aus diesen Ergebnissen ist zu folgern, daß im Rahmen der derzeit realisierbaren Fahrgeschwindigkeiten von maximal 10 km/h ein Erhöhen der Reihenzahl (Arbeitsbreite) eine wesentlich effizientere Verringerung des Arbeitszeitbedarfes bewirkt als die Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit von 6 auf 10 km/h. Dies gilt sowohl für den 1 ha-Schlag mit 150 m Feldlänge, bei welchem der Übergang von 4 auf 8 Reihen eine maximale Verringerung des Arbeitszeitbedarfes auf 55,5 % des Ausgangswertes bringt. Es gilt ebenso für den 10 ha-Schlag, bei welchem eine Verringerung auf 52,5 % des Ausgangswertes erfolgt. Nachdem selbst bei einer Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit auf 10 km/h noch ein beträchtlicher Unterschied zu dem über eine Erhöhung der Reihenzahl erzielbaren Rückgang des Arbeitszeitbedarfes besteht, wären nur bei -technisch derzeit noch nicht realisierbaren- Fahrgeschwindigkeiten von ca. 12 km/h und darüber günstigere Werte zu erwarten.

Demgegenüber bewirkt der Einsatz auf größeren Schlägen (bei gleichbleibender Reihenzahl und Fahrgeschwindigkeit) deutliche Vorteile. Da jedoch nicht mit einer raschen Strukturwandlung in der Landwirtschaft zu rechnen ist und demzufolge die Teilstückgröße sich in absehbarer Zeit nicht gravierend ändern kann, scheidet diese Möglichkeit zur Verringerung des Arbeitszeitbedarfes weitgehend aus.

Auf die Möglichkeiten, durch technisch-konstruktive Maßnahmen den Zeitbedarf für das Nachfüllen des Saatgutes zu senken, wurde bereits im Abschnitt "Saatgutvorratsbehälter" hingewiesen.

5.3 Kosten der Arbeitserledigung

In direktem Zusammenhang mit der erzielbaren Flächenleistung stehen die Kosten der Arbeitserledigung. Je höher die geräte- bzw. ablagesystem-spezifische Flächenleistung liegt, eine desto größere Saatfläche kann in der begrenzten Arbeitszeitspanne bewältigt werden. Zwar ist es möglich, durch eine Staffelung des Maschineneinsatzes (Aussaat von Körner- und Silomais, Ausnutzen der klimatischen Unterschiede in den Saatterminen) das Flächenangebot zu vergrößern. Diese Möglichkeiten werden vor allem von Lohnunternehmern, Maschinenringen oder ähnlichen Organisationsformen des überbetrieblichen Maschineneinsatzes seit jeher in dem unter hiesigen Anbauverhältnissen möglichen Rahmen genutzt.

Hohe Fahrgeschwindigkeiten als Voraussetzung für eine hohe Flächenleistung sind jedoch mit ausreichender Ablagequalität nur von hochtechnisierten Ablagesystemen zu erzielen. Die Investitionen für die Anschaffung dieser Maschinen sind beträchtlich und lassen nur dann eine kostengünstige Maschinenverwendung erwarten, wenn ein ausreichendes Flächenangebot vorliegt. Diese ökonomische Frage ist vor allem bei eigenbetrieblicher Maschinenverwendung vorrangig und steht in Relation zu den Kosten des Maschineneinsatzes bei überbetrieblicher Maschinennutzung zu sehen.

Deshalb wurden anhand einer vereinfachten Kostenrechnung nach SCHAEFER-KEHNERT (108) die Kosten der Arbeitserledigung für vierreihige Mais-Einzelkornsämaschinen mit unterschiedlichem Anschaffungspreis errechnet. Das Ergebnis dieser Berechnung ist in Abbildung 59 dargestellt. Aus Gründen eines direkten Vergleiches sind die im überbetrieblichen Maschineneinsatz geltenden Verrechnungssätze als schraffierter Bereich eingetragen. Außerdem wurden in den getrennten Diagrammen derzeit geltende Lohn- und Schlepperkosten sowie im Hinblick auf die Kostenentwicklung auch künftige Kostensätze unterstellt.

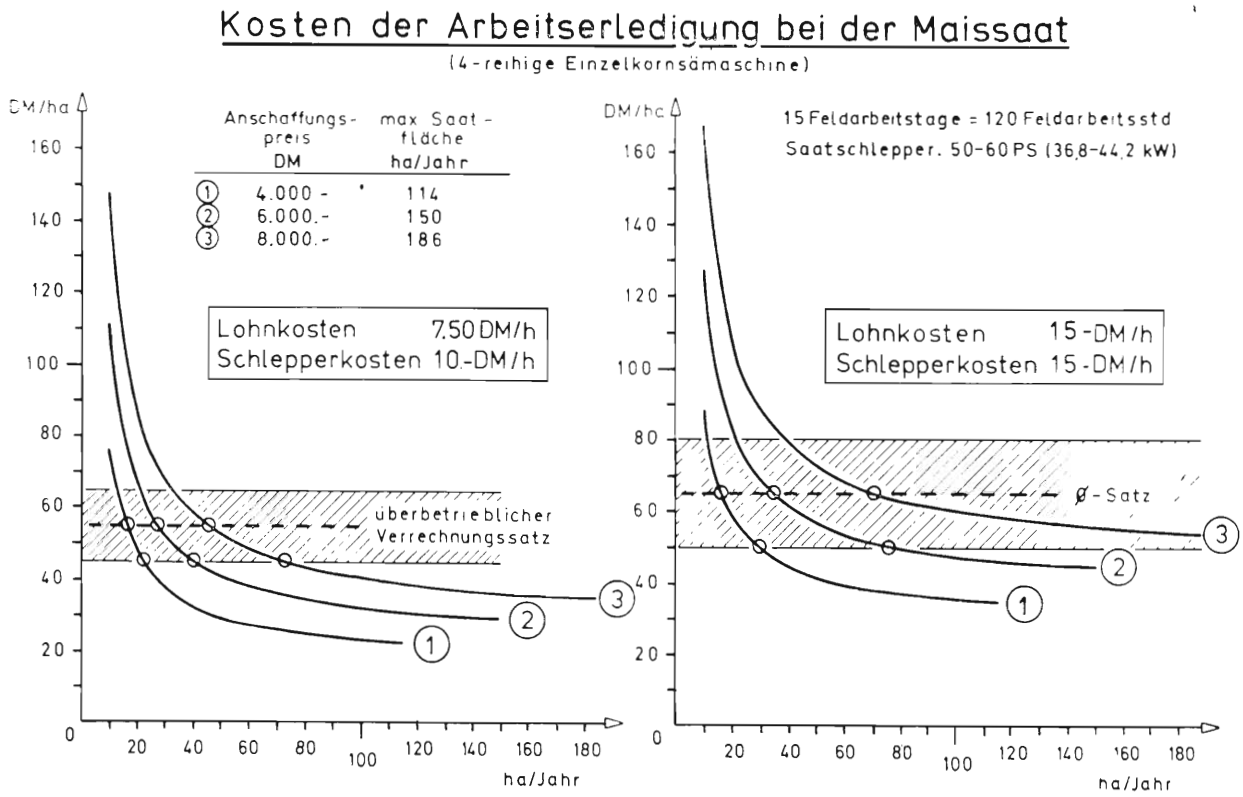


Abb. 59

Es zeigt sich, daß bei den derzeitigen Kostensätzen (Diagramm links) Geräte mit geringem Anschaffungspreis (Kostenkurve (1), z.B. Kompromiß-Sägeräte) bis zu einer Saatfläche von ca. 20 ha/Jahr im überbetrieblichen Einsatz kostengünstiger abschneiden, als bei Verwendung im Eigenbesitz. Für Geräte mit hohem Anschaffungspreis (Kostenkurve (3), z.B. pneumatische Säsysteme) ist bei Eigenbesitz eine Saatfläche von mindestens ca. 75 ha/Jahr erforderlich, wenn geringere Kosten als im überbetrieblichen Einsatz erzielt werden sollen. Werden künftige Lohn- und Schlepperkosten von je 15.-DM/h unterstellt (Diagramm rechts), ändert sich der Kostenkurvenverlauf vor allem bei Geräten mit mittlerem und hohem Anschaffungspreis erheblich. So unterschreitet z.B. die Kurve (3) auch bei maximaler Auslastung von 186 ha/Jahr nicht den Bereich der im überbetrieblichen Einsatz verrechneten Kostensätze. Hier verursacht also die Maschinenverwendung im Eigenbesitz generell höhere Kosten als der überbetriebliche Einsatz. Eine zuzüglich zu den erhöhten Lohn- und Schlepperkosten unterstellte 10%ige Steigerung der Maschinen-Anschaffungspreise verändert die Kostenhöhe und den Kurvenverlauf nur unwesentlich (Anhang).

5.4 Minimal-Bestellung bei Mais

Die knappe Zeitspanne für die Bewältigung der Maissaat, das Bestreben nach Steigerung der Schlagkraft, aber auch ackerbauliche und bodenphysikalische Überlegungen haben dazu geführt, daß einer Reduzierung des Aufwandes für den gesamten Komplex "Maisbestellung" zunehmende Aufmerksamkeit geschenkt wird. Von einer "Minimal-Bestellung" werden im wesentlichen folgende positiven Auswirkungen erwartet:

- Einsparung von Arbeitsgängen
- Geringerer Fahrspurenanteil
- auf niederschlagsreichen Standorten verhindern von Bodenverschlämmung und -erosion
- in niederschlagsarmen Gebieten volles Ausnützen der Niederschläge
- störungsfreie Abwicklung der Bestellarbeiten bei Anbau von Mais in Monokultur
- Steigerung der Erträge
- Verringerung der Kosten.

In allen Ländern, in denen der Körnermaisanbau Bedeutung erlangt hat, sind in den letzten Jahren eine Vielzahl von Mechanisierungslösungen für die Minimalbestellung entwickelt und untersucht worden. Besonders aus den USA wird über zum Teil mehrjährige Versuche berichtet, bei denen nach oder ohne Primärbearbeitung durch den Pflug verschiedene Kombinationen von Grubber, Häufelkörpern, Scheibeneggen und Fräsen mit Einzelkornsägeräten eingesetzt wurden. PARSONS et al (92), RICHEY et al (95), RASK et al (93), - - (155), BLEVINS et al (12), GRIFFITH et al (55) und WISCHMEIER (131) berichten, daß mit diesen

Verfahren auf mehreren Bodentypen bei z.T. dreijähriger Versuchsdauer gleiche bzw. höhere Erträge bei geringeren Kosten erzielt wurden.

Über Versuche und Erfahrungen in der Bundesrepublik auf diesem Gebiet berichteten unter anderem STANZEL (115), MEYER (84), ESTLER (39, 42), BIRNKAMMER (11) und WIENEKE (128). Die Untersuchungsergebnisse lassen erkennen, daß durch den Abbau oder die Minderung bestehender Arbeitsspitzen infolge einer zeitlichen Verlagerung oder Weglassen einzelner Arbeitsgänge der wesentliche Effekt zu erzielen ist. Betriebsorganisatorischer Ansatzpunkt für eine Reduzierung ist die Pflugfurche, die in vielen Ackerbaubetrieben eine ausgeprägte Arbeitsspitze darstellt. So konnte unter Verzicht auf eine Pflugfurche und bei Bestellung des Maises in den ungepflügten Boden mittels einer Streifenfräse eine streifenförmige, aber ausreichende Bodenbearbeitung erreicht werden. Die von BIRNKAMMER (11) ermittelte Arbeitszeiteinsparung betrug max. 5 AKh/ha gegenüber der konventionellen Bestellmethode. Aber auch bei Beibehaltung der Pflugfurche als Primärbearbeitungsgang und nachfolgender Koppelung des Sägerätes mit streifenförmig- oder ganzflächig arbeitenden Bodenbearbeitungsgeräten konnten im Vergleich zur konventionellen Variante wesentliche Arbeitszeiteinsparungen bei annähernd gleich hohen Erträgen erzielt werden (nach STANZEL 115, auf schwerem Boden von 5,7 AKh/ha auf 2,3 AKh/ha).

Die wesentlichen Vorteile einer Minimal-Bestellung im Vergleich zur konventionellen Bestellung sind also im arbeitswirtschaftlichen Bereich zu erzielen. Die Erfahrungen lassen jedoch erkennen, daß im Hinblick auf die unterschiedlichen Standortverhältnisse auch im Maisanbau eine universelle Verwendbarkeit der Minimal-Bestelltechnik nur dann zu erwarten ist, wenn das installierte Bodenbearbeitungsgerät eine gezielte und ausreichende Bodenvorbereitung in einem einzigen

Arbeitsgang ermöglicht. Hierfür sind zapfwellenbetriebene Bodenbearbeitungswerkzeuge mit Untersetzungsgetrieben zum Verstellen der Werkzeug-Umlaufgeschwindigkeit vorteilhafter als gezogene Werkzeuge.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse "Maisbestellung"

Im Verfahrens-Teilbereich "Maisbestellung" sind die Auswirkungen der beiden Hauptforderungen "hohe Qualität der Arbeitserledigung" und "hohe Flächenleistung" besonders prägnant und von wesentlichem Einfluß. Das Einhalten einer hohen Arbeitsqualität, also Ablagegenauigkeit beim Saatvorgang hat deshalb eine besondere Bedeutung, weil durch die sachgerechte Ablage und Einbettung der standort- und sortenspezifisch optimalen Anzahl von Körnern die Basis für das Erzielen entsprechender Ernteerträge geschaffen wird. Eine hohe Flächenleistung ist erforderlich, um in der relativ knapp bemessenen, optimalen Saatzeitspanne die Saatbettvorbereitung und Aussaat ordnungsgemäß zu bewältigen und darüber hinaus aus ökonomischen Gründen eine hohe Arbeitsproduktivität zu erzielen.

Beide Forderungen sind in einem zukunftsorientierten Körnermaisbau eng miteinander verknüpft und lassen sich nicht isoliert betrachten. Eine hochmechanisierte Anbautechnik muß deshalb eine hohe Qualität der Arbeitserledigung bei gleichbleibend hoher Flächenleistung gewährleisten. Nachdem "hohe Flächenleistung" unter den in der BRD vorliegenden Bedingungen in der Regel gleichbedeutend mit dem Einhalten hoher Arbeitsgeschwindigkeiten bei der Saat ist, sind die vorhandenen Ablagesysteme von Einzelkorn-Sämaschinen vor allem danach zu beurteilen, wie sich die Ablagegenauigkeit mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit verändert und welche Korrekturmöglichkeiten bestehen.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen erkennen, daß die konventionellen, kalibrierungsabhängigen Einzelkorn-Sämaschinen auch bei Beschickung mit exakt kalibriertem Saatgut lediglich bis zu Arbeitsgeschwindigkeiten von ca. 5 km/h eine befriedigende Ablagegenauigkeit erreichen. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit steigt insbesondere der Fehlstellenanteil sprunghaft an, da infolge der begrenzten Füllstrecke im Saatgutvorratsbehälter ein sicheres Befüllen der einzelnen Säzellen nicht zu erreichen ist.

Die neu- oder weiterentwickelten mechanischen und pneumatischen Säsysteme sind konstruktiv eindeutig auf das Erfüllen der Forderungen

- Unempfindlichkeit gegenüber wechselnden Kornformen und Korngrößen
- sichere Einzelkornerfassung auch bei hoher Fahrgeschwindigkeit (hoher Umlaufgeschwindigkeit des Säorganes)
- ordnungsgemäßes Einbetten der Samen in den Boden

ausgerichtet. Das Verwirklichen dieser Zielvorstellungen erfordert jedoch einen entsprechend hohen technisch-konstruktiven Aufwand.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß auch für diese hochentwickelten, kalibrierungs-unempfindlichen Einzelkornsämaschinen gewisse Schwellenwerte hinsichtlich der Steigerung der Fahrgeschwindigkeit bestehen, wobei gerätespezifisch zum Teil erhebliche Unterschiede bestehen.

Bei dem mechanischen Schöpflöffelsystem mit Kammerrad liegt bei Verwendung der 18-Löffel-Scheibe die im Hinblick auf eine erforderliche Ablagequalität zulässige Höchstgeschwindigkeit bei ca. 6 km/h. Das Steigern der Löffelzahl auf 36 wirkt sich nicht nur in einer generellen, erheblichen Verbesserung der Ablagequalität

aus. Diese wird auch noch bei ca. 9 km/h (11,0 cm Kornabstand) beziehungsweise über 11 km/h (15,5 cm Kornabstand) in einer Höhe erreicht, die mit den Werten der pneumatischen Samaschinen absolut vergleichbar ist.

Bei den pneumatischen Säsystemen bestehen zwischen den einheimischen und französischen Entwicklungen nur geringfügige Unterschiede. Sie äußern sich vor allem darin, in welchem Geschwindigkeitsbereich das Optimum der Ablagequalität liegt, bzw. in welchem Maße sich bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit die Ablageergebnisse verändern. So zeigt sich z.B. im Durchschnitt der Versuchsjahre, daß das System "Lochring mit Kammerrad" bis ca. 9 km/h über alle Geschwindigkeitsstufen hinweg relativ gleichbleibend hohe Werte erzielt. Gleiches gilt für die Lochscheibe mit einer Lochreihe und das Druckspülsystem. Stärkere negative Abweichungen zeigt dagegen das Lochscheibensystem mit zwei Lochreihen und das US-Druckluftsystem, letzteres vor allem bei engen Kornabständen in der Reihe. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der Reihenfolge der Systeme nach dem Wertzahl-Beurteilungsschema wider. Korrekturmöglichleiten hinsichtlich der Einzelkornerfassung ergeben sich nur im unteren Geschwindigkeitsbereich durch eine exakte Einstellung der Abstreifvorrichtung. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit wird bei einigen Geräten die Einzelkornerfassung erschwert, was sich in einem steigenden Fehlstellenanteil äußert. Hier können Befüllhilfen eine wirksame Abhilfe schaffen (Flügelräder, Mitnehmerfinger etc.).

Exaktversuche über den Einfluß ungleichmäßiger Pflanzenabstände auf den Körnerertrag liegen in ausreichendem Umfang bislang noch nicht vor. Für eine Diskussion des Nutzeffektes einer möglichst exakten Kornablage sind die Ergebnisse der je Flächeneinheit ausgebrachten Körner (Körner/ha) im Vergleich zum Saattabellenwert unter Berücksichtigung des Feldaufganges interessant. Dabei zeigt sich, daß bei einigen Ablagesystemen (z.B. Schöpflöffel, 18 Löffel; Lochring mit

Kammerrad; Lochscheibe mit 2 Lochreihen; Druckluftsystem) die pro Flächeneinheit insgesamt ausgebrachte Zahl an Körnern in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit zum Teil erheblich um die Sollzahl schwankt und der laut Saattabelle eingestellte Wert unkontrollierbar über-, teilweise aber auch erheblich unterschritten wird. Die anderen Säsysteme liegen entweder konstant über oder stets unter dem Tabellenwert.

Von der Sicht des praktischen Maschineneinsatzes sind diejenigen Systeme vorteilhafter, bei denen der Tabellenwert konstant eingehalten oder um einen bestimmten Prozentsatz über- bzw. unterschritten wird. Hier läßt sich durch die Einstellung einer entsprechend niedrigen oder höheren Getriebestufe die angestrebte Kornzahl mit größerer Sicherheit erreichen als bei Geräten mit unkontrollierbar nach oben und unten differierenden Werten.

Im Hinblick auf das gleichmäßige Einhalten der vorgegebenen Kornablagetiefe bestehen direkte Wechselwirkungen zur Maschinenkonstruktion, insbesondere zum Gesamtgewicht bzw. der möglichen Gewichtsbelastung sowie dem Fassungsvermögen des Saatgutvorratsbehälters. Geräte mit geringem Eigengewicht und geringem Saatgutbehälter-Inhalt können bei höheren Fahrgeschwindigkeiten die eingestellte Kornablagetiefe nicht so sicher einhalten wie die schwereren Geräte. Dies äußert sich in einem zeitlich ungleichmäßigen Aufgang der Pflanzen. Druckrollen mit flexiblem Gummibelag verbessern die gleichmäßige Tiefenhaltung.

Die mathematische Betrachtung des Abwurf-Einbettungsvorganges erklärt die Ursachen für diese Erscheinung. Es zeigt sich, daß in der Abwurfphase die Umfangsgeschwindigkeit der Säorgane (die gleichbedeutend mit der Abwurfgeschwindigkeit der Körner ist), die Fallhöhe sowie die Fahrgeschwindigkeit eine ordnungsgemäße Kornablage auf die volle

Saatfurchentiefe beeinflussen. Die günstigsten Ergebnisse werden von Systemen erreicht, die eine geringe Fallhöhe besitzen und bei denen auch bei hoher Fahrgeschwindigkeit keine zu große Differenz zur Säorgan-Umlaufgeschwindigkeit besteht.

Die Auswirkungen steigender Fahrgeschwindigkeiten, größerer Arbeitsbreite sowie unterschiedlicher Schlaglängen und -größen auf die erzielbare Flächenleistung bei der Maissaat wurden in einem Simulationsprogramm berechnet. Hierbei zeigt sich, daß in den derzeit realisierbaren Geschwindigkeitsbereichen bis 8 km/h ein Steigern der Arbeitsbreite einen höheren Effekt bringt als das Erhöhen der Fahrgeschwindigkeit. Erst höhere Fahrgeschwindigkeiten (10 km/h) wirken sich in einer höheren Steigerungsrate aus als die Vergrößerung der Arbeitsbreite. Bei den derzeit vorhandenen Ablagesystemen ist jedoch eine derartige Geschwindigkeitssteigerung gleichbedeutend mit einer sprunghaften Verschlechterung der Ablagegenauigkeit und deshalb bei den im Silo- und Körnermaisanbau üblichen Pflanzenbestandszahlen und Reihenweiten nicht zu empfehlen.

In diese Überlegungen sind auch die Möglichkeiten der Anwendung neuerer Bestelltechniken, z.B. die Minimalbestellung mit einzubeziehen. Durch das Zusammenfassen bislang nacheinander abgewickelter Arbeitsgänge läßt sich ein echter Rationalisierungseffekt erzielen, der sich in einer erheblichen Verringerung des Arbeitszeitbedarfes auswirkt. Bei geeigneten Vorbedingungen kann durch ein konsequentes Einhalten derartiger Bestellverfahren der Zwang zu einer einseitigen Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit bei der Aussaat kompensiert werden.

III. VERFAHRENS-TEILBEREICH "KÖRNERMAISERNTE"

Die derzeitige Situation auf dem Sektor der Körnermais-Erntetechnik ist dadurch gekennzeichnet, daß einerseits auf dem Maschinensektor eine gewisse Konsolidierung in der technisch-konstruktiven Entwicklung und die Beschränkung auf im wesentlichen zwei, vorrangig angewandte Ernteverfahren eingetreten ist (79). Andererseits wird angestrebt, auch für die Grenzlagen des Körnermaisbaues Mechanisierungslösungen und Arbeitsverfahren anzubieten, bei denen aus Gründen eines ungehinderten Maschineneinsatzes bei höherer Kornfeuchte und einer weitgehenden Risikominderung nicht ausschließlich die reinen Körner geerntet werden. Diese neuen Erntegutformen enthalten einen mehr oder minder großen Anteil der Restpflanze und erfordern je nach Zusammensetzung des Erntegutes, Rohfaseranteil und Aufbereitungsform eine spezielle Ausstattung der Erntemaschinen und Arbeitsverfahren, welche die Besonderheiten der jeweiligen Erntegüter berücksichtigen.

Verfahren	Erntegut	Erntemaschine
1. Kolbenernte	entlieschte Kolben	Kolbenpflücker
2. Körnerernte	reine Maiskörner	Pflückrebler Mähdrescher
3. Körner- und Spindelernte	Gemisch von Körnern und Maisspindeln (u.U. Stengelteile)	Kolbenpflücker Mähdrescher Pflückhäcksler

Tabelle 13: Verfahren für verschiedene Aufbereitungsstufen von Körnermais

1. Ernte reiner Maiskörner

Das Ernten des Maises im körnerreifen Zustand und in gereinigter Form ist nach wie vor für alle diejenigen Betriebe von besonderer Bedeutung, die auf die Produktion von Verkaufsware ausgerichtet sind oder eine Veredelung des Körnermaises über die betriebseigene Tierhaltung durchführen. Darüberhinaus bietet das Ernten reiner Körner dem landwirtschaftlichen Betrieb ein Höchstmaß an Flexibilität in der Wahl der Konservierungsform und Verwertungsrichtung.

Nach der stürmisch verlaufenen Periode intensiver technischer Entwicklungen neuer Mechanisierungslösungen und Arbeitsverfahren für das Ernten reiner Maiskörner in den Jahren von etwa 1960 bis 1967 ist in den letzten Jahren eine gewisse Begradigung und die Konzentration auf bevorzugte Erntemaschinen und -verfahren eingetreten. Diese Entwicklung äußert sich auch darin, daß aus den vergangenen Jahren nur sporadische Publikationen über grundsätzliche Weiterentwicklungen der Körnermaiserntetechnik vorliegen. Dies gilt für den Bereich der BRD ebenso wie für die ausländische Literatur. In den Berichten von GRAEBER (54), von KEISER (71), NOACK et al (88), BANHAZI (6), JOVAN (69) und ESTLER (40) wird übereinstimmend darauf hingewiesen, daß die Körnermaiserntetechnik heute einen sehr hohen Stand erreicht hat. Technische Weiterentwicklungen erfolgen nur noch im Detail. Eindeutiges Ziel aller technischer Bemühungen ist es, eine Steigerung der Drusch- und Reinigungsleistung, Verlustminderung und Verbesserung der Witterungs-Unempfindlichkeit der Erntemaschinen zu erreichen, um in der eng begrenzten Einsatzzeitspanne eine hohe Flächenproduktivität zu erreichen.

1.1 Fragebogenerhebung zur "Erntetechnik im Körnermaisbau"

Für den [illegible] reich der BRD e[illegible]beitete REUSS (94) einen Überblick über den Stand der Maiserntetechnik und die Maschinenverwendung in verschiedenen Anbauflächengruppen für das Jahr 1973. Diese Untersuchung stellt das Ergebnis einer Fragebogenerhebung in 138 Maisbaubetrieben in der gesamten Bundesrepublik dar. Die Erhebung sollte in einem Vergleich mit Angaben, die ESTLER (30) für die Jahre 1962 bis 1965 in den gleichen Erhebungsbetrieben erfaßt hatte, die technische Weiterentwicklung auf dem Maiserntesektor in diesen Betrieben aufzeigen.

Anbaugruppe	Jahr	Ernteverfahren				
		Kolben-pflücker %	Pflück-rebler %	MD mit Mähvorsatz %	MD mit Pflückvorsatz %	andere Verfahren[1] %
I (1- 4,5 ha)	1965	11,2	8,7	49,4	6,3	24,4
	1973	-	12,5	12,5	75,0	-
II (5- 9,9 ha)	1965	7,8	6,1	68,5	5,3	12,3
	1973	-	12,5	8,3	79,2	-
III (10-14,9 ha)	1965	4,8	6,7	72,6	3,9	12,0
	1973	-	5,9	17,6	76,5	-
IV (15-19,9 ha)	1965	5,0	4,0	79,0	6,0	6,0
	1973	-	12,5	-	87,5	-
V (20-24,9 ha)	1965	6,7	5,5	74,5	7,8	5,5
	1973	-	-	-	100,0	-
VI (25-29,9 ha)	1965	4,2	8,3	83,4	4,1	-
	1973	16,7	-	-	83,3	-
VII (über 30 ha)	1965	-	9,0	62,8	28,2	-
	1973	-	18,2	-	81,8	-

[1] z.B. Handernte, MD ohne Zusatzvorrichtung

Tabelle 14: Verwendung von Körnermaiserntemaschinen in verschiedenen Anbaugruppen und Erhebungsjahren (nach REUSS, 94)

Die Untersuchung zeigt, daß 1973 das "Pflückdrusch-Verfahren" (Mähdrescher mit Maispflückvorsatz) im Gesamtdurchschnitt in fast 70 % aller Betriebe eingesetzt wurde. Ihm folgt der Pflückrebler (vorwiegend als Selbstfahrer) mit nahezu 22 %, während nur rd. 6 % der Betriebe den Mähdrescher mit Maismähvorsatz einsetzen. 2 % entfallen auf andere Verfahren, z.B. Kolbenpflücker. Im Jahr 1965 hatte die Verteilung in der Anbauzone 2 (nach LIESEGANG, 81) noch folgendermaßen gelautet: Mähdrescher mit Maismähvorsatz 53,5 %, Mähdrescher mit Maispflückvorsatz 30,2 %, andere Verfahren 16,3 % .

Die Gegenüberstellung veranschaulicht, daß die Handernte und der Einsatz von Mähdreschern ohne Maiserntevorsatz keinerlei Bedeutung mehr hat. Aber auch Spezial-Kolbenpflücker und Mähdrescher mit Maismähvorsatz werden nur noch vereinzelt verwendet, erstere vorwiegend in Saatgut-Vermehrungsbetrieben. Der Mähdrescher mit Maispflückvorsatz ist dagegen in allen Anbauflächen-Gruppen das eindeutig bevorzugte Verfahren. Bei geringeren Anbauflächen herrscht die mehrbetriebliche Nutzung vor, bei umfangreicheren Flächen derzeit noch der Eigenbesitz. Gerade in Betrieben mit größerem Flächenangebot ist jedoch zur Zeit ein verstärkter Trend zur Einschaltung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes für die Körnermaisernte zu beobachten, um Arbeitskräfte für gleichzeitig ablaufende Arbeitsgänge (Kornabfuhr, Herbst-Bodenbearbeitung, Wintergetreideeinsaat) freizustellen und den betriebseigenen Getreide-Mähdrescher nicht der starken Belastung in der Körnermaisernte auszusetzen. Das zunehmende Interesse am selbsfahrenden Pflückrebler äußert sich auch hier in einer Verwendung in mehreren Anbauflächengruppen, wobei infolge der Einzweck-Nutzung sowie des höheren Kapitalbedarfes bei Neuanschaffung der überbetriebliche Maschineneinsatz vorherrscht. Diese Ermittlungen decken sich mit Aussagen anderer Autoren (z.B. 158).

1.2 Technische Entwicklungen bei den Verfahren "Pflückdrusch" und "Pflückrebler"

Nachdem durch die Fragebogenerhebung der beobachtete Trend zur bevorzugten Anwendung des Pflückdrusch-Verfahrens, aber auch einem zunehmenden Einsatz des Spezial-Maisernters (Pflückrebler) bestätigt wurde, ist für eine Beurteilung der Einsatzbereiche beider Verfahren ein Vergleich deren technischer Ausstattung erforderlich. Darauf aufbauend sollen anschließend die möglichen und absehbaren technischen Weiterentwicklungen diskutiert werden.

Im grundsätzlichen, konstruktiven Aufbau besteht zwischen beiden Erntemaschinen-Bauarten weitgehende Übereinstimmung (Abb. 60). Beide Bauarten sind ausgerüstet mit

- Mais-Pflückvorsatz
- speziellen Dreschvorrichtungen
- dem Erntegut angepaßten Reinigungsanlagen
- großvolumigem Korntank
- modernen Steuer- und Überwachungseinrichtungen.

Schleppergezogene Maschinen werden zwar bei beiden Maschinenkategorien angeboten, die selbstfahrende Version hat jedoch eindeutig den Vorrang.

In speziellen, technisch-konstruktiven Einzelheiten zeigen sich jedoch typische Unterschiede zwischen den Erntemaschinen, deren Ursache in dem jeweils vorhandenen Entkörnungsprinzip begründet liegt.

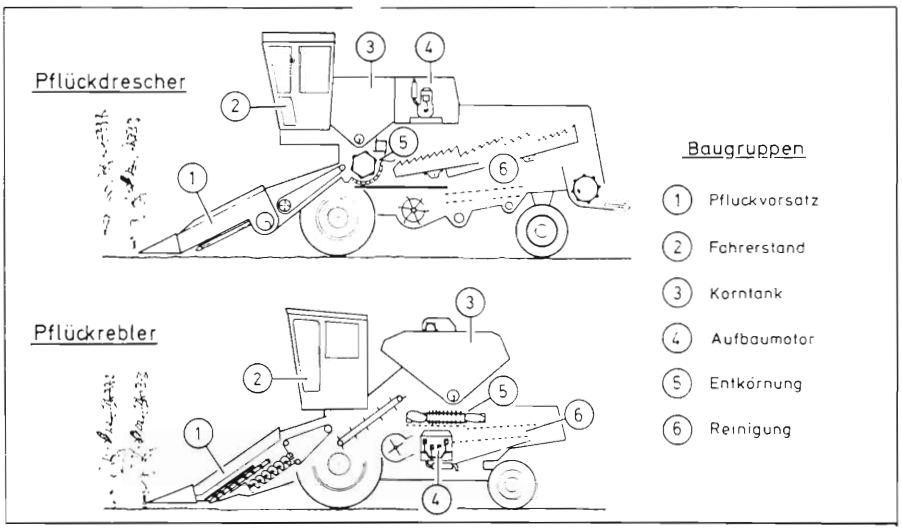


Abb. 60: Anordnung der Baugruppen bei selbstfahrenden Körnermais-Erntemaschinen

Baugruppe	Pflückdrescher	Pflückrebler
Pflückvorsatz	Pflückschienen + Reißwalzen	Profil-Pflückwalzen
Entkörnung	verkleidete Dresch-trommel + Spezialkorb	Rebelaggregat
Motorleistung	30 - 35 PS/Reihe	23 - 27 PS/Reihe
Strohabsonderung	Hordenschüttler (ca. 1,2-1,7 m^2/Reihe)	komb.Schwingschütt-ler und Spezial-Obersieb (ca. 0,28-0,38 m^2/Reihe)
Körnerreinigung	Spezial-Obersieb Wechsel-Lochsieb (ca.0,7-1,0 m^2/Reihe) Windreinigung	Wechsel-Lochsieb (ca.0,45-0,60 m^2/Reihe) Windreinigung

Tabelle 15: Technische Vergleichsmerkmale bei Pflückdrescher und Pflückrebler

Als Pflückvorrichtungen werden beim Mähdrescher-Pflückvorsatz fast ausschließlich Pflückschienen-Reißwalzen-Aggregate verwendet. Daß hierbei je nach Erntebedingungen bis zu 30 % des gesamten Maisstrohes in den Mähdrescher gelangt, wird bei den großdimensionierten, intensiv wirkenden Horden-Schüttlern mit entsprechender Abscheidefläche nicht als schwerwiegender Nachteil empfunden (30). Andererseits haben die im Vergleich zum Profilwalzen-Pflückvorsatz kürzere Baulänge sowie der geringere Anstellwinkel entscheidend zur Verringerung der Pflückverluste beigetragen. Pflückvorsätze zum Mähdrescher werden derzeit in Arbeitsbreiten von 2 bis 8 Reihen angeboten. Ein echter Frontschnitt ist bei den derzeit üblichen Reihenentfernungen von Ø 0,75 m unter 3 Reihen Arbeitsbreite nicht möglich. Pflückvorsätze mit einer Gesamtbreite von >3 m müssen jedoch beim Straßentransport abgebaut und auf gesonderten Nachläufern transportiert werden.

Die Pflückqualität (geringe Verstopfungsneigung, geringer Strohanteil im Pflückgut, geringe Kolbenverluste) wird in hohem Maße von der Einstellung der Pflückschienen und Reißwalzen beeinflußt. Die für eine einwandfreie Abtrennung des Kolbens vom Maisstengel ausschlaggebenden Merkmale Pflanzendurchmesser am Kolbenansatz, Durchmesser der Kolbenbasis und Länge des Kolbenschaftes sind vorwiegend von der Sorte und dem Standort abhängig. Da sich diese Bedingungen im praktischen Maschineneinsatz u.U. mehrmals täglich ändern können (z.B. bei Lohndrusch), wurde konstruktiv der Verbesserung der Verstellvorrichtungen bei den Pflückschienen und Reißwalzen besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Bei den derzeit angebotenen Konstruktionen wird bei den paarweise angeordneten Pflückschienen und Reißwalzen jeweils ein Bauteil fixiert. Das gegenüberliegende ist mit einer Verstellvorrichtung ausgestattet und kann an die jeweils vorliegenden Bestandsverhältnisse angepaßt werden. Neben Einzel-Verstellvorrichtungen für jedes Aggregat wird vor allem bei vielreihigen Pflückvorsätzen eine gemeinsame Verstellung aller beweglichen Pflückschienen-

und Reißwalzenteile eines Vorsatzes angestrebt.

Beim selbstfahrenden Pflückrebler wird dagegen nach wie vor der Pflückvorsatz mit Profil-Pflückwalzen bevorzugt. Das Verwenden dieser Pflückvorrichtung wurde durch das beim Pflückrebler verwendete Entkörnungsprinzip bedingt. Da das Rebelaggregat funktionell nicht in der Lage ist, höhere Anteile an Lieschen und Restpflanzenteilen zu verarbeiten, müssen diese bereits vorher abgesondert werden. Die gegenläufig rotierenden Profil-Pflückwalzen sind aufgrund ihres Funktionsprinzips in der Lage, bereits beim Pflückvorgang einen gewissen Anteil der Lieschen, sowie nahezu das gesamte Maisstroh abzusondern. Nachteilig wirken sich allerdings die bei diesem Pflückprinzip entstehenden höheren Pflückverluste aus. Sie betragen nach eigenen Untersuchungen (30) beim Pflückschienen-Prinzip ca. 3,4 %, bei Profil-Pflückwalzen ca. 6,5 %.

Von Seiten der Dreschtechnik stellt die Entkörnung mit der Schlagleisten-Dreschtrommel des Mähdreschers einen Kompromiß dar, da die Ausdruschwirkung im wesentlichen durch ein aggresives Ausschlagen der Körner und nur zu einem geringen Teil durch ein schonendes Ausrebeln zustande kommt. Dieser Nachteil des Schlagleisten-Dreschwerkes zeigt sich vor allem bei ungünstigen Erntebedingungen und hoher Erntegutfeuchte in einem erhöhten Anfall an Bruchkorn.

Durch das heute allgemein übliche Verkleiden der Schlagleisten-Dreschtrommel mit Einbaublechen, Reduzieren der Trommel-Umfangsgeschwindigkeit auf 14 - 17 m/sec. (je nach Erntegutfeuchte) sowie Einbau eines speziellen Maisdreschkorbes läßt sich ein einwandfreier und verlustarmer Ausdrusch erzielen. Der "Kompromiß-Dreschkorb" für Getreide und Mais hat sich nicht bewährt.

Im Gegensatz dazu erfolgt das Entkörnen im Rebelaggregat des Pflückreblers sehr schonend. Deshalb ist ein befriedigender Einsatz auch

bei höheren Kornfeuchten (ca. 55 % H_2O) als beim Mähdrescher mit Pflückvorsatz (maximal 45 % H_2O) möglich. Bei mehr als 2-reihiger Arbeitsweise sind zwei Rebelaggregate erforderlich, die paarweise in Längsrichtung der Maschine angeordnet werden. Bei den herkömmlichen Rebelvorrichtungen besteht eine deutliche Relation zwischen Durchsatz, Drehzahl bzw. Umfangsgeschwindigkeit der Stiftentrommel, Restpflanzenanteil und Qualität der Entkörnung bzw. Kornabscheidung. Neuere Untersuchungen von STROPPEL (123) haben eine Optimierung des Entkörnungsvorganges zum Ziel, wobei eine Steuerung der Drehzahl und des Dreschspaltes in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bzw. vom Durchsatz erfolgversprechende Ansätze zeigt.

Eine Kombination der Rebelaggregate mit einer nachgeschalteten Schlagleisten-Dreschtrommel, die bei Verwendung von Pflückschienen-Reißwalzen-Pflückaggregaten am Pflückrebler erprobt wurde und eine einwandfreie Entkörnung auch bei höherem Lieschen- und Strohanfall ermöglichen sollte, hat sich nicht bewährt.

Hinsichtlich der installierten Motorleistung ergeben sich zwischen beiden Erntemaschinen deutliche Unterschiede. Während bei Mähdreschern mit Pflückvorsatz im Durchschnitt 30 bis 35 PS/Reihe vorhanden sind, werden beim Pflückrebler nur 23 bis 27 PS/Reihe benötigt (159). Dieser erheblich geringere Leistungsbedarf ist auf das technisch vorteilhaftere Entkörnungsprinzip beim Pflückrebler zurückzuführen. Allerdings zeigen die Erfahrungen, daß Rebelaggregate nur in engen Grenzen überlastbar sind und rasch mit einem Nachlassen der Ausdruschqualität reagieren. Deshalb wäre es bei einer weiteren Steigerung des Durchsatzes, z.B. bei einem Übergang von 3- oder 4reihiger auf eine 5- oder 6reihige Arbeitsweise erforderlich, konstruktiv ein zusätzliches Rebelaggregat in der Erntemaschine vorzusehen.

Zur Strohabsonderung sind alle Mähdrescher (bis auf die schleppergezogenen Quer-Längsfluß-Bauart) mit mehrteiligen Hordenschüttlern ausgestattet. Sie zeichnen sich, und dies ist bei dem hohen Anfall sperrigen Maisstrohes besonders vorteilhaft, gegenüber dem Schwingschüttler durch sichere Strohförderung, geringe Empfindlichkeit gegenüber Grünteilen und besseren Wirkungsgrad bei Hangarbeit aus. Je verarbeiteter Maisreihe sind derzeit Schüttlerflächen von 1,2 bis 1,7 m^2/Reihe vorhanden. Um auch bei hohem Strohdurchsatz eine befriedigende Körnerabscheidung im Schüttlerbereich zu erzielen, sind Hochleistungsmähdrescher mit Zusatzeinrichtungen zur Auflockerung des Strohpolsters ausgestattet.

Beim Pflückrebler läßt sich der geringere Anfall an Restpflanzenteilen mit einem kombinierten Absonderungsaggregat, bestehend aus Schwingschüttler und Spezial-Obersieb verarbeiten. Die Absonderungsfläche beträgt mit durchschnittlich 0,28 bis 0,38 m^2 je Maisreihe nur ca. 1/4 der im Mähdrescher mit Pflückvorsatz vorhandenen Schüttlerfläche. Hierauf ist es im wesentlichen zurückzuführen, daß beim Pflückrebler eine wesentlich kürzere, kompaktere Bauweise ohne gleichzeitigen Verzicht auf Absonderungsleistung eingehalten werden kann.

Für die Körnerreinigung wird beim Mähdrescher mit Pflückvorsatz die bewährte Kombination von 2fach übereinander angeordneten mechanischen Siebelementen sowie der Windreinigung benutzt. Spezielle Obersieb-Bauformen (z.B. Nasensiebe mit großen Öffnungen) gewährleisten eine sichere Förderung des Dreschgutes über die gesamte Siebfläche bei gleichzeitig hoher Reinigungsqualität. Wechsel-Lochsiebe mit unterschiedlichem Lochdurchmesser im Untersieb-Bereich erlauben ein Anpassen an die sorten- und wachstumsabhängigen Korngrößen. Die Siebfläche des mechanischen Bereiches beträgt im Durchschnitt 0,7 bis 1,0 m^2 je verarbeitete Maisreihe.

Einer ausreichend dimensionierten und sorgfältig auf die jeweiligen Reinigungsbedingungen abgestimmten Druckwindreinigung kommt bei der Körnermaisernte besondere Bedeutung zu. Die hohe Menge an hochfeuchtem Dreschgut und dessen kritische technologische Beschaffenheit (geringe Größen- und Gewichtsdifferenz gegenüber den Maiskörnern) erfordern eine genaue Einstellung der Windmenge und Abstimmung auf den mechanischen Reinigungsteil.

Beim Pflückrebler besteht die Körnerreinigung aus einer relativ einfachen Kombination von Wechsel-Lochsieben (durchschnittliche Siebfläche 0,45 bis 0,60 m^2/Reihe) sowie einer Druckwindreinigung.

1.3 Technische Voraussetzungen zur Leistungssteigerung

Die Notwendigkeit, in der knappen, engbegrenzten Erntezeitspanne aus ökonomischen Gründen eine hohe Auslastung der Erntemaschinen und hohe Arbeitsproduktivität zu erzielen, äußert sich in dem deutlichen Trend zur Steigerung der Flächen- und Druschleistung. 6- und 8reihige Pflückvorsätze werden derzeit bereits für Hochleistungs-Mähdrescher angeboten, setzen aber spezielle Weiterentwicklungen bei den verschiedenen Baugruppen der Erntemaschinen voraus, wenn eine gleichbleibende Arbeitsqualität eingehalten werden soll.

Einer weiteren Vergrößerung der räumlichen Abmessungen der Mähdrescher mit dem Ziel, eine Steigerung des Durchsatzes zu erreichen, sind vor allem durch die Straßenverkehrs-Zulassungsordnung, aber auch durch die Abmessungen des landwirtschaftlichen Wegenetzes enge Grenzen gesetzt. Eine weitere Leistungssteigerung kann daher vornehmlich über die Erhöhung des spezifischen Durchsatzes der einzelnen Baugruppen erfolgen (52).

Bei den Dreschwerken wurden zahlreiche Neuentwicklungen geschaffen, die unter speziellen Arbeitsbedingungen dem Standard-Schlagleistendreschwerk überlegen sind, jedoch bei den vielfältigen Einsatzbedingungen für Getreide und Mais nicht befriedigen konnten. Hierzu sind vor allem Mehrtrommel-Dreschwerke und konische Dreschwerkzeuge zu zählen, über welche GEORGIE/VASILJEV (52), GUBSCH (60) und HERBSTHOFER (zitiert bei 158) berichten.

Für eine Steigerung des Durchsatzes im Dreschwerk scheint sich daher vornehmlich eine Optimierung der Erntegut-Zuführung anzubieten. Dies läßt sich durch eine gleichmäßige Verteilung über die gesamte Breite des Schrägförderers erreichen. Daneben konnten WIENEKE (130) und CASPERS (22) nachweisen, daß durch eine Verdünnung des Gutsstromes infolge Erhöhung der Zuführgeschwindigkeit die Leistungsfähigkeit des Dreschwerkes gesteigert bzw. bei gleichbleibendem Durchsatz die Arbeitsqualität verbessert werden kann. Bei dem in der Körnermaisernte im Vergleich zu Ährengetreide wesentlich höheren Anfall an Erntegut erscheinen diese Maßnahmen erfolgversprechend.

Der Schüttler stellt, insbesondere auch beim Körnermaisdrusch, das leistungsbegrenzende Bauteil dar. Deshalb wurden zur Verbesserung der Kornabscheidung verschiedene Zusatzorgane entwickelt, die künftig zunehmende Anwendung finden werden:

- gleichmäßige Abnahme des Strohes und Weiterleitung auf den Schüttler durch Synchronisation der Drehzahlen von Dreschtrommel und Strohleittrommel
- rotierende und seitlich pendelnde Federzinken über dem Schüttler zur Auflockerung des Strohpolsters und dadurch bessere Abscheidung von Restkörnern aus dem Stroh

- Rafferzinken über dem Schüttler zum Erhöhen der Durchlaufgeschwindigkeit des Strohes und dadurch Verdünnen der Strohschicht
- ein Verbreitern der Schüttler verringert die Strohschicht auf dem Schüttler.

Eine Steigerung der Flächen- und Druschleistung sowie der Arbeitsqualität ohne gleichzeitig höhere physische und psychische Belastung der Bedienungspersonen erfordert zwingend die Verwendung automatischer Regel- und Steuereinrichtungen bzw. von Monitor-Kontrolleinrichtungen. Als besonders aussichtsreich sind folgende von EIMER (26, 27, 28, 29), HESSE und MÖLLER (65) und WIENEKE (129) beschriebenen Lösungen anzusehen:

- Regelung der Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Durchsatz
- Regelung der Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Verlusten
- Regelung der Fahrgeschwindigkeit abhängig von der Motorbelastung
- automatische Lenkung an Schnittkanten und in Führungsrillen
- Kontrollvorrichtungen zur Erfassung der Schüttler- und Reinigungsverluste
- Meßfühler für Strohbelastung des Schüttlers und Strohhäckslers.

Hinsichtlich der Steuerung der Höhenführung des Pflückvorsatzes bestehen gegenüber den bei Ährengetreide vorliegenden Verhältnissen stark abweichende Voraussetzungen, so daß sich die dort bekannten Regeleinrichtungen nicht verwenden lassen. Die Höhenführung des Pflückvorsatzes hat sich nach 2 konträren Kriterien zu richten, der Kolbenansatzhöhe und der Standfestigkeit der Pflanzen. Die Kolbenansatzhöhe über dem Boden und der Kolbenabstand an der Maispflanze (aufrecht oder hängend) sind teils sortenspezifische Merkmale, teils

abhängig von Erntezeitpunkt und Abreifegrad der Maispflanzen. In stehenden Pflanzenbeständen mit hohem Kolbenansatz und aufrechtem Kolbenstand wird eine möglichst hohe Führung des Pflückvorsatzes über dem Boden angestrebt, um die Belastung der Pflückaggregate sowie den Leistungsbedarf für den Pflückvorgang (Durchziehen der Maispflanzen zwischen den Reißwalzen) möglichst gering zu halten. Andererseits besteht in Abhängigkeit von der sortenspezifischen Standfestigkeit, von Erntewitterung und -zeitpunkt bei Körnermais stets die Gefahr von Lagerfrucht. Um Aufnahmeverluste weitgehend zu vermeiden, ist dann eine möglichst tiefe Führung des Pflückvorsatzes über dem Boden erforderlich. Nachdem unter normalen Erntebedingungen beide Voraussetzungen unregelmäßig wechseln, ist eine automatische Pflückhöhenregelung bei der Körnermaisernte sehr problematisch.

1.4 Verfahrenstechnische Untersuchungen

Der praktische Einsatz der Körnermais-Erntemaschinen wird heute mehr denn je von der Zielsetzung beeinflußt, hohe Ernteleistungen bei entsprechender Erntegutqualität, geringen Verlusten und tragbaren Kosten zu erzielen. Infolge des hohen Wassergehaltes der Maiskörner zum Erntezeitpunkt und der Notwendigkeit, zur Verhütung von Verlusten dieses hochfeuchte Erntegut kontinuierlich zu verarbeiten, kommt darüberhinaus einer sorgfältigen Kapazitätsplanung für die Erntearbeiten auf dem Feld sowie die Erntegutannahme und -konservierung besondere Bedeutung zu.

1.4.1 Flächenleistung

1.4.1.1 Einfluß von Fahrgeschwindigkeit, Arbeitsbreite, Schlaggröße und Schlaglänge

Neben speziellen technisch-konstruktiven Voraussetzungen üben ins-

besondere die Arbeitsbreite (Reihenzahl des Pflückvorsatzes), Schlaggröße, Schlaglänge und das Kornübergabeverfahren einen direkten Einfluß auf die erzielbare Flächenleistung bei der Ernte aus.

Unter Berücksichtigung dieser Parameter wurde mit dem bereits erläuterten Rechenprogramm (vgl. Seite 92) die Flächenleistung von selbstfahrenden Mähdreschern bei der Körnermaisernte berechnet und in Abb. 61 und 62 für zwei unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeiten graphisch dargestellt. Dabei wurde unterschieden zwischen einer Übergabe der Körner auf Standwagen sowie der "fliegenden" Kornübergabe während des ungestörten Dreschvorganges auf nebenherfahrende Transportfahrzeuge (Kornübergabe auf Prallelwagen).

Die Darstellungen lassen erkennen, daß bei zunehmender Arbeitsbreite (Reihenzahl) insbesondere die Schlaggröße einen erheblichen Einfluß auf die erzielbare Flächenleistung ausübt. Aber auch bei gleicher Schlaggröße ergeben sich abhängig von der Schlaglänge z. Teil erhebliche Flächenleistungs-Unterschiede.

Die infolge zunehmender Arbeitsbreite und Schlaggröße zu erwartende Progression kommt in diesem Rechenmodell nicht voll zum Ausdruck, da für die Wendezeit sowie die Vorbeetbreite konstante Werte unterstellt wurden. Die aus eigenen Arbeitszeitstudien vorliegenden Meßwerte für Wendezeiten bei unterschiedlichen Arbeitsbreiten sind jedoch so einheitlich, daß diese Unterstellung gerechtfertigt erscheint. Zur Berechnung der Vorbeetbreite wird im allgemeinen folgende Formel benutzt: $\text{Länge}_{\text{Gerät}} + \text{Länge}_{\text{Schlepper}} + \text{Radius des Wendekreises}$
Nachdem zwischen Mähdreschern mit vierreihigem und 8reihigem Pflückvorsatz nur geringfügige Unterschiede in der Gesamtlänge bestehen und im Normalfall Feldwege am Feldrand für den Wendevorgang mit benutzt werden können, erschien diese Unterstellung auch hier gerechtfertigt. Eine feste Anpassung der Vorbeetbreite an die Erntemaschinen-

Arbeitsbreite, wie z.B. von GINDELE (53) angewandt wird, erscheint problematisch, da hierbei mit zunehmender Arbeitsbreite der Erntemaschine die Vorbeetbreite extrem ansteigt (Beispiel: 4reihiger Pflückvorsatz, 0,75 m Reihenweite = 3,0 m Arbeitsbreite. Bei 6 Spuren Vorbeet = 18 m Vorbeetbreite. 8reihiger Pflückvorsatz = 6,0 m Arbeitsbreite, ergibt bei 6 Spuren Vorbeet = 36 m Vorbeetbreite).

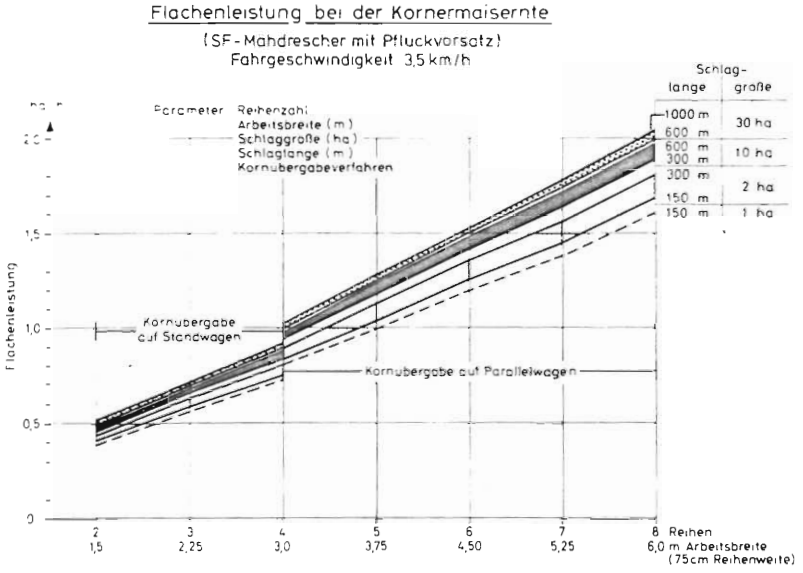


Abb. 61

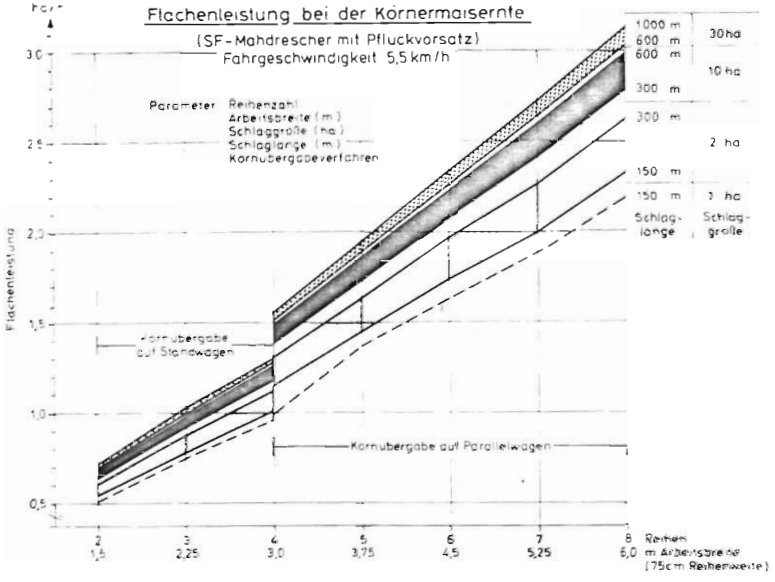


Abb. 62

Allerdings kann das vorliegende Programm nicht berücksichtigen, wenn z.B. bei der letzten Fahrspur im Feld die vorhandene Reihenzahl des Erntevorsatzes nicht voll ausgelastet wird, oder bei Geräten mit geringer Arbeitsbreite beim Abernten großer Schläge ein Achtstunden-Tag nicht ausreicht und das Feld mehrmals angefahren werden muß. Hierdurch kann sich unter Umständen eine geringfügige Verminderung der Flächenleistung ergeben.

Die Darstellungen veranschaulichen weiterhin, daß sowohl beim Übergang von der Kornübergabe auf Standwagen zur Kornübergabe auf Parallelwagen, als auch durch das Erhöhen der Fahrgeschwindigkeit von 3,5 km/h auf 5,5 km/h eine erhebliche Steigerung der Flächenleistung zu erzielen ist. Bei der höheren Fahrgeschwindigkeitsstufe liegt nicht nur das Niveau der Flächenleistung generell höher als bei der niedrigeren Fahrgeschwindigkeit, der Steigerungswinkel der Flächenleistungsbereiche für die unterschiedlichen Schlaggrößen und -längen ist auch wesentlich steiler. Auf die praktischen Einsatzverhältnisse übertragen bedeutet dies, daß bei Verwendung eines Mähdreschers mit vierreihigem Pflückvorsatz bei Kornübergabe auf Parallelwagen ein Steigern der Fahrgeschwindigkeit von 3,5 auf 5,5 km/h für den 2ha-Schlag mit 300 m Feldlänge eine Erhöhung der Flächenleistung von 0,9 ha/h auf 1,3 ha/h mit sich bringt. Dies bedeutet eine prozentuale Steigerung um 44,5 %.

Es sollten deshalb alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden, die das Einhalten einer hohen Arbeitsgeschwindigkeit begünstigen. Hierzu sind nicht nur die optimale Maschinenausrüstung und -einstellung sondern auch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zu zählen (z.B. Sortenwahl, Düngung, Pflanzenschutz). Demgegenüber sind Schlaggröße und Schlaglänge in der Regel vorgegebene und nicht modifizierbare Größen im Einzelbetrieb.

Noch deutlicher wird diese Tendenz beim Einsatz von Erntemaschinen mit größerer Arbeitsbreite. Betrachtet man diese Bedingungen für einen Mähdrescher mit sechsreihigem Pflückvorsatz beim Einsatz auf einem 10ha-Schlag mit 600 m Feldlänge, so ergibt sich bei der Steigerung der Fahrgeschwindigkeit von 3,5 auf 5,5 km/h eine Erhöhung der Flächenleistung von 1,5 auf 2,25 ha/h (= 50 % Steigerung der Flächenleistung).

Vergleicht man dagegen die beiden Alternativen "Steigerung der Fahrgeschwindigkeit" und "Steigerung der Arbeitsbreite" so ergibt sich folgendes Bild:

Beim Mähdrescher mit vierreihigem Pflückvorsatz wirkt sich auf dem 2ha-Schlag eine Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit von 3,5 auf 5,5 km/h in einer Steigerung der Flächenleistung um 44,5 % aus. Ein Steigern der Reihenzahl von 4 auf 6 Reihen (3,0 m auf 4,5 m Arbeitsbreite) ergibt dagegen eine Steigerung der Flächenleistung um 55,5 %.

Für den Mähdrescher mit sechsreihigem Pflückvorsatz ergibt sich auf dem 10ha-Schlag bei einer Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit von 3,5 auf 5,5 km/h ein Zuwachs an Flächenleistung von 50 %, beim Übergang von 6-reihiger auf 8-reihiger Arbeitsweise dagegen nur eine Steigerung der Flächenleistung um 38 %.

Währenddessen also bei vierreihiger Arbeitsweise auf Feldern mit 2 ha Schlaggröße und 300 m Feldlänge der kapitalaufwendige Weg einer Steigerung der Arbeitsbreite den höchsten Zuwachs an Flächenleistung bringt, kann dies beim Mähdrescher mit sechsreihigem Pflückvorsatz und Einsatz auf Feldern mit 10 ha Schlaggröße und 600 m Feldlänge allein über die Steigerung der Fahrgeschwindigkeit erzielt werden. Bei Investitonen für Mähdrescher, die vorwiegend auf Anbauflächen unter 10 ha Schlaggröße zum Einsatz gelangen, ist

deshalb eine sorgfältige Kosten-Nutzen-Analyse zu erstellen. Denn es ist generell zu unterstellen, daß bei zunehmender Reihenzahl (Arbeitsbreite) nur bei Vorhandensein entsprechend großer Schläge und Feldlängen ein rationeller Einsatz gewährleistet ist.

1.4.1.2 Einfluß des Reihenabstandes

Bei den Neuzüchtungen von Hybridmaissorten der frühen und mittelfrühen Reifegruppe besteht eine deutliche Relation zwischen zunehmender Pflanzenzahl/m^2 und steigendem Körnerertrag. Aber auch bei Sorten der mittelspäten Reifegruppe können durch ein Erhöhen der Pflanzenzahl/m^2 die Körnererträge gesteigert werden, wenn gleichzeitig eine Reduzierung der Reihenweite erfolgt.

So berichten ZSCHEISCHLER und HEPTING (136) über Standraumversuche zu Körnermais mit drei Sorten der frühen, mittelfrühen und mittelspäten Reifegruppe, Reihenentfernungen von 40, 60 und 80 cm sowie Pflanzenzahlen von 7,6 und 10 Pflanzen/m^2. Dabei ergab sich im dreijährigen Durchschnitt, daß sich bei einer Pflanzenzahl von 7,6 Pflanzen/m^2 der Kornertrag bei einer Verringerung des Reihenabstandes von 80 cm auf 60 cm um 4,71 dt/ha (86 % TS) erhöhte, beim Übergang von 60 cm auf 40 cm Reihenabstand jedoch um 1,10 dt/ha verringerte. Eine gleichzeitige Steigerung der Pflanzenzahlen/m^2 von 7,6 auf 10,0 Pflanzen/m^2 führte dagegen bei einem Verringern der Reihenweite von 80 cm auf 60 cm zu einem Ertragsrückgang von 0,18 dt/ha, bei einer weiteren Verringerung der Reihenweite von 60 cm auf 40 cm dagegen zu einer erheblichen Ertragssteigerung von 4,33 dt/ha.

Ein Verringern des Reihenabstandes kann demzufolge nicht als isolierte Maßnahme vorgenommen werden, sondern muß - zumindest

bei der 40 cm Variante - mit einer Steigerung der Pflanzenzahl/m^2 gekoppelt werden.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen SCHUSTER und REUTZEL (112) bei dreijährigen Sorten- und Standraumversuchen zu Körnermais auf verschiedenen Standorten. Auch sie fanden gesicherte Mehrerträge bei einer Reduzierung des Reihenabstandes von 80 auf 60 cm bei gleichzeitiger Steigerung der Pflanzenzahlen von 6 bzw. 8 Pflanzen/m^2 auf 10 Pflanzen/m^2. ZWEIFLER (139) konnte bei Standraumversuchen auf mehreren Standorten in Österreich im Durchschnitt keine gesicherten Ertragssteigerungen beim Übergang von 80 auf 60 cm und gleichbleibender Pflanzenzahl/m^2 feststellen.

Aus pflanzenbaulicher und ökonomischer Sicht erscheint - zumindest hinsichtlich der erzielbaren Mehrerträge - eine Verringerung der Reihenabstände von bislang 75 - 80 cm auf Werte von etwa 60 cm vorteilhaft zu sein. Es erhebt sich jedoch die Frage, welche verfahrenstechnischen, konstruktiven und ökonomischen Auswirkungen eine derartige Umstellung nach sich zieht.

Tatsache ist, daß der zur Zeit in der Ackerschlepperkonstruktion zu verzeichnende Übergang von 1 500 mm auf 1 800 mm Spurweite eine Anpassung an diese neuen Maße vor allem bei den Reihenfrüchten erfordert. Dies um so mehr, als eine solche Spurweiten-Verbreiterung bereits bei Ackerschleppern der 60 bis 70 PS-Klasse angestrebt wird, die als Universalschlepper auch bei Saat- und Pflegearbeiten eingesetzt werden. Hier bietet sich ein Übergang auf 60 cm Reihenentfernung bei Körnermais und Silomais an, da die 90 cm Reihe ungünstigere Standraumverhältnisse für die Einzelpflanze bewirkt. Die Einzelkorn-Sämaschinen könnten ohne konstruktive Änderungen an diese neue Reihenweite angepaßt werden,

lediglich die Bereifung der Ackerschlepper wäre auf die geänderten Verhältnisse abzustimmen.

Dagegen würde ein Verringern der Reihenweite auf 40 cm in vielen Bereichen so schwerwiegende und kostspielige technische Änderungen erfordern, daß eine Einführung in absehbarer Zeit trotz des zu erwartenden höheren Kornertrages nicht zu realisieren ist.

Wesentlich problematischer wirkt sich ein Verringern der Reihenweite bei der Ernte aus. Bei einer Reihenweite von 80 cm sind je ha 12 500 laufende Meter Maisreihe zu ernten. Bei einer Erntemaschine mit vierreihigem Pflückvorsatz bedeutet das eine Fahrstrecke von 3 125 m / ha (= 100 %). Wird die Reihenweite auf 60 cm reduziert, erhöht sich die Zahl der laufenden Meter Maisreihe/ha auf 16 667 m/ha. Dies bedeutet eine Steigerung der Fahrstrecke auf 4 167 m bei vierreihiger Arbeitsweise (= +33,3 %). Wird unterstellt, daß die Pflanzenzahl je Flächeneinheit konstant gehalten wird, dann ist es erforderlich, bei 60 cm Reihenweite eine um 33,3 % höhere Fahrgeschwindigkeit einzuhalten als bei 80 cm Reihenentfernung, um einen gleichen Durchsatz an Dreschgut in der Erntemaschine zu erreichen. Eine derartige Steigerung der Fahrgeschwindigkeit wirft jedoch erhebliche Probleme hinsichtlich der ordnungsgemäßen Bedienung und Überwachung der Erntemaschinen auf.

Eine Möglichkeit dies zu umgehen bildet die Steigerung der Reihenzahl am Erntevorsatz. Aus einsatztechnischen Gründen wird vielfach versucht, die Breite des Erntevorsatzes auf die zulässige Straßenfahrbreite (3,0 m) abzustimmen. Unter Berücksichtigung dieser Prämisse würde dies einen Übergang vom Erntevorsatz mit 4 Reihen á 75 cm auf 5 Reihen á 60 cm bedeuten. Ein Erweitern des Erntevorsatzes um eine Reihe erfordert jedoch eine völlige Umkonstruktion, höheres Gewicht des Erntevorsatzes, veränderte Antriebverhältnisse, erhöhte Belastung für Vorderachse und

Hydraulikanlage des Mähdreschers sowie einen entsprechend höheren Anschaffungspreis für den Erntevorsatz.

1.4.2 Arbeitszeitbedarf

Für die Darstellung des Arbeitszeitbedarfes im Verfahrens-Teilbereich "Körnermais-Ernte" wurden die bereits bei der Ermittlung der Flächenleistung unterstellten Arbeitsgeschwindigkeiten von 3,5 km/h und 5,5 km/h berücksichtigt, sowie drei unterschiedliche Schlaggrößen und Schlaglängen ausgewählt: 1ha-Schlag mit 150 m Feldlänge; 5 ha-Schlag mit 300 m Feldlänge; 10 ha-Schlag mit 600 m Feldlänge. Außerdem wurde die Unterteilung in die beiden verschiedenen Kornübergabeverfahren (Standwagen bis vierreihige Arbeitsweise, Parallelwagen von vierreihigen bis achtreihigen Pflückvorsätzen) beibehalten.

Ein Vergleich der Arbeitszeitbedarfswerte läßt sich auf verschiedenen Ebenen durchführen. Betrachtet man den Einfluß der Kornübergabe auf den Transportwagen so zeigt sich, daß bei beiden Fahrgeschwindigkeitsvarianten und allen unterstellten Schlaglängen und -größen allein der Übergang von der Kornübergabe auf Standwagen zur Verwendung des Parallelwagens den Arbeitszeitbedarf auf 83,7 - 88,6 % des Ausgangswertes (je nach Schlaggröße und Schlaglänge) verringert. Allein durch die leistungsfähige Gestaltung der Kornabfuhr, die allerdings auch entsprechend hohe Kapazitäten bei der Kornannahme im Betrieb erfordert, läßt sich demzufolge der Arbeitszeitbedarf im Bereich "Ernte" spürbar reduzieren.

Untersucht man den Einfluß des Parameters Arbeitsbreite (Reihenzahl), so ergibt sich, daß hierdurch bei kleineren Schlaggrößen

und kurzen Feldlängen der größte Effekt in der Verringerung des Arbeitszeitbedarfes zu erzielen ist. So bewirkt z.B. bei 1 ha Schlaggröße und 150 m Feldlänge der Übergang von der vierreihigen Arbeitsweise (Kornübergabe auf Parallelwagen) auf den sechsreihigen Pflückvorsatz bei 3,5 km/h Arbeitsgeschwindigkeit eine Verringerung des Arbeitszeitbedarfes auf 66,9 % des Ausgangswertes, bei 5,5 km/h auf 67,0 %. Bei einer Steigerung der Reihenzahl von 4 auf 8 Reihen verringern sich die Werte auf 50,0 % bzw. 49,4 % des Ausgangswertes.

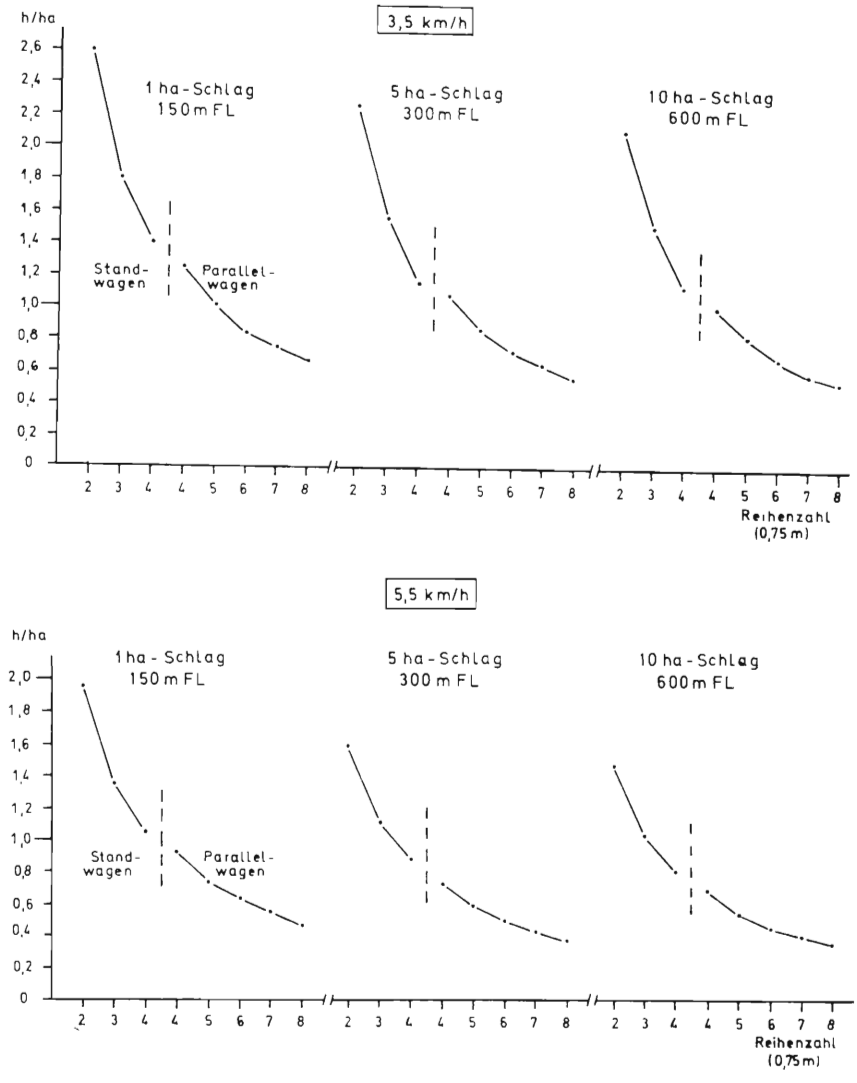


Abb. 63: Arbeitszeitbedarf bei der Körnermaisernte bei unterschiedlicher Reihenzahl des Erntevorsatzes (Arbeitsbreite) und verschiedenen Schlagabmessungen

Dagegen bewirkt beim 10 ha-Schlag der Übergang von 4 auf 6 Reihen eine Verringerung des Arbeitszeitbedarfes auf 67,0 % des Ausgangswertes, von 4 Reihen auf 8 Reihen eine solche auf 50,0 %. Für die Geschwindigkeitsstufe 5,5 km/h lauten die vergleichbaren Werte 65,7 % bzw. 49,3 %.

Demgegenüber lassen sich durch ein Steigern der Arbeitsgeschwindigkeit nur bei der Schlaggröße von 10 ha und 600 m Feldlänge günstigere Werte im Vergleich zu den Auswirkungen der steigenden Arbeitsbreite erzielen.

Hieraus läßt sich folgern, daß bei den derzeit vorwiegend vorhandenen Schlaggrößen und -längen das allerdings sehr kapitalaufwendige Steigern der Arbeitsbreite (Reihenzahl des Pflückvorsatzes) stärker zur Verringerung des Arbeitszeitbedarfes beiträgt, als dies auf dem Wege über ein Erhöhen der Arbeitsgeschwindigkeit zu erreichen ist.

1.4.3 Kapazitätsplanung und -anpassung

Die Bestimmung der optimalen Maschinenkapazität eines landwirtschaftlichen Betriebes stellt einen Teil der Gesamt-Betriebsplanung dar und hat sich an der Produktionssituation des einzelnen Betriebes zu orientieren (RÜHLING, 107). Die erzielbare Flächenleistung bei unterschiedlicher Arbeitsbreite, Fahrgeschwindigkeit, Schlaglänge und -größe wurde bereits ausführlich diskutiert. Eine Kapazitätsplanung für die Körnermaisernte hat unter anderem die verfügbare, optimale Erntezeitspanne zu berücksichtigen. CARPENTER und BROOKER (21) weisen nach, daß die Bemessung der optimalen Erntezeitspanne sehr wesentlich vom Verlauf der Maschinenkosten, Kosten der Verluste und der variablen

Kosten der Erntegutkonservierung beeinflußt wird (Abb. 64). Als Faktor "Zeit" ist hierbei die fortschreitende Vegetationszeit mit den daraus resultierenden Erschwernissen für die Abwicklung der Erntearbeiten zu verstehen.

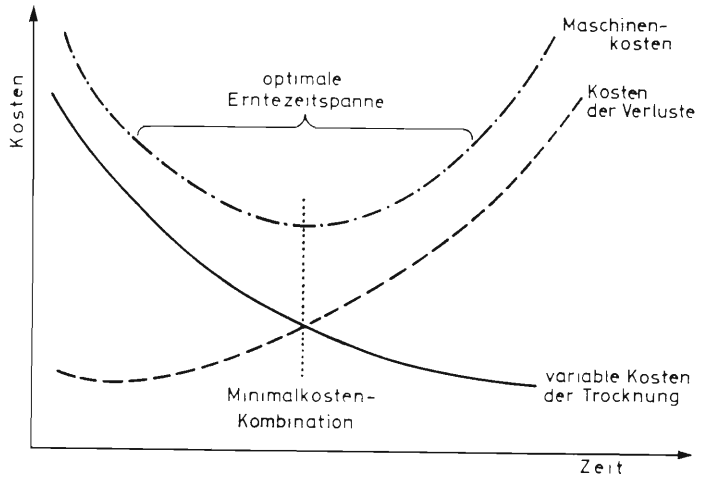


Abb. 64: Einflüsse auf die Bemessung der optimalen Erntezeitspanne (nach CARPENTER und BROOKER, 21)

1.4.3.1 Ermittlung der Erntekapazität

Für den Bereich der BRD lassen die Untersuchungsergebnisse der letzten Jahre erkennen, daß die früher ermittelte Anzahl von Feldarbeitstagen (ESTLER, 30) für die Durchführung der Körnermaisernte heute nicht mehr zu unterstellen ist. Das allgemeine Bestreben, bis zum Einbruch der Schlechtwetter- und Frostperiode nach Beendigung der Erntearbeiten noch eine ordnungsgemäße Bodenbearbeitung (Winterfurche) und gegebenenfalls die Einsaat von Wintergetreide durchzuführen, hat zu einer erheblichen Einschränkung der verfügbaren Zahl von Körnermais-Erntetagen geführt.

Nach vorsichtigen Schätzungen beträgt sie nur etwa 50 % der früher unterstellten Werte, also etwa 15 - 20 Feldarbeitstage.

Der Trend zur Verwendung sehr leistungsfähiger Erntemaschinen ist deshalb unverkennbar und verfahrenstechnisch sinnvoll. Ein Erhöhen der Druschleistung, z.B. durch Verwendung sechsreihiger Erntevorsätze und/oder leistungsstarker Aufbaumotoren bzw. über eine Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit wirft jedoch schwerwiegende Probleme bei der optimalen Abstimmung von Erntekapazität, Transporttechnik und vor allem der kontinuierlichen Annahme und Konservierung des hochfeuchten Erntegutes auf. Bereits in Jahren mit normaler Erntewitterung, besonders aber in ungünstigen Erntejahren kommt einer optimalen Abstimmung von Ernteleistung und Verarbeitungskapazität besondere Bedeutung zu.

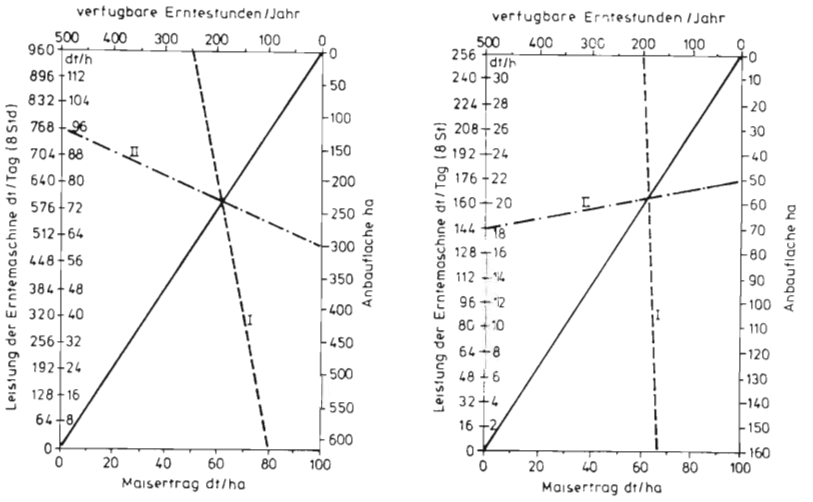


Abb. 65: Nomogramme zur Ermittlung der Erntekapazität

Zur Ermittlung der Erntekapazität wurden zwei Nomogramme entwickelt, anhand derer, unter Berücksichtigung der Parameter verfügbare Erntestunden/Jahr, Maisertrag dt/ha (Feuchtware, 40 % H_2O)

und jährliche Anbau-(Ernte-) Fläche, die erforderliche Druschleistung der Erntemaschine ermittelt werden kann. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit und Ablesegenauigkeit wurden für unterschiedliche Bereiche der Gesamt-Anbaufläche/Jahr zwei getrennte Nomogramme entwickelt.

1.4.3.2 Wechselwirkung Korntankinhalt - zulässige Feldentfernung

Eine sorgfältig getroffene Auswahl der Erntemaschine liefert noch keine Gewähr für einen reibungslosen Verfahrensablauf. Durch eine optimale Organisation des Arbeitsablaufes, insbesondere auch der Kornübergabe und -abfuhr kann jedoch die stündliche Leistung der Erntemaschinen verbessert werden (KÖBSELL, 78 und KOCH, 77).

Eines der ausschlaggebenden Kriterien ist neben dem Kornübergabeverfahren die Bemessung der zulässigen Feldentfernung in Abhängigkeit vom Inhalt des Korntankes auf der Erntemaschine sowie der Abladetechnik auf dem Hof. Unter Verwendung von Daten, die TEEBRÜGGE (124) ermittelte, sowie von Ergebnissen eigener Messungen wurden diese Wechselwirkungen berechnet und in Abb. 66 graphisch dargestellt. Den Berechnungen liegen Korntankinhalte von 1, 2, 3 und 5 m^3 sowie als Projektion in künftige Entwicklungen 7 m^3 zugrunde. Für den Transport wurden 2 Anhänger (Seitenkipper) mit jeweils 5 t Fassungsvermögen bzw. 1 Einachs-Heckkipper mit selbsttätig öffnender Heckklappe und 10 t Fassungsvermögen angenommen. Das Kippen erfolgt mittels Handhydraulik, Schlepperhydraulik bzw. schleppergebundener Druckluftanlage.

In die Darstellungen wurde unter Zugrundelegung der vorgenannten Flächenleistungsangaben der Durchsatz bei vierreihiger Arbeitsweise eines Mähdreschers mit Pflückvorsatz eingetragen. Dabei

zeigt sich, daß sich bei gleicher Abladetechnik allein durch ein Vergrößern des Korntankinhaltes die für einen reibungslosen Ablauf des Gesamtverfahrens zulässige Feldentfernung spürbar steigern läßt. Der höchste Effekt ist jedoch bei Erhöhung des Korntankinhaltes und gleichzeitigem Übergang von dem Transportsystem mit 2 zweiachsigen Kippern auf den Einachskipper mit 10 t Fassungsvermögen zu erreichen. Die Steigerung beträgt bei jeweils 5 t Korntankinhalt zwischen dem Kippen mit Handhydraulik und dem Rückwärtskippen mit Schlepperhydraulik den beachtlichen Wert von 40 %.

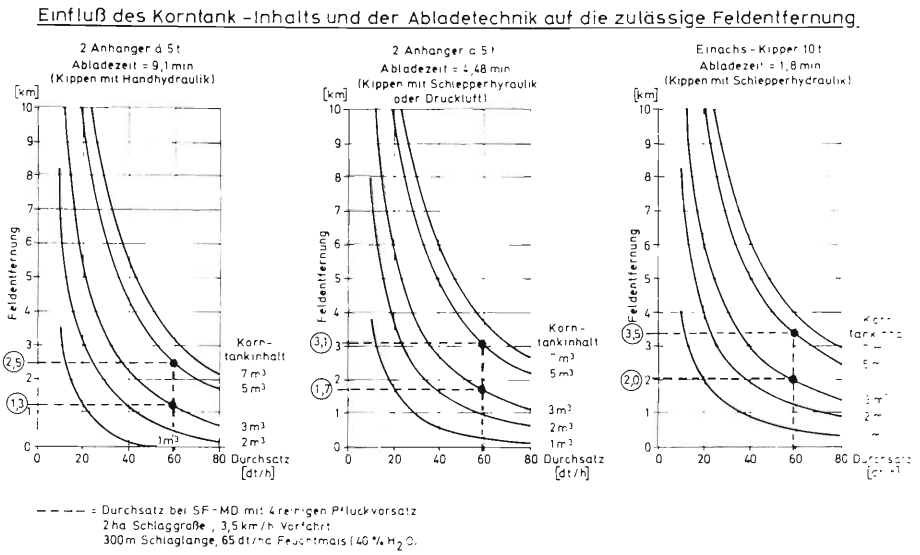


Abb. 66

1.4.3.3 Verarbeitungskapazität

Infolge der mangelnden Lagerfähigkeit der erntefrischen, hochfeuchten Maiskörner kommt einer exakten Abstimmung der Verarbeitungskapazität auf die vorhandene oder geplante Drusch-

leistung aus ökonomischen Gründen besondere Bedeutung zu. Auf diese Notwendigkeiten wiesen z.B. STREHLER (120, 121), VON KEISER (74) hin.

Generell werden folgende Verfahren zur Konservierung des hochfeuchten Körnermaises angewendet:

- Erhöhen des Säuregrades (Milchsäurevergärung und Säurezusatz)
- Einlagern unter Sauerstoffabschluß
- Wärmeentzug (Kühlung)
- Wasserentzug (Trocknung)

Besonders problematisch wirkt sich der Zwang zur kontuierlichen Verarbeitung des feuchten Körnermaises mit hoher Leistung bei Verfahren aus, die einen hohen energetischen Aufwand für die Konservierung bzw. Verarbeitung des Erntegutes benötigen. Dies trifft in besonderem Maße für das weitverbreitetste Verfahren, die Warmlufttrocknung, in abgeschwächter Form auch für das Zerkleinern der feuchten Körner in Schrotanlagen zu.

Aufgrund neuerer Untersuchungsergebnisse (STREHLER, 122, RIEMANN, 96, VON KEISER, 73 und KROMER, 80) wurde deshalb in der folgenden Tabelle 15 zusammengestellt, welche Leistungen (WE/Stunden bzw. kW/PS) bei verschiedenen Systemen der Warmlufttrocknung und bei der Körnerzerkleinerung mit Kreiselschrotern zu installieren sind.

Die bei der Warmlufttrocknung auftretenden, erheblichen Unterschiede haben ihre Ursache vorwiegend in der systemspezifisch nutzbaren Trocknungszeit. Herkömmliche Satztrockner mit Hochbehälter müssen nach beendeter Trocknung und Rückkühlung des Trockengutes erst leerlaufen und werden anschließend mit normalen mechanischen oder pneumatischen Fördergeräten befüllt.

Der hierfür erforderliche Zeitaufwand ist von der insgesamt verfügbaren Trocknungszeit (unterstellt sind 20 Stunden/Tag) abzuziehen. Ein derartiger Satztrockner muß also hinsichtlich seiner Heizleistung wesentlich höher dimensioniert sein (715 000 kcal/h und t) als z.B. ein kontinuierlich arbeitender Durchlauftrockner (520 000 kcal/h und t), um eine gleiche Menge Erntegut in 20 Stunden trocknen zu können.

Erforderliche Wärme- und Motorleistung bei der Körnermais-Konservierung

(40 % Kornfeuchte, 25 Erntetage

Erntegutmenge		Ernte-fläche	Warmlufttrocknung (20 Std./Tag, erforderliche Wärmeleistung (Kcal bei					Schroten Leistungsanspruch	
				Satztrockner	Wagentrockner	Tandem-Satztrockner	Durchlauf-trockner		
dt/h	dt/Tag	ha/Tag	dt/h	1		2		kW	PS
8	64	1	3,2	160.000	140.000	123.000	116.000	4	5,4
16	128	2	6,4	320.000	280.000	246.000	233.000	8	10,9
24	192	3	9,6	480.000	420.000	370.000	350.000	12	16,3
32	256	4	12,8	641.000	560.000	493.000	466.000	16	21,8
40	310	5	16,0	801.000	700.000	616.000	582.000	20	27,2
48	384	6	19,2	961.000	840.000	739.000	670.000	24	32,6
56	448	7	22,4	1.121.000	980.000	862.000	815.000	28	38,1
64	512	8	25,6	1.281.000	1.120.000	986.000	932.000	32	43,5
72	576	9	28,8	1.440.000	1.260.000	1.109.000	1.048.000	36	49,0
80	640	10	32,0	1.602.000	1.400.000	1.232.000	1.165.000	40	54,4
88	704	11	35,2	1.762.000	1.540.000	1.355.000	1.281.000	44	59,8
96	768	12	38,4	1.922.000	1.680.000	1.478.000	1.398.000	48	65,3
104	832	13	41,6	2.082.000	1.820.000	1.602.000	1.514.000	52	70,7
112	896	14	44,4	2.222.000	1.942.000	1.709.000	1.616.000	56	76,2
120	960	15	48,0	2.402.000	2.100.000	1.848.000	1.747.000	60	81,6

1) Hochbehälter mit Zentralrohr

2) mit getrenntem Kühlgebläse

Tabelle 15: Erforderliche Wärme- und Motorleistung bei der Körnermais-Konservierung

Bei der Bemessung der erforderlichen Leistung für den Antrieb des Zerkleinerungsgerätes mit E-Motor bzw. Schlepperzapfwelle ist zu berücksichtigen, daß sich die Angaben auf die insgesamt erforderliche Leistung beziehen. Dabei ist zu unterstellen, daß

die derzeit maximale installierte Leistung auch bei Hochleistungs-Zerkleinerungsgeräten etwa 30 kW (41,7 PS) beträgt. Werden höhere Leistungen benötigt, sind mehrere Zerkleinerungsaggregate parallel einzusetzen.

2. Ernte verschiedener Aufbereitungsstufen von Maiskolben

In den vergangenen 10 Jahren sind die Anbauflächen für Körnermais im gesamten Bundesgebiet erheblich, in den neu hinzugekommenen Anbaugebieten Nordwest- und Norddeutschland jedoch besonders sprunghaft ausgedehnt worden (vergleiche Tabelle 1). Nicht nur dieses Vordringen des Körnermaisanbaues in klimatisch weniger begünstigte Anbaugebiete, sondern auch allgemeine marktwirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Entwicklungen und Voraussetzungen machen es heute in besonderem Maße erforderlich, die relative Vorzüglichkeit bzw. Rentabilität des Anbaues von Körnermais im Vergleich zu den Futtergetreidearten zu betrachten.

Eine kritische Analyse zeigt, daß vor allem in den Grenzlagen des Maisanbaues das Ertragspotential von Körnermais teilweise nicht höher ist als dasjenige der herkömmlichen Futtergetreidearten. Hinzu kommt die seit Beginn der Energieverknappung erheblich angestiegene Kostenbelastung des Betriebszweiges Körnermaisbau im Bereich der Erntegutkonservierung für Betriebe, in denen nach wie vor die Warmlufttrocknung oder andere, energieaufwendige Konservierungsverfahren angewandt werden. Der ungünstige Witterungsverlauf in den Jahren 1965, 1972 und 1974 zeigt darüberhinaus vor allem in den Grenzlagen mit aller Deutlichkeit das erhöhte Risiko für den Körnermaisanbau auf. In solchen Jahren kann trotz der Verwendung früh abreifender Hybridmaissorten vielfach nicht mit Sicherheit der für einen verlustarmen Körnerdrusch erforderliche Trockensubstanzgehalt von etwa 55 % im Maiskorn erreicht

werden. Nicht zuletzt wirken sich auch die stagnierenden Verkaufserlöse für getrockneten Körnermais in einem deutlichen Trend zur Veredelung des Körnermaises in der Tierhaltung, vorwiegend über Mastschweine aus. Eine intensive Schweinehaltung kann jedoch aus ökonomischer Sicht nur dann rentabel gestaltet werden, wenn u.a. nicht nur auf betriebsorganisatorischem und arbeitswirtschaftlichem Gebiet alle sich bietenden Möglichkeiten ausgeschöpft werden, sondern auch betriebseigene Futtermittel mit hoher Verdaulichkeit und günstigen technologischen Eigenschaften (z.B. im Hinblick auf die Anwendung vereinfachter Mechanisierungslösungen bei der Futterkonservierung und -vorlage) verwendet werden.

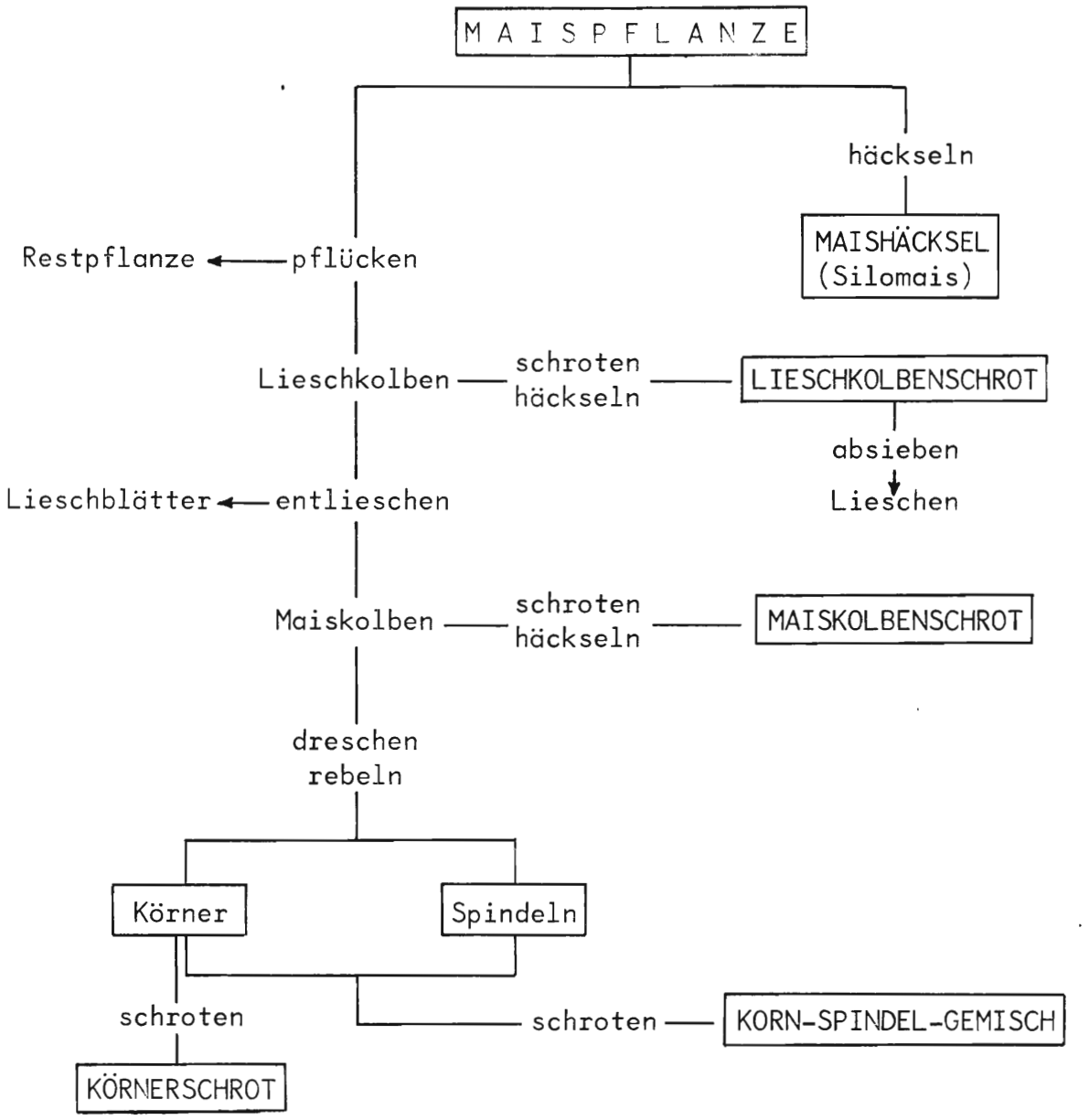
Es ist daher naheliegend, daß nach Alternativ-Ernteverfahren gesucht wird, die im Vergleich zur Ernte der reinen Körner auch unter ungünstigen Erntebedingungen eine reibungslos ablaufende, möglichst verlustarme Körnermaisernte gewährleisten und darüber hinaus ein Erntegut erzeugen, welches eine vielseitige Verwendung bei der Tier- (vor allem Schweine-) Fütterung ermöglicht.

Einer der wesentlichen, hierbei beschrittenen Wege ist die Gewinnung unterschiedlicher Aufbereitungsstufen von Maiskolben. Hierbei wird angestrebt, nicht allein die reinen Maiskörner, sondern auch die Maisspindeln und ggf. weitere Restpflanzenteile mit zu ernten. Durch eine gezielte Miternte von Rohfaserträgern kann die aus ernährungsphysiologischer Sicht zu hohe Nährstoffkonzentration der reinen Maiskörner auf ein optimales Niveau verlagert werden.

Ausgangsprodukt aller rohfaserreichen Erntegüter ist die Maispflanze in erntereifem Zustand. Einen Überblick über die verschiedenen Aufbereitungsstufen, die möglich sind und angewandt werden, veranschaulicht das nachfolgende Flußbild.

Ernteflußbild

für die Ernte von Körnermais und Rohfaserträgern



2.1 Gründe für die Miternte von Rohfaserträgern

Die ersten Hinweise auf die Gewinnung und Verwendung von Maiskolbenschrot stammen aus US-amerikanischen Veröffentlichnngen im Jahre 1962 von BOCKHOP (13). Später berichten im Jahre 1964

ZIMMERMANN (133) und WIENEKE (127/1965) über amerikanische Ernteverfahren für die Ernte von Maiskörnern und -Spindeln. ZECHNER (132) berichtete 1967 aus Österreich über die erfolgreiche Fütterung von Maiskolbensilage an Schweine, Rinder und Legehennen. NICOLUSSI (87) schilderte 1969 die erfolgreiche Verwendung von Maiskolben-Schrotsilage in der Milchviehfütterung, Kälber- und Bullenmast und nennt erste Zahlenwerte für Nährstoffertrag, Nährstoffgehalt und zulässige Rohfasergehalte. Nach den ersten Untersuchungen in der BRD von RIEMANN und SCHNEIDER (97) und ESTLER (31, 32) in den Jahren 1968 und 1969 zur Gewinnung von Maiskorn-Spindel-Gemisch mit dem Pflückdrescher wurden die Fragen der Erntetechnik, Aufbereitung, Konservierungs- und Fütterungstechnik, der Verfütterung sowie der betriebswirtschaftlichen Einordnung in zahlreichen Arbeiten untersucht, deren Ergebnisse von CSERMELY (25), ESTLER (35, 43, 41), FOLTINEK (47), GRIMM (56, 57), GROSS (59), HUBER (68), VON KEISER (75), RIEMANN (98), RIEMANN und SCHNEIDER (99), RIEMANN und JANSSEN (100) ROTH-MAIER et al (105), STEINHAUSER (116, 117) veröffentlicht wurden.

Versucht man unter den heutigen Aspekten die Frage zu klären, welche Überlegungen das Miternten der Maisspindeln und ggf. weiterer Restpflanzenteile bestimmen, so sind es im wesentlichen folgende Gesichtspunkte:

<u>Vorteilhaft</u> wirkt sich aus:

- Der Erntezeitpunkt läßt sich bei einigen der angewandten Ernteverfahren vorverlegen. Dies verringert das Anbau- und Ernterisiko in klimatisch weniger günstigen Anbaulagen bzw. bei Verwendung später abreifender Maissorten und ermöglicht die Ausweitung der Körnermais-Anbauflächen in Grenzlagen.

- Der Rohfasergehalt im Erntegut wird auf 6 bis 10 %, einen für die Schweinemast optimalen Bereich erhöht. Damit verbunden ist eine Steigerung des Nährstoffertrages in KSTE/ha im Vergleich zur Körnermais-Schrotsilage.

- Die Ernteverluste werden verringert. Vor allem bei Beginn der Ernteperiode oder bei nicht völlig ausgereiftem Mais ist die Entkörnung der Kolben oft unbefriedigend und Körner bleiben an der Spindelspitze zurück. Bei einem Miternten der Spindel lassen sich diese hohen Verluste an Körner-Trockensubstanz von 5 bis 10 % auf 1 - 3 % reduzieren.
- Der Spindelanteil verbessert die technologische Struktur des Erntegutes. Bei gleicher Feuchte besteht gegenüber reinen Körnern eine bessere Eignung für die mechanische Entnahme aus den Gärbehältern und die Verwendung technischer Einrichtungen für die Futtervorlage.
- Der höhere Rohfaseranteil ermöglicht die ad-libitum-Fütterung bei Mastschweinen ohne die Gefahr von stärkerer Verfettung, Akzidosen und anderer Schwierigkeiten.

Nachteilig ist:

- Gegenüber der Ernte reiner Körner wird die Gesamterntemenge um etwa 50 bis 70 % erhöht. Dies hat Auswirkungen auf die erforderlichen Kapazitäten bei Transport und Aufbereitung sowie den erforderlichen Lager- (Silo-)Raum zur Folge.
- Außerdem unterliegen die Erntemaschinen und Aufbereitungsanlagen einer höheren mechanischen Beanspruchung und Abnutzung.

Die Entscheidung, Rohfaserträger aus der Restpflanze mitzuernten, erscheint vorwiegend für Betriebe sinnvoll, die in Grenzlagen den Anbau von Körnermais durchführen und trotz hoher Erntegutfeuchte eine vollautomatisierte Aufbereitung und Vorlage der Futtermittel anstreben.

2.2 Fütterungsbezogene Anforderungen an das Erntegut

Maiskolbenschrot wird derzeit vorrangig an Mast- und Zuchtschweine, nur vereinzelt an Rinder (hier vorwiegend als hochwertiges Beifutter) verfüttert. Hinsichtlich der Zusammensetzung des Erntegutes gilt es daher, primär die bei einer Veredelung der Futterstoffe in der Schweinehaltung bestehenden, grundsätzlichen futterwirtschaftlichen Anforderungen zu erfüllen.

Im Verlauf der Vegeatationsperiode verändert sich die Zusammensetzung der Maispflanze, insbesondere der Trockensubstanzgehalt in den einzelnen Pflanzenteilen ständig. Druschreifer Körnermais weist nach STEINHAUSER et al (117) bei den derzeit verfügbaren Hybridmaissorten folgende Trockensubstanz-Verteilung in der Maispflanze auf: etwa 46 - 55 v.H. der Gesamt-Trockensubstanz im Kolben, etwa 25 - 34 v.H. in den Stengeln und etwa 20 v.H. in den Blättern.

Im Hinblick auf die angestrebte Verringerung der Nährstoffkonzentration des Futtermittels ist die Kenntnis des Rohfasergehaltes in den einzelnen Pflanzenteilen erforderlich, um danach den günstigsten Rohfaserträger zu ermitteln. Körner enthalten lediglich 2 - 3 v.H. Rohfaser in der Trockensubstanz, Spindeln und Lieschen etwa 35 v.H., Stengel und Blätter etwa 30 - 40 v.H.. Da nach Untersuchungen von ROTH-MAIER et al (105) der Rohfaseranteil im Erntegut den Futterwert und die Verdaulichkeit eines Erntegutes beeinflußt und darüberhinaus den Futtereinsatz bei den verschiedenen Tierarten und Fütterungsperioden bestimmt, ist aus den o.g. Werten unter Benutzung der Gleichung nach AXELSSON (zit. bei ROTH-MAIER, 105) die Verdaulichkeit der organischen Substanz zu errechnen. Dabei ergibt sich für reine Maiskörner eine Verdaulichkeit von 87 - 89 v.H., für die Restpflanzenteile eine solche von 20 - 40 v.H..

Eine Miternte von Restpflanzenteilen bewirkt daher generell eine Verringerung der Nährstoffkonzentration im Erntegut. In welchem Umfang dies erfolgt, ist von dem Anteil an Restpflanzenteilen mit geringer Verdaulichkeit am gesamten Erntegut abhängig. Aus gärungsbiologischen und fütterungstechnischen Gründen sollte jedoch der gewünschte Rohfaseranteil weitestgehend von Rohfaserträgern gebildet werden, die keine negativen Auswirkungen bei der Konservierung, Futteraufbereitung und Futtervorlage hervorrufen. Unter diesen Aspekten und aufgrund der Tatsache, daß neben den Körnern die Maisspindeln den höchsten Gehalt an Gesamt-Nährstoffen aufweisen (STEINHAUSER et al, 117), sollte der Rohfasergehalt im Maiskolbenschrot vorwiegend von Spindeln gebildet werden. Höhere Anteile an Lieschblättern und Maisstengeln sind unerwünscht, da sie in nicht exakt zerkleinertem Zustand Sauerstoffeinschlüsse und damit Fehlgärungen im Gärbehälter, Störungen an Misch- und Fütterungsanlagen sowie Rückstände bei der Fütterung verursachen können. Der gewünschte Rohfasergehalt soll während der gesamten Ernteperiode nur in engen Grenzen schwanken, um das Aufstellen einheitlicher Futterrationen unter Verwendung eines gleichbleibenden Futtermittels während des gesamten Jahres zu erleichtern.

Diese Anforderungen sind bei der Auswahl und beim Einsatz von Maschinen für die Ernte und Aufbereitung von Maiskolbenschrot zu berücksichtigen. Welche Erntegutzusammensetzung und Rohfasergehalte beim Einsatz der verschiedenen, derzeit angewandten Ernteverfahren erzielt werden, ist in Abb. 67 vergleichend dargestellt.

Das beim Pflückdruschverfahren anfallende Erntegut stellt ein Gemisch aus Maiskörnern und Spindelbruchstücken dar (Corn-Cob-Mix). Beim Pflückhäcksler-Verfahren werden Lieschkolben aufbereitet, d.h. das Erntegut setzt sich aus Körnern, Spindeln und einem je nach Abreifegrad der Maispflanze unterschiedlich hohen Anteil an Liesblättern sowie Stengelteilen zusammen. Das Kolbenpflücker/

Recutter-Verfahren, bei welchem das Erntegut außer Körnern und Spindeln auch maximal ca. 30 % der am Kolben vorhandenen Lieschblätter enthält, hat gegenüber den vorgenannten Verfahren nur begrenzte Bedeutung.

Demnach besteht eine enge Wechselbeziehung zwischen der technischen Ausstattung der Erntemaschine, dem im Erntegut erfassten Rohfaserträger und dem Gesamt-Rohfasergehalt im Erntegut. Unter Bezugnahme auf diese allgemeinen Kenndaten sollen die Erntemaschinen und Arbeitsverfahren dargestellt und vergleichend beurteilt werden.

Verfahren	Erntemaschine	zusätzliche Zerkleinerung	Erntegut	Rohfasergehalt
Pflückdrusch	MD mit Pflückvorsatz bzw Pflückrebler (mit Zusatzausrüstung)	möglich, meist nicht erforderlich	Maiskörner + Spindeln Korn-Spindel-Gemisch	einstellbar bis ca 8 %
Pflückhackseln Pflückschroten	Exakt-Feldhäcksler mit Pflückvorsatz und Reibeinsatz bzw. Nachschneideinrichtung	nicht erforderlich	Lieschkolben (> 50 % Lieschen) Kolbenhacksel Kolbenschrot	ca. 10 - 15 %
Pflücken + Nachzerkleinern	Kolbenpflücker mit Entlieschvorrichtung	unbedingt erforderlich (z.B. Recutter)	entlieschte Kolben (max. 30 % Lieschen) Kolbenschrot	ca 6 - 10 %

Abb. 67: Ernteverfahren für verschiedene Verwertungsstufen von Körnermais

2.3 Ernte von Lieschkolbenhäcksel oder -schrot

Dieses Erntegut wird von Maschinen erzeugt, welche die technischen Einrichtungen für das Pflücken des Kolbens von der Pflanze, dessen Zerkleinerung und Förderung auf den Transportwagen beinhalten.
Eine Vorrichtung zum gezielten Abtrennen unerwünschter Restpflanzenteile ist in der Regel nicht vorhanden.

2.3.1 Ernteverfahren

Basismaschine dieses Ernteverfahrens ist der konventionelle Exakt-Feldhäcksler mit vielmessriger Schneidvorrichtung (Schneidtrommel oder Scheibenrad). Die Grundmaschine ist anstelle des bei der Silomaisernte verwendeten Maismähvorsatzes mit einer Pflückvorrichtung ausgestattet, die vorwiegend nach dem Pflückschienen-Reißwalzen-Prinzip arbeitet. Die angestrebte, möglichst weitgehende Zerkleinerung der Spindeln, Körner und meist vorhandenen Stengelteile wird bei deutschen Konstruktionen durch den Einbau eines Reibbodens (Riffelplatten oder ähnliches) im Gehäuseboden von Schneid-Wurf-Trommeln angestrebt. Ausschlaggebend für den zusätzlichen Zerkleinerungseffekt dieser Reibflächen ist die Anordnung und Teilung der Reibkanten sowie der Umschlingungswinkel (KROMER, 80). Da von diesen Reibböden überlange Teile nicht nachgeschnitten werden, ist eine generell kürzere theoretische Häcksellänge erforderlich.

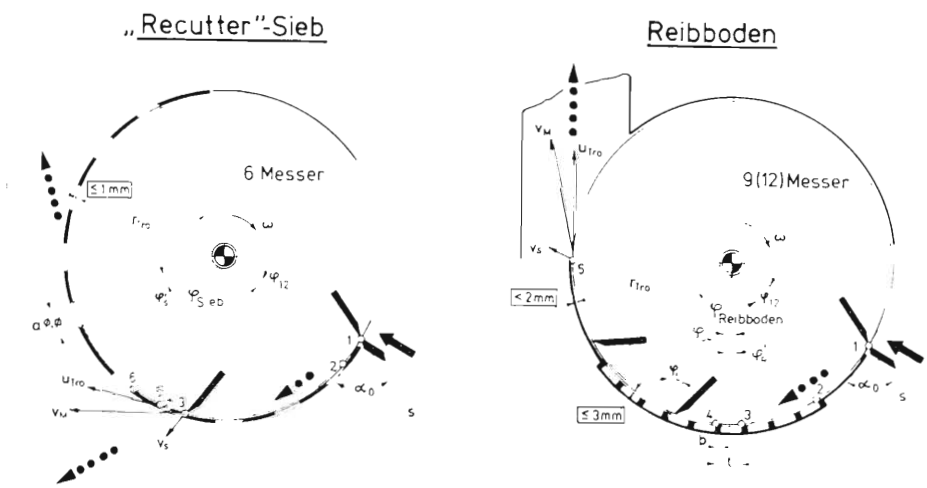


Abb. 68: Konstruktiver Aufbau und Zerkleinerungsvorgang bei Reibboden und Recutter-Sieb (nach KROMER, 80)

In amerikanischen Konstruktionen wird dagegen vielfach an der Material-Übergangsstelle vom Häckslergehäuse zum Wurfturm ein Recuttersieb eingebaut. Die für diese Nachschneideeinrichtungen angebotenen Siebformen sind sehr vielseitig: Rundlochsiebe mit unterschiedlichem Lochdurchmesser, Quadrat- und Rechteck-Lochsiebe, Siebe mit parallelogrammförmigen Öffnungen. Bei diesen auswechselbaren Sieben wirkt jede Siebkante als zusätzliche Gegenschneide. Der Zerkleinerungsgrad wird u.a. von der Schnittkantenlänge, deren Form sowie der Materialgeschwindigkeit beeinflußt. Der erhebliche Vorteil dieser Nachschneideinrichtung gegenüber reinen Reibböden ist, daß im Schneidgut vorhandene Überlängen (z.B. von Stengelteilen) einwandfrei nachzerkleinert werden.

Für eine Beurteilung der Nachzerkleinerungseinrichtungen gilt es, neben dem erzielbaren Zerkleinerungsgrad auch den spezifischen Arbeitsbedarf unter Berücksichtigung von Gutart, Reifezustand des Erntegutes sowie dessen Trockensubstanzgehalt zu berücksichtigen.

In Abb. 69 ist der spezifische Arbeitsbedarf (kWh/t) von Exakthäckslern nach KROMER (80) dargestellt. Es zeigt sich, daß Exakt-Feldhäcksler mit Recuttereinrichtung für die Zerkleinerung von Maiskolben einen ähnlich hohen spezifischen Arbeitsbedarf aufweisen wie Exaktfeldhäcksler beim Einsatz mit Anwelkgut. Ein Vergleich von Pflückhäckslern mit Recutter-Einrichtung bzw. Reibbodeneinsatz hinsichtlich der benötigten Zapfwellenleistung und des erzielbaren Zerkleinerungsgrades läßt erkennen, daß ein Senken des Überlängenanteiles mit einem u.U. dreifachen Leistungsbedarf erkauft werden muß. Nachschneideinrichtungen mit Lochsieben erzeugen jedoch im Gegensatz zum Reibboden erheblich höhere Gewichtsanteile im Bereich bis zu ca. 10 mm Teilchengröße des Erntegutes.

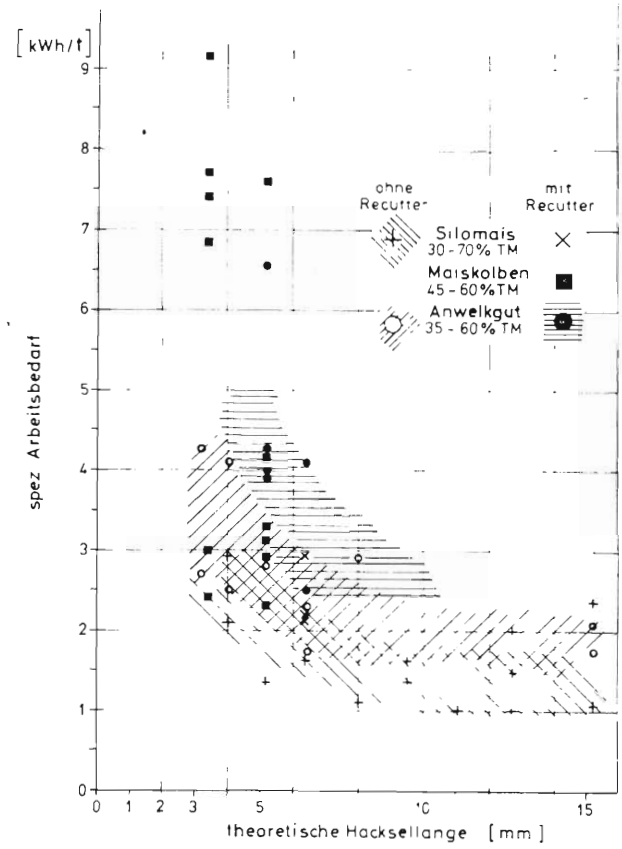


Abb. 69: Spezifischer Arbeitsbedarf von Exakthäckslern (nach KROMER, 80)

Mit diesen Erntemaschinen wird bei frühem Erntebeginn zum Teil sehr feuchtes, unter dem Einfluß des Häcksel- und Reib- bzw. Nachschneidvorganges sehr stark zerkleinertes Material erzeugt. Dieses Material läßt sich nur mit erheblichen Schwierigkeiten im reinen Wurf-Vorgang auf den Transportwagen fördern. Leistungsfähige Pflückhäcksler sind deshalb mit Zusatzgebläsen für die sichere Erntegutförderung in den Sammelbehälter ausgestattet.

Pflückhäcksler werden in unterschiedlicher Bauart, Koppelung mit dem Schlepper bzw. Antriebsaggregat sowie Arbeitsbreite angeboten:

Anbau-Pflückhäcksler (ein- und zweireihig)
seitlicher Anbau am Schlepper, Anlenkung über Tragrohrverbindung zur Schlepper-Heckhydraulik.

Anhänge-Pflückhäcksler (ein- und zweireihig)
Anhängung seitlich hinter dem Schlepper. Schlepper, Anhängepflückhäcksler und Transportwagen sind hintereinander angeordnet.

Frontanbau-Pflückhäcksler (zweireihig)
Anlenkung des Pflück- und Häckselaggregates in der Fronthydraulik von Spezialschleppern (z.B. Frontsitzschleppern) oder in der Heckhydraulik bei auf Rückwärtsfahrt umgerüsteten Standardschleppern.

Selbstfahrende Pflückhäcksler (dreireihig und darüber)
bei selbstfahrenden Pflückhäckslern wird anstelle der Pick-up Vorrichtung ein mehrreihiger Pflückvorsatz angebaut.

Diese breite Palette von Erntemaschinen unterschiedlicher Bauart und Leistungsfähigkeit erlaubt die Anpassung an die verschiedensten Einsatzbedingungen und Leistungsanforderungen.

2.3.2 Technische Lösungen zur Verringerung des Rohfasergehaltes

Wie bereits vorher erläutert, darf der Gehalt an Rohfaser im Erntegut bestimmte, für die unterschiedlichen Tiergattungen spezifische Grenzwerte nicht überschreiten, wenn ein erfolgversprechender Einsatz in der Tierfütterung erreicht werden soll. Für die Schweinemast soll der Rohfasergehalt nach ROTH-MAIER (105) 10 % in der Trockensubstanz nicht überschreiten. Das beim Pflückhäckslerverfahren

anfallende Erntegut weist jedoch einen Rohfasergehalt von durchschnittlich ca. 10 bis 15 % auf. Diese effektive Höhe sowie die erhebliche Schwankungsbreite werden dadurch hervorgerufen, daß infolge der relativ aggresiven Funktion der Reißwalzen am Pflückvorsatz je nach Abreifegrad der Maispflanzen ein mehr oder minder großer Teil der Restpflanze beim Pflückvorgang mit erfaßt und anschließend gehäckselt wird. Dieser unkontrollierbare Vorgang wirkt sich bei sehr frühem und sehr spätem Erntezeitpunkt besonders stark aus, da das grüne bzw. das stark abgereifte, u.U. vom Frost aufgemürbte Stengelmaterial einer aggresiven mechanischen Beanspruchung nicht standhält.

Es wurde deshalb nach technischen Lösungen gesucht, auch im Pflückhäcksler-Verfahren eine Verringerung oder Steuerung des Rohfaseranteils im Erntegut zu erzielen. Hierfür bieten sich mehrere Lösungen allerdings mit wechselndem Erfolg an:

Lieschenabscheider im Auswurfrohr

Diese rechenartigen, verstellbaren Abscheider zeigen bei exakt gehäckseltem, nachzerkleinertem Erntegut keinen befriedigenden Effekt.

Kappen der Pflanzenspitzen

Versuchsweise wurde seitlich zum ungeerntetem Bestand an einreihigen Pflückhäckslern horizontale Mähvorrichtungen zum Abschneiden der über den Maiskolben befindlichen Pflanzenteile angebracht. Da die lediglich geringfügige Verringerung des Rohfasergehaltes um 1 - 3 % und die Schwierigkeiten einer optimalen Einstellung der Schnitthöhe den technischen Aufwand nicht rechtfertigen, sind diese Vorrichtungen nicht über das Versuchsstadium hinausgekommen.

Pflückvorsatz mit Profil-Pflückwalzen

Die früher fast ausschließlich verwendeten gegenläufig rotierenden Pflückwalzen mit speziellem Profil sind in der Lage, beim

Pflückvorgang den Kolben teilweise zu entlieschen und den Restpflanzenanteil sehr niedrig zu halten. Der Vorteil der teilweisen Lieschenabtrennung wird jedoch überkompensiert durch die im Vergleich zum Pflückschienen-Reißwalzen-Vorsatz erheblich höheren Pflückverluste, insbesondere bei nicht völlig ausgereiften Kolben. Außerdem erschwert das hohe Eigengewicht dieser Pflückvorsätze und der infolge der großen Baulänge der Pflückwalzen weit nach vorn ausladende Schwerpunkt eine Verwendung bei Anbau- und Anhänge-Pflückhäckslern.

Einbau einer Entlieschvorrichtung

Am erfolgversprechendsten im Hinblick auf eine weitgehende Lieschenabtrennung bereits beim Erntevorgang ist der Einbau einer Entlieschvorrichtung. Diese, mit paarweise gegenläufig rotierenden und profilierten Entlieschwalzen ausgestatteten Vorrichtungen sind aus dem Kolbenpflückerbau bekannt und entlieschen bei gut abgereiften, d.h. abgetrockneten und vom Kolben abspreizenden Lieschblättern sowie sorgfältiger Einstellung ca. 70 % der Kolben völlig, den Rest teilweise. Bei unausgereiften Kolben mit grünen, dicht am Kolben anliegenden Lieschblättern ist der Entliescherfolg jedoch unbefriedigend. Dies sowie die Tatsache, daß der für einen Einbau erforderliche Platzbedarf in Anbau- und Anhängepflückhäckslern aus konstruktiven Gründen nicht vorhanden ist, schließt die Verwendung in abgewandelten Exakt-Feldhäckslern aus.

Absieben der Lieschen

Einen weiteren Weg zur Absonderung unerwünschter Restpflanzenteile stellt die Verwendung stationärer Siebtische dar. Sie können entweder beim Befüllen der Silos zwischen Transportwagen und Fördervorrichtung angeordnet oder bei der Siloentnahme am Silo stationiert werden. Das je nach Siebgut mit Maschen- oder Lochsieben unterschiedlicher Weite versehene Plansieb wird

von einem Elektromotor über einen Exzenter-Antrieb in oszillierende Bewegung versetzt. Versuchsweise wurden auch rotierende Trommelsiebe verwendet. Die energiereichen, kleineren Erntegutbestandteile (Körner, Spindelteile) fallen durch die Sieböffnungen, grobe Lieschen- und Restpflanzenteile wandern über das Sieb und können getrennt aufgefangen werden.

Ein Absieben der unerwünschten Teile kann nur dann in befriedigender Weise erfolgen, wenn sich ihre Form und Struktur wesentlich von derjenigen der erwünschten Erntegutbestandteile unterscheidet. Die Verwendung von Siebtischen bedingt daher eine gezielt ungünstige Schnittqualität beim Häckselvorgang. Die erforderliche Zerkleinerung der Körner und Spindelteile hat dann durch eine aggresive Wirkung des Riffelbodens zu erfolgen. Dadurch besteht jedoch die Gefahr, daß energiereiche Körner- und Kolbenteilchen an Lieschen und Restpflanzenteilen angelagert und mit dem abgesiebten Material ausgesondert werden.

Die Erfahrungen zeigen, daß bisher keine der genannten technischen Vorrichtungen für sich allein den erwünschten Erfolg bringen konnte, wenn die wesentlichen Anforderungen erfüllt sein sollen:

- Verringerung des Rohfaseranteils
- hohe Funktionssicherheit bei unterschiedlich abgereiftem Ausgangsmaterial
- geringe Verluste
- hoher Durchsatz
- begradigte Erntekette

2.4 Ernte von Maiskolbenschrot

Aufgrund der Probleme, die sich bei der Ernte der Lieschkolben unter Verwendung abgewandelter Exakt-Feldhäcksler ergaben, wurde die Entwicklung von Spezial-Erntemaschinen für die Gewinnung von Kolbenschrot vorangetrieben.

2.4.1 Ernteverfahren

Diese Maschinen sollen folgende Forderungen erfüllen:

- verlustarme Kolbenaufnahme
- weitestgehende Absonderung der Lieschen und Restpflanzenteile
- Zerkleinerung der Körner und Spindeln in der für eine einwandfreie Silierung und Verfütterung erforderlichen Weise.

Die bisher vorhandenen Konstruktionen sind einreihige, schleppergezogene Maschinen. Ihre generelle, bei den verschiedenen Fabrikaten konstruktiv unterschiedlich gelöste Funktion ist folgende (132, 133). Die Kolben werden von Pflückschienen-Reißwalzen-Vorsätzen von den Maispflanzen getrennt und gelangen in ein Aggregat zur Kolbenzerkleinerung (Schlagleistentrommel, Brechwerk u.ä.). Eine nachgeschaltete Siebvorrichtung (umlaufende Siebkette, Plansieb) trennt die unerwünschten Lieschen und Restpflanzenteile ab, sie werden auf das Feld abgelegt. Das grobe Gemisch von Körnern, Spindeln und geringen Restpflanzenteilen wird in einer nachgeschalteten Schrotvorrichtung nochmals zerkleinert und anschließend in einen Sammelbehälter oder auf den Transportwagen gefördert

Mit derartigen Spezialmaschinen ist es möglich, Kolbenschrot mit einem Rohfasergehalt bis ca. 7 % zu ernten, wobei als Rohfaser-

träger fast ausschließlich Spindelteile vorhanden sind. Die Einsatzfähigkeit wird von der Erntegutfeuchte begrenzt. Bei mehr als 50 % Feuchte im Erntegut treten nach VON KEISER (72) Verstopfungen im Auswurfrümmer und dadurch erhöhte Verlustzeiten auf.

Abb. 70: Spezial-Pflückschroter mit Entlieschvorrichtung

Den Vorteilen der gezielten Lieschenabtrennung und feinen Zerkleinerung der Maiskörner und -Spindeln steht die infolge der einreihigen Arbeitsweise begrenzte Flächenleistung sowie ein hoher Anschaffungspreis von ca. 15.000,-- bis 18.000,-- DM entgegen. Dadurch ergibt sich eine relativ hohe Kostenbelastung je ha Saison-Erntefläche.

2.5 Ernte von Maiskorn-Spindel-Gemisch

Bei dieser dritten Aufbereitungsvariante des Erntegutes wird bewußt auf ein zu intensives Zerkleinern des Erntegutes verzichtet.

Durch die Verwendung geeigneter Erntemaschinen mit entsprechenden Zusatzeinrichtungen läßt sich erreichen, daß ein Gemisch von Körnern und Spindeln mit einem über die gesamte Einsatzzeitspanne hinweg steuerbaren Rohfaseranteil anfällt.

2.5.1 Ernteverfahren

Basismaschine dieses Ernteverfahrens ist der Mähdrescher mit Pflückvorsatz in Maisernteausrüstung. Spezialmaisernter (Pflückrebler) sind im Prinzip ebenfalls geeignet. Die schonend arbeitende Rebeltrommel zerkleinert jedoch die Spindeln vielfach nicht genügend.

Es wird angestrebt, neben den Körnern auch einen möglichst hohen Anteil der vorhandenen Maisspindeln zu ernten, die unerwünschten Restpflanzenteile jedoch sorgfältig abzusondern. Es ist deshalb erforderlich, die Erntemaschinen in einigen Baugruppen mit speziellen Vorrichtungen zu versehen, bzw. im Vergleich zum Drusch reiner Körner abweichende Einstellungen vorzunehmen.

Für die Kolbenabtrennung sind die Erntemaschinen mit den normal üblichen Pflückvorsätzen ausgestattet. Hinsichtlich der Verwendung von Pflückschienen-Reißwalzen-Vorsätzen beim Mähdrescher mit Pflückvorsatz bzw. von Profilwalzen-Vorsätzen beim Pflückrebler gelten sinngemäß die in Abschnitt III. 1.2 getroffenen Aussagen.

Im Bereich des Dreschaggregates und der Siebeinrichtung gilt es, folgende Forderungen zu erfüllen:

- Entkörnen der Kolben
- Anschlagen (Beschädigen) der Körner, um eine rasche, vollständige Vergärung im Silo zu erreichen

- Zertrümmern der Spindel auf Teilgrößen, die eine möglichst vollständige Abscheidung im Korbbereich ermöglicht und keine weitere Nachzerkleinerung vor dem Einsilieren erforderlich macht
- Abtrennung unerwünschter Restpflanzenteile.

Die hierfür erforderlichen Umbau- bzw. Einstellmaßnahmen sind in Abb. 71 zusammengestellt.

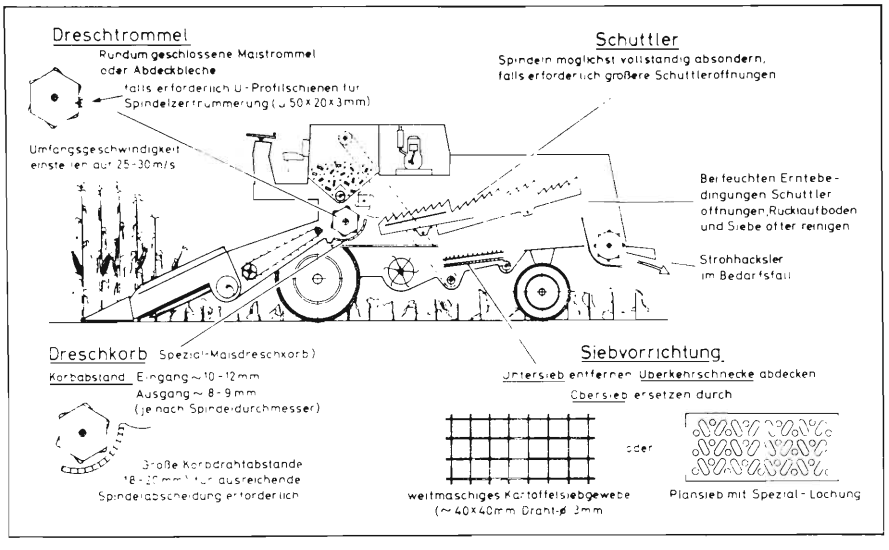


Abb. 71: Spezielle Ausstattung des Pflückdreschers für die Korn-Spindelgemischernte

Die Dreschtrommel ist, wie beim Körnerdrusch, rundum mit Abdeckblechen verkleidet. Um eine ausreichende Spindelzertrümmerung bzw. Beschädigung der Körner zu erreichen ist es notwendig, die Trommel-Umfangsgeschwindigkeit auf ca. 25 bis 30 m/s zu erhöhen (bei normalem Körnermaisdrusch 15 bis 17 m/s). Das Aufsetzen von glatten oder gezahnten U-Profil-Schienen kann unter normalen Erntebedingungen unterbleiben. Ihre Verwendung ist nur in Fällen vorteilhaft, wo eine starke Spindelzertrümmerung gewünscht wird.

Der Dreschkorb hat im Normalfall die für den Körnermaisdrusch üblichen Durchgänge. Da jedoch der Spindeldurchmesser sortenbedingt erheblich schwankt, kann es beim Drusch von Sorten mit großem

Spindeldurchmesser vorteilhaft sein, die Durchgänge durch Herausnehmen jedes zweiten Korbdrahtes zu vergrößern.

Im Bereich des Dreschaggregates erfolgt eine grobe Aufteilung des Dreschgutes in zwei Ströme: Körner, zertrümmerte Spindeln und Teile der Restpflanze gelangen durch die Dreschkorböffnungen auf den Vorbereitungsboden. Grobe Restpflanzenteile und teilweise auch Spindeln werden auf die Schüttlerhorden geschleudert. Da nicht ausreichend zerkleinerte Spindelteile evtl. nicht durch den Schüttlerbelag fallen und als "Spindelverluste" zu registrieren wären, können die Korbrostnadeln entfernt und auf der ersten Schüttlerstufe Beläge mit vergrößerten Öffnungen eingebaut werden.

Am Förderboden vereinigen sich der Abgang von Korb, Korbrost und Schüttlerrücklaufboden, das gesamte Material gelangt anschließend auf die Siebvorrichtung. Um die angestrebte Siebwirkung zu erreichen, wird das Untersieb entfernt und der Überkehreinlauf abgedeckt. Die eigentliche Siebwirkung übernimmt ausschließlich ein spezielles Obersieb in Verbindung mit dem Gebläseluftstrom. Sieblochung und Luftstrom sind so zu wählen, daß Lieschblätter, Restpflanzenteile und Narbenfäden einwandfrei ausgetragen, aber keine Körner und Spindelbruchstücke mitgenommen werden. Derzeit werden Spezial-Obersiebe mit unterschiedlicher Lochung angeboten, wobei weitmaschige, dem Kartoffelsieb ähnliche Siebformen bevorzugt werden.

Das Gemisch von Körnern und Spindelteilen gelangt anschließend über die Förderorgane in den Korntank. Obwohl das Erntegut durch den Gehalt an groben Spindelteilen eine günstige technologische Struktur besitzt, kann es erfahrungsgemäß bei sehr feuchtem Erntegut zu Schwierigkeiten bei der Korntankentleerung und dadurch erhöhtem Zeitbedarf für das Überladen kommen. Manuelle Nachhilfe oder entsprechende Einstellung der Austragschnecken-Abdeckbleche bringen

hier wirkungsvolle Abhilfe.

2.5.2 Untersuchungsergebnisse zur Deformationskraft für die Kolbenzerkleinerung

Das ausreichende Zerkleinern des Kolbens während des Dreschvorganges ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für das einwandfreie Abscheiden der erwünschten Kolben-Bestandteile im Dreschorgan-Bereich sowie eine günstige technologische Aufbereitung des Erntegutes im Hinblick auf die nachfolgenden Sieb-, Förder- und Siliervorgänge.

In diesem Zusammenhang bestehen einige wesentliche Abhängigkeiten. Die Beschädigung der Körner zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Kornfeuchte. MORRISON (85) und BUSSE (20) weisen eine stark progressive Zunahme der Kornbeschädigungen bei zunehmender Kornfeuchte nach. Im Hinblick auf die bei der Herstellung von Korn-Spindel-Gemisch erwünschten Kornbeschädigungen ist dieser progressive Kurvenverlauf als günstig anzusehen. Aus dieser Abhängigkeit ist zu folgern, daß die höhere Kornfeuchte, bei welcher dieses Material geerntet wird bzw. werden kann, die erwünschte Kornzertrümmerung erleichtert.

Die zur Deformation der Körner notwendige Kraft ist darüberhinaus vom Reifestadium, d.h. vom Erntezeitpunkt abhängig. BURMISTROVA (zit. bei BUSSE, 20) konnte experimentell nachweisen, daß für die Deformation des Maiskornes in der Teigreife nur ca. 50 % der Kraft erforderlich sind, die in der Glas- und Vollreife aufzubringen ist. Die Ernte zu einem frühen Zeitpunkt läßt deshalb erwarten, daß die Körner mit relativ geringem Leistungsbedarf zerkleinert werden können.

Neben der Zerkleinerung der Körner ist für die Aufbereitung des Erntegutes auch eine ausreichende Zertrümmerung der Spindeln erforderlich. Aus förder- und gärungstechnischen Gründen ist dabei eine Spindelteilgröße von ca. 20 bis 30 mm Durchmesser anzustreben.

Da bislang keine Untersuchungen über die für die Deformation der Spindeln erforderliche Kraft vorlagen, wurden im Erntejahr 1974 bei 4 bevorzugt verwendeten Maissorten - Anjou, Brillant, Inra 200 Velox - an insgesamt 10 Ernteterminen zwischen 26.9. und 28.10.1974 entsprechende Versuche durchgeführt. Die Körner befanden sich zum Beginn der Versuchsreihe zwischen der Teig- und Vollreife. Infolge der feuchten Herbstwitterung erfolgte während der Versuchsdauer keine weitere Ausreife.

Am jeweiligen Erntetermin wurden je Sorte 10 Maiskolben nach dem Zufallsprinzip geerntet und entkörnt. Die Bestimmung der Deformationskraft erfolgte auf einer Instron-Material-Prüfmaschine. Als Druckstempel diente ein 135 mm langes Teilstück einer üblichen, bei normalen Dreschtrommeln verwendeten Schlagleiste. Da die Maiskolben dem Dreschaggregat weitgehend ungeordnet zugeführt werden, wurde an Stellen mit gleichem Durchmesser der Druckstempel in Längs- und Querrichtung zur Spindel-Längsachse aufgesetzt. Auf einem Schreiber konnte der Druckverlauf über dem Weg des Druckstempels aufgezeichnet werden. Die in den Darstellungen aufgetragenen Werte stellen Maximal-Druckwerte im Durchschnitt von 10 Wiederholungen dar. Meßschriebe befinden sich im Anhang.

Die graphische Darstellung der erforderlichen Deformationskraft läßt erkennen, daß bei allen untersuchten Sorten einheitlich bei längsgerichtetem Druckstempel ein um das zweieinhalb bis dreifache höherer Kraftbedarf entsteht als bei Spindellage in Querrichtung. Eine generelle Abhängigkeit vom Erntetermin war nicht festzustellen.

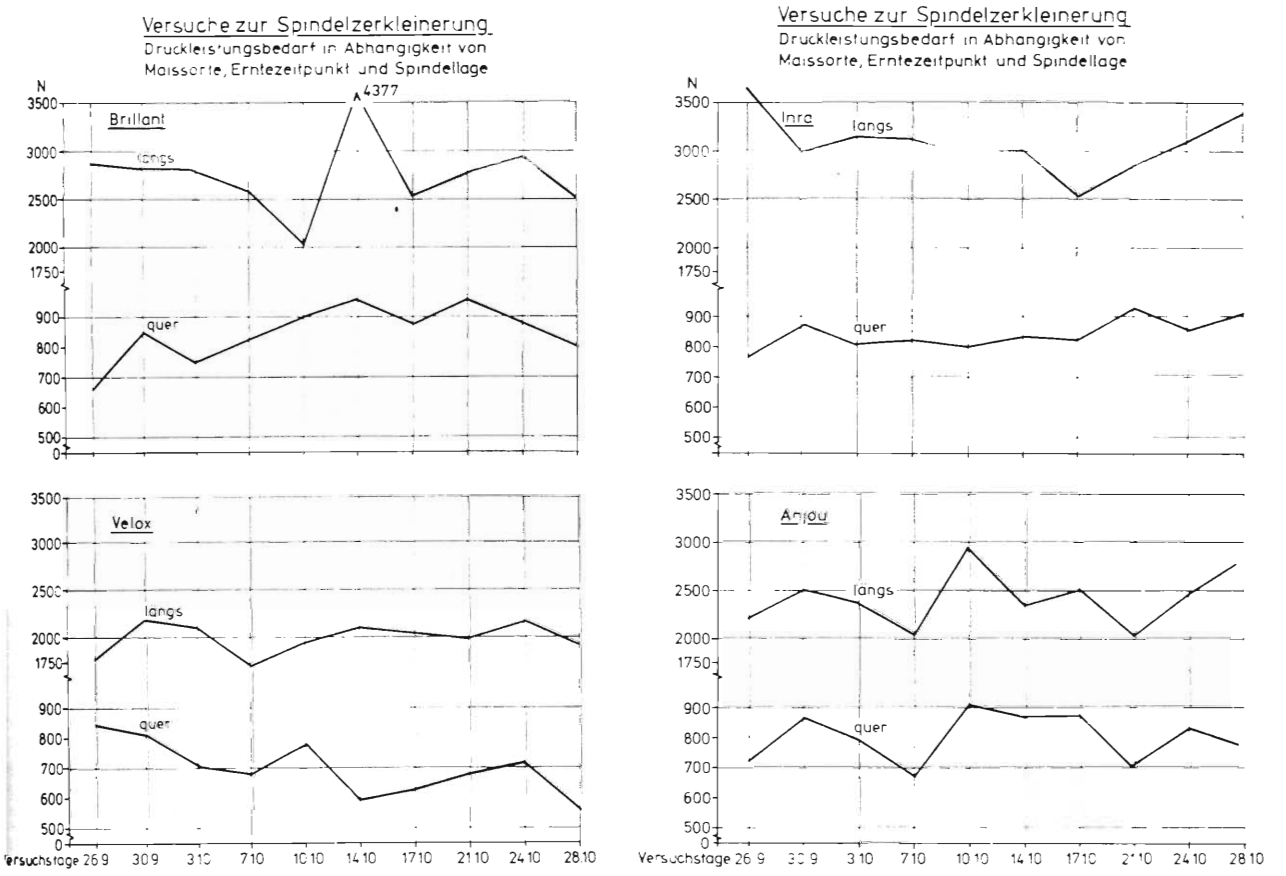


Abb. 72

Ein Sortenvergleich zum jeweiligen Probenahmetermin zeigt, daß typisch sortenspezifische Unterschiede in der Spindelfestigkeit bzw. in der erforderlichen Deformationskraft vorliegen. So verursacht die Sorte "Velox" sowohl bei den Längs- als auch den Querdruckversuchen mit einer Ausnahme (26.9.74, Querdruckversuch) den im Durchschnitt geringsten Druckleistungsbedarf, während die Sorten "Inra 200" und "Brillant" mit wenigen Ausnahmen die höchsten Druckwerte aufweisen.

Die Untersuchungen zeigen darüberhinaus, daß im Vergleich zu der von BURMISTROVA für Maiskörner bei der Teigreife ermittelten Deformationskraft von maximal 28 kp (= 274 N) die für Spindeln gefundenen Werte sowohl im Quer- als auch im Längsdruckversuch ganz

erheblich über den genannten Werten für Körner liegen. Daraus ist zu folgern, daß für die Zertrümmerung der Spindeln beim Druschvorgang eine wesentlich höhere Deformationskraft erforderlich ist und sich dies in einem entsprechend höheren Leistungsbedarf je t Durchsatz im Vergleich zum Drusch reiner Körner auswirkt.

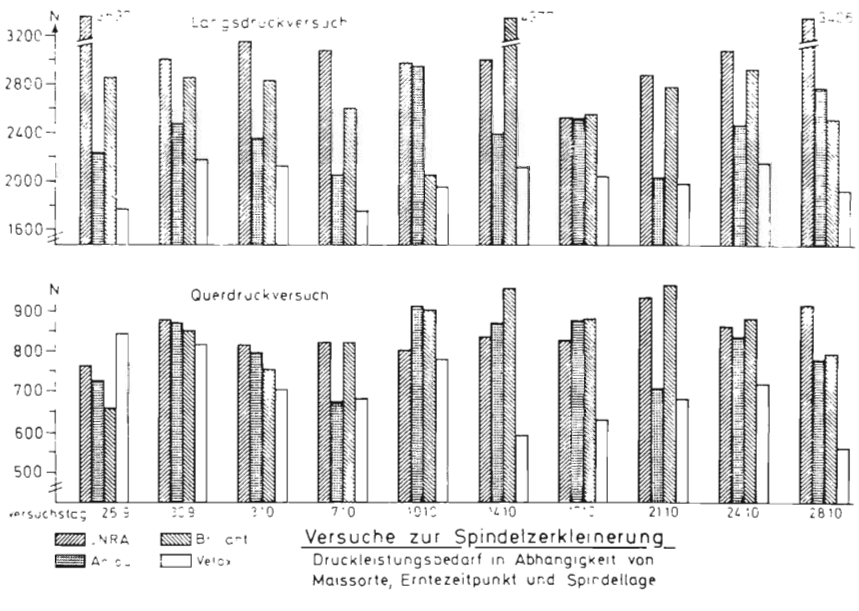


Abb. 73

2.5.3 Technische Lösungen zur Steuerung des Rohfasergehaltes

Die Zielsetzung bei der Gewinnung und Aufbereitung von Maiskorn-Spindel-Gemisch läßt sich in drei wesentlichen Punkten zusammenfassen:

- Einstellen eines bestimmten, dem Verwertungszweck angepaßten Prozentsatzes an Rohfaser im Erntegut
- Einhalten dieses gewünschten Rohfaseranteils über die gesamte Ernteperiode hinweg, auch bei stark wechselnden Erntebedingungen

- Vollständiges Erfassen der erwünschten Rohfaserträger (Maisspindeln), einwandfreies Absondern der unerwünschten Restpflanzenteile.

Das Pflückhäcksler-Verfahren ist aufgrund seiner derzeitigen technischen Konzeption nur in der Version als Spezial-Pflückhäcksler in der Lage, die vorgenannten Forderungen zu erfüllen. Dagegen bietet das Pflückdruschverfahren aufgrund der technischen Konzeption der Grundmaschine (großdimensionierte Schüttler - und Siebflächen) günstigere Ansatzpunkte, bereits während des Erntevorganges eine Steuerung des Rohfasergehaltes zu erzielen. Dabei besteht hinsichtlich der für eine Steuerung des Rohfasergehaltes erforderlichen, optimalen Aufbereitung des Erntegutes beim Druschvorgang, sowie der Funktion der Siebelemente im Reinigungsbereich eine deutliche Wechselwirkung. Es gilt daher, durch richtige Ausgestaltung und Einstellung des Dreschaggregates die Maisspindeln so stark zu zertrümmern, daß ein möglichst hoher Anteil hiervon auf die nachfolgenden Siebeinrichtungen gelangt. Dort hat dann die Steuerung des Rohfasergehaltes (Spindelanteils) zu erfolgen.

Das Schwergewicht der durchgeführten Untersuchungen lag deshalb bei der Erprobung unterschiedlicher Siebelemente in Abhängigkeit von unterschiedlichen Einstellungen des Dreschaggregates. Als Versuchsmaschine stand ein selbstfahrender Mähdrescher in Maisernteausrüstung zur Verfügung, bei welchem im Dresch- und Schüttlerbereich einige aus Vorversuchen als notwendig bekannten Abänderungen vorgenommen wurden.

Die erste Versuchsreihe wurde mit dem Original-Quadratlochsieb sowie mit Maschensieben unterschiedlicher Lochung durchgeführt (Abb. 74). Innerhalb jeder Versuchsstufe wurde die Trommelumfangsgeschwindigkeit und der Abstand Dreschkorb-Dreschtrommel variiert. Bei der Versuchsabwicklung und -auswertung wurde das gesamte Dreschgut aufgefangen,

mehrere Durchschnittsproben gezogen, die Zusammensetzung des Erntegutes in Gewichtsprozenten ermittelt und anschließend auf analytischem Wege der Rohfasergehalt sowie die Gesamt-Trockenmasse bestimmt.

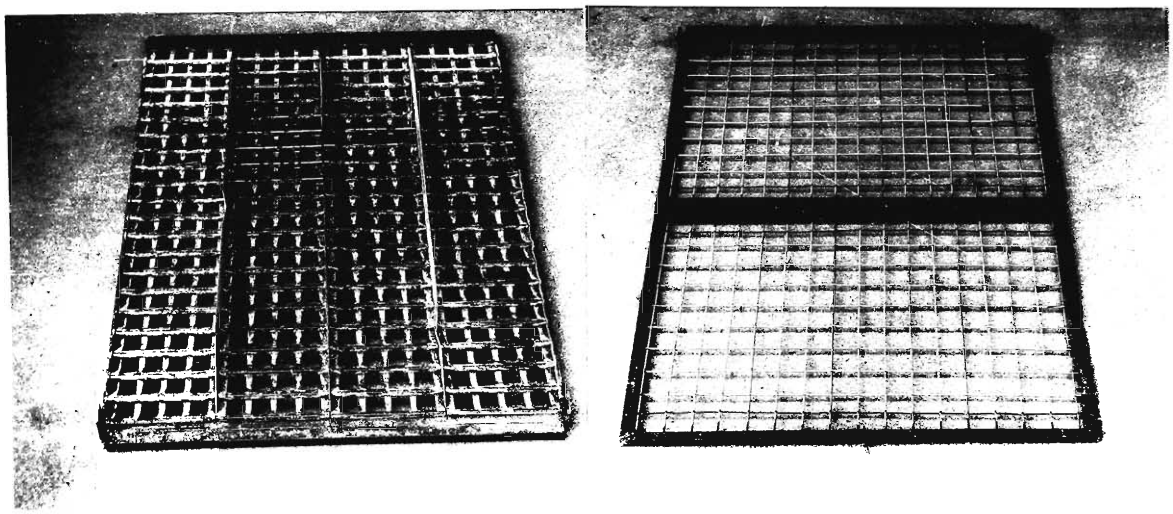


Abb. 74: Siebformen für die Herstellung von Maiskorn-Spindel-Gemisch (Quadratlochsieb, links; Maschensieb, rechts)

Die gesamten, in dieser Versuchsreihe erzielten Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt.

Dabei ist insbesondere die bei den verschiedenen Varianten erzielte Dreschgutzusammensetzung aufschlußreich. Als "Körnerschrot" sind alle Kornteile zu definieren, die beim Absieben über ein 3 mm Rundlochsieb anfielen.

Betrachtet man den Einfluß von Trommel-Umfangsgeschwindigkeit und Korbabstand auf den Anfall an ganzen und zertrümmerten Maiskörnern (Körnerschrot) so zeigt sich, daß im Mittel aller verwendeten Siebformen und -lochungen die höhere Trommel-Umfangsgeschwindigkeit bei engem Korbabstand eine sehr starke Kornzertrümmerung verursacht.

(Im Mittel aller Varianten 30,4 Gewichtsanteile Körnerschrot, 54,0 % ganze Körner). Bei gleicher Trommel-Umfangsgeschwindigkeit bewirkt der weite Korbabstand eine Verringerung des Anteils an Körnerschrot (22,0 %) bei gleichzeitiger Erhöhung des Anteils ganzer Körner auf 59,5 %. Demgegenüber liegen bei der geringeren Trommel-Umfangsgeschwindigkeit von 19,1 m/s und gleichfalls engem Korbabstand wesentlich niedrigere Werte für Körnerschrot vor (im Mittel 14,7 %), der Anteil an ganzen Körnern beträgt hier 70,2 %. Ein Vergrößern der Korbspalte wirkt sich aber auch hier in einem Rückgang des Körnerschrotanteils auf 11,1 % bei gleichzeitigem Anstieg des Anteils ganzer Körner auf 71,8 % aus.

Sieb-form	Lochung mm	Trommel-Drehzahl U/min	Trommel-Umfangsgeschw. m/sec	Korb-abstand	Dreschgutzusammensetzung (Gew.-%) ganze Körner %	Körnerschrot %	Spindeln %	Rohfaser i. d. TS %	Ges. Trockenmasse %
Quadratloch-Sieb (Original J. Deere)	40 x 40	600	19,1	eng 1)	72,0	14,0	14,0	9,5	59,30
		600	19,1	weit 2)	68,5	11,9	19,6	6,6	59,42
		850	25,5	eng	56,4	32,0	11,6	8,6	56,64
		850	25,5	weit	57,9	18,0	24,1	10,2	56,04
Maschensieb	53 x 53	600	19,1	eng	69,0	15,8	15,2	10,2	56,77
		600	19,1	weit	74,5	10,6	14,9	8,4	58,14
		850	25,5	eng	52,9	29,5	17,6	8,9	56,95
		850	25,5	weit	52,8	23,6	23,6	6,6	60,35
	45 x 45	600	19,1	eng	68,1	12,2	19,7	9,3	56,82
		600	19,1	weit	75,6	8,8	15,6	9,0	57,30
		850	25,5	eng	49,9	32,5	17,6	7,9	60,51
		850	25,5	weit	65,5	22,4	12,1	8,1	58,75
	40 x 40	600	19,1	eng	66,3	13,2	20,5	7,7	59,30
		600	19,1	weit	70,2	13,4	16,4	6,9	58,94
		850	25,5	eng	53,9	29,3	16,8	4,9	60,28
		850	25,5	weit	60,8	25,8	13,4	4,0	61,14
	35 x 35	600	19,1	eng	75,5	18,2	6,3	6,3	63,79
		600	19,1	weit	70,2	10,7	19,1	8,0	58,39
		850	25,5	eng	57,1	28,8	14,1	6,8	57,58
		850	25,5	weit	60,7	20,2	19,1	7,7	58,30

1) eng = Korbeingang 20 mm, Korbausgang 10 mm
2) weit = Korbeingang 30 mm, Korbausgang 18 mm

Tabelle 16: Gesamtergebnisse der Versuchsreihe "Rohfasersteuerung" bei Quadratloch- und Maschensieben

Daraus läßt sich folgern, daß im praktischen Maschineneinsatz durch eine entsprechende Einstellung von Umfangsgeschwindigkeit der Dreschtrommel und Abstand des Dreschkorbes von der Dreschtrommel gezielt der Anfall an ganzen oder geschroteten Maiskörnern zu beeinflussen ist.

Darüberhinaus hat die unterschiedliche Einstellung des Dreschaggregates zum Ziel, die Maisspindeln ausreichend zu zerschlagen, um eine weitgehende Abscheidung im Korbbereich zu erreichen. Die endgültige Steuerung des Spindel-(Rohfaser-)anteils im Erntegut erfolgt jedoch im Bereich der kombinierten Sieb-Druckwind-Reinigung, so daß hier eine enge Wechselwirkung zwischen der Einstellung des Dreschwerkes und der verwendeten Siebform und -lochung besteht. Deshalb wurden als Auszug aus der Tabelle 16 die bei Verwendung von Maschinensieben erzielten Ergebnisse für den Spindelanteil und Rohfasergehalt in Tabelle 17 zusammengestellt.

Spindelanteil (Quadratloch- und Maschensiebe)
Gewichts-%

Maschenweite mm	Trommel-Umfangsgeschwindigkeit 19,1 m/s Korbabstand eng[1]	weit[2]	25,5 m/s Korbabstand eng[1]	weit[2]
40x40 (J.Deere)	14,0	19,6	11,6	23,1
53x53	15,2	14,9	17,6	23,6
45x45	19,7	15,6	17,6	12,1
40x40	20,5	16,4	16,8	13,4
35x35	6,3	19,1	14,1	19,1

1) Korbabstand eng: Eingang 20 mm, Ausgang 10 mm
2) Korbabstand weit: Eingang 30 mm, Ausgang 18 mm

Rohfaseranteil (Quadratloch- und Maschensieb)
Gewichts-%

Maschenweite mm	Trommel-Umfangsgeschwindigkeit 19,1 m/s Korbabstand eng[1]	weit[2]	25,5 m/s Korbabstand eng[1]	weit[2]
40x40 (J.Deere)	9,5	6,6	8,6	10,2
53 x 53	10,2	8,4	8,9	6,6
45 x 45	9,3	9,9	7,9	8,1
40 x 40	7,7	6,9	4,9	4,0
35 x 35	6,3	8,0	6,8	7,7

1) Korbeingang 20 mm, Korbausgang 10 mm
2) Korbeingang 30 mm, Korbausgang 18 mm

Tabelle 17: Spindelanteil und Rohfasergehalt bei Quadratloch- und Maschensieben.

Hinsichtlich des Einflusses der drei Parameter Maschenweite, Trommelumfangsgeschwindigkeit und Korbabstand auf den Spindelanteil ist folgendes auszuführen:

Maschenweite: Lediglich bei 25,5 m/s Trommelumfangsgeschwindigkeit sowie engem und weitem Korbabstand bringt das 53 x 53 mm-Sieb einen höheren Spindelanteil als Siebe mit kleinerer Lochung. Diese Tendenz ist jedoch nicht einheitlich, beim 35 x 35 mm-Sieb liegen wieder höhere Werte vor.

Trommel-Umfangsgeschwindigkeit: Bei den Sieben mit 45 x 45 mm und 40 x 40 mm Maschenweite sind bei 19,1 m/s höhere Spindelanteile zu verzeichnen als bei 25,5 m/s.

Korbabstand: Hier sind ebenfalls bei 45 x 45 sowie 40 x 40 mm und engem Korbabstand höhere Spindelanteile zu verzeichnen als beim weiten Korbabstand. Dies gilt sowohl bei 19,1 als auch bei 25,5 m/s Trommelumfangsgeschwindigkeit.

Die Ergebnisse der Rohfaseranalyse für die Maschensiebe lassen folgendes erkennen:

Maschenweite: Ein konstanter Rückgang von 53 x 53 mm auf 35 x 35 mm Lochung ist bei 19,1 und 25,5 m/s und engem Korbabstand zu verzeichnen.

Trommel-Umfangsgeschwindigkeit: Fast einheitlich bringt die Trommelumfangsgeschwindigkeit von 19,1 m/s einen höheren Rohfaseranteil als die höhere Trommelumfangsgeschwindigkeitsstufe.

Korbabstand: Weder bei der höheren noch bei der niedrigeren Trommelumfangsgeschwindigkeit hat der Korbabstand einen einheitlichen Einfluß auf die Veränderung des Rohfasergehaltes bei den unterschiedlichen Maschenweiten.

Aufgrund dieser nur teilweise befriedigenden Ergebnisse wurde der Prototyp eines Verstellsiebes entwickelt, bei welchem durch Verschie-

ben von 2 gelochten und übereinander angebrachten Plansieben gegeneinander die Rechtecklochung von 0 mm bis 61 x 33 mm kontinuierlich verstellt werden kann (Abb. 75). Für die Versuchsanstellung wurden 3 Sieböffnungen (20/40/61 x 33 mm), 2 Trommelumfangsgeschwindigkeiten (25,5 und 31,8 m/s) sowie ein enger und ein weiter Korbabstand gewählt.

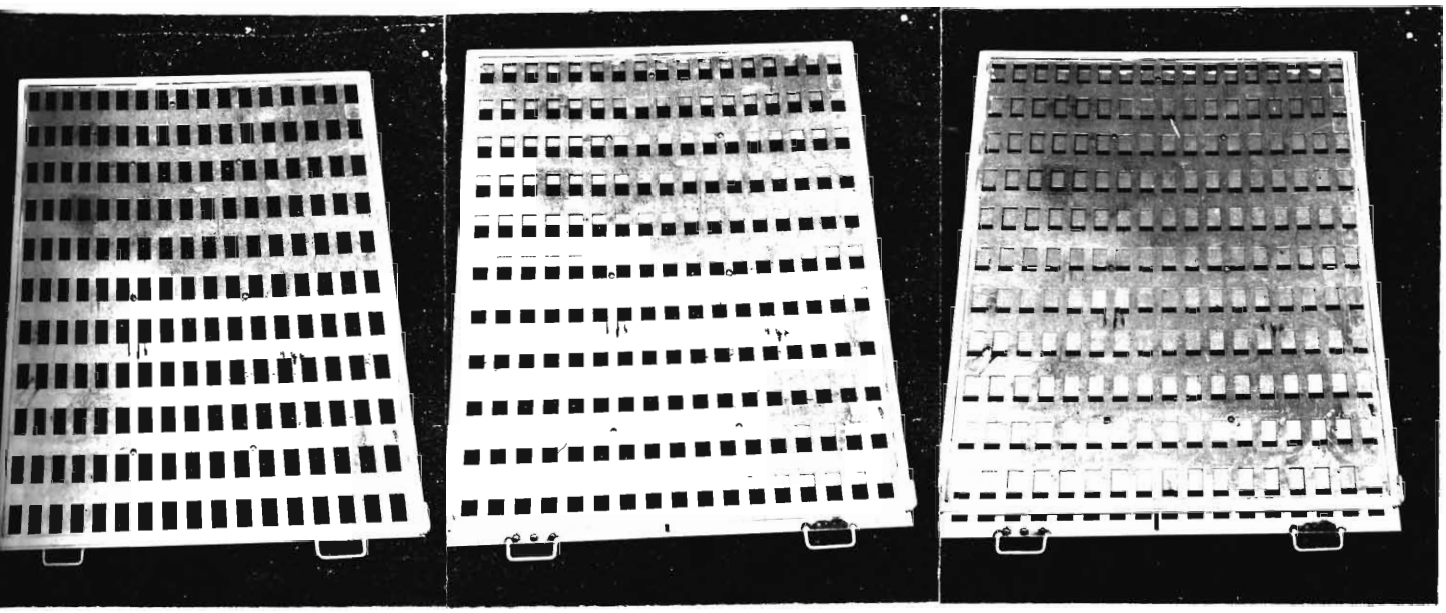


Abb. 75: Prototyp eines Verstellsiebes (links: Sieb offen; mitte: Sieböffnung 40 mm; rechts Sieböffnung 20 mm, Lochbreite jeweils 33 mm)

Die gewählten Varianten und Gesamtergebnisse dieser Versuchsanstellung sind in Tabelle 18 zusammengefaßt.

Hinsichtlich der Auswirkungen von Trommel-Umfangsgeschwindigkeit und Korbabstand auf den Anfall an ganzen und geschroteten Körnern ergeben sich ähnliche Tendenzen wie bei der Versuchsanstellung mit Maschensieben. Bei engem Korbabstand wirkt sich das Erhöhen der Trommel-Umfangsgeschwindigkeit von 25,5 m/s auf 31,8 m/s in einer deutlichen Erhöhung des Anteils an zertrümmerten Körnern im Erntegut aus. Eine ähnliche Tendenz ergibt sich, wenn bei konstanter Trommel-Umfangsgeschwindigkeit der Korbabstand verändert wird.
Die Variante mit engem Korbabstand weist generell höhere Anteile geschroteter Körner auf.

Sieb-form	öffnung mm	Trommel-Drehzahl U/min	Trommel-Umfangs-geschwind. m/s	Korb-abstand	Dreschgutzusammensetzung (Gewichts-%) ganze Körner %	Körnerschrot %	Spindeln %	Rohfaser i. d. TS %	Ges.-Trocken-masse %
Verstell-sieb	20	850	25,5	eng 1)	53,9	32,0	14,1	8,0	61,5
	40	850	25,5	eng	49,9	35,8	14,3	8,1	58,5
	61	850	25,5	eng	52,1	28,9	19,0	7,2	59,6
	20	1000	31,8	eng	37,8	39,1	23,1	11,4	60,9
	40	1000	31,8	eng	33,0	43,1	23,9	11,5	59,0
	61	1000	31,8	eng	34,8	41,0	24,2	12,9	55,9
	20	1000	31,8	weit 2)	45,7	32,6	21,7	10,3	57,4
	40	1000	31,8	weit	44,2	32,9	22,9	13,0	58,8
	61	1000	31,8	weit	42,8	30,8	26,4	13,7	58,4

1) eng = Korbeingang 20 mm, Korbausgang 10 mm
2) weit = Korbeingang 30 mm , Korbausgang 18 mm

Tabelle 18: Gesamtergebnisse der Rohfasersteuerung mit dem Verstellsieb

Der Einfluß unterschiedlicher Einstellungen am Dreschaggregat in Verbindung mit veränderten Sieböffnungen am Verstellsieb ist als Auszug aus der Übersichtstabelle in Tabelle 19 dargestellt.

Spindelanteil (Verstellsieb)
Gewichts-%

Sieböffnung	Trommel-Umfangsgeschwindigkeit 25,5 m/s, Korbabstand eng 1)	31,8 m/s, eng 1)	31,8 m/s, weit 2)
20 mm	14,1	23,1	21,7
40 mm	14,3	23,9	22,9
61 mm	19,0	24,2	26,4

1) Korbeingang 20 mm, Korbausgang 10 mm
2) Korbeingang 30 mm, Korbausgang 18 mm

Rohfaseranteil (Verstellsieb)
Gewichts-%

Sieböffnung	Trommel-Umfangsgeschwindigkeit 25,5 m/s, Korbabstand eng 1)	31,8 m/s, eng 1)	31,8 m/s, weit 2)
20 mm	8,0	11,4	10,3
40 mm	8,1	11,5	13,0
61 mm	7,2	12,9	13,7

1) Korbeingang 20 mm, Korbausgang 10 mm
2) Korbeingang 30 mm, Korbausgang 18 mm

Tabelle 19: Spindelanteil und Rohfasergehalt beim Verstellsieb.

Hinsichtlich des Spindelanteils zeigt sich folgendes:

Sieböffnung: Mit zunehmender Vergrößerung der Sieböffnung ergibt sich bei allen Varianten eine eindeutige Steigerung des Spindelanteils, der bei 61 mm Sieböffnung, 31,8 m/s Trommelumfangsgeschwindigkeit und weitem Korbabstand mit 26,4 % seinen höchsten Wert erreicht.

Trommelumfangsgeschwindigkeit: Bei 31,8 m/s können sowohl bei engem, als auch bei weitem Korbabstand deutlich höhere Spindelanteile im Vergleich zu 25,5 m/s erreicht werden.

Korbabstand: Ein enger Korbabstand wirkt sich, gekoppelt mit hoher Trommelumfangsgeschwindigkeit, nur bei 20 und 40 mm Sieböffnung in einem hohen Spindelanteil aus. Bei 61 mm Sieböffnung liegt bei großem Korbabstand der höchste Spindelanteil vor.

Hinsichtlich des Rohfaseranteils zeigten sich folgende Ergebnisse:

Sieböffnung: Mit Ausnahme der geringen Trommelumfangsgeschwindigkeit hat eine zunehmende Sieböffnung einen deutlichen Einfluß auf die mögliche Steigerung des Rohfaseranteils im Erntegut.

Trommelumfangsgeschwindigkeit: Bei hoher Trommelumfangsgeschwindigkeit liegen generell höhere Rohfaseranteile vor als bei der niedrigeren Umfangsgeschwindigkeit.

Korbabstand: Zwischen dem engen und weiten Korbabstand sind im Bereich der hohen Trommelumfangsgeschwindigkeit nur geringfügige Unterschiede im erreichten Rohfaseranteil zu verzeichnen. Dagegen wirkt sich bei einheitlich engem Korbabstand die Veränderung der Trommelumfangsgeschwindigkeit in einer erheblichen Abweichung im Rohfaseranteil aus.

Vergleicht man für gleiche Siebformen bzw. -einstellungen den Spindelanteil mit dem Rohfaseranteil so läßt sich erkennen, daß für die Maschensiebe keine einheitliche Relation zwischen dem

ermittelten Spindel- und Rohfaseranteil vorliegt. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, daß z.B. bei hoher Trommelumfangsgeschwindigkeit eine intensive Zertrümmerung der im Pflückgut vorhandenen Pflanzenteile erfolgt. Diese Materialien sind bei der Ermittlung des Spindelanteils nicht erfaßt, gehen jedoch in die Werte des Rohfaseranteils mit ein.

Dagegen zeigt ein Vergleich von Spindelanteil und Rohfaseranteil bei dem Verstellsieb eine weitestgehende Übereinstimmung. Hieraus ist zu folgern, daß mit dem neuentwickelten Verstellsieb eine gezielte Absonderung der erwünschten Spindelteile und damit die angestrebte Steuerung des Rohfaseranteils erzielt werden kann. Durch konstruktive Weiterentwicklungen sollte es gelingen, eine noch deutlichere Abgrenzung der Rohfaserstufen zu erreichen.

Bei einem Transformieren dieser Ergebnisse auf die Einsatzverhältnisse im praktischen landwirtschaftlichen Betrieb stellt die exakte Bestimmung des Rohfasergehaltes eines der Hauptprobleme dar. Bislang fehlt es an Schnellmethoden zu einer raschen Ermittlung des Rohfasergehaltes mit ausreichender Genauigkeit. Dadurch besteht auch keine Möglichkeit, die Maschineneinstellung gezielt an die jeweils vorliegenden Ernteverhältnisse bzw. angestrebten Rohfasergehalte anzupassen. Hier ist weitere methodische Entwicklungsarbeit erforderlich.

2.5.4 Fütterungsversuche mit unterschiedlichen Rohfaser- und Konservierungsstufen bei Schweinen

Wegen des relativ hohen Energiegehaltes ist Maiskolbenschrotsilage vorwiegend für die Schweinemast interessant. So berichten z.B. BURGSTALLER (18), GRIMM/RIEMENSBERGER (58) und HOFMANN (66) über die erfolgreiche Verfütterung von Maiskolbensilage an Mastschweine.

Spezielle Untersuchungen darüber, mit welchem Erfolg Maisschrotsilagen, die von unterschiedlichen Erntemaschinen aufbereitet wurden und einen unterschiedlichen Rohfasergehalt aufweisen, in der Schweinemast eingesetzt werden können, wurden von ROTH-MAIER et al. (105) in Zusammenarbeit mit der "Landtechnik Weihenstephan" durchgeführt. Dabei zeigt sich, daß zwischen dem Erntegut vom Pflückhäcksler (11 % Rohfaser) und vom Mähdrescher mit Pflückvorsatz (8 % Rohfaser) hinsichtlich Gesamtnährstoffgehalt, Gesamtnährstoff-Aufwand je kg Zunahme sowie Gewichtsentwicklung weitgehend übereinstimmende Werte vorliegen, allerdings bei relativ geringen Rohfasergehaltsunterschieden.

In Ergänzung dieser Untersuchungen wurden von ROTH-MAIER und KIRCHGESSNER (106) die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Rohfasergehalten der mit Pflückhäcksler und Pflückdrescher geernteten Maiskolbenschrote, der Verdaulichkeit der Nährstoffe, sowie des Einflusses der Konservierungsform festgestellt. Die verwendeten Futterstoffe wurden im Rahmen der Forschungsarbeiten im Projekt C 2.3 des Sonderforschungsbereiches 140 "Körnerfruchtproduktion" aufbereitet und konserviert. Besonderes Gewicht wurde dabei auf das Einstellen einer möglichst großen Variation der Rohfasergehalte im Maiskolbenschrot gelegt, um die Grenzbereiche der Verwendbarkeit dieser Futtermittel in der Schweinemast zu ermitteln. Folgende Varianten gelangten zum Einsatz:

Konservierungsstufe	Rohfasergehalt i. TS	
	Pflückdrescher %	Pflückhäcksler %
frisch	5.3	12.2
	10.4	13.3
siliert	4.4	12.8
	7.7	13.9
getrocknet	7.3	15.0
	8.0	15.4

Tabelle 20: Rohfasergehalt des Erntegutes für Fütterungsversuche mit Schweinen

Die Untersuchungen ergaben, daß sich der Rohfasergehalt auf die Verdaulichkeit der einzelnen Nährstoffe jeweils wesentlich auswirkt und neben dem TS-Gehalt die entscheidende Rolle für die Verwendung der Maiskolbenschrotsilage als Futtermittel in der Schweinemast spielt. Eine Verwendung als alleiniges Energiefuttermittel in der Schweinemast ist nur möglich, wenn bei einem TS-Gehalt ab 45 % der Rohfasergehalt in der Trockensubstanz bei maximal 7 % (Anfangsmast) bzw. 10 % (Endmast) liegt. Werden z.B. infolge der Verwendung ungeeigneter Ernteverfahren höhere Rohfasergehalte erreicht, so ist ein zusätzlicher und mit dem Rohfasergehalt steigender Getreideanteil in der Futterration erforderlich.

Vom Blickpunkt der Tierernährung her gesehen ist deshalb der Einsatz von Erntemaschinen anzustreben, die in der Lage sind, einen Rohfasergehalt von durchschnittlich maximal 7 - 10 % in der Trockensubstanz steuerbar über die gesamte Erntezeitspanne hinweg einzuhalten. Dies ist während des Erntevorganges ohne einen zusätzlichen Arbeitsgang derzeit nur mit Spezial-Pflückhäckslern sowie dem Mähdrescher mit Pflückvorsatz bzw. Pflückrebler zu erreichen. Alle anderen Verfahren benötigen zusätzliche technische Einrichtungen (z.B. Siebtisch).

Über Vergleichsversuche bei Schweinen mit Körnermaisschrotsilage (geschrotete, reine Maiskörner) und Maiskolbenschrotsilage aus dem hinsichtlich Abreife des Maises und ordnungsgemäßer Ernteabwicklung problematischen Anbaujahr 1972 berichten STEINHAUSER et al (117). Diese Ergebnisse sind insofern aufschlußreich, als das Verfahren Maiskolbenschrot, wie bereits erläutert, vor allem in Jahren mit ungünstigem Witterungsverlauf sowie in den Grenzlagen des Körnermaisanbaues für vorteilhafter erachtet wird als die Ernte reiner Körner. Die Versuche erbrachten bei einem Rohfasergehalt von 12,8 % (± 1,2) bei Maiskolbenschrot und

3,0 % (± 0,2) bei Körnermaisschrotsilagen und relativ ungünstigen Trockensubstanz-Gehalten von 46,4 % (± 0,9) bzw. 54,3 % (± 1,0) Zuwachsraten von 543 g/Tag bei Maiskolbenschrotsilage bzw. 637 g bei Körnermais-Schrotsilage. Der Trockenmasseverbrauch je kg Zunahme lag bei 2,91 kg bzw. 2,21 kg je Tier.

Dies bestätigt die von anderen Autoren getroffene Feststellung, daß Maiskolbenschrotsilage mit Rohfasergehalten von über 10 % bei Verwendung in der Schweinemast mit Getreideschrot aufgemischt werden muß, wenn eine entsprechende Futteraufnahme und ausreichende Zunahmen erzielt werden sollen.

2.6 Verfahrensvergleich

Ein Vergleich der unterschiedlichen Ernteverfahren hat neben dem Erntevorgang auf dem Feld auch die sich daran anschließenden Arbeitsgänge für die Aufbereitung und Einlagerung bzw. Konservierung des Erntegutes zu berücksichtigen.

Infolge des begrenzten Erntezeitraumes sind vor allem bei umfangreichen Ernteflächen besonders hohe Anforderungen an die Schlagkraft der Erntemaschinen zu stellen. Diese hat sich vorrangig an folgenden Kriterien zu orientieren:

- Erreichen der morphologischen Reife
- Witterungsverlauf während der Ernte
- Umfang der Anbau- (Ernte-) Fläche
- Gewähltes Konservierungsverfahren
- Ackerbauliche Folgearbeiten.

Die Ausgangssituation in der Mechanisierung der Ernte von Maiskörnern und Rohfaserträgern ist dadurch gekennzeichnet, daß bei den unterschiedlichen Erntesystemen bezogen auf die jeweils vorhandene Reihenzahl des Pflückvorsatzes sehr unterschiedliche

Motorleistungen seitens der Herstellerfirmen installiert werden, bzw. erforderlich sind (vgl. auch Abb. 78). Die Untersuchungen ergaben, daß für einreihige Anbau-Pflückhäcksler, Ackerschlepper ab etwa 60 PS Motorleistung erforderlich sind. Zweireihige gezogene Pflückhäcksler benötigen je Reihe ca. 50 PS, bei Ausstattung mit Nachschneideinrichtungen erhöht sich der Leistungsbedarf auf ca. 60 PS/Reihe. Hingegen sind Mähdrescher mit Pflückvorsatz und Pflückrebler im Durchschnitt nur mit 30 bis 35 PS Motorleistung/Reihe ausgestattet.

Im Mittel aller Messungen ergaben sich für die reinen Erntearbeiten auf dem Feld folgende landwirtschaftliche Flächenleistungen in ha je Stunde und Erntereihe:

Einreihige Anbau-Pflückhäcksler (60 PS-Schlepper)	0,22 - 0,25 ha
Zweireihige gezogene Pflückhäcksler (100 PS-Schlepper)	0,20 - 0,25 ha
Dreireihige Mähdrescher mit Pflückvorsatz bzw. Pflückrebler	0,17 - 0,20 ha

Diese Ergebnisse decken sich in etwa mit Werten, die VON KEISER (75) beim Einsatz verschiedener Maiskolbenerntemaschinen in Grenzlagen des Maisanbaues fand. Bei diesen Untersuchungen wurde außerdem ermittelt, daß sich in Folge der Miternte hochfeuchter Rohfaserträger die landwirtschaftliche Flächenleistung mit zunehmender Kornfeuchte in Abhängigkeit vom jeweiligen Ernteverfahren z.T. erheblich verringert. Wird die oben genannte, bei einer Kornfeuchte von 40 % erzielte landwirtschaftliche Flächenleistung mit 100 % angesetzt, so verringert sich z.B. bei dreireihigen Pflückreblern die Flächenleistung bei 50 % (± 2 %) Kornfeuchtegehalt auf 95-98 %, bei 60 % (± 2 %) Kornfeuchtegehalt auf 88-94 %. Bei Mähdreschern mit dreireihigen Pflückvorsatz vermindert sich die Leistung auf 93-96 %, bzw. 67-80 %.

Bei Lieschkolben-Pflückschrotern ist zwar im Vergleich zum Pflückrebler bei 50 % Kornfeuchtegehalt ein stärkerer Rückgang der Leistung zu beobachten (90-92 %). Eine weitere Erhöhung des

Kornfeuchtegehaltes wirkt sich dagegen in einer geringeren Verminderung der Flächenleistung aus. Sie beträgt bei 60 % Feuchte noch 85 - 88 %.

Maiskolben-Pflückschroter, bei welchen entlieschte Maiskolben verarbeitet werden, reagieren auf steigende Kornfeuchtegehalte besonders empfindlich mit z.B. Verstopfungen im Wurfturm. Bereits bei 50 % Kornfeuchte sinkt die Flächenleistung auf 68 - 75 %, das Ernten von Material mit 60 % Kornfeuchte ist aus dem oben genannten Grund bei Maiskolben-Pflückschrotern in der Normalausführung (ohne Zusatzgebläse) nicht mehr möglich.

Der Arbeitszeitbedarf errechnet sich als reziproker Wert der landwirtschaftlichen Flächenleistung. Die dort ermitteltenReduzierung der Leistung infolge steigender Kornfeuchtegehalte wirkt sich synonym in einer entsprechenden Steigerung des Arbeitszeitbedarfes aus.

Hinsichtlich der sich an den Erntevorgang auf dem Feld anschließenden Arbeitsgänge unterscheiden sich die verschiedenen Verfahren z.T. deutlich. Im Pflückhäcksler-Verfahren zeigen sich die Unterschiede zwischen dem Normal-Pflückhäcksler und dem Spezial-Pflückhäcksler mit Entlieschvorrichtung vor allem bei der Silobeschickung. Das rohfaserarme, gut zerkleinerte Erntegut des Spezial-Pflückschroters kann ohne weitere Aufbereitung mittels herkömmlicher Förderorgane in den Gärbehälter gefördert werden. Hierfür eignen sich sowohl die vom Energiebedarf gesehen vorteilhaften mechanischen (z.B. Förderband), als auch pneumatische Fördervorrichtungen (z.B. Wurfgebläse).

Dagegen ist beim Normal-Feldhäcksler mit Pflückvorsatz beim Vorhandensein von Überlängen im Erntegut ein Recutter zur Nachzerkleinerung am Silo oder ein Siebtisch zur Aussonderung der unerwünschten Restpflanzenteile erforderlich. Für die spätere Entnahme des Siliergutes

aus dem Hochsilo sind Unten- und Obenentnahmefräsen verwendbar.

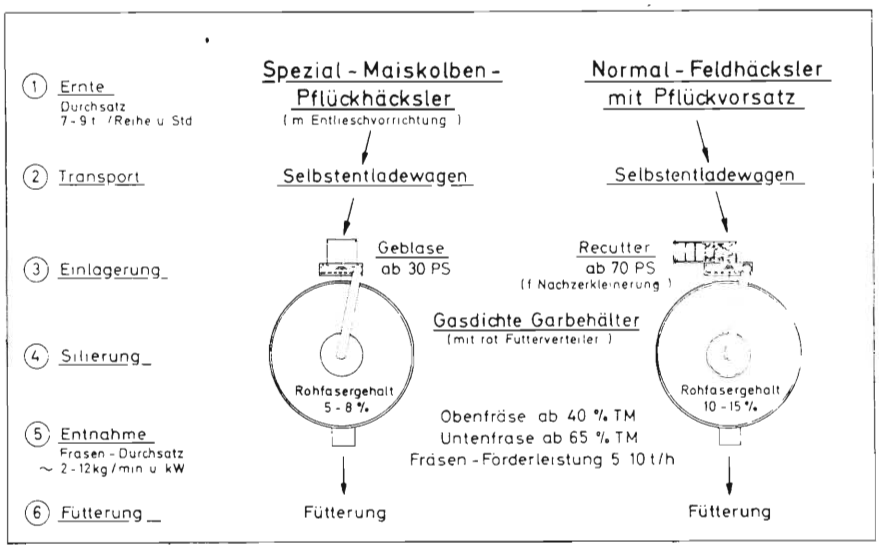


Abb. 76: Verfahrensablauf bei der Maiskolbenernte mit dem Pflückhäcksler

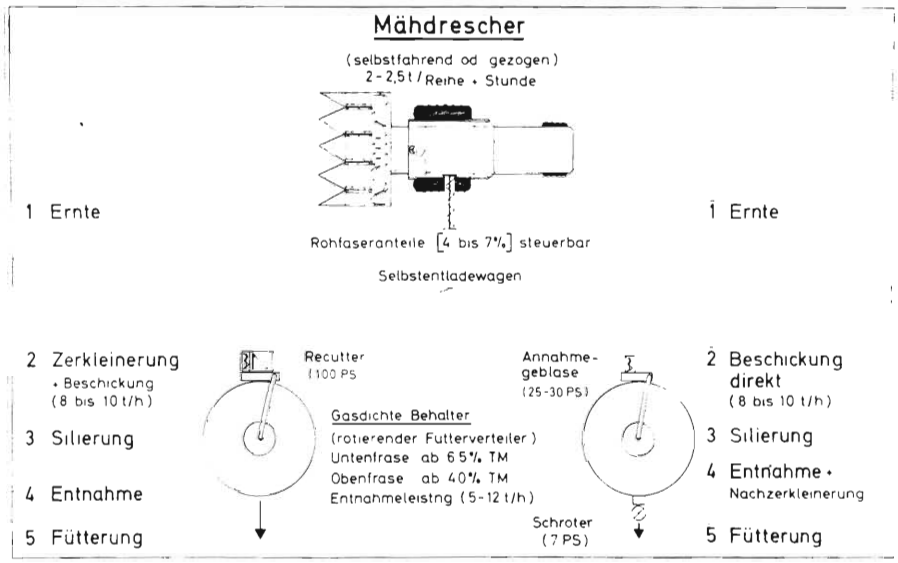


Abb. 77: Verfahrensablauf bei der Maiskorn-Spindelgemisch-Ernte mit dem Pflückdrescher

Beim Pflückdrusch-Verfahren haben sich die nach der Ernte folgenden Arbeitsgänge nach der Aufbereitung des Erntegutes im Pflückdrescher zu orientieren. Im allgemeinen wird angestrebt, durch entsprechende Einstellung des Dreschorgans (Trommelumfangsgeschwindigkeit, Korbabstand) die Spindeln so stark zu zertrümmern, daß vor der Beschickung des Gärbehälters keine weitere Zerkleinerung erforderlich ist. Das Verwenden eines rotierenden Verteilers im Hochsilo verhindert die Schüttkegelbildung und damit das konzentrisch schichtenweise Einlagern von Körnern und Spindelteilen.

Bei nicht gasdichten Behältern vermindert dagegen ein zusätzliches Zerkleinern des Erntegutes vor der Silobefüllung das Risiko von Fehlgärungen und Konservierungsverlusten. In der Regel werden hierfür leistungsfähige Schroteinrichtungen (Hammermühlen, Kreiselschroter etc.) am Silo stationiert und vom Transportwagen kontinuierlich beschickt. Versuchsweise wurde diese Erntegut-Zerkleinerung durch den Aufbau einer Schrotmühle auf den Mähdrescher-Korntank auf die Erntemaschine verlagert.

Derartiges, fein zerkleinertes Siliergut läßt sich mit ausreichender Sicherheit und entsprechender Förderleistung nur von Obenfräsen aus dem Silo entnehmen. Verbesserte Konstruktionen gewährleisten hohe Entnahmeleistungen bei geringer Auflockerung der Futterstockoberfläche. Bei Verwenden einer Untenentnahmefräse ist auf eine ausreichend grobe Struktur des Erntegutes, insbesondere der Spindelteile zu achten. Da Untenentnahmefräsen mit weitgehend gasdichten Gärbehältern gekoppelt sind, ist hier die Gefahr von Fehlgärung infolge der gröberen Erntegutstruktur nicht gegeben. In solchen Fällen erfolgt die für eine Verfütterung an Schweine erforderliche, feine Zerkleinerung des Erntegutes nach der Entnahme aus dem Gärbehälter. Infolge der begrenzten Futtermengen lassen

sich hierfür Schroteinrichtungen mit relativ geringem Leistungsbedarf einsetzen.

Problematisch gestaltet sich die Konservierung von Maiskolbenschrot in Flachsilos. Ähnlich wie bei der Silierung anderer Futterarten in derartigen Behältern ist eine gute Verdichtung des Erntegutes und die einwandfreie Abdeckung mit ausschlaggebend für die Höhe der Silierverluste und die Haltbarkeit des Futters. Ausreichendes Festwalzen während der Befüllung, ordnungsgemäßes Abdecken mit Folien und ggf. Anbringen einer Bedachung sind einige der Grundvoraussetzungen für das Erzielen einwandfreier und qualitativ hochwertiger Silagen. Die größte Gefahr hinsichtlich Nachgärungen, Futterverderb und Verlusten besteht zweifellos bei der Entnahme während der warmen Jahreszeit. Infolge der begrenzten Bestandesgrößen in der Mastschweinehaltung und der relativ geringen Futtermengen je Mahlzeit ist die Entnahmemenge aus dem Gärbehälter pro Tag verhältnismäßig gering. Nach ROTH-MAIER et al (105) ist je nach Mastperiode ein täglicher Bedarf an Kolbenschrotsilage je Tier von 1,7 kg (30 kg Lebendgewicht) bis zu 4,6 kg (100 kg Lebendgewicht) zu unterstellen. Dabei bestehen zwischen pflückgedroschener und pflückgehäckselter Maiskolbensilage nur geringfügige Unterschiede. Unterstellt man für praktische Einsatzverhältnisse, bei denen eine Staffelung der Lebendgewichtsgruppen eingehalten wird, einen durchschnittlichen Bedarf von 3,0 - 3,2 kg je Tier und Tag, so ergibt sich bei einer Bestandesgröße von 100 Tieren eine tägliche Entnahmemenge von 300 - 320 kh/Tag. Bei einem Raumgewicht von Ø ca. 750 kg/m^3 und einer aufgrund vorhandener Erfahrungen täglich zu entnehmenden Mindest-Schichtdicke von ca. 10 cm errechnen sich hieraus Abmessungen des Siloquerschnittes von 4,0 - 4,3 m^2. Die Abmessungen herkömmlicher Flachsilos betragen etwa 3,5 · 2,5 m (Querschnitt etwa 8,75 m^2). Derartige Silos sind deshalb bei geringen Bestandesgrößen nicht verwendbar, erst ab Beständen von etwa 200 - 220 Tieren ist eine verlust-

arme Entnahme der täglich benötigten Futtermengen möglich. Es empfiehlt sich deshalb, bei kleineren Tierbeständen entsprechende Siloabmessungen (evtl. durch Unterteilen größerer Gärbehälter) vorzusehen.

Die Entnahmetechnik für Flachsilos kann derzeit noch nicht befriedigen, da ein Großteil der verwendeten Geräte eine zu starke Auflockerung der Anstichfläche bewirkt (z.B. Frontlader, Schaufellader). Hier könnten Entnahmefräsen, die sich derzeit in der Erprobung befinden, eine wertvolle Weiterentwicklung und Hilfestellung bringen.

Den für einen Verfahrensvergleich erforderlichen Überblick über die wesentlichen, verfahrensbezogenen Parameter gibt Abb. 78.

Erntemaschine	erforderl. Motorleistg. PS	Erntemenge dz/ha	Siloraumbedarf m^3/ha	Ernteleistung ha/h	Ernteleistung dz/ha	Anzahl AK für Ernte, Transport, Einlagerg.	Arbeitszeitbedarf insges. AKh/ha
Anbau-Pflückhäcksler (1 reihig)	ab 60	110 - 150	~ 15	0,22-0,25	~ 30	1	7 - 8
gezog. Pflückhäcksler (2 reihig) mit Nachschneider	ab 120	110 - 150	~ 15	0,45-0,50	~ 60	2 - 3	5 - 6
Kolbenpflücker (1 reihig)	ab 40	90 - 100	10 - 12	0,20-0,22	~ 20	2	8 -10
Recutter	ab 100						
Pflückdrescher (4 reihig)	~ 120	90 - 100	10 - 13	0,70 -0,75	~ 70	2	3 - 4
Pflückrebler (3 reihig)	~ 90	90 - 100	10 - 13	0,50-0,55	~ 50	2	4 - 5

Abb. 78: Kennwerte für die Ernte und Konservierung verschiedener Verwertungsstufen von Maiskolben

Die erforderliche Motorleistung ist bei ein- und zweireihigen Pflückhächslern im Vergleich zum mehrreihigen Pflückdrescher und Pflückrebler relativ hoch, da neben Schlepper und Gerät auch

der sich stetig füllende Transportwagen im Feld bewegt werden muß. Bei mehrreihigen Pflückhäckslern mit vielmessrigen Häckseltrommel und grober Erntegutzerkleinerung scheint sich eine Umkehrung der Leistungsbedarfsverhältnisse zu ergeben.

Infolge des höheren Lieschen- und Restpflanzenanteils im Erntegut ist beim Pflückhäcksler-Verfahren die anfallende Erntemenge je Hektar spürbar höher als bei den Verfahren, bei welchen das Erntegut lediglich aus Maiskörnern und -spindeln besteht. Dies äußert sich in einem entsprechend hohen Siloraumbedarf je Hektar Erntefläche.

Die Ernteleistung ist bei den Pflückhäcksler-Verfahren infolge des höheren PS-Angebots je Reihe etwas höher als beim Pflückdrescher- und Pflückrebler-Verfahren.

Während in der Anzahl der gleichzeitig benötigten Arbeitskräfte zwischen den verschiedenen Verfahren keine wesentlichen Unterschiede bestehen, äußert sich die höhere Flächenleistung beim Pflückdrusch- und Pflückrebler-Verfahren bei gleichem Bedarf an Arbeitskräften in einem erheblich geringeren Arbeitszeitbedarf für Ernte, Transport und Einlagerung im Vergleich zum ein- und zweireihigen Pflückhäcksler-Verfahren.

Futtermittel, die in der Schweinemast verwendet werden sollen, werden im wesentlichen nach den Kriterien "Verdaulichkeit der organischen Substanz, Gehalt an verdaulichem Rohprotein und Gesamtnährstoffen" beurteilt. Da der Rohfasergehalt auf die Verdaulichkeit der organischen Substanz einen hochsignifikanten Einfluß ausübt und nach den vorhergenannten Untersuchungen maximale Rohfasergehalte von 7 - 10 % aus der Sicht der Tierernährung anzustreben sind, ist bei der Auswahl und dem Einsatz

der Ernteverfahren hierauf besonderer Wert zu legen, wenn entsprechende Masterfolge erzielt werden sollen.

In einem ökonomischen Vergleich der Verwendung von Maiskolbenschrotsilagen in Relation zur Körnerschrotsilage bei der Schweinemast von STEINHAUSER und STROBL (116) ergibt sich, daß je Mastplatz und Jahr bei Körnermaisschrotsilage und Korn-Spindel-Gemisch 2,79 Schweine erzeugt werden können, bei Maiskolbenschrotsilage vom Pflückhäcksler nur 2,55 Schweine. Die Mastschweineerzeugung je ha Mais beträgt unter Einbeziehung des jeweils erforderlichen Getreide-Zusatzfutters 30 Tiere bei Körnerschrot, 26 Tiere bei Maiskolbenschrot vom Pflückhäcksler und 25 Tiere bei Korn-Spindel-Gemisch.

In der Wettbewerbskraft liegt bei allen unterstellten Varianten (entlohnte Arbeitskräfte und vorhandene Silos/vorhandene Arbeitskräfte und Siloneubau/entlohnte Arbeitskräfte und Siloneubau) das Korn-Spindel-Gemisch an der Spitze und erzielt eine bereinigte Stallplatzverwertung (bereinigter Deckungsbeitrag je Mastplatz) von 238,-- DM. Im Vergleich dazu erreicht die Körnerschrotsilage 229,-- DM/Schweinemastplatz, das Maiskolbenschrot vom Pflückhäcksler 223,-- DM/Schweinemastplatz.

Diese Ergebnisse gelten für Standorte, die mit den in diesen Untersuchungen angenommenen Voraussetzungen vergleichbar sind. Bei Abweichungen hiervon sind zum Teil erhebliche Verschiebungen in den dargestellten Wettbewerbsverhältnissen zu erwarten, die mit zunehmend schlechterem Standort generelle Vorteile des Pflückhäcksler-Verfahrens erbringen. Jedoch können einzelbetriebliche Gegebenheiten auf die einzelnen Produktionsverfahren sowohl eine wettbewerbsfördernde als auch wettbewerbshemmende Wirkung haben.

3. Zusammenfassung der Ergebnisse "Maisernte"

Für das Ernten reiner Maiskörner hat sich der Mähdrescher mit Maispflückvorsatz weitgehend durchgesetzt. Die in den letzten Jahren erreichte technisch-konstruktive Reife, hohe Drusch- und Reinigungsleistungen und insbesondere die infolge der Doppelnutzung bei Getreide und Mais erreichbare, günstige Festkostenverteilung ließen ihn zum Standard-Ernteverfahren in allen Körnermais-Anbaugebieten werden. Die erzielbare Ernteleistung ist von einer Fülle unterschiedlicher Kriterien abhängig. Maschinentechnisch sind dies als wichtigste die technisch-konstruktive Ausstattung der Erntemaschinen mit unterschiedlichen Reihenzahlen am Pflückvorsatz, leistungsfähigen Aufbaumotoren und Dreschaggregaten sowie großdimensionierte Schüttler und Reinigungseinrichtungen. Darüberhinaus beeinflußt auch die Organisation des Ernteverfahrens, also die Abstimmung von Drusch-, Transport- und Einlagerungsleistung direkt die erzielbare Flächenleistung bzw. den Arbeitszeitbedarf je ha Anbaufläche.

Wenn dennoch derzeit ein erhebliches Interesse an der Verwendung von Spezial-Maiserntern besteht, so sind vorwiegend folgende Gründe hierfür maßgebend:

Das Rebelaggregat bewirkt infolge seiner technisch-konstruktiven Gestaltung eine sehr schonende Entkörnung des Maises. Da in normalen Anbaugebieten in gewissen Zeitabständen, in Grenzlagen des Körnermaisanbaues dagegen relativ häufig die Gefahr besteht, daß der Körnermais nur mit Mühe den für einen verlustarmen Ausdrusch erforderlichen Mindest-Trockensubstanz-Gehalt von 55 % erreicht, ist die Gefahr von Kornbeschädigungen beim Rebelaggregat wesentlich geringer als bei der aggresiv wirkenden Schlagleisten-Dreschtrommel des Mähdreschers. Dadurch ist der Einsatz von Spezial-Maiserntern auch unter

ungünstigeren Erntebedingungen, wenngleich bei höheren Pflückverlustraten, noch möglich.

Für den Maisdrusch ist der Getreidemähdrescher mit speziellen Zusatzaggregaten auszustatten, deren Anschaffung relativ teuer (Pflückvorsatz) und deren Montage vom Landwirt selbst nur mit erheblichem Zeitaufwand und technischen Vorkenntnissen zu bewältigen ist. Ein Umbau durch betriebsfremde Spezialkräfte verursacht jährlich wiederkehrende Kosten in nicht unbeträchtlicher Höhe.

Der Trend zur überbetrieblichen Nutzung der Erntemaschinen ist unverkennbar. Beim Einsatz des Mähdreschers mit Pflückvorsatz wird infolge der erheblichen mechanischen Beanspruchung ein vorzeitiger Verschleiß befürchtet. Hingegen sind die Spezial-Maisernter auf die hohen mechanischen Beanspruchungen konstruktiv ausgerichtet. Darüberhinaus läßt sich durch eine optimale Einsatzplanung und infolge der geringeren Witterungsabhängigkeit das Flächenangebot für Spezial-Maisernter soweit steigern, daß auch kostenseitig die vorhandene Differenz zum Mähdrescher mit Pflückvorsatz und Doppelnutzung bei Getreide und Mais spürbar verringert werden kann.

Dennoch ist zu erwarten, daß auch künftig der Mähdrescher mit Pflückvorsatz seine Vorrangstellung bei der Ernte reiner Maiskörner beibehalten wird. Die umfangreichen Schüttler- und Siebflächen, die künftig in größerem Umfang zu erwartende Verwendung von Verlustkontrollgeräten, Steuereinrichtungen für die Durchsatzregelung etc. und die günstigeren Kosten der Arbeitserledigung sind nach wie vor unbestreitbare Vorteile dieses Verfahrens, insbesondere bei weiterer Steigerung der Reihenzahl am Pflückvorsatz.

Der Trend zur Steigerung der Ernteleistung durch Verbreiterung der Pflückvorsätze (Erhöhen der Reihenzahl) ist unverkennbar. Das späte

Erreichen der Druschreife sowie die engbegrenzte, in ihrem Umfang vor allem durch die nach der Maisernte erforderlichen Folgearbeiten limitierte Erntezeitspanne sind die wesentlichen Triebfedern hierfür. Nachdem frisch erdroschener Körnermais infolge des hohen Wassergehaltes nur kurze Zeit ohne Aufbereitung zwischengelagert werden kann, kommt einer optimalen Abstimmung von Erntekapazität, Transport- und Konservierungsleistung eine besondere Bedeutung zu. Welche Konservierungsform zu wählen ist, wird von der einzelbetrieblichen Ausgangssituation bestimmt und konnte nicht Gegenstand dieser Abhandlung sein. Unter dem energetischen Aspekt ist jedoch zu erwarten, daß sich vor allem in Betrieben mit ausgeprägter Veredelung des Körnermaises über den Tiermagen künftig anstelle der Warmlufttrocknung auch andere, energiesparendere und kostengünstigere Konservierungsverfahren bzw. generell neue Ernteverfahren einen Platz sichern werden.

Insbesondere in Grenzlagen des Körnermaisanbaues könnte dies in Form der Bereitung von Maiskolben-Schrotsilage erfolgen. Die vorliegenden Erfahrungen lassen erkennen, daß bereits geeignete Erntemaschinen auf dem Markt sind, die neben einer entsprechenden Funktionssicherheit - auch unter ungünstigen Erntebedingungen - relativ geringe Ernteverluste gewährleisten. Wird jedoch der Kreis der Beurteilungskriterien erweitert und die Steuerung des Rohfasergehaltes sowie die erzielbare Flächenleistung mit berücksichtigt, so zeigt sich, daß die Summe der Forderungen bislang von den vorhandenen Erntemaschinen noch nicht voll zufriedenstellend erfüllt wird. Der Mähdrescher mit Pflückvorsatz und Zusatzausrüstung für die Ernte von Korn-Spindel-Gemisch ist zwar in der Lage, Rohfasergehalte von 5 - 8 % auch bei hoher Drusch- und Flächenleistung zu erzielen. Das neuentwickelte Verstellsieb stellt dabei eine aussichtsreiche Möglichkeit dar, den Rohfasergehalt auch bei unterschiedlichen Erntebedingungen und hohen Ansprüchen an einen über die ge-

samte Ernteperiode hinweg gleichbleibenden Rohfaseranteil im Erntegut zu steuern. Hinsichtlich der Funktionssicherheit bei ungünstigeren Erntebedingungen, insbesondere bei feuchtem nicht völlig abgereiften Mais ist jedoch der Feldhäcksler mit Pflückvorsatz dem Pflückdrescher überlegen. Der Pflückhäcksler stellt damit eine Erntemaschine dar, dessen Einsatzbereich vorwiegend die Grenzlagen des Körnermaisanbaues bilden. Sollte es möglich sein, auch beim Pflückhäcksler eine echte Steuerung des Rohfasergehaltes beim Erntevorgang zu erreichen, dann könnte dieses Produktionsverfahren generell an Wettbewerbskraft gegenüber den anderen Verfahren gewinnen.

Unabhängig vom Ernteverfahren sind aber auch bei der Gewinnung von Maiskolbenschrot die Wechselwirkungen zwischen Ernteleistung, Transport- und Konservierungskapazität zu beachten. Wesentliche Voraussetzung, um eine ordnungsgemäße Einlagerung und Vergärung zu erreichen, ist die zweckmäßige Aufbereitung des Erntegutes. Pflückhäcksler zerkleinern durch eingebaute Reibböden oder Recuttereinsätze das Erntegut so fein, daß es ohne weitere Nachzerkleinerung sofort einsiliert werden kann. Auf die Probleme und technischen Möglichkeiten zur Absonderung unerwünschter Restpflanzenteile wurde hingewiesen. Beim Material vom Pflückdrescher ist die während des Dreschvorganges erzielbare Zerkleinerung ausschlaggebend, ob eine Nachzerkleinerung vor der Silobefüllung noch erforderlich ist. Abweichend von den Unterstellungen von STEINHAUSER und STROBL (116), die einen Recutter mit leistungsstarkem Schlepper als Antriebsquelle beim Pflückdrescher-Verfahren in die ökonomische Kalkulation einsetzten, zeigten vorliegende eigene Erfahrungen in mehreren Betrieben mit der Gewinnung von Korn-Spindel-Gemisch, daß dies nur bei Verwendung nicht gasdichter Silos und gleichzeitig grober Aufbereitung des Erntegutes erforderlich ist. Stehen dagegen weitgehend gasdichte Silos zur Verfügung und gelingt es, durch

eine optimale Einstellung des Dreschwerkes die Körner und Spindeln weitgehend zu zerschlagen, dann läßt sich bei Verwendung von rotierenden Verteilern bei der Silobefüllung auch ohne zusätzliche Zerkleinerung des Erntegutes ein einwandfreier, verlustarmer Gärverlauf sicherstellen.

IV. VERFAHRENS-TEILBEREICH "FOLGEARBEITEN NACH DER ERNTE"

Die Folgearbeiten nach der Körnermaisernte umfassen im wesentlichen die beiden großen Bereiche

- Zerkleinerung und Einarbeitung des Maisstrohes
- Konservierung der mit hoher Feuchte anfallenden Maiskörner.

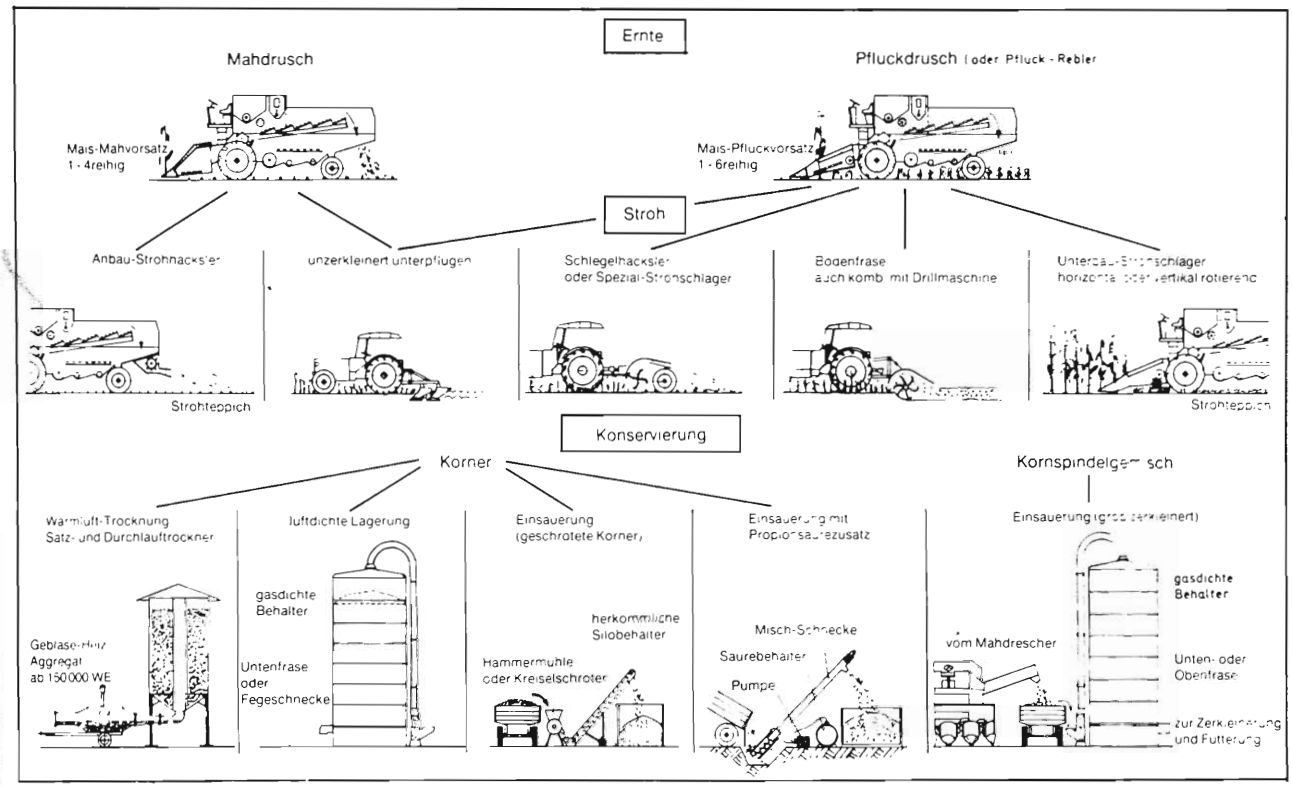


Abb. 79: Ernteverfahren und Folgearbeiten bei der Körnermaisernte

Für den Bereich der Körnerkonservierung wurden die verfahrenstechnischen Probleme bei der Koordinierung von Ernteleistung und Konservierungskapazität, die energetischen Anforderungen und die grundlegende technische Ausstattung bei verschiedenen Konservierungsverfahren bereits ausführlich behandelt (vgl. Seite 139). Infolge der beschränkten Lagerfähigkeit frisch geernteter, feuchter Maiskörner muß zwangsläufig die Abwicklung der Erntearbeiten und die Körnerkonservierung zeitlich parallel verlaufen.

Im Gegensatz dazu werden für die Strohzerkleinerung und -einarbeitung unterschiedliche und teilweise in einem zweiten, auch zeitlich von der Ernte getrennten Arbeitsgang ablaufende Verfahren eingesetzt. Ihr Funktionsprinzip orientiert sich vorrangig daran, in welchem Aufbereitungszustand die Erntemaschinen das Maisstroh auf dem Feld zurücklassen und welche Arbeitsgänge sich der jeweiligen Bearbeitungsmaßnahme anschließen.

1. Konventionelle Verarbeitung des Maisstrohes

1.1 Pflanzen- und ackerbauliche Aspekte

Körnermais besitzt und benötigt im Vergleich zu anderen Körnerfrüchten einen hohen Anteil an oberflächlicher Pflanzenmasse für das Erzielen der angestrebten, hohen Ernteerträge. Der Anfall an Pflanzenmaterial je Flächeneinheit ist im wesentlichen abhängig von sortenspezifischen Voraussetzungen und der Bestandsdichte (Pflanzenzahl je Flächeneinheit). Für die Sorten der mittelfrühen und der mittelspäten Reifegruppe ist mit folgenden Ernteerträgen an Körnermaisstroh zu rechnen (nach HEPTING und ZSCHEISCHLER, 64):

Normallagen:

Mittelfrühe Sorten: 223,0 dt/ha
(Ø aus 5 Sorten und 12 Standorten)

Mittelspäte Sorten: 257,7 dt/ha
(Ø aus 12 Sorten und 12 Standorten)

Grenzlagen:

Mittelfrühe Sorten: 231,1 dt/ha
(Ø aus 8 Sorten und 6 Standorten)

Pflanzenzahlen je ha: mittelfrühe Sorten 9,0 Pfl./m^2
Mittelspäte Sorten 8,5 Pfl./m^2

Das grobstengelige, mit hoher Feuchte von Ø 55 - 70 % H_2O anfallende Maisstroh (30) besitzt eine geringe Aufsaugfähigkeit und ist deshalb als Einstreu ungeeignet. Eine industrielle Verwertung erscheint möglich, erste Ansätze für eine Verwertung bei der Herstellung von Isolierplatten o.ä. sind vorhanden.

Dagegen weist RINTELEN (101) nach, daß Maisstroh einen erheblichen "innerbetrieblichen Wert" besitzt und sich aus betriebswirtschaftlichen sowie pflanzenbaulichen Gründen für die Aufrechterhaltung der Humusbilanz durch eine unmittelbare Verrottung im Ackerboden anbietet:

- Die durch Maisstroh angelieferten Mineralstoffmengen betragen im Vergleich zu Weizenstroh und bezogen auf die tatsächlich anfallenden Strohmengen etwa das 3 bis 4-fache.
- Hinsichtlich der Anlieferung von Trockensubstanz aus dem Pflanzenmaterial und der Mineralstoffmenge entspricht eine durchschnittliche Maisstrohernte etwa 250 dt Stallmist.

Das C/N-Verhältnis beträgt nach AMBERGER/FISCHBECK (4)

bei Blättern	ca.	38 : 1
Stengeln	ca.	76 : 1
Spindeln	ca.	100 : 1
Weizenstroh		107 : 1.

Aufgrund des im Vergleich zu Weizenstroh wesentlich günstigeren C/N-Verhältnisses ist, gegebenenfalls unter Verabreichen einer N-Zusatzdüngung in Höhe von 30 - 45 kg/ha, eine rasche und vollständige Verrottung im Boden zu erwarten. WAGNER et al (125) konnte in Modellversuchen nachweisen, daß die Humusbildung bei der Verrottung der verschiedenen Maispflanzenteile sehr unterschiedlich verläuft: am raschesten bei den Blättern, sehr langsam bei den Spindeln.

1.2 Strohbergung für Futterzwecke

Während in den mitteleuropäischen Körnermais-Anbaugebieten die Ernte und Verfütterung von Maisstroh keinerlei Bedeutung hat, sind in den USA und im östlichen Ausland Verfahren zur Maisstrohbergung und -konservierung entwickelt worden (KROMER, 79).
Die Überlegungen gehen davon aus, daß die bei der Maisernte auf dem Feld verbleibenden Nährstoffmengen mit 20 - 40 % beziffert werden (ALBERT, 1; ALBERT und STEPHENS, 2; ZIMMERMANN, 134).
Eine Verwertung dieser Nährstoffe erscheint daher diskutabel. Die hierfür angebotenen Mechanisierungslösungen lassen sich hinsichtlich des Ernteproduktes unterscheiden in Maschinen für die Ernte von

Stalklage (Stengelsilage)
Bestandteile: Stengel, Lieschen, Spindeln, Verlustkörner

Husklage (Spindelsilage)
Bestandteile: Spindeln, Lieschen, Verlustkörner.

- Durch das Beimengen von Melasse, Sojabohnenschrot, Harnstoff etc. erreicht man eine sichere Vergärung, Abstimmung der Nährstoffkonzentration und Erhöhung des Rohproteingehaltes.

- Die Ernte erfolgt schwerpunktmäßig mit speziellausgerüsteten Pflückdreschern, mit Exaktfeldhäckslern oder der Ballenpresse mit Schlegelhäcksler-Aufnehmer in folgenden Arbeitsverfahren.

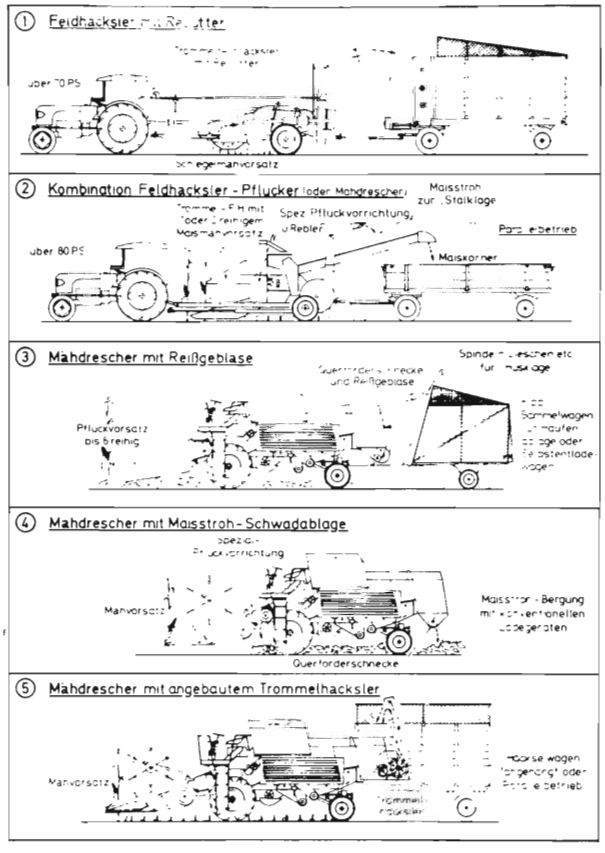


Abb. 80: Mechanisierung der Ernte von Körnermaisstroh in USA (nach KROMER, 79)

Von den genannten Verfahren hat in den USA der Pflückdrescher mit Anbau-Trommelfeldhäcksler die größte Verbreitung gefunden.

Erste Versuche zur Herstellung, Silierung und Verfütterung von Maisstrohballen nach Verfahren 6 in der BRD ließen erkennen, daß

sorgfältig erzeugte Maisstrohsilage im Futterwert ein dem Wiesenheu mittlerer Qualität vergleichbares Erhaltungsfutter für Rinder darstellt (79).

1.3 Konventionelle Verfahren der Zerkleinerung und Einarbeitung von Maisstroh

Die hohe Feuchte und die vorhandenen Inhaltsstoffe lassen zwar eine rasche Verrottung des Körnermaisstrohes im Boden erwarten, seine sperrige Beschaffenheit, die Gesamt-Strohmenge und die infolge des späten Erntezeitpunktes gehemmte Mikroorganismentätigkeit im Boden verhindern jedoch ein rasches Ingangkommen der Umsetzungsvorgänge. Deshalb ist, außer auf sehr günstigen Standorten (leichte, sehr "tätige" Böden, günstiges Klima) eine technische Aufbereitung des Maisstrohes in der Regel unerläßlich. Außerdem sollen durch die Zerkleinerung Störzeiten bei der Saatbettvorbereitung für eine nachfolgende Wintergetreidebestellung vermieden werden.

In Abhängigkeit vom jeweiligen Ernteverfahren bestehen verschiedene technische Lösungen zur Zerkleinerung und Einarbeitung des Maisstrohes in den Boden.

1.3.1 Anbau-Strohhäcksler am Mähdrescher

Das heute kaum mehr angewandte Mähdrusch-Verfahren ist hinsichtlich der Komprimierung der für Ernte und Strohzerkleinerung benötigten Arbeitsgänge zweifellos am günstigsten zu beurteilen. Da das gesamte Maisstroh den Mähdrescher durchwandert, wird bei Verwenden von Anbau-Strohhäckslern der Drusch- die Strohzer-

kleinerung und -breitverteilung in einem Arbeitsgang durchgeführt.

Der technische Aufbau und die Funktion dieser Anbauhäcksler unterscheidet sich bei den verschiedenen Fabrikaten nur geringfügig (36). Das vom Schüttler kommende Stroh wird von einem mit hoher Drehzahl umlaufenden Rotor erfaßt, von Schneidmessern (z.T. unter Verwendung von Gegenschneiden) zerkleinert und von fächerartig angeordneten Leitblechen über die gesamte Mähdrescher-Arbeitsbreite verteilt (140). Die benötigte Antriebsleistung ist abhängig vom Strohdurchsatz, in der Regel jedoch hoch (je Reihe ca. 10 PS und darüber), wodurch die Mähdrescher-Druschleistung bei begrenzter Motorleistung empfindlich reduziert werden kann (141).

Auch bei Mähdreschern mit Maispflückvorsatz werden vielfach derartige Anbau-Strohhäcksler verwendet, da bei diesem Verfahren infolge des aggresiven Pflückprinzips bis ca. 30 % der gesamten Stengelmasse in den Mähdrescher gelangen. Durch die Verwendung eines Anbau-Häckslers kann zumindest dieser Teil des anfallenden Maisstrohes bereits beim Druschvorgang zerkleinert und breit verteilt werden. Die Reststrohmenge bleibt niedergestaucht auf dem Feld stehen und wird in weiteren Arbeitsgängen aufbereitet.

Der Ablauf der folgenden Arbeitsgänge nach Beendigung des Drusches mit dem Pflückdrescher (Mähdrescher mit Pflückvorsatz) oder mit Spezial-Maisdreschern (Pflückreblern) läßt sich wie folgt systematisch einordnen:

Verfahren	Zerkleinerung	Einarbeitung
1. Unterpflügen ohne Zerkleinerung	-	Pflug mit Vorwerkzeugen
2. Geteiltes Verfahren	Schlegel - FH Spezial-Strohschläger Mulchgerät	Pflug mit Vorwerkzeugen
3. Kombiniertes Verfahren	Strohschläger mit Pflug kombiniert	
4. Einmischen	Schlegel - FH Spezial-Strohschläger Mulchgerät x)	Bodenfräse (später Pflug)
5. Frässaat (Minimal-Bestellung)		Frässaatmaschine

x) kann u.U. bei hoher Fräsmesser-Umfangsgeschwindigkeit entfallen.

1.3.2 Spezial-Maisstrohschläger

1.3.2.1 Bauarten

Für das Zerschlagen des Strohes in einem gesonderten Arbeitsgang haben sich neben abgewandelten Schlegel-Feldhäckslern (mit Breitverteileinrichtung) vor allem Spezial-Strohschläger für den Anbau in der Schlepper-Heckhydraulik eingeführt. Sie arbeiten entweder nach dem Schlegel- oder dem Horizontalschnitt-Prinzip. Die Schlegel-Spezialstrohschläger besitzen pendelnd aufgehängte Spezialmesser oder -schläger aus hochvergütetem Material, die z.T. in Verbindung mit Gegenschneiden ein einwandfreies Zerschlagen der Maisstengel bewirken (Abb. 81). Je nach Fabrikat werden je Meter Arbeitsbreite 15 - 34 Messer auf dem Rotor angebracht. Nachgeschaltete, angetriebene Breitverteiler oder verstellbare Leitbleche verteilen das

Stroh breitwürfig auf das Feld.

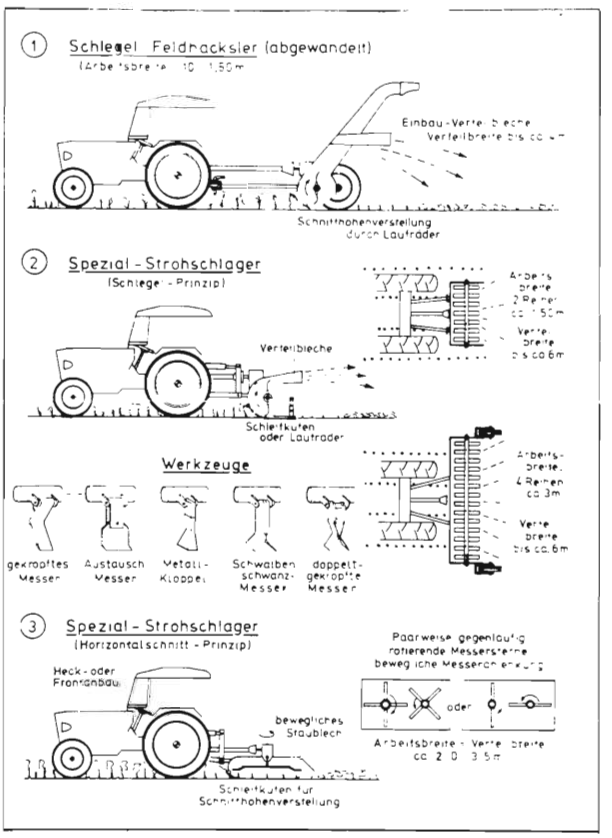


Abb. 81: Bauarten von Maisstroh-Zerkleinerungsgeräten

Die nach dem Horizontalschnitt-Prinzip arbeitenden Mulchgeräte besitzen paarweise zwei- oder vierfach angeordnete Messerkreuze, die in einem seitlich geschlossenen, höhenverstellbaren Gehäuse rotieren. Die Auslauföffnung an der Gehäuse-Rückwand ist z.T. verstellbar, dadurch läßt sich der Strohauslauf und somit der Zerkleinerungsgrad steuern.

1.3.2.2 Leistungsbedarf

Für die Ermittlung des Leistungsbedarfes bei unterschiedlicher Arbeitsgeschwindigkeit wurden mehrere der auf den Markt befindlichen Schneidsysteme mit unterschiedlicher Arbeitsbreite heran-

gezogen:

Gerät I: Horizontalschnittprinzip, 2 Messerflügel, 2,10 m Arbeitsbreite, US-Entwicklung.

Gerät II: Vertikal rotierende Messerwelle, gelenkig und paarweise angebrachte Messer mit nach außen gewickelter Schneide (T-Form), 1,50 m Arbeitsbreite, holländische Entwicklung.

System III: Vertikal rotierende Messerwelle, Mulchschlegel mit geraden Messern, 1,80 m Arbeitsbreite, deutsche Entwicklung.

Gerät IV: Vertikal rotierende Messerwelle, schwere, leicht gewinkelte Schlegelmesser, 2,10 m Arbeitsbreite, dänische Entwicklung.

Gerät V: Vertikal rotierende Messerwelle, Mulchschlegel, 2,25 m Arbeitsbreite, deutsche Entwicklung.

Für die Messung der Drehleistungsbedarfes wurde eine auf die Schlepper-Zapfwelle aufgesteckte Drehmoment-Meßnabe benutzt. Ein Vergleich der Schneidsysteme zeigt, daß der geringste Leistungsbedarf je m Arbeitsbreite bei System II mit paarweise angeordneten, gewinkelten Messern entsteht. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Maisstengel im freien Schnitt von den exakt schneidenden, hochvergüteten Messern zerkleinert und im freien Wurf nach hinten abgelegt werden. Eine Gegenschneide ist hier nicht vorhanden.

Im Gegensatz dazu sind die nach dem reinen Schlegelprinzip arbeitenden und mit dementsprechenden Messern ausgestatteten Systeme (System III und IV) mit Gegenschneiden ausgestattet. Hierdurch sowie durch den höheren Leerlauf-Leistungsbedarf steigt der Gesamtleistungsbedarf dieser Geräte auf etwa den doppelten Wert wie bei Gerät II.

Gerätesystem		Arbeitsgeschwindigkeit		mittl. Drehmoment	mittl. Drehzahl	mittl. Leistung	
		m/s	km/h	Nm	(1/s)	kW	kW/m AB[1]
System I: (2,10 m)	Horizontalschnitt-Prinzip US-Entwicklung	1,2	4,3	286,39	9,75	17,54	8,53
		1,55	5,55	394,40	9,73	24,12	11,49
		1,9	7,0	461,90	8,65	25,09	11,94
System II: (1,50 m)	vertikal rotierende Messerwelle, gekröpfte Messer, holländische Entwicklung	1,6	5,7	161,82	9,94	10,11	6,74
		2,0	7,3	200,25	9,48	11,85	7,90
		2,9	10,5	150,41	9,91	9,86	6,57
System III: (1,80 m)	vertikal rotierende Messerwelle, gerade Messer am Mulchschlegel, deutsche Entwicklung	1,45	5,2	334,96	9,35	19,64	10,91
		2,2	7,87	545,33	9,49	28,48	15,82
		2,45	8,8	414,48	8,94	23,25	12,91
System IV: (2,10 m)	vertikal rotierende Messerwelle, Mulchschlegel, dänische Entwicklung	1,4	5,1	404,55	9,22	23,43	11,15
		2,15	7,75	597,06	9,45	35,43	16,87
		2,4	8,6	449,60	8,72	24,64	11,73
System V: (2,25 m)	vertikal rotierende Messerwelle, Mulchschlegel, deutsche Entwicklung	1,6	5,65	262,22	9,77	15,94	7,08
		2,1	7,6	322,70	8,96	18,16	8,07
		2,5	9,0	308,20	9,12	17,65	7,84

[1] AB = Arbeitsbreite

Tabelle 21: Leistungsbedarf von Spezial-Maisstrohschlägern

Eine Mittelstellung nimmt Gerät I mit dem Horizontalschnitt-Prinzip ein. Hier ist ein seitlich geschlossenes Gehäuse vorhanden, welches im rückwärtigen Teil mit einer gelenkig angebrachten Klappe versehen ist. Diese reguliert den Strohauslauf aus dem Schlägergehäuse. Das Stroh bleibt länger im Bereich der Messer und wird stark zerschlagen und zerrissen. Diese intensive Zerkleinerung verursacht einen entsprechend höheren Leistungsbedarf.

Bei allen Geräten mit vertikal rotierender Messerwelle liegt der höchste Leistungsbedarf bei einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 7,3 bis 7,8 km/h vor. Dies läßt darauf schließen, daß in diesem Vorfahrtbereich ein für die Strohzerkleinerung besonders günstiges

Verhältnis von Arbeitsgeschwindigkeit und Strohdurchsatz besteht und hier der höchste Zerkleinerungseffekt erzielt wird. Bei niedriger Fahrgeschwindigkeit ist die Schneidkastenfüllung zu gering, während bei einer höheren Vorfahrt das Stroh zu rasch durch den Schneidkasten wandert und nicht ausreichend zerkleinert werden kann. In beiden Fällen äußert sich dies in einem geringeren Leistungsbedarf, aber auch rückläufiger Schnittqualität.

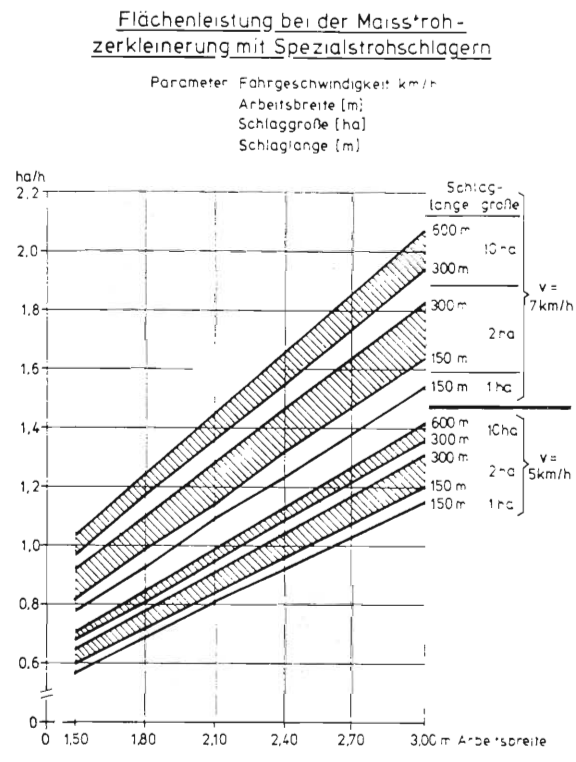
1.3.2.3 Flächenleistung

Bei praktischen Einsatzversuchen mit unerschiedlichen Bauarten von Spezial-Maisstrohschlägern wurden umfangreiche arbeitswirtschaftliche Messungen durchgeführt. Aufgrund der ermittelten Arbeitszeit-Elemente wurde mit Hilfe des bereits geschilderten Simulationsmodells die Flächenleistung in Abhängigkeit von den Parametern Fahrgeschwindigkeit, Arbeitsbreite, Schlaggröße und Schlaglänge errechnet und in Abb. 82 graphisch dargestellt.

Unterstellt man, daß im Hinblick auf eine ordnungsgemäße, exakte Zerkleinerung und Verteilung des Maisstrohes die Arbeitsgeschwindigkeit nur wie angegeben in einem Bereich von 5,0 - 7,0 km/h variiert werden kann, dann ist folgender Einfluß steigender Fahrgeschwindigkeiten zu erkennen. Bei einer Arbeitsbreite von 1,5 m erhöht sich die Flächenleistung auf dem 1 ha-Schlag beim Übergang von 5,0 auf 7,0 km/h um 26 %. Auf dem 10 ha-Schlag beträgt die Steigerungsrate 44 %. Im Vergleich dazu wird bei 3,0 m Arbeitsbreite auf dem 1 ha-Schlag eine Steigerung von 34 %, auf dem 10 ha-Schlag eine solche von 46,8 % erreicht.

Im Gegensatz dazu übt die Schlaggröße und -länge einen geringeren Einfluß aus. Der größte Effekt wird bei 7 km/h und 3 m Arbeits-

breite erzielt. Hier beträgt die Steigerung der Flächenleistung bei einem Erhöhen der Schlaggröße von 1 ha auf 10 ha 34,5 %. Bei 5 km/h und 1,5 m Arbeitsbreite erhöht sich die Flächenleistung nur um 9 %.



Den weitaus höchsten Effekt bewirkt die Arbeitsbreite der Geräte. Bereits bei einer Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h, 1 ha Schlaggröße und Erhöhung der Arbeitsbreite von 1,5 auf 3,0 m steigert sich die Flächenleistung um 77 %, bei 7 km/h, 10 ha Schlaggröße und 3 m Arbeitsbreite um 99 %.

1.3.2.4 Arbeitszeitbedarf

Im Arbeitszeitbedarf sind die geschilderten Tendenzen mit umgekehrten Vorzeichen wiederzufinden.

Auch hier lassen sich durch eine Steigerung der Arbeitsbreite die günstigsten Werte erreichen (Abb. 83).

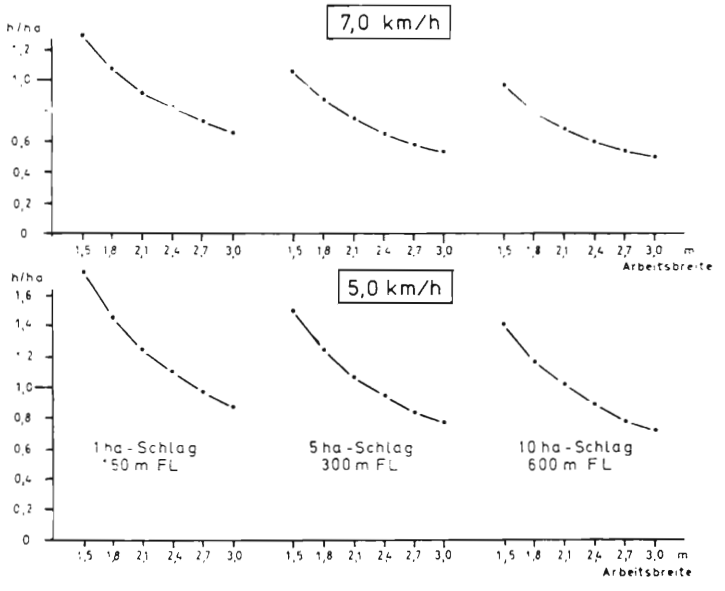


Abb. 83: Arbeitszeitbedarf bei der Strohzerkleinerung mit Spezial-Maisstrohschlägern

Bei gleicher Schlaggröße und Arbeitsgeschwindigkeit bewirkt das Erhöhen der Arbeitsbreite von 1,5 m (100 %) auf 3,0 m eine Verringerung des Arbeitszeitbedarfes auf 49,5 - 50,0 % des Ausgangswertes.

Vergleichsweise dazu reduzieren sich die Werte für die Einflußfaktoren "Arbeitsgeschwindigkeit" im günstigsten Fall auf 68,5 %, bei der "Schlaggröße und -länge" auf 74,9 %.

Unter Berücksichtigung der Einflüsse aller Varianten kommt daher zum Ausdruck, daß bei den derzeit im Hinblick auf eine exakte Strohzerkleinerung möglichen Arbeitsgeschwindigkeiten ein Steigern der Arbeitsbreite (Reihenzahl) von 1,5 m auf 3,0 m (von 2 auf 4 Reihen) einen wesentlich besseren Effekt hinsichtlich der Verringerung des Arbeitszeitbedarfes bewirkt, als das Steigern der Arbeitsgeschwindigkeit von 5 auf 7 km/h bzw. das Erhöhen der Teilstückgröße von 1 ha auf 10 ha.

1.3.3 Geräte zur Einarbeitung

Die für das Einarbeiten von zerkleinertem oder auch ungehäckseltem Maisstroh geeigneten Streichblechpflüge besitzen ausreichend große Körper-Längsabstände (bis 105 cm) und Rahmenhöhen (bis 90 cm). Dadurch sollen Verstopfungen und damit Verlustzeiten vermieden werden. Die Pflüge werden darüberhinaus mit geeigneten Vorwerkzeugen zum einwandfreien Einlegen des Strohes in die Pflugfurche ausgerüstet. Ein schichtenförmiges Ablegen des Strohes auf die Furchensohle bzw. am Furchenanschluß läßt sich aufgrund des Arbeitsprinzips von Streichblechpflügen nicht vermeiden.

Die bevorzugt benutzten Bauformen von Vorwerkzeugen sind:

- Einlege-Streichschienen aus Metall oder Kunststoff
- Federzinken-Einleger
- rotierende Einlege-Hohlscheiben.

In der BRD werden aufgrund der begrenzten Mengen an Maisstroh die beiden erstgenannten Bauformen überwiegend verwendet. Sie gewährleisten eine saubere Stroheinarbeitung als Voraussetzung für die ungestörte Funktion der nachfolgenden Oberflächenbearbeitungsgeräte. Bei extrem hohen Strohmengen, wie sie in Anbauländern mit bevor-

zugter Verwendung von Maissorten mit hohen FAO-Zahlen vorliegen, haben sich dagegen die Einlege-Hohlscheiben am besten bewährt (ANTONCIC, 5; MARENDIC, 83). Das direkte Einpflügen bleibt aus Gründen des langsameren Rotteverlaufes bei unzerkleinertem Stroh auf günstige Standorte beschränkt.

Durch die Anordnung eines zapfwellenbetriebenen Schlegelgerätes am Streichblechpflug wird die Kombination dieser beiden Arbeitsgänge erreicht. Die Arbeitsbreite des Schlegelhäckslers ist auf die Gesamt-Schnittbreite des Pfluges abgestimmt. Dem Vorteil der Kombination von zwei, ursprünglich nacheinander ablaufenden Arbeitsgängen steht der Nachteil eines relativ hohen Bedarfes an Schlepper-Motorleistung gegenüber. Ergebnisse von Einsatzbeobachtungen zeigen, daß ca. 80 - 100 PS für die Dreischarpflug-Kombination erforderlich sind (ESTLER, 37).

Soll nach der Maisernte eine Winterweizenbestellung erfolgen, wird wegen des späten Erntetermins und der begrenzten Arbeitszeitspanne für die Folgearbeiten nach der Maisernte eine weitgehende Komprimierung aller erforderlichen Arbeitsgänge angestrebt. Hier bietet die "Frässaat" als typisches Minimal-Bestellverfahren günstige Ansatzpunkte. Ohne vorhergehende Pflugfurche wird in einem Arbeitsgang das Stroh zerkleinert, in den Boden eingemischt, das Saatgut in Band- oder Breitsaat abgelegt und der Boden von einer nachgeschalteten Packerwalze verdichtet. Um auch bei Vorhandensein hoher Strohmengen ein günstiges Mischungsverhältnis Stroh:Boden einhalten zu können, wird die Saatgutablage in Bandsaat in den hinter der Fräswelle abfließenden Erdstrom bevorzugt. Der Leistungsbedarf ist im wesentlichen abhängig von Vorfahrt, Messerumfangsgeschwindigkeit, Messerzahl, Bodenart, Bodenzustand, Arbeitstiefe und Arbeitsbreite. Nach vorliegenden Untersuchungen

(ESTLER, 38) liegt der mittlere Leistungsbedarf je Meter Arbeitsbreite bei normalen Einsatzbedingungen im Bereich von 35 - 45 PS.

Die Einsatzbeobachtungen bei der Einarbeitung von Maisstroh lassen eindeutig erkennen, daß eine ordnungsgemäße Zerkleinerung der Stengelmassen mit eine der wesentlichen Voraussetzungen darstellt für

- einwandfreies Unterbringen im Boden
- günstige Vermischung zwischen Stroh und Boden
- störungsfreie Funktion der Folgegeräte
- rasche und sichere Verrottung des Pflanzenmaterials.

1.3.4 Fragebogenerhebung "Strohzerkleinerung und -einarbeitung"

Die Fragebogenerhebung zur Entwicklung der Mechanisierung im Körnermaisbau (94, Seite 68) erfaßte unter anderem den derzeitigen Stand der Maschinenverwendung bei den verschiedenen Verfahren für die Zerkleinerung und Einarbeitung des Maisstrohes. Da auf dem Fragebogen mehrere Möglichkeiten aufgeführt und auch in vielen Fällen angekreuzt wurden, ergab sich bei Addition der Prozentanteile eine Summe über 100 %. Nach Bereinigung der Zahlenwerte ergibt sich folgender derzeitige Stand der Maschinenverwendungen bei der Strohzerkleinerung und -einarbeitung.

Verfahren	Anzahl Werte	in von Hundert
1. Strohzerkleinerung		
Mähdrescher-Anbauhäcksler	11	10,9
Schlegel-FH/Spezial-Strohschläger/Mulchgerät	64	63,3
Unterbau-Strohschläger	26	25,8
	101	100,0
2. Stroheinarbeitung		
Pflug mit Vorwerkzeugen	37	45,2
Bodenfräse, nachfolg.Pflug	21	25,6
Frässaat	24	29,2
	82	100,0

Tabelle 22: Fragebogenerhebung "Strohzerkleinerung und -einarbeitung (REUSS, 94)

Die Auswertung läßt erkennen, daß das "klassische Verfahren" mit Zerkleinerung und Einpflügen des Maisstrohes in zwei getrennten, nacheinander ablaufenden Arbeitsgängen nach wie vor eindeutig bevorzugt wird. Daneben überrascht jedoch die ausgedehnte Verwendung des Frässaatverfahrens für die Minimalbestellung von Wintergetreide nach der Körnermaisernte.

2. Unterbau-Maisstrohschläger am Mähdrescher-Pflückvorsatz

Im Hinblick auf das einwandfreie Unterbringen des Maisstrohes im Boden ist demnach eine ausreichende Zerkleinerung als vorteilhaft für alle folgenden Arbeitsgänge anzusehen.

Die technische Aufbereitung des Maisstrohes erfolgt aus betriebstechnischer Sicht gesehen am günstigsten im "Mähdrusch"-Verfahren. Hier wird in einem einzigen Arbeitsgang der Mais gedroschen, sämtliches Stroh vom angebauten Strohhäcksler zerkleinert und als "Strohteppich" auf das Feld abgelegt.

Dieser Vorteil des einphasigen Ernteverfahrens war bislang bei Verwendung von Maispflückvorsätzen nicht gegeben. Hier war ein zusätzlicher Arbeitsgang für die Strohzerkleinerung mittels Schlegel-Feldhäcksler, Spezial-Strohschneider o.ä. erforderlich. Als Folge davon tritt bei diesem zweiphasigen Verfahren ein gegenüber dem einphasigen Verfahren erheblich höherer Aufwand an Arbeitszeitbedarf, Maschinen - und Schlepperkosten sowie zusätzliche Probleme in der Arbeitsorganisation auf.

Es bestand daher begründeter Anlaß, eine Begradigung der Maiserntekette im "Pflückdrusch"-Verfahren herbeizuführen. Die Überlegungen mündeten in der Entwicklung und Erprobung eines Strohschlägers, der unter dem Maispflückvorsatz angeordnet ist und das vom Pflückaggregat niedergebrochene Maisstroh zerkleinert.

2.1 Entwicklung eines Unterbau-Strohschlägers nach dem Horizontalschnitt-Prinzip

2.1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Konstruktiv und funktionell wurden dabei folgende wesentlichen Ziele verfolgt:

1. Einwandfreies Zerkleinern des Maisstrohes vor den Mähdreschertriebrädern. Niedergewalztes und teilweise in den Boden ge-

drücktes Maisstroh läßt sich nur mit Schwierigkeiten und unvollständig aufnehmen und zerkleinern.

2. Volle Integration des Unterbau-Strohschlägers in den technischen Gesamtbereich "Pflückvorsatz".

3. Keine Beeinträchtigung der Funktion des Pflückvorsatzes.

4. Ungehinderter Strohabfluß im Pflücker-Bereich, dadurch Verhinderung von Verstopfungen.

5. Überwiegende Schnittlängen im Bereich bis maximal 15 cm, möglichst geringe Überlängenanteile.

6. Möglichkeit zur Steuerung der Schnittlängen.

7. Begrenzung der Schnittbreite auf den Bereich, in welchem das niedergebrochene Maisstroh streifenförmig anfällt.

8. Einwandfreie Funktion bei wechselnden und insbesondere bei hohem Strohdurchsatz.

9. Anpassung an unterschiedliche Bodenniveau-Verhältnisse und an die Arbeitshöhe des Pflückvorsatzes über dem Boden durch gelenkige Anordnung am Pflückerrahmen und einstellbare Schnitthöhe.

10. Ausreichende Strohverteilung quer zur Fahrtrichtung.

11. An- und Abbau beziehungsweise Zu- und Abschaltung leicht und einfach zu betätigen.

12. Tragbarer Leistungsbedarf.

Darüberhinaus sollte die Möglichkeit zum Verwenden dieses Strohschlägers auch an anderen Körnermais-Erntemaschinen berücksichtigt werden.

Unter Berücksichtigung dieser Zielsetzung wurden verschiedene Lösungen von Unterbau-Strohschlägern für Maispflückvorsätze ent-

wickelt, in Prüfstand- und praktischen Einversuchen erprobt sowie eine der technischen Varianten zur Praxisreife entwickelt.

2.1.2 Vorversuch mit Schneidwalzen unter den Reißwalzen

Bei den derzeit bevorzugten Bauarten von Maispflückvorsätzen sind die mit hoher Umlaufgeschwindigkeit rotierenden Reißwalzen unter den Pflückschienen angeordnet.

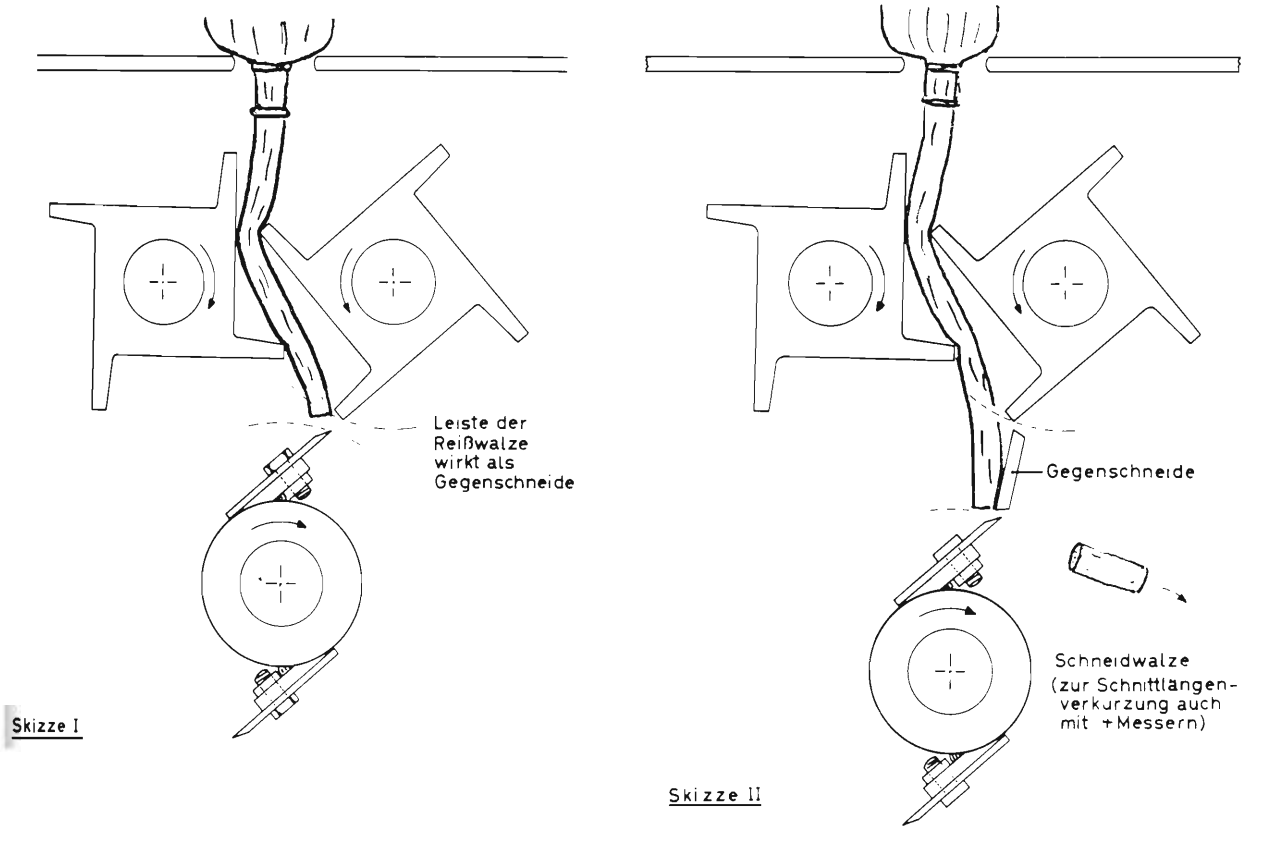


Abb. 84: Anordnung der Schneidwalzen unter den Reißwalzen (links ohne Gegenschneide, rechts mit Gegenschneide)

Das Konstruktionsprinzip sah vor, aufgrund der bei diesem Pflückprinzip vorliegenden Bewegung der Maisstengel in der Phase nach dem

Verlassen der Reißwalzen unter dem Pflückaggregat in Längsrichtung der Reißwalzen eine rotierende Schneidwalze anzuordnen (Abb. 84). Die Umfangsgeschwindigkeiten der Reißwalzen und der Schneidwalze wurden im Verhältnis von ca. 1 : 2 konstruktiv eingestellt. Dadurch war es möglich, bei Lösung I infolge der im Vergleich zur Schneidwalze erheblich geringeren Umlaufgeschwindigkeit der Reißwalzen die Pflückleisten dieser Reißwalzen als Gegenschneide zu benutzen (Abb. 84, links). Bei der Alternativ-Lösung II war zwischen den Umlaufbahnen der Reiß- und Schneidwalzen eine gesonderte Gegenschneide fest angebracht. Damit sollte, ähnlich wie beim Schnittprinzip von Feldhäckslern, ein exakter Schnitt gewährleistet werden.

Als Schneidwerkzeuge wurden neuentwickelte Schneidwalzen mit gerader bzw. gewendelter Messeranordnung verwendet (Abb. 85), wobei besonderer Wert auf einfachen Aufbau und die Verwendung üblicher Bauteile gelegt wurde.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten, vielseitigen Zielsetzung für Maisstroh-Unterbauschläger konnten beide Lösungen bereits bei den Prüfstandsversuchen nicht voll befriedigen. Insbesondere der bei dem gewendelten Messer konstruktiv vorhandene "ziehende" Schnitt brachte nicht die erwarteten Vorteile in der Schnittqualität. Insgesamt standen den Vorteilen eines geringen Bauaufwandes und Raumbedarfes, einem Einhalten der gewünschten Schnittlängen bei normalem Strohdurchsatz und einer ausreichenden Querverteilung des Strohes einige schwerwiegende Nachteile gegenüber: kein ungehinderter Strohabfluß unter den Reißwalzen, Beeinträchtigung der Pflückerfunktion, Gefahr von Verstopfungen, mangelnde Schnittqualität bei steigendem Strohdurchsatz.

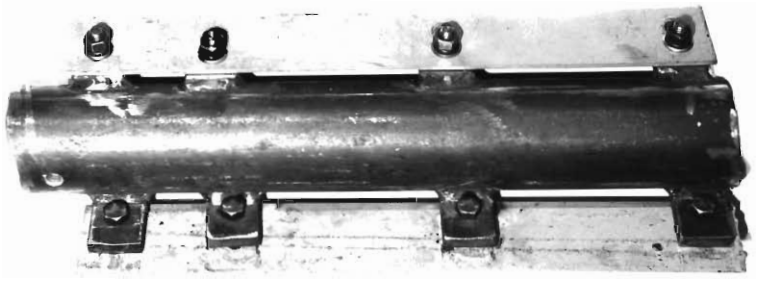


Abb. 85: Bauformen von Schneidwalzen (oben: gerade Messer; unten: gewendelte Messeranordnung)

2.1.3 Parallelogrammgeführter Horizontalschneider

In Anbetracht der nicht voll befriedigenden Versuchsergebnisse mit Schneidwalzen unter den Reißwalzen wurde anschließend mit Unterstützung durch Herrn Ing. G. Rödel, Bayer. Landesanstalt für Landtechnik, Weihenstephan, ein neues Konstruktionsprinzip verfolgt. Dieses sieht vor, daß Unterbau-Strohschläger nach dem Horizontalschnitt-Prinzip unter dem Pflückvorsatz des Mähdreschers (oder anderer Körnermais-Erntemaschinen) höhenbeweglich angebracht werden. Die Anordnung ist in Abbildung 86 schematisch dargestellt.

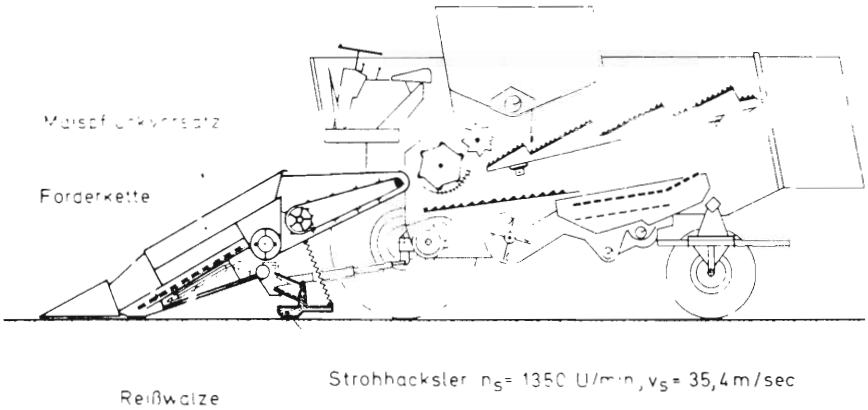


Abb. 86: Anordnung des Unterbau-Strohschlägers am Mähdrescher-Pflückvorsatz

2.1.3.1 Konstruktiver Aufbau

Dieser Horizontalschnitt-Strohschneider ist über eine Parallelogrammführung mit dem Haupttragrohr des Pflückvorsatzes gelenkig verbunden und wird über den Pflückvorsatz-Hauptantrieb betrieben. Der grundlegende konstruktive Aufbau des Strohschlägers ist aus Abb. 87 zu entnehmen

Als besondere konstruktive Merkmale und Vorzüge dieser Neuentwicklung können gelten:

1. Die Strohzerkleinerung erfolgt vor den Mähdrescher-Laufrädern. Ein Niederwalzen noch nicht zerkleinerten Strohes wird durch diese Anordnung vermieden.

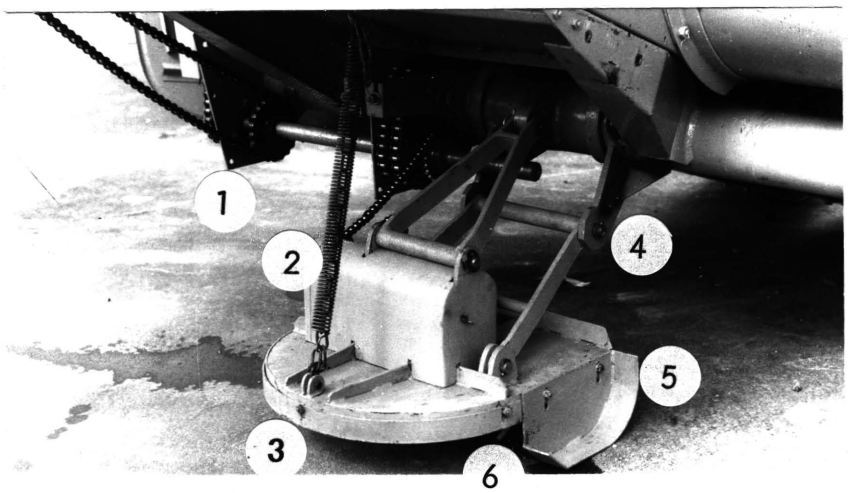
2. Handliche Einzelaggregate für jede Reihe, die wahlweise an ein- oder mehrreihigen Pflückvorsatzen angeordnet werden können.

3. Die Führung der vier horizontal rotierenden Schlägermesser je Aggregat in zwei übereinanderliegenden Ebenen bewirkt ein exaktes Zerkleinern der Maisstengel.

4. Der Zerkleinerungsgrad läßt sich durch Verstellen eines Auslauf-Begrenzungsringes an der Rückwand des Strohschlägergehäuses und durch Ändern der Fahrgeschwindigkeit des Mähdreschers einfach und sicher festlegen.

5. Der Kettenantrieb erlaubt das Ändern der Übersetzung von 1 : 1 (normale Verhältnisse) auf 1 : 2 (hoher Strohanfall, kürzere Schnittlängen).

6. Eine Parallelogrammführung des Strohschlägers gewährleistet in Verbindung mit höhenverstellbaren Schleifkufen das Abschlagen der Stengel in einer vorwählbaren Höhe über dem Boden.



1 Antrieb
2 Entlastungsfeder
3 Schnittbreite 60 cm
4 Parallelogramm-Führung
5 höhenverstellbare Schleifkufen
6 Schneidmesser in 2 Ebenen angeordnet

Abb. 87: Aufbau des Horizontalschnitt-Strohschneiders und Anlenkung unter dem Pflückvorsatz

2.1.3.2 Ergebnisse der Prüfstandsversuche (Schnittqualität und Leistungsbedarf)

Die Untersuchungen an dem Unterbau-Strohschläger wurden in Verbindung mit einem zweireihigen Mais-Pflückvorsatz nach dem Pflück-

schienen-Reißwalzen-Prinzip durchgeführt.

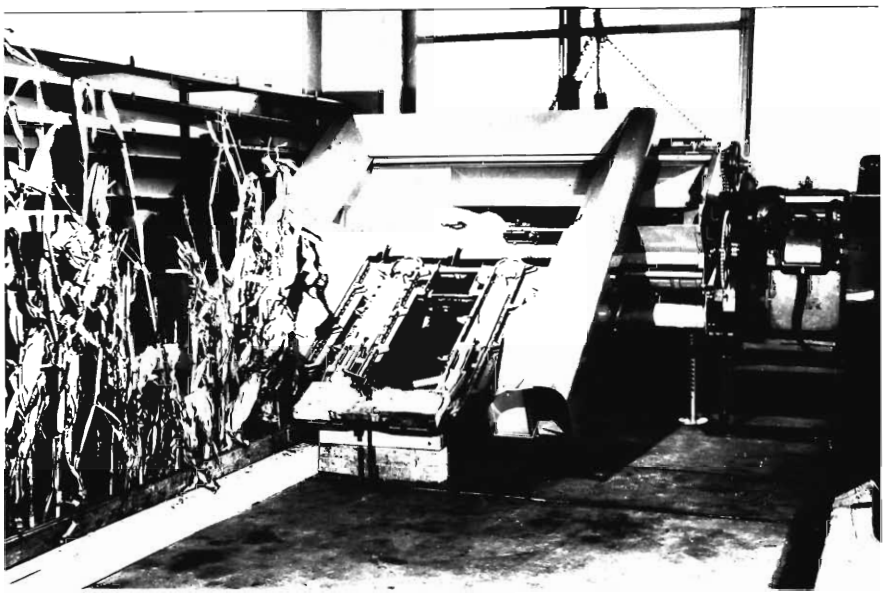


Abb. 88: Prüfstands-Aufbau für Messungen am Horizontalschneider

Bei den Prüfstandsversuchen war nur ein Pflückaggregat mit einem Unterbau-Strohschläger bestückt. Das Stengelmaterial wurde in einer Halterung mit simulierter Vorfahrt-Geschwindigkeit dem staionär aufgebautem Pflück- und Schneidaggregat zugeführt. Abb. 88 zeigt den Versuchsaufbau mit Getriebemotor, Pflückvorsatz und Strohzuführungs-Einrichtung. Als vorrangig interessierende Kriterien wurden die Schnittqualität und der Leistungsbedarf untersucht.

2.1.3.2 Ergebnisse der Prüfstandsversuche

Untersuchungsergebnisse zur Schnittqualität

Die Versuche erfolgten mit lufttrockenem Maisstroh (85 % TS) und einem unterstellten Ertrag von 80 dt/ha (entsprechend 246 dt/ha bei 40 % TS). Bei den mit jeweils drei Wiederholungen durchgeführten Messungen wurden simulierte Mähdrescher-Fahrgeschwindigkeiten von 4,0 - 6,0 km/h eingehalten.

Versuch Nr.	Stroh-durch-satz dt/h [1]	ent-spricht Vorfahrt km/h	Schnittlängenanteile <10cm %	10-15cm %	15-30cm %	>30cm %	insges. bis 15 cm %
1	25,6	4,0	68,3	13,9	10,7	7,1	82,2
2	28,2	4,5	60,0	20,6	14,4	5,0	80,6
3	32,0	5,0	70,8	7,9	16,2	5,1	78,7
4	38,4	6,0	63,2	9,4	20,6	6,8	72,6

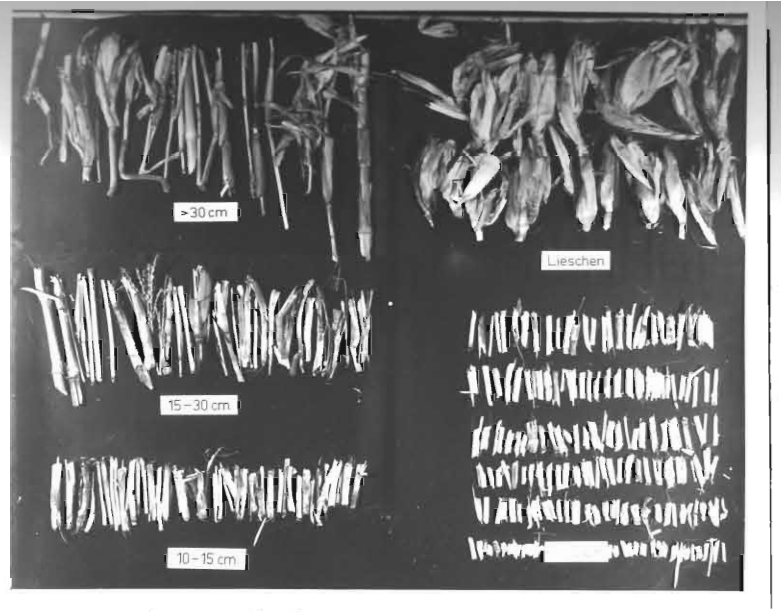
[1] Strohertrag: 80 dt/ha (lufttrocken) entspricht 246 dt/ha bei 40 % TS

Tabelle 23: Prüfstandsversuche zur Schnittqualität (Mittelwert aus je 3 Messungen)

Die Versuchsergebnisse lassen erkennen, daß bei einer simulierten Vorfahrt von 4,0 km/h in den gewünschten Schnittlängenbereich von 0 - 15 cm die höchsten Schnittlängenanteile vorliegen (82,2 %). Jede weitere Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit äußert sich in einem Rückgang der prozentualen Schnittlängenanteile im Bereich von 0 - 15 cm, ist also gleichbedeutend mit einem ungünstigeren Zerkleinerungsgrad. Gleichlaufend damit steigen die prozentualen Anteile an Schnittlängen von 15 - 30 cm erheblich an.

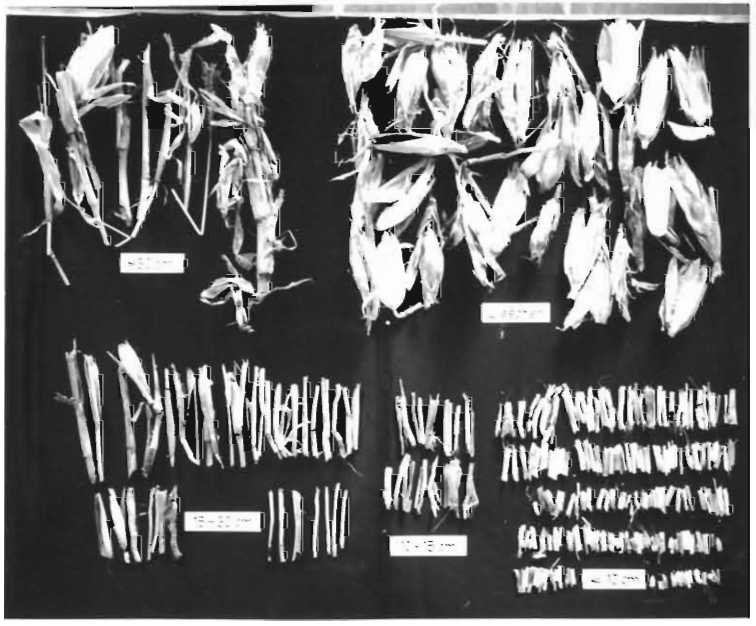
Die Anteile an unzerkleinerten Lieschen wurden in dieser Aufstellung vernachlässigt, da sie sich nicht in das gewählte Schnittlängensystem einordnen ließen. Sie wären generell der Fraktion >30 cm zuzuordnen.

Einen optischen Eindruck von den erreichbaren Schnittlängen bei steigender Fahrgeschwindigkeit, also zunehmendem Strohdurchsatz vermittelt Abb. 89. Hier sind die Einzel-Fraktionen gesondert zusammengestellt.



Versuch 1

Versuch 2



Versuch 3

Versuch 4

Abb. 89: Ergebnisse der Schnittqualitätsuntersuchungen

Leistungsbedarf-Messungen

Aufgrund der Erfahrungen mit dem Prüfstand für die Schnittqualitäts-Messungen wurde für die Ermittlung des Leistungsbedarfes die ursprüngliche Versuchsanordnung in folgenden Bereichen weiterentwickelt:

- Meßstrecke verlängert auf 18 Meter
- Klemmvorrichtung für das Einstellen unterschiedlicher Pflanzenabstände in der Reihe
- Anlenkung des Versuchsgerätes an einem Rohrausleger seitlich hinter einem Ackerschlepper (Schlüter 550 V)
- Direkte Meßwertübertragung von Dehnungsmeßstreifen auf der Strohschneider-Antriebswelle zur stationären Meßeinrichtung. Abb. 90 veranschaulicht die Anordnung der Meßeinrichtung und der Auswertungsgeräte.

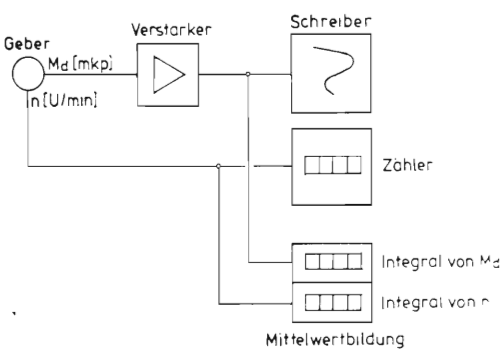


Abb. 90: Anordnung der Meßeinrichtung

Ziel der Prüfstandsversuche war es, den Einfluß von Messerform, Messeranordnung, Spaltweite am Staublech und Strohdurchsatz auf den mittleren Leistungsbedarf und die Spitzenbelastung zu ermitteln, um daraus Folgerungen für die konstruktive Gestaltung und Anordnung des Unterbau-Strohschlägers am Mähdrescher-Pflückvorsatz zu erarbeiten.

Abb. 91: Messeranordnung bei den Leistungsbedarfs-Messungen (links: gelenkige Anbringung; rechts: Anordnung in 2 übereinander liegenden Ebenen)

Um den Einfluß der Messeranordnung auf den Leistungsbedarf zu ermitteln, wurden 3 verschiedene Varianten untersucht: ziehender Schnitt, gelenkige Anordnung, Messer in 2 Ebenen übereinander.

Die Ergebnisse der Leistungsbedarfs-Messungen sind in Tabelle 24 zusammengestellt und lassen erkennen, daß schräg nach hinten angestellte Messer (ziehender Schnitt) den Leistungsbedarf nicht verringern (Versuch 2). Eine gelenkige Anbringung der Messer (Versuch 5 und 6) reduziert zwar den Leistungsbedarf, verursacht jedoch eine schlechtere Schnittqualität. Die Anordnung der Messer in zwei übereinanderliegenden Ebenen (zwei Messer gerade, zwei Messer gekröpft, Versuch 7 bis 9) bringt die beste Schnittqualität, aber auch den höchsten Leistungsbedarf.

Eine Steigerung der Vorfahrt führt bei vergleichbaren Versuchsanordnungen (1/7, 3/9, 4/8) zu einer erheblichen, z.T. überpro-

portionalen Erhöhung des Leistungsbedarfes.

Prüfstandversuche "Unterbau-Strohschlager"

Meßgerät: KWS 6 T-S

Geber : MNI (Vers. 1-4) ZF II (Vers.5-9)

Strohmenge: 8 Kp/Versuchsfahrt

Versuch Nr.	Messerzahl/ Messeranordnung	Staublech-öffnung[1]	Strohdurch-satz	Vorfahrt		mittl. Leistung[2]		Leistungs-spitzen[2]	
		cm	dt/h	m/s	km	PS	kW	PS	kW
1	4/gerade	12	7,88	0,47	1,69	1,22	0,90	5,25	3,86
2	4/ziehender Schnitt	12	7,19	0,45	1,64	1,89	1,39	8,45	6,22
3	4/gerade	6,5	5,91	0,37	1,32	1,78	1,31	8,45	6,22
4	4/gerade	9,0	6,24	0,39	1,41	1,67	1,23	5,56	4,10
5	4/gelenkig	12,0	14,4	0,90	3,42	1,63	1,20	6,35	4,67
6	4/gelenkig	6,5	16,0	1,00	3,60	2,39	1,76	8,55	6,30
7	je 2 gerade/	12,0	13,8	0,86	3,08	3,08	2,27	11,50	8,47
8	2 gekröpft	9,0	14,4	0,90	3,42	3,72	2,74	11,60	8,55
9	" "	6,5	14,4	0,90	3,42	5,26	4,14	12,20	9,00

1) Spaltweite zwischen Bodenoberfläche und Unterkante des Staubleches

2 an der Schläger-Antriebswelle

Tabelle 24: Prüfstandsversuche zum Leistungsbedarf

Besonders zu beachten sind die entstehenden Spitzenbelastungen, die ein Mehrfaches der mittleren Leistung erreichen können und bei der Auslegung von Antriebselementen bei Verwendung des Unterbau-Strohschlägers am Pflückvorsatz des Mähdreschers entsprechend zu berücksichtigen sind.

2.1.3.3 Ergebnisse der Einsatzversuche

Für die Durchführung der praktischen Einsatzversuche wurde ein selbstfahrender Mähdrescher mit zweireihigem Pflückvorsatz mit zwei Aggregaten von Unterbau-Strohschlägern ausgerüstet. Als Messeranordnung wurde die Zwei-Ebenen-Ausführung (vergleichbar Prüfstandversuch 7 - 9) gewählt, da diese bei den Vorversuchen die beste Schnittqualität erbracht hatte. Das Erfassen der Antriebsleistung der gemeinsamen Antriebswelle sowie des schlägerspezifischen Antriebselementes erfolgte in getrennten Meßwerten, um Aussagen über die jeweiligen Belastungswerte und deren Auswirkungen auf die Dimensionierung von Antriebselementen treffen zu können.

Die Einsatzversuche erfaßten den Einfluß von Staublechhöhe und Arbeitsgeschwindigkeit auf die mittlere sowie die Gesamtantriebsleistung der Unterbau-Strohschläger. Die ermittelten Leistungswerte für die Hauptantriebswelle sind auf beide Unterbau-Strohschläger zu beziehen und addieren sich bei der Gesamt-Antriebsleistung mit den ermittelten gerätespezifischen Leistungswerten, die direkt an der Schläger-Antriebswelle gemessen wurden (Tab. 25).

Die Ergebnisse bestätigen die Prüfstandsversuche, wonach je Aggregat ein mittlerer Gesamtantriebsbedarf von ca. 4 - 6 PS (ca. 3,0 - 3,7 kW) entsteht. Die aufgetretenen Spitzenbelastungen lagen bei teilweise mehr als 10 PS/Einzelgerät. Eine Steigerung der Fahrgeschwindigkeit von 3,55 km/h auf 4,22 km/h wirkt sich in einer Erhöhung des Gesamt-Leistungsbedarfes für den Antrieb von 2 Strohschlägern um ca. 19 % aus.

Durch die Einstellung der Spaltweite am Staublech soll das Abfließen des Strohes aus dem Schnittbereich gesteuert und die gewünschte Schnittqualität eingestellt werden. Bei zunehmender

Vorfahrt, d.h. stärkerer Füllung des Schläger-Kastens ist es jedoch erforderlich, den Spalt zu erweitern, um Stauungen vor dem Schläger zu vermeiden. Infolge der besseren Schnittkasten-Füllung wird trotzdem eine ausreichende Schnittqualität erzielt.

Einsatzversuche "Unterbau-Strohschläger"

2 Strohschläger am 2 reihigen Pflückvorsatz, Messeranzahl: 4 (je 2 gerade und 2 gekröpfte)
Mittelwerte aus je 5 Messungen Strohanfall 85,33 dt/ha (Ø 36,0 % TS

Versuch Nr.	Staubblech-öffnung[1]	Strohdurch-satz	Vorfahrt		mittl. Leistung je Gerät		ges. Antriebsleistung[2] für 2 Geräte	
	cm	dt/h	m/s	km/h	PS	kW	PS	kW
1	-	45,6	0,99	3,55	6,10	4,50	-	-
2	6,5	45,6	0,99	3,55	1,05	0,77	8,20	6,04
3	9,0	51,7	1,12	4,03	1,65	1,22	9,40	6,93
4	9,0	55,1	1,17	4,22	1,82	1,34	9,74	7,18

[1] Spaltweite zwischen Bodenoberfläche und Unterkante des Staubleches

[2] Hauptantriebswelle für 2 Schlägeraggregate

Tabelle 25: Ergebnisse der Einsatzversuche zum Leistungsbedarf

2.1.3.4 Verfahrenstechnische Auswirkungen

In den Prüfstands- und praktischen Einsatzversuchen konnte nachgewiesen werden, daß der neuentwickelte Unterbau-Strohschläger nach dem Horizontalschnitt-Prinzip einen Großteil der eingangs aufgestellten Anforderungen erfüllt. Eine generelle oder zumindest weitreichende Verwendung am Pflückvorsatz des Mähdreschers ist jedoch nur dann zu erwarten, wenn nicht nur auf ackerbaulich-bodenphysikalischem Gebiet, sondern vor allem auch im verfahrenstechnischen Bereich positive Auswirkungen zu erzielen sind.

Der Einsatz von Unterbau-Strohschlägern im "Direktverfahren" konkurriert bislang eindeutig mit dem "geteilten Verfahren", das heißt mit der Durchführung von Körnermaisernte und Strohzerkleinerung in zwei getrennten, nacheinander ablaufenden Arbeitsgängen. Beide Verfahren sollen deshalb anhand verschiedener Kriterien verglichen werden.

Ein arbeitswirtschaftlicher Vergleich erbringt folgende Ergebnisse:

1. Geteiltes Verfahren

Mähdrescher mit 4-reihigem Pflückvorsatz
100 PS-Aufbaumotor

Reihenabstand 0,75 m, Gesamtarbeitsbreite 3,0 m

Arbeitsgeschwindigkeit 3,5 km/h

Schlaggröße 1 ha, Schlaglänge 150 m

Hieraus errechnet sich:

Flächenleistung 0,81 ha/h

Arbeitszeitbedarf 1,24 AKh/ha

Feldwirkungsgrad 77 %

Spezial-Maisstrohschläger am 75 PS-Schlepper

Arbeitsbreite 3,0 m

Arbeitsgeschwindigkeit 5,0 km/h

Schlaggröße 1 ha, Schlaglänge 150 m

Daraus ergibt sich:

Flächenleistung 1,15 ha/h Feldwirkungsgrad 77 %

Arbeitszeitbedarf 0,87 AKh/ha

Demnach für das Gesamtverfahren Arbeitszeitbedarf 2,11 AKh/ha

2. Direktverfahren mit Unterbau-Strohschläger

Selbstfahrender Mähdrescher mit 4-reihigem Pflückvorsatz und 4 Unterbau-Strohschläger, 100 PS-Aufbaumotor

Reihenabstand 0,75 m, Gesamtarbeitsbreite 3,0 m

Arbeitsgeschwindigkeit 3,0 km/h

Schlaggröße 1 ha, Schlaglänge 150 m

Hieraus errechnet sich:

Flächenleistung 0,63 ha/h Feldwirkungsgrad 70 %

Arbeitszeitbedarf 1,59 AKh/ha

Hinsichtlich des Arbeitszeitbedarfes sind daher bei Direktverfahren um 0,52 AKh/ha Minderaufwand gegenüber dem geteilten Verfahren zu erwarten. Dies ist gleichbedeutend mit einer Steigerung der Flächenleistung im 1-Mann-Betrieb mit nacheinander folgender Abwicklung der beiden Arbeitsgänge für Ernte und Strohzerkleinerung von 0,16 ha/h.

Häufig wird jedoch aus Gründen einer möglichst hohen und ungehinderten Druschleistung eine Trennung der Arbeitsgänge "Ernte" und "Strohzerkleinerung" nach wie vor angestrebt. Dies gilt insbesondere bei Verwendung von Mähdreschern mit nicht ausreichend dimensionierten Aufbau-Motoren und beim überbetrieblichen Maschineneinsatz, wo die Aufteilung: Drusch durch die überbetrieblich genutzte Maschine, Strohzerkleinerung mit betriebseigenen Geräten verfolgt wird. Wenn unter solchen Einsatzbedingungen das Direktverfahren eine echte Alternative darstellen soll, ist es unumgänglich, auf dem Mähdrescher ausreichende Motorleistungen zu installieren. Die derzeit von den Mähdrescher-Herstellern angebotene, umfangreiche Palette leistungsstarker Motoren unterstützt diese Bestrebungen nachdrücklich.

Eine Gegenüberstellung des Leistungsaufwandes (PSh/ha) unterstreicht das o.g. Bild:

Geteiltes Verfahren:

100 PS-Aufbaumotor
Flächenleistung 0,81 ha/h
Leistungsaufwand 124 PSh/ha
Treibstoffaufwand (bei 170 g/PSh) 21,0 kg/ha

Ackerschlepper 75 PS mit Spezial-Maisstrohschläger
Flächenleistung 1,15 ha/h
Leistungsaufwand 65,2 PSh/ha
Treibstoffaufwand 11,2 kg/ha (bei 170 g/PSh)

Gesamt-Leistungsaufwand 189,2 PSh/ha
Gesamt-Treibstoffaufwand 32,2 kg/ha

Direktverfahren (Flächenleistung 0,63 ha/h)

Leistungsaufwand 159 PSh/ha
Treibstoffaufwand 27,1 kg/ha

Demzufolge ergibt sich auch hinsichtlich des Leistungsaufwandes für das Direktverfahren ein um 10 PSh/ha günstigerer Wert im Vergleich zum geteilten Verfahren.

2.2 Unterbau Strohschläger nach dem Schlegelprinzip

2.2.1 Konstruktiver Aufbau

Die in letzter Zeit von verschiedenen Herstellerfirmen angebotenen Unterbau-Strohschläger zum Maispflückvorsatz arbeiten überwiegend nach dem Schlegel-Prinzip, jedoch mit gegenüber dem Normal-Schlegelhäcksler entgegengesetzter Umlaufrichtung der Messer.
Die Unterbauhäcksler sind fabrikatsabhängig entweder starr oder

auch pendelnd-nachlaufend (dann mit automatischer Bodenanpassung, unabhängig vom Pflückvorsatz, über Gleitkufen und Federaufhängung) am Pflückvorsatz angebracht.

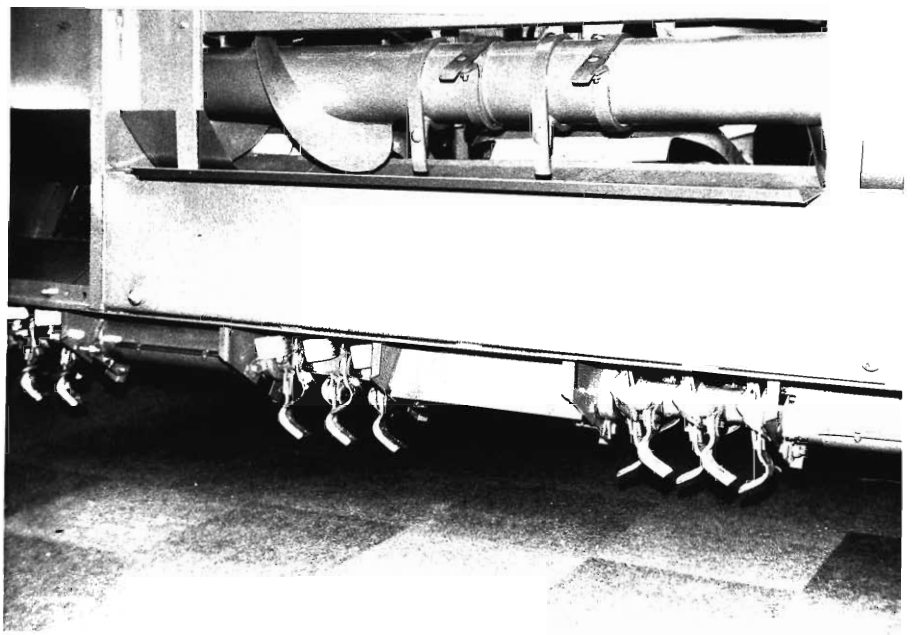


Abb. 92: Anordnung der Unterbau-Strohschläger (Schlegelprinzip) am Mähdrescher-Pflückvorsatz

Der Arbeitsbereich der gekröpften, beidseitig verwendbaren Häcksler-Messer ist auf eine Breite von ca. 30 - 40 cm beschränkt (Abb. 92). Durch die Anordnung möglichst nahe an den Pflückwalzen soll erreicht werden, daß die Stengel beim Häckselvorgang noch von den Pflückwalzen geführt werden und somit nicht ausweichen können. Infolge der hohen Drehzahl der Häckslerwelle (ca. 3 000 U/min, entsprechend einer Umfangsgeschwindigkeit von ca. 45 - 50 m/s) wird eine ausreichende Strohzerkleinerung und weitgehende Verstopfungssicherheit erreicht. Bei pendelnd aufgehängten Unterbau-Strohschlägern können Stoppelhöhen zwischen 15 und 65 mm eingestellt werden.

Kräftige Prallbleche und Spritztücher verhindern das unkontrollierte Wegschleudern von Pflanzenteilen und - z.B. auf steinigen

Böden - von Fremdkörpern (142, 143, 144, 145).

2.2.2 Leistungsbedarf und Schnittqualität

Die Kraftbedarfsmessungen von Unterbau-Strohschlägern nach dem Schlegelprinzip ergaben einen durchschnittlichen Kraftbedarf je Reihe von ca. 6 PS. Die Spitzenwerte erreichten bei ungünstigen Einsatzbedingungen etwa 9 PS/Reihe (142).

Die Unterbau-Strohschläger werden teilweise serienmäßig zum Pflückvorsatz, aber auch als Nachrüst-Aggregate zu bereits vorhandenen Mais-Pflückvorsätzen angeboten. Ähnliche Aggregate sind auch bei Spezial-Maiserntemaschinen (Pflück-Reblern) ausländischer Herkunft seit einiger Zeit üblich.

3. Zusammenfassung der Ergebnisse "Strohzerkleinerung und -Einarbeitung"

Die Zielsetzung und Aufgabenstellung beim Einsatz von Maschinen und Geräten für die Zerkleinerung und Einarbeitung des Maisstrohes unterliegen einigen wesentlichen, teilweise konträren Forderungen. Aus acker- und pflanzenbaulichen Gründen gilt es, das Stroh möglichst exakt zu zerkleinern und zu verteilen, um beste Voraussetzungen für eine einwandfreie Unterbringung im Boden sowie für die rasche und vollständige Rotte zu schaffen. Da bei den bevorzugt angewandten Ernteverfahren (Pflückdrescher, Pflückrebler) nur ein Teil des Maisstrohes die Maschine durchwandert, der weitaus größere Teil jedoch zusammengestaucht auf dem Feld stehen bleibt, bieten die vom Getreide-Mähdrusch bzw. von früher angewandten Maiserntevefahren (Mähdrescher mit Maismähvorsatz) her bekannten und be-

währten Anbau-Strohhäcksler keine Möglichkeit zum Zerkleinern der insgesamt vorhandenen organischen Stengelsubstanz. Deshalb hat sich als Standardverfahren für das Ernten des Maises und die nachfolgende Strohzerkleinerung die Aufteilung dieser Arbeiten auf zwei getrennte Arbeitsgänge eingeführt. Die Strohzerkleinerung erfolgt dabei vorwiegend mit Spezial-Strohschlägern, die mit speziellen Messerformen und Breitverteileinrichtungen ausgestattet sind.

Die Aufteilung der Ernte sowie der Folgearbeiten auf mehrere getrennte Arbeitsgänge verursacht jedoch einen erheblichen Arbeitszeitbedarf. Dieser wirft gerade bei einer spät räumenden Frucht wie dem Körnermais Probleme hinsichtlich der termingerechten Abwicklung der nachfolgenden Bodenbearbeitung sowie der oftmals vorgesehenen Wintergetreidebestellung speziell in den Einmann-Betrieben auf. Dies umso mehr, als das zunehmende Schlechtwetterrisiko die Einsatzzeitspanne begrenzt. Nach Möglichkeiten einer Komprimierung bisher nacheinander ablaufender Arbeitsgänge wurde in mehreren Bereichen gesucht, z.B. durch die Kombination von Strohzerkleinerung und Unterpflügen oder im Zusammenfassen von Oberflächenbearbeitung und Wintergetreideeinsaat (Frässaatmaschinen).

Das exakte Zerkleinern des Maisstrohes stellt eine der wesentlichen Voraussetzungen für den störungsfreien Ablauf nahezu sämtlicher, nachfolgender Arbeitsgänge dar. Deshalb wirkt sich die Zusammenfassung der Arbeitsgänge "Ernte und Strohzerkleinerung" besonders vorteilhaft aus, da das Stroh gehäckselt wird, bevor es von den Laufrädern der Erntemaschine auf den Boden gewalzt und die Zerkleinerung erschwert wird.

Im Rahmen der Entwicklung eines geeigneten Strohschlägers zum Unterbau unter den Maispflückvorsatz wurden mehrere technische Varianten mit unterschiedlichem Schnittprinzip untersucht. Zur

Konstruktions- und Praxisreife entwickelt wurde ein Unterbau-Strohschläger nach dem Horizontalschnitt-Prinzip, welcher einen Großteil der an ein derartiges Gerät zu stellenden Anforderungen erfüllt. Die Prüfstands- und praktischen Einsatzversuche ergaben, daß bei dem angestrebten Zerkleinerungsgrad des Strohes je Maisreihe ein Leistungsbedarf von durchschnittlich 4 - 5 PS mit Spitzenwerten von ca. 10 PS auftritt. Dies bedeutet, daß von den Erntemaschinen außer den für die übrigen Maschinenfunktionen erforderlichen Leistungsbedarf bei z.B. 4-reihiger Arbeitsweise eine zusätzliche Motorleistung von ca. 40 PS bereitgestellt werden muß. Dies war bislang bei den relativ knapp kalkulierten Motorleistungen bei selbstfahrenden Erntemaschinen nicht realisierbar. Die aus anderen Gründen in letzter Zeit ständig im Steigen befindliche Leistung der Aufbaumotoren sowie die insbesondere bei einem überbetrieblichen Einsatz der Maschinen speziell von Betrieben mit kleinen Körnermais-Anbauflächen gestellte Forderung nach Aufbereitung des Maisstrohes gleichzeitig mit dem Erntevorgang lassen jedoch erwarten, daß die Verwendung derartiger Zusatzeinrichtungen in Zukunft erheblich an Bedeutung zunehmen wird. Diese Schlußforderung läßt sich auch aus verfahrenstechnischen Gründen treffen, wonach sowohl hinsichtlich des Leistungsaufwandes, als auch im Hinblick auf den Arbeitszeitbedarf erhebliche Vorteile entstehen.

Dabei darf jedoch nicht übersehen werden, daß infolge der Ausrüstung des Pflückvorsatzes mit einem Unterbau-Strohschläger die erforderlichen Investitionsmittel ansteigen und damit eine höhere Fixkosten-Belastung entsteht. Infolgedessen steigen auch die Kosten der Arbeitserledigung weiter an.

Ein rentabler Maschineneinsatz mit dieser geschilderten Ausrüstung setzt deshalb zwangsläufig ein entsprechendes Flächenangebot voraus, um eine möglichst weitgehende Kostenverteilung zu erreichen. Der

überbetriebliche Maschineneinsatz bietet hier die besten Ansatzmöglichkeiten zu einer Realisierung dieser Bestrebungen, da das Flächenangebot je Einzelbetrieb zu begrenzt ist, um auf dem Wege einer eigenbetrieblichen Mechanisierung eine kostengünstige Arbeitserledigung zu erreichen.

V. SCHLUßBETRACHTUNG UND FOLGERUNGEN

1. Im Betriebszweig "Körnermaisbau" wird künftig - ähnlich wie in anderen landwirtschaftlichen Produktionszweigen - einer Steigerung der Arbeitsproduktivität eine vorrangige Bedeutung zukommen. Die seit einiger Zeit zu beobachtende Lohnkostenentwicklung, die eine überproportionale Steigerung gegenüber anderen Kostenbereichen aufweist, läßt eine nachhaltige Steigerung und Sicherung der Erzeugungsleistung je Arbeitskraft nur dann erwarten, wenn eine Erhöhung des Arbeitsvolumens und die Ausstattung der Arbeitskräfte mit hochtechnisierten Mechanisierungslösungen und Arbeitsverfahren erfolgt.

2. Durch den Einsatz hochmechanisierter Arbeitsverfahren wird einerseits angestrebt, hohe Flächenleistungen in den verschiedenen Verfahrens-Teilbereichen zu erzielen und damit, vor allem in engbegrenzten Arbeitszeitspannen, die erforderliche Schlagkraft der Verfahren sicherzustellen. Gleichrangig neben diesen Forderungen hat aber auch die Sicherung einer höchstmöglichen Qualität der Arbeitserledigung zu stehen. Dies gilt insbesondere für die Verfahrens-Teilbereiche "Maisbestellung" und "Ernte", da sich hier z.B. durch auftretende Verluste direkte Auswirkungen im ökonomischen Bereich ergeben.

3. Im Verfahrens-Teilbereich "Maisbestellung" wurden die Wechselwirkungen zwischen der Steigerung der Flächenleistung (z.B. durch Erhöhen der Arbeitsgeschwindigkeit) und der Qualität der Kornab-

lage im Boden eingehend untersucht und dargestellt. Die Konstruktion und ständige Weiterentwicklung kalibrierungs-unempfindlicher Einzelkorn-Sämaschinen, deren Funktionsprinzip im Vergleich zu den konventionellen, mechanischen Säsystemen u.a. auch das Einhalten höherer Arbeitsgeschwindigkeiten zuläßt, hat eine ständige Verbesserung der Ablagequalität bewirkt. Die Ergebnisse der Einsatzversuche mit einem ausgewählten Programm kalibrierungs-unempfindlicher Einzelkorn-Sämaschinen mit mechanischem, Saugluft- und Druckluftsäprinzip über den Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit auf die Ablagegenauigkeit lassen jedoch erkennen, daß auch bei derartigen, hochtechnisierten Säsystemen deutliche Fahrgeschwindigkeits-Grenzwerte bestehen. Bei dem im Silomaisbau bevorzugten Kornabstand von ca. 10,5 - 11,5 cm in der Reihe konnte nur bis zu einer Arbeitsgeschwindigkeit von max. 6 - 7 km/h eine befriedigende Kornablage im Sollbereich (0,5 - 1,5faches des Kornsollabstandes) erzielt werden. Bei dem für Körnermais üblichen Kornabstand von 15,0 - 16,0 cm lag der Schwellenwert bei ca. 8 - 9 km/h. Für die Standgenauigkeit (Sollabstand ± 3,5 cm) wurde eine ähnliche Tendenz ermittelt.

Ein Überschreiten der genannten Fahrgeschwindigkeitsgrenzen ist gleichbedeutend mit einer sprunghaften Verschlechterung der Ablagequalität. Daher sind im praktischen Einsatz diese Schwellenwerte sorgfältig zu beachten, um die angestrebten Pflanzenbestandszahlen sicher zu erreichen.

4. Neben der gleichmäßigen Kornverteilung in der Reihe übt auch die optimale Tiefenablage der Saatkörner einen positiven Einfluß auf die rasche, gleichmäßige Keimung, einen hohen Feldaufgang und die ungehinderte Jugendentwicklung der Maispflanzen aus. In praktischen Einsatzversuchen wurde für ein ausgewähltes Programm systemtypischer Einzelkorn-Sämaschinen der Einfluß steigender Arbeitsgeschwindigkeiten auf die Gleichmäßigkeit der Korn-Tiefenablage er-

mittelt. Die Ergebnisse zeigen, daß eine deutliche Abhängigkeit von der Maschinenbauweise und dem Ablagesystem besteht. Maschinen mit hohem Eigengewicht oder Federdruckbelastung, mit großvolumigem Saatgut-Vorratsbehälter und großdimensionierter, walkgummiüberzogener Druckrolle erzielten die günstigsten Ergebnisse.

5. Um Hinweise für die optimale Funktion und Anordnung der für die Einbringung des Samens in den Boden verantwortlichen Bauteile an Einzelkorn-Sämaschinen geben zu können, wurde unter Berücksichtigung der Parameter Fallhöhe, Abwurfgeschwindigkeit und Fahrgeschwindigkeit eine mathematische Betrachtung und Analyse des Einbettungsvorganges vorgenommen. Unter Berücksichtigung der dynamischen Abwurfphase für die Maiskörner und der hieraus resultierenden Flugbahnen ist zu folgern, daß besonders günstige Voraussetzungen für eine gleichmäßig-tiefe Kornablage in der angestrebten Saattiefe dann vorliegen, wenn technisch-konstruktiv eine geringe Fallhöhe, niedrige Abwurfgeschwindigkeit, hohes Gesamtgewicht und Gummidruckrollen vorgesehen sind.

6. Im Bereich der Erntearbeiten hat sich in den letzten Jahren eine deutliche Konzentration auf im wesentlichen zwei Ernteverfahren ergeben. Nach wie vor überwiegt die Ernte reiner Maiskörner, da sie ein Höchstmaß an Flexibilität hinsichtlich der Wahl der Konservierungsform und Verwertungsrichtung bietet. Als Ernteverfahren hat sich der "Pflückdrusch" (Mähdrescher mit Maispflückvorsatz) eindeutig durchgesetzt. Je nach Umfang der Körnermais-Anbaufläche im Einzelbetrieb liegt die Verwendungshäufigkeit zwischen 75 und 100 %. Selbstfahrende Pflückrebler gewinnen in letzter Zeit an Interesse. Diese Spezial-Maiserntemaschinen erlauben zwar nicht eine Doppelnutzung bei der Getreide- und Körnermaisernte, wie dies beim Mähdrescher mit Pflückvorsatz möglich ist. Sie bewirken jedoch eine sehr schonende Entkörnung mit geringem Bruchkornanfall, auch bei höheren Kornfeuchtegehalten. Generell läßt sich auch in der Ernte-

maschinenentwicklung ein deutlicher Trend zur Leistungssteigerung, Verminderung der Ernteverluste, Verbesserung der Witterungs-Unempfindlichkeit und weitgehende Automatisierung des Erntevorganges beobachten. Neben technisch-konstruktiven Maßnahmen (z.B. Verwendung leistungsstärkerer Aufbaumotoren, Einbau von Intensivschüttlern etc.) dienen auch Zusatzeinrichtungen (z.B. Verlustkontroll- und Anzeigegeräte) diesen Bestrebungen.

7. Infolge der kräftigen Ausweitung der Anbauflächen in Grenzlagen des Körnermaisbaues wird nach Möglichkeiten einer Verminderung des Ernterisikos und der sicheren Bewältigung der Erntearbeiten auch bei ungünstigen Abreifebedingungen gesucht. Einen aussichtsreichen Weg stellt die Gewinnung eines Erntegutes dar, welches neben den Maiskörnern auch einen bestimmbaren und steuerbaren Anteil an Rohfaser aus der Grundpflanze (aus fütterungstechnischen Gründen vorwiegend Maisspindeln) enthält. Die bevorzugte Verwendung der unterschiedlichen Aufbereitungsstufen von Maiskolben in der Schweinemast setzt voraus, daß der maximal zulässige Rohfasergehalt von 8 - 10 % von den Ernteverfahren zu jedem Erntezeitpunkt und während der gesamten Erntezeitspanne gleichbleibend eingehalten wird. Diese Forderungen werden vorwiegend von Maschinen erfüllt, die mit technischen Vorrichtungen zur Absonderung unerwünschter Rohfaserträger aus dem Erntegut ausgestattet sind. Hierzu gehören Spezial-Pflückschroter sowie Pflückdrescher bzw. Pflückrebler mit spezieller Ausstattung für die Korn-Spindelgemisch-Ernte. Pflückschroter ohne Entlieschvorrichtung benötigen zum Erreichen der genannten Rohfasergehalte eine gesonderte, in der Regel am Gärbehälter stationierte Absiebvorrichtung.

8. Umfangreiche Prüfstands- und praktische Einsatzversuche mit dem Pflückdrescher und Spezialausrüstung für die Korn-Spindelgemisch-Ernte ergaben, daß bei diesen Maschinen der Rohfasergehalt durch eine optimale Einstellung des Dreschwerkes, vor allem aber durch

das Verwenden geeigneter Siebformen zu beeinflussen ist. Durch Untersuchungen mit unterschiedlichen Siebformen konnte nachgewiesen werden, daß sich bei Verwendung von Maschensieben keine eindeutigen Beziehungen zwischen Form und Abmessungen der Sieböffnungen und dem erzielbaren Rohfasergehalt ergeben. Dagegen wurde bei Verwenden eines neuentwickelten Verstellsiebes mit kontinuierlicher Verstellbarkeit der Sieböffnungen und optimaler Dreschwerkeinstellung eine gezielte Steuerung des Rohfasergehaltes erreicht.

9. Im Teilbereich der Folgearbeiten nach der Körnermaisernte stellt die Strohzerkleinerung einen zentralen Sektor dar, da auf der Mehrzahl der Produktionsstandorte ausreichend zerkleinertes Maisstroh rascher und vollständiger verrottet als Langstroh. Die Strohzerkleinerung in einem 2. Arbeitsgang mittels Spezial-Strohschläger nach der Maisernte ist zwar derzeit noch als das Standardverfahren anzusehen. Unter dem Pflückvorsatz der Erntemaschinen angebrachte Unterbau-Strohschläger finden jedoch zunehmendes Interesse, da dieses "Direktverfahren" (Körnerernte und gleichzeitige Strohzerkleinerung) aus verfahrenstechnischer Sicht im Vergleich zum geteilten Verfahren erhebliche Vorteile aufweist (u.a. geringerer Arbeitszeitbedarf, bessere Befahrbarkeit der Felder, abgeerntete Felder sofort frei für die nachfolgende Bodenbearbeitung und ggf. Wintergetreidebestellung).

Aus diesen Gründen wurde ein parallelogrammgeführter Unterbau-Strohschläger nach dem Horizontalschnitt-Prinzip entwickelt und in umfangreichen Prüfstands- und praktischen Einsatzversuchen die Schnittqualität sowie der erforderliche Leistungsbedarf ermittelt. Dabei zeigte sich, daß mit vier, in 2 Ebenen übereinander angeordneten Schneidmessern die beste Schnittqualität erzielt werden konnte. Der Leistungsbedarf liegt je Aggragat bei Ø ca. 10 PS, bei Spitzenbelastungen jedoch erheblich höher. Dieser Leistungsbedarf ist bei der Bemessung der Motorleistung für die Erntemaschinen entsprechend

zu berücksichtigen, damit keine Reduzierung der Ernteleistung hervorgerufen wird.

10. Jeder Verfahrens-Teilbereich steht in einem größeren verfahrenstechnischen Zusammenhang. Eine Beurteilung und Wertung muß zwangsläufig die vorhergehenden und nachfolgenden Produktionsbereiche mit einbeziehen. Aus der Sicht eines optimalen Verfahrensablaufes stellt neben der Verbesserung der Funktionsfähigkeit und -sicherheit der bei den verschiedenen Arbeitsgängen benötigten Einzelmaschinen die Sicherstellung einer hohen Schlagkraft in den einzelnen Verfahrens-Teilbereichen sowie deren optimaler Koordination eine der wesentlichsten Voraussetzungen für eine hohe Verfahrens-Gesamtleistung dar. Ebenso wichtig wie die "innere" Abstimmung der in einem bestimmten Arbeitsgang benötigten Mechanisierungseinheiten ist demzufolge auch die "äußere" Abstimmung der verschiedenen Verfahrens-Teilbereiche innerhalb des Gesamtverfahrens.

Am Beispiel ausgewählter Maschinengruppen wurde daher für die Maissaat, Körnerernte und Strohzerkleinerung anhand eines Simulationsmodells die Flächenleistung und der Arbeitszeitbedarf in Abhängigkeit von den Parametern Arbeitsbreite, Arbeitsgeschwindigkeit, Schlaggröße und Schlaglänge (bei der Körnerernte zusätzlich das Kornübergabeverfahren) errechnet. Dabei zeigte sich für die verschiedenen Arbeitsgänge übereinstimmend, daß durch ein Erhöhen der Arbeitsgeschwindigkeit und der Schlaggröße ein höherer Gewinn an Flächenleistung zu erzielen ist, als durch ein Steigern der Arbeitsbreite im Bereich der derzeit vorhandenen technischen Lösungen. Bei der Ernte bewirkt der Übergang von der Kornübergabe auf Standwagen zur kontinuierlichen Kornübernahme während des Erntevorganges auf Parallelwagen eine zusätzliche, erhebliche Steigerung der Flächenleistung.

Bei einem Vergleich der verschiedenen Verfahren zur Gewinnung unterschiedlicher Aufbereitungsstufen von Maiskolben ergab sich, daß die erzielbare Flächenleistung außer von der technischen Ausstattung auch direkt von der zum Erntezeitpunkt vorhandenen Erntegutfeuchte beeinflußt wird. Dabei ergeben sich verfahrensbedingt erhebliche Unterschiede zwischen Maschinen, die als Weiterentwicklungen von Exakt-Maisfeldhäckslern unzusehen sind und solchen Mechanisierungslösungen, die technisch-konstruktiv auf die Ernte druschreifer Körner ausgerichtet sind.

11. Trotz der zur Zeit noch geringen Körnermais-Anbauflächen im Einzelbetrieb kommt infolge der begrenzten Erntezeitspanne und der konsequenten Verwendung leistungsfähiger Einzelmaschinen einer exakten Kapazitätsplanung und -abstimmung für die Ernte, Abfuhr, Erntegutannahme und Konservierung besondere Bedeutung zu. Deshalb wurden die Wechselwirkungen zwischen Ernteleistung, Korntankinhalt der Erntemaschinen, Abladetechnik und zulässiger Feldentfernung, sowie zwischen Druschleistung und Verarbeitungskapazität bei verschiedenen Konservierungsverfahren modellmäßig errechnet. Aufgrund dieser Berechnungen konnten die wesentlichen Kenndaten für unterschiedliche Maschinenausstattungen und Einsatzbedingungen ermittelt werden. Dabei zeigte sich, daß die Abstimmung der Verarbeitungskapazität, vor allem der Konservierungseinrichtungen, auf die Ernteleistung insbesondere bei zunehmender Erntekapazität erhebliche Aufwendungen und Investitionen auf maschinellem und baulichem Sektor erfordert. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Inanspruchnahme des überbetrieblichen Maschineneinsatzes durch Betriebe mit geringen Maisanbauflächen außerordentlich problematisch und erfordert in letzter Konsequenz die Bereitstellung entsprechend leistungsfähiger Anlagen durch Maschinenringe, Lohnunternehmer etc.. Ansätze hierfür zeigen sich z.B. schon bei mobilen Trocknungsanlagen und Aufbereitungsanlagen zur Maiskonservierung durch Beimischung organischer Säuren.

12. Einen der wesentlichen und schwerwiegendsten Hinderungsgründe für den rationellen Einsatz leistungsfähiger, hochmechanisierter Landmaschinen und schlagkräftiger Arbeitsverfahren stellt derzeit noch das begrenzte Flächenangebot im einzelnen körnermaisbauenden Betrieb dar. Im westlichen und östlichen Ausland wurden in den letzten Jahren für die Bewirtschaftung der Maisflächen in der Großflächen-Landwirtschaft hochmechanisierte Maisproduktionssysteme entwickelt, mit Hilfe derer es möglich ist, durch Optimierung der Maschinenkapazitäten und eine ausgeklügelte Einsatzplanung bis zu 700 ha Maisfläche je Mechanisierungseinheit und Saison zu betreuen. Demgegenüber bestehen unter den hieseigen Produktionsbedingungen zur Zeit noch erhebliche Diskrepanzen zwischen der Leistungsfähigkeit der vorhandenen hochtechnisierten Mechanisierungslösungen und der Realisierung ihres rationellen Einsatzes auf Anbauflächen mit geringer Teilstückgröße, begrenzter Schlaglänge und oftmals ungünstiger Feldform. Wenn dennoch auch künftig der Anwendung einer leistungsfähigen Landtechnik besondere Bedeutung zukommen wird, so sind hierfür neben der Notwendigkeit einer nachhaltigen Steigerung der Arbeitsproduktivität auch das Bestreben ausschlaggebend, eine termingerechte Arbeitserledigung, volles Ausnutzen der verfügbaren Einsatzzeitspannen, Steigerung der Arbeitsqualität und Reduzierung der Verluste zu erreichen. Dabei ist der optimalen Bemessung der Leistungskapazitäten in den einzelnen Verfahrens-Teilbereichen eine ebenso große Bedeutung zuzumessen, wie ihrer optimalen Koordination und Kombination zu reibungslos ablaufenden Arbeitsverfahren und der Ausschöpfung aller sich bietenden Möglichkeiten einer Kostenminimierung.

Literatur

1. Albert, W.W. et al: Beef cows winter well an Stalklage ration

   Illinois Research Vol.10, Nr. 4, 1968, S. 7 - 10

2. Albert, W.W., Stephens L.E.: Stalklage silage harvested with converted combine

   ASAE-paper No. 69 - 313/1969, ASAE, St. Joseph, Michigan

3. Amberger, A., Wagner, A., Rassadi, F.: Über den Abbau der organischen Substanzen bei der Verrottung von Maisstroh

   Bayer.Landw.Jahrbuch 48/1971, Heft 1, S. 3 - 22

4. Amberger, A., Fischbeck, G.: 8. Mais in der Fruchtfolge

   in Mais, ein Handbuch über Produktionstechnik und Ökonomik BLV-Verlagsgesellschaft, München, Bern, Wien (1971), S. 83 ff.

5. Antončić, J.: Dopunska oprema Plugova za zaoravanje Kukuruzovine

   Mehanizacija proizvodnje i dorade Kukuruza, 1971, Osijek/Jugosl., S. 93 - 101

6. Banhazi, G.: Stand der Mechanisierung der Maisproduktion in der ungarischen Volksrepublik

Agrartechnik 23 (1973), Heft 12, S. 533 - 537

7. Baraldi, G.: Semina e Seminatrici di precisione

Berichte über "Convegno Nazionale sulla Maiscoltura", Treviso, Oktober 1965

8. Baraldi, G., De Zanche, C.: Studio di un Apparato di Distribuzione Pneumatic Dei Semi

Schriftenreihe des Inst.f.Landtechnik der Univers. Bologna, Nr. 520, 1973

9. Bateman, H.P.: Plant Metering, Soil and Plant Factors Affecting Corn Ear Production

Trancactions of ASAE, 1972, Vol. 15 No. 6, S. 1019

10. Bilstein, U.: Arbeitsverfahren der Minimal-Bodenbearbeitung und ihre ökonomischen Einsatzbereiche

Berichte über Landwirtschaft, Band 46 (1968), Heft 2, S. 197 - 400

11. Birnkammer, H.: Unkonventionelle Verfahren der Maisbestellung

KTBL-Schrift 181, Darmstadt-Kranichstein 1974

12. Blevins, R.L., Cook, D., Phillips, S.H., Phillips, R.E.: Influence of no-tillage on soil moisture

Agrar.Journ.1971, S. 593 - 596

13. Bockhop, C.W.: Two new ways to combine corn

Combining Corn Cob Mix, Herausgeber John Deere, Moline/Jll.,USA, 1962

14. Breitfuß, J.: Untersuchungen über die gleichmäßige Tiefenablage der Saat von Rübensägeräten

Landtechnische Forschung 4 (1954), Heft 3, Seite 32 - 83

15. Brinkmann, W.: Saatverfahren im Maisbau

Sonderdruck aus der Vortragsreihe der 25. Hochschultagung der landw. Fakultät der Universität Bonn (1971), S. 163 - 177

16. Brinkmann, W.: Versuchsergebnisse einer US-Druckluft-Einzelkornsämaschine auf dem Leimstreifen-Versuchsstand

Unveröffentlichtes Versuchsprotokoll, Bonn, 1973

17. Bryan, H.T., Blaser, R.E.: Plant constituents of an early and an late corn hybrid as affected by row spacing and plant population

Agron.Journal 60 (1968) S. 557-559

18. Burgstaller, G.: Maiskolbensilage in der Schweinefütterung

top agrar (1974), Heft 11, S. 18

19. Burows, W.C., Paulson, J.W., Stickler, F.C.: Future Corn Culture

Report No. 79, Technical Center J.Deere, USA

20. Busse, W.: Gewinnung von Maiskolbenschrot als Ernteverfahren

Unveröffentlichtes Manuskript, Harsewinkel (1970)

21. Carpenter, M.L., Brooker, D.B.: Minimum Cost Machinery Systems for Harvesting, Drying and Storing Shelled Corn

Transactions of ASAE (1972), Vol. 15, Nr. 3, S. 515 - 519.

22. Caspers, L.: Die Abscheidungsfunktion als Beitrag zur Theorie des Schlagleistendreschers

Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 19 (1973)

23. Cera, M., Zanche, P., Chiumenti, R.: Prove di laboratorio sulla funzionalita di distributieri meccanici per semi di mais

Rivisti di Ingegneria Agriaria (Bologna), 4 (1973), Heft 4, S.177-186

24. Collins, E.V., Shedd, C.K.: Results of Row Spacing Experiments with Corn

Agricultural Engineering, 22, No. 5, May 1941

25. Csermely, J.: Technologie der Ernte und Lagerung von zerkleinerten Maiskolben

Agrartechnik 23 (1973), Heft 12, S. 546 - 547

26. Eimer, M.: Neuere Entwicklungen und Ergebnisse zur Steuerung und Regelung des Mähdrusches

Landtechnik 28 (1973) Heft 9/10, S. 268 - 272

27. Eimer, M.: Monitore zur Überwachung der Funktion und Arbeitsqualität von Mähdreschern

Landtechnik 28 (1973) Heft 7, S. 215 - 218

28. Eimer, M.: Funktion und Arbeitsqualität der drehzahlgesteuerten Dreschtrommel

Grundlagen der Landtechnik 23 (1973) Nr. 6, S. 158 - 163

29. Eimer, M.: Untersuchung zur Durchsatzregelung am Mähdrescher

Habilitationsschrift, Göttingen 1973

30. Estler, M.: Entwicklung und Stand der Körnermaisernte unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Mähdreschern

KTL-Berichte über Landtechnik Nr. 107/1967, H. Neureuter-Verlag, München-Wolfratshausen

31. Estler, M.: Die Herstellung von Maiskorn-Spindelgemisch mit dem Pflückdrescher

Unveröffentlichter Versuchsbericht, Weihenstephan, November 1968

32. Estler, M.: Aktuelle Fragen bei der Körnermaisernte und -konservierung

Landtechnik 24 (1969), Heft 15, S. 479 - 484

33. Estler, M.: Stanzel, H. Strehler, A. Aufgaben und Erfolge bei der Entwicklung einer höheren Mechanisierungsstufe im Maisbau

Grundlagen der Landtechnik Band 19 (1969), Nr. 3, S. 104 - 108

34. Estler, M.: Technik im Maisbau - viel Bewährtes wenig Neues

Landtechnik 25 (1970) Heft 15, S. 499 - 501

35. Estler, M.: Die Ernte von Körnermais

Landtechnische Beilage zum Landw. Wochenblatt Westfalen-Lippe, 1970, Heft 38

36. Estler, M.: Was tun mit dem Stroh nach der Körnermaisernte ?

Praktische Landtechnik/Österreich, 24 (1971) Heft 17, S. 365 - 368

37. Estler, M.: Erfahrungen mit der Maisstrohverwertung

Traktor aktuell/Österreich, (1972), Heft 4, S. 16 - 19

38. Estler, M.: Leistungsbedarf von Maschinen für die Minimal-Bestelltechnik

Berichte über die Jahrestagung der Landtechnik Weihenstephan (1973), Heft 15, S. 90 - 95

39. Estler, M.: Die Minimal-Bestelltechnik

Grundlagen der Landtechnik, Band 23 (1973), Heft 1/2/3, S. 13 - 15

40. Estler, M.: Tendenz zu größerer Schlagkraft bei der Körnermaisernte

Die Landtechnische Zeitschrift 24 (1973), Heft 9, S. 472 - 475

41. Estler, M.: Vergleichende technische und arbeitswirtschaftliche Untersuchungen mit dem Pflückdrescher- und Pflückhäcksler-Verfahren

Unveröffentlichter Forschungsbericht, Weihenstephan, März 1974

42. Estler, M.: Die Technik der Maisbestellung

DLG-Manuskript 017, Frankfurt/Main, 1974

43. Estler, M.: Ernteverfahren für Körnermais und Maiskolbensilage

Landtechnik 30 (1975), Heft 2, S. 59 - 61

44. Estler, M., Kellermann, C., Riemann, U., Schurig, M., Strehler, A., Zscheischler, J.: Technik bei Anbau, Ernte und Konservierung von Mais

KTBL-Flugschrift Nr. 19, Helmut Neureuther-Verlag, München-Wolfratshausen, 1970

45. Estler, M., v.Lochow, J.: Tips für die Maisaussaat

Maisbrief des Deutschen Maiskomitees, Nr. 12, März 1970

46. Fiala, F.: Der Einfluß der Saatgutqualität bei Mais auf den Feldaufgang und Ertrag

Jahrbuch der österreichischen Bundesanstalt für Pflanzenbau und Samenprüfung, Wien (1972), S. 98 - 117

47. Foltinek, H.: Vollmechanisierte Körnermais-Kolbenschrot-Silierung

157. Arbeit des österreichischen Kuratoriums für Landtechnik, Wien (1973)

48. Frizen, H.W.: Vergleichende Untersuchungen bei Spezial-Maissägeräten

Wissenschaftliche Beihefte zum Mitteilungsorgan der Studiengesellschaft für landwirtschaftliche Arbeitswirtschaft, Bad Kreuznach (1972), Heft 1

49. Frizen, H.W.: Erfahrungen mit Spezial-Maissägeräten

Landtechnik 26 (1973), Heft 3, S. 73-78

50. Frizen, H.W., Stieger, W.: Berichte über Feldversuche mit pneumatischen Einzelkornsägeräten

Unveröffentlichter Versuchsbericht des Instituts für Landtechnik, Bonn (1973)

51. Frizen, H.W., Stieger, W., Brinkmann, W.: Pneumatische Maissägeräte in der Erprobung

Landtechnik 27 (1974), Heft 3, S.110-115

52. Georgiev, J.N., Vasiljev, S.D.: Einige Untersuchungsergebnisse an Drusch- und Trenneinrichtungen mit unterschiedlichen Trommeldurchmessern

Deutsche Agrartechnik 22 (1972), Heft 3, S. 126 - 128

53. Gindele, E.H.: Die Bedeutung agrarstruktureller Elemente für eine rationelle Arbeitserledigung in der Feldwirtschaft

KTBL-Berichte über Landtechnik Nr. 156, Darmstadt-Kranichstein

54. Gräber, E.: Neue Erkenntnisse bei der Entkörnung von Mais - Eigenschaften der Trennzone

Grundlagen der Landtechnik 23 (1973), Nr. 4, S. 105 - 106

55. Griffith, D.R., Parsons, S.D., Mannering, J.V., Golloway, H.M., Ross, M.A., Robbins, P.R., Huber, R.T.: An evulati on of tillage - planting systems for corn production

Purdue Univ. Agr.Exp.Stat.Research Progress Report 1970, Nr. 368

56. Grimm, K.: Verfahren mit Zukunft: Maiskolben-Schrot-Silage

Die Landtechnische Zeitschrift 23 (1972), Heft 4, S. 166 - 169

57. Grimm, K.: Technik der Maiskolbensilage

Landtechnik von morgen (1973), Heft 13, S. 22 - 33

58. Grimm, K., Riemensberger, H.: Maiskolbenschrotsilage in der Schweinemast

Mitteilungen der DLG 88 (1973), Heft 36 S. 1 022 - 1 024

59. Groß, F.: Verfütterung von Körnermais und Körnermaissilagen in der Schweinemast

Schweinezucht und Schweinemast 18 (1970), Heft 3, S. 76 - 78

60. Gubsch, M.: Probleme des Mähdreschereinsatzes in Hanglagen

Deutsche Agrartechnik 17 (1967), Heft 3, S. 248 - 250

61. Gubsch, M.: Zu einigen Aspekten der Mähdrescherentwicklung

Deutsche Agrartechnik 22 (1972), Heft 3, S. 122 - 125

62. Haynes, J.L., Sayre, J.D.: Response of Corn to within-row competition

Agronomy Journ. 48, 362 - 364 (1956) Wooster, Ohio, USA

63. Hepting, L., Zscheischler, J.: Einfluß der Bestandesdichte auf Kornertrag und Trockensubstanzgehalt bei Körnermais

Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau 137, (1973), S. 46 - 56

64. Hepting, L., Zscheischler, J.: Ergebnisse aus den Landessortenversuchen mit Silomais in Bayern in Normal- und Grenzlagen, 1970 - 1972

Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 51 (1974), Heft 2, S. 172 - 190

65. Hesse, H., Möller, R.: Automatische Lenkung von Mähdreschern

Grundlagen der Landtechnik 23 (1973) Nr. 5, S. 134 - 135

66. Hofmann, P.: Maiskolbensilage, was ist das ?

Schweineproduzent (1974), Heft 5, S. 60

67. Horne, B.S.: Accuracy of Seed placement of Corn planters

ASAE-Paper Nr. 73 - 148, St.Joseph, Michigan, 1973

68. Huber, H.: Maiskolbensilage in der Schweinemast ?

Praktische Landtechnik, Wien, 27 (1974), Heft 9, S. 319 - 320

69. Jovan, D.: Maisernte mit Entkörnung

Agrartechnik 23 (1973), Heft 12, S. 544 - 546

70. Kassay, L.: Erfahrungen mit der Maisernte in Ungarn

Vortragsmanuskript der VDI-Tagung in Braunschweig, 1973

71. v. Keiser, H.: Technik bei der Getreide und Maisernte

Landtechnik 26 (1974), Heft 11, S. 479 - 481

72. v. Keiser, H.: Maschinen für die Ernte von Maiskolbenschrot

top agrar (1974), Heft 9, S. 60 - 62

73. v. Keiser, H.: Zerkleinern von Körnermais und Maiskolben

Interne Mitteilung des Instituts für Landtechnik, Kiel, 1974

74. v. Keiser, H.: Fördervorgänge, Konservierungsverfahren und Aufbereitung von Körnermais und Maiskolbenschrot

Landtechnik 30 (1975), Heft 2, S.65-70

75. v. Keiser, H.: Körnermaiskonservierung in Grenzanbaugebieten

Dissertation, Kiel (1975)

76. Kietreiber, M.: Der Saatgutwert runder Körner von Mais

Jahrbuch 1972 der österreichischen Bundesanstalt für Pflanzenbau und Samenprüfung, Wien, S. 90 - 97

77. Koch, H.: Die Organisation der Kornübergabe beim Mähdrusch

Ingenieurarbeit Witzenhausen (1973)

78. Köbsell, H.: *Kornübergabe und Mähdruschleistung*

Landtechnik, 26 (1973), Heft 13, S. 348 - 350

79. Kromer, K.H.: Maisstrohsilage

Landtechnik, 27 (1972), Heft 18, S. 411 - 413

80. Kromer, K.H.: Möglichkeiten der Nachzerkleinerung bei Exakt-Feldhäckslern

Manuskript zur Vortragstagung der Fachgruppe "Landtechnik" im VDI, München, Oktober 1972

81. Liesegang, F.: Der natürliche Standort für den Anbau von Silo- und Körnermais in Westdeutschland

Dissertation Weihenstephan (1965)

82. Long, M.E.: Planting by air power

Implement & Tractor, März 1971, S.20-23

83. Marandić, A.: Nova oprema za zaoravanje kukuruzovinje na OLT-ovim plugovima

Mehanizacija proizvodnje i dorade Kukuruza, 1971, Osijek/Jugoslawien, S. 103 - 121

84. Meyer-Spasche, G.: Über den Einfluß acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen auf das Wachstum von Mais in Westniedersachsen

Dissertation Göttingen (1973)

85. Morrison, C.S.: Attechments for Combining Corn

Agric.Engineering 36 (1955), H. 12, S. 796 - 799

86. Neugebauer, F.: Chancen für den Dreschschroter

top agrar (1975), Heft 1, S. 52 - 54

87. Nicolussi-Leck, C.: Maiskolbensilage in Italien

Mitteilungen der DLG 21 (1969), Heft 17, S. 570 - 572

88. Noack, Chr., Gubsch, M., Pinkau, H.: Einige Aspekte der Entwicklung im internationalen Mähdrescherbau

Agrartechnik 24 (1974), Heft 9, S. 447 - 450

89. Nösberger, J.: Einfluß der Bestandsdichte auf die Ertagsbildung bei Mais

Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau (1971) Heft 133, S. 215 - 232 und Heft 134, S. 42 - 49

90. O'Dogherty, M.J.: Seed displacement after impact on a soil surface

Journ. of Agric. Eng.Research, 19 (4) (1974), S. 327 - 338

91. Pamfil, C.: Der Einfluß der Fehlstellen auf den Körnermaisertrag

Inst.agr.cluij, luclarari stiint, 16 (1960), S. 55 - 62

92. Parsons, S.D., Galloway, H.M., Griffith, D.R.: Tillage planting systems for cornproduction

Report of Coop. Extens.Service, Purdue, Univ. Lafayette, Indiana, April 1967

93. Rask, N., Triplett, G.B., van Doren, D.M.: A cost analysis of no-tillage corn

Report of Research Dir. Ohio, Vol. 52, Jan/Feb.67, S. 14 - 16

94. Reuß, H.-U.: Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung der Mechanisierung im Körnermaisbau von 1965 - 1974

Diplomarbeit, Weihenstephan (1974)

95. Richey, C.B., Parsons, S.D., Griffith, D.R., Galloway, H.M.: Evulation of tillage-planting systems for corn

ASAE-Paper Nr. 73 - 113, St.Joseph, Michigan 1973

96. Riemann, U.: Das Arbeitsverfahren Feuchtgetreidesilage

KTBL-Berichte über Landtechnik, Nr. 90 (1965)

97. Riemann, U., Schneider, A.: Maiskolbensilage - ein interessantes Futter

Der Tierzüchter 21 (1969), Heft 3 S. 83 - 84

98. Riemann, U., Schneider, A.: Das Arbeitsverfahren Maiskolbensilage in der Schweinemast

Landtechnik 26 (1971), Heft 20, S. 534 - 537

99. Riemann, U., Janssen, M.A.: Konservierung von Maiskolbenhäcksel mit Propionsäure

Landtechnik 26 (1971), Heft 22, S. 571 - 573

100. Riemann, U.: Die Verfahren der Maiskolbenernte

Landtechnik 27 (1972), Heft 13

101. Rintelen, P.: Die Ökonomik des Körnermaisbaues im landwirtschaftlichen Betrieb

Berichte über Landwirtschaft Band 42 (1964), Heft 1, Seite 1 - 81

102. Rintelen, P.: Betriebswirtschaftliche Voraussetzungen für einen erfolgversprechenden Körnermaisanbau

Mitteilungen der DLG 83 (1968) Heft 47 S. 1565 - 1566

103. Rintelen, P.: Mais-Handbuch über Produktionstechnik und Ökonomik

BLV-Verlagsgesellschaft München, Bern, Wien (1971)

104. Rosegger, S.: Verfahrenstechnische Entwicklungen bei steigenden Arbeits- und Energiekosten

Archiv der DLG Band 55 (1974) S.9-32

105. Roth-Maier, D.A., Kirchgeßner, M., Grimm, K., Roth, F.X.: Zur Verfütterung verschiedener Maiskolbenschrotsilagen in der Schweinemast

Das wirtschaftseigene Futter 19 (1973) Heft 2, S. 73 - 79

106. Roth-Maier, D.A., Kirchgeßner, M.: Zur Verdaulichkeit von frischem, siliertem und getrocknetem Maiskolbenschrot bei Schweinen

Das wirtschaftseigene Futter 21 (1975)

107. Rühling, W.: Zur Ermittlung optimaler Kapazitäten landwirtschaftlicher Feldmaschinen

Landtechnik 26 (1973) Heft 1, S. 5 - 8

108. Schaefer-Kehnert — Die Kosten des Landmaschineneinsatzes

KTL-Berichte über Landtechnik (1963) Heft 74

109. Schiermeyer, H.: — Einsatzergebnisse des Cyklo-Planter IHC 400

Schriftliche Mitteilung, Stühren (1973)

110. Schrödl, J.: — Einzelkornsaat von Rüben und Mais

Mitteilungen der DLG 84 (1969) Heft 9, S. 237 - 241

111. Schrödl, J.: — Hinweise zur Maisaussaat

Mitteilungen der DLG 90 (1975) Heft 6, S. 340 - 345

112. Schuster, W., Reutzel, W.: — Standraumversuche mit Körnermais

Mitteilungen der DLG 89 (1974), Heft 24, S. 704 - 706

113. Seitz, E.: — Kornform und Saatgütwert von Mais

Mais (1975) Nr. 1, S. 22 - 23

114. Svinarev, V.J.: Wachstum und Entwicklung von Maispflanzen in Abhängigkeit von ihrer Anzahl im Nest und der Fläche der Quadrate bei der Aussaat im Quadrat-Nestverfahren

Bjulleten Moskovskogo obscestva ispytatalej pridody 152 (Mai/Juni 1961) Otdel biolgi ceshij 66, Nr. 3, S.68.76

115. Stanzel, H.: Untersuchungen zur Verbesserung der Maisbestelltechnik

Dissertation Weihenstephan (1974)

116. Steinhauser, H., Strobl, G., Grimm, K.: Zur Mast von Schweinen mit pflückgehäckselter Maiskolbenschrotsilage

Landwirtschaftliches Jahrbuch 51 (1974), Heft 7, S. 771 - 787

117. Steinhauser, H., Strobl, G.: Die Wirtschaftlichkeit der Mast von Schweinen mit Maiskolbenschrotsilage

Landwirtschaftliches Jahrbuch 51 (1974), Heft 7, S. 788 - 803

118. Stickler, F.C., Frank, R.W.: Plant distribution as a factor Affecting corn yields (Pflanzenverteilung als Einflußfaktor auf den Pflanzenbestand)

J.Deere-Technical Memorandium Nr. 65 1971

119. Stieger, W.: Einzelkornerfassung pneumatischer Maiseinzelkornsägeräte

Dissertation, Bonn (1974)

120. Strehler, A.: Die Trocknungslufttemperatur bei der Körnermaistrocknung in ihren Auswirkungen auf Trocknungstechnik, Futterqualität und Kosten

Dissertation Weihenstephan (1974)

121. Strehler, A.: Die Trocknung von Körnermais, technische Verfahren und Kosten

Mais (1974) Nr. 3, S. 12 - 16

122. Strehler, A.: Konservierung von Körnermais

AID-Schrift Nr. 378 (1974)

123. Stroppel, A.: Vergleich Tangential- und Achsialdrusch bei Mais

Interne Mitteilung über SFB-Teilprojekt B 1.6 des SFB 140 "Körnerfruchtproduktion" Hohenheim (1974)

124. Teebrügge, F.: Die Bedeutung der Nebenzeiten bei verschiedenen Transportmitteln und -vorgängen

Die Landarbeit 25 (1974) Folge 7, S.53-57

125. Wagner, A., Amberger, A., Rassadi F.: Über die Humusbildung bei der Verrottung von Maisstroh

Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 51 (1974) Heft 7, S.804-812

126. Wenner, H.-L.: Arbeitsvolumen im Körnermaisbau

Beratungsunterlagen der Landtechnik Weihenstephan Nr. 0/435

127. Wieneke, F.: Die Körnerfruchternte in den USA

Landtechnik 20 (1965) S. 566 -569

128. Wieneke, F.: Entwicklungstendenzen in der Verfahrenstechnik der pflanzlichen Produktion

Landtechnik 28 (1973) Heft 4, S. 97 - 102

129. Wieneke, F.: Automation des Mähdreschers

Berichte der internationalen Tagung "Landwirtschaftlicher Maschinenbau und Wissenschaft" Novi Sad/Jugoslawien (1974), S. 217 - 237

130. Wieneke, F., Caspers, L.: Einfluß der Zuführgeschwindigkeit, der Trommelumfangsgeschwindigkeit, der Spaltweite und des Grüngutanteils auf den Dreschvorgang

Grundlagen der Landtechnik 14 (1964) Heft 21, S. 7 - 15

131. Wischmeier, W.H.: Conservation tillage to control water erosion

Proc.of the Nat. Cons.Tillage Conference, Des Moines, Jowa 1973

132. Zechner, W.: Gewinnung und Verwendung von Maiskolbensilage in Österreich

Mitteilungen der DLG 82 (1967) Heft 6, S. 160 - 164

133. Zimmermann, M.: Field Grinding

Implement & tractor, August 1964, S. 18 - 19

134. Zimmermann, M.: 3 more machines for corn plant retrieval

Implement & Tractor, May 1969, S. 40-42

135. Zscheischler, J.: Sachlicher Bericht zur "Prüfung des Einflusses der Genauigkeit bei der Ablage des Saatgutes auf den Ertrag bei Körnermais"

Unveröffentlichter Bericht der Landessaatzuchtanstalt, Weihenstephan (1971)

136. Zscheischler, J., Hepting, L.: Standraumversuche zu Körnermais 1972-1974 in Weihenstephan

Unveröffentlichter Versuchsbericht der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München/ Weihenstephan (1974)

137. Zscheischler, J., Hepting, L.: Ergebnisse aus den Körnermais-Landessortenversuchen bei unterschiedlichen Standräumen in Bayern 1970-72

Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 51 (1974) S. 304 - 317

138. Zweifler, E.: Probleme des österreichischen Maisbaues

Bodenkultur, Wien 16 (1965) S. 102-131

139. Zweifler, E.: Sortenversuche 1971 bei Körnermais und Körnersorgum

Versuchsergebnisse der österreichischen Bundesanstalt für Pflanzenbau und Samenprüfung, Wien (1972)

140. -- Technische Informationen über Konstruktion, Bau- und Arbeitsweise von Anbau-Strohhäckslern verschiedener Landmaschinenfirmen

141. -- Möglichkeiten und Probleme der Strohverwertung

Ergebnisprotokoll eines Industrie- und Arbeitsgesprächs, Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan (1974) Heft 7 S. 9

142. -- Technische Information und Betriebsanleitung der Firma Fahr, Gottmadingen

143. -- Technische Information und Betriebsanleitungen der Maschinenfabrik Claas, Harsewinkel

144. -- Technische Information und Betriebsanleitung der Firma Epple-Buxbaum, Wels, Österreich

145. -- Technische Information und Betriebsanleitung der Firma C.Geringhoff, Ahlen/Westfalen

146. -- Unveröffentlichte Aufstellung über Kalibrierungsstufen und schriftliche Information

Firma Nungesser, Darmstadt

147. -- Schriftliche Information über Einteilung der Kalibrierungsstufen bei Sorte "Decalb" Firma Harms, Herford/Westfalen

148. -- Schriftliche Information der Badischen landwirtschaftlichen Zentralgenossenschaft, Karlsruhe

149. -- Schriftliche Mitteilungen der Firma Harms, Herford/Westfalen

150. -- Prüfbestimmungen für Mais-Einzelkornsämaschinen

DLG-Prüfstelle, Groß Umstadt, Januar 1975

151. -- Vergleichende Untersuchungen bei Spezial-Maissägeräten

Unveröffentlichter Versuchsbericht, Institut für Landtechnik, Bonn (1972)

152. -- Maschinenprüfberichte über Einzelkornsämaschinen für Maisaussaat Nr. 2125, 2126, 2127, 2150, 2323 und 2330

Prüfungsabteilung für Landmaschinen der DLG, Frankfurt am Main

153. -- Definition des Bewertungsmaßstabes "Standgenauigkeit"

Unveröffentlichtes Protokoll der Sitzung des Ausschusses "Technik und Arbeitswirtschaft" im Deutschen Maiskomitee, Frankfurt am Main (1970)

154. -- Corn Management Research Report

Ergebnisse der Feldversuche 1969/70, Pioneer Seeds Comp. Des Moines, Jowa USA

155. -- Till Planter

Techn.Information der Fleischer Man. Inc.Columbus, Nebraska

156. -- Beschreibende Sortenliste für Körnermais

Bundessortenamt, Detmold (1975)

157. -- Unveröffentlichte Versuchsprotokolle

DLG-Prüfstelle, Groß Umstadt (1974)

158. -- Landwirtschaft der Zukunft - Getreide, Körnermais, Raps-

KTBL-Manuskriptdruck 33 b (1975), Darmstadt/Hiltrup

159. -- Technische Informationen, Prospekte und Betriebsanleitungen

Verschiedene Herstellerfirmen von Mähdreschern und Pflückreblern

160. -- Technische Information und Betriebsanleitung der pneumatischen Einzelkornsämaschine "Monoair"

Maschinenfabrik Fähse, Düren (1975)

161. --. Technische Information über die Maiskolben-Vollerntemaschine "Triumpf" Combi 2000

Firma Kirchner, Anzenhof/Österreich

162. -- Technische Information über den Spezial-Maisernter

Firma Pöttinger, Grieskirchen/Österreich

163. -- Eine neue Maisreihe

Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, 165 (1975) Heft 7, S. 4

164. -- Technische Information über den Unterbauhäcksler für vierreihigen Pflückvorsatz

Maschinenfabrik Gebrüder Claas, Harsewinkel (1974)

165. -- Aufgaben und Arbeitsweise des Instituts für Betriebstechnik

Sonderdruck der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode (1973)

166. -- Technische Information über den Maisstrohschläger

Maschinenfabrik C.Geringhoff, Ahlen/Westfalen (1973).

VII. ANHANG

Anhangs-Darstellung

1 Siebdiagramme für Maissaatgut der Sorte "INRA"

2 Kornabmessungen bei der Kalibrierung von Saatmais, Sorte "INRA"

3 Kaliberbezeichnungen und Kornabmessungen bei der Kalibrierung von Saatmais der Sorte"DeKalb"

4 Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1973) System I und II

5 dgl. System III

6 dgl. System IV

7 dgl. System IV

8 Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1974), System I, 16- und 36-Löffel

9 dgl. System II und System III

10 dgl. System IV und System V

11 dgl. System VI

12 dgl. System VI

13 Vergleich der Saattabellenwerte mit den tatsächlich abgelegten Kornzahlen je ha (Versuchsjahr 1974) System I, 18-Löffelscheibe

14 dgl. System I, 36-Löffel-Scheibe

15 dgl. SystemmII

16 dgl. System III

17 dgl. System IV

18 dgl. System V

19 dgl. System VI

20 Graph. Darstellung der Tiefenablageergebnisse, System I (18)

21 dgl. System I (36 Löffel)

22 dgl. System II und System III

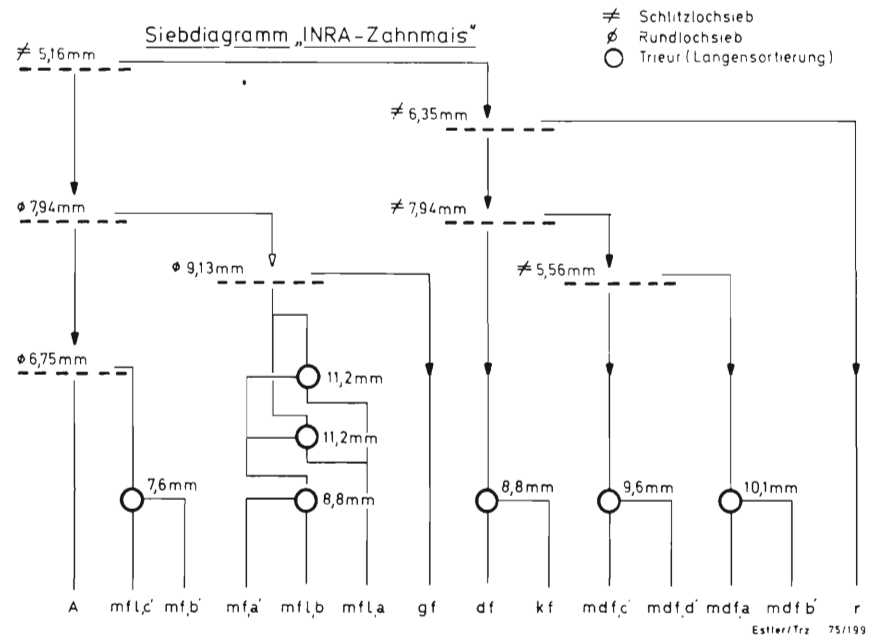
23 dgl. System IV und System V

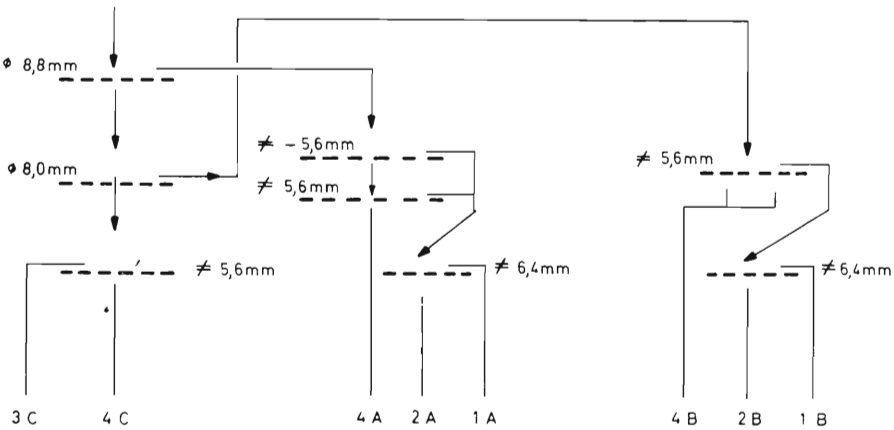
24 dgl. System VI

25 Ablauf des Rechenprogramms "Wurfweite bei der Maissaat"

26 Gesamtkosten für die Maissaat mit 4-reih.Einzelkornsämaschine

27 Ergebis der Leistungsbedarfsmessung bei Spezial-Strohschlägern





Anhangs-Darstellung 1

Siebdiagramme für Maissaatgut der Sorte "INRA" (Quelle:146)
(oben: Zahnmais unten: Hartmais)

Kaliber-Bezeichnung		Siebmaße (mm) Rundloch	Schlitzloch	Länge
Zahnmaisform				
mittelflach	"a"	7,94-9,13	5,16	8,8-11,2
	"b"	6,75-7,94	5,16	7,6
mittelflach-lang	"a"	7,94-9,13	5,16	11,2
	"b"	7,94-9,13	5,16	8,8
	"c"	6,75-7,94	5,16	7,6
mittelflach-dick	"a"	7,94	5,56-6,35	10,4
	"b"	7,94	5,56-6,35	10,4
	"c"	7,94	5,56	9,6
	"d"	7,94	5,56	9,6
großflach		9,13	5,16	-
dickflach		7,94	5,16-6,35	8,8
kurzflach		7,94	5,16-6,35	8,8
Hartmaisform				
Nr. 1 A		8,8	6,4	
1 B		8,0	6,4	
2 A		8,8	5,6-6,4	
2 B		8,0	5,6-6,4	
3 C		8,0	5,6	
4 A		8,8	5,6	
4 B		8,0	5,6	
4 C		8,0	5,6	

Anhangs-Darstellung 2

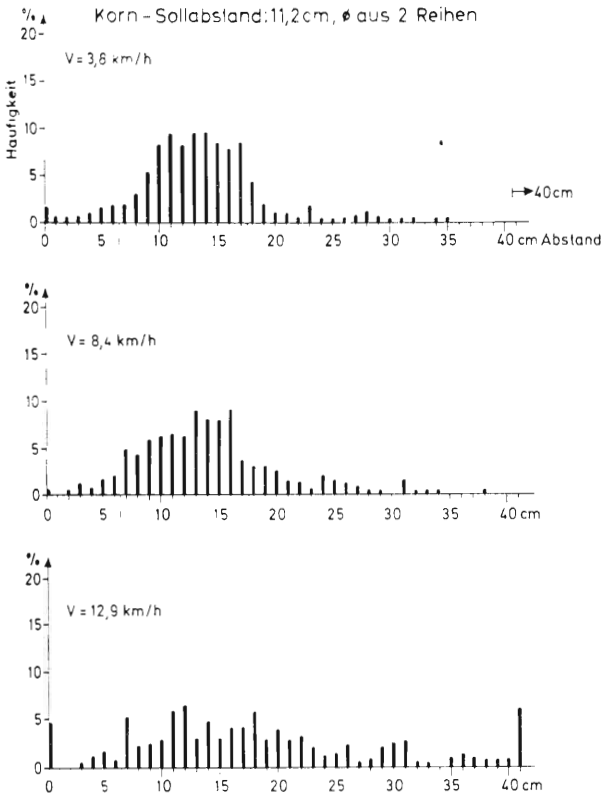
Kornabmessungen bei der Kalibrierung von Saatmais der Sorte INRA (Quelle 146)

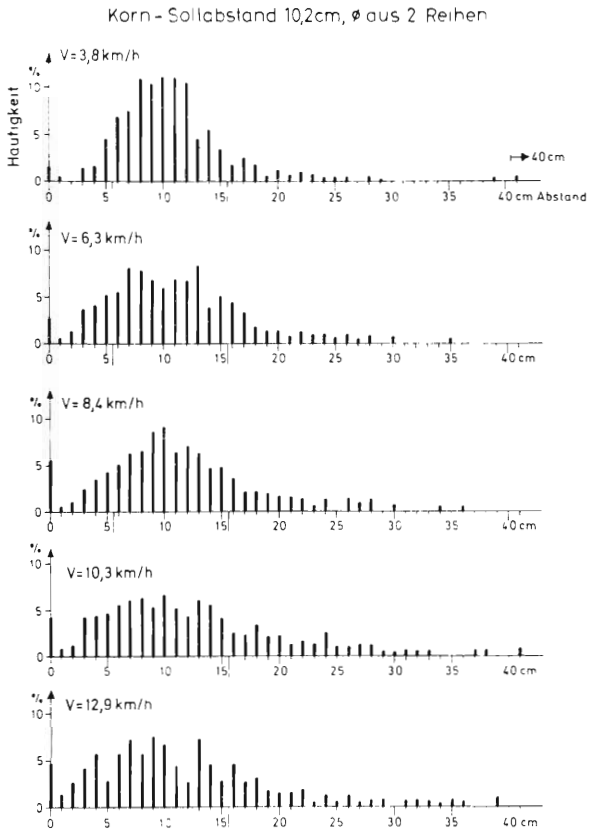
		Absiebung , mm (Ø)					
		6,8–7,6	7,0–7,8	7,6–8,8	8,0–9,0	8,0–9,2	8,8–9,2
flach	Korndicke mm	– 5,2 ≠	– 5,2 ≠	– 5,2 ≠	– 5,6 ≠	– 5,6 ≠	– 5,2 ≠
	Kaliber-bezeichnung	mittelflach lang[2]	dickflach	mittelflach mittelflach lang[1]	mittelflach lang[3]	mittelflach dick	großflach lang
rund	Korndicke mm		– 5,2 ≠			– 5,6 ≠	
	Kaliber-bezeichnung		rund			mittelrund	

Zeichenerklärung: Ø = Rundloch-Absiebung ≠ Schlitzloch-Absiebung

Anhangs-Darstellung 3

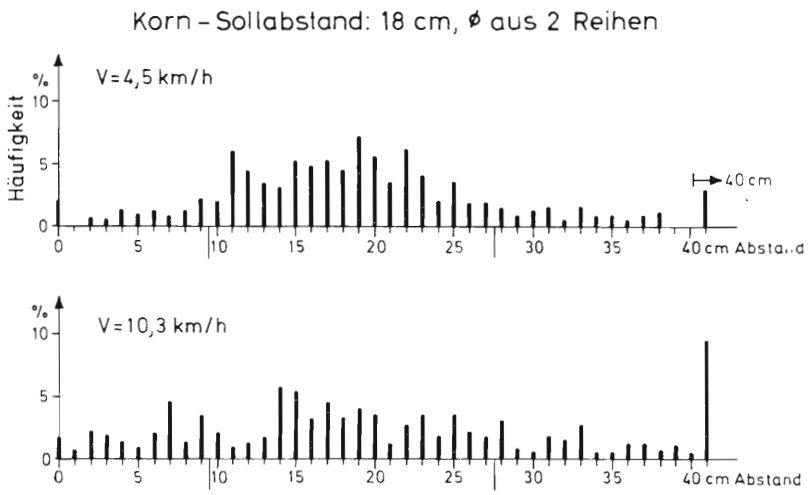
Kaliberbezeichnungen und Kornabmessungen bei der Kalibrierung von Saatmais der Sorte DeKalb (Quelle 147)





System I

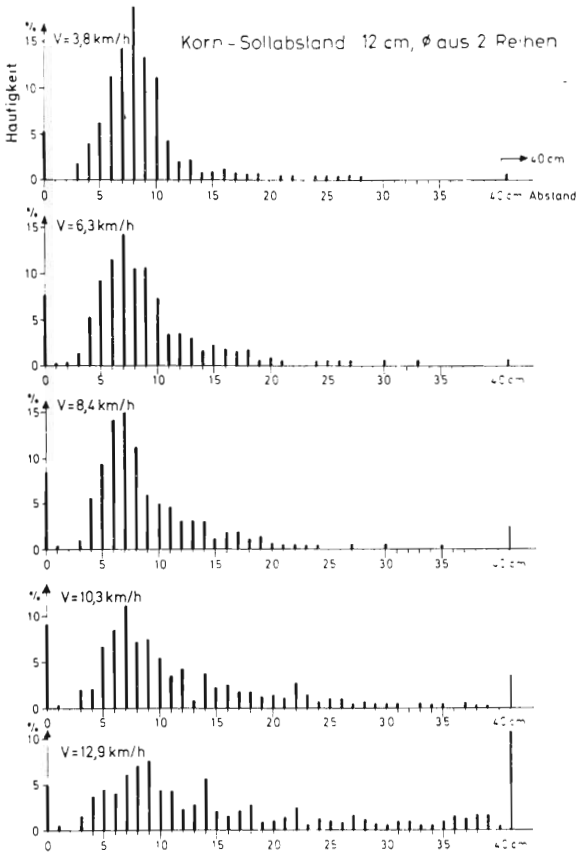
(Lochring mit Kammerrad)

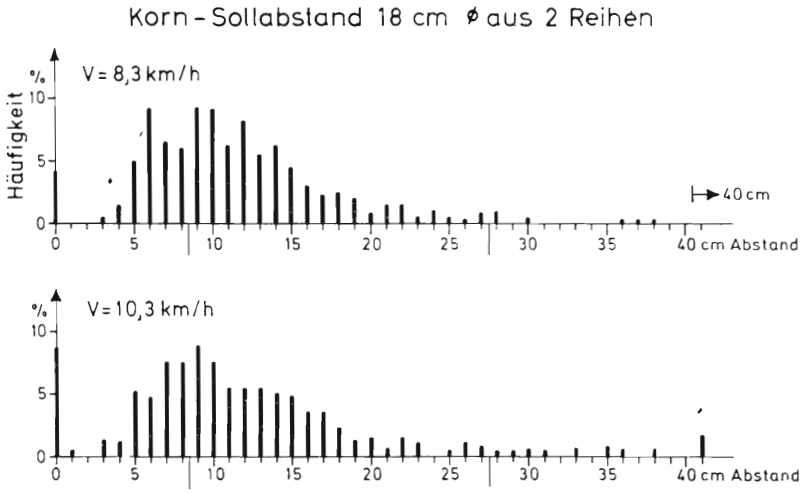


System II (Lochscheibe mit einer Reihe Lochbohrungen)

Anhangs-Darstellung 4

Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1973)



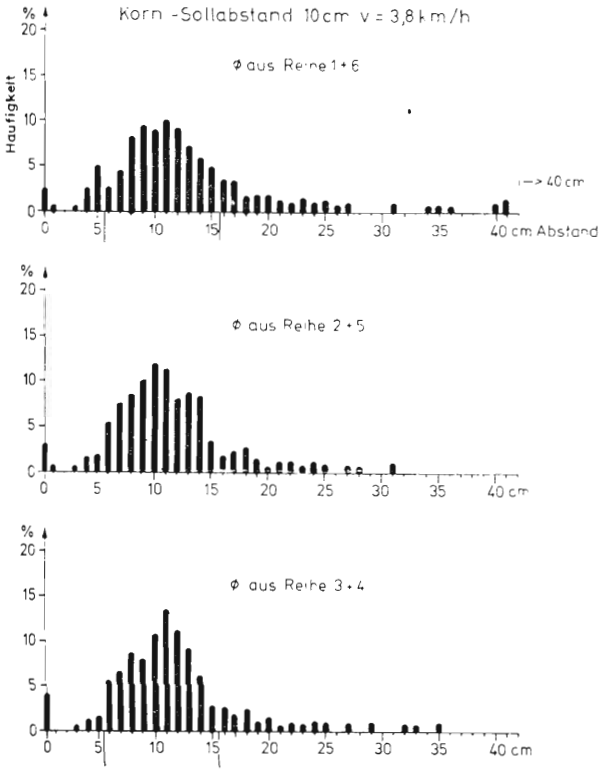


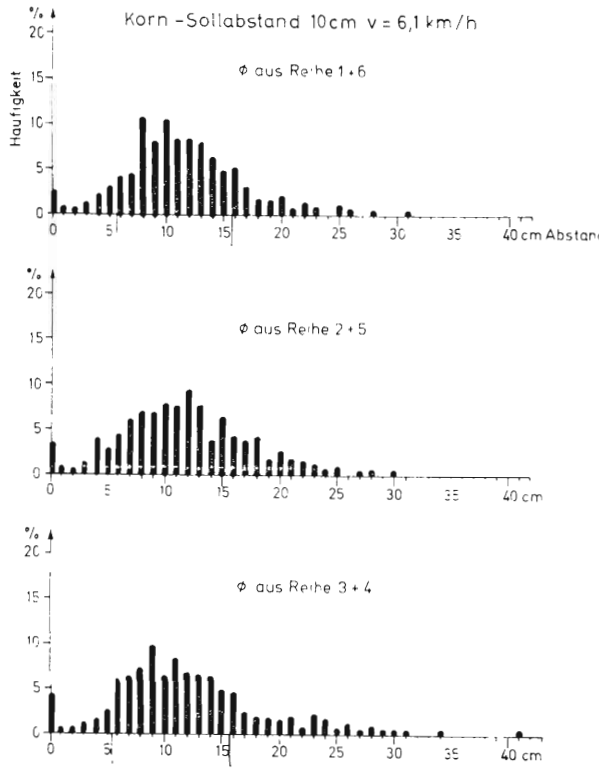
System III

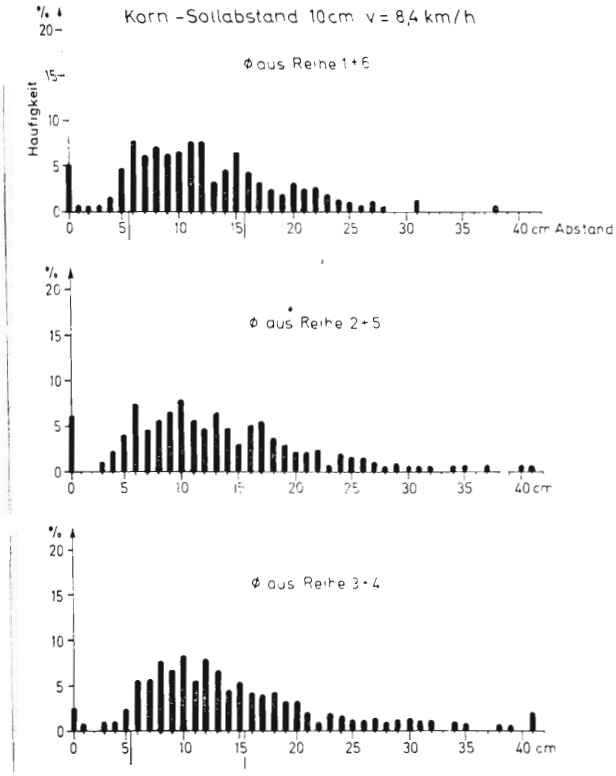
(Druckspülsystem)

Anhangsdarstellung 5

Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1973)





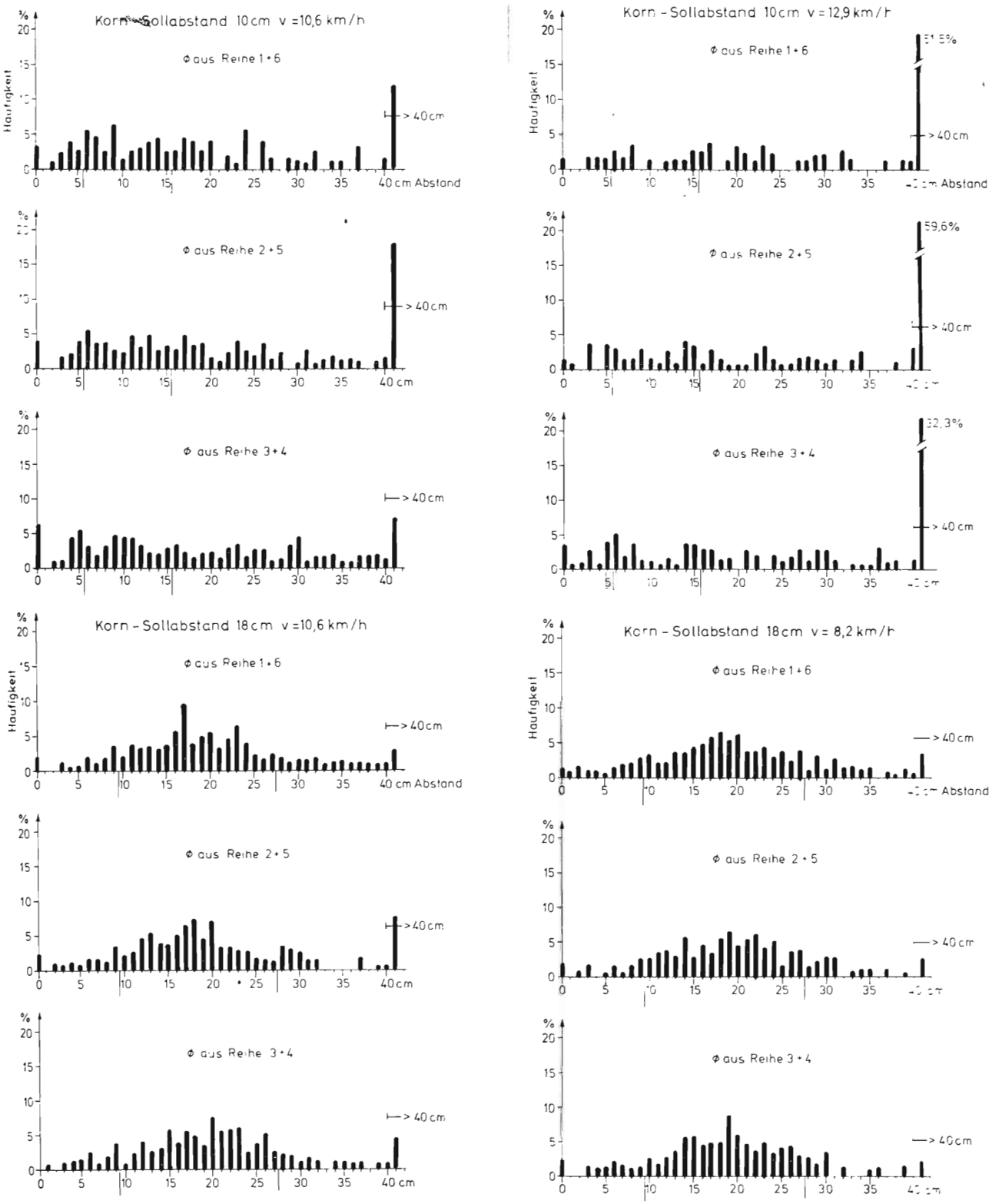


System IV

(US-Druckluftsystem)

Anhangs-Darstellung 6

Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1973)

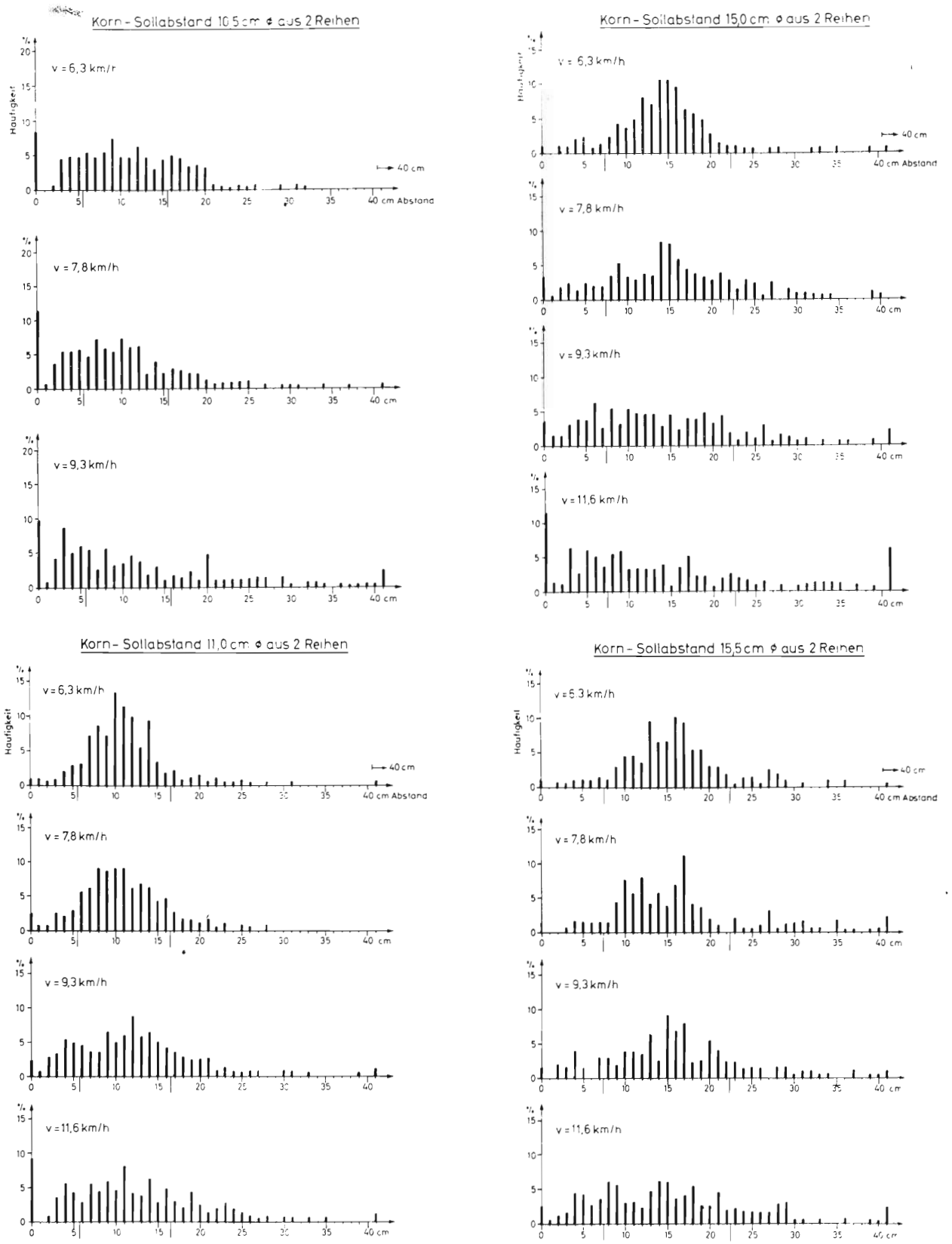


System IV

(US-Druckluftsystem)

Anhangs-Darstellung 7

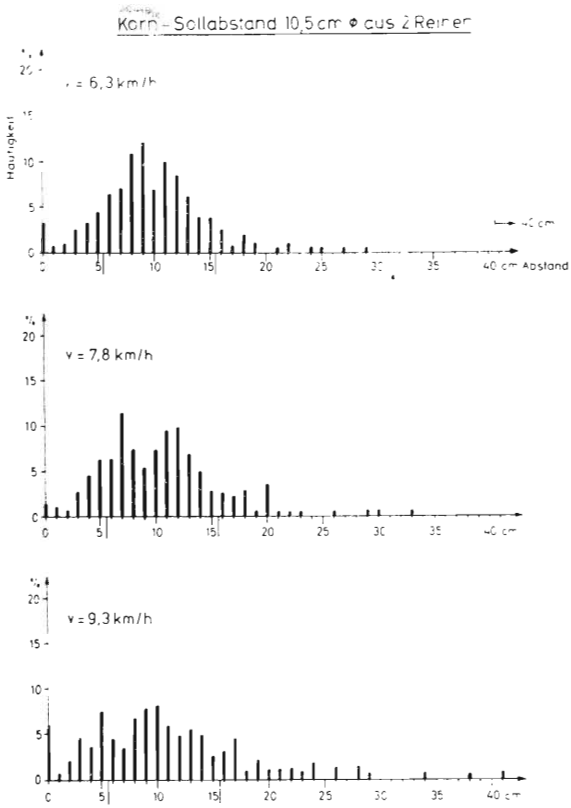
Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1973)

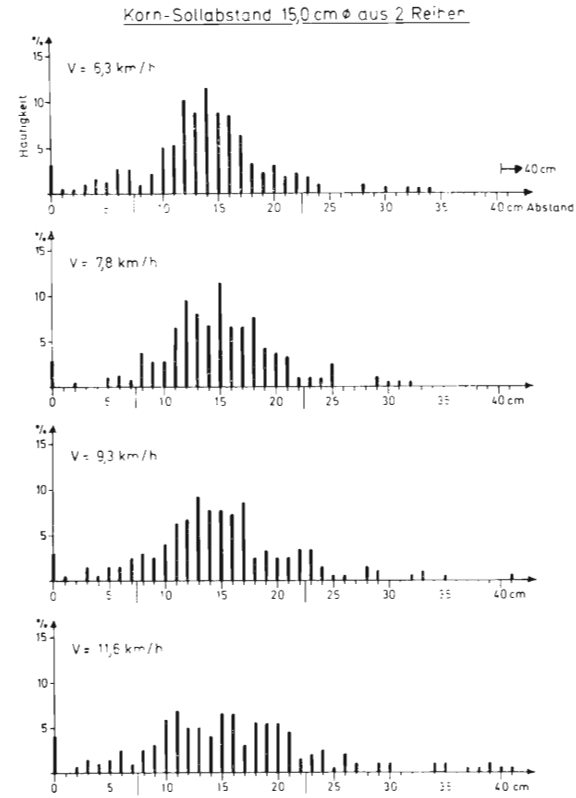


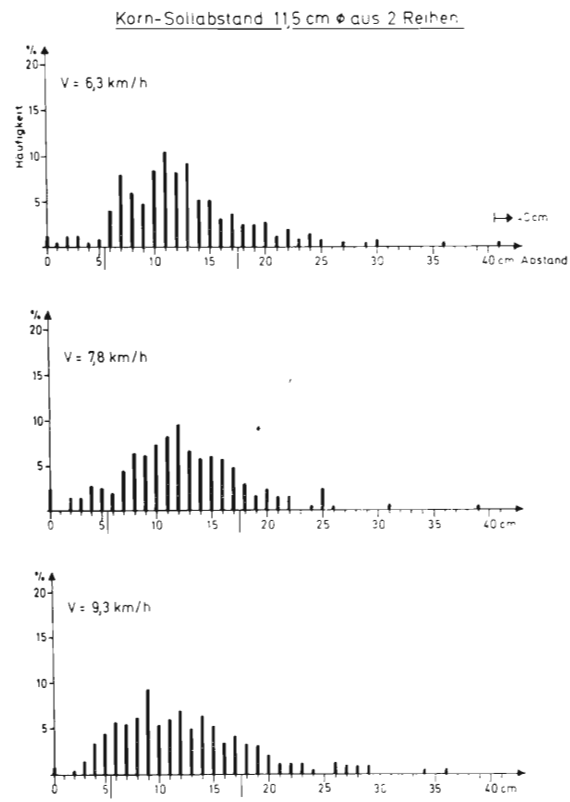
System I (Löffelscheibe mit Kammerrad) oben: 18-Löffel-Scheibe
unten: 36-Löffel-Scheibe

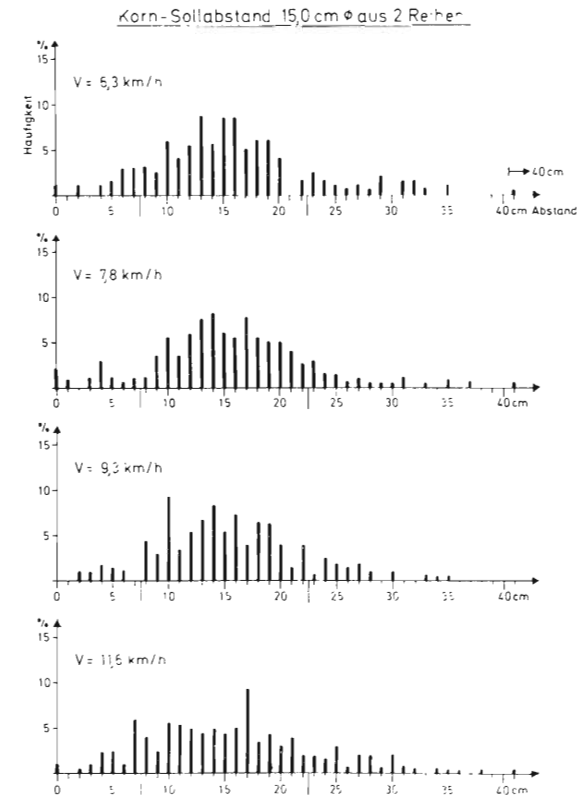
Anhangs-Darstellung 8

Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung
(Versuchsjahr 1974)







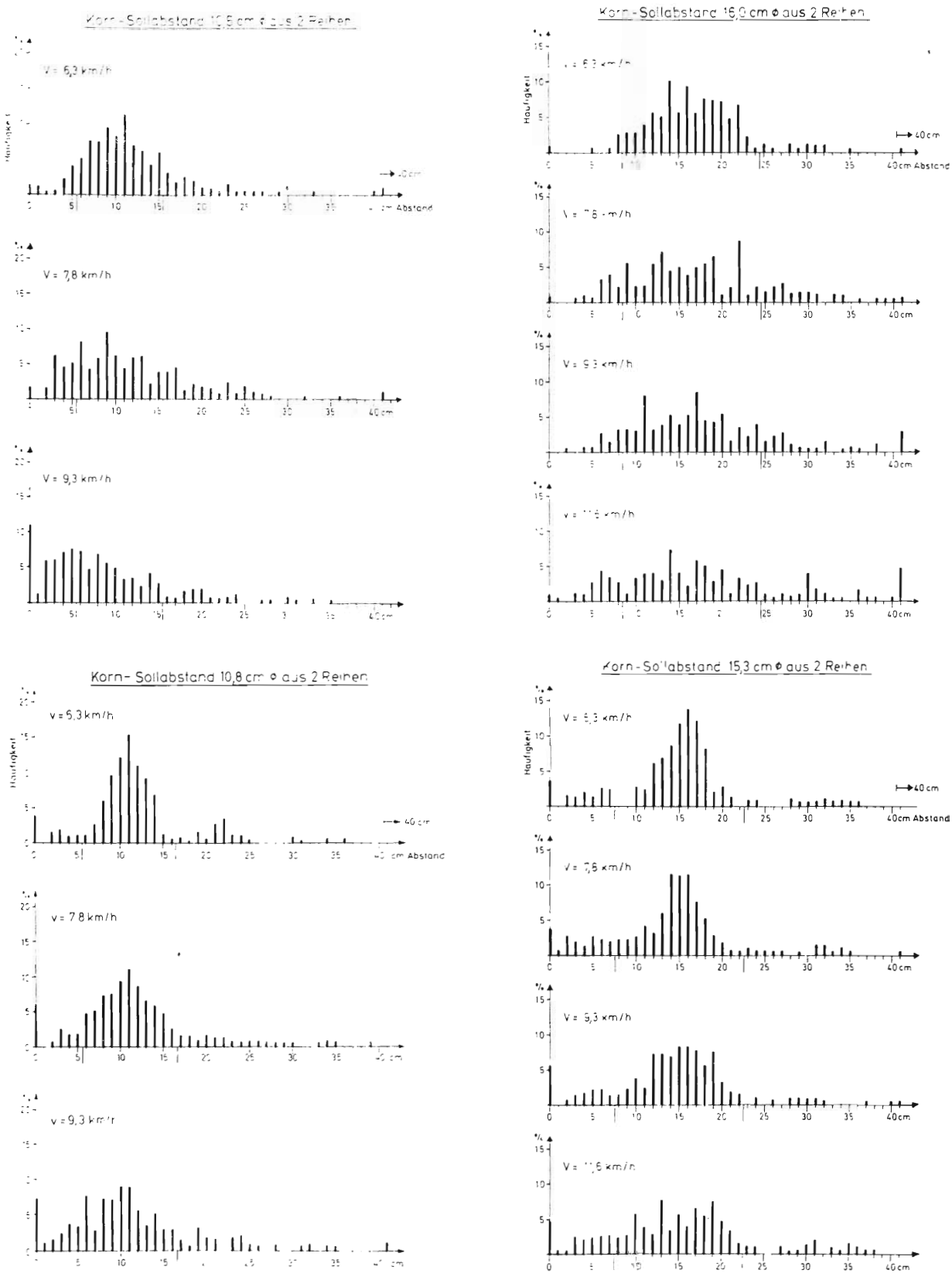


oben: System II (Lochring mit Kammerrad)

unten: System III (Lochscheibe mit 1 Reihe Lochbohrungen)

Anhangs-Darstellung 9

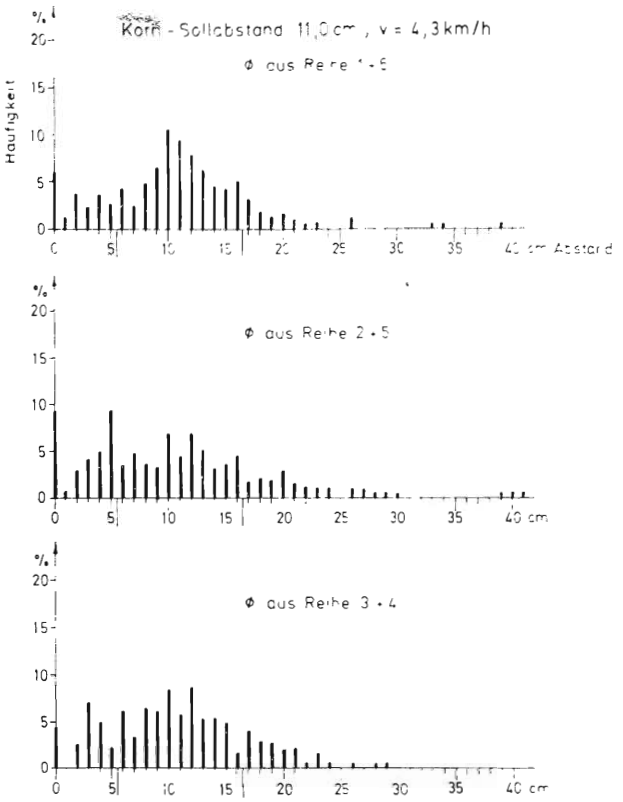
Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1974)

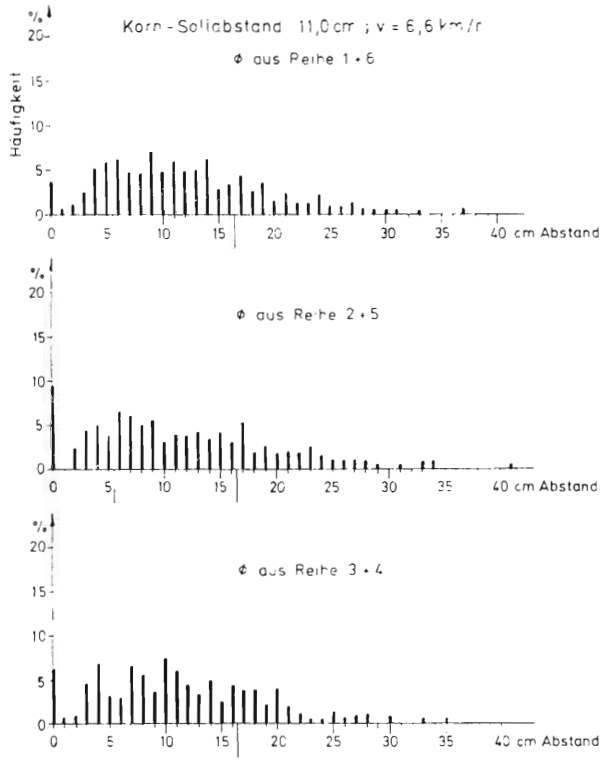


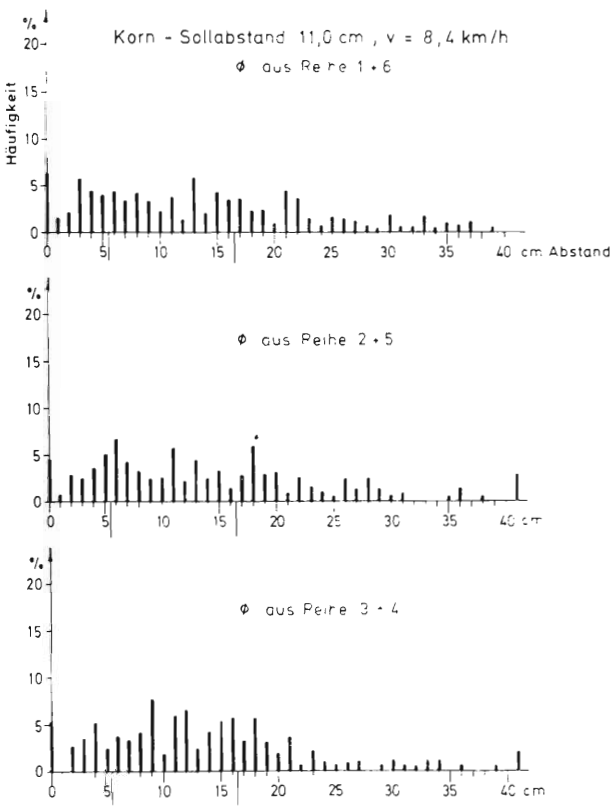
oben: System IV (Lochscheibe mit 2 Lochbohrungen)
unten: System V (Druck-Spül-System)

Anhangs-Darstellung 10

Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1974)





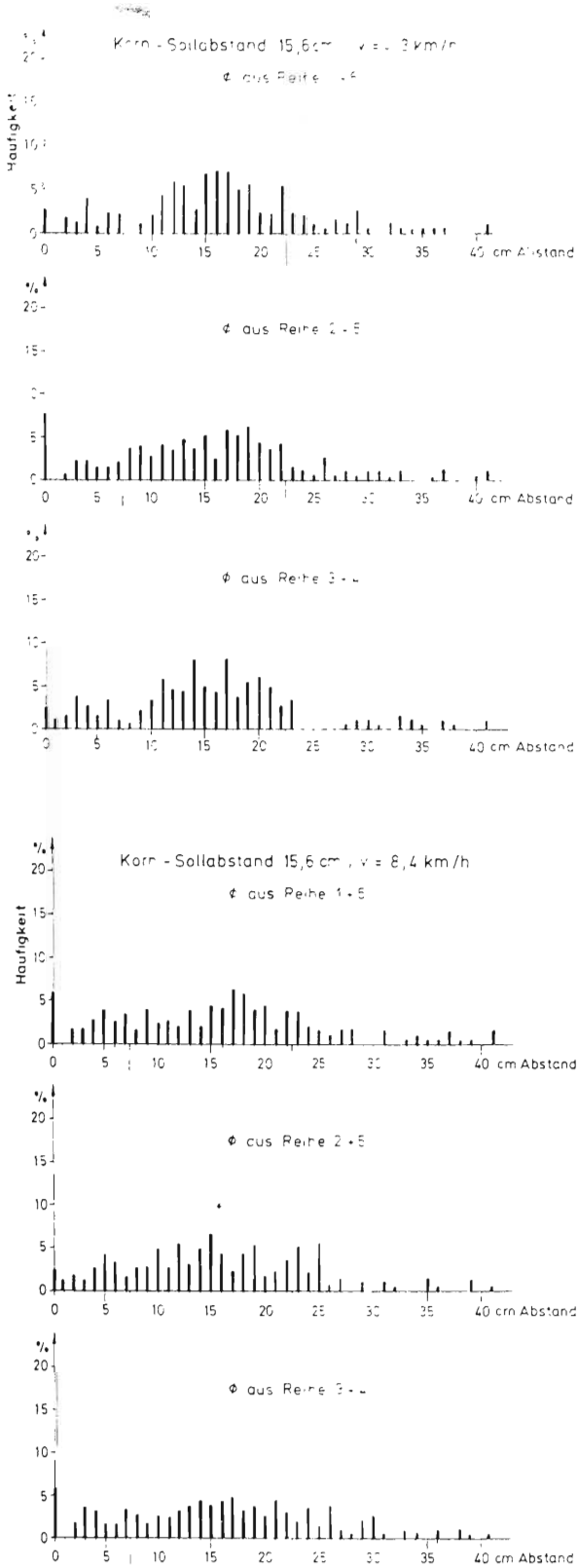


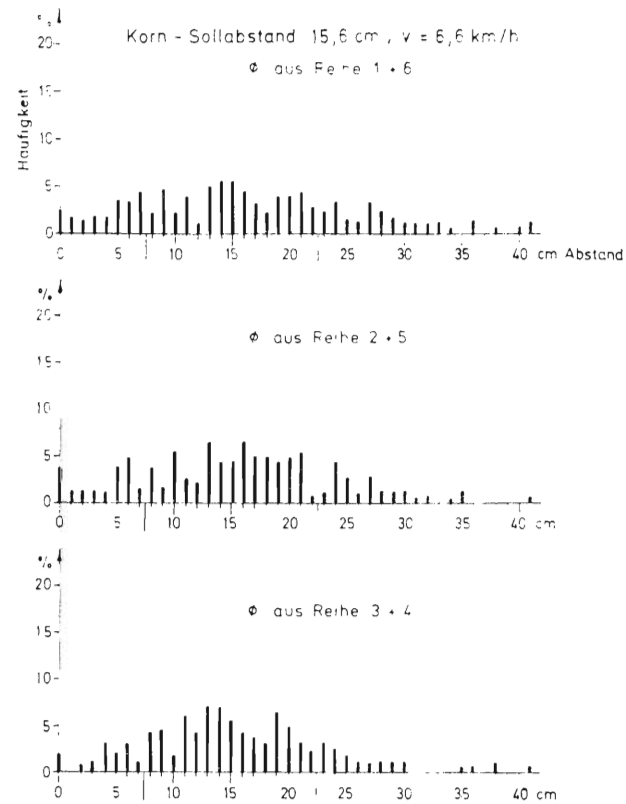
System VI

(US-Druckluftsystem)

Anhangs-Darstellung 11

Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1974)





System VI

US-Druckluftsystem

Anhags-Darstellung 12

Graphische Darstellung der Kornablageergebnisse als Normalverteilung (Versuchsjahr 1974)

Fahrt	km/h	Korn-abstand	Ablage			Aussaat – ha			Pflanzen-Bestand	
									aufgelaufene Pfl./ha	
			Doppel %	Soll %	Fehl %	laut Tabelle Körner	Feldeinsatz Körner	% von Tab.	ø 92 % FA	% von Tab.
14 v.	6,3	10,5 cm	23,3	52,2	24,5	126 981	133 564	+ 5,2	122 874	– 3,2
14 h.	7,8	10,5 "	31,8	51,8	16,4	126 981	156 017	+ 22,9	143 530	+ 13,0
15 h.	9,3	10,5 "	34,3	37,5	28,2	126 981	120 547	– 5,1	110 899	– 12,7
12 v.	6,3	15,0 cm	9,3	84,3	6,4	88 889	96 995	+ 9,1	89 232	+ 1,0
12 h.	7,8	15,0 "	15,7	69,5	14,8	88 889	93 759	+ 5,5	86 255	– 3,0
13 h.	9,3	15,0 "	25,2	60,5	14,3	88 889	99 135	+ 11,5	91 201	+ 2,6
13 v.	11,6	15,0 "	37,0	46,1	16,9	88 889	104 737	+ 17,8	96 354	+ 8,4

Anhangs-Darstellung 13

Ergebnisse der Saatversuche 1974, System I, 18-Löffel-Scheibe

(Vergleich der Saattabellenwerte mit den tatsächlich abgelegten Kornzahlen je ha)

Fahrt	km/h	Korn abstand	Ablage			Aussaat - ha			Pfl.-Bestand	
						laut Tabelle	Feldeinsatz		aufgelaufene Pfl./ha	
			Doppel %	Soll %	Fehl %	Körner	Körner	% von Tab.	Ø 92 % FA	% von Tab.
16 v.	6,3	11,0 cm	5,7	85,0	9,3	121 209	125 465	+ 3,5	115 423	- 4,8
16 h.	7,8	11,0 "	10,7	74,5	14,8	121 209	127 283	+ 5,0	117 096	- 3,4
17 h.	9,3	11,0 "	16,1	66,1	17,8	121 209	121 011	- 0,2	111 326	- 8,2
17 v.	11,6	11,0 "	19,3	58,9	21,8	121 209	121 819	+ 0,5	112 069	- 7,5
18 v.	6,3	15,5 "	5,2	80,6	14,2	86 019	87 132	+ 1,3	80 158	- 6,8
18 h.	7,8	15,5 "	7,4	74,4	18,2	86 019	86 694	+ 0,8	79 755	- 7,3
19 h.	9,3	15,5 "	11,2	70,0	18,8	86 019	88 022	+ 2,3	80 977	- 5,9
19 v.	11,6	15,5 "	16,5	62,2	21,3	86 019	91 666	+ 6,5	84 329	- 1,9

Anhangs-Darstellung 14

Ergebnisse der Saatversuche 1974, System I, 36-Löffel-Scheibe
(Vergleich der Saattabellenwerte mit den tatsächlich erreichten Kornzahlen je ha)

Fahrt	km/h	Korn abstand	Ablage			Aussaat - ha			Pflanzen-Bestand	
							Feldeinsatz		aufgelaufene Pfl./ha	
			Doppel %	Soll %	Fehl %	laut Tabelle Körner	Körner	% von Tab.	ø 92 % FA	% von Tab.
20	6,3	10,5 cm	14,2	77,4	8,4	126 981	147 111	+ 15,9	135 337	+ 6,6
21	7,8	10,5 cm	15,6	71,0	13,4	126 981	137 742	+ 8,5	126 718	- 0,2
22	9,3	10,5 cm	24,7	55,3	20,0	126 981	132 762	+ 4,6	122 137	- 3,8
23	6,3	15,0 cm	13,3	81,3	5,4	88 889	104 154	+ 17,2	95 818	+ 7,8
24	7,8	15,0 cm	6,7	86,5	6,8	88 889	97 840	+ 10,1	90 009	+ 1,3
25	9,3	15,0 cm	10,7	79,0	10,3	88 889	97 096	+ 9,2	89 325	+ 0,5
26	11,6	15,0 cm	12,6	72,9	14,5	88 889	92 036	+ 3,3	84 670	- 4,7

Anhangs-Darstellung 15

Ergebnisse der Saatversuche 1974, System II (Lochring mit Kammerrad)

(Vergleich der Saattabellenwerte mit den tatsächlich abgelegten Kornzahlen je ha)

Fahrt	km/h	Korn-abstand	Ablage			Aussaat - ha			Pflanzen-Bestand	
			Doppel %	Soll %	Fehl %	laut Tabelle Körner	Feldeinsatz Körner	Feldeinsatz % von Tab.	aufgelaufene Pfl/ha Ø 92 % FA	aufgelaufene Pfl/ha % von Tab.
10	6,3	11,5 cm	5,2	78,3	16,5	115 940	113 909	- 1,7	104 792	- 9,6
11	7,8	11,5 cm	11,0	75,3	13,7	115 940	116 224	+ 0,2	106 940	- 7,8
19	9,3	11,5 cm	10,9	71,0	18,1	115 940	117 984	+ 1,8	108 541	- 6,4
15	6,3	15,0 cm	10,6	75,0	14,4	88 889	91 566	+ 3,0	84 237	- 5,2
16	7,8	15,0 cm	9,8	77,3	12,9	88 889	91 361	+ 2,8	84 049	- 5,4
17	9,3	15,0 cm	8,9	78,7	12,4	88 889	93 385	+ 5,1	85 911	- 3,4
18	11,6	15,0 cm	14,3	68,9	16,8	88 889	92 510	+ 4,1	85 106	- 4,3

Anhangs-Darstellung 16

Ergebnisse der Saatversuche 1974, System III (Lochscheibe mit 1 Reihe Lochbohrungen)

(Vergleich der Saattabellenwerte mit den tatsächlich abgelegten Kornzahlen je ha)

Fahrt	km/h	Korn-abstand	Ablage			Aussaat - ha			Pflanzen-bestand	
			Doppel %	Soll %	Fehl %	laut Tabelle Körner	Feldeinsatz Körner	% von Tab.	aufgelaufene Pfl./ha Ø 92 % FA	% von Tab.
20 h.	6,3	10,5 cm	14,3	74,2	16,5	119 048	117 905	- 1,0	108 468	- 8,9
21 h.	7,8	10,5 cm	18,7	56,4	24,9	119 048	113 157	- 4,9	104 100	- 12,6
21 v.	9,3	10,5 cm	40,2	47,1	12,7	119 048	159 673	+ 34,1	148 893	+ 25,1
22 v.	6,3	16,0 cm	4,4	87,9	7,7	78 125	80 004	+ 2,4	73 601	- 5,8
22 h.	7,8	16,0 cm	11,6	71,2	17,2	78 125	77 630	- 0,6	71 417	- 8,6
23 h.	9,3	16,0 cm	9,7	72,9	17,4	78 125	75 755	- 3,0	69 692	- 10,8
23 v.	11,6	16,0 cm	18,6	60,2	21,2	78 125	73 930	- 5,4	68 013	- 12,9

Anhangs-Darstellung 17

Ergebnisse der Saatversuche 1974, System IV, (Lochscheibe mit 2 Reihen Lochbohrungen)

(Vergleich der Saattabellenwerte mit den tatsächlich abgelegten Kornzahlen je ha)

Fahrt	km/h	Korn-abstand	Ablage			Aussaat - ha			Pflanzen-Bestand	
			Doppel %	Soll %	Fehl %	laut Tabelle Körner	Feldeinsatz		aufgelaufene Pfl./ha	
							Körner	% von Tab.	ø 92 % FA	% von Tab.
2	6,3	10,8 cm	9,0	76,5	14,5	123 454	122 479	- 0,8	112 676	- 8,7
3	7,8	10,8 cm	12,3	73,7	14,0	123 454	127 094	+ 2,9	116 922	- 5,3
4	9,3	10,8 cm	20,0	64,0	16,1	123 454	130 997	+ 6,1	120 513	- 2,4
5	6,3	15,3 cm	14,4	80,2	5,4	87 143	101 061	+ 16,0	92 973	+ 6,7
6	7,8	15,3 cm	16,8	74,3	8,9	87 143	101 402	+ 16,4	93 312	+ 7,1
7	9,3	15,3 cm	15,0	78,2	6,8	87 143	100 338	+ 15,1	92 308	+ 5,9
8	11,6	15,3 cm	18,1	69,5	12,4	87 143	96 311	+ 10,5	88 603	+ 1,7

Anhangs-Darstellung 18

Ergebnisse der Saatversuche 1974, System V (Druckspülsystem)

(Vergleich der Saattabellenwerte mit den tatsächlich abgelegten Kornzahlen je ha)

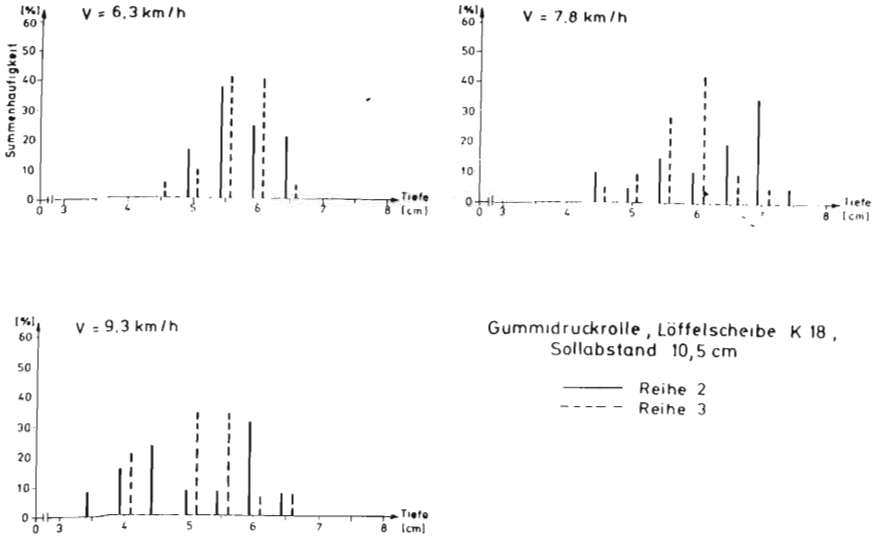
Fahrt	1	2	3	4	5	6
km/h	4,3	6,6	8,4	4,3	6,6	8,4
Kornabstand cm	11,0	11,0	11,0	15,6	15,6	15,6
Ablage						
% Doppelbelegg.	22,0	22,1	20,6	16,6	17,0	20,2
min./max.	10,7-31,1	19,0-29,8	17,6-30,4	12,3-21,2	11,9-22,0	14,7-27,5
% Sollablage	62,5	53,7	45,7	67,9	64,4	60,6
min./max.	49,7-73,0	43,7-60,2	36,9-53,2	60,5-75,0	54,9-70,5	51,6-73,4
% Fehlstellen	15,5	24,2	33,7	15,5	18,6	19,2
min./max.	10,1-19,3	20,8-27,8	27,9-39,1	11,3-23,2	15,4-23,1	8,6-26,2
Aussaat						
Körner lt.Tab.	121 209	121 209	121 209	85 469	85 469	85 469
Körner bei Feldeinsatz	134 415	124 384	103 420	91 651	91 336	89 942
% Abweichung von Tabelle	+ 10,9	+ 2,6	- 14,7	+ 7,2	+ 6,8	+ 5,2
Pflanzenbestand je ha aufgeleufene Pflanzen bei 92 % Feldaufgang	123 657	114 429	95 143	84 316	84 026	82 743
% Abweichung von Tabelle	+ 2,0	+ 5,6	- 21,5	- 1,3	- 1,7	- 3,2

Anhangs-Darstellung 19

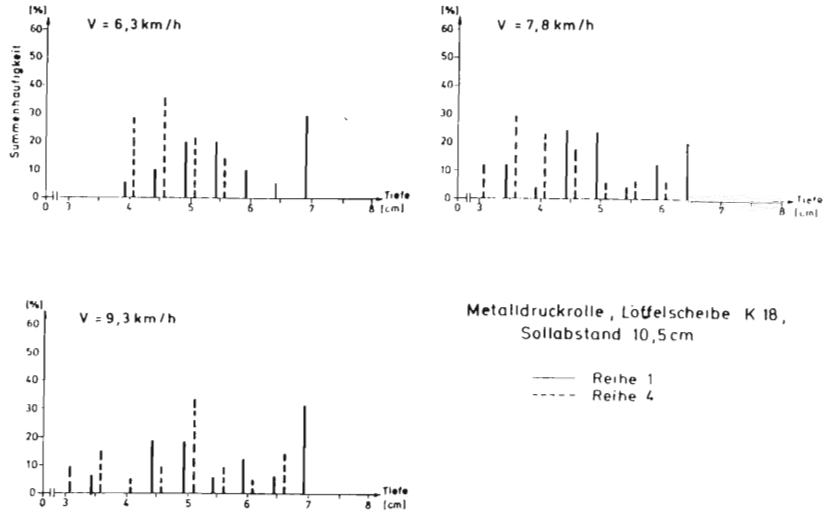
Ergebnisse der Saatversuche 1974, System VI (US-Druckluftsystem)

(Vergleich der Saattabellenwerte mit den tatsächlich abgelegten Kornzahlen je ha)

Anhags-Darstellung 20
Graphische Darstellung der Tiefenablageergebnisse (System I, 18-Löffel)

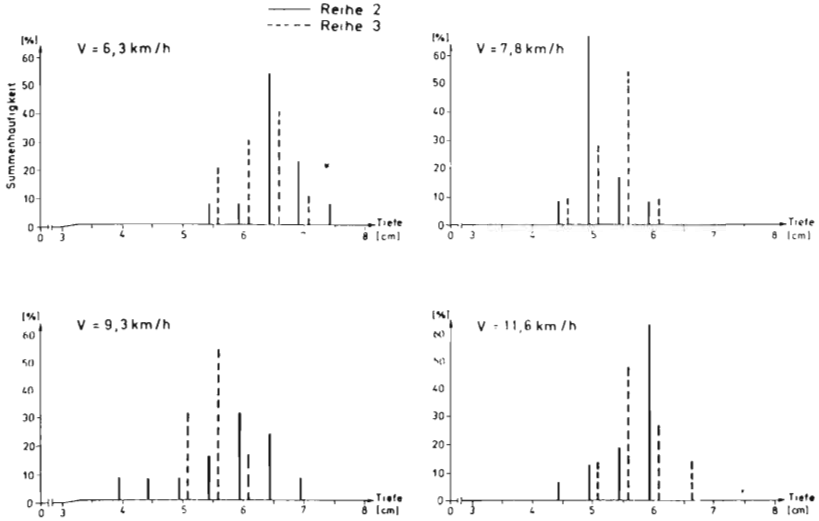


Es/75/129



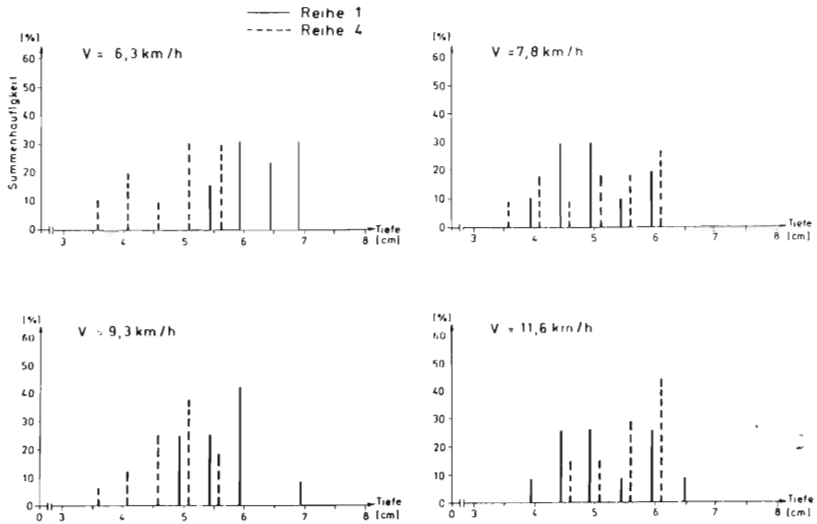
Es 75/131

" (Gummidruckrolle, Löffelscheibe K 18, Sollabstand 15,0 cm)



Es 75/130

" (Metalldruckrolle, Löffelscheibe K 18, Sollabstand 15,0 cm)

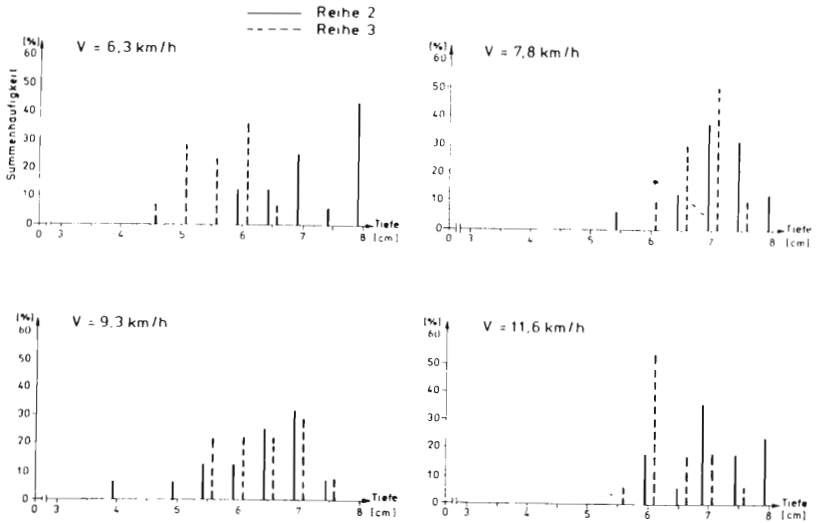


Es 75/132

Anhangs-Darstellung 21

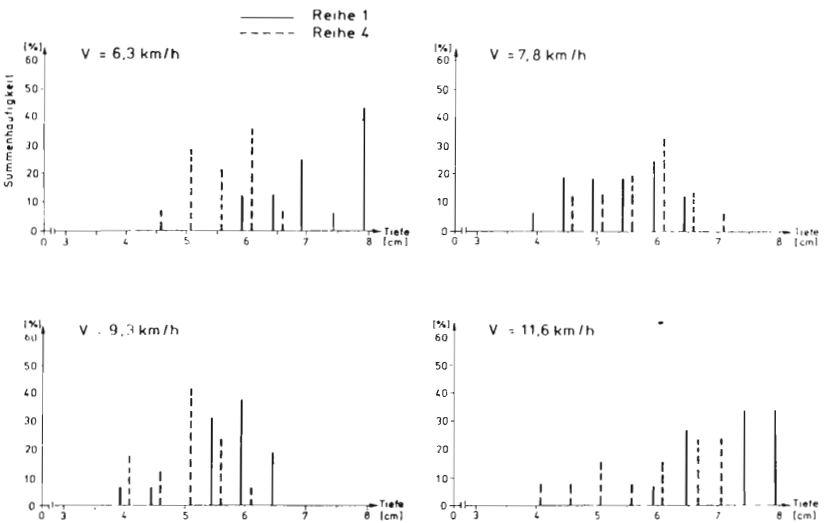
Graphische Darstellung der Tiefenablageergebnisse (System I, 36-Löffelscheibe)

(Gummidruckrolle, Löffelscheibe K 36, Sollabstand 11,0 cm)



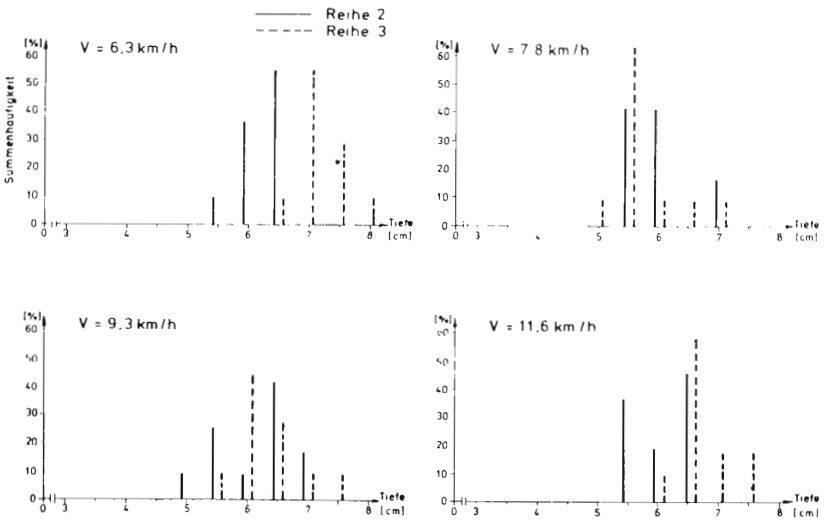
Es 75/133

(Metalldruckrolle, Löffelscheibe K 36, Sollabstand 11,0 cm)



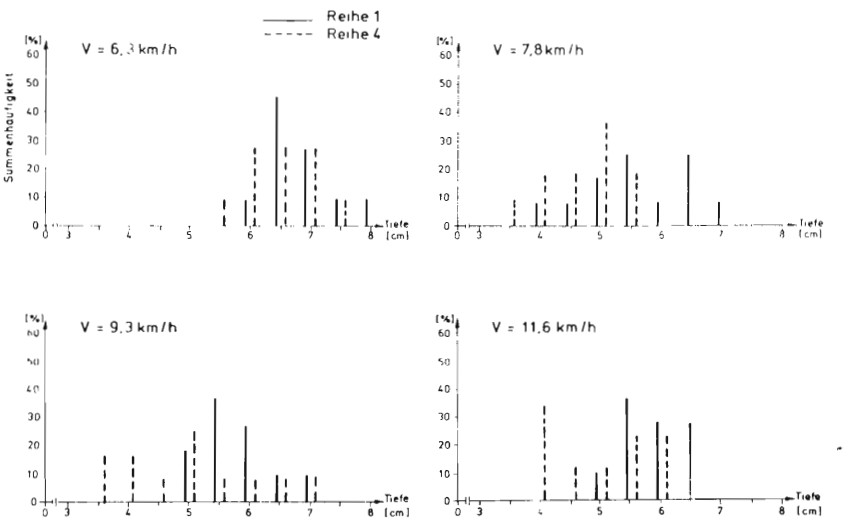
Es 75/135

(Gummidruckrolle, Löffelscheibe K 36, Sollabstand 15,5 cm)



Es 75/134

(Metalldruckrolle, Löffelscheibe K 36, Sollabstand 15,5 cm)



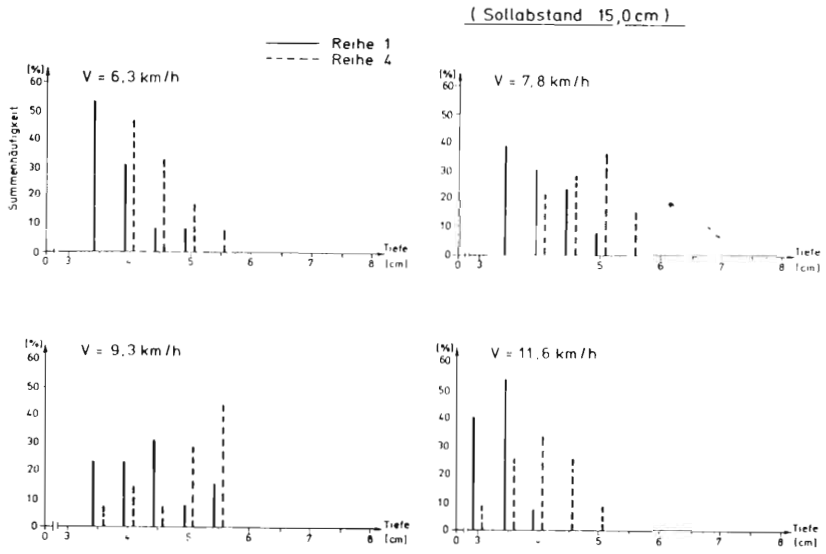
Es 75/136

Anhangs-Darstellung 22

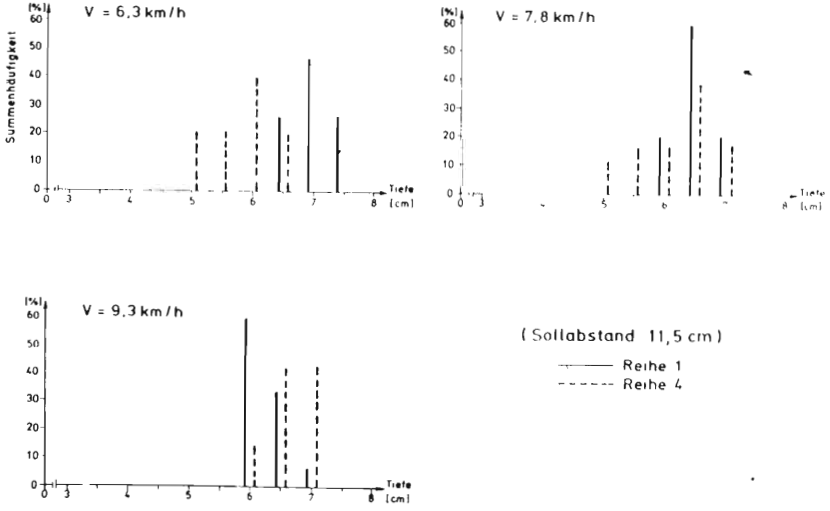
Graphische Darstellung der Tiefenablageergebnisse

(System II, Lochring mit Kammerrad - links)

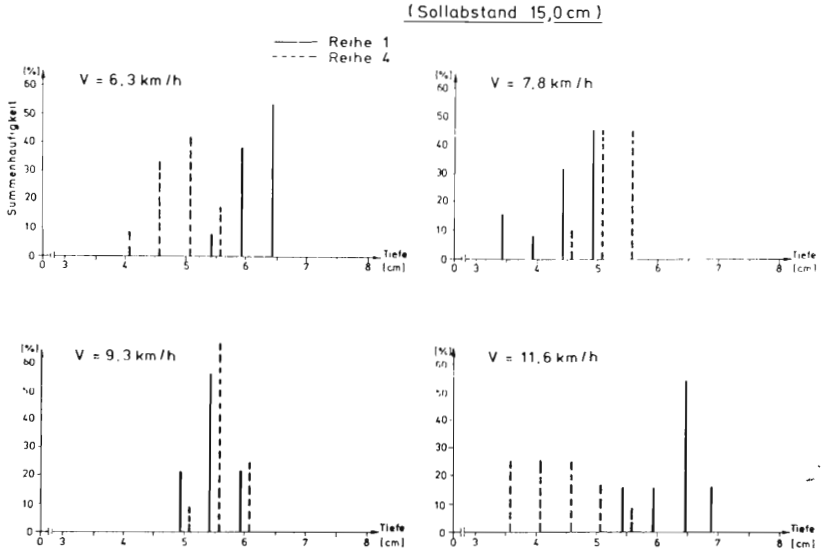
(System III, Lochscheibe mit 1 Reihe Lochbohrungen - unten)



Es 75/144



Es 75/137



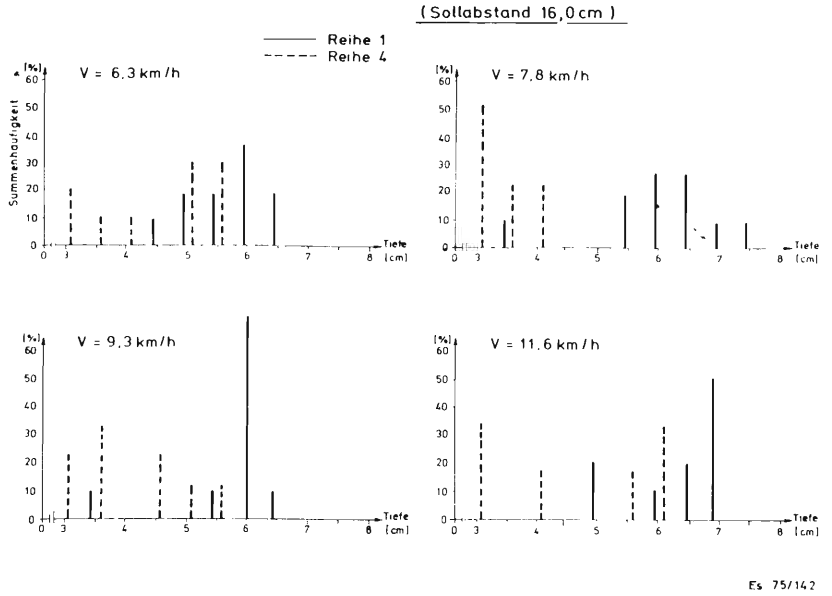
Es 75/138

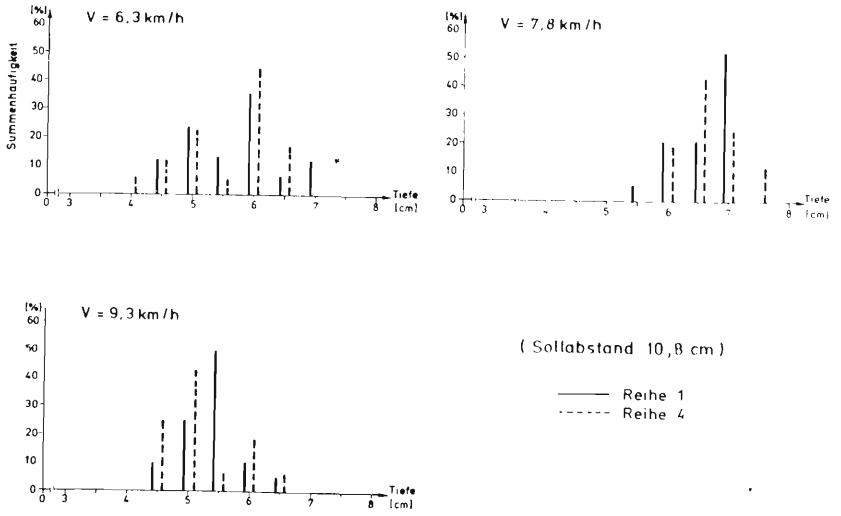
Anhangs-Darstellung 23

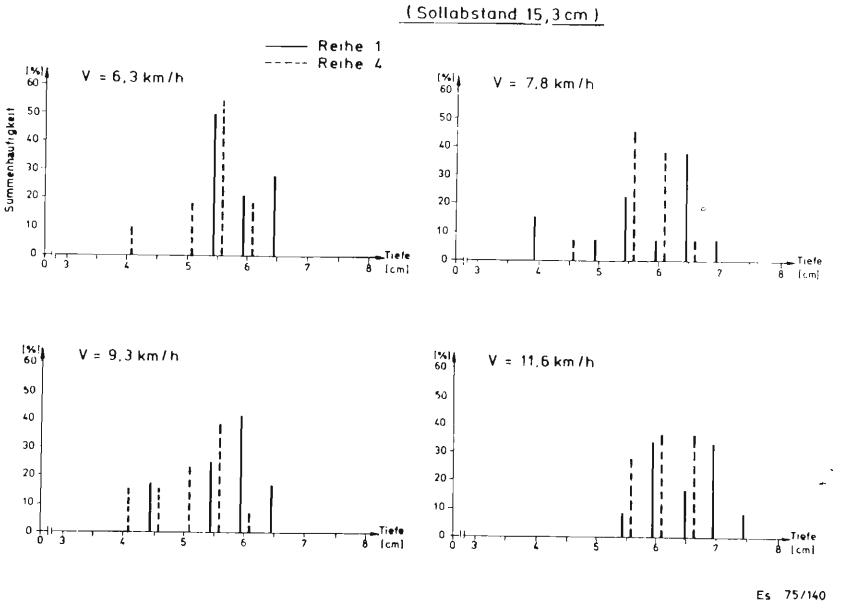
Graphische Darstellung der Tiefenablageergebnisse

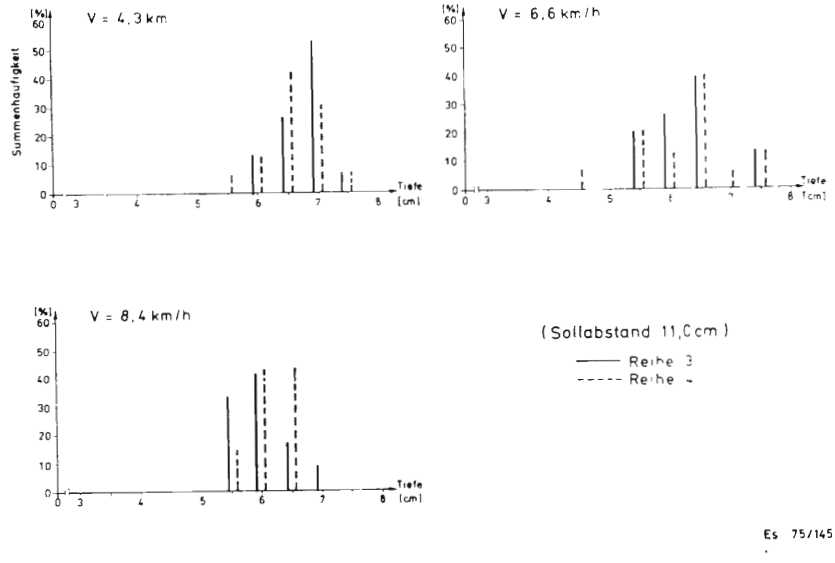
(links: System IV, Lochscheibe mit 2 Reihen Lochbohrungen)

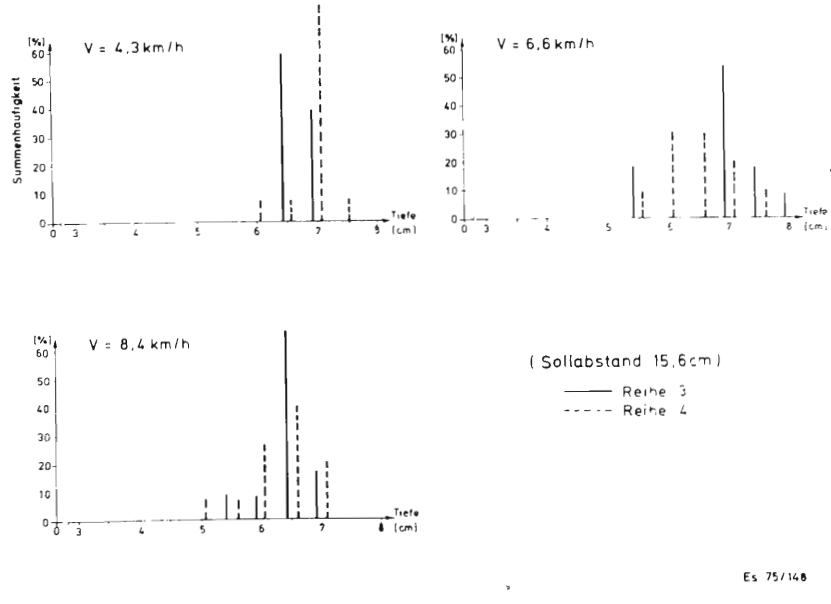
(unten : System V, Druckspülsystem)











Anhangs-Darstellung 24

Graphische Darstellung der Tiefenablageergebnisse (System VI, US-Druckluftsystem)

PROGRAMMABLAUF "WURFWEITE BEI DER MAISSAAT"

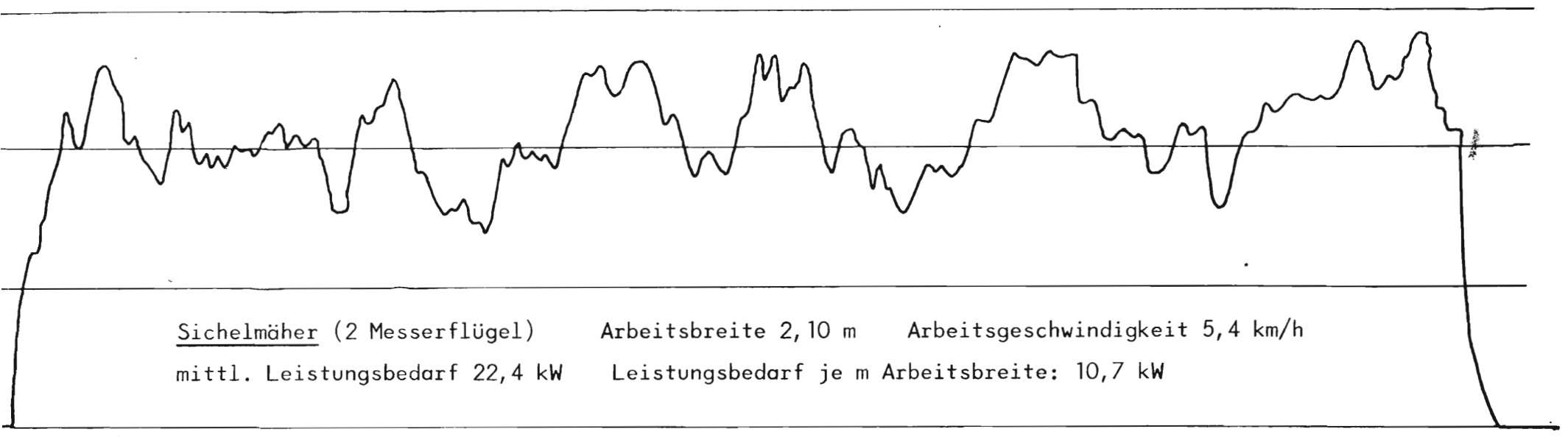
```
FORTRAN IV  G 1   RELEASE 2,0   MAIN    DATE = 75009
16/57/09          PAGE 0001

            C    WURFWEITE BEI DER MAISSAAT  -WUMAIS-   EST0010
            C                                           EST0020
0001        DIMENSION  TEXT  (17)                       EST0030
0002        REAL  K                                     EST0040
0003        READ (5,012)  VF, TEXT (I), I= 1,17)        EST0050
0004    102 FORMAT  (F 12,3 . 17 A 4)                   EST0060
0005        PRINT  104, (TEXT (I), I=1,17), VF          EST0070
0006    104 FORMAT (1H1///10 X, 'WURFWEITE BEI  ', 17 A 4
            10 X, 'VF = ', F 5.2 / 9X,                  EST0080
            1      104 (1H-) // 10X, 'KORNABSTAND HOEHE EST0090
            2 ANFANGS.-GESCHW.  WURFWEITE   GERÄTEWEITE
            '/10X, 100 (1H-)/)                          EST0100
0007        1 READ (5,100,END=2) K,H,VO                 EST0110
0008    100 FORMAT (10X, F5.3, 10X, F4.2, 10X, F5.3)    EST0120
0009        IF (K.EQ. O. )   GO  TO 2                   EST0130
0010        H=H/10                                      EST0140
0011        W' = (VF - VO) * SQRT (2. * H/ 9.81)        EST0150
0012        WG = VF        * SQRT (2  * H/ 9.81)        EST0150
0013        PRINT 101,K,H,VO,W,WG                       EST0160
0014    101 FORMAT (1H , 14X,5(F6.3,14X) )              EST0170
0015        GO TO 1                                     EST0180
0016      2 STOP                                        EST0190
0017        END                                         EST0200
```

Anhangs-Darstellung 25

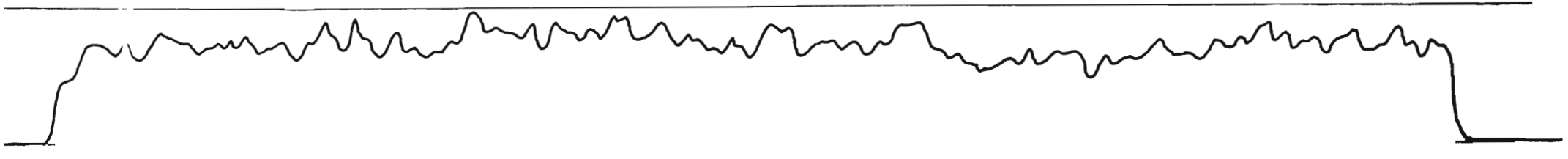
Gesamtkosten für 4-reihige Maissaat

Einsatzfläche	Lohnkosten 7.50 DM/h Schlepperkosten 10.- DM/h			Lohnkosten 15.- DM/h Schlepperkosten 15.- DM/h			Lohnkosten 15.- DM/h Schlepperkosten 15.- DM/h + 10 % Steigerung der Maschinen-Anschaffungspreise		
	Maschinen-Anschaffungspreis			Maschinen-Anschaffungspreis			Maschinen-Anschaffungspreis		
ha/Jahr	4000.- DM	6000.- DM	8000.- DM	4000.- DM	6000.- DM	8000.- DM	4000.- DM	6000.- DM	8000.- DM
10	75,90	111,57	147,22	87,80	127,20	166,60	93,63	135,00	178,47
20	46,77	68,22	87,87	58,65	82,85	107,25	61,56	87,37	113,18
30	37,05	52,57	68,08	48,93	68,20	87,46	50,87	71,15	91,42
40	32,19	45,19	58,19	44,07	60,82	78,25	45,53	63,03	80,54
50	29,28	40,77	52,26	41,16	56,40	71,64	42,32	58,17	74,01
60	27,33	37,82	48,30	39,12	53,45	67,68	40,18	54,92	69,66
70	25,94	35,71	45,47	37,82	51,34	64,85	38,66	52,60	66,55
80	24,90	34,13	43,35	36,78	49,76	62,73	37,51	50,86	64,20
90	24,09	32,90	41,70	35,97	48,53	61,08	36,62	49,51	62,40
100	23,45	31,92	40,39	35,33	47,55	59,77	35,91	48,43	60,96
110	22,92	31,11	39,31	34,80	46,74	58,68	35,33	47,55	59,82
114	22,73	-	-	34,61	-	-	35,12	-	-
120	-	30,44	38,44	-	46,07	57,79	-	46,81	58,78
130	-	29,87	37,65	-	45,50	56,97	-	48,18	57,94
140	-	29,39	36,93	-	45,02	56,37	-	45,65	57,22
150	-	28,97	36,43	-	44,60	55,76	-	45,19	56,63
160	-	-	35,91	-	-	55,31	-	-	56,06
170	-	-	35,50	-	-	54,92	-	-	55,51
180	-	-	35,16	-	-	54,49	-	-	55,15
186	-	-	34,90	-	-	54,28	-	-	54,91

Anhangs-Darstellung 26



Sichelmäher (2 Messerflügel) Arbeitsbreite 2,10 m Arbeitsgeschwindigkeit 5,4 km/h
mittl. Leistungsbedarf 22,4 kW Leistungsbedarf je m Arbeitsbreite: 10,7 kW

Anhangs-Darstellung 27:
Leistungsbedarfs-Messungen an Spezial-Strohschlägern bei Maisstroh

Schlegelmäher Arbeitsbreite 1,5 m Arbeitsgeschwindigkeit 5,6 km/h
mittl. Leistungsbedarf 7,6 kW Leistungsbedarf je m Arbeitsbreite 5,1 kW