

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau

Institut für Landtechnik
Freising-Weihenstephan

(o. Prof. Dr. H.-L. Wenner)

Einfluß ausgewählter Verfahren zur Stoppelbearbeitung und Bestellung
auf Feldaufgang und Ertrag bei Zwischenfrüchten

Diplomarbeit
von
cand.agr. Hans H u b e r

Betreuung: Prof. Dr. habil. M. Estler

Ausgabetag: 22.05.85

Abgabetag: 20.11.85

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, daß die vorliegende Arbeit von mir selbst und ohne fremde Hilfe verfaßt wurde. Die benutzte Literatur und alle verwendeten Quellen sind im Literaturverzeichnis angegeben.

Weihenstephan, den 20.11.85

Haus Heber

I N H A L T

	Seite
Verzeichnis der Abbildungen	6
Verzeichnis der Tabellen	7
1. EINLEITUNG	8
2. ZIEL DER UNTERSUCHUNG	10
3. PROBLEMATIK DER STOPPELBEARBEITUNG UND ZWISCHENFRUCHTBESTELLUNG	11
3.1 Einarbeiten von Stroh	11
3.1.1 Zerkleinerung und Verteilung des Strohs auf dem Feld	14
3.1.2 Technik der Stroheinarbeitung	16
3.2 Probleme bei der Saatbettbereitung und Bestellung	21
3.3 Einflußfaktoren auf die Bodenzerkleinerung	26
3.3.1 Bodenart	26
3.3.2 Bodenfeuchte	27
3.3.3 Witterung	27
3.3.4 Geräteart	28
3.3.5 Vorfahrt- und Werkzeuggeschwindigkeit	28
3.4 Bestellverfahren für Zwischenfrüchte	33
3.5 Der Zwischenfruchtbau	38
3.5.1 Die Geschichte des Zwischenfruchtbaus	38
3.5.2 Aufgaben der Zwischenfrüchte	40
3.5.3 Geeignete Pflanzen für den Zwischenfruchtbau	43
4. VERSUCHSBESCHREIBUNG	46
4.1 Auswahl der Geräte	47
4.1.1 Frässaatmaschine	47
4.1.2 Grubber, Kreiselegge und Sämaschine	49
4.1.3 Schichtengrubber, Rotoregge und Sämaschine	50
4.1.4 Pflug, Kreiselegge und Sämaschine	50
4.2 Auswahl der Zwischenfrüchte	51
4.2.1 Phacelia	51
4.2.2 "Perko"	52
4.2.3 "Tabor"	52
4.3 Standort	52

4.4	Meßmethoden	53
4.4.1	Aggregatgrößenverteilung	53
4.4.2	Feldaufgang	54
4.4.3	Ertrag	56
5.	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	56
5.1	Bearbeitung und Saat	57
5.1.1	Frässaatmaschine	57
5.1.2	Kurzgrubber, Kreiselegge und Drillmaschine	57
5.1.3	Schichtengrubber, Rotoregge und Drillmaschine	58
5.1.4	Pflug, Kreiselegge und Drillmaschine	58
5.2	Düngung	59
6.	VERSUCHSERGEBNISSE	60
6.1	Aggregatgrößenverteilung	60
6.2	Feldaufgang	65
6.3	Ertrag	66
6.4	Diskussion	69
7.	ZUSAMMENFASSUNG	74
8.	LITERATURVERZEICHNIS	77
9.	ANHANG	79

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: Vorteile einer Strohdüngung, nach PERWANGER 1978 (26)	13
Abb. 2: Verteilung der Halmlängen bei verschiedenen Stroh- zerkleinerungsgeräten, nach PERWANGER 1978 (26)	15
Abb. 3: Strohverteilung von MD- und Schlepperanbau-Strohhäckslern nach PERWANGER 1978 (26)	17
Abb. 4: Idealisiertes Saatbett	24
Abb. 5: Bewegungsablauf der Fräsmesser im Boden (5)	30
Abb. 6: Bewegungsbahnen der Zinken einer Kreiselegge bei unter- schiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (5)	31
Abb. 7: Bewegungsbahnen der Rütteleleggenzinken im Boden bei unter- schiedlichen Fahrgeschwindigkeiten	32
Abb. 8: Relative Häufigkeit gleicher Saattiefen bei verschiedenen Verfahrenstechniken der Samenablage, nach HEEGE 1981 (14)	35
Abb. 9: Skizze der Versuchsanlage	46
Abb. 10: Aufbau der Frässaatmaschine	47
Abb. 11: Zeitlicher Verlauf des Pflanzenaufgangs nach KAHNT (18)	55
Abb. 12: GMD und VK der verschiedenen Verfahren	61
Abb. 13: Aggregatgrößenverteilungen der verschiedenen Verfahren	63
Abb. 14: Aggregatgrößenverteilungen nach Reduzierung der Klassen	64
Abb. 15: TM-Erträge in Abhängigkeit von der Bearbeitung und den Zwischenfrüchten	68

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1: Vertikale Strohverteilung (in Prozent) von verschiedenen Einarbeitungsgeräten (sandiger Lehmboden; 19 % Wasser; 50 dt/ha gehäckseltes Stroh; ein Arbeitsgang)	19
Tab. 2: Streuung der Saattiefe bei verschiedenen Säverfahren, nach HEEGE 1981 (14)	35
Tab. 3: Übersicht der Bestellverfahren	36
Tab. 4: Ansprüche und Eigenschaften der Zwischenfrüchte (8,16,27,29)	45
Tab. 5: GMD- und ZG- Werte der verschiedenen Verfahren	60
Tab. 6: Anteile der Aggregatgrößenklassen (in Prozent) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung	62
Tab. 7: Anteile der reduzierten Aggregatgrößenklassen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung	64
Tab. 8: Daten zur Bestimmung des Feldaufgangs	66
Tab. 9: Feldaufgang in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und den Zwischenfrüchten	66
Tab. 10: Grünmassenerträge bzw. Trockenmasserträge in dt/ha und TS-Gehalte in Prozent	67

1. Einleitung

"Droht nach dem Waldsterben ein Bodensterben?" Ähnliche Fragen waren in letzter Zeit des öfteren zu hören. Um dies beantworten zu können, muß der Boden als lebender Komplex in seinen biologischen, chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten sowie in seiner Beeinflußbarkeit durch Bewirtschaftungsmaßnahmen genauer untersucht werden. Ganz gewiß gibt es seit der Einführung des modernen Ackerbaus in manchen Fällen eine Verminderung der Bodenfruchtbarkeit. Besonders auf erosionsgefährdeten Standorten wird dadurch die Nährstoff- und Humusbilanz des Bodens negativ verändert. Aber genau wie beim Waldsterben wird das Problem zu spät erkannt, und viel zu spät werden geeignete Gegenmaßnahmen erarbeitet und eingeführt.

Was sind nun die Gründe für die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und welche Maßnahmen können unternommen werden, um sie zu verhindern?

Die Ursache liegt im Zusammenwirken einer falschen Bodenbewirtschaftung mit Klimaeinflüssen wie Regen, Wind und Sonne. Das Problem kann unterteilt werden in die Verschlechterung der Bodenstruktur und Humusbilanz zum einen und in den Abtrag von Boden durch Wasser und Wind zum anderen, wobei eine schlechte Bodenstruktur die sogenannte Erosion stark fördern kann. Zusätzlich beeinflußt die Hangneigung und die Bodenbedeckung in hohem Maße die Erosion. Durch die Bedeckung des Bodens mit einer Kultur oder einer toten Pflanzenmasse über eine möglichst lange Zeit kann den negativen Einflüssen des Klimas entgegengewirkt werden. Für die Bewirtschaftung durch die Landwirtschaft folgt daraus, daß geeignete Fruchtfolgen gewählt werden müssen, die einen längst möglichen Schutz des Bodens gewährleisten.

Bedingt durch den wirtschaftlichen Rahmen, den unsere Agrarpolitik geschaffen hat, entstanden aber nach Rationalisierungsmaßnahmen immer einseitigere Fruchtfolgen und zunehmende Monokulturen. Eine ausgeglichene Fruchtfolge bedeutet nicht nur den Schutz des Bodens vor negativen Klimaeinflüssen, sondern auch optimale Wachstumsbedingungen für das Bodenleben. Ein fruchtbarer Boden ist gekennzeichnet durch das Funktionieren vielseitiger Wechselbeziehungen zwischen der Bodenmatrix aus Mineralen, der lebenden und abgestorbenen organischen Substanz und der Tätigkeit der Bodentierchen sowie Mikroorganismen in einem Kreislauf. In diesem System

werden die Pflanzenreste von der Bodenfauna in ihre Bausteine wie organische Säuren, Aminosäuren, Zucker und Minerale abgebaut, die dann der Bodenfauna selbst und den Pflanzen erneut als Nahrung zur Verfügung stehen. Beim Abbau der organischen Substanz durch Bodentierchen und Mikroorganismen wird durch die Vermischung und Verklebung der Abbauprodukte mit dem Boden eine Lebendverbauung geschaffen. Wenn genügend organische Substanz und Minerale als Nahrungsquelle für die Bodenfauna zur Verfügung stehen, und der Wasser- und Lufthaushalt des Bodens in dem für das Bodenleben optimalen Bereich liegt, sind die Voraussetzungen für die Bildung und Erhaltung eines fruchtbaren und garen Bodens gegeben. Kulturtechnische Maßnahmen wie Bodenbearbeitung, Düngung und geeignete Fruchtfolgen dienen diesem Ziel.

Um unter Berücksichtigung verschiedener Standortfaktoren (Boden, Klima) eine optimale Bearbeitung bezüglich der Bodenfruchtbarkeit zu erzielen, müssen geeignete Geräte zum richtigen Zeitpunkt eingesetzt werden. Dieser Umstand stellt hohe Anforderungen sowohl an die Landtechnik als auch an die Landwirte. Daß die Landtechnik große Anstrengungen unternimmt, um diesen Anforderungen gerecht zu werden, beweisen die vielen Neuentwicklungen auf dem Sektor der Bodenbearbeitung in jüngster Zeit. Für die Landwirte und ihre Berater besteht die Notwendigkeit, ihre Kenntnisse über den Boden und den Pflanzenbau zu vervollständigen und in die Praxis umzusetzen.

Besondere Probleme bezüglich der Bodenerosion bereitet der Anbau der Reihenfrüchte Zuckerrüben und Mais. Durch die starke Ausdehnung des Maisanbaus in den letzten Jahren ist das Problem noch deutlicher geworden. Deswegen hat man begonnen, im Rahmen der sogenannten "konservierenden Bodenbearbeitung" Verfahren zu entwickeln, bei denen Zuckerrüben und Mais in den Pflanzenmulch einer Zwischenfrucht eingesät werden. Für dieses "Mulchsaatverfahren" ist es wichtig, ausreichende Kenntnisse über Bestelltechniken, Feldaufgang und Wachstum beim Zwischenfruchtanbau zu erarbeiten. Eine umfangreiche Verwendung derartiger Saatverfahren für Reihenfrüchte in der Praxis wäre ein großer Schritt zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit.

2. Ziel der Untersuchung

Die Bestellung der Felder mit Zwischenfrüchten ist ein wesentlicher Beitrag für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Nach der Art der Aussaat unterscheidet man in Untersaaten, die unter Getreidedeckfrüchte gesät und Stoppelsaaten, die nach der Aberntung des Getreides gesät werden.

Ziele des Zwischenfruchtbaus sind Strukturhaltung und Strukturverbesserung, Nitratbindung, Futtergewinnung, erhöhte biologische Aktivität, Umsatzsteigerung in der Humusbilanz und Erosionsschutz.

Nach SEIBOLD 1982 (33) umfaßte der gesamte Zwischenfruchtbau in der Bundesrepublik 1982 ungefähr 1,5 Mio. ha und damit 31% der Getreidefläche. Die Tendenz ist steigend, denn 1977 waren es nur 1,3 Mio. ha (24,8%). Damals wurden rund 60% der Zwischenfrüchte zur Futtergewinnung und 40% zur Gründüngung verwendet.

Es gibt eine Menge von Pflanzen, die für den Zwischenfruchtanbau geeignet sind. Sie unterscheiden sich zum Teil in ihren Ansprüchen an Boden, Wasser, Nährstoffe und Saattermin und sind daher für verschiedene Standorte und Fruchtfolgen unterschiedlich geeignet.

In dieser Arbeit werden vier Verfahren der Zwischenfruchtbestellung nach der Getreideernte in Bezug auf Stroheinmischung und Bodenzerkleinerung verglichen und deren Auswirkungen auf den Feldaufgang und Ertrag dreier ausgewählter Zwischenfrüchte untersucht. Der Versuch wurde als Streifenanlage an einem Hang angelegt, da er als Vorversuch eines im darauffolgenden Frühjahr von ESTLER 1985 (6) durchgeführten Erosionsversuches zu Mais diente.

Auf eine genauere Untersuchung des Einmischungseffektes der verschiedenen Geräte bezüglich des Strohs wurde verzichtet, da es den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Dieses Problem wird im Punkt 3.1 angesprochen, indem auf Arbeiten von PERWANGER (26), KÖLLER (20), BOGUSLAWSKI und DEBRUCK (3) eingegangen wird. Einige Photos im Anhang deuten auf die unterschiedliche Stroheinmischung bei den einzelnen Geräten hin.

Mit Hilfe der Schollensiebanalyse soll der Zerkleinerungseffekt der verschiedenen Bearbeitungen ermittelt werden.

Anhand des Feldaufganges und des Ertrages werden dann die Auswirkungen der Bestellform auf die Entwicklung der Zwischenfrucht untersucht. Zur Ver-

deutlichung der Unterschiede der einzelnen Bestellverfahren und der angewandten Methoden sind im Anhang einige Aufnahmen zu finden.

3. Problematik der Stoppelbearbeitung und Zwischenfruchtbestellung

Ziel bei der Stoppelsaat ist eine möglichst schnelle Bestellung der Felder nach der Getreideernte mit Zwischenfrüchten, damit die noch im Boden vorhandene Feuchtigkeit und vor allem die Vegetationszeit möglichst voll ausgenutzt werden. Zudem soll die Bestellung in wenigen, wenn möglich in einem Arbeitsgang erledigt werden können, einmal, um den Boden zu schonen, zum andern, um die Bestellkosten zu minimieren. Dabei treten einige Schwierigkeiten auf, an deren Lösung die Landtechnik zur Zeit mehr denn je beschäftigt ist.

Bei den meisten Verfahren bereiten die Einarbeitung von Ernterückständen (Stroh), die Schaffung eines für den Keimling optimalen Saatbettes und die genaue Saatgutablage einige Probleme, die es noch zu beseitigen gilt. Die Forderungen des Pflanzenbaus werden von den verschiedenen Verfahren der Zwischenfruchtbestellung, die im Punkt 3.4 kurz aufgeführt sind, unterschiedlich gut erfüllt.

3.1 Einarbeiten von Stroh

In den USA beschäftigt man sich schon längere Zeit mit der Behandlung von Ernterückständen als in Europa. Während bei uns der Abbau des Strohs im Mittelpunkt der Untersuchungen steht, werden sie in den USA vorwiegend unter dem Aspekt des Erosionsschutzes in Verbindung mit der pfluglosen Bodenbearbeitung durchgeführt (20).

Das Einarbeiten von Stroh ist in Mittel- und Westeuropa deswegen ein größeres Problem als in trocken- und feuchtwarmen Klimaten der tropischen und subtropischen Länder, weil einerseits wegen der höheren Intensität im Getreidebau bei uns größere Strohmengen anfallen (50-100 dt/ha) und andererseits in wärmeren Klimaten der Abbau von Stroh schneller vor sich geht.

Da bei uns aus arbeitswirtschaftlichen Gründen der Ackerbau vollkommen mechanisiert wurde und eine Entwicklung zu vieharmen und viehlosen Betrieben stattgefunden hat und zudem die Erträge stark gestiegen sind, kam es zu

einem Strohüberschuß. Diese Tatsache und das Verbot der Strohverbrennung führten zwangsläufig zu einer vermehrten Strohdüngung.

In der Praxis treten jedoch häufig Probleme bei der Stroheinarbeitung und Ertragsdepressionen bei der Folgefrucht auf. Auch frühere wissenschaftliche Untersuchungen führten zu der Lehrmeinung von der negativen Wirkung der Strohdüngung, die unter anderen von KLAPP 1952 (19), SAUERLANDT 1952 (30), GLATHE 1952 (12) und BROUWER 1954 (4) vertreten wurde. Sie stützten sich in ihren Aussagen auf Feldversuche über Strohdüngung von GERLACH 1934 (11), FLIEG und GROSS 1934 (9), OPITZ und RATHSACK 1936 (25), die übereinstimmend zu der Folgerung gelangten, daß in den meisten Fällen große Strohmenge zumindest bei der Folgefrucht zu Ertragsdepressionen führen.

Neuere Untersuchungen von BOGUSLAWSKI und DEBRUCK 1977 (3), KÖLLER 1981 (20) und PERWANGER 1978 (26) stellten bestimmte Maßnahmen als wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Strohdüngung heraus. Der Erfolg der Strohdüngung hängt demnach vom Standort, vom C/N-Verhältnis des Strohs, von der Zerkleinerung und Einmischung des Strohs in den Boden ab, da diese Faktoren die Strohrotte begünstigen. Nach KÖLLER 1981 (20) bringt eine richtig ausgeführte Strohdüngung folgende Vorteile:

- Erhaltung und Verbesserung des Humushaushaltes im Boden
- Erhöhung der biologischen Aktivität des Bodens, die nicht nur zur Verbesserung der Nährstoffdynamik führt, sondern auch entscheidend zur Schaffung und Erhaltung einer günstigen Bodenstruktur beiträgt
- Damit verbunden ist eine Verbesserung verschiedener bodenphysikalischer Eigenschaften
- Schutz gegen Verschlammung und Erosion
- Zufuhr verschiedener Mineralstoffe (Düngerwert)

In der Abbildung 1 sind die physikalischen, chemischen und biologischen Auswirkungen einer Strohdüngung auf die Bodenfruchtbarkeit dargestellt.

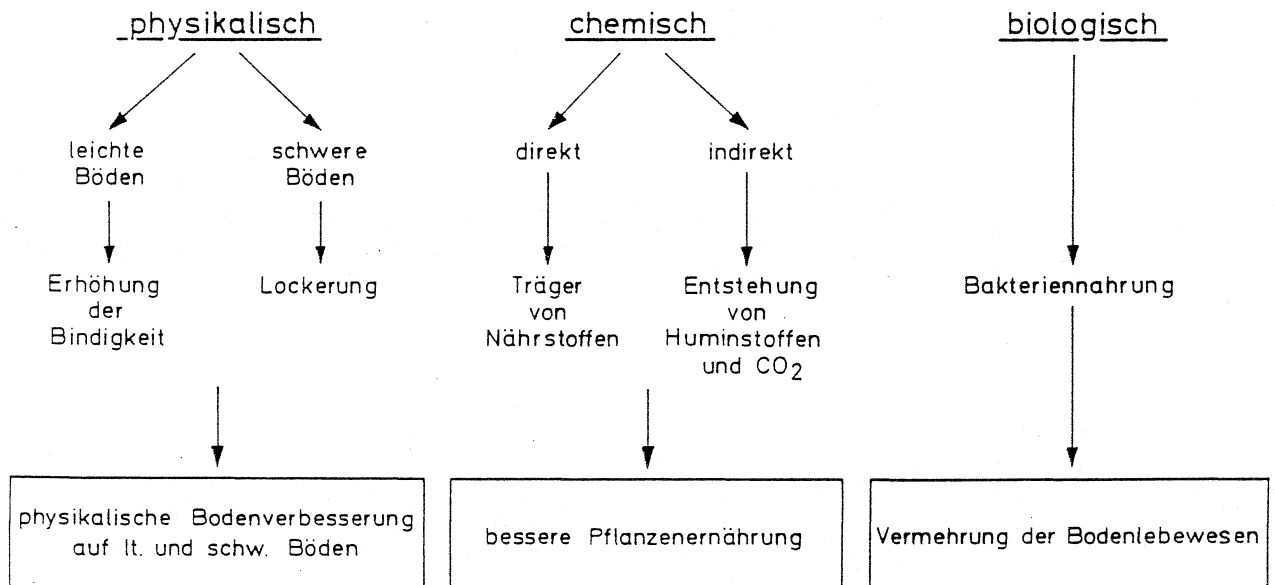


Abb. 1: Vorteile einer Strohdüngung nach PERWANGER (26)

Bei der Strohdüngung können sich auch Nachteile ergeben, was zahlreiche frühere Versuche schon bewiesen haben. Besonders nach Fehlern können sich folgende negative Auswirkungen ergeben:

- Mangelnder Bodenschluß (nach schlechter Einarbeitung, Vergraben)
- Nährstofffestlegung (ohne N-Ausgleich, auf schlechteren Böden)
- Wachstumsstörungen bei der Folgefrucht
- Zunahme von Getreidekrankheiten
- Zunahme von Unkräutern

Mangelnder Bodenschluß entsteht entweder durch schichtweises Vergraben des Strohstrahls oder nach einer zu starken Lockerung des Bodens mit den heutigen zapfwellengetriebenen Geräten. Der mangelnde Bodenschluß hat dann eine unzureichende kapillare Wasserführung zur Folge und ruft deshalb bei der Folgefrucht Schäden hervor.

Eine Stickstofffestlegung tritt auf, da das C/N-Verhältnis von Getreidestroh ungefähr bei 100 : 1 liegt und das für günstige Rotteverhältnisse bei 20 : 1 (Gründüngung, Rübenblatt). Wird kein N-Ausgleich zur Strohdüngung (nach DEBRUCK und BOGUSLAWSKI 0,7-1,0 kg N auf 100 kg Stroh) (3), so legen die Mikroorganismen den mineralischen Stickstoff im Boden zum Abbau

des Strohs fest. Je nach Bodenart und Stickstoffangebot ergibt sich damit eine unterschiedlich schnelle Strohhrotte.

Begrenzende Faktoren für eine erfolgreiche Strohdüngung sind außerdem Wassermangel beziehungsweise Staunässe, niedrige Temperaturen sowie eine saure Bodenreaktion, Faktoren also, die entscheidend die Lebensbedingungen der Mikroorganismen bestimmen (20).

Nach Untersuchungen von KÖLLER 1981 (20) hängt der Rottevorgang des Strohs hauptsächlich von dessen Konzentration im Boden ab. Er fand heraus, daß mit zunehmender Strohkonzentration der Rotteprozeß verzögert wird. Als Maximalwerte ermittelte er für die Standorte um Hohenheim 6 kg Stroh pro Kubikmeter Boden. Eine Konzentration von 6 kg/Kubikmeter ist dann vorhanden, wenn 60 dt/ha Stroh über 10 cm, 90 dt/ha über 15 cm und 120 dt/ha über 20 cm gleichmäßig in den Boden eingearbeitet werden.

Eine gleichmäßige Einmischung des Strohs in den Boden und eine niedrige Strohkonzentration sind um so wichtiger, je schlechter die Boden- und Klimabedingungen des jeweiligen Standortes sind. Bei besseren Böden kann das Stroh tiefer eingearbeitet werden.

Verschiedenen Aussagen der Literatur zur Folge halten sich die Nachteile einer Strohdüngung hinsichtlich einer Zunahme von Krankheiten in Grenzen.

Nachdem aus pflanzenbaulicher Sicht die Vorteile einer Strohdüngung deutlich überwiegen (außer auf Standorten, die für Mikroorganismen ungünstig sind), läßt sich das Problem auf ein technisches reduzieren.

3.1.1 Zerkleinerung und Verteilung des Strohs auf dem Feld

Voraussetzung für eine gleichmäßige Einarbeitung des Strohs in den Boden ist dessen gute Zerkleinerung und Verteilung auf dem Felde. Von der Technik bieten sich dazu verschiedene Möglichkeiten, die von PERWANGER 1978 (26) untersucht wurden.

Nach seinen Untersuchungen zerkleinern Mähdrescher(MD)-Anbauhäcksler das Stroh zwar gut (Abbildung 2), ihre Querverteilung ist aber oft unbefriedigend (Abbildung 3). Gerade bei MD mit größerer Schnittbreite ergeben sich bezüglich der Querverteilung erhebliche Probleme. Nach Abbildung 3 werden beispielsweise bei einem MD mit 4 m Schnittbreite 70 - 80% des Strohs nur auf einen Bereich von 2 m verteilt. Ein wesentlicher Vorteil der MD- An-

bauhäcksler ist, daß das Stroh sofort nach dem Erntevorgang zerkleinert wird und daß die Messer kaum mit Fremdkörpern in Berührung kommen. Der Häcksler läuft daher ruhig und verschleißarm. Der MD hat jedoch einen zusätzlichen Leistungsbedarf von 10 - 20 kW.

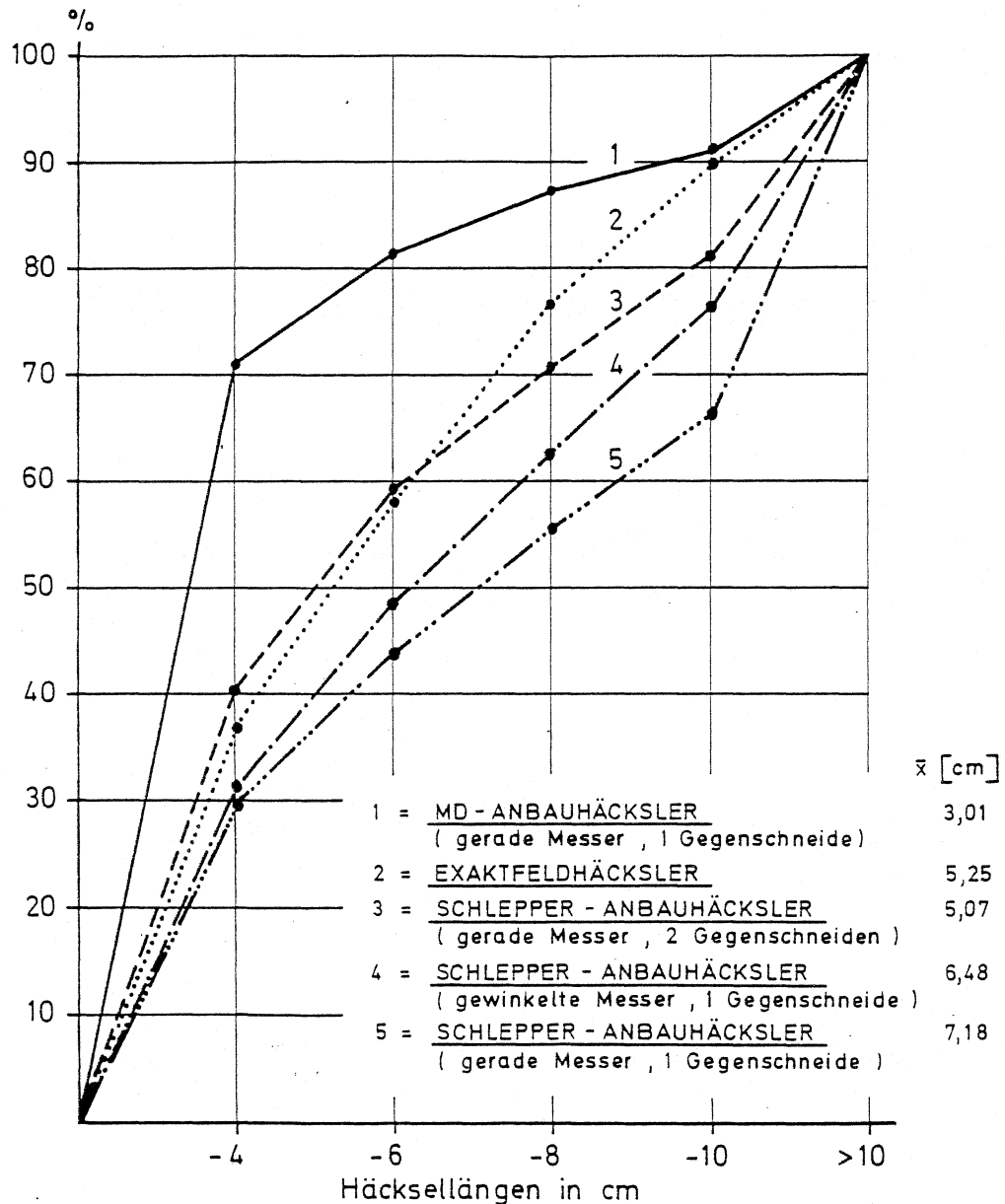


Abb. 2: Verteilung der Halmlängen (Gewichts-%) bei verschiedenen Strohzerkleinerungsgeräten nach PERWANGER (26)

Die übrigen Verfahren zur Strohzerkleinerung erfordern nach dem Mähdrusch einen zweiten Arbeitsgang und günstige Witterungsbedingungen, da das Verarbeiten von feuchtem Stroh mit erhöhter Störanfälligkeit, erhöhtem Lei-

stungsbedarf und verminderter Arbeitsqualität verbunden ist.

Bei den von PERWANGER 1978 (26) gemachten Untersuchungen ergaben sich für MD-Anbauhäcksler mittlere Häcksellängen von 3 cm und bei den schleppergezogenen Anbauhäckslern je nach Messerausformung und Anzahl der Gegenschnitten etwa 5 - 7 cm. Spezialstrohschläger für den Schlepperanbau, die mit gewinkelten Messern ausgerüstet sind, zerkleinern auch die Stoppeln, die vor allem nach Lagergetreide einigen Bodenbearbeitungsgeräten Schwierigkeiten bereiten (26). Für eine gute Querverteilung des Strohs und eine ganzflächige Bearbeitung der Stoppeln mit einem Schlepper-Anbaustrohhäcksler mit Winkelmessern ist ein Langstrohverteiler am MD günstig. Ein am Strohkanalende angebrachtes Schleuderrad, das von einem Keilriemen angetrieben wird, verteilt das Langstroh je nach Feuchtigkeit des Materials und Umlaufgeschwindigkeit des Rades mehr oder weniger breit. Nachteilig dabei ist, daß das Stroh auch noch in den stehenden Bestand geschleudert wird.

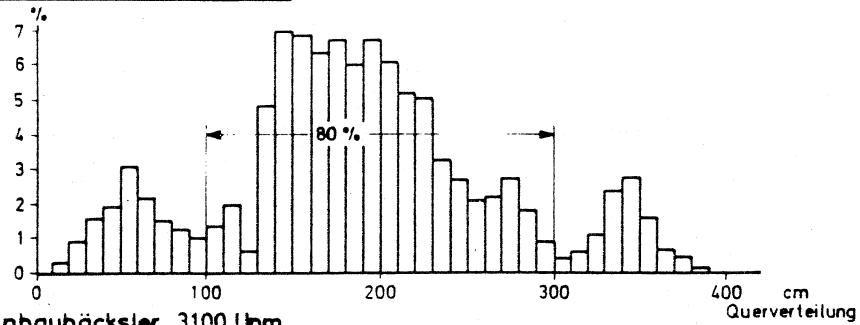
Als weitere Möglichkeit der Strohzerkleinerung gibt es noch Exakt- bzw. Schlegelfeldhäcksler. Da diese jedoch in der Regel ohne spezielle Strohleitbleche ausgerüstet sind, bleibt die Verteilung von Feldhäckslern unbefriedigend (26).

Grundsätzliche Forderungen an die Strohzerkleinerung und -verteilung sind, daß mindestens 75% aller Häcksel unter 10 cm sind und die Abweichung in der Querverteilung auf dem Feld nicht größer als 30% ist (20). Nur unter diesen Voraussetzungen ist es nach den Versuchen von KÖLLER 1981 (20) und PERWANGER 1978 (26) möglich, das Stroh dann gleichmäßig in den Boden einzumischen. In der Praxis läßt die Strohverteilung aber oft sehr zu wünschen übrig, da die Häcksler meist nicht richtig eingestellt sind oder das Stroh nicht trocken genug ist.

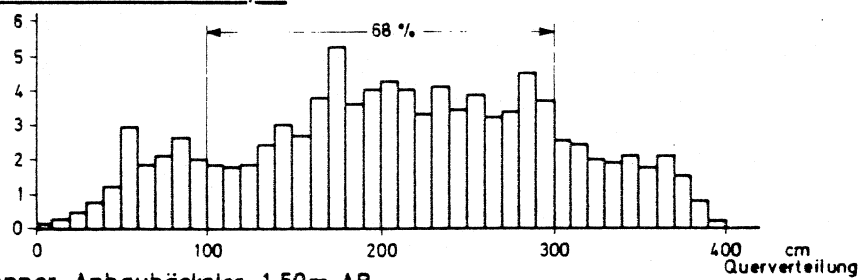
3.1.2 Technik der Stroheinarbeitung

Da zahlreiche Versuche ergeben haben, daß für einen optimalen Rotteprozeß in unserem Klima ein gleichmäßiges Einmischen des Strohs in der obersten Bodenschicht (10-15 cm) notwendig ist, stellt sich daher die Frage, inwieweit die derzeit angebotenen Bodenbearbeitungsgeräte die Anforderungen einer gleichmäßigen Einmischung von Ernterückständen erfüllen.

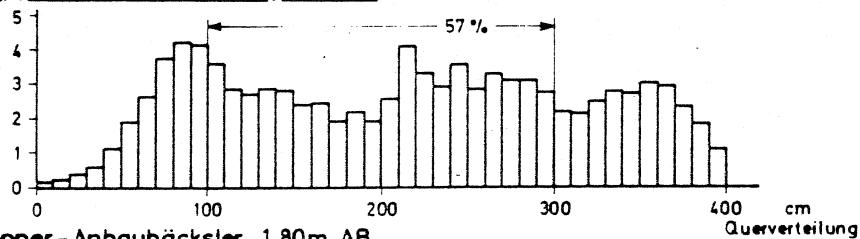
MD-Anbauhäcksler 2900 Upm



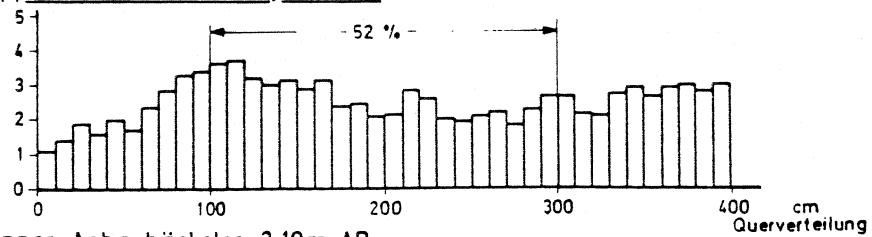
MD-Anbauhäcksler 3100 Upm



Schlepper-Anbauhäcksler 1,50m AB



Schlepper-Anbauhäcksler 1,80m AB



Schlepper-Anbauhäcksler 2,10m AB

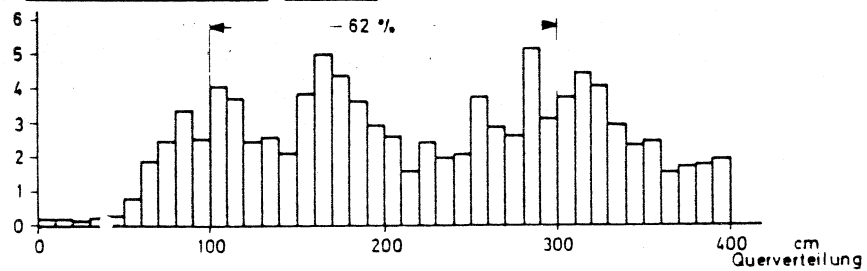


Abb. 3: Strohverteilung von MD- und Schlepperanbau-Strohhäckslern nach PERWANGER (26)

Einmischungsversuche mit Bodenbearbeitungsgeräten wurden bereits mehrfach durchgeführt. So liegen Stroheinarbeitungsversuche von REINAU 1931 (28), NITSCH 1935 (23), STAUB 1959 (34) sowie FEUERLEIN 1964 (7) vor. MIX 1927 (22) und HORTSCHANSKY 1929 (15) untersuchten die Misch- und Sortierwirkung verschiedener Grubber- und Eggenzinken in Abhängigkeit von der Werkzeugform, der Arbeitsgeschwindigkeit und der Anzahl der Arbeitsgänge. KOUWENHOVEN und TERPSTRA 1970 (21) überprüften in Modellversuchen Misch- und Sortierwirkung verschiedener Eggenzinken in Abhängigkeit mehrerer Werkzeugparameter und Geschwindigkeiten. Diese Untersuchungen dienen als Grundlagen für die Konstruktion von optimalen Werkzeugen zur Einarbeitung von Ernterückständen, zur Bodenzerkleinerung und zur Bodensortierung.

Neuere Untersuchungen zur Stroheinarbeitung wurden von PERWANGER 1978 (26) in Weihenstephan und KÖLLER 1981 (20) in Hohenheim gemacht. Danach erfüllen Fräse, Grubber und eine Kombination aus beiden die Anforderungen einer gleichmäßigen Stroheinarbeitung gut. Nicht so gut beurteilt werden Scheibenegge, Spatenrollegge, Schälplflug, Kreiselpflug und Meißelpflug.

Die Arbeit des **Schälplfluges** täuscht durch die saubere Bodenoberfläche eine gute Einmischung vor. Er vergräbt aber das Stroh schichtweise im Boden. Auf leichten und moorigen Böden neigt er zu Verstopfungen. Bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 6-8 km/h benötigt er eine Leistung von 20-25 kW je Meter Arbeitsbreite.

Der **Kreiselpflug** mischt etwas besser als der Schälplflug, sein Kraftbedarf mit 30-50 kW je Meter Arbeitsbreite liegt sehr hoch. Er konnte sich deshalb in der Praxis nicht durchsetzen (26).

Die **Scheibenegge** verrichtet in zwei Arbeitsgängen kreuzweise zueinander eine recht befriedigende Arbeit. Sie arbeitet relativ verschleißarm und hat auch auf leichten Böden keine Probleme mit Verstopfungen. Nur schwere Böden bereiten ihr Schwierigkeiten, da sie für diese meist zu leicht ist. Sie hat einen Leistungsbedarf von 10-15 kW pro Meter Arbeitsbreite (26).

Ähnlich ist auch die **Spatenrollegge** zu beurteilen. Auf leichten Böden ist sie empfindlich gegen lange Stoppeln, Unkraut und Quecken. Ihr Leistungsbedarf liegt in einem Bereich von 10-20 kW je Meter Arbeitsbreite (26). Scheibenegge und Spatenrollegge haben den Nachteil, daß sie das Stroh nur flach einarbeiten. Nach einem Arbeitsgang mit diesen Geräten befinden sich noch 30-40% des Strohs auf der Bodenoberfläche (vgl. Tabelle 1).

Die **Fräse** mischt das Stroh in einem Arbeitsgang gut in den Boden, wenn er

nicht in einem nassen Zustand bearbeitet wird. Auf leichteren Böden läßt sie meist zu viel Stroh an der Bodenoberfläche. Bei einer Arbeitstiefe von 10 cm benötigt sie 20 -30 kW/m Arbeitsbreite (26).

Gute Arbeit bei der Stroheinarbeitung verrichtet ein **Schälgrubber** mit starren Zinken, mit Doppelherzscharen, mit einer Rahmenhöhe von über 70 cm und einem weiten Rahmenabstand. Der Strichabstand sollte 24 cm betragen. Grubber mit gefederten Zinken neigen eher zu Verstopfungen und haben einen höheren Kraftbedarf. Da spurdeckend gearbeitet werden muß und eine Geschwindigkeit von 8 - 10 km/h eingehalten werden soll, ist bei einem sandigen Lehmboden und einer Arbeitsbreite von 2,5 m eine Schlepperleistung von mindestens 80 kW nötig (5).

Tabelle 1 : Vertikale Strohverteilung in Prozent von verschiedenen Einarbeitungsgeräten (sandiger Lehmboden; 19 % Wasser; 50 dt/ha gehäckseltes Stroh; ein Arbeitsgang)

G e r ä t	Bearbeitungshorizont (mm)				
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12-15
Schälgrubber, starre Zinken	17	28	27	20	8
Schälgrubber, gefed. Zinken	48	22	14	10	6
Meißelpflug	26	35	20	11	8
Scheibenegge, X-Form	29	39	14	12	6
Spatenrollegge	37	23	22	10	8
Kreiselpflug	8	26	29	8	11
Schälpflug	6	11	33	32	18
Fräse	32	20	29	8	11
Grubber-Fräse	20	38	25	11	6

Der sogenannte **Meißelpflug** (oder Pfluggrubber), eine besonders schwere Grubberbauart, hat wegen seiner schräg nach vorn gestellten Zinken einen relativ geringen Kraftbedarf. Durch seine geringe Rahmenhöhe neigt er jedoch eher zu Verstopfungen als der herkömmliche Grubber und ist deshalb besonders bei längeren Stoppeln für das Stroheinarbeiten nicht so gut geeignet (26). Sein Leistungsbedarf ist aufgrund seiner Bauart geringer als der des Schälgrubbers.

In der Tabelle 1 ist die vertikale Strohverteilung im Boden nach der Bearbeitung mit verschiedenen Geräten dargestellt (nach PERWANGER 1978 (26)). Auch KÖLLER 1981 (20) kam nach mehrjährigen Stroheinarbeitungsversuchen mit Grubber, Fräse und Pflug zu dem Ergebnis, daß Fräse und Grubber beinahe ideal einarbeiten. Eine Grubberfräse hingegen brachte keine besseren Ergebnisse als der Grubber hinsichtlich der Strohverteilung im Boden. Die Untersuchungen ergaben, daß die Fräse lediglich bei längerem Stroh bzw. langen Stoppeln dem Grubber überlegen ist. Ferner verschlechterte sich das Ergebnis der Strohverteilung beim zweiten Arbeitsgang, weil der Grubber bereits eingearbeitetes Stroh aus tieferen Schichten wieder an die Oberfläche arbeitete (20).

Dasselbe Ergebnis hat PERWANGER 1978 (26) bereits beschrieben. Im Gegensatz zu anderen Autoren hob KÖLLER 1981 (20) die ideale Stroheinarbeitung des Grubbers hervor und empfiehlt ihn als Pflugersatz. In seinen Versuchen war der Anteil des Strohs an der Bodenoberfläche nach Grubbereinsatz stets so gering, daß herkömmliche Saatbettbereitungsgeräte und Sämaschinen verstopfungsfrei eingesetzt werden konnten. Damit wurde für ihn eine wesentliche Voraussetzung für den Grubber als Pflugersatzgerät erfüllt. Warum KÖLLER in seinen Versuchen zu besseren Ergebnissen gelangte als andere Wissenschaftler und Praktiker, lag seiner Meinung nach daran, daß in anderen Versuchen entweder die Geschwindigkeit zu niedrig oder der Boden zu feucht war. Er fordert für eine optimale Arbeit des Grubbers einen trockenen, nicht zu leichten Boden, und eine Vorfahrtgeschwindigkeit von 8-10 km/h. Mit zunehmender Geschwindigkeit brechen die Grubberwerkzeuge den Boden besser auf, beschleunigen und zerkleinern ihn stärker und vermischen daher Stroh und Boden auch besser.

Beim Einsatz des Grubbers stellt KÖLLER auch einen Zusammenhang zwischen Arbeitsgeschwindigkeit und Strichabstand her. Je höher die Geschwindigkeit ist, desto größer darf der Strichabstand sein. Auf leichten Böden sollte er kleiner sein als auf schweren. Für Geschwindigkeiten von 8-10 km/h soll

er 20-30 cm betragen.

Ein Problem beim Grubbereinsatz ist der hohe Leistungsbedarf, da spurdeckend gearbeitet werden muß und eine relativ hohe Geschwindigkeit eingehalten werden soll. Im Gegensatz dazu hat der Schälpflug den Vorteil, daß sein Leistungsbedarf mit Änderung der Scharzahl der Leistung des Schleppers angepaßt werden kann.

Bei der Fräse ist die Qualität der Stroheinarbeitung mehr oder weniger von der Geschwindigkeit unabhängig. Erst wenn schneller als 6 km/h gefahren wird, verschlechtert sich die Arbeitsqualität (20).

Aus diesen Untersuchungen kann man den Schluß ziehen, daß der Grubber momentan das optimale Gerät ist, um Stroh in den Boden einzuarbeiten. Eine gute Zerkleinerung und Verteilung des Strohs sowie ein trockener und einigermaßen fester Boden sind allerdings wichtige Voraussetzungen dafür. Die Fräse hat eine geringere Flächenleistung als der Grubber, wobei sie das Stroh aber genau so gut einmischt und bei langen Stoppeln dem Grubber sogar überlegen ist. Ein weiterer Vorteil der Fräse ist die Möglichkeit der Zwischenfruchtausbringung zugleich mit der Stoppelbearbeitung.

3.2 Probleme der Saatbettbereitung und Saatgutablage

Das vorrangige Ziel bei der Zwischenfruchtbestellung ist ein schneller und sicherer Pflanzenaufgang, damit sich in der kurzen Vegetationszeit ein guter Bestand entwickeln kann. Für einen guten Feldaufgang ist die optimale Versorgung der Samen mit Wasser, Luft und Wärme von entscheidender Bedeutung. Deswegen muß versucht werden, die Saatbettbereitung und Saatgutablage gemäß diesen Forderungen zu gestalten.

Nun stellt sich die Frage, wie das Saatbett beschaffen sein soll, um die Voraussetzungen für einen sicheren Feldaufgang zu erfüllen.

Bei der Betrachtung der Bedingungen für eine optimale Wasser- und Sauerstoffversorgung zuerst des Samens und dann der Wurzeln treten nämlich Zielkonflikte hinsichtlich der Bodendichte auf. Die optimale Bodendichte wird hauptsächlich durch die Art des Bodens (Tonanteil) und von der Witterung bestimmt (13). Je höher der Tonanteil des Bodens ist, um so geringer sollte die Dichte (bezogen auf den trockenen Boden) sein und um so höher

sollte das anteilige Gesamtporenvolumen sein, damit ein optimales Pflanzenwachstum erreicht wird (13).

Für eine sichere Keimwasserübertragung vom Boden zum Samen bei trockener Witterung sollte das Saatbett im Saattiefenbereich fein gekrümelt und leicht verdichtet und der Boden direkt unter dem Samen besonders verdichtet sein (13). Für die spätere Wurzel- und Pflanzenentwicklung wirkt sich jedoch eine solch verdichtete Bodenzone direkt unterhalb der Saatzone negativ aus, da die Wurzeln in ihrem Wachstum und Tiefgang beeinträchtigt werden.

Für optimale Keimbedingungen kann also eine andere Bodenbearbeitung nötig sein als für eine optimale Wurzel- und Pflanzenentwicklung. Die ganze Problematik wird dann noch verkompliziert durch den Witterungsverlauf, der bei der Bodenbearbeitung nicht vorhergesehen werden kann. Sowohl eine zu hohe Bodendichte als auch eine hohe Wassersättigung bei hohen Niederschlägen kann die Versorgung der Wurzeln mit Sauerstoff gefährden. Umgekehrt kann die Wasserversorgung der Wurzeln bei zu geringer Bodendichte und dem damit einhergehenden geringen Anteil an wasserführenden Feinporen oder bei zu trockener Witterung unzureichend sein (13).

Auf schluffreichen Standorten (Lößböden) ist ein Verschlammungsschutz über dem fein gekrümelten und leicht verdichteten Saatbett notwendig. Größere Bodenaggregate oder Vegetationsrückstände auf der Bodenoberfläche schützen den Boden bei stärkeren Niederschlägen vor Verschlammung. Die Verkrustung des Bodens, wie sie bei Trockenheit nach Verschlammung auftritt, wirkt sich auf den Wasser-, Luft- sowie Nährstoffhaushalt und damit auf das Pflanzenwachstum negativ aus. Für einen Verschlammungsschutz sollte also die feine, leicht verdichtete Zone im Saattiefenbereich von größeren Bodenaggregaten an der Bodenoberfläche bedeckt sein. Während die feine Bodenschicht bei trockener Witterung den Wassertransport an die Samen verbessert, verhindern gröbere Bodenaggregate an der Oberfläche die Verschlammung des Bodens nach stärkeren Niederschlägen. Ein solches Saatbett bietet dem Keimling gute Auflaufbedingungen sowie eine gesicherte Sauerstoffversorgung. Durch Eggen, Grubber, Feingrubber, Scheibeneggen und Wälzeggen kann es bei trockenem Boden annähernd in dieser Art geschaffen werden.

Die Entmischung steigt mit der Anzahl aufeinanderfolgender Arbeitsgänge, allerdings in abnehmendem Maße bei jedem folgenden Arbeitsgang. Wälzeggen haben eine besonders starke entmischende Wirkung. Sie verdichten den Boden einmal durch ein Tieferrieseln feiner Bodenteilchen und zum anderen durch

den Druck der Werkzeuge. Sie sind deswegen für die Saatbettbereitung sehr gut geeignet. Zapfwellengetriebene Geräte wie Rüttel-, Kreisel-, Rotoregge und Fräse haben zwar eine sehr gute zerkleinernde Wirkung, ein Entmischen des Bodens findet allerdings bei ihnen wegen der vergleichsweise hohen Arbeitsgeschwindigkeiten kaum statt. Ihr Einsatz auf schluffreichen und verschlammungsgefährdeten Böden bleibt daher problematisch (13).

Die Verschlämmung hängt nicht nur vom Boden ab, sondern auch von der Art der Niederschläge. So fördern großtropfige Niederschläge in einem Kontinentalklima die Verschlämmung viel mehr als feintropfiger Regen in einem Seeklima. Nach HEEGE 1978 (13) ist es daher kein Zufall, daß in Gebieten mit kontinentalem Klima wie zum Beispiel in den USA und Osteuropa zapfwellengetriebene Geräte wesentlich seltener anzutreffen sind als in Westeuropa, wo das Seeklima vorherrscht.

Nach Versuchen von KÖLLER 1981 (20) über eine Beziehung von verschiedenen Aggregatgrößen zum Feldaufgang beeinflussen Aggregate, die kleiner als 5 mm sind, entscheidend den Feldaufgang bei trockenen Verhältnissen. Er stellte eine besonders große Abhängigkeit des Feldaufganges von den Aggregatgrößen 1-3 mm in der Umgebung der Samen fest. Bei ausgeglichenen Niederschlägen spielt die Aggregatgröße kaum eine Rolle.

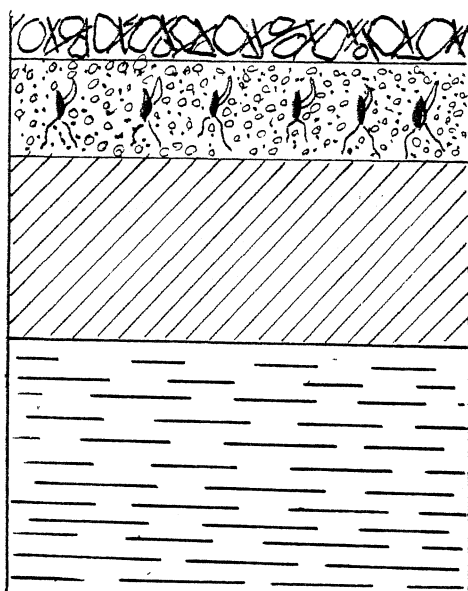
Auch SCHÖNHAMMER 1982 (31) stellte in seinen Versuchen einen Zusammenhang zwischen den Aggregatgrößen und dem Feldaufgang fest. Zunächst fand er heraus, daß der GMD die Saatgutplatzierung beeinflusst und deswegen Auswirkungen auf einen gleichmäßigen Pflanzenaufgang hat. Nach seinen Versuchen ist das Optimum des Feldaufganges bei einem GMD von 10 bis 15 mm. In dem kleineren und größeren Bereich ist mit einem degressiven Zusammenhang zu rechnen.

ESTLER 1975 (zit. in 31) beschreibt den prozentualen Zusammenhang des Feldaufganges mit dem GMD der Bodenaggregate in einem s-förmigen Kurvenverlauf. Damit wird der Verminderung des Feldaufganges durch die Verschlämmung bei zu kleinen Krümeln und durch die Verschlechterung der Keimbedingungen bei zu großen Aggregaten Rechnung getragen.

Die Saatbettbereitung muß also je nach Standort (Boden und Klima) auf die genannten Gesichtspunkte ausgerichtet sein.

Ein anderer Zielkonflikt bei der Saatbettbereitung ergibt sich aus den Anforderungen einer für die optimale Strohverrottung notwendigen Einmischung von Ernterückständen einerseits und eines möglichst einheitlichen, von Ernterückständen freien Saatbettes für eine gleichmäßige Saatgutablage andererseits. Im Abschnitt Stroheinmischung wurde festgestellt, daß die derzeit angebotene Technik mit Grubber und Fräse den Anforderungen einer optimalen Stroheinmischung genügt.

Anders sieht es dagegen bei den technischen Möglichkeiten für eine genaue Saatgutablage aus. Weder in der Tiefenablage noch in der Breitenverteilung in Richtung Gleichstandsart werden von den derzeit üblichen Geräten die Forderungen des Pflanzenbaus erfüllt. Bei den heute gebräuchlichen Säverfahren geht eine genaue Tiefenablage immer auf Kosten einer guten Breitenverteilung und umgekehrt. Neben der Einzelkornsaat unterscheidet man in Drillsaat, Bandsaat und Breitsaat. Die Tiefenablage wird immer ungenauer, je mehr man sich der Breitsaat nähert. Ein großes Hindernis für die genaue Tiefenablage des Saatgutes sind die Ernterückstände im Saattiefenbereich und auf der Bodenoberfläche. Da die Frage der Einarbeitung von Ernterückständen einigermaßen gut geklärt ist, muß von der Landtechnik aber noch das Problem der genauen Saatgutablage in ein Saatbett mit Ernterückständen gelöst werden. In der Abbildung 4 ist in Anlehnung an das Schema eines idealisierten Saatbettes von HEEGE 1978 (13) skizziert, wie ein ideales Saatbett auszusehen hätte.



Verschlämmungsschutz: Ernterückstände und gröbere Aggregate (locker)

feiner, leicht verdichteter Boden mit möglichst wenig Pflanzenteilen

abgesetzter Boden, der von Zeit zu Zeit mit Tiefenlockerungswerkzeugen aufgelockert werden muß

unbearbeiteter Unterboden

Abb. 4: Idealisiertes Saatbett

Im folgenden ist eine Möglichkeit aufgeführt, wie eine Saatbettbereitung für die Zwischenfruchtbestellung aussehen könnte:

Nach der gleichmäßigen Einarbeitung des Stroh in den Boden (10-15 cm tief) mit einem Grubber oder einer Fräse wird mit einer geeigneten Egge die rauhe Oberfläche eingeebnet und der Boden je nach Standortverhältnissen und Saatgut unterschiedlich fein und tief gekrümelt. Im Saattiefenbereich sollen die Aggregate kleiner als 5 Millimeter sein, damit bei trockenen Bedingungen die Wasserversorgung der Samen sichergestellt ist. Außerdem erhöht sich durch eine feinere Krümelung die Genauigkeit bei der Tiefenablage. Ist bei der Bestellung der Boden im Saattiefenbereich zu locker, muß nach der Saat mit einer Walze rückverdichtet werden, um eine Austrocknung des Bodens zu verhindern und im Boden eine gute Wasserführung zu ermöglichen. Inwiefern ein Lockern des Unterbodens notwendig ist, muß jeweils vor der Saatbettbereitung geprüft werden (am besten durch eine Spatenprobe). Ist der Boden zu sehr verdichtet, empfiehlt sich eine Lockerung durch spezielle Werkzeuge. Diese Maßnahme ist aber im Hinblick auf eine Bodenbearbeitungsfolge im Rahmen einer Fruchtfolge zu sehen. Innerhalb einer Fruchtfolge hat sich nämlich die Bodenbearbeitung den jeweiligen Bodenverhältnissen sowie den Ansprüchen der Fruchtarten anzupassen. Es kann deshalb kein allgemein verbindliches Schema einer bestimmten Bearbeitungsform für die Bestellung gemacht werden.

Weshalb sich in manchen Gegenden bestimmte, in der selben Reihenfolge immer wiederkehrende Bearbeitungsfolgen eingebürgert haben, hat folgende Gründe: Als erstes spielt die Tradition eine gewisse Rolle. Eine einmal eingeführte Technik wird in der Praxis lange beibehalten, wenn sie sich einmal bewährt hat. Ferner beeinflußt der Standort bezüglich Boden und Klima die Bodenbearbeitung. In trockenen Gebieten wird zum Beispiel weniger intensiv bearbeitet als in feuchten.

Die Intensität in der pflanzlichen Produktion ist ein weiterer Faktor, der unterschiedliche Bearbeitungsverfahren in verschiedenen Regionen zur Regel werden ließ. In Ländern mit geringer Intensität, wie beispielsweise in den USA, haben sich Grubber und Scheibenegge durchgesetzt, während in Mittel- und Westeuropa, wo die Intensität in der Landwirtschaft viel höher ist, eine aufwendigere Bodenbearbeitung mit Pflug und anschließend mit Zapfwelengeräten betrieben wird.

In letzter Zeit diskutiert man aber bei uns, wo die aufwendige Bearbeitung mit dem Pflug und verschiedenen Sekundärbearbeitungsgeräten Standard ist, immer häufiger die Möglichkeiten und auch die Notwendigkeit einer pfluglosen Bodenbearbeitung aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, des Erosionsschutzes und der Bodenfruchtbarkeit. Die Landtechnik liefert mit ihrem breiten Angebot an Bodenbearbeitungsgeräten zusätzlich Informationsstoff für diese Diskussion.

3.3 Einflußfaktoren auf die Bodenzerkleinerung

Die Zerkleinerungswirkung der Bodenbearbeitungsgeräte wird von einigen natürlichen und technischen Faktoren beeinflußt. Im einzelnen sind dies Bodenart, Bodenfeuchte, Witterungsverlauf, Geräteart, Werkzeugform, Vorfahrt- sowie Werkzeuggeschwindigkeit.

3.3.1 Bodenart

Die Bodenart ist ein Standortfaktor, der von Natur aus gegeben ist und nur langfristig durch Meliorationsmaßnahmen gering verändert werden kann. Von den Bodeneigenschaften sind Ton-, Sand- und Humusgehalt die entscheidenden Faktoren, die den Zerkleinerungseffekt der Geräte beeinflussen. Die in der Praxis gemachte Erfahrung, daß Böden mit höherem Tongehalt, sogenannte schwere Böden, den Zerkleinerungseffekt der Bodenbearbeitungsgeräte deutlich herabsetzen, wurde in einer Untersuchung von SCHÖNHAMMER 1982 (31) bestätigt. Er hat bezüglich Ton- und Sandgehalt verschiedene Böden mit Zapfwellengeräten bearbeitet und den Zerkleinerungseffekt mit Hilfe der Aggregatgrößenverteilung verglichen. Erwartungsgemäß wurden deutliche Unterschiede festgestellt.

Ein höherer Humusgehalt verbessert die Bearbeitbarkeit von schluff- und tonreichen Böden, weil die organische Substanz in Verbindung mit der Bodenfauna die Bildung von stabilen Aggregaten fördert. Dadurch wird eine grobporige Bodenstruktur geschaffen, die einer Verschlammung und Verdichtung mehr Widerstand leisten kann. Ein höherer Humusgehalt sorgt demnach für die Aufrechterhaltung eines grobporigen Aggregatgefüges und verbessert somit die Bearbeitbarkeit eines sonst mehr zur Verdichtung und Verschlammung neigenden Bodens.

3.3.2 Bodenfeuchte

Als Bodenfeuchte wird der Wassergehalt des Bodens bezeichnet, der als Gewichtsverlust nach dem Trocknen bei 105 Grad Celsius (24 Stunden) gemessen wird (31). Dieser Wert wird in Prozent angegeben und entspricht dem Verhältnis der Wassermasse im Boden zur Masse seiner festen Phase. Klima und Bodenart sind dabei die bestimmenden Faktoren der Bodenfeuchte.

"Der Wassergehalt beeinflusst die gegenläufige Verschiebung der Kohäsions- und Adhäsionskräfte und hat Anteil an dem unterschiedlichen Zerkleinerungserfolg in dem Feuchtebereich, in dem unter praktischen Gegebenheiten eine sinnvolle Bearbeitung möglich ist" (31). Bei einem zu nassen Boden sind die Adhäsionskräfte so groß, daß sich der Boden nur plastisch verformt, ohne zu krümeln. Ein zu trockener Boden bricht dagegen aufgrund zu hoher Kohäsionskräfte nur in gröbere Schollen. Der Einfluß der Bodenfeuchte auf die Zerkleinerungswirkung einer Bearbeitung hängt auch stark mit der Bodenart und dem sogenannten Garezustand zusammen. So sind leichtere Böden und solche, die garer sind, bei dem selben Feuchtegehalt leichter zu zerkleinern. Die Tatsache, daß sich Felder nach einem Winter mit Frösten und nach einer Beschattung über eine längere Zeit durch einen Pflanzenbestand leichter bearbeiten lassen, beweist die positive Wirkung der Gare (Schattengare und Frostgare) bezüglich der Zerkleinerungsfähigkeit eines Bodens. Nach den Untersuchungen von SCHÖNHAMMER 1982 (31) liegt der optimale Feuchtegehalt für einen lehmigen Sandboden in einem Bereich von 16-21% . Wenn der Boden eine höhere Gare aufweist, ist der optimale Feuchtegehalt in einem größeren Bereich anzusetzen. Bei ungarem Boden verschiebt sich der optimale Bearbeitungszeitpunkt mehr in Richtung des kleineren Feuchtegehalts.

3.3.3 Einfluß der Witterung

Wechselnde Witterung wirkt sich durch Anfeuchten und Austrocknen, durch Quellen und Schrumpfen des Bodens sowie durch auflockernde oder setzende Wirkung von Frost und Regen auf die Struktur des Bodens aus (31). Dadurch entstehen oft erhebliche Unterschiede in der Bearbeitbarkeit der Böden nicht nur von Jahr zu Jahr, sondern auch innerhalb eines Jahres. Zum Beispiel sind die Böden im Frühjahr durch die Frostwirkung leichter zu bearbeiten als im Herbst. Der Einfluß der Witterung wird zusätzlich von der

Vorfruchtwirkung überdeckt. Je nach Vorfrucht sind die Auswirkungen der Witterung verschieden, dies trifft besonders auf die Wirkung des Regens und der Austrocknung durch Wind und Sonne zu.

3.3.4 Geräteart

Die Gerätebauform als auch die Werkzeugausformung stellen einen weiteren Einflußfaktor für die Zerkleinerungswirkung bei der Bodenbearbeitung dar. Bei der Gerätebauform spielt es eine Rolle, ob starre, pendelnde oder rotierende Geräte verwendet werden. Für die Werkzeuge gilt, daß verschiedene Werkzeugformen je nach Bodenzustand einen unterschiedlichen Zerkleinerungseffekt haben können. So ist es bei rotierenden Geräten von Bedeutung, wie groß die Ausweichmöglichkeit der Bodenaggregate ist. Bei Fräsen und Rotoreggen können Aggregate schlechter ausweichen als bei Rüttel-, Kreisel- oder Starreggen, da die Bodenteile bei Geräten, die um eine horizontale Achse rotieren, gegen den Boden geschlagen und erst später, je nach Einstellung des Prallblechs, ausweichen können. Bei Kreiselegen kann die Zerkleinerungswirkung durch eine Schiene unmittelbar hinter den rotierenden Werkzeugen, die ein zu schnelles Ausweichen von größeren Aggregaten verhindert, erhöht werden. Insgesamt spielt aber eine höhere Werkzeuggeschwindigkeit, deren Betrag ebenfalls von der Bauart der Geräte abhängt, eine größere Rolle für den Zerkleinerungseffekt.

3.3.5 Einfluß der Vorfahrt- und Werkzeuggeschwindigkeit

Vorfahrt- und Werkzeuggeschwindigkeit sind die einzigen Einflußgrößen auf die Bodenzerkleinerung, die unmittelbar bei der Bearbeitung mit einem einmal gewählten Gerätetyp den unterschiedlichen Bodenverhältnissen angepaßt werden können. Bei gezogenen Geräten mit starren Werkzeugen und bodenangetriebenen, rotierenden Arbeitsgeräten kann die Zerkleinerungswirkung nur geringfügig über die Vorfahrtgeschwindigkeit beeinflußt werden. Bei Zapfwellengeräten dagegen ermöglicht die Veränderung der Vorfahrtgeschwindigkeit sowie die Wahl der Werkzeuggeschwindigkeit über die Zapfwelle und ein Getriebe am Gerät einen weiten Bereich der Zerkleinerungsintensität.

ZELTNER 1975 (36) verwendet folgende Kenngrößen der Bodenzerkleinerung für zapfwellengetriebene Geräte, die sich während der Bearbeitung ändern lassen:

- Vorfahrtgeschwindigkeit (v)
- Werkzeug- bzw. Umfangsgeschwindigkeit (v_U)
- Quotient aus der Umfangs- und Vorfahrtgeschwindigkeit (u/v)
- Bissenlänge (l_B)

Die Bissenlänge errechnet sich aus der Vorfahrtgeschwindigkeit (v), aus der Drehzahl (n) und aus der Zahl der Arbeitswerkzeuge je Schnittebene (z) nach folgender Formel:

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

z (Fräse) = 3 (bei 6 Messern je Kranz)
 = 2 (bei 4 Messern je Kranz)
 z (Kreiselegge) = 2
 n = Rotordrehzahl
 v = Vorfahrtgeschwindigkeit

Sie bedeutet bei Fräsen und Rotoreggen die Strecke von einem Messer- oder Zinkeneinschlag in den Boden zum anderen und somit den Abstand von zwei aufeinander folgenden Zykloidenbahnen (Abbildung 5). Bei gegebenem Rotordurchmesser und fester Messer- oder Zinkenzahl je Schnittebene kann durch Variation des Verhältnisses u/v der Zerkleinerungseffekt verändert werden. Wird zum Beispiel unter Beibehaltung der Umfangsgeschwindigkeit die Vorfahrtgeschwindigkeit erhöht, so ziehen sich die Zykloidenbahnen auseinander und ab einem bestimmten Verhältnis u/v wird nicht mehr die gesamte Bodenoberfläche bearbeitet. Ganz grob kann gesagt werden, daß für eine ganzflächige Bearbeitung die Umfangsgeschwindigkeit etwa dreimal so groß sein muß wie die Vorfahrtgeschwindigkeit (5). Durch das Verhältnis u/v wird also die Bissenlänge und damit auch der Zerkleinerungseffekt der Geräte bestimmt.

Ähnliche Zusammenhänge bestehen auch bei anderen zapfwellengetriebenen Geräten wie Kreiselegge oder Pendelegge. Der Bewegungsablauf der Zinken dieser Geräte im Boden ist in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt.

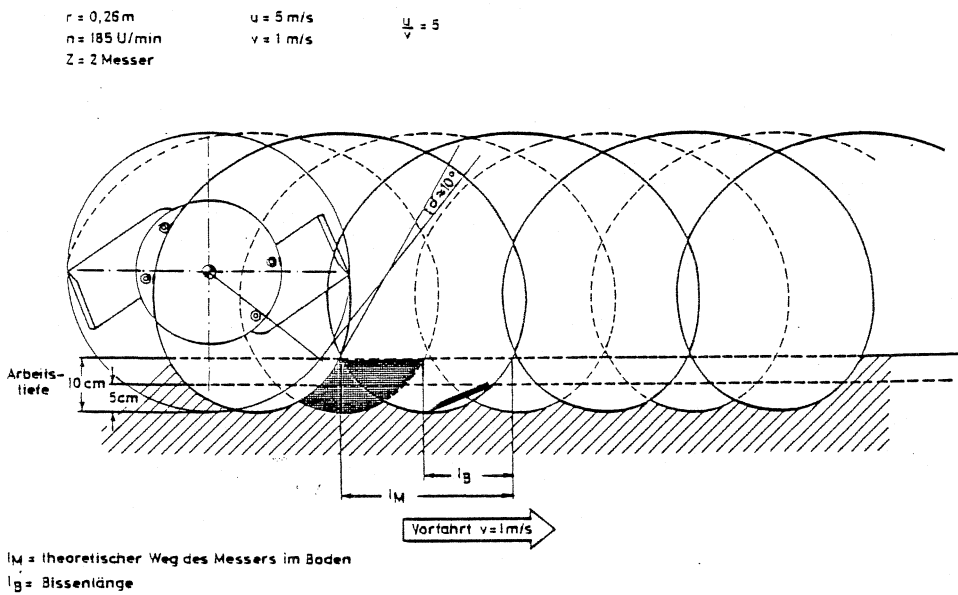
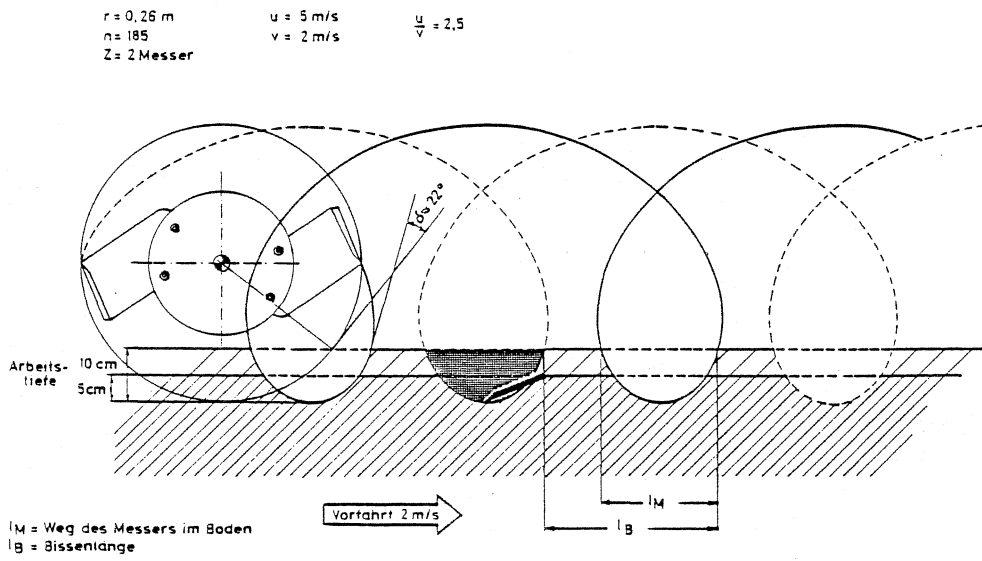


Abb. 5: Bewegungsablauf der Fräsmesser im Boden

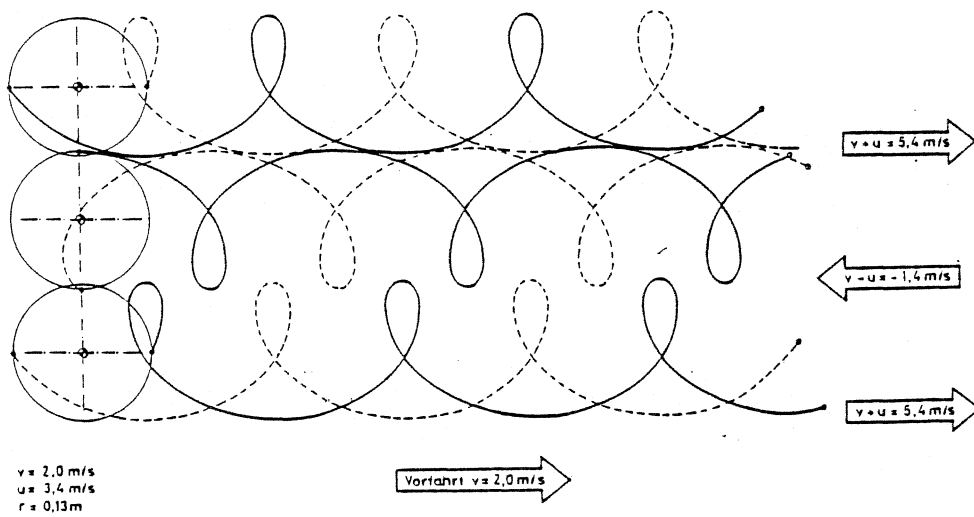
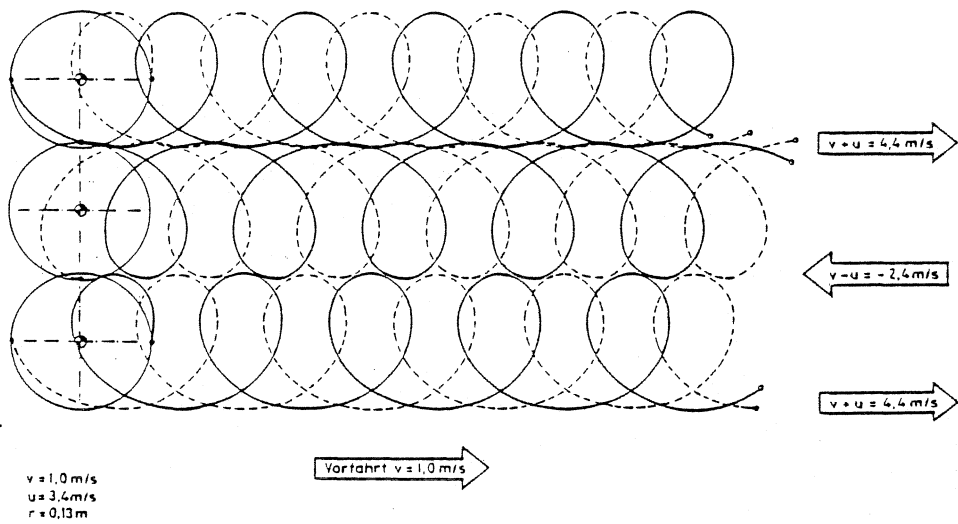


Abb. 6: Bewegungsbahnen der Zinken einer Kreiselegge bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (5)

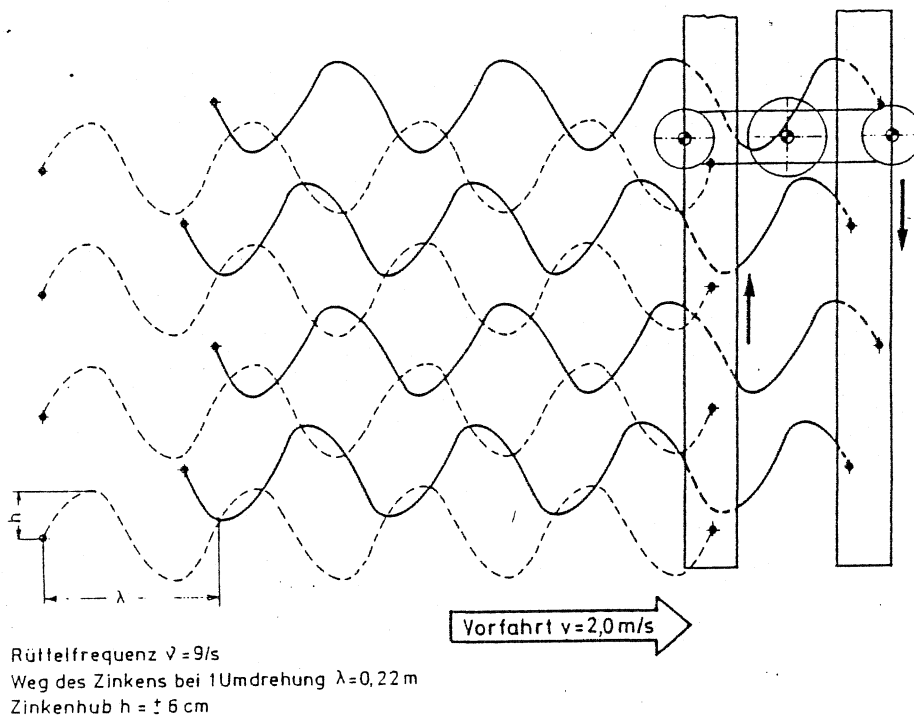
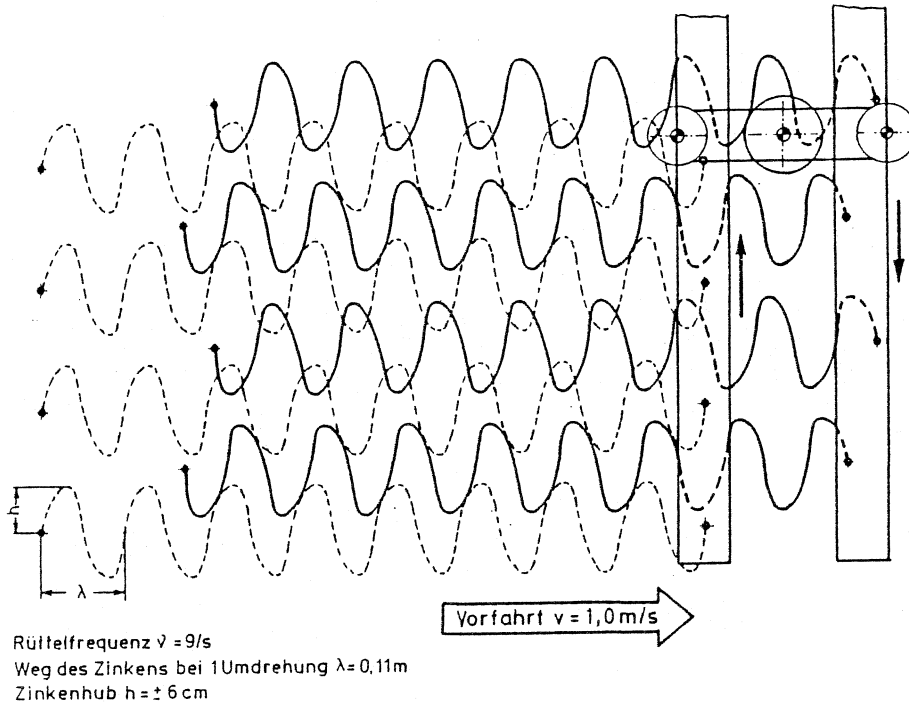


Abb. 7: Bewegungsbahnen der Rütteleggzinken im Boden bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (5)

3.4 Bestellverfahren für Zwischenfrüchte

Unter Bestellverfahren für landwirtschaftliche Kulturen versteht man im allgemeinen die Sekundärbodenbearbeitung vor der Saat und die Aussaat des Saatgutes mit einem Sägerät. Seit der Einführung von kombinierten Bestellverfahren beinhalten sie manchmal auch die Grundbodenbearbeitung (z.B. Pflugsaat; Bestellung mit Grubber, Zapfwellengerät und Drillmaschine).

Für die Zwischenfruchtbestellung werden häufig extensivere Verfahren angewandt als für die Bestellung von Hauptkulturen, weil oftmals ihr Wert zu gering eingeschätzt wird und deswegen mit dem geringsten Aufwand bestellt wird. Darin liegt aber in vielen Fällen auch die Ursache für eine nicht gelungene Gründüngung.

Zur Sekundärbodenbearbeitung oder Saatbettbereitung werden gezogene Eggen mit verschiedenen starren oder gefederten Werkzeugen (Acker-, Kultiegge und Grubber), rotierende, vom Boden angetriebene Geräte (Walzen verschiedener Bauart: Krümmerwalze, Sternwalze, Packerwalze usw., Scheibenegge und Spatenrollegge) und zapfwellenangetriebene Geräte, die entweder oszillieren (Rüttel- oder Taumlegge) oder rotieren (Kreisel-, Rotoregge und Fräse), eingesetzt. Sie unterscheiden sich zum Teil erheblich in Zerkleinerungseffekt, Tiefgang, spezifischem Leistungsbedarf, Verstopfungsanfälligkeit, Mischeffekt und eignen sich folglich unterschiedlich gut bei verschiedenen Boden- und Ernterückstandsverhältnissen. Bei der Wahl der Geräte ist deswegen die Kenntnis ihrer Wirksamkeit und die der Bodenverhältnisse des jeweiligen Standortes von entscheidender Bedeutung.

In der Praxis werden häufig Kombinationen aus einzelnen Geräten eingesetzt, die sich in ihrer Wirkungsweise ergänzen. Zum Beispiel sind fast immer Eggen mit Walzen kombiniert, wobei die Egge zerkleinernd und lockernd, die Walze dagegen verdichtend wirkt.

Bei der **Sätechnik** werden je nach der Saatgutablage im Boden verschiedene Verfahren unterschieden. Um eine **Drillsaat** handelt es sich, wenn das Saatgut über eine Schlepp-, Säbel- oder Scheibenschar im Boden in einer Reihe abgelegt wird. Sie stellt bis jetzt die häufigste Form der Saat dar (besonders Schleppechar). Bei der **Bandsaat** wird das Saatgut in 3 - 12 cm breiten Bändern abgelegt, was eine stark verbesserte Flächenverteilung der Samen zur Folge hat. Hierzu gibt es verschiedene technische Lösungen. Eine Bandsaat mit rund 3 cm Bandbreite liefern Samenleitungen, die das Saatgut in den abfließenden Erdstrom von Fräsen oder Feingrubbern einbringen. Eine

Ablagebreite von 7,5 cm ergibt sich bei Gänsefußscharen oder Schlepptscharen mit verbreitertem Auslauf, die auch als Räumschare bezeichnet werden, weil sie den Boden vor der Kornablage erst wegräumen (14).

Da bei Räumscharen jedoch relativ leicht Verstopfungen auftreten können, wurde ein Einscheibenräumschar mit einer schräggestellten Scheibe, Abstreifer und Tiefenführungskufe entwickelt, bei dem keine Probleme mehr bezüglich Verstopfungen auftreten. Die Säbreite dieses Schares beträgt ungefähr 5 cm (14).

Eine **Breitsaat** ergibt sich, wenn Gänsefußscharen so angeordnet sind, daß sie die ganze Fläche abdecken. Außerdem gibt es Breitsäverfahren, die das Saatgut durch eine einfache Sävorrichtung breit auf dem Feld verteilen und anschließend mit einem Bodenbearbeitungsgerät einrühren. Diese Verfahren der Breitsaat bzw. der Bandsaat, die das Saatgut in den abfließenden Erdstrom eines Bodenbearbeitungsgerätes ablegen, sind in ihrer Tiefenablage sehr ungenau. Sie führen meist zu einem unsicheren und ungleichmäßigen Feldaufgang mit allen sich daraus ergebenden Nachteilen für den Wachstumsverlauf der Pflanzen.

Gerade für die Zwischenfruchtbestellung werden Breitsäverfahren häufig angewendet. Gründe dafür sind der relativ geringe Aufwand für die einfache Gerätekonstruktion und die Tatsache, daß der Genauigkeit bei der Zwischenfruchtbestellung in der Praxis weniger Wert beigemessen wird.

In der Tabelle 2 ist die Streuung der Saattiefe unterschiedlicher Säverfahren angegeben.

Abbildung 8 verdeutlicht mit den relativen Häufigkeiten gleicher Saattiefen zusätzlich die Ungenauigkeit der einzelnen Verfahren.

Zwei neuere Verfahren der Band- und Breitsaat in den abfließenden Erdstrom von Bodenbearbeitungsgeräten haben allerdings Verbesserungen bezüglich der Genauigkeit in der Saattiefe gebracht. Bei einem Gerät wird das Saatgut nicht über senkrecht in den Erdstrom ragende Särohre, sondern über horizontal zum Boden endende, an ihrer Öffnung etwas verbreiterten Särohre mit Hilfe von Luft auf gleicher Höhe in den Erdstrom einer Rotoregge in Bändern abgelegt.

Ein anderes Breitsäverfahren, das von einem Landwirt entwickelt wurde, sieht folgendermaßen aus: Das Saatgut wird pneumatisch über Saatileitungen in eine Eisenschiene befördert, die waagrecht hinter einer Fräse angebracht ist. Die Saatschiene hat Öffnungen mit Prallfingern, aus denen das Saatgut in gleicher Tiefe breit verteilt wird. Die Fräse schneidet den Boden auf Höhe der Schiene ab und wirft das gelockerte Erdreich über diese

Feldversuch: Dikopshof; nach Pflugfurche

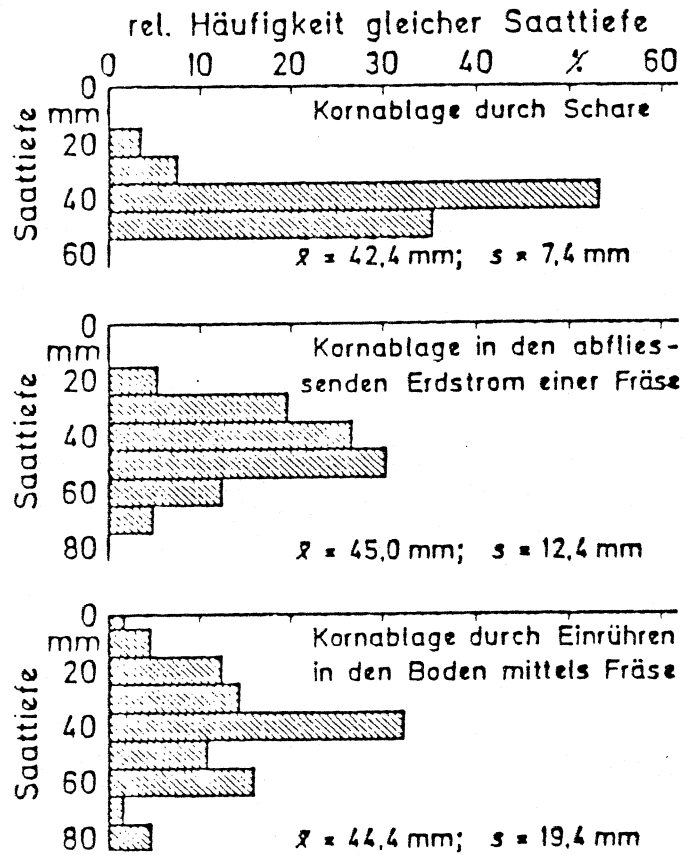


Abb. 8: Relative Häufigkeit gleicher Saattiefen bei verschiedenen Verfahrenstechniken der Samenablage, nach Heege 1981 (14)

Tab. 2: Streuung der Saattiefe bei verschiedenen Säverfahren (14)

Säverfahren		Technik der Samenablage in den Boden	Streuung σ : Standardabweichung der Saattiefe ($\bar{x} = 25 - 45 \text{ mm}$)
Drillsaat		Schleppschare Säbelschare Scheibenschare Packerringgrillen <i>(nur für leichtere Böden geeignet!)</i>	} 6 - 11 mm
Band- saat	Bandbreite 3 cm	Säleitung im Erdstrom des Bodenbearbeitungsgerätes <i>(Fräse, Feingrubber)</i>	
	Bandbreite 7,5 cm	Gänsefußschare Räumschare	} 6 - 11 mm
Breitsaat		Gänsefußschare	
		Einrühren durch Bodenbearbeitungsgeräte	15 - 20 mm

nach hinten. Die Samen fallen dabei auf unbearbeiteten Boden, womit für die Keimung in trockenen Lagen eine gute Keimwasserübertragung vom Unterboden gesichert ist (24).

In der Tabelle 3 sind die verschiedenen Verfahren der Bestelltechnik zusammengefaßt. Sie sind unterteilt in die unterschiedlichen Arten der Stoppelbearbeitung mit einer eventuell darauffolgenden Sekundärbearbeitung und anschließender Saat.

Tabelle 3 : Übersicht der Bestellverfahren

----- Pflug: -----	-- mit Nachläufer und Sävorrichtung (Pflugsaat) = Bestellsaat
	-- + zapfwellengetriebenes Gerät:- mit Drillmaschine kombiniert (Rüttel-,Kreisel- oder Rotoregge) - + Drillmaschine
	-- + Saatbettkombination + Drillmaschine
----- Grubber: -----	-- Kurzgrubber (ein- und zweibalkige mit Doppelherz-, Gänsefuß- und Flügelscharen) kombiniert mit einem Zapfwellengerät (Kreiselegge,Zinkenrotor oder Fräse) mit angebauter Drillmaschine.
	-- mehrbalkiger Grabber - + Zapfwellengerät oder andere Egge + Drillmaschine
	- + Zapfwellengerät mit Drillmaschine
	- mit Sävorrichtung und Nachläufer
----- Scheibenegge: -----	-- + Zapfwellengerät kombiniert mit Drillmaschine
	-- mit Nachläufer und Sävorrichtung
----- Spatenrollegge: -----	-- + Zapfwellengerät kombiniert mit Drillmaschine
	-- mit Nachläufer und Sävorrichtung
----- Fräse: -----	-- Fräse mit aufgebauter Sämaschine (Frässaat) = Bestellsaat

Bei der Aufstellung einer Systematik für Bestellverfahren ergeben sich dann einige Schwierigkeiten, wenn eine genaue Einteilung in einzelne Gruppen gemacht werden soll, da keine scharfen Grenzen zwischen den verschiedenen Verfahren gezogen werden können. Die in der Literatur zu findenden Einteilungen sind nicht einheitlich. Es wird unterschieden in Bearbeitung mit und ohne Pflug, in konventionelle und minimale Bestelltechnik, in wendende und nicht wendende Bodenbearbeitung. Eine genaue Einteilung läßt sich deswegen nicht machen, weil die Technik zahlreiche Verfahren anbietet, die sich von Fall zu Fall unterschiedlich kombinieren lassen, und da zugleich mehrere Kriterien beachtet werden müssen (Intensität, Zahl der Arbeitsgänge, Art des Eingriffes, Arbeitstiefe), die bei unterschiedlichen Bodenverhältnissen verschieden zu bewerten sind.

Für die Zwischenfruchtbestellung werden immer häufiger Kombinationen, bestehend aus einem Kurzgrubber, einer Kreiselegge und einer darauf aufgesattelten Drillmaschine, verwendet. Der Kurzgrubber ist dabei entweder mit Doppelherzscharen, Gänsefuß- oder Flügelscharen ausgerüstet. Bei der Drillmaschine werden zunehmend Rollscharen verwendet, da sie bezüglich Ernterückstände unproblematischer sind. Mit einer derartigen Kombination kann in einem Arbeitsgang das Stroh eingemischt, das Saatbett bereitet und das Saatgut ausgebracht werden. Allerdings sind der dazu notwendige Schlepperleistungsbedarf und die Ansprüche an die Hubkraft der Schlepperhydraulik sehr hoch. Die einzelnen Geräte können auch getrennt gefahren werden, was bei schwierigen Bodenverhältnissen und geringerer Schlepperleistung sehr vorteilhaft sein kann.

Die Frässaat ist in der Praxis schon seit längerer Zeit als einfaches Verfahren für die Zwischenfruchtbestellung verbreitet. Mit einem Gerät, das aus einer Fräse, einer aufgebauten Drillmaschine und einer Walze besteht, wird in einem Arbeitsgang das Stroh eingemischt und die Zwischenfrucht gesät. Als Nachteil dieses Verfahrens muß die ungenaue Saatgutablage angeführt werden.

Ein in Futterbaubetrieben noch häufig angewandtes Verfahren ist die Bestellung nach einer Schälfrucht, die einen sogenannten reinen Tisch liefert, von dem das Grünfutter sauber geborgen werden kann. Die Saatbettbereitung erfolgt mit den verschiedensten Eggen, die Saat mit einer herkömmlichen Drillmaschine. Steht ein Zapfwellengerät zur Verfügung, kann die Saat in Kombination mit der Drillmaschine oft in einer Überfahrt nach der Pflugfurche erledigt werden. Schließlich gibt es noch die Möglichkeit, mit

einem Grubber, einer Scheiben- oder einer Spatenrollegge, auf die eine Sä-
vorrückung aufgebaut ist, die Gründüngung auszubringen. Ein angebauter
Nachläufer sorgt hier für eine zusätzliche Zerkleinerung sowie für die
Verdichtung des Bodens. Dieses Verfahren schneidet bezüglich Sägenauigkeit
am schlechtesten ab und liefert deswegen in vielen Fällen eine mißlungene
Gründüngung.

3.5 Der Zwischenfruchtbau

Unter Zwischenfruchtbau versteht man den Anbau verschiedener Pflanzen zur
Gründüngung oder zur Futtergewinnung zwischen zwei Hauptfrüchten. Dabei
wird in zwei Gruppen unterschieden:

Um Untersaaten handelt es sich, wenn sie entweder mit der Getreidebestel-
lung oder erst später (zum Beispiel bei Wintergetreide erst im Frühjahr)
ins Getreide eingesät werden.

Die weitaus häufigste Form des Zwischenfruchtbaus stellt derzeit die Stop-
pelsaat dar, die nach der Aberntung des Getreides erfolgt.

Bezüglich der Winterhärte lassen sich Zwischenfrüchte in winterharte und
nicht winterharte einteilen. Bei den winterharten besteht die Möglichkeit,
sie im Frühjahr noch für Futterzwecke zu nutzen. Außerdem halten winter-
harte Zwischenfrüchte das Nitrat besser fest und schützen es so vor der
Auswaschung durch die Niederschläge im Winter.

Die Ziele des Zwischenfruchtbaus sind folglich neben der Futtergewinnung
die Stickstoffbindung und die Zufuhr von organischer Substanz mit all ih-
ren positiven Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit des Bodens in Form von
erhöhter biologischer Aktivität, besserer Nährstoffdynamik, Strukturver-
besserung und Erosionsschutz.

3.5.1 Die Geschichte des Zwischenfruchtbaus

Der Ursprung der Gründüngung geht nach schriftlicher Überlieferung bis ins
Altertum zurück. Schon bei den Römern waren Leguminosen als Düngerpflanzen
bekannt. Cato (234 - 149 v.Chr.) beschreibt in seinem Werk "de agricultu-
ra" die Lupine und die Wicke als düngende Pflanzen. Auch im Mittelalter
und in der Neuzeit wurde die Lupine zur Bodenverbesserung angebaut. In der

zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kam die Seradella dazu.

RENIUS und LÜTKE ENTRUP 1985 (29) gliedern die Geschichte des Zwischenfruchtanbaus in drei Abschnitte:

Die **erste Phase** steht im Dienste der Stickstoffansammlung. In erster Linie erfüllte die Lupine diese Aufgabe. SCHULTZ-LUPITZ verhalf dem Lupinenanbau zum großen Durchbruch und gilt deswegen als Vater des Zwischenfruchtanbaus.

Die **zweite Phase** fand in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts statt und stand unter dem Gesichtspunkt der Futter-, Stickstoff- und Humusproduktion sowie der Gare, wobei der Schwerpunkt bei der Futtergewinnung lag. Die Gründüngung war hauptsächlich in Ostdeutschland und in der Lüneburger Heide auf leichten Böden vor Kartoffeln, vor Zuckerrüben aber auch auf besten Böden verbreitet. Es wurde eine Verbesserung in Humusgehalt, Struktur und Stickstoffgehalt und dadurch auch eine Ertragssteigerung festgestellt. Mit der Züchtung des Liho-Sommerrapses (Limburger Hof) wurde die Periode des Rapsanbaus eingeleitet. SEKERA trat besonders für die Rapsgründüngung ein und propagierte die Methode "Immergrün". Er prägte auch den Begriff der "Lebendverbauung" für die beständigen Bodenkrümel. PETERSON und VETTER empfahlen den Kleegrasanbau für den Zwischenfruchtbau. Sie bezeichneten das Klee gras als wichtiges Fruchtfolgeglied in der Haupt- und Nebenfruchtfolge. Die Deutsche Saatveredelung in Landsberg/Wahrte, Stettin und Schlawe führte 1928 das Gras mit seiner besonders fein verteilten Wurzelmasse als Hauptbestandteil des Landsberger Gemenges als Winterzwischenfrucht ein. VON BOGUSLAWSKI erweiterte schließlich die Gründüngungsarten um den spätsaatverträglichen Tiefwurzler Ölrettich. Er und DEBRUCK weisen nach zahlreichen Versuchen auf die positive Komplexwirkung von Stroh- und Gründüngung in einer modernen Fruchtfolge hin. Die Phacelia, eine frohwüchsige, spätsaatverträgliche, Unkraut unterdrückende, reine Gründüngungspflanze, wurde von der Deutschen Saatveredelung Lippstadt eingeführt.

In der **dritten Phase** des Zwischenfruchtanbaus stehen neben der Futterproduktion die erhöhte biologische Aktivität, die Umsatzsteigerung in der Humusbilanz, die Strukturhaltung bzw. Strukturverbesserung, die Nitratbindung sowie der Erosionsschutz im Vordergrund.

Kreuzblütler (Raps, Ölrettich, Senf usw.) stellen heute mit 61% den Hauptanteil im Zwischenfruchtbau (33). Gründe dafür sind relativ billiges Saatgut, Spätsaatverträglichkeit und geringe Ansprüche an die Bestellverfahren.

Bei der großen Flächenausdehnung der Kreuzblütler ergeben sich auch Probleme. Zum einen können größere Schäden durch Kohlhernie auftreten und zum anderen werden die Rüben nematoden vermehrt.

Leguminosen und Stoppelrüben weisen eine fallende Tendenz auf, während der Anbau von Gräsern stark gestiegen ist.

Nach einer Umfrage von SEIBOLD und BAUDISCH 1982 (33) wurden in der Bundesrepublik mit 1,5 Millionen Hektar 31% der Getreidefläche (4,9 Mio ha) mit einer Zwischenfrucht bestellt. Auf 75% der Betriebe wurden Zwischenfrüchte angebaut. Die Aufteilung in die einzelnen Arten sah folgendermaßen aus:

- Kreuzblütler 60,8% (stagnierend)
- Gäser 14% (stark zunehmend)
- Klee gras 5,2% (abnehmend)
- Kleearten 7,2% (abnehmend)
- Stoppelrüben 8,8% (stark abnehmend)
- Phacelia 4% (zunehmend)

3.5.2 Aufgaben der Zwischenfrüchte

Zwischenfrüchte werden zum Zwecke der Futtergewinnung und zur Bodendüngung (Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit) angebaut. Im Gegensatz zur mineralischen Düngung hat eine Gründüngung wie andere organische Dünger eine langfristige Wirkung, die die Bodenfruchtbarkeit verbessert. Diese Wirkung macht sich besonders auf leichten und nährstoffarmen Böden bemerkbar. Aber auch schwere Böden werden durch die Gründüngung verbessert, in dem Wurzeln und organische Masse zu einer besseren Durchlüftung des Bodens und damit zur Förderung einer optimalen Bodenstruktur beitragen.

Während bei der Zielrichtung Futtererzeugung hohe Massenproduktion und bestimmte Qualitätseigenschaften angestrebt werden, stehen bei der reinen Gründüngung nicht immer Höchsterträge im Vordergrund. Wichtiger sind hier Eigenschaften, die den Ertrag der Folgefrüchte erhöhen.

Der Wert einer Gründüngung kann an den höheren Erträgen und den durch den Zwischenfruchtanbau verminderten Aufwand bei der Hauptfrucht gemessen werden. So ergeben sich durch die Gründüngung eine leichtere Bodenbearbei-

tung, eine bessere Mineraldüngerverwertung, geringere Stickstoff-Auswaschung und eine verminderte Bodenerosion (16).

Das Ziel eines höheren Ertrages und/oder eines geringeren Aufwandes bei den Folgefrüchten wird über folgende Faktoren erreicht:

- Stickstoff-Anreicherung
- Stickstoffbindung (Schutz vor Nitratauswaschung)
- Humus-Anreicherung
- Strukturverbesserung (Unterbodenlockerung, Bodenkrümelung)
- Erhöhung der biologischen Aktivität
- Verbesserung der Nährstoffdynamik
- Krankheitsverminderung
- Unkrautbekämpfung
- Erosionsschutz und Verminderung der Nährstoffauswaschung

Nach AMBERGER 1979 (1) befindet sich der Stickstoffvorrat eines Bodens zu 98% in der organischen Substanz. Davon werden jährlich je nach Klimabedingungen 1 bis 2% in der Vegetationszeit freigesetzt. Mit der Produktion von organischer Substanz durch Zwischenfrüchte kann Stickstoff im Boden angereichert werden. Durch die Bindung des Stickstoffs in der Pflanze wird die Auswaschung des Nitrates während des Winters weitgehend verhindert. Dies gilt besonders für winterharte Zwischenfrüchte, die auch die Auswaschung von Gülle-Stickstoff den Winter über reduzieren helfen.

Zufuhr von organischer Substanz bedeutet in erster Linie die Bereitstellung von Nährhumus für die Bodenlebewesen, die ihn in Mineralstoffe und Dauerhumus umsetzen. Die Huminstoffe des Dauerhumus, die mikrobiell nicht mehr abgebaut werden können, verleihen unserem Boden die braune Farbe und tragen wesentlich zur Bodenfruchtbarkeit bei (32). Der Dauerhumus verbessert die Aggregatstabilität und das Sorptionsvermögen für Nährstoffe und Wasser eines Bodens wesentlich. Seine dunkle Farbe führt zudem zu einer schnelleren Bodenerwärmung.

Neben der Humusanreicherung tragen die Wurzeln erheblich zur Strukturverbesserung im Boden bei. Während die Tiefwurzler (Kruziferen und Grobleguminosen) den Unterboden lockern, fördern Gräser mit ihren feinen Wurzeln und ihrer hohen Wurzelmasse in starkem Maße die Bodenkrümelung. Das geschieht in der Weise, daß die feinen Wurzeln den Boden völlig durchwach-

sen, nach kurzer Zeit absterben, immer wieder neu gebildet werden und dadurch den Mikroorganismen ständig Nahrung liefern. Auf diese Weise wird die biologische Aktivität im Boden gesteigert, d.h., die organische Substanz wird schneller in ihre Bestandteile wie CO₂, H₂O, Minerale, organische Säuren und Huminsäuren abgebaut. Die Abbauprodukte werden innigst mit dem mineralischen Boden durchmischt und führen mit Schleimstoffen als Ausscheidungen von den Mikroorganismen und mit den Huminstoffen zur sogenannten Lebendverbauung im Boden (10).

Eine auf diese Weise entstandene Bodenkrümelung ist sehr stabil, bietet eine optimale Porengrößenverteilung für einen ausgeglichenen Wasser- und Lufthaushalt und leistet der Verschlammung und Erosion Widerstand.

Alle bisher genannten Faktoren tragen zu einer Verbesserung der Nährstoffdynamik bei, was die Hauptursache für die ertragssteigernde Wirkung der Gründüngung bei der Folgefrucht ist. Eine weitere Aufgabe der Zwischenfrüchte ist die Verminderung von Krankheiten für die Folgefrüchte. Sie dienen vor allem zur Auflockerung und Ergänzung unserer modernen, oft sehr einseitig ausgerichteten Fruchtfolgen. Durch geschickte Pflanzenwahl können dabei beachtliche Erfolge erzielt werden. Zum Beispiel vermindern die für Rübennematoden neutralen oder resistenten Pflanzen Phacelia sowie Ölrettich den Krankheitsbefall an Rüben. Ferner unterdrückt ein gut wachsender Zwischenfruchtbestand die Unkräuter. Eine Gründüngung trägt also auch indirekt zur Unkrautbekämpfung bei.

Die Bedeutung der Zwischenfrucht als Erosionsschutz hat in jüngster Zeit stark an Gewicht zugenommen und wird dies auch in Zukunft noch weiter tun. Besonders beim erosionsfördernden Maisanbau auf schluffreichen und hängigen Böden kann durch neue Anbautechniken, wie zum Beispiel mit Hilfe einer Reihenfrässaat in abgestorbene Gründüngungsbestände, die Erosion weitgehend eingedämmt werden.

Als letzte Aufgabe der Zwischenfrüchte sei noch die Verminderung der Nährstoffauswaschung genannt. Dies geschieht auf zweierlei Weise: Zum einen vermindern die Pflanzen durch den Wasserverbrauch und die Wasserspeicherung im durchwurzelten Boden die Sickerwassermenge, mit der vor allem Nitrat, Calcium und Magnesium in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser eingetragen werden. Zum anderen bauen Pflanzen aus diesen und anderen Nährstoffen ihre Substanz auf und fungieren damit als Nährstoffspeicher.

Gebunden. in der organischen Substanz können die Nährstoffe in die nächste Vegetationsperiode "hinübergerettet", dann allmählich abgebaut und mineralisiert werden. Dabei ist zu beachten, daß in den Monaten September, Oktober und auch noch im November erhebliche Mengen an organischer Substanz mineralisiert und ausgewaschen werden können. Deswegen sollen vor allem leicht abbaubare Leguminosen (z.B. "Tabor", Erbsen, Wicken) möglichst spät eingearbeitet oder nach Möglichkeit bis zum Frühjahr stehengelassen werden.

Bei richtiger Bodenbearbeitung und Pflanzenwahl führt der Zwischenfruchtbau zur Verbesserung der Fruchtfolge und Bodenfruchtbarkeit vor allem auf leichten Böden und damit auch zur Ertragssteigerung bei den Folgefrüchten. Dies konnte in zahlreichen Versuchen von BOGUSLAWSKI und DEBRUCK bewiesen werden (zit. in 16).

3.5.3 Geeignete Pflanzen für den Zwischenfruchtbau und deren Eigenschaften

Es gibt eine Reihe von Pflanzen mit unterschiedlichen Ansprüchen und Qualitätsmerkmalen, die im Zwischenfruchtanbau eingesetzt werden können. Ihre Eigenschaften und ihre Auswirkungen auf die Fruchtfolge sind jedoch noch nicht ausreichend untersucht.

Entscheidungskriterien bei der Auswahl einer Pflanzenart sind verbleibende Vegetationszeit, Saatzeitpunkt, Wasser- und Nährstoffverhältnisse des Standorts, Nutzungsrichtung (Gründüngung oder Futterproduktion), und die mögliche Stellung in der Fruchtfolge.

Die Auswirkungen der Zwischenfrucht auf den Ertrag der Folgefrüchte hängt weiterhin von der Bodenbearbeitung und Bestellform bei der Hauptfrucht ab. Für eine erfolgreiche Gründüngung muß die Faktorenkombination Standort-Zwischenfrucht-Bodenbearbeitung-Hauptfrucht beachtet werden (16). Diese Kombination muß noch besser erforscht werden, um die Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf die Fruchtfolge in pflanzenbaulicher und ökonomischer Hinsicht endgültig einschätzen zu können. Der Zwischenfruchtanbau würde dadurch noch an Bedeutung gewinnen und seine positive Wirkung auf die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit könnte voll ausgeschöpft werden.

Die Vielzahl der Pflanzenarten für den Zwischenfruchtbau kann in vier Gruppen eingeteilt werden: (Gräser, Leguminosen, Kruziferen und sonstige Pflanzen)

Die **Gräser** bilden eine hohe Pflanzenmasse und die höchste Wurzelmasse unter den Gründüngungspflanzen. Sie durchwurzeln die oberste Bodenschicht mit einem feinen und sehr dichten Wurzelwerk. Sie müssen jedoch früh gesät werden (Juli bis Anfang August) und stellen hohe Ansprüche an die Nährstoffversorgung.

Die zweite Gruppe, die **Leguminosen**, sind als Luftstickstoffsammler beliebte Gründüngungspflanzen, die den Stickstoffvorrat im Boden anheben. Ihre Bewurzelung ist weniger intensiv als die der Gräser, aber dafür besonders bei den Grobleguminosen (Lupinen, Ackerbohnen) um so tiefer in den Boden reichend. Der optimale Saattermin liegt in der Zeit von Mitte Juli bis Mitte August.

Als dritte Gruppe zeichnen sich die **Kruziferen** durch ihre Spätsaatverträglichkeit (bis Ende September) und ihr schnelles Wachstum aus. Sie sind deshalb im Zwischenfruchtanbau sehr verbreitet und stellen mit fast 70% den Hauptanteil unter den verwendeten Pflanzenarten. Sie durchwurzeln den Boden mit ihrer Pfahlwurzel tief, ihre Wurzelmasse ist jedoch nicht groß. Ihr Stickstoffbedarf ist außerdem recht hoch.

Unter den **sonstigen Arten** ist die **Phacelia** eine weit verbreitete Zwischenfruchtpflanze. Sie wird vor allem wegen ihrer Neutralität gegenüber Nematoden und wegen ihrer geringen Ansprüche gerne vor Zuckerrüben gesät. Als völlig fremde Art unter unseren Kulturpflanzen leistet sie einen guten Beitrag zur Auflockerung der Fruchtfolge. Als weitere Pflanzenart kommt die **Sonnenblume** zur Aussaat. Sie zeichnet sich durch ihre Anpruchslosigkeit bezüglich Boden und durch Schnellwüchsigkeit aus, benötigt aber einigermaßen warme Standorte. Sie wird allerdings nicht allzu häufig angebaut. In der Tabelle 4 sind die wichtigsten Zwischenfruchtarten mit ihren Ansprüchen an Klima, Boden, Nährstoffe, Saatmenge, Saattermin sowie ihren Eigenschaften wie Ertrag und Wurzelbildung zusammengefaßt.

In einem Feldversuch sollen nun drei Zwischenfrüchte auf ihre Eignung für eine Mulchsaat in Verbindung mit vier verschiedenen Bestelltechniken verglichen werden. Als Vergleichskriterien werden Stroheinarbeitung, Aggregatgrößenverteilung, Feldaufgang und Ertrag der Zwischenfrüchte herangezogen.

4. Versuchsbeschreibung

Zum Vergleich von vier ausgewählten Verfahren der Stoppelbearbeitung und der Zwischenfruchtbestellung diente eine Streifenanlage auf dem staatlichen Versuchsbetrieb der TU-München/Weihenstephan in Dürnst.

Nach der Winterweizenernte wurden vier verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren quer zum Hang ausgeführt. Die Aussaat dreier ausgewählter Zwischenfrüchte in 10 m breiten Streifen zu jeder Bodenbearbeitungsvariante sollte die zu messenden Kriterien wie Feldaufgang und Ertrag in Abhängigkeit von der Bearbeitung liefern. In der folgenden Skizze ist die Streifenanlage schematisch dargestellt.

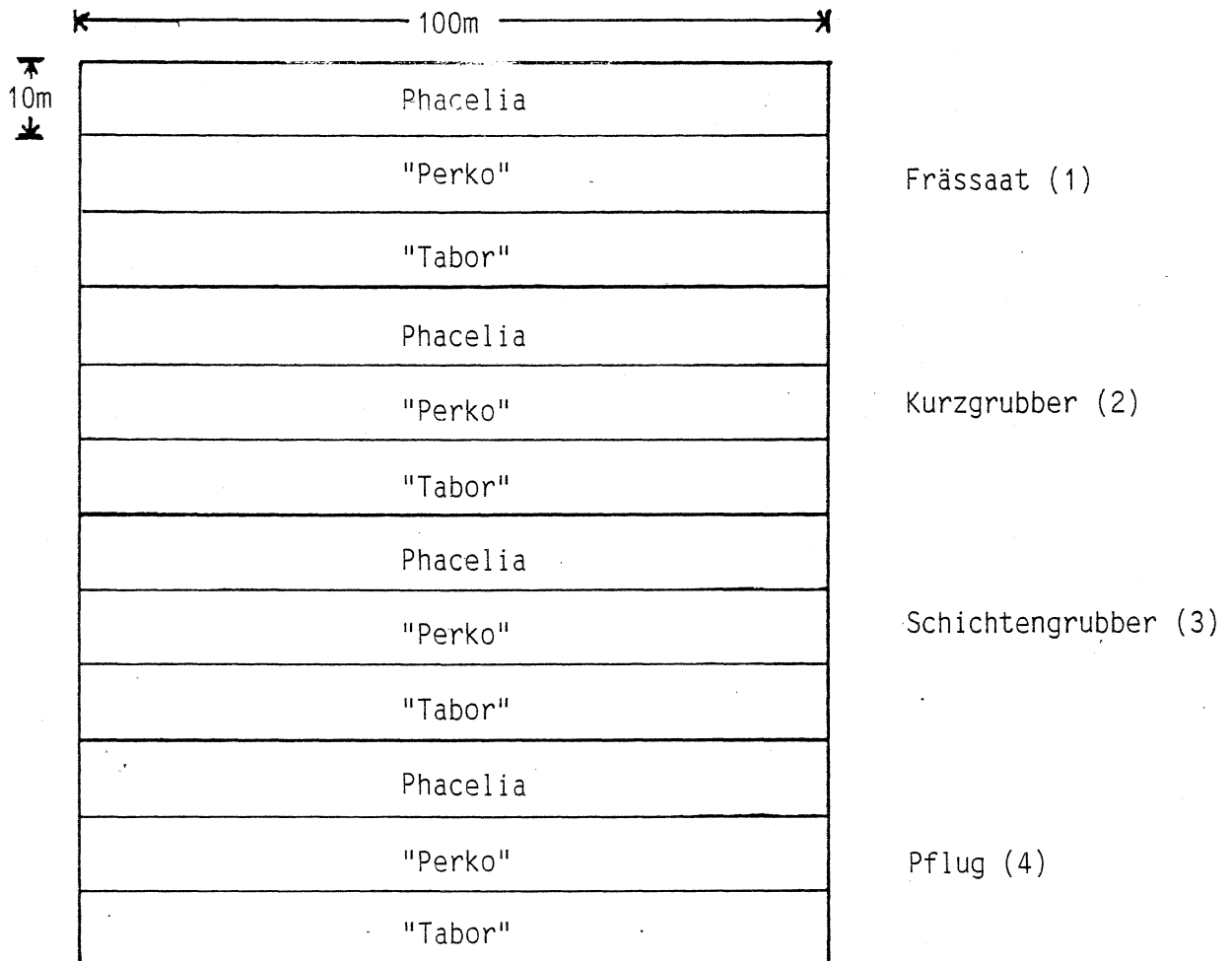


Abb. 9: Skizze der Versuchsanlage

4.1 Auswahl der Geräte

Für die Auswahl der Geräte war die Häufigkeit ihrer Verwendung in der Praxis und Unterschiede in ihrer Arbeitsweise entscheidend. So wurden neben der Bearbeitung mit Pflug und Kreiselegge als weitverbreitete konventionelle Methode eine Variante mit Schichtengrubber und Rotoregge, sowie eine mit Grubber und Kreiselegge und schließlich eine vierte mit Fräse (Frässaatmaschine) in den Versuch mit aufgenommen. Bei den ersten drei Varianten erfolgte die Aussaat mit einer 3 m breiten Drillmaschine (Foto 9 im Anhang).

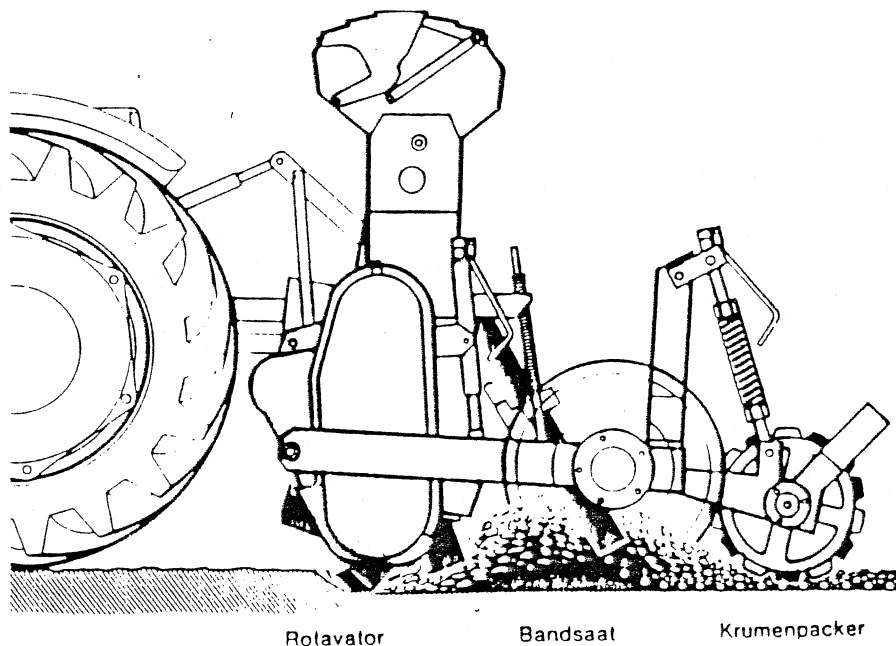


Abb. 10: Aufbau der Frässaatmaschine

4.1.1 Frässaatmaschine

Die Frässaatmaschine ist ein Gerät, bei dem ein Säkasten über einer Fräse aufgebaut ist. Bei der Fräse handelt es sich um eine Bodenfräse mit Gleichlaufdrehrichtung, d.h., die Fräswelle dreht sich gleichsinnig mit den Schlepperrädern. Die Arbeitsbreite dieses Gerätes betrug 2,6 m. Am Fräsrotor befanden sich 11 Werkzeugkränze mit je 6 Winkelmessern, mit Ausnahme des Endflansches, der nur mit 3 Winkelmessern bestückt war. Die

Anordnung der Winkelmesser ist spiralenförmig. Die Drehzahl der Fräswelle konnte über ein Wechselgetriebe sowie mit der Wahl der Zapfwellengeschwindigkeit variiert werden. Der Fräswellendrehzahlbereich lag zwischen 52 und 315 Umdrehungen pro Minute. Das Saatgut wird bei diesem Gerät über Säräder den Särohren zugeteilt, die es in den abfließenden Erdstrom der Fräse einleiten. Die Särohre sind am Pralldeckel befestigt und können mit diesem in der Tiefe verstellt werden. Die Saatgutdosierung erfolgt zunächst grob über eine Einstellung am Getriebe und fein durch das Verschieben der Säräder mit der Säwelle nach links oder rechts. Angetrieben wird die Säwelle vom Boden über ein luftbereiftes Rad, das zugleich die Tiefenführung der Fräse übernimmt. Das Saatgut wird von den Särohren in 3 cm breiten Bändern in den abfließenden Erdstrom abgelegt (Bandsaat). Die Tiefenablage ist dabei sehr ungenau. Ein Krumpacker sorgt anschließend für den nötigen Bodenschluß. Die Abbildung 10 und das Foto 2 im Anhang veranschaulichen den Aufbau der Frässaatmaschine.

4.1.2 Grubber, Kreiselegge und Sämaschine

Für die Variante 2 wurde ein einbalkiger Grubber mit 5 Scharen und 2,5 m Arbeitsbreite benutzt. Die Werkzeugform des Grubbers war etwas ungewöhnlich. Ein normales Doppelherzschar war nämlich mit einem flachen, messerartigen, etwa 40 cm breiten Flügelschar kombiniert. Diese Flügelschare sollten dafür sorgen, daß der Boden ganzflächig bearbeitet und angehoben wird, da normale Doppelherzschar mit einem Strichabstand von 50 cm den Boden nicht ganzflächig bearbeiten (siehe Foto 3 im Anhang).

Eigentlich sollte dieser Grubber mit der Kreiselegge und der Sämaschine kombiniert werden, um so in einem Arbeitsgang Stoppelbearbeitung und Saat erledigen zu können. Dieses Verfahren fand nämlich in jüngster Zeit starken Eingang in die Praxis. Für den Versuch stand aber nur ein 74-kW-Schlepper zur Verfügung, für den diese Kombination etwas zu schwer erschien. So wurde zuerst gegrubbert und dann mit Kreiselegge und Drillmaschine in Kombination gefahren.

Bei der Kreiselegge handelte es sich um ein 3 m breites Gerät, dessen Arbeitswerkzeuge (12 Elemente mit je zwei Zinken) um senkrechte Achsen rotieren. Die Zinken stehen in Drehrichtung etwas schleppend. Je zwei benachbarte Kreisel rotieren gegenläufig. Die Drehzahl der Werkzeuge kann mit der Wahl der Zapfwellengeschwindigkeit (540 U/min und 1000 U/min) und einem Wechselgetriebe im Bereich von 130 und 480 U/min variiert werden. Die Arbeitstiefe wird über die Packerwalze mit Hilfe einer Spindel eingestellt. Die Packerwalze hat die Aufgabe, das Gerät abzustützen und in der Tiefe zu führen. Zusätzlich soll sie den vorher gelockerten Boden rückverdichten sowie gröbere Aggregate nochmals zerkleinern. Spezielle Abstreifer sind deswegen angebracht, um ein Verschmieren der Walze bei klebrigem Boden zu verhindern. Durch die Seitenbegrenzungen am Gerät wird vermieden, daß der Boden zur Seite ausweicht und Erdwälle bildet.

Als Sämaschine wurde ein 3 m breites Gerät mit 25 Rollscharen verwendet. Ein Schwalbenschwanzstriegel sorgte für das Zustreichen der Saatscharen. Rollschare und Schwalbenschwanzstriegel waren deswegen notwendig, weil sich auf der Bodenoberfläche Ernterückstände befanden. Schleppschare und herkömmliche Striegel würden hier stark zu Verstopfungen neigen und die geforderte Arbeitsqualität nicht gewährleisten. Die Saatgutmenge kann mit einem Getriebe stufenlos eingestellt werden. Für die Saatgutverteilung zu den einzelnen Särohren sorgen Nockenräder. Zusätzlich war die Maschine mit einem automatischen Spuranzeiger und einer mechanischen Fahrgassenschal-

tung ausgestattet (Foto 4 im Anhang).

4.1.3 Schichtengrubber, Rotoregge und Sämaschine

Als Bearbeitungsvariante 3 kam ein nicht wendendes Verfahren zum Einsatz. Eine Kombination aus Schichtengrubber und Rotoregge diente zu diesem Zweck. Bei dem verwendeten Gerät lockern drei 70 cm breite Flügelschare den Boden tief, ohne ihn zu wenden. Für die oberflächliche Bearbeitung und Saatbettbereitung sorgt eine spezielle Rotoregge mit sichelförmigen Zinken aus Gußeisen, die spiralenförmig am Rotor angeordnet sind. Für die Tiefenführung des Gerätes und für die Rückverfestigung des gelockerten Bodens ist eine Krümlerwalze verantwortlich. Sowohl Rotoregge als auch Walze können mit Spindeln verstellt werden (Foto 7 und 8 im Anhang).

Die Aussaat erfolgte hier mit der Drillmaschine in einem gesonderten Arbeitsgang. Theoretisch hätte aber die Lockerung, die Saatbettbereitung und die Saat in einem Arbeitsgang erledigt werden können, wenn ein schwererer Schlepper zur Verfügung gestanden hätte.

4.1.4 Pflug, Kreiselegge und Sämaschine

In der Variante 4 wurde das Feld mit einem Vierschar-Volldrehpflug gepflügt. Anschließend erfolgte die Zwischenfruchtbestellung mit Kreiselegge und Sämaschine in einer Überfahrt. Das Verfahren mit Schälfrucht und Sekundärbearbeitung mit einem Zapfwellengerät und anschließender Saat mit der Drillmaschine ist in der Praxis weit verbreitet. Es hat den Vorteil, daß durch das Pflügen die Ernterückstände sauber eingearbeitet werden und durch die nachfolgende Sekundärbearbeitung ein gleichmäßiges Saatbett geschaffen wird, das eine störungsfreie Saat zuläßt. Bei Zwischenfrüchten für Futterzwecke wird dieses Verfahren fast ausschließlich angewandt, weil das Grünfutter von dem sogenannten "reinen Tisch", den der Pflug schafft, sauber geborgen werden kann.

4.2 Auswahl der Zwischenfrüchte

Die Auswahl der Zwischenfrüchte erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten: Es sollten drei verschiedene Arten mit häufiger Verbreitung in der Praxis zur Aussaat kommen, die relativ spätsaatverträglich sind. Für eine Einsaat von Mais mit einer Reihenfräse im darauffolgenden Frühjahr sollten winterharte sowie nicht winterharte Zwischenfrüchte geprüft werden. So wurden schließlich die beiden nicht winterharten Pflanzen Phacelia und "Tabor" und der winterharte und spätsaatverträgliche Perko gewählt.

4.2.1 Phacelia

Die Phacelia stammt aus Kalifornien und gehört zu den Wasserblattgewächsen (Hydrophyllaceae). Sie ist zu keiner unserer Kulturpflanzen verwandt und eignet sich daher sehr gut als Zwischenfrucht. Alle Pflanzenteile sind behaart und feingliedrig. Die Blätter sind weich und gefiedert. Der Blütenstand ist eine ährenförmige Traube, die schneckenförmig aufgerollt ist und sich während der Blüte langsam entfaltet. Die hellblauen Blüten werden gerne von den Bienen besucht. Die Phacelia gedeiht auf allen Böden und stellt auch keine hohen Ansprüche an das Klima. Sie hat eine schnelle Jugendentwicklung, eine hohe Beschattungsintensität und eine gute Durchwurzelung (29). Ihre dicke Pfahlwurzel verzweigt sich und ihre Feinwurzelbildung ist mäßig. Die Hauptwurzelmasse befindet sich in 0 - 20 cm Tiefe (27). Da sie neutral gegen Rübennematoden ist, wird sie gerne vor Rüben angebaut. Ihr Futterwert ist schlecht, sie ist deswegen für Futterzwecke nur in geringem Anteil geeignet. Phacelia ist nicht winterhart und stirbt vollkommen über Winter ab. Im Frühjahr kann man gut in den abgestorbenen Bestand einsäen, da die feinen abgestorbenen Pflanzenteile die Einsaat kaum behindern. Das TKG beträgt knapp 2 Gramm (1,8 - 1,9 g), die Saatstärke soll 10 - 12 kg /ha betragen, die Saattiefe soll 2 cm und der Saatzeitpunkt im Juli bis Ende August sein. Als Düngung werden 40 - 60 kg N/ha empfohlen (8, 16, 29).

4.2.2 "Perko"

"Perko" ist eine Kreuzung aus tetraploidem Chinakohl und tetraploiden Winterrüben. Er ist sehr schnellwüchsig und spätsaatverträglich. Als reiner Blatttyp hat er keine Blühneigung (29). Sein TKG beträgt 3 - 5 g , die Saatstärke soll bei 10 - 12 kg/ha liegen und eine Aussaat kann bis Anfang September erfolgen. Er hat eine kräftige Pfahlwurzel mit mehreren Seitenwurzeln, je nachdem, wie locker der Boden ist. In der obersten Schicht werden viele feine Wurzeln gebildet. "Perko" bringt einen hohen Grünmasseertrag (250-300 dt/ha) und benötigt 80 - 100 kg/ha N . Sein Futterwert ist sehr gut. Als Winterzwischenfrucht kann er bereits im April genutzt werden. Aus diesen Gründen wird er häufig in Futterbaubetrieben als Zwischenfrucht angebaut (8, 29).

4.2.3 "Tabor"

"Tabor" ist eine Sorte des Alexandrinerkleees und somit nicht winterfest. Er stammt aus dem Mittelmeerraum und beansprucht daher ein warmes und feuchtes Klima. Er ist schnellwüchsig und wird im Juli bis Mitte August gesät. Seine Blatt- und Stengelform erinnert an die Luzerne, die Stengel sind aber sehr weich. Er ist anfällig gegen Stengelbrenner (29). Seine Hauptwurzel und daraus entspringende Seitenwurzeln durchwachsen den Boden gleichmäßig bis zu einer Tiefe von 30 cm. Die Ausbildung von Feinwurzeln ist mäßig bis gering (24). Sein TKG liegt zwischen 2,7 und 3,2 g , die Saatstärke soll 25 - 30 kg/ha betragen. Tabor ist nematodenneutral und deswegen auch als Zwischenfrucht vor Zuckerrüben geeignet. Sein Futterwert ist gut. Als Leguminose benötigt er nur eine Startgabe von 20-30 kg N/ha . Durch seine Schnellwüchsigkeit eignet er sich gut als Erosionsschutz (16, 27, 29).

4.3 Standort

Als Standort für diesen Versuch diente ein Feld an einem Südhang auf der Versuchsstation Dürnast der TU-München/Weihenstephan. Der Boden war ein sandig bis toniger Lehm, der aus einer Löß-Braunerde entstanden ist. Der pH-Wert lag mit 6,1 relativ niedrig, der Phosphatgehalt mittel und der

Kaligehalt hoch.

Das Klima war im Herbst des Versuchsjahres (1984) für den Zwischenfruchtanbau nach Winterweizen nicht besonders günstig. In der ersten Phase des Pflanzenaufgangs gab es eine trocken warme Witterung. Die wichtige Phase Mitte und Ende September erwies sich jedoch als naß und kalt. In dieser Zeit fielen bei einer Durchschnittstemperatur von nur 10 Grad Celsius immerhin 140 mm Niederschläge. Im Oktober gab es nur ungefähr 40 mm Niederschläge, wobei die Temperaturen aber kaum unter denen des Monats September lagen. Erst ab dem 27. Oktober fielen die Temperaturen. Von diesem Zeitpunkt an traten auch die ersten Nachtfröste auf. Die Klimadaten wurden den agrarmeteorologischen Monatsberichten des Deutschen Wetterdienstes (AMBF Weihenstephan) entnommen.

4.4 Meßmethoden

Als Kriterien für den Vergleich der vier angewandten Verfahren zur Zwischenfruchtbestellung werden der Zerkleinerungsgrad der Bodenbearbeitung, der Feldaufgang und der Ertrag der Zwischenfrüchte herangezogen.

4.4.1 Aggregatgrößenverteilung

Mit Hilfe der Schollensiebanalyse wird die Aggregatgrößenverteilung des bearbeiteten Bodens ermittelt. Dies hat zum erstenmal PUCHNER in seinen Versuchen angewendet. Seitdem wandten diese Methode in leichten Abänderungen zahlreiche Wissenschaftler an (SÖHNE, FEUERLEIN, RID, SÜß, FRESE, THEISSIG, KAHNT, KNITTEL, HEEGE, STEINKAMPF) (zit. in 31). Unterschiede wurden lediglich in der Art und Menge der Probennahme, der Sieblochzusammensetzung, dem Siebvorgang und in der Auswertung gemacht. Durch die Schollensiebanalyse wird der prozentuale Gewichtsanteil der einzelnen Aggregatgrößen bestimmt.

In dieser Untersuchung erfolgte die Probenahme unmittelbar nach der Zwischenfruchtbestellung in sechsfacher Wiederholung. Mit einem Spaten wurden rechteckige Bodenziegel mit 8 bis 10 cm Dicke abgetragen und in flache Plastikbehälter vorsichtig abgefüllt (Foto 12 im Anhang). Diese Proben wurden anschließend auf einem Dachboden drei Wochen lang zum Lufttrocknen

aufbewahrt. Bei der Stoppelbearbeitung hatte der Boden einen Wassergehalt von 18% , nach der Lufttrocknung nur noch 6% .

Für die Schollensiebanalyse wurde der Boden mit einem Siebsatz von 6 Sieben mit Siebdurchmessern von 80 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm, 5 mm, und 2,5 mm vorsichtig gesiebt. Zur Bestimmung des Gewichtes der einzelnen Siebfraktionen diente eine elektronische Waage. Mit Hilfe des Programmes AGREGA (2) wurden aus den einzelnen gewogenen Siebfraktionen die prozentualen Anteile der verschiedenen Siebdurchmesser, der gewogene mittlere Durchmesser (GMD, siehe Formel), das geometrische Mittel (GM) und deren Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Der GMD wurde nach einem Vorschlag von BAVEL schon in mehreren Arbeiten als Kennziffer für die Aggregatgrößenverteilung verwendet (20).

Da unterschiedliche Aggregatgrößenverteilungen aber den gleichen GMD ergeben können, ist seine Verwendung nicht ganz unproblematisch. An dieser Größe als Kennziffer wird aber dennoch festgehalten (31).

$$GMD = \frac{\text{Summe } (n_i * d_i)}{\text{Summe } n_i} \quad (\text{mm})$$

n_i = Gewicht der Aggregatgrößenklassen
in Gramm

d_i = Klassenmitte der
klasse i in Millimeter

Der GMD stellt als gewogener mittlerer Durchmesser eine wichtige Größe zur Beurteilung des Zerkleinerungseffektes von Bodenbearbeitungsgeräten dar. Zur Veranschaulichung dieser Größe dient noch der Zerkleinerungsgrad ZG in 1/mm als reziproker Wert des GMD. Mit abnehmender Krümelgröße erhält man einen höheren Zerkleinerungsgrad.

$$ZG = \frac{100}{GMD} \quad (1/mm)$$

4.4.2 Feldaufgang

Der Feldaufgang gibt den Anteil der aufgelaufenen Körner von den insgesamt ausgesäten keimfähigen Körnern in Prozent nach einer bestimmten Zeit (Auf-

gangphase) an. Der Pflanzenaufgang dagegen ist eine Funktion der Zeit und wird durch verschiedene Umwelteinflüsse mitbestimmt.

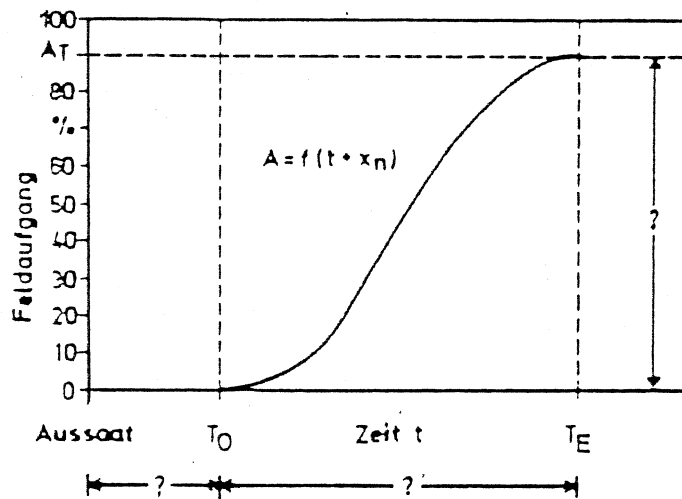
$$A = f (t + x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i)$$

A = Pflanzenaufgang

t = Zeit

x_i = i-ter Einflußfaktor

KAHNT 1983 (17) hat eine Funktion des Pflanzenaufganges in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt (siehe Abbildung 11). Der Pflanzenaufgang beginnt nach einer gewissen Zeitspanne nach der Aussaat. Seine Kurve steigt dann immer steiler an, bis sie vor dem Endpunkt wieder abfällt. Dieser Endpunkt des Pflanzenaufganges stellt zugleich den Feldaufgang dar.



T_0 = Beginn des Pflanzenaufganges

T_E = Ende des Pflanzenaufganges

A_T = Abgeschlossener Pflanzenaufgang
= Feldaufgang

? = Variable Faktoren

Abb. 11 : Zeitlicher Verlauf des Pflanzenaufganges nach Kahnt (18)

Der zeitliche Verlauf und die Höhe des Pflanzenaufgangs hängt stark von den Faktoren Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Triebkraft, Saattiefe und Witterung ab.

In diesem Versuch wurden mit einem Zählrahmen (1 Quadratmeter) pro Parzelle vier Quadratmeter jeweils 15 und 30 Tage nach der Aussaat ausgezählt (siehe Foto 15 im Anhang). Mit Hilfe einer Varianzanalyse konnten die Ergebnisse anschließend verglichen werden.

4.4.3 Ertrag

Am Ende der Vegetationsperiode wurden die Grün- und Trockenmassenerträge der verschiedenen Zwischenfrüchte auf den vier Bearbeitungsvarianten festgestellt. Mit einer Schere wurden jeweils 4 Quadratmeter einer Parzelle sorgfältig abgeschnitten und in Plastiktüten gefüllt. Nach der Grünmassenbestimmung mit einer elektronischen Waage kamen jeweils drei Proben einer Zwischenfrucht von jeder Bodenbearbeitungsvariante zur Trockenmassenbestimmung 24 Stunden lang in den Trockenschrank, um anschließend zurückgewogen zu werden. Auch zum Vergleich der Grünmassenerträge diente eine Varianzanalyse.

5. Versuchsdurchführung

Einen Tag nach der Getreideernte wurde das Versuchsfeld in Dürrnast vermessen und bestellt. Die Winterweizenernte fand wegen einer Regenperiode im August relativ spät statt (28.8.1984). Das Stroh wurde mit einem Strohhäcksler am Mähdrescher gehäckselt. Die Breitenverteilung war dabei leider ziemlich ungenau, obwohl der Mähdrescher völlig neu war. Auch die relativ langen Stoppeln erwiesen sich für die Bodenbearbeitung ohne Pflug als nachteilig.

Bei der Vermessung des Feldes vor der Bearbeitung wurden jeweils an den Eckpunkten der 10 Meter breiten und 100 Meter langen Parzellen Pflöcke gesetzt. Zusätzlich wurde darauf geachtet, daß die Anlage rechtwinklig war (siehe Versuchsplan auf Seite 46). Bei der Bearbeitung standen alle Geräte und das Saatgut auf dem Feld bereit. Die Saatmengen waren schon einige Tage vorher an der Frässaat- und Drillmaschine abgedreht worden. Mit der

Bearbeitung begann man an der Hangoberseite und quer zum Hang. Die Reihenfolge war durch den Versuchsplan vorgegeben.

5.1 Bearbeitung und Saat

Bei der Bodenbearbeitung gab es einige Dinge zu beachten, die im folgenden beschrieben sind. Die Saatenmengen betragen bei der Phacelia 11 kg/ha, das entspricht bei einem TKG von 1,8 g ungefähr 610 Körnern pro Quadratmeter. Bei einer Keimfähigkeit von 94% konnten theoretisch 573 Pflanzen auflaufen. Beim "Perko" wurden 13 kg/ha gesät, entsprechend 270 Körnern (TKG: 4,8 g), beim "Tabor" 25 kg/ha, die bei einem TKG von 4,2 g 595 Körnern entsprechen.

5.1.1 Frässaatmaschine

Bei der Bestellung der Zwischenfrucht mit der Frässaatmaschine mußte die Saatmenge unmittelbar vor der Saat abgedreht werden, da die Mechanik des Stellhebels für die Säräder ausgeschlagen war und bei gleicher Hebelstellung nach einer Veränderung des Stellhebels und seiner Zurückstellung in die Ausgangslage verschiedene Mengen ausgebracht wurden. Die Arbeitstiefe betrug 8 cm, die Vorfahrtsgeschwindigkeit 4 km/h und die Rotordrehzahl 235 U/min. Mit Ausnahme der Saatenmengeneinstellung war die Bestellung mit der Frässaatmaschine problemlos.

5.1.2 Kurzgrubber, Kreiselegge und Drillmaschine

Der Kurzgrubber wurde wegen der zu geringen Leistung des zur Verfügung stehenden Schleppers nicht in Kombination mit Kreiselegge und Sämaschine, sondern getrennt davon gefahren. Seine Arbeit war unbefriedigend, da er erstens wegen seiner Flügelscharen nur schwer in den Boden ging und zweitens das Stroh sehr ungenau in den Boden wühlte (siehe Fotos 2 und 5 im Anhang). Außerdem erwies sich seine Tiefenführung äußerst problematisch, weil ein Stützrad auf bearbeitetem Boden und das andere auf unbearbeitetem lief. Das Rad auf bearbeitetem Boden ging einmal in der Furche und stieg einmal auf aufgewühlten Boden, was eine sehr stark schwankende Arbeitstie-

fe zur Folge hatte. Eine einigermaßen vernünftige Tiefenführung war erst bei einer Arbeitstiefe von mindestens 15 cm möglich, was für die Stroheinmischung auf diesem Standort zu tief ist. Die Vorfahrtgeschwindigkeit betrug knapp 6 km/h.

Die Saat erfolgte mit Kreiselegge und Drillmaschine in Kombination, wobei die Geschwindigkeit 4,5 km/h betrug. Dank der Rollscharen an der Drillmaschine gab es auch bei der relativ großen Menge an Stroh und Stoppeln auf der Bodenoberfläche keine Störungen bei der Bestellung.

5.1.3 Schichtengrubber, Rotoregge und Drillmaschine

Zur etwas tieferen Lockerung wurde der Schichtengrubber etwa 25 cm tief und die Rotoregge zur oberflächlichen Bearbeitung 6 - 8 cm tief mit einer Vorfahrtgeschwindigkeit von 5 km/h gefahren. Die Rotoregge hatte dabei große Schwierigkeiten mit dem Einarbeiten des ungleich verteilten Strohs. Die leichten Zinken aus Gußeisen, die sichelförmig sind, zerkleinerten zwar gut, brachten aber das Stroh nur sehr schlecht in den Boden. Durch die hohe Strohmenge in der obersten Bodenschicht waren die Keimbedingungen auf keinen Fall optimal.

Die Saat mit der Drillmaschine fand in einem gesonderten Arbeitsgang statt. Dank der Rollscharen ging dies zwar störungsfrei, aber wegen des hohen Strohanteils auf der Bodenoberfläche war die Ablagetiefe der Samen ungenau.

5.1.4 Pflug, Kreiselegge und Drillmaschine

Die vierte Variante wurde mit einem Vierschar-Volldrehpflug 20 cm tief gepflügt. Anschließend erfolgte die Bestellung mit der Kombination aus Kreiselegge und Drillmaschine bei einer Geschwindigkeit von 4,5 km/h. Das Saatbett war frei von Stroh und Stoppeln. Die Bestellung ging deswegen völlig problemlos vonstatten.

5.2 Düngung

Die Düngung erfolgte gleich nach der Bestellung mit einem Zweischeiben--Düngerstreuer. Eine Parzelle mit der Breite von 10 Metern stimmte genau mit der Arbeitsbreite des Düngerstreuers überein. Auf die Phacelia- und Perko-Parzellen wurden 90 kg N/ha , auf die Parzellen mit Tabor 60 kg N/ha gegeben. 50 kg N/ha für die Strohdüngung und der Rest für die Zwischenfrucht erwiesen sich in der kurzen Vegetationszeit als ausreichend.

6. Versuchsergebnisse

6.1 Aggregatgrößenverteilung

Bei der Berechnung der Aggregatgrößenverteilung mit Hilfe des Programmes AGREGA (2) wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Die Bearbeitungsvariante (1) mit der Frässaatmaschine ergab einen GMD von 38,4 mm und einen Varianzkoeffizienten (VK) von 30%. Der Zerkleinerungsgrad, der den reziproken Wert des GMD und damit ein anschauliches Maß für die Zerkleinerungswirkung eines Gerätes darstellt, betrug bei einem VK von 36% 2,85.

Die Kurzgrubber-Kreiselegge-Parzelle (2) ergab einen GMD von 41,5 mm bei einem VK von 53%. Der Zerkleinerungsgrad war hier 3,57 bei dem sehr hohen VK von 76%. Die Variante 3 (Schichtengrubber und Rotoregge) lieferte einen GMD von 26,5 mm mit einem VK von 55% sowie einen Zerkleinerungsgrad von 5,36 mit einem VK von 77%.

Bei der Pflug-Kreiselegge-Parzelle (4) konnte ein GMD von 32,6 mm mit dem VK von 39% ermittelt werden. Der Zerkleinerungsgrad betrug dementsprechend 3,44 (VK von 34%).

Tabelle 5: GMD- und ZG- Werte der verschiedenen Bearbeitungen

Bearbeitungsvariante	GMD	VK(%)	ZG	(ZG)	VK(%)
Frässaat (1)	38,4	30	2,9	(2,6)	36
Kurzgrubber (2)	41,5	53	3,6	(2,4)	76
Schichtengrubber (3)	26,5	55	5,4	(3,8)	77
Pflug (4)	32,6	39	3,4	(3,1)	34

In der Tabelle 5 sind die Werte der GMD und der Zerkleinerungsgrade mit ihren Varianzkoeffizienten zusammengefaßt. Der Varianzkoeffizient VK ist die Beziehung der Standardabweichung s zum Mittelwert x und gibt die Abweichung vom Mittelwert in Prozent an. Ein hoher VK bedeutet, daß die Wer-

te stark um den Mittelwert streuen. In der Abbildung 12 sind die GMD mit ihren VK graphisch dargestellt. Ein hoher GMD beschreibt eine geringere Bodenzerkleinerung und gröbere Aggregate. Beim Zerkleinerungsgrad als reziprokem Wert des GMD kehren sich die Zusammenhänge um. Je größer die Werte des ZG sind, desto besser ist die Bodenzerkleinerung.

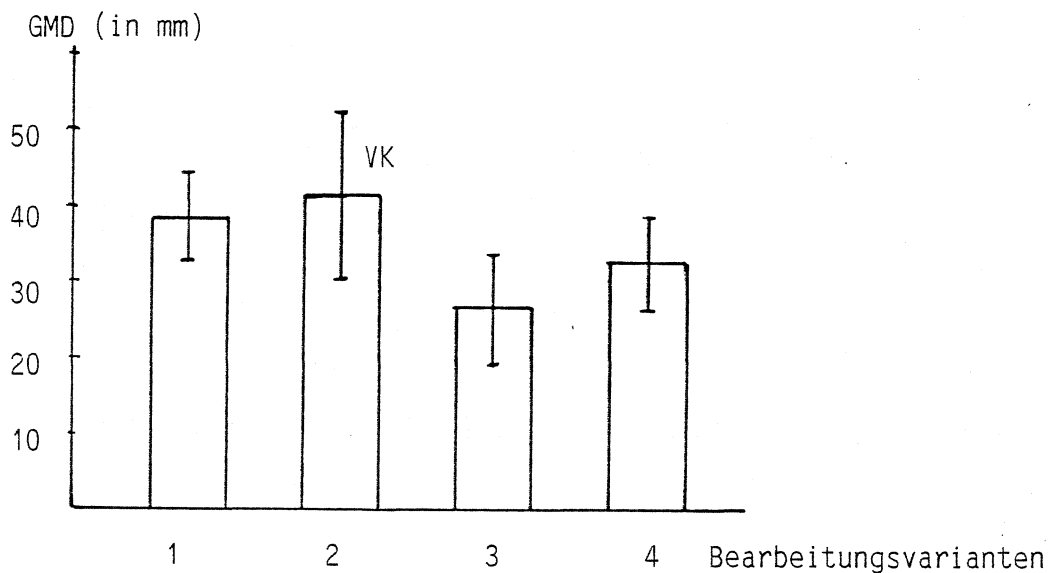


Abb. 12: GMD und VK der verschiedenen Verfahren

Die Untersuchung ergab, daß die Variante 3 mit Schichtengrubber und Rotor-egge zwar den kleinsten GMD aufwies, der hohe VK mit 55% deutet jedoch auf große Unterschiede in der Bearbeitung hin. Variante 1 (Frässaatmaschine) und 4 (Pflug) haben einen geringeren GMD als die Variante 2 (Kurzgrubber) und sind zudem recht einheitlich. Es soll aber darauf hingewiesen werden, daß diese Ergebnisse bei den jeweils eingestellten Drehzahlen an den verschiedenen Geräten erzielt wurden. So arbeitete die Fräse mit 235 U/min, die Rotoregge mit 330 U/min und die Kreiselegge mit 350 U/min. Die Drehzahlen hätten bei allen Geräten durch ein Wechseln der Zahnräder in ihren Getrieben noch erhöht werden können. Der Kraftbedarf wäre dadurch natürlich gestiegen.

Bei einem Vergleich der GMD- und ZG-Werte in Tabelle 5 fällt auf, daß sich die GMD-Werte der verschiedenen Varianten anders verhalten als die ZG-Wer-

te. Eigentlich müßten ja die GMD-Werte in dem Maße steigen, in dem die ZG-Werte fallen. Dies ist aber hier nicht der Fall. Das liegt daran, daß die Zerkleinerungsgrade der einzelnen Wiederholungen (6 WH) in dem verwendeten Programm gesondert berechnet werden und dann erst aus diesen Werten der Mittelwert berechnet wird. Durch die großen Schwankungen in den einzelnen Wiederholungen wird das unterschiedliche Verhalten von den GMD zu den ZG noch verstärkt.

Richtiger wäre die Berechnung des ZG mit dem Mittelwert der GMD. Die so berechneten Zerkleinerungsgrade sind in der Tabelle 5 in Klammern angegeben.

Bei der Beurteilung der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten anhand des GMD ergibt sich aber ein gewichtiger Nachteil. Gleiche GMD-Werte können nämlich aus ganz verschiedenen Aggregatgrößenverteilungen resultieren. Beispielsweise kann ein Verfahren mit einem hohen Anteil an größeren Aggregaten dies mit einem hohen Anteil an ganz kleinen Krümeln ausgleichen, während die mittleren Aggregatgrößen fehlen können.

Tabelle 6 : Anteile der Aggregatgrößenklassen in Prozent in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Bearbeitungs- variante	Anteile der Aggregatgrößenklassen in Prozent						
	>80mm	80-40	40-20	20-10	10-5	5-2,5	<2,5
1 (Frässaat)	17	17	13	13	13	10	17
2 (Kurzgrubber)	19	18	15	14	12	9	13
3 (Sch.-Grubber)	7	16	14	16	14	12	21
4 (Pflug)	10	18	17	18	15	11	11

Da gleiche GMD-Werte aus unterschiedlichen Aggregatgrößenverteilungen resultieren können, müssen für eine genaue Beurteilung verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auch die Aggregatgrößenverteilungen herangezogen werden. In der Abbildung 13 sind diese graphisch dargestellt. Die Werte dafür sind in der Tabelle 6 zu finden. Bei der Betrachtung der einzelnen Aggregatgrößenklassen fällt auf, daß bei der Frässaat die Aggregatgrößen-

verteilung recht ausgeglichen ist. Beim Kurzgrubber verschieben sich die Anteile mehr zu größeren Aggregaten, bei Schichtengrubber und Rotoregge mehr zu kleineren und beim Pflug zu den mittleren Größenklassen.

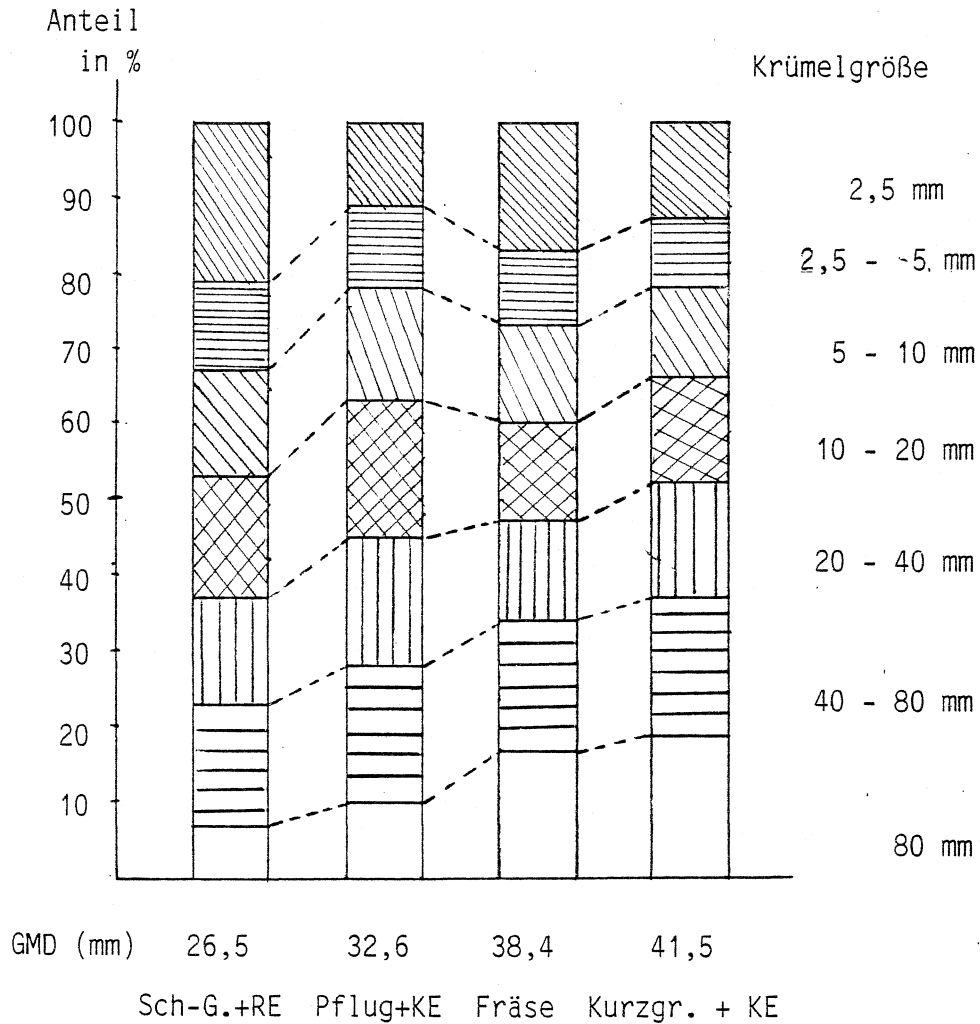


Abb. 13: Aggregatgrößenverteilungen der verschiedenen Verfahren

Durch die Verringerung der Anzahl der Aggregatgrößenklassen auf 3 wird dieser Sachverhalt noch deutlicher (siehe Tabelle 7 und Abbildung 14). Die Einteilung in diese drei Klassen scheint sinnvoll, da nach KÖLLER 1978 (20) die Aggregatgrößen <5 mm den Feldaufgang wesentlich beeinflussen, zumal größere Aggregate (5 - 40 mm) auf schluffigen Böden für den Verschlämmungs- und Erosionsschutz notwendig sind, jedoch ein höherer Anteil an Aggregaten über 40 mm in größerer Anhäufung nicht erwünscht ist.

Tabelle 7: Anteile der reduzierten Aggregatgrößenklassen in Prozent in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Bearbeitungs- variante	Anteile in Prozent		
	>80-40mm	40-5mm	< 5mm
1	34	39	27
2	37	41	22
3	23	44	33
4	28	50	22

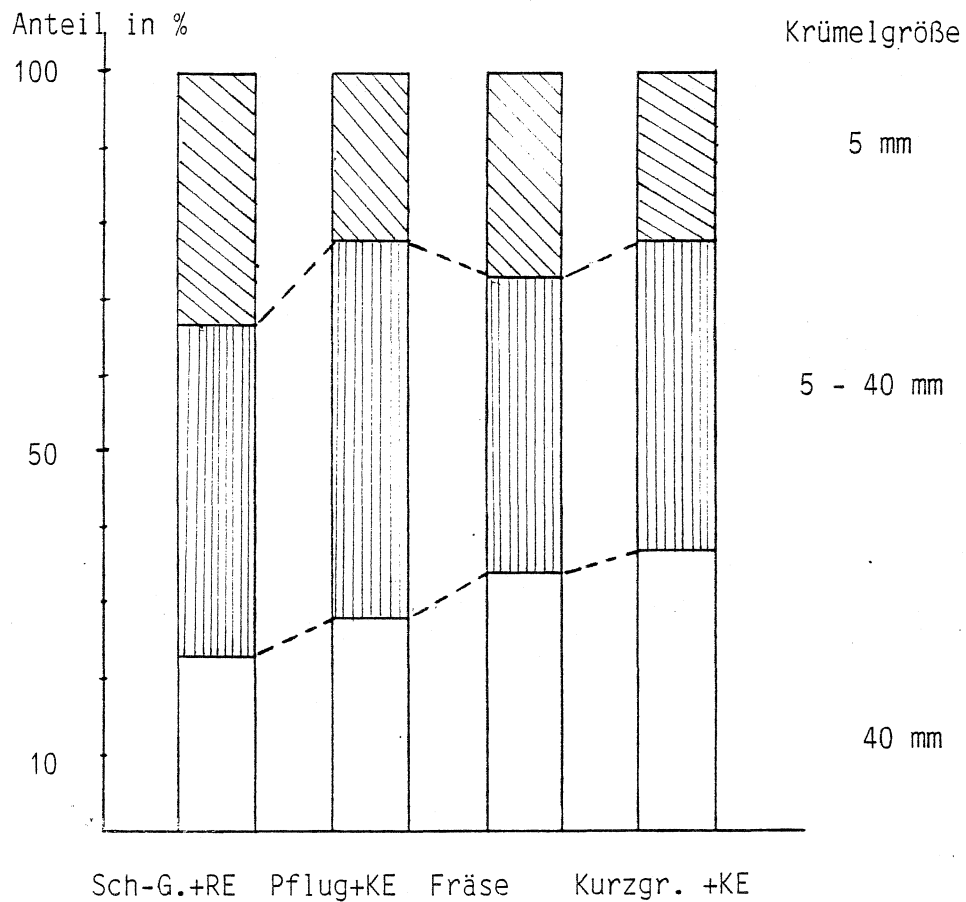


Abb. 14: Aggregatgrößenverteilungen nach Reduzierung der Klassen

6.2 Feldaufgang der Zwischenfrüchte

Zur Bestimmung des Feldaufgangs wurde in einer ersten Auszählung 15 Tage nach der Saat und in einer zweiten 2 Wochen später jeweils viermal ein Quadratmeter pro Parzelle ausgezählt. In der zweiten Auszählung ergaben sich keine wesentlichen Veränderungen zur ersten. In der Tabelle 8 sind die aufgelaufenen Pflanzen nach der zweiten Auszählung, die Keimfähigkeit und das TKG des verwendeten Saatgutes angegeben. In der Tabelle 9 sind die dazu errechneten Werte des Feldaufganges zusammengestellt.

Dabei fällt auf, daß die Phacelia einen deutlich schlechteren Aufgang aufweist als "Perko" und "Tabor", wobei die Werte für die Frässaat noch weit hinter den Werten der Drillsaat liegen. Auf der Pflugparzelle hatten "Perko" und "Tabor" eindeutig den besten Feldaufgang. Bei den anderen Bestellverfahren ergaben sich nur geringfügige Unterschiede.

In einer Varianzanalyse wurde der Feldaufgang mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% auf signifikante Unterschiede hin getestet. Dabei wurden die Bearbeitungsvarianten, Bearbeitung und Zwischenfrucht paarweise und die Zwischenfrüchte untereinander verglichen.

Für den Vergleich der Bearbeitungsvarianten ergaben sich signifikante Unterschiede der Pflug-Variante zu den übrigen Bestellverfahren. Beim paarweisen Vergleich erwiesen sich "Perko" und Phacelia auf der Pflugparzelle als signifikant verschieden von den nicht wendenden Verfahren. Ferner ergab sich für "Perko" bei der Frässaat ein signifikant geringerer Feldaufgang als bei Kurzgrubber und Schichtengrubber.

Beim Vergleich der drei Zwischenfrüchte stellte sich ein deutlich geringerer Feldaufgang von Phacelia im Vergleich zu "Perko" und "Tabor" heraus.

Tabelle 8: Daten zur Bestimmung des Feldaufganges

	Phacelia	Perko	Tabor
Keimfähigkeit	94 %	85 %	85 %
T K G	1,8 g	4,8 g	4,2 g
ausgesäte Körner	610	270	595
davon keimfähig	573	230	505
aufgelaufene Pflanzen:			
- Frässaat	150	155	415
- Kurzgrubber	250	172	395
- Schichtengrubber	230	159	405
- Pflug	250	206	482

Tabelle 9: Feldaufgang in Abhängigkeit von der Bearbeitung und den Zwischenfrüchten

Bearbeitung	Phacelia	Perko	Tabor
Frässaat	26 %	67 %	82 %
Kurzgrubber	44 %	74 %	78 %
Sch.-Grubber	40 %	69 %	80 %
Pflug	44 %	90 %	95 %

6.3 Ertrag der Zwischenfrüchte

Zur Bestimmung des Ertrages der Zwischenfrüchte wurden die Pflanzen Anfang November mit einer Schere sorgfältig abgeschnitten, in Plastikbeutel abgefüllt und gewogen. Die Ernte mit der Schere war deswegen notwendig, weil für ein Abmähen mit einem Messerbalken der Aufwuchs zu gering war.

Erwartungsgemäß war auch beim Ertrag die Variante mit dem Pflug den an-

deren weit überlegen. Am schlechtesten haben dabei die Zwischenfrüchte auf der Grubberparzelle abgeschnitten. In der Reihenfolge Frässaat, Schichtengrubber und Pflug stiegen die Erträge, wobei die des Pfluges deutlich besser waren. Die Unterschiede sind am auffallendsten bei Phacelia und "Perko" ausgeprägt, während beim "Tabor" die verschiedenen Bearbeitungsverfahren eine geringere Auswirkung auf den Ertrag hatten. "Tabor" erreichte nach Frässaat, Kurzgrubber und Schichtengrubber annähernd die gleichen Grünmassenerträge (36, 36 und 38 dt/ha). Mit 50 dt/ha übertraf die Pflugparzelle diese Werte bei weitem.

Tabelle 10: Grünmassenerträge bzw. Trockenmassenerträge in dt/ha sowie TS-Gehalt in Prozent

Bearbeitung	Phacelia	Perko	Tabor
Frässaat	34,4/ 4,3 (12,4%)	82,7/10,8 (13,0%)	36,3/ 5,2 (14,4%)
Kurzgrubber	29,7/ 3,7 (13,1%)	66,9/ 9,6 (14,3%)	36,3/ 4,5 (12,5%)
Sch.-grubber	43,9/ 5,7 (12,2%)	86,3/13,4 (13,5%)	38,2/ 5,3 (12,7%)
Pflug	83,9/ 9,4 (11,2%)	119,2/15,3 (12,8%)	50,4/ 6,1 (12,6%)

Beim Vergleich der Zwischenfrüchte untereinander erwies sich "Perko" den beiden anderen weit überlegen. Bei allen Bearbeitungsvarianten brachte er ungefähr den doppelten Ertrag. Nur die Phacelia auf der Pflugparzelle konnte noch befriedigen. Die Durchschnittserträge und der Trockensubstanzgehalt sind in der Tabelle 10 zusammengestellt. In der Abbildung 15 sind die Trockenmassenerträge der ausgesäten Zwischenfrüchte graphisch wiedergegeben.

Auffallend ist das Verhalten der TS-Gehalte (siehe Tabelle 10). Der TS-Gehalt ist am niedrigsten auf den Pflugparzellen. Es läßt sich sogar eine Beziehung zwischen Ertrag und TS-Gehalt herstellen. Mit sinkendem Ertrag stieg nämlich der TS-Gehalt. Eine geringere Nährstoffversorgung der im Wuchs zurückgebliebenen Pflanzen ist wohl die Ursache dafür. Das Versorgungsdefizit kommt wahrscheinlich daher, daß die Wachstumsbedingungen auf-

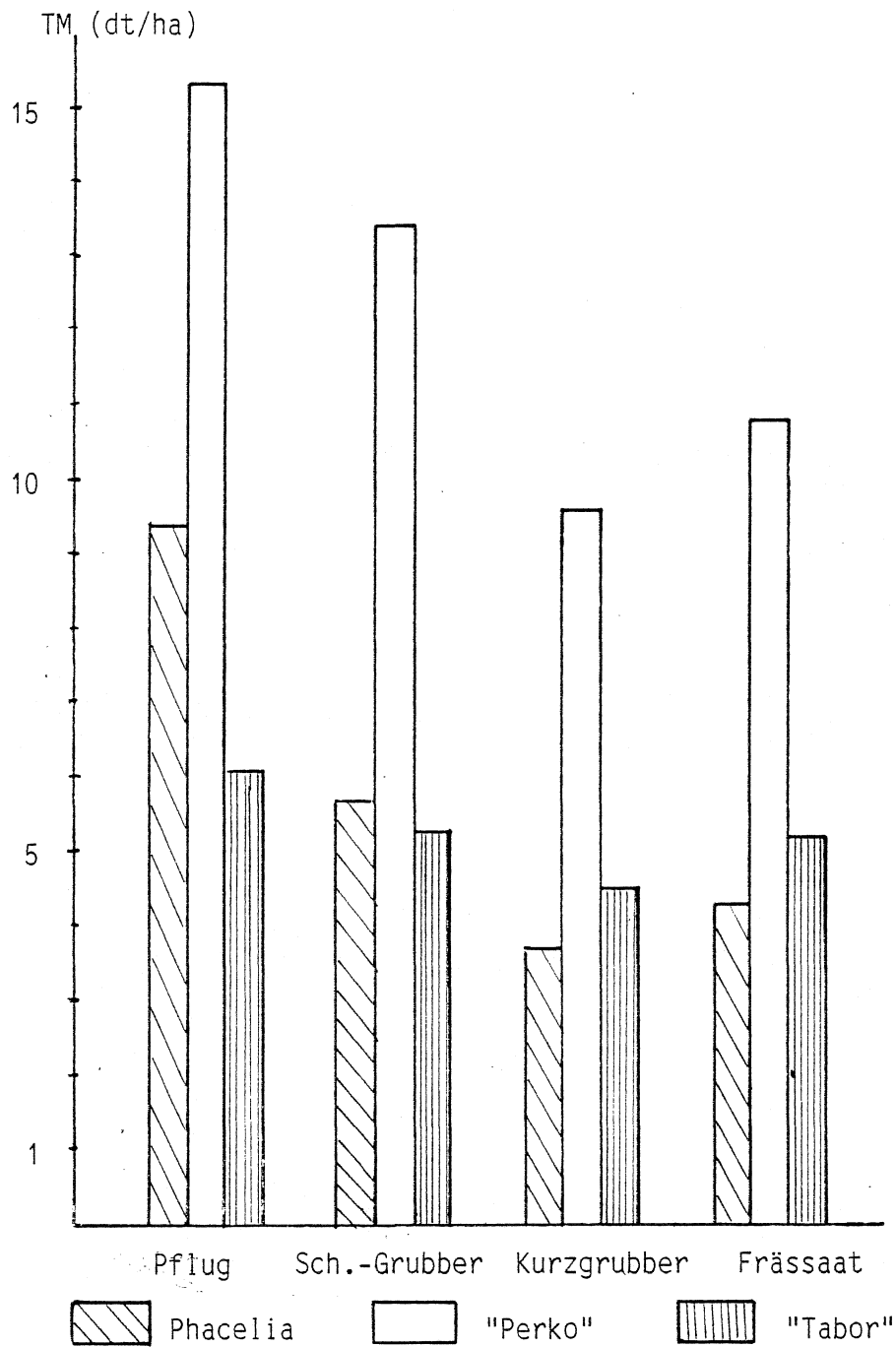


Abb. 15: TM-Erträge in Abhängigkeit von der Bearbeitung und den Zwischenfrüchten

grund einer ungenauen Saat und infolge der gegebenen Bodenverhältnisse (Aggregatgrößen, Ernterückstände) nicht optimal waren. Da sich bei gerin-

gerer Nährstoffversorgung auch der Turgor in den Zellen erniedrigt, ist der TS-Gehalt bei schlechter versorgten Pflanzen höher.

Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Ergebnisse sind im Anhang Fotos zu finden, auf denen auch die Unterschiede im Bedeckungsgrad der Fläche zu erkennen sind.

6.4 Diskussion der Ergebnisse

Da die Bodenbearbeitung unmittelbar nach der Getreideernte bei einem Feuchtegehalt des Bodens von 18% stattfand, waren die Bedingungen für die Zerkleinerung des sandigen und tonigen Lehmes eigentlich optimal. Daß sich aber zum Teil erhebliche Streuungen innerhalb der einzelnen Bodenbearbeitungsvarianten ergaben, was der hohe Varianzkoeffizient besonders bei Kurzgrubber und Schichtengrubber beweist, lag an den unterschiedlichen Bodenverhältnissen auf dem Feld.

Erwartungsgemäß ergab sich für die Rotoregge eine höhere Zerkleinerungswirkung als für die Kreiselegge. Ein direkter Vergleich der Zerkleinerungswirkung der in dieser Untersuchung eingesetzten Geräte Fräse, Kreiselegge und Rotoregge zur Saatbettbereitung kann hier jedoch deswegen nicht gemacht werden, weil allen Bestellverfahren unterschiedliche Grundbodenbearbeitungen vorausgingen (Variante 1: ohne Grundbodenbearbeitung, Var.2: Kurzgrubber, Var.3: Schichtengrubber und Var.4: Pflug). Es ist völlig klar, daß die unterschiedlichen Grundbodenbearbeitungen die Sekundärbodenbearbeitung beeinflussen. Die in dieser Untersuchung gewonnenen Ergebnisse sind unbedingt unter diesem Aspekt zu betrachten.

Grundsätzlich hängt der Zerkleinerungseffekt bei zapfwellengetriebenen Geräten von dem von ZELTNER 1975 (36) untersuchten Zusammenhang zwischen Umfangsgeschwindigkeit u und Vorfahrtsgeschwindigkeit v ab. Mit der Erhöhung des Quotienten u/v steigt der Zerkleinerungseffekt eines Bodenbearbeitungsgerätes.

Außerdem spielt bei der Zerkleinerung von Bodenaggregaten die Aufprallwucht der Werkzeuge auf die Aggregate eine große Rolle. Die auf den Boden einwirkende Energie hängt bei Zapfwellengeräten von der Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeuge, die wiederum vom Rotordurchmesser und der Drehzahl des Rotors bestimmt wird, von der Werkzeugausformung und vom Widerstand,

den die Aggregate den Werkzeugen leisten, ab. Die Umfangsgeschwindigkeit ist in der Regel bei Fräsen und Rotoreggen wegen ihres größeren Rotordurchmessers im Vergleich zu Kreiseleggen bei gleicher Drehzahl höher. Ferner leisten Bodenaggregate den Werkzeugen von Fräsen und Rotoreggen einen größeren Widerstand, weil sie bei diesen gegenüber der Kreiselegge eine geringere Ausweichmöglichkeit haben.

So stellte sich auch in diesem Versuch ein höherer Zerkleinerungseffekt der Rotoregge bei ungefähr der gleichen Drehzahl im Vergleich zur Kreiselegge heraus.

Zum selben Ergebnis waren STROPPEL und REICH 1980 (35) in einer Vergleichsuntersuchung mit Kreiselegge und Rotoregge schon gekommen. In dieser Untersuchung ergab sich bei gleichem GMD für die Rotoregge ein um 25% geringerer Leistungsbedarf. Ebenso erreichte die Rotoregge mit 350 U/min den gleichen Zerkleinerungseffekt als die Kreiselegge mit 400 U/min. Diese Ergebnisse erhielten sie im Herbst bei schwierigen Bodenverhältnissen.

In dem vorliegenden Versuch wurde allerdings eine schlechte Einmischung des Strohs durch die Rotoregge festgestellt (siehe Fotos 17 und 18 im Anhang). Dies lag einmal an dem ungleich verteilten Stroh und an den langen Stoppeln und zum anderen an der Werkzeugform. Denn die Werkzeuge bestanden bei dem verwendeten Gerät aus relativ leichten, sichelförmig gebogenen Zinken. Diese Werkzeugausformung bringt zwar den Vorteil eines verminderten Leistungsbedarfes, hat aber den Nachteil, daß das Stroh zu wenig tief in den Boden eingemischt wird.

Weshalb die Kreiselegge nach dem Grubbereinsatz eine wesentlich schlechtere Zerkleinerungswirkung brachte als nach dem Pflügen, lag zweifellos an der schlechten Arbeit des Grubbers. Durch seine ungünstige Scharform (vgl. 5.1.2) riß der Grubber zum Teil grobe Schollen aus dem Boden, die die Zerkleinerungswirkung der Kreiselegge herabsetzten. Auch die Stroheinmischung des Grubbers war wegen seiner Scharform denkbar schlecht (siehe Foto 5 im Anhang). Diese konnte natürlich von der Kreiselegge kaum verbessert werden, da die Kreiselegge so gut wie keine Mischwirkung in vertikaler Richtung hat. Ein Grubber dieser Art sollte daher nicht in Kombination mit der Kreiselegge, sondern mit Rotoregge oder Fräse gefahren werden, da diese Geräte die Aufgabe der Stroheinmischung übernehmen können. Der relativ schlechte Zerkleinerungseffekt bei der Frässaatmaschine lag wahrscheinlich an der zu geringen Drehzahl (235 U/min), an den Bodenver-

hältnissen, die auf dieser Parzelle augenscheinlich ungünstiger (feuchter und toniger) waren, sowie daran, daß ohne Grundbodenbearbeitung gefräst wurde.

Bezüglich der Auswirkungen der Drehzahl auf den Zerkleinerungseffekt soll auf die Untersuchungen von SCHÖNHAMMER 1982 (31) hingewiesen werden. In seinen Versuchen ergaben sich nach Erhöhung der Rotordrehzahl bei der Fräse wesentlich günstigere Zerkleinerungswerte.

Bei der Auswertung des Feldaufganges wurden zwei auffallende Ergebnisse gefunden. Einmal erreichte die Phacelia bei allen Bodenbearbeitungsvarianten einen deutlich geringeren Feldaufgang als "Perko" und "Tabor" und zum andern war der Feldaufgang bei der Pflug-Variante weit besser als bei den nicht wendenden Verfahren. Überraschenderweise war ausgerechnet bei der schlecht aufgelaufenen Phacelia die Pflugvariante nicht von der Grubber- und Schichtengrubbervariante zu unterscheiden. Die Frässaatparzelle lag jedoch auch bei der Phacelia deutlich hinter den übrigen Bestellverfahren. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß die Phacelia weniger für die Frässaat geeignet ist als die beiden anderen Zwischenfrüchte und auf eine genauere Ablagetiefe mit der Drillsaat positiver reagiert als vergleichsweise "Perko" und "Tabor". Umgekehrt kann daraus geschlossen werden, daß "Perko" und "Tabor" an die Sägenauigkeit geringere Ansprüche stellen als die Phacelia. Eine gewisse Rolle spielt auch der relativ späte Aussaatzeitpunkt Anfang September. Für "Tabor" und vor allem für die Phacelia ist dieser Termin in der Regel zu spät.

Daß aber insgesamt der Feldaufgang bei den Pflugparzellen höher ist, liegt an den negativen Einflüssen der Strohreste auf die Keimbedingungen im Saatbett. Zu hohe Strohanteile im Saattiefenbereich beeinträchtigen den Keimling durch toxisch wirkende Abbauprodukte und durch eine Störung in der Keimwasserübertragung. Vielleicht ist die Phacelia diesbezüglich nicht so empfindlich, da bei ihr der Feldaufgang auf der Pflugparzelle kaum höher war.

Vergleicht man nun die Werte der GMD (Tabelle 5) mit dem Feldaufgang (Tabelle 9), ergibt sich bei diesem Versuch überhaupt kein Zusammenhang. Die Auswirkungen der Aggregatgrößen auf den Feldaufgang werden von anderen Faktoren wie Witterung und Strohverteilung im Saatbett überlagert. Für eine Untersuchung der Beziehung Aggregatgrößenverteilung und Feldaufgang müßte ein viel umfangreicherer Versuch mit gleichmäßigeren Bedingungen

über mehrere Jahre hinweg angestellt werden.

KÖLLER 1978 (20) kam in einem mehrjährigen Versuch diesbezüglich zu folgendem Ergebnis: Bei ausgewogenen Niederschlägen nach der Saat hatte die Aggregatgröße kaum einen Einfluß auf den Feldaufgang. Nur bei trockenen Verhältnissen ergab sich eine eindeutig positive Auswirkung kleinerer Aggregate auf den Feldaufgang. Es zeigte sich eine besonders enge Korrelation zwischen Feldaufgang und den Aggregatgrößen in der Nähe des abgelegten Samens. Mit zunehmendem Anteil der Aggregatgrößen < 5 mm in der Nähe des Samens stieg der Feldaufgang signifikant. Damit wurden umfangreiche Gefäßversuche bestätigt, nach denen sich bei Aggregatgrößen zwischen 1 und 3 mm im Bereich des Samens die höchsten Feldaufgänge ergeben haben (20).

Obwohl bei diesem Versuch aus bereits genannten Gründen kein Zusammenhang zwischen Aggregatgrößen und Feldaufgang hergestellt werden konnte, soll trotzdem hervorgehoben werden, daß die Variante Schichtengrubber-Rotoregge den kleinsten GMD und vor allem den größten Anteil der Aggregatgrößen < 5 mm lieferte. So kann die Rotoregge bei schwierigen Bodenverhältnissen und trockenen Witterungsbedingungen als ein Gerät bezeichnet werden, das anderen Bodenbearbeitungsgeräten überlegen ist. Dabei darf aber nicht vergessen werden, daß mit Erhöhung der Anzahl von kleinen Aggregaten die Verschlammungs- und Erosionsgefahr steigt.

Aus diesem Grund versucht man neue Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung zu entwickeln, die einen bestimmten Anteil der Ernterückstände auf der Bodenoberfläche zurücklassen, um einer Verschlammung und Erosion vorzubeugen.

Beim Ertrag verhalten sich die Ergebnisse ein wenig anders, d.h., daß sich im Laufe der Pflanzenentwicklung nach dem Feldaufgang die Relationen etwas verschoben haben müssen. Als eindeutige Ergebnisse können festgehalten werden, daß alle drei Zwischenfrüchte auf den Pflugparzellen mit Abstand den höchsten Ertrag erzielten und daß "Perko" auf allen Bodenbearbeitungsvarianten den beiden anderen Früchten weit überlegen war.

Gründe dafür könnten die schlechten Witterungsbedingungen (lange Zeit kalt und naß) und die relativ kurze Vegetationszeit gewesen sein. Außerdem ist "Perko" bekannt für seine Spätsaatverträglichkeit und sein rasches Jugendwachstum. Warum auf den Pflugparzellen der Ertragsvorsprung zu den anderen Bearbeitungsvarianten größer ist als beim Feldaufgang, liegt daran, daß

bei der ungenaueren Saat auf den nicht gewendeten Parzellen zwar relativ viele Pflanzen auflaufen, dann aber in ihrer Entwicklung zurückbleiben, weil sie entweder durch toxische Abbauprodukte oder durch einen gestörten Wasser- und Lufthaushalt geschwächt werden. Die ungleichmäßige Entwicklung der Pflanzen (siehe Fotos 19 ff. im Anhang) auf den nicht gewendeten Bodenbearbeitungsvarianten läßt auch auf eine Beeinträchtigung der Genauigkeit bei der Saattiefenablage durch den hohen Strohanteil auf der Bodenoberfläche schließen.

7. Zusammenfassung

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die Verminderung der Bodenfruchtbarkeit in den intensiven Ackerbaugebieten Mitteleuropas durch die herkömmlichen Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren und die zunehmend einseitiger werdenden Fruchtfolgen. Die Erosion tritt besonders in Gebieten mit stärkerem Anbau von Reihenfrüchten wie Zuckerrüben und vor allem Mais auf. Dieses Problem ist um so dringender geworden, weil gerade in den letzten Jahren der Silomaisanbau eine enorme Zuwachsrate erreichte.

Wissenschaft und Technik versuchen diesem Tatbestand Rechnung zu tragen, indem sie neue Verfahren und Geräte entwickeln. So haben sich bezüglich der Bodenbearbeitung zwei Lager gebildet.

Die einen halten nach wie vor an der wendenden Bodenbearbeitung mit dem Pflug fest und nennen als Vorteile ihres Verfahrens ein sauberes, von Ernterückständen freies Saatbett, das eine genaue und störungsfreie Saat mit den herkömmlichen Geräten zuläßt.

Die anderen propagieren die nicht wendende, konservierende Bodenbearbeitung. Sie fordern zwar eine tiefe Lockerung, aber nur eine intensive Bearbeitung der obersten Schicht. Der Boden darf dabei nicht gewendet werden und soll seine natürliche Schichtung beibehalten, damit das Bodenleben so wenig wie möglich gestört wird. Außerdem fordern sie für einen optimalen Rotteprozeß ein gleichmäßiges, nicht zu tiefes Einmischen der Ernterückstände. Der Boden wird durch den relativ hohen Anteil an Ernterückständen an der Oberfläche vor Verschlammung und Erosion geschützt.

Für die nicht wendende Bodenbearbeitung ergeben sich einige Probleme bezüglich Stroheinarbeitung und Bestellung. Dies hat in vielen Fällen erhebliche Nachteile für die Entwicklung des Keimlings und das anschließende Pflanzenwachstum zur Folge. Eine optimale Stroheinarbeitung kann mit dem Schälgrubber, der Fräse oder der Rotoregge nur dann erreicht werden, wenn die Stoppeln nicht zu lang sind, das Stroh gut zerkleinert und über die Fläche gleichmäßig verteilt wird. Von den derzeitigen Mähdrescher-Anbauhäckslern wird das Stroh zwar ausreichend zerkleinert, die Breitenverteilung läßt aber vor allem bei Mähdreschern mit größerer Schnittbreite sehr zu wünschen übrig. Beim Grubber wird außerdem eine Vorfahrtgeschwindigkeit von 8 - 10 km/h gefordert.

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß Bestellverfahren ohne Pflug höhere Anforderungen an die Kenntnisse und Erfahrungen des Pflanzenbauers und an die Technik stellen, vorausgesetzt, es sollen die gleichen Erträge erzielt werden wie bei den herkömmlichen Verfahren mit Pflugfurche.

Da jedoch steigende Anteile an Reihenfrüchten (vor allem Silomais) in der Fruchtfolge aus Gründen der Erosionsverhütung eine Änderung in der Bestelltechnik erfordern, müssen neue Verfahren der sogenannten "konservierenden" Bodenbearbeitung erprobt werden. Hierzu gibt es schon einige erfolgversprechende Versuche der Direktsaat oder der Einsaat von Reihenfrüchten in einen Pflanzenmulch, wie sie beispielsweise von ESTLER (6) gemacht wurden.

Für diese Verfahren müssen jedoch die Zwischenfrüchte bezüglich ihrer Eignung genauer untersucht werden. Dabei sind die wichtigsten zu prüfenden Kriterien Wurzelwachstum, Pflanzenwachstum, Bodenbedeckung, Saattermin, Bestelltechnik und Winterhärte.

Aus dem angestellten Versuch können folgende Ergebnisse festgehalten werden: Bei langen Stoppeln und schlechter Strohverteilung können Grubber, Fräse und Rotoregge das Stroh nur unbefriedigend einmischen. Der Strohannteil auf der Bodenoberfläche war für eine exakte Saat und für die Wachstumsbedingungen des Keimlings zu hoch. Auf den nicht gewendeten Parzellen resultieren deshalb im Vergleich zu den Pflugparzellen geringere Feldaufgänge und geringere Erträge. Die Bodenbearbeitung mit dem Pflug hat den Nachteil einer für die Rotte ungünstigen Strohverteilung im Boden und der gegen Verschlammung und Erosion ungeschützten Oberfläche. Dagegen bietet die Saattbettbereitung nach Pflugfurche im Gegensatz zu den nicht wendenden Verfahren optimale Verhältnisse für eine genaue Saatgutablage sowie optimale Wachstumsbedingungen für den Keimling.

Bezüglich der Bodenzerkleinerung war die Rotoregge der Fräse und der Kreiselegge überlegen. Die nicht winterharten Zwischenfrüchte Phacelia und "Tabor" erreichten keine ausreichende Pflanzenmasse und Bewurzelung, um einen guten Erosionsschutz in der folgenden Frucht Mais zu gewährleisten. Für den winterharten "Perko" besteht die Gefahr des zu üppigen Wuchses im Frühjahr vor der Maissaat.

Nun bleibt zu hoffen, daß die gemachten Ansätze für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit im intensiven Ackerbau umfangreicher von Wissenschaft und

Beratung aufgegriffen werden, um dann verbreitet Eingang in die Praxis zu finden. Die Ursachen für das "Bodensterben" sind jedenfalls im Gegensatz zu denen des "Waldsterbens" hinreichend bekannt. Sie könnten somit ziemlich bald beseitigt werden, vorausgesetzt, auch die Landwirte sind willens, sich für die Erhaltung ihrer wichtigsten Resource, nämlich des Bodens, wenigstens zum Teil ökonomischen Zwängen zu entziehen.

8. Literaturverzeichnis

1. A m b e r g e r , A . : Pflanzenernährung. Stuttgart 1979
2. A u e r n h a m m e r , H . : AGREGA - Aggregatgrößenauswertung. EDV - Programm-Bibliothek des Instituts für Landtechnik, TU-München-Weihenstephan 1976, 2. Auflage, S. 38-39
3. B o g u s l a w s k i , E . v . , J. D e b r u c k : Strohdüngung und Bodenfruchtbarkeit. Arbeiten der DLG, Band 155 , Frankfurt 1977
4. B r o u w e r , W . : Zur Strohfrage. Mitteilungen der DLG, 1954, 69
5. E s t l e r , M . , H. K n i t t e l , E. Z e l t n e r : Bodenbearbeitung aktuell. Frankfurt 1984
6. E s t l e r , M . : Maisbestelltechnik unter neuen Aspekten. Mais, Zeitschrift über Forschung, Produktionstechnik, Verwertung und Ökonomik, 1985, Nr. 2, S. 9-13
7. F e u e r l e i n , W . : Aufgaben der neueren Bodenbearbeitungsgeräte. Landtechnik 17, 1962, H. 4, S. 1-4
8. F i s c h b e c k , G . , K. U. H e y l a n d , N. K n a u r : Spezieller Pflanzenbau. 2. Auflage, Stuttgart 1982
9. F l i e g , O . , G. G r o ß : Strohdüngungsversuche. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 1934, 13, S. 380
10. F r a n c e , R . H . : Das Leben im Boden / Das Edaphon . München
11. G e r l a c h , M . : Der Einfluß der Schwarzbrache der Grün- und Strohdüngung auf den Stickstoffhaushalt des Bodens und seine Erträge. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 1934, 13, S. 360
12. G l a t h e , H . : Stallmist, Häckselmist und Strohdüngung verglichen in ihren Auswirkungen auf Boden und Pflanze, DLG-Tagung Braunschweig, 1952
13. H e e g e , H . J . : Getreidebestellung aktuell. Frankfurt 1978
14. H e e g e , H . J . : Zur Frage der Sätechnik für Getreide, Landtechnik Februar 1981, S. 849-851
15. H o r t s c h a n s k i , L . : Untersuchungen über die Einwirkung von Federzahnkultivatoren- und Eggenzinken auf den Boden. Diss. Halle 1929
16. K a h n t , G . : Gründüngung. Frankfurt 1983
17. K a h n t , G . , M. M o h a m m a d i : Nicht jede Gründüngung verbessert die Nachfrucht. DLG-Mitteilungen 14/1977, S. 799-800
18. K a h n t , G . , R. B a u s c h , K. H. K ö l l e r : Auswirkungen einiger den Arbeitseffekt von Bestellwerkzeugen kennzeichnenden Größen auf den Pflanzenaufgang von Getreide. Grundlagen der Landtechnik, 1976/26, Nr. 4, S. 140-144

19. K l a p p , E . : Staatsauffassung über Humus. Mitteilungen der DLG, 1952, 67, S. 71
20. K ö l l e r , K . H . : Bodenbearbeitung ohne Pflug. Schriftenreihe der Universität Hohenheim, Reihe: Agrartechnik, Heft 112, Hohenheim 1981
21. K o u w e n h o v e n , J . K . , R . T e r p s t r a : Mixing and sorting of granules by tines. Journal of Agricultural Engineering Research, 1970/15 , 2 , S. 153-163
22. M i x , H . : Experimentelle Darstellung der Innenbodenbearbeitung von Grubber- und Eggenzinken. Diss. Halle 1927
23. N i t z s c h , W . v . : Geräte zum Stoppelschälen und ihre Verwendbarkeit für weitere Aufgaben der Feldbestellung. Technik in der Landwirtschaft, 1935/16, 10, S. 253-255
24. N . N . : Ackerbau nach dem System Horsch. DLG-Mitteilungen 1983/15, S. 849-851
25. O p i t z , K . , K . R a t h s a c k : Über die Bedeutung der Strohdüngung für den Ertrag und den Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt eines leichten Bodens. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde. 1936, 45, S. 276
26. P e r w a n g e r , A . : Einarbeitung von Stroh. Sonderdruck aus Berichte über Landwirtschaft, Bd. 56, Heft 2, S. 431-442, Hamburg und Berlin 1978
27. P r e u s c h e n , G . , B e r n a t h , K . : Die Kunst der Gründüngung. Graz 1983
28. R e i n a u , E . H . : Stroh im Boden. RKTL-Schrift, 1931, Nr. 20
29. R e n i u s , W . , E . L . E n t r u p . : Zwischenfruchtbau, zur Futtergewinnung und Gründüngung, Frankfurt 1985
30. S a u e r l a n d t , W . : Der Einfluß jährlicher Strohgaben auf die Erträge und einige Bodeneigenschaften. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde. 1961, 94, S. 104-115
31. S c h ö n h a m m e r , J . : Der Arbeitseffekt zapfwellengetriebener Bodenbearbeitungsgeräte. Aus dem Institut für Landtechnik der TU-München/Weihenstephan, Weihenstephan 1982
32. S c h e f f e r , F . , P . S c h a c h t s c h n a b e l : Lehrbuch der Bodenkunde, Stuttgart 1979
33. S e i b o l d , () : Statistische Unterlage. Bonn 1982
34. S t a u ß , W . : Das Stroh hinter dem Mähdrescher. Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft, KTL-Flugschrift Nr. 5, Frankfurt 1959
35. S t r o p p e l , A . , R . R e i c h : Technik der Stroheinarbeitung in den Boden. Landtechnik 1975/30, H. 6, S. 272-276
36. Z e l t n e r , E . : Betriebstechnische und pflanzenbauliche Aspekte verschiedener Minimalbestellverfahren. Diss. Weihenstephan 1975

A N H A N G



Foto 1:
Sänavator

Foto 2 :
Kurzgrubber



Foto 3 :
Kombination aus
Kurzgrubber und
Kreiselegge



Foto 4 :
Kombination aus
Kreiselegge und
Drillmaschine bei
der Bestellung

Foto 5 :
Ungleich eingear-
beitetes Stroh
nach der Bearbei-
tung mit dem
Kurzgrubber



Foto 6 :
Gleichmäßigere
Stroheinmischung
nach Schichten-
grubber und Rotor-
egge, jedoch hoher
Strohanteil auf
der Oberfläche



Foto 7 :
Schichtengrubber
und Rötoregge

rubber
gge
tz



Foto 9 :
Drillmaschine mit
Rollscharen und
Schwalbenschwanz-
striegel

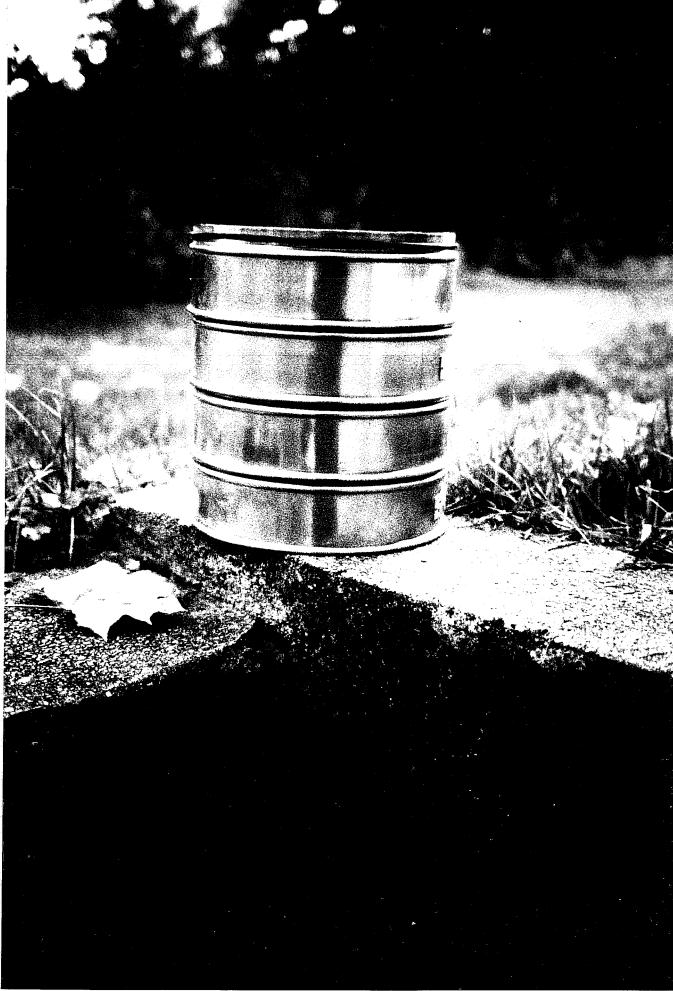


Foto 10 :

Siebsatz für die
Schollensiebanalyse

Foto 11 :

Einzelnes Sieb

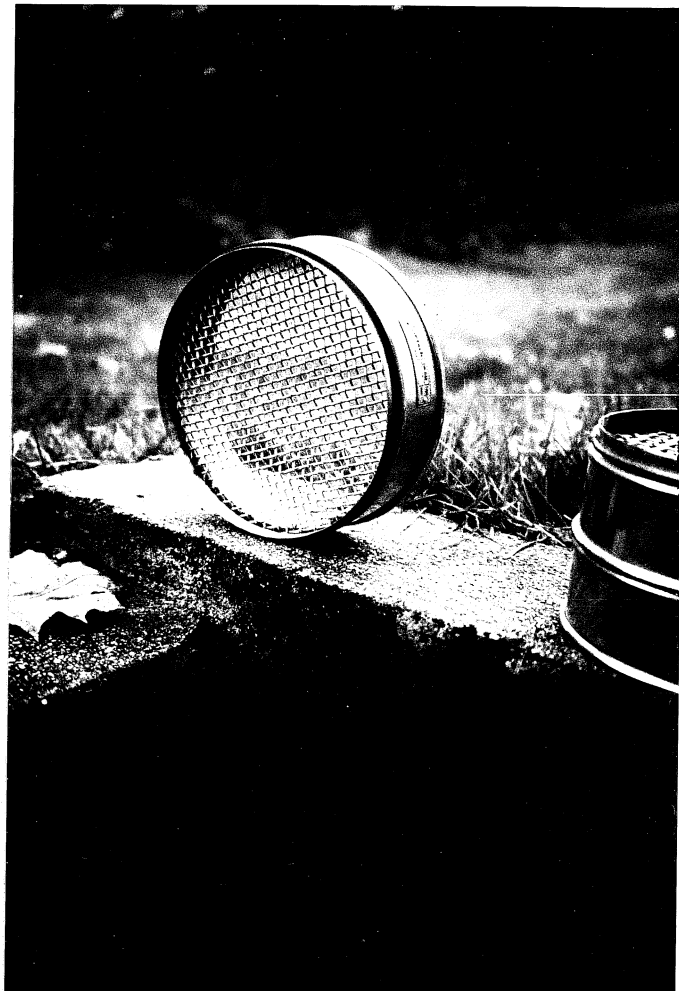




Foto 12 :
Bodenprobe für
die Schollensieb-
analyse

Foto 13 :

Links: Bearbeitung
mit dem Sämavator

Rechts: Bearbeitung
mit dem Kurzgrubber



Foto 14 :
Einzelne Siebfrak-
tionen nach dem
Absieben

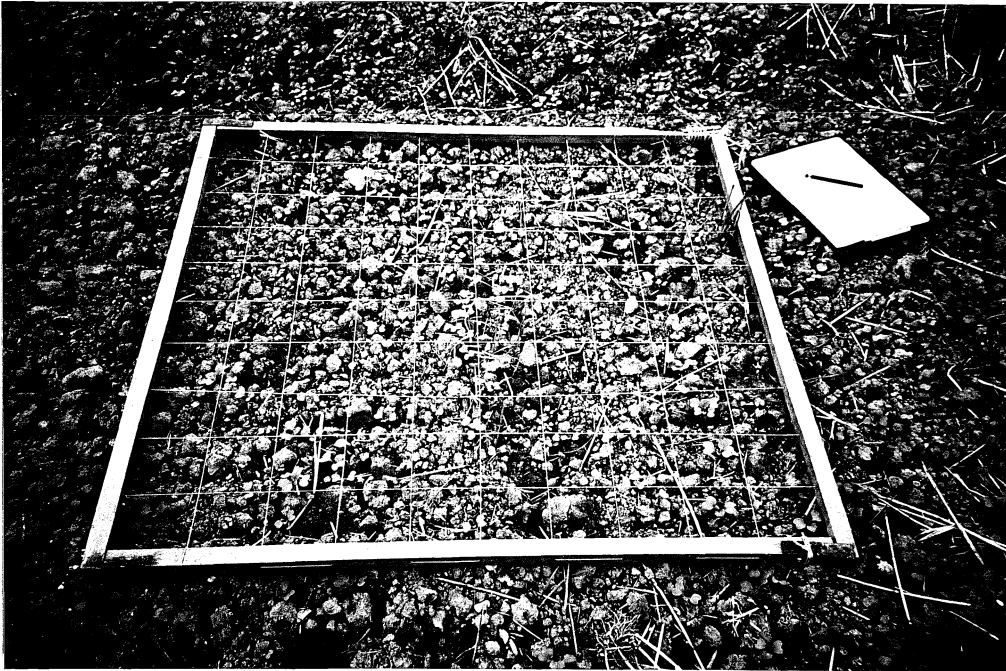


Foto 15 : Auszählen des Feldaufganges auf der Pflugparzelle

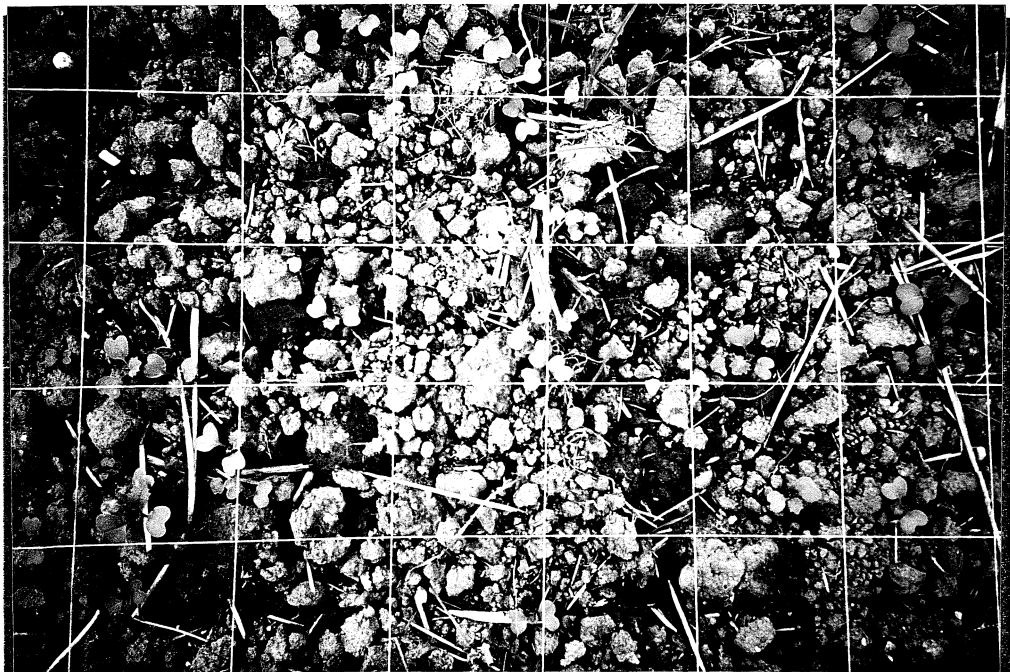


Foto 16 : Feldaufgang auf der Pflugparzelle



Foto 17 : Hoher Strohanteil auf der Oberfläche der
Parzelle Schichtengrubber und Rotoregge



Foto 18 : Feldaufgang auf der Schichtengrubber - Parzelle



Foto 19 : "Perko" auf der Pflug-Parzelle



Foto 20 : "Perko" auf der Schichtengrubber-Parzelle

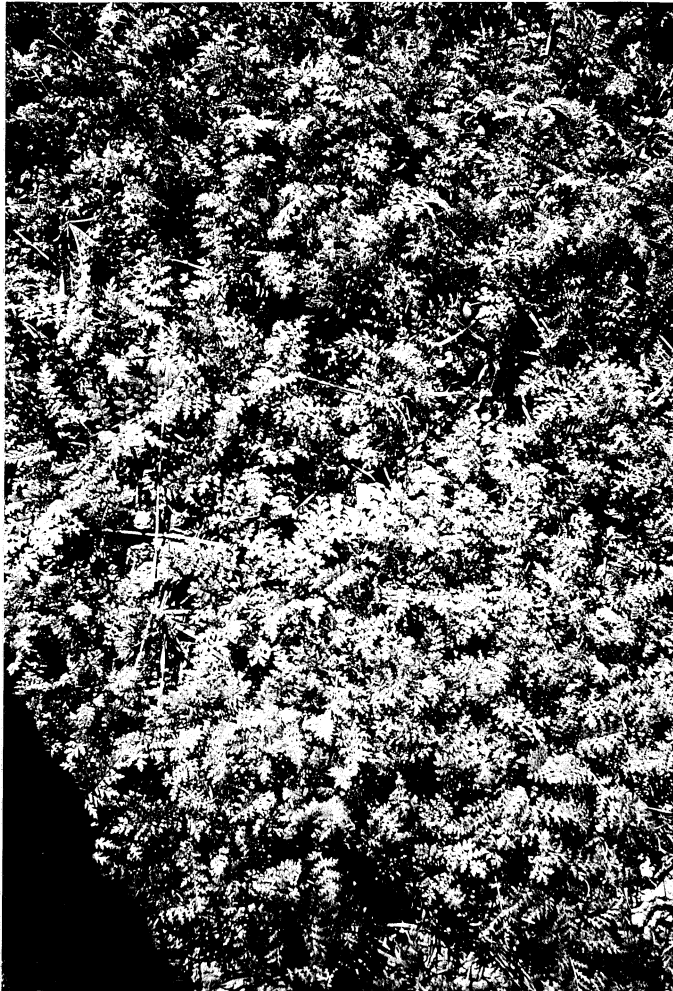


Foto 21 :
Bedeckungsgrad von
Phacelia auf der
Pflug-Parzelle



Foto 22 :
Bedeckungsgrad von
Phacelia auf der
Schichtengrubber-
Parzelle



Foto 23 :
Bedeckungsgrad von
"Perko" auf der
Pflug-Parzelle

Foto 24 :
Bedeckungsgrad von
"Perko" auf der
Schichtengrubber-
Parzelle



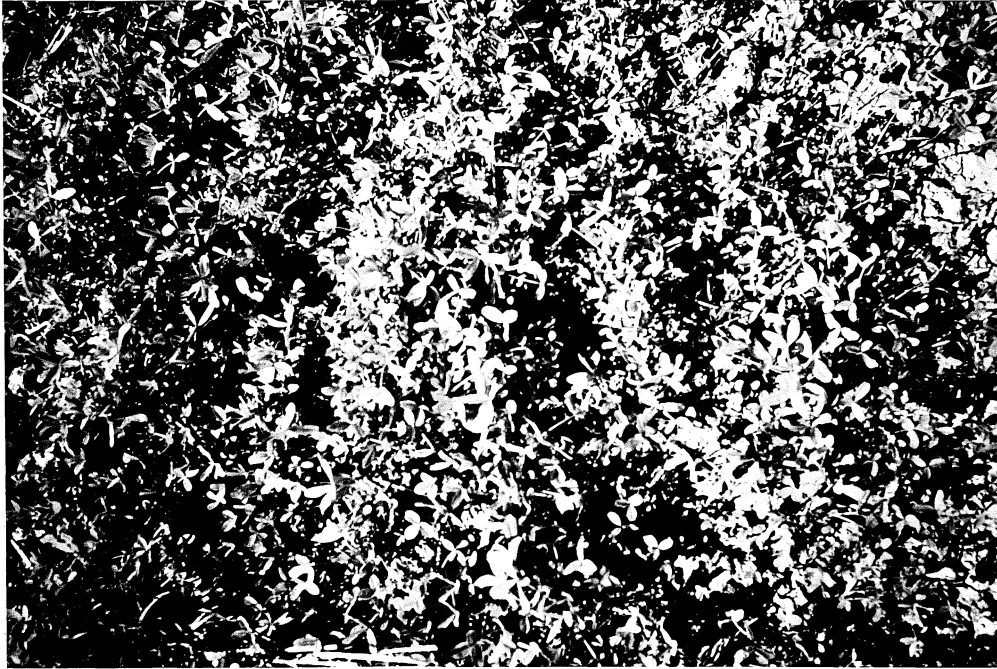


Foto 25 : Bedeckungsgrad von "Tabor" auf der Pflug-Parzelle



Foto 26 : Bedeckungsgrad von "Tabor" auf der
Schichtengrubber-Parzelle

Arten	Wurzel	Ansprüche Klima	Boden	Saattiefe	Nährstoffe	Saattermin	Saatmenge	TKG	angestrebte Bestandesdichte	Etrag(TM kg/ha) Pflanze	Wurzel
Rotklee (Trifolium pratense)	Pfahlwurzel mit stark verzweigten Nebenwurzeln, starke Bewurzelung der obersten 20 cm	Kühl feuchte Gebiete, >550 mm Niederschläge	Optimum: humose, tiefgründige Lehmböden ungeeignet: reine Sand- Kalk- u. staunasse Böden	1 cm	kein N, gute PK-Versorgung, Ca notwendig	Frühjahr unter Deckfrucht	15-20 kg	1,7-2,2g	100 - 200 /m	15-25	18-20
Weißklee (Trifolium repens)	kleine dünne Pfahlwurzeln mit Seitenwurzeln, flache, mäßige Bewurzelung	mittlere Feuchtigkeitsansprüche	gedeiht auf allen Böden außer auf zu trockenen	1 cm	Ca: günstig	Frühjahr unter Deckfrucht	8-12 kg	0,6g	100 - 150	10-25	10-12
Schwedenklee (Trifolium hybridum)	kurze Pfahlwurzel mit mehreren kräftigen Seitenwurzeln, die tiefer in den Boden eindringen	kalt und naß	naß-kalte Böden nicht auf leichten u. trockenen Böden	1 cm	Ca: notwendig	Frühjahr unter Deckfrucht	8-15 kg	10,6-0,7g	100 - 200	15-25	20
Inkarnatklee (Trifolium inkarnatum)	Pfahlwurzel mit einigen Seitenwurzeln, mäßige Bewurzelung, tiefe Lockerung	wärmeres Klima	Optimum: Lehm bis l. Sand, keine massen Böden	1 - 2 cm	Ca: günstig	Juli bis Mitte August	25-30 kg	13-4 g	100 - 150	15-25	12-15
Persischer Klee (Trifol. resupinatum)	Pfahlwurzel mit einigen Seitenwurzeln, geringe Feinwurzelbildg., Hauptwurzelmasse in obersten 25cm	benötigt wärmeres Klima relativ hoher Wasserbedarf, nicht winterhart	auf allen, außer sandigen und massen Böden	1 - 2 cm	10-20 kg N als Startgabe Ca: günstig	Juli bis August	18-20 kg	1,2-1,4g	100 - 200	12-15	10-12
Alexandrinerklee (Trifol. alexandrinum)	wie Perserklee, nur etwas tiefer	wie Perserklee	wie Perserklee	1 cm	wie Perserklee		20-35 kg	2,7-3,2g	100 - 200	40-70	12-14
Seradella	viele Seitenwurzeln, viele Feinwurzeln, allgem. gute Durchwurzelung	hohe Feuchtigkeitsansprüche, geringer Wärmebedarf	Optimum: sandiger Lehm oder Sand mäßig sauer	2 cm	Ca nicht Bedingung	Juli bis Mitte August	35-45 kg	2,7-4,6g	100	15-20	8-10
Lupinen: gelb (luteus) weiß (albus) blau (angustifolus)	kräftige Pfahlwurzel, die schnell tief wachsen, wenig Feinwurzeln	Ansprüche: gelb: höher, weiß: mittel, blau: niedrig, nicht winterhart	gelb: sandig und sauer, weiß: schwer und feucht, blau: Mittelstellung	3 cm	30 kg N Ca: sehr nachteilig	Juli bis Mitte August	gelb und blau: 160-180kg, weiß: 200-240kg	weiß: 300-360g	100	20-50	?
Wicken: Winterwicke (Vicia villosa) Sommerwicke (Vicia sativa)	Büschelwurzel gute Durchwurzelung	geringe Anforderungen, am besten feucht kühle Lagen	am besten kalkhaltige frische Lehmböden	2 - 3 cm	20-30 kg N als Start Ca: günstig	Juli bis Anfang August	(Reinsaat: 60-80 kg)	20-40 g	-	15-20	20
Felderbsen (Pisum sativum) Peluschken-Futtererbse (Pisum arvense)	kurze Pfahlwurzel mit einigen Seitenwurzeln, mäßige Bewurzelung	mittelfeucht und mittelwärm	mittel schwere Lehmböden	5 - 6 cm	20 kg N zum Start Ca: günstig	Juli bis Mitte August	100-150 kg	120-250g		35-40	12-15
Ackerbohnen (Vicia faba)	kräftige Pfahlwurzel, viele kurze Seitenwurzeln	feuchtes Klima bevorzugt	tiefgründige Lehm- u. Tonböden	5 - 8 cm	Ca: notwendig	Juli bis Mitte August	180-220 kg	300-600g		20	15-18
Welsches Weidelgras (Lolium multiflorum)	bis 10 cm sehr gute Durchwurzelung	feuchte Lagen	empfindlich auf Sandböden	1 - 2 cm	100-120kg N	Juli bis Anfang August	35-40 kg (Sortenmisch)			25-30	25-30
Einjähriges Weidelgras (Lolium multiflorum ssp. gaudinii)	ein wenig schwächer als Welsch-Weidelgras	feuchte Lagen, nicht winterhart	nährstoffreich mit guter Wasserversorgung	1 - 2 cm	100-120kg N	bis Mitte August	40-50 kg	3 g	200	25-35	25-30
Deutsches Weidelgras (Lolium perenne)	sehr intensive Bewurzelung	frisch feuchte Lagen	bindige Böden, keine trockenen	2 cm	80-100kg N	bis Mitte August	18-20 kg	2,0-3,5g	200	18-20	25-30
Raps (Brassica napus)	kräftige Pfahlwurzel, kann nur in Spalten eindringen	empfindlich gegen Trockenheit	liebt garen Boden, Sandböden wenig geeignet	1 - 2 cm	100-120kg N Ca: notwendig	bis Ende August	8-15 kg	4-5 g	200	15-25	15-18
Rübsen (Brassica rapa ssp. oleifera)	Pfahlwurzel mit vielen kleinen Seitenwurzeln	feucht mildes Klima optimal	bindige Böden mit hoher Wasserkapazität	1 - 2 cm	wie Raps	bis Ende August	12-14 kg	13-5 g	200	20-30	10-12
Markstammkohl (Brassica oleracea)	Pfahlwurzel mit kleinen Seitenwurzeln	feuchtes, auch rauhes Klima	alle Böden in feuchten Lagen	1 - 2 cm	150-200kg N Ca: notwendig	Juli bis Anfang August	4-6 kg	4-4,5g	20 - 30	30-50	8-10
Stoppelrüben (Brassica rapa)	Wurzelknollen rübenförmig	feuchtes Klima	leichtere, gut strukturierte, besere Böden	1 - 2 cm	80-100kg N Ca:	Juli bis Mitte August	2-4 kg (pilliert)	1,5-3,3g	250	20-40	2
Ölrettich (Raphanus sativus)	Pfahlwurzel mit Nebenwurzeln, neigt zur Rettichbildung	fast alle Klimata, nicht winterhart	leichte bis mittlere Böden	1 - 2 cm	80-100kg N Ca: vorteilhaft	bis Anfang September	10-15 kg	11-13 g	150 - 200	15-30	12-14
Senfarten: weiß (Sinapis alba) schwarz (Brassica nigra) Serepta (Brassica juncea)	Pfahlwurzel	keine besonderen Ansprüche, nicht winterhart		1 - 2 cm	60-80 kg N	Ende August bis Anfang September	15-25 kg	13,2-3,5g	200	15-30	12-15
Phacelia	dicke Pfahlwurzel, die sich verzweigt, mäßige Feinwurzelbildung	relativ anspruchslos, erträgt gut Trockenheit, in winterhart	keine verschlammten Böden, sonst alle Böden geeignet	1 - 2 cm	80-100 kg N	Juli und August	10-15 kg	1,9 g	150 - 200	15-25	10-12
Sonnenblume (Helianthus annuus)	dicke Hauptwurzel, dringt nicht tief ein, oben sehr gute Durchwurzelung	milde, sonnige windgeschützte Lagen optimal, geringer Wasserbedarf, in winterhart	leichte bis mittel-schwere Böden	3 - 4 cm	70-100 kg N	bis Ende Juli	20-35 kg	130-50 g	10 - 15	25-65	15-20

Tabelle 4: Ansprüche und Eigenschaften von Zwischenfrüchten (8, 16, 27, 29)