

Aus dem Institut für Landtechnik
der Technischen Universität München-Weihenstephan
Direktor: Professor Dr. H. L. Wenner

Der Arbeitseffekt zapfwellengetriebener Bodenbearbeitungsgeräte

- Meßmethoden und Auswirkungen auf den Pflanzenaufgang -

Dipl.-Ing. agr.
Johann Schönhammer
geboren am 21. 5. 1948 in Mallersdorf

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für
Landwirtschaft und Gartenbau
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Agrarwissenschaften (Dr., agr.)
genehmigten Dissertation

Vorsitzender: o. Prof. Dr. H. Steinhauser
1. Prüfer: o. Prof. Dr. H. L. Wenner
2. Prüfer: o. Prof. Dr. G. Fischbeck

Die Dissertation wurde am 3. 2. 1982 bei der
Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau
am 31. 3. 1982 angenommen.

Tag der Promotion: 14. 5. 1982

V o r w o r t

Steigende Anforderungen an die Ertragsleistung und -sicherheit der Kulturpflanzen zwingen zu einer gezielteren standort- und fruchtspezifischen Bodenbearbeitung. Die Anregung, die Zusammenhänge der Wechselwirkungen der Bodenzerkleinerung und bekannter Meßmethoden und die Auswirkungen auf den Pflanzenaufgang im Rahmen einer Dissertation zu untersuchen, kamen von Herrn Prof. Dr. M. Estler.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. M. Estler für die umfassende wissenschaftliche Betreuung und stets tatkräftige Unterstützung. Für die Übertragung der Arbeit und für die richtungsweisende Anleitung bin ich Herrn Prof. Dr. H.L. Wenner zu Dank verpflichtet. Danken möchte ich auch Herrn Prof. Dr. G. Fischbeck, der die Aufgabe des Korreferenten übernahm. Ebenso möchte ich Herrn Dr. H. Auernhammer für die Unterstützung bei den statistischen Auswertungen meinen Dank aussprechen.

Weiterhin gebührt recht herzlichen Dank allen Mitarbeitern der Landtechnik Weihenstephan für ihre umfassende Mithilfe, den Firmen für die kostenlose Überlassung der untersuchten Maschinen, den landwirtschaftlichen Betrieben und Versuchsgütern der TU München-Weihenstephan für die Bereitstellung von Versuchsflächen.

Die Finanzierung der Untersuchungen übernahm dankenswerter Weise die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

Weihenstephan im Januar 1982

Hans Schönhammer

"Bearbeitet den Boden nicht nur im Schweiß Eures
Angesichtes, sondern mit neuen Gedanken."

Theodor Roemer

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. EINLEITUNG	6
2. ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN	8
3. LITERATURÜBERSICHT	11
3.1 Bodenzerkleinerung	11
3.2 Reliefmessungen	14
3.3 Feldaufgang	15
4. VERSUCHSBESCHREIBUNG	18
4.1 Definition der wichtigsten Einflußgrößen	18
4.2 Versuchsstandorte	20
4.3 Beschreibung der Geräte	22
4.3.1 Fräse	23
4.3.2 Kreiselegge	25
4.3.3 Rüttelegge	28
4.3.4 Rotoregge	29
4.4 Versuchsanstellung und -pläne	32
4.4.1 Mehrfaktorieller Langzeitversuch	32
4.4.2 Einfluß der Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Werkzeuggeschwindigkeit auf die Bodenzer- kleinerung	33
4.4.3 Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) und der Bissenlänge (l_B) auf die Bodenzerkleinerung	34
4.4.4 Einfluß der Aggregatgröße bei unterschiedlichen Saatstärken auf den Feldaufgang	36

5.	METHODEN	37
5.1	Aggregatgrößenverteilung	38
5.1.1	Methode	38
5.1.2	Auswertung	39
5.1.3	Korrelation der bekannten Aggregatgrößenkenn- ziffern untereinander	40
5.2	Oberflächenrauheit	43
5.2.1	Methode	43
5.2.2	Auswertung	47
5.2.3	Anzahl der Wiederholungen	48
5.3	Saattiefe	50
5.3.1	Methode	50
5.3.2	Auswertung	51
5.4	Feldaufgang	51
5.4.1	Methode	51
5.4.2	Auswertung	54
5.4.3	Anzahl der Wiederholungen	55
6.	ERGEBNISSE	57
6.1	Einflußfaktoren auf die Bodenzerkleinerung	57
6.1.1	Einfluß der Bodenfeuchte	57
6.1.2	Einfluß der Vorfahrt- und Werkzeuggeschwin- digkeit	62
6.1.3	Einfluß des verhältnisses u/v	69
6.1.4	Einfluß der Bodenart	73
6.1.5	Einfluß der Geräte	75
6.1.6	Einfluß der Nachlaufgeräte	79
6.1.7	Einfluß der Grundbodenbearbeitung	81
6.1.8	Einfluß der Jahre bzw. des Bearbeitungszeit- punktes	84
6.1.9	Einfluß der Arbeitstiefe	86
6.1.10	Diskussion der Ergebnisse	89

6.2.	Prüfen des Arbeitseffektes mit dem Reliefmeß- gerät	95
6.2.1	Beziehungen der errechneten Rauheitskennziffern zum Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate	97
6.2.2	Einfluß des Bodenwassergehaltes auf die Rau- heitsmessungen	110
6.2.3	Einfluß der Geräte	114
6.2.4	Einfluß der Nachlaufgeräte	115
6.2.5	Veränderungen der Bodenoberflächenrauheit im Laufe der Vegetation	117
6.2.6	Diskussion der Ergebnisse	121
6.3	Einfluß der Aggregatgrößen auf die Saatgutab- lage und das Pflanzenwachstum	125
6.3.1	Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die mitt- lere Saattiefe	126
6.3.2	Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Stan- dardabweichung um die mittlere Saattiefe	129
6.3.3	Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Gleich- mäßigkeit des Pflanzenaufganges	134
6.3.4	Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf den Feld- aufgang	137
6.3.5	Einfluß der Saatstärke auf den Feldaufgang in Abhängigkeit von der Aggregatgröße	148
6.3.6	Einfluß des Säverfahrens bei gleicher Aggre- gatgröße auf den Feldaufgang	150
6.3.7	Abhängigkeit der Aggregatgröße vom Witterungs- verlauf	152
6.3.8	Diskussion der Ergebnisse	153
7.	ZUSAMMENFASSUNG	156
8.	LITERATURVERZEICHNIS	161
9.	VERZEICHNIS DER TABELLEN	167
10.	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	170
11.	ANHANG	172

1. EINLEITUNG

Eines der besonderen Merkmale der Bodenbearbeitung ist die diffizile Problematik der Wechselwirkungen von Standort, Boden, Gerät, Pflanze und Mensch. Darum werden die Bodenbearbeitungsgeräte und -verfahren fast immer empirisch entwickelt und angewandt. Die wirklichen Zusammenhänge zwischen dem Bearbeitungseffekt, dem technologischen Arbeitserfolg und dem Pflanzenwachstum versucht man durch subjektive Beurteilung zu ergründen.

Unter Berücksichtigung der Vielfalt von Boden-, Klima- und Witterungsverhältnisse ist es erklärlich, daß sich - im Gegensatz zur Verfahrenstechnik in der Getreideernte - bei der Bodenbearbeitung noch keine Standardverfahren entwickelt haben (25). Dies ist ein Teilkomplex im System der pflanzlichen Produktion und kann daher nicht isoliert betrachtet werden. Die wesentliche Aufgabe liegt in der Schaffung optimaler Bodenbedingungen und eines fruchtspezifischen Saatbettes, das den Anforderungen der Kulturpflanzen entspricht. Wie kaum ein anderer Arbeitsbereich der Landwirtschaft stellt die Bodenbearbeitung und besonders die Saatbettbereitung hohe Ansprüche an eine termingerechte Durchführung.

Viele Bodenbearbeitungswerkzeuge sind empirisch entwickelt und auf die jeweiligen Einsatzbedingungen abgestimmt worden. Die Beurteilung des Effekts der Bodenbearbeitungswerkzeuge und -geräte im Boden entstammt häufig visuellen Prüfungen und Erfahrungen in der Praxis (5, 13, 14, 18, 53). Die Diskussion über die zweckmäßigste Form der Bodenbearbeitung kann deshalb noch keineswegs als beendet angesehen werden. Es ist beinahe unmöglich, für dieses Teilsystem der pflanzlichen Produktion exakt verbindliche Aussagen zu treffen. Die Kenntnisse über eine standort- und fruchtartenspezifische Bodenbearbeitung zur Optimierung des Pflanzenwachstums und -ertrages

sind noch keineswegs ausreichend

Beim Getreidebau gewinnen die Bodenbearbeitung und die Bestellung zunehmend an Bedeutung, da sie im Verhältnis zum gesamten Arbeitsaufwand in den letzten Jahren erheblich zugenommen haben und derzeit über 50 % der gesamten Arbeitszeit in Anspruch nehmen. Damit wird dieser Teilbereich immer mehr zu einer Arbeitsspitze und ist durch sehr begrenzte Zeitspannen der Arbeitserledigung gekennzeichnet. Noch dazu hat sich das Anbauverhältnis in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten Jahrzehnten stark zugunsten des Getreidebaues verändert (Abb. 1).

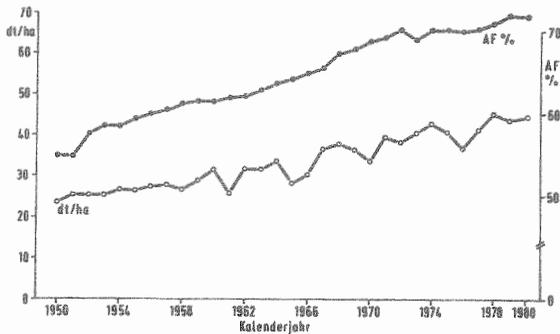


Abbildung 1: Anteil des Getreides und der Ackerfläche (%) und der durchschnittliche Getreideertrag (dt/ha) in der BRD

Derzeit werden rund 70 % des Ackerlandes mit Getreide bestellt (Abb. 1). Verschiedene Anzeichen deuten allerdings darauf hin, daß sich der Getreideanteil an der Bodennutzung einem Gleichgewichtszustand bereits nähert und sich darauf

einpendelt (11).

Ebenso spricht auch die Zunahme der Hektarerträge, verbunden mit den Fortschritten der Mechanisierung bei der Ernte und Aufbereitung, für die Ausweitung der Getreideanbaufläche (Abb. 1). Nach PLARRE (46) kann die Steigerung der Flächenerträge zu 25 % auf verbesserte Bodenbearbeitung und Bestelltechnik zurückgeführt werden. Eine Bodenbearbeitung zum ungünstigen Zeitpunkt oder eine Verzögerung der Aussaat ist in der Regel mit Mindererträgen verbunden. Mit steigenden Ernteerträgen (dt/ha) nehmen auch die Ertragsschwankungen zu, wie Abb. 1 zeigt. Die Bodenbearbeitung und Bestellung bildet die Grundlage der gesamten Produktionstechnik und der hohen Ertragserwartungen.

2. ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN

Es gibt wenige Bereiche der Agrartechnik, in denen so vielfältige, wenn auch nicht widersprüchliche, empirische Erfahrungen so wenig reproduzierbaren wissenschaftlichen Ergebnissen gegenüberstehen, wie auf dem Gebiet der Bodenbearbeitung. Es gibt im praktischen Ackerbau kaum eine ideale, optimale und exakt definierbare Bodenstruktur für die Kulturpflanzen. Die Gesamtheit der Wachstumsbedingungen unserer Kulturpflanzen stellen einen Summeneffekt aus einer großen Anzahl von Einflußfaktoren dar.

In neueren wissenschaftlichen Untersuchungen von KNITTEL (37), THEISSIG (63) und ZELTNER (65) sind Ansätze zur Klärung einiger Detailfragen dieser Problematik zu finden. Hierbei handelt es sich vorwiegend um die Einflußfaktoren auf

den Bodenzerkleinerungseffekt, deren Meßmethoden und deren pflanzenbaulichen Aspekte.

Ein Teilziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, die kausalen Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen einigen Einflußfaktoren und dem Bodenzerkleinerungseffekt zu untersuchen und die gefundenen Zusammenhänge bzw. Abhängigkeiten zu durchleuchten. Insbesondere interessiert die Frage, welche Auswirkungen die untersuchten Sekundärbodenbearbeitungsgeräte an verschiedenen Standorten, bei unterschiedlichem Bodenwassergehalt und unterschiedlichen Bearbeitungszeitpunkten, z.T. durch Veränderung der Werkzeug- und/oder der Vorfahrtgeschwindigkeit, über mehrere Versuchsjahre auf die Bodenzerkleinerung zeigen. Die Untersuchungen erfolgten schwerpunktmäßig an zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten, die sich in der Praxis eingebürgert haben.

In einem weiteren Teilbereich werden die Auswirkungen der Bodenzerkleinerung auf das Pflanzenwachstum bis zum Zeitpunkt des Feldaufgangs untersucht. Dabei soll geklärt werden, in welchem Maße sich die geprüften Einflußfaktoren auf den Feldaufgang auswirken.

Die Messung des Bearbeitungseffektes erfolgt sofort nach der Bodenbearbeitung mit Hilfe einer abgeänderten Methode von KUIPERS (42). Dabei wird untersucht, inwieweit die ermittelten Kenngrößen von DITTMANN (12) mit den bereits länger verwendeten Kenngrößen von KNITTEL (37), THEISSIG (63) und ZELTNER (65) korrelieren. Dadurch wird die Tauglichkeit und die Aussagefähigkeit dieses Meßverfahrens geprüft.

Der Einfluß der Nachlaufgeräte auf die Bodenzerkleinerung bzw. auf die Oberflächenausformung ist Aufgabe einer weiteren Untersuchung. Durch die Messung an zwei Geräten (Fräse,

Kreiselegge) soll die Aussagekraft des genannten Meßverfahrens festgestellt werden.

Die Erfassung der Bodenoberflächenveränderung durch die Witterungseinflüsse vom Beginn der ersten Vegetationsphase an bis hin zur völligen Bodenbedeckung ist ein weiterer Einsatzbereich der Reliefmessung. Damit soll eine andere Möglichkeit für den Anwendungsbereich dieser Meßmethode aufgezeigt werden.

Um die angeführten Wechselwirkungen an mehreren Standorten und bei verschiedenen Getreidearten untersuchen zu können, mußten mehrjährige Versuche in Zusammenarbeit mit dem Institut für Pflanzenbau der TU München-Weihenstephan durchgeführt werden. Während die Schwerpunkte dieser Arbeit auf der Sekundärbodenbearbeitung, der Aussaat und der ersten Wachstumsphase liegen, sollen die Ertragsmerkmale vom Institut für Pflanzenbau ausgewertet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird also versucht, bei den untersuchten zapfwellengetriebenen Sekundärbodenbearbeitungsgeräten durch Veränderung der Werkzeug- und/oder der Vorfahrtgeschwindigkeit einen unterschiedlichen Zerkleinerungseffekt bei den gegebenen Versuchsbedingungen zu erzeugen. Diesen Bearbeitungseffekt der Geräte mit den beschriebenen Methoden zu messen, zu korrelieren und die Auswirkungen der Bodenzerkleinerung (Aggregatgröße = GMD) auf das folgende Pflanzenwachstum (der Pflanzenaufgang bietet sich als erste meßbare Größe an) zu analysieren.

Die umfangreichen und komplexen Untersuchungen verlangen eine Schwerpunktsetzung hinsichtlich der wichtigsten erfaß- und meßbaren Kenngrößen der Bodenzerkleinerung. Dies bezieht sich vor allem auf die Bodenfeuchte, die Werkzeug- und

die Vorfahrtgeschwindigkeit, den Standort, die Grundbodenbearbeitung, den Bearbeitungszeitpunkt, die Meßmethode, den Feldaufgang, den Leistungsbedarf und die Flächenleistung.

3. LITERATURÜBERSICHT

Über die genannten Parameter liegen in der Literatur zahlreiche Versuche vor. Jedoch wird den einzelnen Einflußgrößen unterschiedliche Bedeutung beigemessen. Dies liegt im wesentlichen daran, daß der gesamte Problembereich sehr komplex ist und häufig die Ergebnisse nicht über einen bestimmten Anwendungsfall hinaus verallgemeinert werden können.

3.1 Bodenzerkleinerung

Um den bestmöglichen Bearbeitungszustand zu erreichen, sollte durch einen gezielten Einsatz der Bodenbearbeitungsgeräte bei optimalen Bodenfeuchteverhältnissen die angestrebte Zerkleinerung des Bodens bewirkt werden. Die Werte des optimalen Feuchtegehaltes bei verschiedenen Böden sind in der Literatur nicht einheitlich festgelegt. Es wird stets nur ein bestimmter Feuchtebereich angegeben (37, 59, 65). So gibt SÖHNE 1954 (59) einen mittleren Feuchtigkeitsbereich bei lehmigen Sandböden zwischen 8 - 18, bei mildem Lehmböden zwischen 10 - 25, bei schwerem Lehmböden zwischen 13 - 20 und bei tonigen Böden, den sogenannten Stundenböden, zwischen 16 - 20 Gewichtsprozent Feuchtigkeit an. Andere Untersuchungen weisen auf die Feldkapazität (55) und die Bodeneigenschaften wie Ton-, Sand- und Humusgehalt (3, 49) als Anhaltspunkte für die Bearbeitbarkeit hin.

Während SÖHNE 1954 (59) mehr den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens für den Zerkleinerungseffekt verantwortlich macht, so ist nach KALK 1977 (35) mehr die Dichte des Bodens dafür ausschlaggebend, während die Bodenfeuchte bei konstanter Dichte des Bodens nur einen geringen Einfluß auf die Bodenzerkleinerung ausübt.

Dominierend ist der Einfluß der Prall- bzw. der Werkzeuggeschwindigkeit. Bei den angeführten Untersuchungen trat unterhalb einer Prallgeschwindigkeit von 1,3 m/s noch keine Ribbildung bei den Bodenteilchen ein. Sie tritt erst im Bereich von 1,3 m/s - 3,6 m/s auf. Der Übergangsbereich der Ribbildung auf die Zerkleinerung besteht bei einer Prallgeschwindigkeit von 3,6 m/s - 4,1 m/s. Oberhalb dieses Bereiches nimmt in Abhängigkeit von der Prallgeschwindigkeit der Zerkleinerungseffekt linear zu, während der Zerkleinerungserfolg, d.h. die Ausnutzung der Energie abnimmt. Zugleich betont KALK (35) die Nutzung der zugeführten Energie durch eine sinnvolle Rotorabdeckung einer Bodenfräse.

Den Einfluß der Werkzeuggeschwindigkeit auf die Bodenzerkleinerung betonen auch GALLWITZ (19, 20), BREITFUSS 1953 (19) und BÖTTCHER 1957 (?). Sie stellten fest, daß mit steigender Umfangsgeschwindigkeit generell eine starke Bodenzerkleinerung erreicht wird, was jedoch gleichzeitig einer zunehmenden Leistung bedarf. Auch ZELTNER 1975 (65) unterstreicht diese Feststellung, daß mit einer Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitselemente (v_U) und damit verbundenen Verkleinerung der Bissenlänge (l_B) bei konstanter Vorfahrtgeschwindigkeit (v), d.h. mit steigendem Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit zur Vorfahrtgeschwindigkeit (u/v), beide Kriterien ansteigen.

GALLWITZ 1957 (20) stellt dabei eine besondere Eigenart der Böden fest, nämlich, daß jeder Boden die Neigung hat, in eine bestimmte, ihm eigene Krümelgröße bevorzugt zu zerfallen. Somit wurde die Hypothese von der "spezifischen Krümelgröße" bestätigt. Eine weitere Zerkleinerung des Bodens ist mit einem höheren Aufwand verbunden und somit einem progressiven Anstieg der Leistungsbedarfskurve.

Die Arbeitstiefe zeigt bei gleicher Werkzeuggeschwindigkeit wenig Einfluß auf die Krümelgröße, wie BÖTTCHER (7), GALLWITZ und BREITFUSS (19) feststellten. Demnach ist mit zunehmender Arbeitstiefe eine Abnahme der größeren Bodenaggregatfraktionen (> 40 mm, 20 - 40 mm) zugunsten der kleineren Fraktionen (2,5 - 5 mm, 5 - 10 mm) verbunden. Die "mittlere Fraktion" (10 - 20 mm) bleibt bei allen Versuchen nahezu konstant. Auf das Ausmaß der Bodenzerkleinerung in Abhängigkeit von der Bodenart (19, 32, 35, 37, 55, 58, 59, 63), des Standortes (32, 37, 63, 65), der Grundbodenbearbeitung (37) und des Bearbeitungsstermines (37, 65) wird in der Literatur vielfach hingewiesen.

Wie aus der Literatur ersichtlich ist, wird also die Bodenzerkleinerung durch viele Faktoren beeinflusst. Gesetzmäßigkeiten sind zwar deutlich vorhanden, sie lassen sich jedoch nicht immer exakt definieren und abgrenzen. Deshalb gibt es auf dem Sektor der Bodenbearbeitung kaum eine ideale oder optimale, exakt definierbare Größe, sondern immer einen mehr oder weniger breiten Bereich, in dem die Vorgänge und Wechselwirkungen ablaufen. Ebenso sind kaum exakte Angaben über optimale Krümelgrößen und zweckmäßige Bodenzerkleinerung in Verbindung mit der Einstellung der zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte vorhanden.

Primär besteht die Notwendigkeit, den Bearbeitungseffekt genau und objektiv zu messen. Hierzu wird u.a. vielfach die Methode der Reliefmessung vorgeschlagen.

3.2 Reliefmessungen

Das Reliefmeßgerät ist zur Messung der Rauheit der Ackeroberfläche und zur Messung der Aufschüttung bei der Pflugarbeit entwickelt worden (41, 43). Nach KUIPERS 1957 (41) konnte mit dieser Meßvorrichtung die Oberflächenrauheit des Ackers zahlenmäßig durch die Ermittlung einer "Rauheit" (R) erfaßt werden.

Auch amerikanische Wissenschaftler beschäftigen sich mit den Rauheitsmessungen der Ackeroberfläche. CURRENCE, LOVELY und SCHAFER 1967 (57), 1970 (8), 1971 (9) stellten recht aufwendige Meßvorrichtungen und Berechnungsmöglichkeiten vor. Das Abtasten der Bodenoberfläche erfolgt dabei automatisch mit einem Stab, der durch einen Elektromotor nach einem vorgegebenen System zu vielen Punkten der Bodenoberfläche bewegt und dort abgesenkt wird. Das Abtasten der Oberfläche geschieht nach einem bestimmten Raster und die Registrierung der Meßwerte erfolgt dabei automatisch.

Mit einem methodisch anderen Verfahren als die vorgenannten Autoren befaßten sich RID 1964 (54) und SÜSS 1960 (53). Die Ergebnisse der Messungen der Oberflächenrauheit des Ackerbodens wurden durch graphische Darstellung festgehalten. Ihre Beurteilung bestand vor allem darin, daß die Bearbeitungsgeräte eine möglichst ebene Ackeroberfläche hinterlassen sollten. Auf eine rechnerische Auswertung und Kennzeichnung durch eine Maßzahl wurde verzichtet.

THEISSIG 1975 (63) benutzte für die Messung der Oberflächenrauheit ein Profilmeßgerät, das dem Furchenprofilmeßschreiber ähnlich ist und nach dem Prinzip von KUIPERS (41) arbeitet. Er stellte zum erstenmal Beziehungen zwischen den Kenngrößen der Oberflächenrauheit und der Aggregatgrößenverteilung auf.

In diesem Bereich arbeitete DITTMANN 1976 (12) weiter und konnte gute Zusammenhänge zwischen der Oberflächenrauheit und dem Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) der Aggregate feststellen. Die durchgeführten Laborversuche ergaben annähernd lineare Zusammenhänge mit der ausgewählten Aggregatengröße (GMD), wenn mit engen Stababständen gearbeitet wurde. Auch die Feldversuche zeigten hohe Korrelationen, jedoch waren die Zusammenhänge je nach Bodenbearbeitungsgerät, Standort und Boden verschieden.

Faßt man die Erkenntnisse aller beschriebenen Untersuchungen über die Rauheitsmessungen zusammen, so läßt sich zum Einen feststellen, daß die Oberflächenrauheitsmessungen eine Aussage über die Einebnung des Bearbeitungshorizontes und die Bearbeitungswirkung von Oberflächen-Nachbearbeitungsgeräten erlauben, und zum Anderen einen gewissen Zusammenhang mit der Aggregatgrößenverteilung wiedergeben. Jedoch sind die bis jetzt vorliegenden Kenntnisse für eine genaue Geräteeinstellung noch unbefriedigend.

3.3 Feldaufgang

Bei allen bisher durchgeführten und publizierten Untersuchungen ist eine enge Beziehung zwischen dem Zerkleinerungsgrad des Bodens und dem Pflanzenaufgang zu finden (15, 32, 40, 54, 65). Auf die Bedeutung der Aggregatgrößenverteilung im Boden weisen mehrere Autoren hin. So untersuchte BORNEMANN 1922 (6) den Einfluß der Aggregatgrößen mit einem Durchmesser von 0,5 - 7,0 mm auf die Entwicklung von Weizen. Er fand übereinstimmend mit GRABLE und SIEMER (21), KAIN und AGRAWAL (34) heraus, daß bei einem Aggregatdurchmesser von 1 - 3 mm die Pflanzen in Gefäßversuchen die günstigsten Wachstumsbedingungen vorfinden.

HEEGE 1974 (27) stellte Zusammenhänge zwischen dem Prozentanteil der Bodenaggregate unter 5 mm Durchmesser am Bodengewicht der Absiebprobe und dem Feldaufgang fest. Die Abhängigkeit des Feldaufganges von der Zerkleinerung des Bodens unterstreichen auch THEISSIG (63), ZELTNER (65), HEEGE (30), KAHNT, BAUSCH, KÖLLER (32), KRAUSE (40) und ESTLER (15). Nach ESTLER (15) liegt das Optimum des Feldaufganges bei einem Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate im Bereich von 10 - 20 mm. Nach PREUSCHEN (47) sollte ein Saatbett für Getreidekulturen aus Bodenaggregaten von 0,5 - 4,0-facher Größe des Samenkornes bestehen. HADAS und RUSSO (22) kommen in ariden Gebieten zu einem Aggregatdurchmesser von 0,25 - 2,0 mm. Die Gefäßversuche von KAHNT (33) lassen erkennen, daß Wechselwirkungen von Saattiefe, Aggregatgröße, Bodenfeuchte und -temperatur, sowie deren Auswirkungen auf den Pflanzenaufgang bestehen. Die gefundenen Gesetzmäßigkeiten wurden anschließend unter praktischen Feldbedingungen geprüft. Die daraus resultierenden Ergebnisse bestätigen die Aussage der Gefäßversuche, nämlich, daß die Aggregatgrößen von 1 - 3 mm Durchmesser in Saatgutnähe den besten Pflanzenaufgang ergeben.

CZERATZKI (10) untersuchte die Beziehungen zwischen dem Porenvolumen bzw. der Porengrößenverteilung und der Entwicklung von Getreide und Zuckerrüben, während KUNZE, KAISER und STRANAK (44) den Einfluß der Lagerungsdichte des Bodens auf den Pflanzenaufgang ermittelten. Standort- und fruchtartenspezifische Saatbettparameter auf verschiedene Böden und für verschiedene Fruchtarten schlug KUNZE (45) vor. Dabei gehen als Kennziffern die Saatbettdichte (g/cm^3), das Gesamtporenvolumen (v.H.), die Aggregatgrößenverteilung im Saatbett (v.H. der Fraktionen: < 10, 10 - 40, 40 - 60 mm) und der Flächenanteil obenaufliegender Bodenaggregate (v.H.) derselbigen Fraktionen in die Berechnungen ein.

In der Regel dient, nach KAHNT 1977 (33), die Saattiefe als Mittel für die Optimierung der Keimfaktoren. So bedeutet eine zunehmende Saattiefe eine Verbesserung der Keimwasserversorgung, aber eine Verschlechterung der Licht- und Temperaturverhältnisse.

Den Einfluß der Saattiefe auf den Pflanzenbestand und Ertrag untersuchte KORSMO (39) bei Sommerweizen, Gerste und Hafer. An den fünf Versuchsstandorten lieferte der Saattiefenbereich von 2,5 - 5,0 cm im Durchschnitt die höchste Zahl an geernteten Pflanzen und auch den höchsten Körnerertrag. Die Keim- und Aufwuchsbedingungen bei unterschiedlicher Tiefenablage wurde auch von HAKANSSON und v. POLGAR (23) und von HANSEN (24) untersucht.

HEEGE (26, 28) verglich in seinen Untersuchungen die Ablagegenauigkeit der verschiedenen Drillschartypen und die Ablagegenauigkeit bei starren Säleutungen im Erdstrom von Bodenbearbeitungsgeräten. Er stellte fest, daß sich mit zunehmender mittlerer Saattiefe (\bar{x}) eine Zunahme der Streuung (s) in der Saattiefenablage einstellt. Je größer jedoch die Streuung (s) um die mittlere Saattiefe (\bar{x}) ist, desto geringer ist auch der Feldaufgang und um so ungleichmäßiger entwickeln sich die jungen Getreidepflanzen. ZELTNER (65) stellte diese Zusammenhänge ebenfalls in seinen Untersuchungen fest.

Die Ergebnisse und Angaben über den Einfluß der Aggregatgröße auf den Feldaufgang variieren in der Literatur sehr stark. Dies liegt in erster Linie an der jeweiligen Konstellation der Umwelt- und Einflußfaktoren. In der praktischen Bodenbearbeitung ist deshalb ein Kompromiß zu schließen, um einen möglichst hohen Feldaufgang zu erreichen. Zwischen Gefäß- und Feldversuchen bestehen wesentliche Unterschiede, wie es von den angeführten Autoren gezeigt wird.

4. VERSUCHSBESCHREIBUNG

4.1 Definition der wichtigsten Einflußgrößen

Die vollendete Bodenbearbeitung besteht in der Harmonie des Dreiklangs B o d e n - P f l a n z e - G e r ä t (52). Erst die genauen Kenntnisse über die eingesetzten Geräte mit dem Wissen um die Effizienz auf Boden und Pflanze ergeben die Voraussetzungen für eine optimale Bodenbearbeitung. Jeder der drei Faktoren wirkt auf eine ihm eigene Art und Weise auf die anderen ein. Dadurch kommt es zu sehr komplexen Wechselwirkungen, die nur schwer zu durchdringen sind. Die einzelnen Einflüsse können durch die jeweiligen Bedingungen recht verschieden sein.

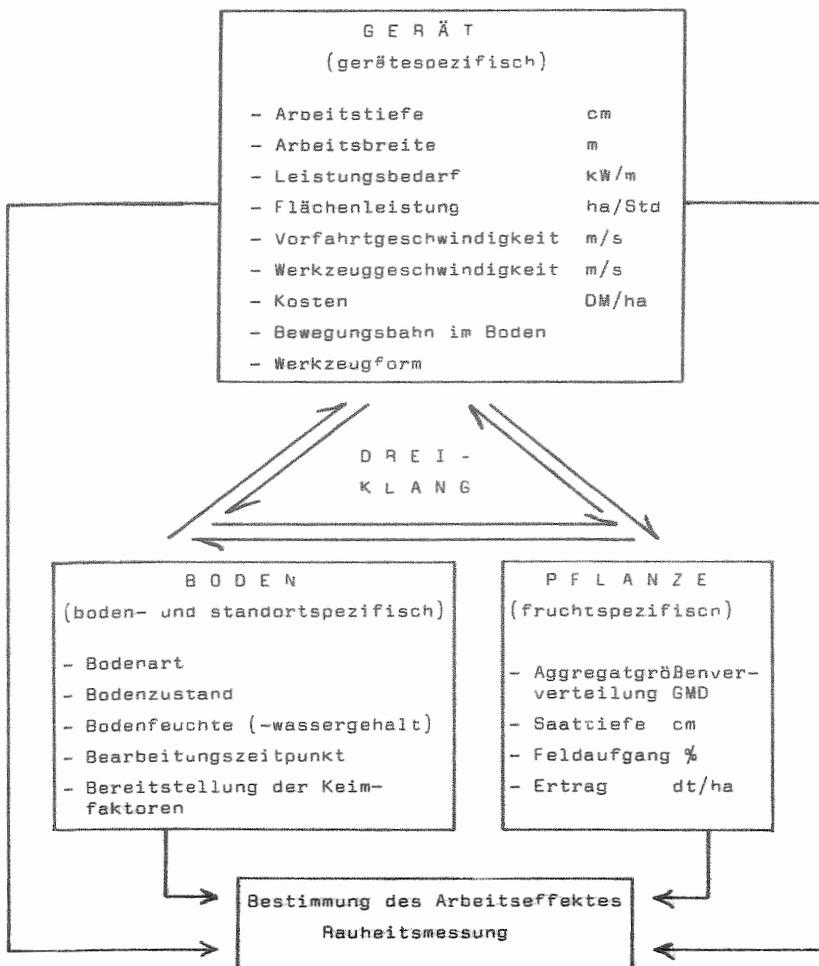
Der Bearbeitungserfolg von Bodenbearbeitungsgeräten wird durch eine Anzahl von Parametern beeinflusst. So sind es im wesentlichen

- die Bodenfeuchte, die durch die Kohäsions- und Adhäsionskräfte bei Änderung des Bodenwassergehaltes zur Geltung kommt
- die Vorfahrt- und Werkzeuggeschwindigkeit
- die Werkzeugform und ihre Bewegungsbahn im Boden
- der Standort und Bodenart
- der Bodenzustand, der Bearbeitungszeitpunkt und die vorhergehende Bearbeitung.

Somit ist der Zerkleinerungseffekt im wesentlichen von dem Gerät und dem zu bearbeitenden Boden abhängig. Das Ausmaß der Zerkleinerung hat Auswirkungen auf den Leistungsbedarf (kW), auf die Flächenleistung (ha/Std) und auf das Pflanzenwachstum.

Die Wechselwirkungen zwischen Boden - Pflanze - Gerät lassen sich in einer Übersicht wie folgt darstellen:

Dreiklang: Boden - Pflanze - Gerät



4.2 Versuchsstandorte

Um die Versuche mit verschiedenen Bodenarten durchführen zu können, mußten sehr unterschiedliche Standorte gewählt werden. Daher wurden die Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Betrieben (Zolling, Hagenau, Tüntenhausen), Versuchsbetrieben der TU München-Weihenstephan (Dürnast, Roggenstein) und auf Versuchsfeldern des Instituts für Pflanzenbau und -züchtung (Vötting) durchgeführt. Die genannten Versuchsstandorte liegen auf unterschiedlichem geologischen Ausgangsgestein und haben verschiedene Bodentypen, die im südbayerischen Raum dominieren (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bodentyp, Bodenart und Bodenzahl der Versuchsstandorte

Standort	NN	Bodenart	Bodentyp	Bodenzahl
Dürnast	480 m	tL	Pseudogley-Ackerbraunerde	55/61
Roggenstein	530 m	sL	Aueboden (Braunerde)	51/54
Vötting	460 m	suL	Ackerbraunerde	54/60
Zolling	480 m	lS	Pseudogley-Ackerbraunerde	63/67
Tüntenhausen	470 m	lS	Ackerbraunerde	60/65
Hagenau	450 m	sL	Ackerbraunerde	65/67

Während das Lehr- und Versuchsgut Roggenstein der TU München-Weihenstephan auf dem geologischen Ausgangsgestein der Würmmoräne liegt, gehören das Versuchsgut Dürnast und die umliegenden Versuchsstandorte dem Ausgangsgestein nach zur oberen Süßwassermolasse. Allgemein zählen die Böden zu den Schluff- und Lehm Böden und liegen in ihren Eigenschaften zwischen den durchlässigen, nährstoffarmen Sandböden und den meist an schlechter Durchlüftung leidenden, aber nährstoffreichen

Tonböden. Die Bodenzahl liegt bei 51 - 67 und weist somit auf eine durchschnittliche bis gute Ertragsfähigkeit der Böden hin.

Tabelle 2: Textur und organische Substanz der Ap-Horizonte

Standort	Ton	Schluff	f. Sand	Sand	org.
	% < 2 µ	% 2 - 20 µ	% 20 - 200 µ	% > 200 µ	Subst. %
Dürnast	17	36	43	4	2,18
Hoggenstein	24	21	36	19	2,13
Vötting	15	60	15	25	1,95
Zolling	10	34	49	7	2,23
Tüntenhäusen	12	34	47	7	2,14
Hagenau	13	23	48	16	2,58

Die Korngrößenzusammensetzung (Textur), speziell der Ton-, Schluff- und Sandanteil, und der Anteil der organischen Substanz geben über die Bearbeitbarkeit des Bodens wichtige Hinweise (Tab. 2). Mit dem Begriff der Bodenart ist bereits die Beurteilung über Bearbeitbarkeit verbunden, denn die Einteilung der Böden nach ihrer Körnung erfolgt auf Grund der unterschiedlichen Eigenschaften, die die einzelnen Kornfraktionen dem Boden verleihen. Ausgehend von den Korngrößenteilen eines Bodens unterscheidet man Sand-, Lehm- und Tonböden. So kann man die untersuchten Standorte etwa als mittelleichte bis mittelschwere Böden einreihen.

4.3 Beschreibung der Geräte

Die zunehmende Schleppermotorleistung, verbunden mit einem abnehmenden Leistungsgewicht, bedingt bei den gezogenen Bodenbearbeitungsgeräten einen schlechteren Wirkungsgrad der Leistungsübertragung durch die Triebräder. Außerdem steigt der Zugkraftbedarf mit Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit überproportional an. Durch die direkte Leistungsübertragung bei den zapfwellenangetriebenen Geräten lassen sich diese Nachteile vermindern.

Die Art der Bodenzerkleinerung der zapfwellenangetriebenen Geräte unterscheidet sich von derjenigen der gezogenen Geräte, als sich bei den gezogenen Zinkengeräten die Scher- und Bruchflächen für die Zerkleinerung der Krümel bilden, wo die geringste Festigkeit besteht. Sie zerteilen deshalb vornehmlich unstabilere Bodenaggregate. Der Arbeitseffekt dieser Geräte ist nur in gewissen Grenzen steuerbar. Die zapfwellenangetriebenen Geräte hingegen zertrümmern den Boden in erster Linie entlang den Bewegungsbahnen der Arbeitswerkzeuge, wobei dann sowohl die stabilen als auch die unstabilen Aggregate zerkleinert werden. Die Zertrümmerung der stabilen Aggregate nimmt mit steigender Werkzeug- und Vorfahrtgeschwindigkeit zu. Durch die Veränderung der Werkzeug- und Vorfahrtgeschwindigkeit kann auch unter schwierigen und wechselnden Bodenverhältnissen, meist in einem Arbeitsgang, ein optimales Saatbett geschaffen werden.

Die Unterschiede bei den untersuchten Geräten bestehen in der Werkzeuganordnung, der Werkzeugform und im Bewegungsablauf der Arbeitswerkzeuge im Boden (Abb. 3, 5). So unterscheiden sie sich in horizontal bzw. vertikal rotierende und oszillierende Geräte. Der Bewegungsablauf der Werkzeuge wird durch die Umfangsgeschwindigkeit (v_u) und durch die Vorfahrt-

geschwindigkeit (v) des Schleppers bestimmt. Je nach Variation der beiden Faktoren ändert sich auch die Bearbeitungsintensität der Werkzeuge.

Die Bewegungsbahnen der untersuchten zapfwellengetriebenen Geräte wurden von einigen Autoren bereits dargestellt. Für die Fräse von SÖHNE (60), ZELTNER (65), HENDRICK und GILL (31), für die Kreisel- und Rüttelegge von ZELTNER (65).

Die Bewegungsbahnen der Arbeitswerkzeuge der Rotoregge gleichen der der Fräse. Sie sind geradlinig und mit dem Strichabstand von gezogenen Geräten vergleichbar.

Im folgenden werden die wesentlichsten technischen Daten und wichtigsten Merkmale der eingesetzten Geräte beschrieben. Die einzelnen Bearbeitungsvarianten der untersuchten Geräte wurden bei den Untersuchungen mit Codenummern versehen, um die Auswertungen, Darstellungen, Tabellen und Beschreibungen zu vereinfachen.

4.3.1 Fräse

Für die Versuche stand ein Säemavator Typ T 100 von der Firma Howard Rotavator zur Verfügung (Abb. 2). Es handelt sich hierbei um eine Bodenfräse mit Gleichlaufdrehrichtung, d.h. der Fräsrотор dreht sich gleichsinnig mit den Schlepperrädern; die Arbeitsbreite betrug 2,60 m, das Gerät besaß einen Seitenantrieb. Die Rotorwelle besitzt 11 Werkzeugkränze mit je 6 Winkelmessern, ausgenommen die beiden Endflanschen mit je 3 Winkelmessern. Die Anordnung der Winkelmesser an der Fräswelle ist spiralförmig. Die Drehzahl der Fräswelle ist über ein Wechselgetriebe zu variieren. Für die Untersuchungen wurden folgende Rotordrehzahlen ausgewählt (Tab. 3).

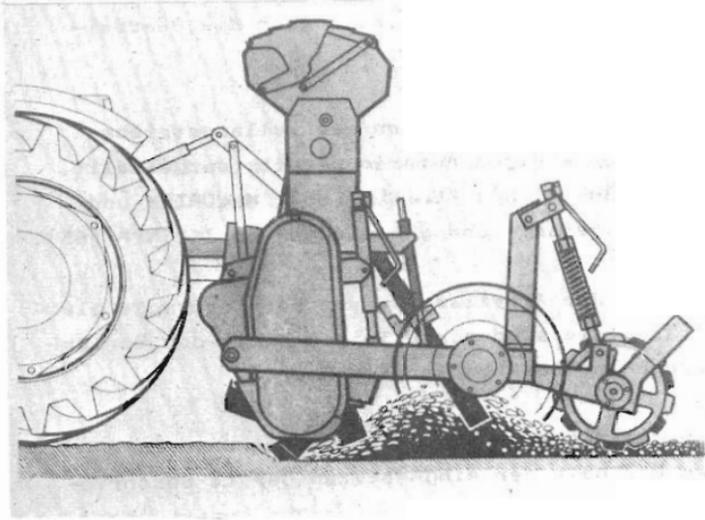


Abbildung 2: Sämaschine (Seitenansicht)

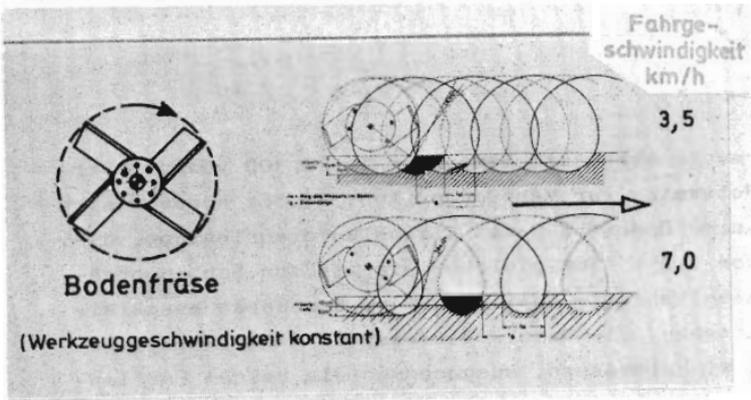


Abbildung 3: Bewegungsablauf der Fräsmesser im Boden
(nach ZELTNER)

Tabelle 3: Übersetzungsverhältnisse, Drehzahlen (1/min), Umfangsgeschwindigkeiten (m/s) und Codenummer bei den Versuchsjahren

Übersetzung links/ rechts	Zapfwel- lennorm- drehzahl	Drehzahl der Fräs- welle 1/min	Umfangsgeschwindigkeit der Arbeits- werkzeuge (m/s)	Codenummer	
				1975	1976
27 / 15	540	52	1,42		
	1000	95	2,59	352	351
23 / 18	540	75	2,04	351	
	1000	140	3,81	353	352
21 / 20	540	95	2,59		
	1000	170	4,63		
20 / 21	540	100	2,72		
	1000	185	5,03	354	353
18 / 23	540	125	3,40		
	1000	225	6,11	355	354
15 / 27	540	175	4,76		
	1000	315	8,58	356	355

4.3.2 Kreiselegge

Bei den Untersuchungen wurde die Kreiselegge Typ 300 mit einer Arbeitsbreite von 3,00 m der Firma Lely verwendet (Abb. 4). Sie hat als Arbeitswerkzeuge 12 horizontal rotierende Elemente mit je zwei Zinken, die in Drehrichtung etwas schleppend stehen. Diese Elemente rotieren zu zweien in gegenläufiger Richtung, der Rotordurchmesser beträgt 26 cm. Der Antrieb erfolgt von der Zapfwelle über ein Wech-

selgetriebe in abgestufter Drehzahl. Bei einer Zapfwel-
 drehzahl von 540 1/min bzw. 1000 1/min ergeben sich bei
 den vorhandenen Wechselzahnradern folgende Drehzahlen
 (Tab. 4).

Tabelle 4: Übersetzungsverhältnisse, Drehzahlen (1/min),
 Umfangsgeschwindigkeiten (m/s) und Codenummer
 bei den Versuchsjahren

Übersetzung oben/unten	Zapfwel- lennorm- drehzahl	Drehzahl der Elemente 1/min	Umfangsge- schwindig- keit der Arbeits- werkzeuge (m/s)	Codenummer	
				1975	1976
12 / 23	540	131	1,78	331	331
	1000	242	3,29		332
15 / 20	540	186	2,53	332	333
	1000	345	4,70		334
17 / 18	540	237	3,23	333	
	1000	440	5,99		335
18 / 17	540	265	3,61	334	
20 / 15	540	333	4,53	335	
23 / 12	540	480	6,53	336	

Allein durch die Umschaltung der Zapfwellennormdrehzahl
 erreicht man eine Veränderung der Rotordrehzahl, was ein
 Umstecken der Wechselräder erspart und unter Umständen in
 Verbindung mit der Vorfahrtgeschwindigkeit eine gute An-
 passung an die jeweiligen Bodenverhältnisse ermöglicht.

Die Regelung der Arbeitstiefe erfolgt über die nachlaufende
 großdimensionierte Stützwalze, die nebenbei noch die Funk-

tion einer weiteren Rückverfestigung und gegebenenfalls die Zerkleinerung des gelockerten Bodenhorizontes übernimmt. Die Seitenbegrenzungen verhindern das Ausweichen größerer Bodenaggregate und die Bildung von seitlichen Erdwällen.

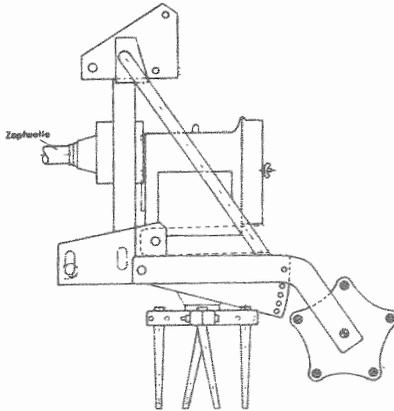


Abbildung 4: Kreiselegge (Seitenansicht)

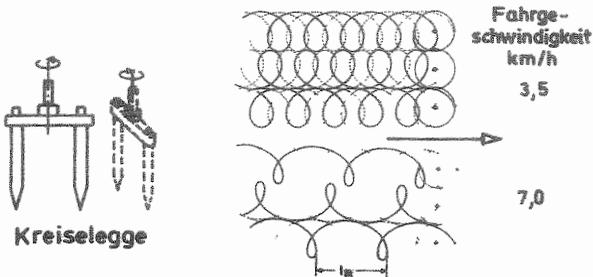


Abbildung 5: Bewegungsablauf der Kreiseleggenzinken im Boden (nach ZELTNER)

4.3.3 Rüttelegge

Die bei den Versuchen eingesetzte Rüttelegge der Firma Amazonas-Werke, H. Dreyer, Typ RE 25 mit einer Arbeitsbreite von 2,50 m, arbeitet mit zwei oszillierenden, parallel hintereinander angeordneten Zinkenbalken (Abb. 6). Der vordere Balken hat 16, der hintere 15 eingeschraubte, 22 cm lange Dreikantzinken. Die Zinkenbreite beträgt 3 cm, der Zinkenhub ± 60 mm und die durchschnittliche Eigengeschwindigkeit der Zinken 1,08 m/s. Das entspricht einer Rüttelfrequenz von $\nu = 9 \text{ s}^{-1}$. Durch die oszillierende Bewegung der Zinkenbalken bedingt, treten Drehmomentspitzen auf, welche durch eine schwere Schwungscheibe und Elastikkupplung gedämpft werden.

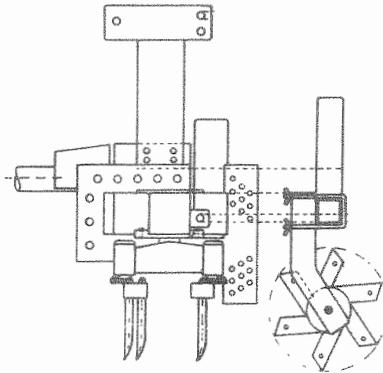


Abbildung 6: Rüttelegge (Seitenansicht)

Die Arbeitsweise der beiden Zinkenbalken haben einen sehr guten Einebnungs-, bzw. Planiereffekt. Die Packerwalze sorgt für eine exakte Tiefenführung und für eine Rückverfestigung des oftmals zu lockeren Saatbettes. Die Bearbeitungsintensität hängt von der gewählten Fahrgeschwindigkeit (Tab. 5) und der Frequenz der Zinkenbalken ab. Eine Drehzahlveränderung durch ein Schalt- oder Wechselgetriebe ist nicht möglich.

Tabelle 5: Benutzte Vorfahrtgeschwindigkeiten (m/s) und Codenummern bei der Rüttelegge

Codenummer Versuchsjahr 1975	Vorfahrtgeschwindigkeit m/s
321	0,6
322	0,8
323	1,2
324	1,5
325	1,8
326	2,2

4.3.4 Rotoregge

Die Rotoregge ist eine Abwandlung der herkömmlichen Bodenfräse. Bei den Untersuchungen wurde ein Zinkenrotavator der Firma Howard Rotavator eingesetzt (Abb. 7), der im Grundaufbau mit der Fräse EMU 90 identisch ist. Bei den neueren Geräten kann ein Wechsel der Rotorwelle durchgeführt werden, um so den Zinkenrotor und den Fräsrotor am gleichen Grundgerät einsetzen zu können.

Auf der Rotorwelle sind die 22,0 cm langen und 2,0 cm dicken Zinken spiralförmig angeordnet. Der Gesamtdurchmesser des Rotors beträgt 58,0 cm und die Arbeitsbreite 2,30 m. Bei einer Anzahl von 40 Zinken entspricht dies einem Strichabstand von 5,4 cm.

Die Rotordrehzahl kann durch ein Wechselgetriebe und die wahlweise Benutzung der 540-er oder 1000-er Zapfwelle den jeweiligen Bodenverhältnissen angepaßt werden. Mit den vorhandenen Wechselrädern ergeben sich folgende Rotordrehzahlen (Tab. 6).

Tabelle 6: Übersetzungsverhältnisse, Drehzahlen (1/min), Umfangsgeschwindigkeit (m/s) und Codenummer bei den Versuchsjahren

Übersetzung links/ rechts	Zapfwel- len Normdreh- zahl	Drehzahl der Ro- torwelle 1/min	Umfangsge- schwindig- keit der Arbeits- werkzeuge (m/s)	Codenummer	
				1975	1976
22 / 13	540	95	2,88	361	
	1000	175	5,31	363	363
21 / 14	540	110	3,34	362	361
	1000	200	6,16	364	362
14 / 21	540	246	7,44	365	365
13 / 22	540	275	8,35	366	364

Im Gegensatz zur Fräse wird beim Zinkenrotor das zu bearbeitende Bodenvolumen nicht Bissen für Bissen herausgeschnitten, sondern die Bodenzerkleinerung erfolgt durch

die Wucht des Aufpralls, wie bei den anderen Zinkengeräten. Der Bewegungsablauf der Zinken ist jedoch der gleiche wie bei der Fräse, deren Werkzeugkränze mit zwei Messern je Schnittebene besetzt sind. Die Zykloide zieht sich auch hier mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit auseinander.

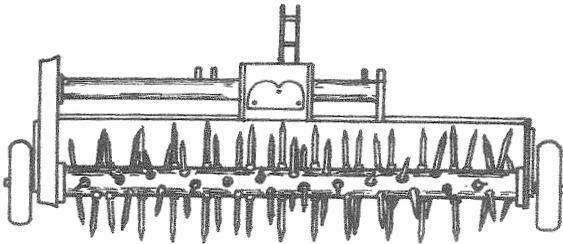


Abbildung 7: Rotoregge (schematisch)

Durch den vertikalen Werkzeugablauf im Boden ist ein schlechter Einebnungseffekt gegeben. Die Möglichkeit, den Messerrotor gegen einen Zinkenrotor auszutauschen, ist kennzeichnend für die Wertschätzung der Zinkenarbeit anstelle eines Schneidvorganges, besonders für die Frühjahrsbestellung.

4.4 Versuchsanstellung und -pläne

Um die Einflüsse der zu untersuchenden Parameter auf die Bodenzerkleinerung und das Pflanzenwachstum beurteilen zu können, wurden folgende Versuche durchgeführt:

4.4.1 Mehrfaktorieller Langzeitversuch

Es handelt sich dabei um den langfristigen Standardversuch, wie er in Roggenstein seit Herbst 1971 und in Dörnast seit Herbst 1972 gelaufen ist. Die Grundbodenbearbeitung wurde mit dem Schar-, bzw. Kreiselpflug durchgeführt. Ein Teil der Versuchsfläche wurde nicht gepflügt, sondern nur mit der Fräse 6 cm flach bearbeitet und zugleich bestellt. Auf den gepflügten Parzellen wurden vier Geräte der Minimalbestelltechnik (Kreiselegge, Rüttelegge, Fräse, Feingrubber) und die konventionelle Bestelltechnik (Gerätekombination) eingesetzt. Bei der Minimalbestellung hatten alle Geräte eine angebaute Sämaschine, so daß in einem Arbeitsgang die Saatbettbereitung und Aussaat erfolgen konnte. Bei der konventionellen Bestellung waren mehrere Arbeitsgänge (Saatbettbereitung in zwei Arbeitsgängen mit einer Gerätekombination von Egge und Krümler und Aussaat mit der Drillmaschine) notwendig.

Bei dieser Versuchsanstellung soll in der vorliegenden Arbeit vor allem der Einfluß des Standortes, der Bodenart, der Jahre und der Grundbodenbearbeitung in Abhängigkeit von den eingesetzten zapfwellengetriebenen Geräten auf die Bodenzerkleinerung untersucht werden. Eine genaue Beschreibung dieser Versuche ist bei KNITTEL (37) und ZELTNER (65) zu finden.

4.4.2 Einfluß der Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Werkzeuggeschwindigkeit auf die Bodenzerkleinerung

Für diese Untersuchungen wurden vier zapfwellenangetriebene Geräte ausgewählt: Fräse, Kreiselegge, Rotoregge und Rüttelegge. Die Grundbodenbearbeitung zur Lockerung der Krume erfolgte nach der Getreideernte, als Sommerfurche mit dem Scharpflug. Der Versuchszeitraum wurde zwischen Mitte August und Ende September gelegt, um so bei unterschiedlicher Bodenfeuchtigkeit den Bearbeitungseffekt untersuchen zu können. Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1975 und 1976 durchgeführt. Die Versuchserfahrungen vom Jahre 1975 wurden im folgenden Versuchsjahr 1976 genutzt und eingebaut. Deshalb sind die Versuchsjahre 1975 und 1976 nicht identisch. Die Versuchsdurchführung in den beiden Versuchsjahren erfolgte nach folgendem Plan:

Standort: Zolling

Bodenart: IS

Versuchsjahr	1975	1976
Untersuchte Bodenbearbeitungsgeräte	Fräse, Kreiselegge, Rotoregge, Rüttelegge	Fräse, Kreiselegge, Rotoregge
Anzahl der Werkzeuggeschwindigkeitsvarianten pro Gerät	6	5
Anzahl der Bodenwassergehaltsvarianten	5	6

Die Aufteilung der Versuchsfläche ergab folgendes Bild:

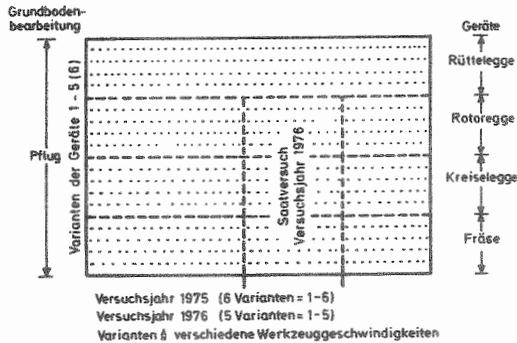


Abbildung 8: Versuchsplan Zolling

Folgende Parameter gingen bei der Versuchsauswertung mit in die Untersuchungen ein:

- die Bodenfeuchte (%)
- die Vorfahrtgeschwindigkeit, bzw. die Werkzeuggeschwindigkeit (m/s)
- der Leistungsbedarf (kW)
- die Arbeitstiefe (cm)
- die Aggregatgröße (mm)
- die Rauheitsmessungen (mm)

4.4.3 Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) und der Bissenlänge (l_B) auf die Bodenzerkleinerung

Als Versuchsgeräte wurden die Fräse und die Kreiselegge, die zwei bedeutendsten Geräte dieser Gruppe, eingesetzt. Mit dieser Versuchsanstellung sollte

- der Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) der Arbeitswerkzeuge bei gleicher Bissenlänge und

- der Einfluß der Bissenlänge bei gleicher Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge auf die Bodenzerkleinerung untersucht werden.

Versuchsablauf:

Bei konstanter Drehzahl der Arbeitswerkzeuge der zapfwellenangetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte, d.h. konstanter Werkzeuggeschwindigkeit, wurde die Vorfahrtgeschwindigkeit durch die Gangabstufung des Schleppers geändert. Dabei wurden die folgenden Umfangsgeschwindigkeiten (v_U) der beiden zapfwellengetriebenen Geräte nacheinander untersucht (Tab. 7).

Tabelle 7: Drehzahl (n) und Umfangsgeschwindigkeit (v_U) der Arbeitswerkzeuge

Fräse		Kreiselegge	
$n = 1/\text{min}$	$v_U = \text{m/s}$	$n = 1/\text{min}$	$v_U = \text{m/s}$
75	2,04	81	1,10
140	3,81	242	3,29
185	5,03	345	4,70
225	6,12	440	5,99

Vor der Bearbeitung wurde die raue Pflugfurche einmal mit einer Gerätekombination bearbeitet. Dadurch erreichte man eine homogene, ebene und nicht zu grobschollige Versuchsfläche. Folgende aufgeführte Parameter gingen bei dieser Versuchsanstellung in die Auswertung ein:

- Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge und die Bissenlänge
- Bodenfeuchte, Bearbeitungstiefe

- Vorfahrtgeschwindigkeit
- Aggregatgröße

4.4.4 Einfluß der Aggregatgröße bei unterschiedlichen Saatstärken auf den Feldaufgang

In Verbindung mit dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der TU München-Weihenstephan wurden die Einflüsse der Bodenzerkleinerung (Aggregatgröße) bei verschiedenen Getreidearten auf den Feldaufgang untersucht. Diese Untersuchung war zugleich mit einem Saatstärkenversuch kombiniert. Es kamen also verschiedene Saatstärken auf unterschiedlich zerkleinertem Saatbett zur Aussaat.

Versuchsablauf:

Die Grundbodenbearbeitung erfolgte zum einen Teil mit einem Scharpflug, ein anderer Teil wurde nicht bearbeitet. Die zur Saatbettbereitung eingesetzten zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte dienten der Erstellung eines unterschiedlichen Saatbettes hinsichtlich der Aggregatgröße. Dazu wurde die Werkzeuggeschwindigkeit der eingesetzten Geräte verändert. Darauf folgte die Aussaat, welche quer zur Bearbeitungsrichtung mit verschiedenen Saatstärken erfolgte. Gemessen wurden bei dieser Versuchsanstellung die Aggregatgröße, die Saattiefe und der Pflanzenaufgang.

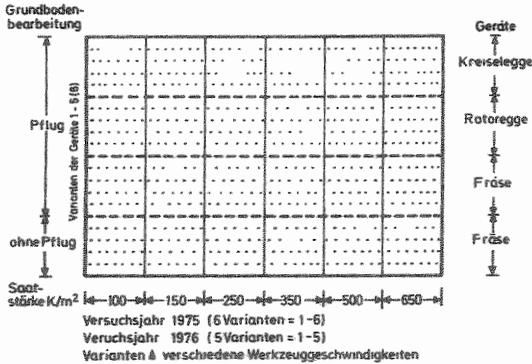


Abbildung 9: Versuchsplan Vötting

Desweiteren wurde zum ersten Bearbeitungsversuch im Versuchsjahr 1976 noch ein Saatversuch angelegt, um so zusätzlich den Einfluß der Krümelgröße auf den Feldaufgang untersuchen zu können. Dieser Versuch wurde quer zu den Bodenbearbeitungsvarianten (unterschiedliche Werkzeuggeschwindigkeiten bewirkten unterschiedliche Aggregatgrößen) angelegt, um so den Pflanzenaufgang bei unterschiedlicher Krümelgröße prüfen zu können (Abb. 8).

5. METHODEN

Um die notwendigen Messungen zur Beurteilung des Bearbeitungseffektes durchführen zu können, kamen folgende Methoden zur Anwendung:

5.1 Aggregatgrößenverteilung

5.1.1 Methode

Von PUCHNER (48, 50), wurde zum ersten Male versucht, die Aggregatgrößenverteilung des bearbeiteten Bodens durch die Schollensiebanalyse, d.h. die Bestimmung des prozentualen Anteils der einzelnen Aggregatgrößen, zu bestimmen. Seit dem wurden die wesentlichen Grundzüge dieser Methode beibehalten und als Beurteilungskriterium für den Bearbeitungserfolg angewandt (SÖHNE (59), FEUERLEIN (16), RID (53), SÜSS (53), FRESE (18), THEISSIG (63), KAHNT (32), KNITTEL (37), HEEGE (27) und STEINKAMPF (62)). Änderungen bestehen im wesentlichen in der Art und Menge der Probenahmen, in der Vorbehandlung der Proben, in der Sieblochzusammensetzung und dem Siebvorgang, aber auch in der Auswertungsmethode.

Die Probennahme erfolgte bei diesen Untersuchungen in 6-facher Wiederholung sofort nach der Oberflächenbearbeitung. Dabei werden Plastikdosen (d = 9 cm, h = 10 cm) bis zur Bearbeitungstiefe in den Boden gedrückt, mit einer Handschaufel unterfahren und herausgenommen. Die Proben wurden in einem geschlossenen Raum an der Luft getrocknet. Je nach Feuchtegehalt und Raumtemperatur konnten die Proben nach 10 bis 20 Tagen, der Wassergehalt sollte bei 8 bis 10 Gewichtsprozent liegen, mit der Hand abgeseibt und das Gewicht der einzelnen Siebfractionen gewogen werden. Die Feuchtebestimmung wurde jeweils mit einer Probe pro Bearbeitungsvariante im Trockenschrank durchgeführt. Die Analyse der Aggregatgrößenverteilung erfolgt mit ineinander greifenden Siebsätzen (DIN 4188) mit geometrisch gestufter Maschenweite, von oben nach unten 80 mm - 40 mm - 20 mm - 10 mm - 5 mm - 2,5 mm - 1,25 mm.

5.1.2 Auswertung

Die Auswertung, Berechnung und Darstellung der Siebanalysen erfolgt in der Literatur in verschiedenster Formen:

- in Form von Säulendiagrammen (7, 19, 20, 26, 53, 54, 55, 62), die den Gewichtsanteil in Prozent der einzelnen Aggregatgrößenklassen aufzeigt,
- in Form von Summenkurven (16, 32, 59, 62). Sie geben die Gewichtsprozente der Schollen und Krümel an, die kleiner sind als die darunter geschriebenen Sieblochdurchmesser,
- in Form von Häufigkeitskurven (61), die den Gewichtsanteil der einzelnen Siebfractionen von der gesamten Stichprobe wiedergibt.

Diese drei Formen der Darstellung lassen bei einem Vergleich der verschiedenen Ergebnisse der Siebanalyse nur eine visuelle Beurteilung zu. Eine genaue Aussage und Einstufung signifikanter Unterschiede ist nicht möglich. Deshalb ist für eine konkrete Aussage unbedingt eine Maßzahl erforderlich, welche die Siebanalyse exakt definiert und abgrenzt.

Für eine Maßzahl zur Bestimmung der Aggregatgrößenverteilung sind bekannte und weniger bekannte Kenngrößen aus verschiedenen Fachdisziplinen herangezogen worden. Grundlage jeder Berechnung sind in jedem Fall die Gewichtsanteile der einzelnen Aggregatgrößenklassen von der gesamten Stichprobe. Aus diesen Grunddaten errechnen sich durch verschiedene Berechnungsmöglichkeiten die einzelnen Kenngrößen. THEISSIG 1975 (63) beschreibt einige Maßzahlen zur Kennzeichnung der Aggregatgrößenverteilung und nennt die wichtigsten Autoren dieser Kennziffern. HEEGE 1974 (27) verwendet den prozentualen Anteil bestimmter Aggregatfraktionen.

In neueren Arbeiten (32, 37, 65) findet man, nach einem Vorschlag von BAVEL (2), den sogenannten Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD), als eine Kennziffer für die Aggregatgrößenverteilung. Wenn auch die Verwendung dieser Kennziffer nicht ganz unproblematisch ist - denn unterschiedliche Aggregatgrößenverteilungen können den gleichen GMD-Wert ergeben - so wird an dieser Größe dennoch festgehalten. Um eine Auswahl über die bisher verwendeten Kennziffern treffen zu können, wurden mit dem Programm AGREGA (AUERNHAMMER 1976 (71)) alle bekannten Aggregatgrößenkennziffern (37, 63) in diesen Untersuchungen errechnet und untereinander korreliert. Die Ergebnisse werden bereits im folgenden Absatz diskutiert, warum die in der vorliegenden Arbeit verwendete Kenngröße (Gewogener Mittlerer Durchmesser = GMD) in mm Verwendung findet.

5.1.3 Korrelation der bekannten Aggregatgrößenkennziffern untereinander

Mit Hilfe der Korrelationsrechnung AUFMUR (AUERNHAMMER 1976 (69)) wurde mit den AGREGA-Ergebnissen der Versuchsreihe von 1975 geprüft, ob zwischen den errechneten Kennziffern ein Zusammenhang besteht. Der Grad des Zusammenhanges wird durch den Korrelationskoeffizienten (r) ausgedrückt. Ein Vergleich der absoluten Größen (\bar{x}) wird ebenfalls aufgezeigt (Tab. 8).

Tabelle 8: Korrelation (r) der Prozentanteile der Siebfraktionen und der übrigen Aggregatgrößenkennziffern mit dem Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) und der Vergleich der absoluten Größen.
(n = 198)

Prozentanteile der jeweiligen Siebfraktionen bzw. die Aggregatgrößenkennziffer	Korrelation mit dem GMD (r)	Absolute Größe (\bar{x})
80 - 40 mm	0,98	
40 - 20 mm	- 0,19	
20 - 10 mm	- 0,78	
10 - 5 mm	- 0,77	
5 - 2,5 mm	- 0,82	
2,5 - 1,25 mm	- 0,86	
< 1,25 mm	- 0,63	
GM = geometrisches Mittel mm	0,96	18,34
ZG = Zerkleinerungsgrad $\frac{1}{\text{mm}}$	- 0,93	3,94
d = Aggregatgrößenkennziffer mm	0,89	40,14
d_m = mittlere Korngröße mm	0,91	38,44
O_K = idealisierte spezifische Oberfläche dm^2/m^3	- 0,34	5,26
n = Gleichmäßigkeitskoeffizient	0,13	0,14
Errechneter GMD (mm) bei 80-40-20-10-5- 2,5-1,25 = 8 Siebfraktionen		28,736
80-40-20-10-5- 2,5 = 7 Siebfraktionen		28,794

Als Maß für die Aggregatgrößenverteilung wurde der Gewogene Mittlere Durchmesser (GMD) nach VAN BAVEL (2) verwendet:

$$\text{GMD} = \frac{\sum(n_i \cdot d_i)}{\sum n_i} \text{ (mm)}$$

n_i = Gewicht der Aggregatgrößenklassen i in Gramm

d_i = Klassenmitte der Aggregatgrößenklasse i in Millimeter

Die Verrechnungsgrundlagen und -möglichkeiten der aufgeführten Aggregatgrößenkennziffern sind bei THEISSIG (63) und KNITTEL (37) näher beschrieben.

Die Tabelle 8 zeigt die Korrelation der Prozentanteile der einzelnen Siebfractionen und der übrigen Aggregatgrößenkennziffern mit der in dieser Arbeit verwendeten Aggregatgröße GMD. Einzelne Siebfractionen zeigen gute positive oder negative Korrelationen mit dem GMD. Nur der Prozentanteil der Siebfractionen 40 - 20 mm hat eine sehr niedrige Korrelation (- 0,19). Auch die Siebfraction <1,25 mm weicht gegenüber den anderen Fraktionen ab. Alle anderen Siebfractionen liegen über $r = \pm 0,77$. Ebenso auch die bekanntesten Aggregatgrößenkennziffern, ausgenommen die idealisierte spezifische Oberfläche (0_K) und der Gleichmäßigkeitskoeffizient (n). Diesen Kennziffern liegen wesentlich andere Berechnungsgrundlagen zu Grunde. Die absolute Größe ist relativ niedrig. Die Siebfraction <1,25 mm kommt für die Aggregatgröße GMD nicht bedeutend zum Tragen. Wie die Ergebnisse bestätigen, reicht eine geometrische Abstufung der Siebfractionen bis < 2,5 mm völlig aus. Es kann bereits mit sieben Siebfractionen eine genaue Aussage getroffen werden. Varianzanalytisch ergibt sich kein Unterschied. Deshalb ist eine geometrisch gestufte Maschenweite von 80 mm - 40 mm - 20 mm - 10 mm - 5 mm - 2,5

mm vollkommen ausreichend. Die Aggregatgrößenkennziffern GM, ZG, d' und d_m haben eine ausgeglichene und hohe Korrelation zu der Aggregatgrößenkennziffer GMD. Deshalb ist es vorteilhaft, den GMD als Aggregatgrößenkennziffer in dieser Arbeit vorrangig zu verwenden.

Zur leichteren Interpretation einiger Darstellungen wurde aus dem reziproken Wert des GMD der Zerkleinerungsgrad (ZG) gebildet. Durch diese Transformation erhält man mit abnehmender Krümelgröße einen höheren Zerkleinerungsgrad (37).

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

5.2 Oberflächenrauheit

5.2.1 Methode

Verfahren zur Messung der Oberflächenrauheit sind aus der Literatur, besonders aus Amerika (8, 9, 57) und Holland (4, 2) bekannt. Die Grundlagen für die vorliegenden Untersuchungen bildet das Reliefmeßgerät nach KUIPEARS (42). Dieses Gerät ist zur Messung der Rauheit der Bodenoberfläche und in etwas abgeänderter Form auch für die Messung der Aufschüttung bei der Pflugarbeit entwickelt worden. Vielfach diente das Reliefmeßgerät nur zur optischen Darstellung der Oberflächenausformung. Die Arbeiten von DITTMANN (12) lassen jedoch Zusammenhänge zwischen der Aggregatgröße (GMD) und der Oberflächenrauheit erkennen.

Das für die Bodenbearbeitungsversuche eingesetzte ursprüngliche Reliefmeßgerät im Jahre 1975 bestand aus einem Brett

(105,0 cm lang, 24,0 cm hoch, 5,0 cm breit), das parallel zur Bodenoberfläche im Abstand von 10,0 cm aufgestellt wurde. Mit 41 Stäben im Abstand von 25 mm, bzw. mit 21 Stäben im Abstand von 50 mm wurde die Bodenoberfläche abgetastet. Um die Höhendifferenzen der einzelnen Meßstäbe ablesen zu können, waren die Stäbe und das Brett an einer festgelegten Null-Linie einheitlich markiert. Am Brett waren Nuten im Abstand von 1 cm eingefräst, um die Stabhöhen schneller ablesen zu können. Die Stäbe waren am unteren Ende mit einem kugelförmigen Fuß versehen (Basisdurchmesser 15 mm), der ein Einsinken auf dem frisch bearbeiteten Boden durch die vorgegebene Fallhöhe von etwa 10 cm verringern sollte. Im Versuchsjahr 1975 wurden pro Bearbeitungsvariante fünf Wiederholungen aufgenommen. Für die Messungen waren zwei Personen erforderlich, Zeitdauer pro Wiederholung etwa 1 - 2 Minuten.

Um das Meßverfahren von DITTMANN (12) zu vereinfachen und zu beschleunigen, wurden im Versuchsjahr 1976 erste Testversuche mit einem abgeänderten und verbesserten Reliefmeßgerät durchgeführt. Bei der veränderten Ausführung im Jahre 1976 wurden am oberen Ende an die Stäbe in gewissen Abständen Auslegestücke angeschweißt und diese durchgebohrt. Somit konnte man sämtliche Stäbe mit einer undehnbaren, leicht beweglichen Schnur in vorbestimmten Abständen verbinden. Abbildung 10 zeigt schematisch den Einsatz dieses Gerätes. Die Heterogenität der Bodenoberfläche bzw. des Bearbeitungshorizontes wird auf das Polygon am oberen Stabende übertragen. Somit kann über die Länge des Polygons (= Schnurverbrauch in mm) auf die Oberflächenrauheit geschlossen werden.

Wird durch alle Stabösen die Schnur gezogen, so ergibt sich ein Stababstand von 25 mm (= RM 25), durch jeden zweiten Stab ein Stababstand von 50 mm (= RM 50), durch jeden vierten Stab ein Stababstand von 100 mm (= RM 100).

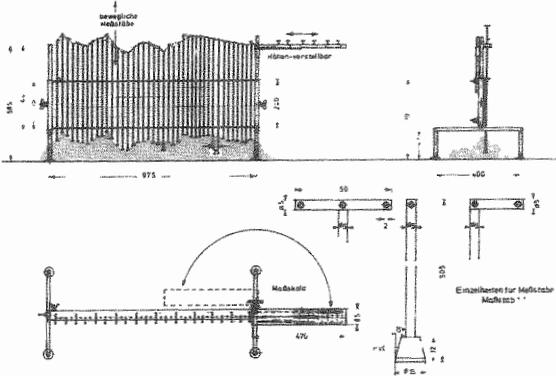


Abbildung 10: Reliefmeßgerät zur Messung der Bodenoberflächenrauheit

Indem die Stäbe die Kontur der Bodenoberfläche in ihrer jeweiligen Höhenstellung zum Vorschein bringen, ist es durch die bewegliche Schnur, die am oberen Ende der Stäbe durch die Ösen geführt wird, möglich, durch den Schnurverlauf die Bodenrauheit bzw. den Verlauf des Bodenreliefs auszudrücken. Das Polygon, das durch den Verlauf der Schnur gekennzeichnet ist, drückt sich in seiner Rauheit durch den Schnurverbrauch in mm aus. Je größer die Bodenoberfläche ist, umso länger ist das zu beschreibende Polygon und umso höher ist der Schnurverbrauch, der sich im Rauheitsmaß (RM in mm) mit dem jeweiligen Stababstand (25 mm, 50 mm, 100 mm) ausdrückt.

Dadurch wird das Ablesen der einzelnen Stabhöhen erspart, denn die Länge des Polygons, bzw. die Oberflächenrauheit drückt sich

im Rauheitsmaß (RM) aus. Pro Messung ist deshalb für einen Stababstand nur mehr ein Wert abzulesen. Bei diesen Untersuchungen wurden zehn Wiederholungen pro Bearbeitungsvariante (fünf quer und fünf längs zur Bearbeitungsrichtung) gemessen. Auf die Anzahl der notwendigen Meßwiederholungen wird im Punkt 5.2.2 eingegangen.

Ein Vorteil des Verfahrens ist, daß gleich nach der Bearbeitung gemessen werden kann und Aussagen über den Arbeitseffekt und die Arbeitsqualität gegeben werden können. Eine aufwendige Berechnung und Auswertung entfällt. Nachteil des 1 m Reliefmeßgerätes könnte sein, daß der Einebnungseffekt über die gesamte Arbeitsbreite nicht exakt erfaßt wird, denn der Einebnungseffekt der Geräte ist nicht gleich. Er ist im wesentlichen von der Bewegungsbahn der Arbeitswerkzeuge im Boden abhängig (Punkt 4.3).

Wie bei den genannten Rauheitsmessungen wird auch hier nur die Bodenoberfläche abgetastet und somit nur die horizontale Heterogenität erfaßt.

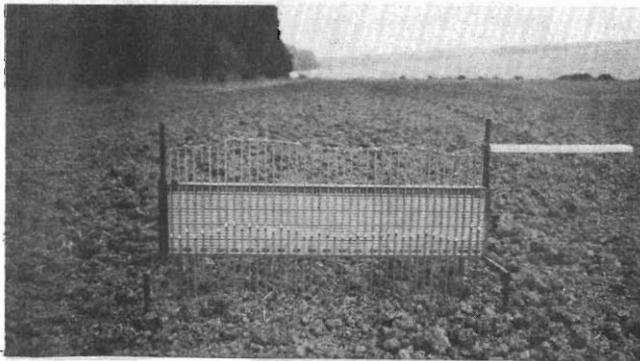


Abbildung 11: Das Reliefmeßgerät im praktischen Einsatz

Ob spezifische Auswirkungen der Nachlaufgeräte durch ihre spezifische Oberflächenausformung bestehen, muß noch geklärt werden. Die Heterogenität und Homogenität der Bodenaggregate in senkrechter Richtung kann mit dieser Methode nicht erfaßt werden.

5.2.2 Auswertung

Die errechneten Kenngrößen aus dem Ablesen der einzelnen Stabhöhen richten sich im wesentlichen nach Vorschlägen von CURRENCE und LOVELY (8), KUIPERS (41, 42) und DITTMANN (12). Grundlage aller Berechnungen bildet die Differenz der benachbarten Stäbe.

Die Auswertung erfolgt mit dem Programm RAUH (AUERNHAMMER 1976 (70)), das sämtliche gewünschte Kenngrößen für den entsprechenden Stababstand errechnet. Der Stababstand kann ein Vielfaches von 25 mm sein. Das Auswertungsprogramm RAUH ist so geschrieben, daß durch die Angabe der Stababstände und der Stabzahl das Programm eine Zahlenreihe für die Stabanordnung im Meßgerät erzeugt. Daran schließt sich ein Parallelangleich des Reliefmeßgerätes und der mittleren gemessenen Höhen über eine Regression an, um stets einen gleichen Abstand zwischen Bodenoberfläche und Meßskala zu erhalten. Diese grundsätzliche Auswertung kann für beliebig viele Wiederholungen einer Messung durchgeführt werden. Aus den gemessenen Wiederholungen wird dann der Mittelwert gebildet.

Um verschiedene Aussagen treffen zu können, werden die gemessenen absoluten Differenzen (mm) und die bereinigten Differenzen (mm) mit ihren statistischen Kenngrößen (\bar{x} , s) berechnet. Die Bereinigung erfolgt über die Residuen der geschätzten Regression. Die dabei erzielte Standardabweichung dient als Rauheitskennzahl (R). Es ist der Bereich in mm, in dem sich

mit 95 % Wahrscheinlichkeit alle Meßwerte befinden. Als weitere Kenngröße wurde das Rauheitsvolumen (RV) mit in die Berechnung aufgenommen. Es gibt das Bodenvolumen (m^3/ha) an, das bewegt werden müßte, um die Bodenoberfläche völlig einzuebnen. Das Rauheitsmaß (OF) gibt an, um wieviel % die Bodenrelieflinie durch die vorhandene Rauheit größer ist als die zugehörige Grundlinie. Die Kenngröße (OF) errechnet die Länge des Polygons und beschreibt somit die Relieflinie der Bodenoberfläche der jeweiligen Meßreihe. Sie gibt die Rauheit, als Oberflächenvergrößerung (>100) in Prozent an und entspricht dem Rauheitsmaß (RM), das beim neueren Verfahren nur mehr abzulesen ist. Eine ausführliche Beschreibung sämtlicher Rauheitskenngrößen hat DITTMANN (12) vorgenommen.

5.2.3 Anzahl der Wiederholungen

Die statistische Auswertung der Rauheitsmessungen mit dem Rechenprogramm PESK (AUERNHAMMER 1976 (67)) ergab, daß die Anzahl der durchgeführten Wiederholungen (10 x 1 m) pro Bearbeitungsvariante nicht immer ausreichte, um vom Umfang der Stichprobe auf die Grundgesamtheit mit ausreichender statistischer Genauigkeit schließen zu können.

Als Kenngröße für die Anzahl der Wiederholungen bietet sich der Variationskoeffizient (VK) an. Der Variationskoeffizient errechnet sich aus der Standardabweichung (s) x 100 dividiert durch den Mittelwert (\bar{x}).

$$VK = \frac{s \times 100}{\bar{x}}$$

Mit dem Rechenprogramm ABMUR (AUERNHAMMER 1976 (68)) errechnete sich eine lineare Beziehung zwischen der Anzahl der Wiederholungen und dem Variationskoeffizienten (VK).

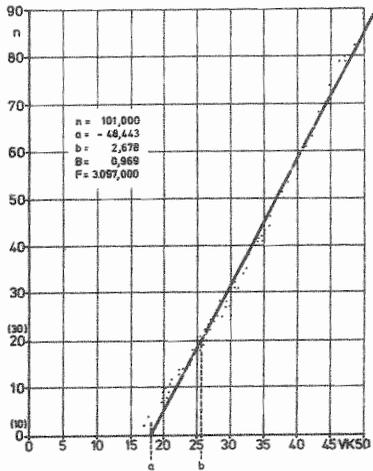


Abbildung 12: Noch zu messende (n) bei bereits 10 gemessenen Wiederholungen (n) beim RM 25 in Abhängigkeit vom Variationskoeffizient (VK)

Abbildung 12 zeigt, daß zwischen beiden Größen eine positive Abhängigkeit besteht. Liegt der Variationskoeffizient (VK) unter 18 Einheiten, reichen die durchgeführten zehn Wiederholungen für eine statistische Absicherung aus (a). Dagegen sind zusätzlich zu den 10 durchgeführten Wiederholungen weitere 20, also insgesamt 30 Wiederholungen erforderlich, wenn ein VK von 25 Einheiten vorliegt (b).

5.3 Saattiefe

5.3.1 Methode

Um den Einfluß der Krümelgröße (GMD) auf die Saattiefe bei herkömmlicher Drillsaat zu untersuchen, war es notwendig, die Ablagetiefe der Samenkörner festzustellen. Mit Hilfe eines Bodenhebels Abb. 13 (nach ZELTNER (65)); wurde durch Abhobeln der Bodenschichten in Schichtstärken von fünf Millimeter die effektive Ablagetiefe der Samenkörner ermittelt. Eine ebene Ackeroberfläche ist Voraussetzung für eine exakte Untersuchung der Saattiefe. Abgehobelt wurde quer zur Sä- und längs zur Bearbeitungsrichtung, um so die Auswirkungen etwaiger Fahrspuren zu vermeiden, und um mehrere Drillreihen untersuchen zu können.

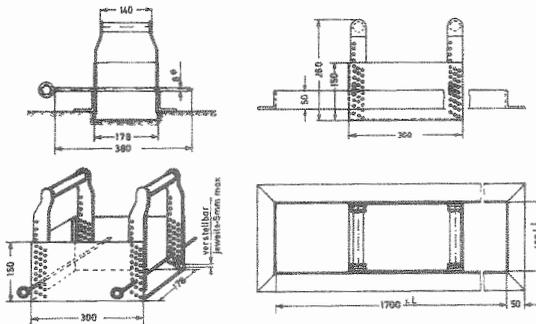


Abbildung 13: Bodenhebel zur Bestimmung der Saattiefe (nach ZELTNER)

5.3.2 Auswertung

Die Verrechnung der zwei Abhobelergebnisse pro Bearbeitungsvariante erfolgte dadurch, daß aus den gefundenen und gezählten Saatgutkörnern pro Hobelschicht (5 mm) der beiden Wiederholungen die Mittelwerte gebildet und aus diesen mit der jeweiligen Ablagetiefe die mittlere Saattiefe (\bar{x}) errechnet wurde. Die mittlere Saattiefe stellt somit, wie bei ZELTNER (65) und THEISSIG (37), das gewogene Mittel dar. Mit dem Programm 5001 (AUERNHAMMER 1973 (73)) wurden für jede Bearbeitungsvariante die statistischen Kennwerte wie

- der Mittelwert (mittlere Saattiefe \bar{x})
- die Standardabweichung (s)
- der Variationskoeffizient (VK)
- die Anzahl der Samenkörner (n)
- und die obere und untere Vertrauensgrenze

$$(\bar{x} - P_{95\%}; \bar{x} + P_{95\%})$$

um die mittlere Saattiefe (\bar{x}) errechnet.

5.4 Feldaufgang

5.4.1 Methode

Der Feldaufgang ist das Verhältnis der Zahl der nach einer bestimmten Zeit (Aufgangsphase) insgesamt aufgegangenen Pflanzen zu der Zahl der ausgesäten Samenkörner.

$$\text{Feldaufgang} = \frac{\text{Pflanzen/m}^2}{\text{Körner/m}^2} (\%)$$

Er gibt somit den Anteil der aufgelaufenen Körner von den insgesamt ausgesäten keimfähigen Körnern in Prozent an. Der Pflanzenaufgang dagegen drückt aus, wieviel von den keim-

fähigen Körnern während der Aufgangsphase zum Auflaufen kommen. Er ist somit eine Funktion über die Zeit und wird durch verschiedene Umwelteinflüsse mitbestimmt. KAHNT (32) stellt den Pflanzenaufgang schematisch dar und legt charakteristische Kenngrößen fest (Abb. 14).

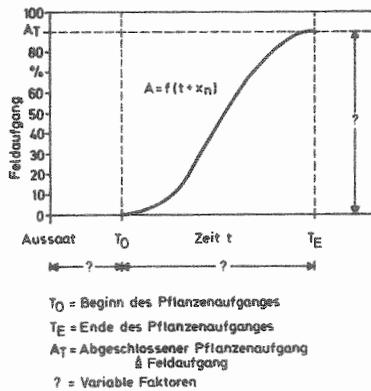


Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf des Pflanzenaufganges (schematisch in abgeänderter Form nach KAHNT (32))

Abbildung 14 zeigt die Gesamtzeitspanne zwischen Aussaat und Ende des Pflanzenaufganges. Diese läßt sich in die Zeit zwischen Aussaat und Beginn (T_0), sowie Beginn (T_0) und Ende (T_E) des Pflanzenaufganges unterteilen. Der Beginn und Verlauf der Kurve und die Höhe des erreichten Pflanzenaufganges kann unterschiedlich sein. Er wird neben der Zeit von einer Reihe von Faktoren beeinflusst und läßt sich als Funktion so darstellen:

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

A = Pflanzenaufgang; t = Zeit; x = Einflußfaktoren.

Der zeitliche Verlauf und die Höhe des Pflanzenaufganges kann somit stark variieren. So ist die Zeitspanne zwischen Aussaat und Beginn des Pflanzenaufganges im wesentlichen von der Bodentemperatur, der Bodenfeuchte, der Triebkraft, der Saattiefe und dem Witterungsverlauf in dieser Zeitspanne abhängig. Niedrige Boden- und Lufttemperaturen, tiefe Saat, zu nasse oder zu trockene Bodenverhältnisse und ein rauhes Saatbett verlängern diese Zeitspanne, während optimale Keimbedingungen diesen Zeitraum verkürzen. Ebenso kann die Phase des Pflanzenaufganges, der Verlauf der Wachstumskurve und der Feldaufgang in Prozent je nach den Umwelteinflüssen großen Schwankungen unterworfen sein. Durch Änderung der Wachstumsverhältnisse tritt eine Verzögerung oder eine Beschleunigung des Pflanzenaufganges ein, was einem flacheren oder steileren Anstieg der Kurve gleichzusetzen ist.

Zu Beginn des Auflaufens tritt innerhalb des ersten Abschnittes (etwa 5 - 15 Tage) eine starke Zunahme des Pflanzenaufganges ein. Innerhalb dieses Zeitraumes ist es zweckmäßig, möglichst jeden zweiten Tag, besser, jeden Tag, die Aufgangszählungen durchzuführen, um den genauen Verlauf der Kurve zu bekommen. Mit der Abnahme des Pflanzenaufganges kann auch der Abstand der Aufgangszählungen vergrößert werden. Laufen nach einer gewissen Zeit keine Pflanzen mehr auf, so ist der Pflanzenaufgang abgeschlossen und man spricht dann vom Feldaufgang (%).

In den nachfolgenden Versuchen wurden zur Ermittlung der Zahl der aufgegangenen Pflanzen je Bearbeitungsvariante 10 Wiederholungen zu je einem Meter auf einer bestimmten Drillreihe ausgezählt. Dazu wurde ein Meßrahmen mit 100 cm Länge und 15 cm Breite verwendet.

Die Zählungen bei den verschiedenen Aufgangsterminen in der Phase des Pflanzenaufganges erfolgte genau dort, wo die erste Aufgangszählung rein zufällig stattfand. Durch eine Markierung war dies leicht möglich. Somit konnte die zufällige Stichprobe der ersten Zählung während der gesamten Phase des Pflanzenaufganges bis zum Abschluß (Feldaufgang) genau ermittelt werden.

Bei den übrigen Zählungen des Feldaufganges, d.h. nach Abschluß des Pflanzenaufganges wurden ebenfalls 10 Wiederholungen mit je 1 Meter einer beliebigen Saatreihe in der Diagonale einer Versuchsparzelle ausgezählt. Um die Ermittlungen zu erleichtern, wurde der Zählrahmen mit den Maßen 150 mm x 1000 mm, in 10 Felder á 150 mm x 100 mm unterteilt. Dadurch ist ein besserer Überblick und eine Erleichterung des Zählens gegeben.

5.4.2 Auswertung

Die ausgezählten Pflanzen je Meter Saatreihe wurden unter Berücksichtigung des Drillreihenabstandes mit Hilfe eines Rechenprogramms UMSTA (AUERNHAMMER 1972 (74)) auf Pflanzen/m² (= Keimdichte) umgerechnet. Die weitere Verrechnung erfolgte mit dem Programm PESK AUERNHAMMER 1976 (67)). Dabei wurden für jede Variante die wichtigsten statistischen Kennwerte ermittelt. Die Auswertung erfolgte wahlweise mit 10 Wiederholungen (10 x 1 m) oder mit 100 Wiederholungen (100 x 0,1 m). Mit dem t- bzw. F-Test bzw. der Varianzanalyse (56) prüfte man, ob zwischen den einzelnen Bearbeitungsvarianten und Aufgangszählungen im Laufe der Aufgangsphase signifikante Unterschiede bestanden oder nicht.

5.4.3 Anzahl der Wiederholungen

Die statistische Auswertung der Aufgangsergebnisse zeigte ebenfalls (Punkt 5.2.3), daß die Anzahl der Wiederholungen nicht immer ausreichte, um genaue statistische Aussagen treffen zu können. Auch hier bot sich der Variationskoeffizient (VK) als bestes Maß für die Anzahl der Wiederholungen an (Abb. 15).

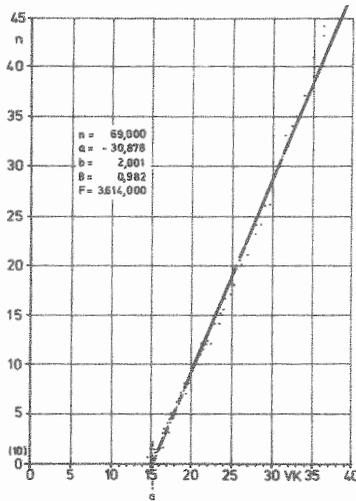


Abbildung 15: Noch zu messende (n) bei bereits 1Q gemessenen Wiederholungen (n) beim Feldaufgang in Abhängigkeit vom Variationskoeffizient (VK)

Die positive Abhängigkeit beider Größen wird durch die Abbildung 15 deutlich. Mit steigenden Variationskoeffizienten (VK) nimmt die notwendige Anzahl der Wiederholungen (n) zu.

Der Mittelwert (\bar{x}) und die Streuung (s) waren aus den Aufgangszählungen relativ einfach zu ermitteln, woraus sich der Variationskoeffizient (VK) leicht errechnen ließ.

Ein hoher Variationskoeffizient war vor allem bei Beginn des Pflanzenaufganges, bei niedrigen Saatstärken, grobem Saatbett und schlechten Umweltbedingungen festzustellen. Bei normaler Saatstärke (300 - 500 Körner/m²) reichten in der Regel 10 Wiederholungen aus, denn der Variationskoeffizient lag nicht über 15 Einheiten (a).

6. ERGEBNISSE

Um Aussagen über den Einfluß der unterschiedlichen Parameter auf den Bearbeitungseffekt der Geräte und eine Interpretation der vielfältigen Ergebnisse machen zu können, wurden sämtliche Untersuchungen so angelegt, daß nur der zu untersuchende Faktor geändert wurde. Die übrigen Einflußfaktoren blieben konstant. Sämtliche Versuche wurden unter praxisgerechten Verhältnissen durchgeführt, so daß der Wirklichkeit entsprechende Ergebnisse bei den jeweils definierten Versuchsbedingungen zu erwarten waren.

6.1. Einflußfaktoren auf die Bodenzerkleinerung

Neben dem Lockern, Mischen, Einebnen und Rückverfestigen ist das Zerkleinern eine der wichtigsten Aufgaben der Sekundärbodenbearbeitungsgeräte. Damit schafft man die Grundlagen für optimale physikalische, chemische und biologische Bodenbedingungen für das folgende Pflanzenwachstum. Um unter allen gegebenen Voraussetzungen und Umständen eine ausreichende Zerkleinerung zu bekommen, sollten die Geräte den jeweiligen Bedingungen angepaßt werden können.

Bei der Interpretation der Ergebnisse erscheint es notwendig, die nicht erfaßbaren Parameter in ihren Wirkungen auf die Bodenzerkleinerung und den Feldaufgang zu beschreiben.

6.1.1 Einfluß der Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte (Gewichtsprozent) ist der Wassergehalt des Bodens, der als Gewichtsverlust beim Trocknen (105^o C, 24 Stunden) festgestellt wird. Gewichtsprozentisch wird dieser

Wert auf das Trockengewicht des Bodens bezogen und ist somit das Verhältnis der Masse des im Boden enthaltenen Wassers zur Masse seiner festen Phase.

Vor allem die Witterungseinflüsse (Niederschläge, Temperatur, Wind) bestimmen die jeweilige Bodenfeuchte, die im Laufe des Jahres großen Schwankungen unterworfen ist und dadurch den Bearbeitungseffekt beeinflusst. Ebenso die Krümelbereitschaft und somit auch die Zerkleinerung des Bodens unterliegen zu einem erheblichen Teil dem Feuchtegehalt und Zustand des Bodens sowie der Bodenart.

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. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde der Feuchtebereich (trocken - naß) abgedeckt, bei welchem eine Bodenbearbeitung noch sinnvoll und durchführbar war. Denn ein zu nasser Boden verformt sich nur plastisch, ohne zu krümmeln, ein zu trockener Boden dagegen bricht nur in gröbere Schollen.

Einfluß auf die Zerkleinerung haben auch die Quellungs- und Schrumpfungsprozesse, welchen der Boden vor der Bearbeitung ausgesetzt war. Diese Vorgänge wirken nämlich gärefördernd und erleichtern die folgende Bearbeitung. Entscheidend ist die Intensität und der Umfang der Einwirkungen. Dies trifft für alle Bodenarten gleichermaßen zu. Für die Krümelung ist also neben dem momentanen Feuchtegehalt auch der Witterungsablauf vor der Bearbeitung und die Stellung in der Fruchtfolge entscheidend. Bei bereits garem Boden ist der Einfluß der Bodenfeuchte - insbesondere bei höherem Feuchtegehalt - auf die Zerkleinerung geringer als bei einem frisch gepflügten und ungareren Boden.

Diese Tatsache konnte auch bei den durchgeführten Untersuchungen festgestellt werden. Selbst am gleichen Standort, mit den gleichen Geräten und Werkzeuggeschwindigkeiten, ergaben sich in den zwei Versuchsjahren unterschiedliche Zerkleinerungserfolge. Die Vielzahl der Einflüsse und insbesondere die Auswirkungen der Bodenfeuchte auf den Zerkleinerungsgrad, am gleichen Standort, in zwei Versuchsjahren mit ausgewählten zapfwellenangetriebenen Bodenbearbeitungsgeräten, kommt deutlich in der Abbildung 16 zum Ausdruck (Anh. S. 172 - 178)

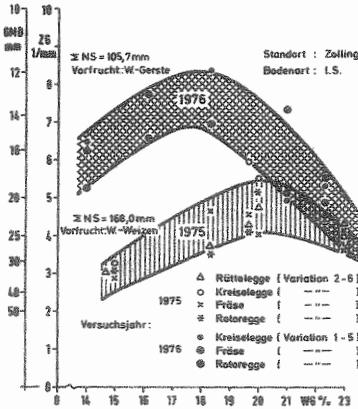


Abbildung 16: Einfluß der Bodenfeuchte auf die Bodenzerkleinerung in zwei Versuchsjahren

Für diese Untersuchungen wurden im Jahre 1975 vier, im Jahre 1976 drei Geräte zur Bodenbearbeitung nach der Sommerfurche nach unterschiedlichen Vorfrüchten eingesetzt. Der Zerkleinerungsgrad (ZG) war dabei der Mittelwert aus jeweils

fünf Drehzahlvariationen pro eingesetztes Gerät. Die Summe der Niederschläge in mm im Versuchszeitraum waren unterschiedlich hoch und verteilt (Anhang S. 189, 190).

Grundsätzlich ergaben sich in den zwei Versuchsjahren 1975 und 1976 unterschiedliche Zerkleinerungseffekte, welche durch die Höhe des Zerkleinerungserfolges und den Verlauf der Parabeln zum Ausdruck kommt. Auf die verschiedenen Möglichkeiten der Parabelberechnung, wie sie KNITTEL (37) in seinen Untersuchungen durchgeführt hat, wurde verzichtet, weil die Funktionswerte wenig über die Zusammenhänge aussagen. Die klaren Unterschiede und die Trennung der beiden Versuchsjahre kann aus der grafischen Darstellung entnommen werden (Abb. 16).

Dabei zeigt sich, daß zwischen den beiden Versuchsjahren im Bezug auf den Bodenwassergehalt (WG %) sehr deutliche Unterschiede bestehen, zum Einen hinsichtlich des erzielten Zerkleinerungsgrades (ZG), zum Anderen im Hinblick auf die Lage des Maximums. Sämtliche eingesetzten Geräte erzielten im Jahre 1976 einen wesentlich höheren Zerkleinerungsgrad, wobei das Maximum in diesem Jahr bei einem Bodenwassergehalt von ca. 16 - 19 % lag, im Jahre 1975 dagegen bei ca. 20 - 21 %. Daraus ergibt sich für diesen lehmigen Sandboden und bei den hier vorliegenden Standortbedingungen ein besonders günstiger Zerkleinerungsgrad bei einem Bodenwassergehalt von ca 16 - 21 %.

Die deutlichen Unterschiede in den beiden Versuchsjahren sind Folgen der Witterung, der Fruchtfolge und des Bodenzustandes. Der Faktor Bodenzustand läßt sich im Merkmal der Bearbeitbarkeit wissenschaftlich nur schwer erfassen.

Die genannten Unterschiede der zwei Versuchsjahre werden mit verschiedenen Werkzeuggeschwindigkeiten bei der Fräse nochmals ausgeprägter in der folgenden Abbildung dargestellt.

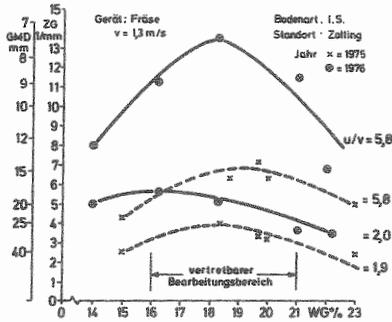


Abbildung 17: Einfluß der Bodenfeuchte auf die Bodenzerkleinerung bei unterschiedlicher Werkzeuggeschwindigkeit in zwei Versuchsjahren

Der Einfluß der Bodenfeuchte kommt besonders bei hoher Werkzeuggeschwindigkeit ($u/v = 5,8$) deutlich zum Vorschein. Das zeigte das Versuchsjahr 1976 durch die starke Betonung des Maximums im mittleren Feuchtebereich. Aber auch im Versuchsjahr 1975 zeigte sich ein ausgeprägtes Maximum. Bei der niedrigen Werkzeuggeschwindigkeit ($u/v = 1,9$ bzw. $2,0$) war der Einfluß auf den Zerkleinerungsgrad in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte nicht so deutlich erkennbar. Außerdem wurde nur ein sehr niedriger Zerkleinerungsgrad erreicht. Der Zerkleinerungsgrad (ZG) liegt nur bei ca. 2 - 5,5 Einheiten.

Als vertretbaren Bearbeitungsbereich kann man bei diesen Untersuchungen etwa einen Bodenwassergehalt von ca. 16 - 21 % angeben, wobei das Maximum bei einem Gehalt von 18 - 19 % lag. Der parabolische Kurvenverlauf bei hoher Werkzeuggeschwindigkeit ($u/v = 5,8$) im Jahre 1976 bringt dies deutlich zum Aus-

druck. Gerade dadurch wird der Einfluß des Bodenwassergehaltes auf die Bodenzerkleinerung bei intensiver Bearbeitung gut ersichtlich. Dies gilt nicht nur für die durchgeführten Untersuchungen am Standort Zolling, sondern auch für andere Bodenarten. Dabei kann sich aber der Kurvenverlauf je nach Bodenzustand nach unten oder oben verändern, wobei sich auch das Maximum verschiebt (59).

Unterhalb und oberhalb des angegebenen vertretbaren Bearbeitungsbereiches ist zwar eine Bodenbearbeitung noch möglich, aber nicht mehr zweckmäßig, denn der Bearbeitungseffekt läßt sich nur schwierig mit einem größeren Aufwand erreichen. Bei trockenem Boden kann das Bearbeitungsziel mit einem hohen Aufwand erreicht werden, während eine Bearbeitung bei nassem Zustand wegen der Bodenverdichtungen, den auftretenden Strukturschäden und Verstopfungen bei den Geräten nicht mehr sinnvoll ist.

Man sollte daher die Bodenbearbeitung möglichst im oben genannten Bereich durchführen. Gewiß wird dies nicht immer möglich sein. Eine Bearbeitung im ungünstigen Zustand sollte jedoch die Ausnahme sein. Aus all dem kann man schließen, daß der Bodenwassergehalt wesentlichen Einfluß auf die Krümelbereitschaft des Bodens hat. Auf die Möglichkeiten der Anpassungsfähigkeit der zapfwellenangetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte an die jeweiligen Bodenverhältnisse wird in den folgenden Abschnitten (6.1.2; 6.1.3) eingegangen.

6.1.2 Einfluß der Vorfahrt- und Werkzeuggeschwindigkeit

Die Vorteile der zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte liegen darin, daß die Intensität der Zerkleinerung durch die Vorfahrt- und Werkzeuggeschwindigkeit gezielt gesteuert

werden kann und somit die Bearbeitungsmaßnahme den jeweiligen Verhältnissen des Standortes und des Bodens sowie den Ansprüchen der Kulturpflanze angepaßt werden kann. Dies ist deshalb wichtig, weil sich die Bodenverhältnisse und der -zustand nicht nur von Jahr zu Jahr oder von Schlag zu Schlag, sondern auch innerhalb eines Schlages ändern können.

Der Schwerpunkt dieser Untersuchungen liegt also darin, der Frage nachzugehen, welche der gegebenen Verstellmöglichkeiten bei den zapfwellengetriebenen Geräten den größten Einfluß auf die Zerkleinerungsintensität haben, welche Zusammenhänge zwischen diesen Einflußfaktoren bestehen und welche der bekannten Kenngrößen auf die Bodenzerkleinerung die größten Auswirkungen zeigen.

ZELTNER (65) nannte in seinen Untersuchungen

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

als Kenngrößen der Bodenzerkleinerung, welche bei der Bearbeitung von Seiten des Geräteeinsatzes geändert werden können und auf den Zerkleinerungseffekt Auswirkungen zeigen. Nach ZELTNER (65) ist das Verhältnis von u/v als Maßstab für die Zerkleinerungsintensität am besten geeignet, denn damit werden zwei wichtige Einflußgrößen erfaßt. Die Bissenlänge (l_B) sagt dagegen nur etwas über die Strecke von einem Arbeitswerkzeugeinschlag zum nächsten in der Vorfahrtsrichtung etwas aus und nichts über die Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge. Die Bissenlänge errechnet sich aus der Vorfahrtgeschwindigkeit (v), aus der Drehzahl (n) und aus der Zahl der Arbeitswerkzeuge je Schnittebene (z) nach folgender Formel:

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

z	Fräse	= 3
z	Kreislege	= 2

Die Bissenlänge ist bei der Fräse eine Standardgröße und wird auch bei der Kreiselegge verwendet, weil die Bewegungsbahnen sehr ähnlich sind (Abb. 5). Der Abstand zwischen zwei Werkzeugzykloiden-Bahnen ist dafür kennzeichnend. Der Unterschied besteht lediglich im Bewegungsablauf der rotierenden Arbeitswerkzeuge im Boden. Bei der Fräse erfolgt er vertikal und bei der Kreiselegge horizontal.

Die Ergebnisse der verschiedenen Kenngrößen auf die Bodenzerkleinerung, wie sie ZELTNER (65) nannte, werden in den folgenden Abschnitten diskutiert.

Durch die Veränderung der Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge oder der Fahrgeschwindigkeit wird der Bewegungsablauf der Werkzeuge im Boden und damit auch die Bearbeitungsintensität verändert. ZELTNER (65) folgert aus seinen Untersuchungsergebnissen, daß bei der Fräse die Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeuge mindestens das Doppelte und bei der Kreiselegge das Zwei- bis Dreifache der Vorfahrtgeschwindigkeit betragen sollte. Stets muß aber die Bearbeitungsintensität an die frucht- und bodenspezifischen Ansprüche angepaßt werden.

Die Flächenleistung und die zur Verfügung stehende Schlepperleistung ist dabei zu berücksichtigen. Mit steigender Umfangs- und Vorfahrtgeschwindigkeit und zunehmender Arbeitstiefe nimmt der Leistungsbedarf rasch zu.

Betrachtet man den Einfluß der Bissenlänge bei konstanter Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge auf die Aggregatgröße (GMD) (Abb. 18), so zeigt sich, daß mit zunehmender Bissenlänge sowohl bei der Kreiselegge, als auch bei der Fräse die Zerkleinerungswirkung deutlich abnimmt (Anhang S. 179, 180).

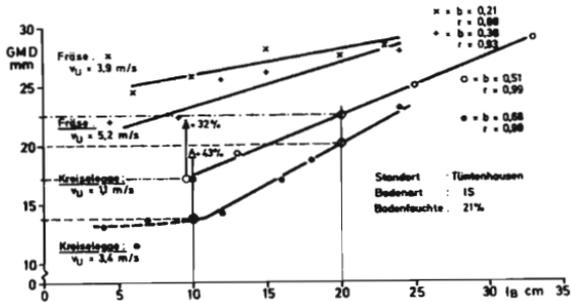


Abbildung 18: Einfluß der Bissenlänge (l_B) bei konstanter Umfangsgeschwindigkeit (v_U) auf die Aggregatgröße (GMD)

Mit der Kreiselegge wurden bei beiden Umfangsgeschwindigkeitsvarianten (3,4 m/s bzw. 1,1 m/s) ein kleineres Bodenaggregatgemisch erzeugt als mit der Fräse. Selbst bei der geringen Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge von $v_U = 1,1 \text{ m/s}$ zerkleinerte die Kreiselegge noch besser als die Fräse mit $v_U = 5,2 \text{ m/s}$.

Die Ursache liegt in der Funktion der hierbei verwendeten, horizontal bzw. vertikal rotierenden Arbeitswerkzeuge der zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte. Beide Geräte sind gekennzeichnet durch gerätespezifische typische und markante Bewegungsbahnen der Einzelwerkzeuge im Boden. Vergleicht man die Kreiselegge mit der Fräse, so sieht man, daß sich die Arbeitswerkzeuge der Kreiselegge ständig im Boden befinden und eine ständige Zerkleinerungswirkung ausüben können (Abb. 5). Die Arbeitswerkzeuge der Bodenfräse dagegen

befinden sich nur zu einem geringen Teil der Bewegungszykloide im Boden (Abb. 3). Ein wesentlicher Teil des Zerkleinerungseffektes entsteht durch den Aufprall der "Bodenbissen" an die Fräshaube und die Abdeckplatte.

Weiterhin fällt auf, daß bei beiden Geräten mit der höheren Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge ein Aggregatgemisch mit geringerem Durchmesser erzeugt wird. Die höhere Aufprallgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge auf die Bodenaggregate bringt eine stärkere Zerkleinerung.

Das Steigungsmaß (b) sagt aus, um wieviel Einheiten die Aggregatgröße (GMD) ansteigt, wenn die Bissenlänge (l_B) um eine Einheit (= 1 cm) zunimmt. Das Steigungsmaß (b) ist bei der Kreiselegge bei beiden Werkzeuggeschwindigkeitsvarianten höher als bei der Fräse. Ebenso haben die höheren Umfangsgeschwindigkeiten (v_U) ein höheres Steigungsmaß (b).

Das Steigungsmaß (b) der einzelnen Geraden ist unterschiedlich. Daraus ergeben sich bei zunehmender Bissenlänge bei der Kreiselegge unterschiedliche Ergebnisse im Zerkleinerungseffekt. So vergrößert sich z.B. bei einem Anstieg der Bissenlänge von 10 auf 20 cm der GMD bei $v_U = 3,4$ m/s um 43 %, bei $v_U = 1,1$ m/s lediglich um 32 %. Dies wird ebenso im Vergleich des Steigungsmaßes (b) der zwei Geräte bei den unterschiedlichen Werkzeuggeschwindigkeiten deutlich. Dies deutet darauf hin, daß der Werkzeugumfangsgeschwindigkeit (v_U) eine wesentliche Bedeutung hinsichtlich der Zerkleinerungswirkung zukommt.

Bei der Kreiselegge ($v_U = 3,4$ m/s) fällt auf, daß mit einer weiteren Verkürzung der Bissenlänge (l_B) unter 10 cm keine wesentliche Zerkleinerung der Bodenaggregate mehr erfolgt.

Auf dem untersuchten Boden konnte somit durch eine Verringerung der Bissenlänge bei gleichbleibender Umfangsgeschwindigkeit keine wesentlich stärkere Zerkleinerung erreicht werden. Inwieweit durch eine Steigerung der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) eine weitere Bodenzerkleinerung möglich ist, wird im folgenden Teil dargestellt.

Die Zinkengeschwindigkeit (= Umfangsgeschwindigkeit v_U) liegt bei zapfwellengetriebenen Geräten im Mittel zwischen 2,0 bis 5,0 m/s. Mit besonderem Schalt- und Wechselgetriebe sind noch höhere Werte zu erreichen. Die Relativgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge schwankt jedoch, je nach Zinkenbahn, mit oder gegen die Fahrtrichtung. Dies trifft für alle rotierenden Geräte zu. Die Umfangsgeschwindigkeit sollte nach neueren Angaben 8 m/s nicht überschreiten, da sonst die Bodenstruktur zerstört wird (66). Den Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit auf die Bodenzerkleinerung bei gleichbleibender Bissenlänge zeigt die folgende Abbildung (Abb. 19).

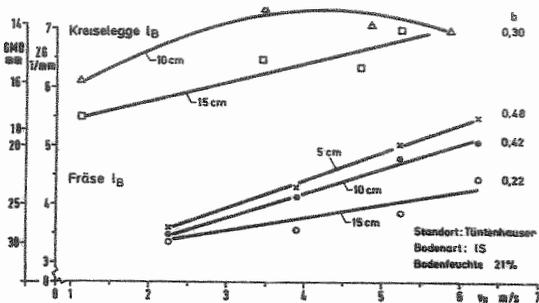


Abbildung 19: Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) bei gleicher Bissenlänge (l_B) auf die Bodenzerkleinerung

Hier soll in erster Linie dargestellt werden, welche Bedeutung der Werkzeuggeschwindigkeit im Zusammenhang mit der Bissenlänge zukommt. Der Zerkleinerungsgrad nimmt mit steigender Umfangsgeschwindigkeit (v_U) bei gleichbleibender Bissenlänge zu. Der Anstieg des Zerkleinerungseffektes der Fräse bei den verschiedenen Bissenlängen ist jedoch unterschiedlich. So ist bei 15 cm eine geringere Zunahme des Zerkleinerungsgrades festzustellen, als bei 10 cm und 5 cm Bissenlänge. Damit steigt mit kürzerer Bissenlänge der Zerkleinerungseffekt, was auch das Steigungsmaß (b) aussagt.

Während bei niedriger Umfangsgeschwindigkeit der Fräse (2,25 m/s) die Unterschiede noch sehr gering sind, werden sie mit laufender Erhöhung der Werkzeuggeschwindigkeit (v_U) immer größer. Der Anstieg der Zerkleinerungswirkung nimmt mit kürzer werdenden Bissenlängen und höherer Umfangsgeschwindigkeit überproportional zu.

Bei der Kreiselegge ist dieser Trend nicht mehr festzustellen. Bei einer Bissenlänge von 15 cm ist ein Anstieg der Zerkleinerung mit steigender Umfangsgeschwindigkeit noch vorhanden. Dagegen tritt bei einer Bissenlänge von 10 cm und einer Umfangsgeschwindigkeit von 4 m/s eine weitere Zerkleinerung nicht mehr ein. Damit bestätigt sich die Hypothese von der spezifischen Krümelgröße (20), welche unter diesen Umständen eingetreten ist. Diese besagt, daß jeder Boden die Neigung hat, vorwiegend in eine bestimmte, ihm eigene Krümelgröße zu zerfallen. Die Kreiselegge liegt bei gleicher Bissenlänge und Umfangsgeschwindigkeit beim Zerkleinerungsgrad über der Fräse. Die Kreiselegge brachte unter diesen Voraussetzungen den besseren Zerkleinerungseffekt.

Bei der Kreiselegge reicht damit eine Bissenlänge von 10 cm und eine Umfangsgeschwindigkeit um 4 m/s aus, um ein Saattbett mit einer Aggregatgröße von $GMD = 15 \text{ mm} \hat{=} \text{ etwa } Z_3$ in einem Arbeitsgang auf diesem Standort herzustellen.

Für das Erzielen einer entsprechenden Bodenzerkleinerung auf unterschiedlichen Standorten wird es deshalb erforderlich sein, ein optimales Verhältnis von Bissenlänge (l_B) und Werkzeuggeschwindigkeit (v_U) zu wählen. Hieraus ergibt sich das Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge zur Vorfahrtgeschwindigkeit (u/v).

6.1.3. Einfluß des Verhältnisses u/v

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß ein gleicher Quotient von u/v auch durch ein Konstanthalten der Umfangsgeschwindigkeit und ein Verändern der Vorfahrtgeschwindigkeit oder auch umgekehrt zu erreichen ist.

ZELNER (65) stellte Beziehungen zwischen der Umfangsgeschwindigkeit (v_U), der Vorfahrtgeschwindigkeit (v) und der Bissenlänge (l_B) auf.

Die vorliegenden Untersuchungen beschränken sich auf die Fräse und die Kreiselegge und sollen die Bedeutung der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) auf die Bodenzerkleinerung in Abhängigkeit vom Verhältnis u/v eingehender diskutieren (Abb. 20).

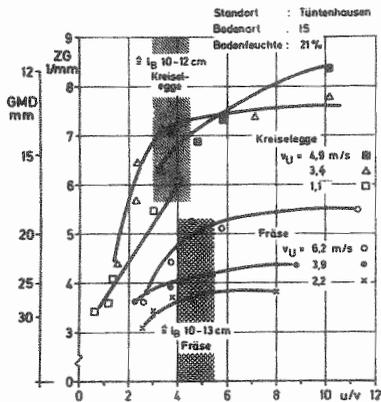


Abbildung 20: Einfluß von u/v auf die Bodenzerkleinerung bei Fräse und Kreiselegge in Abhängigkeit unterschiedlicher Werkzeug- und Umfangsgeschwindigkeiten (v_U)

Sowohl bei der Fräse als auch bei der Kreiselegge wurden drei unterschiedliche Werkzeuggeschwindigkeiten (v_U) eingehalten (bei der Fräse 2,2 / 3,9 / 6,2 m/s, bei der Kreiselegge 1,1 / 3,4 / 4,9 m/s. Man erkennt, daß bis zu einem bestimmten Verhältnis von u/v der Zerkleinerungsgrad ansteigt, bei Überschreiten der Maximalwerte jedoch keine weitere Veränderung eintritt. Trotz Steigerung des Verhältnisses von u/v tritt keine weitere Zerkleinerung mehr ein.

Ebenso wie bei allen vorhergehenden Untersuchungen ergiebt sich auch hinsichtlich des Verhältnisses von u/v eine deutliche Differenzierung zwischen den Werten der Fräse und der Kreiselegge. Der Kurvenverlauf der untersuchten Geräte liegt klar auseinander (Abb. 20).

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß unter den hier vorliegenden Standort- und Versuchsbedingungen mit der Kreiselegge bei den untersuchten Umfangsgeschwindigkeiten die beste Bodenzerkleinerung bei einem Verhältnis von u/v von 3,0 bis 4,5, sowie mit der Fräse bei einem Verhältnis von 4,0 bis 5,5 zu erzielen ist (schraffierte Bereiche). Mit einer weiteren Steigerung von u/v tritt keine merkbare Zerkleinerung mehr ein. Der Anstiegswinkel und die -höhe in der Zerkleinerungswirkung mit steigendem Verhältnis von u/v ist bei den Geräten sehr unterschiedlich.

Auch bei diesen Untersuchungen bestätigte sich, daß vor allem bei der Fräse die Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge, also derer Aufprallgeschwindigkeit auf die Bodenaggregate, eine überragende Bedeutung für die Zerkleinerungswirkung besitzt. Somit ist nicht nur das Verhältnis von u/v , bzw. die Bissenlänge (l_B), für die Zerkleinerung verantwortlich, sondern im wesentlichen die Umfangsgeschwindigkeit (v_U) der Arbeitselemente.

Diese Tendenz zeigt auch die folgende Untersuchung (Abb. 21), wo mit gleichbleibender Vorfahrtgeschwindigkeit, aber steigender Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge, bei unterschiedlicher Bodenfeuchte gearbeitet wurde.

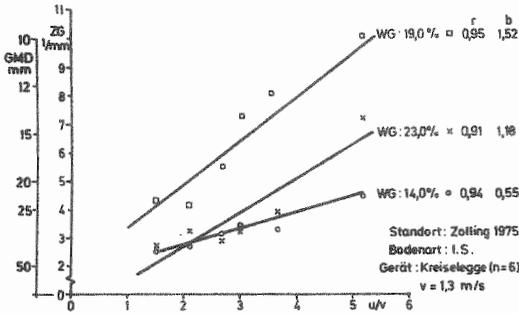


Abbildung 21: Einfluß vom Verhältnis u/v auf die Bodenzerkleinerung bei verschiedenen Bodenfeuchten

Der Einsatz der Kreislegge bei 3 verschiedenen Bodenfeuchten (14 %, 19 %, 20 % Wassergehalt) und einem ansteigenden Verhältnis von u/v bringt eine stärkere Bodenzerkleinerung mit sich. Der Anstieg der Geraden läßt erkennen, daß bei unterschiedlicher Bodenfeuchte ein unterschiedliches Steigungsmaß (b) gegeben ist. Es drückt die Bearbeitbarkeit des Bodens hinsichtlich seines Zerkleinerungsgrades bei verschiedenen Bodenfeuchten und einem steigenden Verhältnis von u/v aus.

Der Zerkleinerungserfolg ist damit von der Bodenfeuchte und dem Verhältnis von u/v abhängig. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, gerade bei ungünstigen Bodenfeuchtigkeitsverhältnissen mit hoher Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge und geringer Vorfahrtgeschwindigkeit zu arbeiten. Damit werden die bereits erwähnten Erkenntnisse nochmals unterstrichen.

6.1.4 Einfluß der Bodenart

Während in den vorhergehenden Abschnitten mehr die gerätetechnischen veränderlichen Einflußfaktoren der Bodenzerkleinerung untersucht wurden, wird im folgenden Teil auf den von der Natur gegebenen Einflußfaktor Standort, d.h. auf die Bodenart eingegangen.

Wie PUCHNER 1913 (49) und BAVER 1930 (3) feststellten, sind die Bodeneigenschaften wie Ton-, Sand- und Humusgehalt neben dem Bodenwassergehalt mit die Hauptursachen für den unterschiedlichen Zerkleinerungseffekt. Verglichen werden zwei Standorte (Roggenstein, Dürnast) mit unterschiedlicher Bodenart, auf denen seit längerer Zeit zapfwellengetriebene Bodenbearbeitungsgeräte (Fräse, Kreiselegge, Rüttelegge) eingesetzt wurden. Beide Standorte unterscheiden sich hinsichtlich dieser Merkmale deutlich (Punkt 4.2).

Auf beiden Standorten wurden die Versuche zur Herbst- und Frühjahrsbestellung immer mit gleicher Geräteeinstellung durchgeführt. Je nach dem Bearbeitungszustand des Bodens können deshalb die Herbst- und Frühjahrsuntersuchungen abweichen, gerätetechnisch jedoch waren die Standortuntersuchungen gleich.

Bei den mehrjährigen Untersuchungen an beiden Standorten zur Saatbettbereitung der angebauten Fruchtarten ergaben sich hinsichtlich der Aggregatgrößen deutliche Unterschiede (Tab. 9). Dabei zeigen die beiden Standorte bei den drei verschiedenen Bearbeitungszeitpunkten über den angegebenen Versuchszeitraum recht unterschiedliche Aggregatgrößen (GMD). So liegen auf dem Standort Roggenstein die Aggregatgrößen bei 18,2 mm, 9,6 mm, 9,1 mm und auf dem Standort Dürnast bei 24,5 mm, 11,2 mm, 10,4 mm. Daraus ergibt sich über die Jahre und verschiedenen Fruchtarten ein Mittelwert (\bar{x}), der in Roggenstein

bei 13,3 mm und in Dürnast bei 17,0 mm Aggregatgröße (GMD) liegt. Der Unterschied (3,7) in der Aggregatgröße beider Standorte bzw. Bodenarten ist signifikant ($GD_{5\%} = 0,7$).

Tabelle 9: Mehrjähriger Vergleich zweier Bodenarten hinsichtlich der Aggregatgröße (GMD) bei unterschiedlichen Bearbeitungszeitpunkten (Bestellzeitpunkt der Fruchtarten)

Grundbodenbearbeitung: Scharpflug

Standort	Winterweizen 1972 - 1976 GMD (mm)	Sommergerste 1975 - 1977 GMD (mm)	Mais 1975 - 1977 GMD (mm)	\bar{x} GMD (mm)	$GD_{5\%}$
Roggen- stein	18,2	9,6	9,1	13,3	0,7
Dürnast	24,5	11,2	10,4	17,0	
$GD_{5\%}$	1,3	1,2	1,2		

Signifikante Unterschiede sind zwischen den Aggregatgrößen (GMD) aller Fruchtarten auf beiden Standorten gegeben. Der Gewogene Mittlere Durchmesser (GMD) ist beim Winterweizen wesentlich größer, als bei der Sommergerste und beim Mais. Beim Mais ist die Differenz der Standorte bereits gering (1,3) aber noch ein signifikanter Unterschied ($GD_{5\%} = 1,2$) vorhanden. Gegenüber der Herbstbestellung (Winterweizen) wird auf beiden Standorten im Frühjahr (Sommergerste, Mais) ein etwa um die Hälfte verringerter Aggregatdurchmesser (Roggenstein 18,2 mm, 9,6 mm bzw. 9,1 mm; Dürnast 24,5 mm, 11,2 mm bzw. 10,4 mm) erreicht (Anhang S. 181, 182).

Aus diesen mehrjährigen Untersuchungen wird klar, wie groß der Einfluß der Bodenart (Standort) bei gleicher gerätetechnischer Einstellung auf den Zerkleinerungseffekt des Bodens, selbst bei unterschiedlichen Bearbeitungszeitpunkten, ist. Damit bestätigt sich die in der Praxis gemachte Erfahrung, daß auf dem sandhaltigen Aueboden in Roggenstein stets eine bessere Zerkleinerung bei den gegebenen Bestellterminen möglich war, als auf dem tonigen Lehm der Pseudogley-Ackerbraun-erde in Dürnast.

6.1.5 Einfluß der Geräte

Der Zerkleinerungseffekt des Bodens ist aber nicht nur von der Bodenart, sondern von vielen anderen Faktoren abhängig. Ein weiterer zu untersuchender Faktor ist deshalb der Einfluß der jeweiligen Gerätebauform und -funktion. In der Tabelle 10 sind je Gerät 22 Bearbeitungstermine verrechnet. Dabei gehen auf beiden untersuchten Standorten die Bodenzerkleinerungsergebnisse der Jahre 1972 - 1976 von Winterweizen (n = 5), der Jahre 1975 - 1977 von Sommergerste (n = 3) und Mais (n = 3) ein.

Tabelle 10: Einfluß der Geräte auf die Bodenzerkleinerung (GMD) bei mehrjährigen Versuchen auf zwei Standorten (Roggenstein, Dürnast)

Grundbodenbearbeitung: Scharpflug

Geräte			GD _{5%}
Kreiselegge (GMD mm)	Rütlegge (GMD mm)	Fräse (GMD mm)	
14,7	14,1	16,7	0,9

Bei diesen Untersuchungen wurde die Werkzeuggeschwindigkeit der Arbeitselemente nicht geändert. Die Vorfahrtgeschwindigkeit betrug in der Regel 1,3 m/s, bei schlechteren Bodenbedingungen 1,0 m/s. Der Geräteeffekt stellt deshalb eine Summe von Einflußfaktoren, wie des Bodenwassergehaltes, der Jahre, der Bodenart und des Bodenzustandes, dar.

Die untersuchten Geräte erzielten einen unterschiedlichen Bodenzerkleinerungseffekt: Kreiselegge GMD = 14,7 mm, Rüttelegge GMD = 14,1 mm, Fräse GMD = 16,7 mm. Die ermittelte Aggregatgröße von der Kreiselegge und der Rüttelegge läßt sich nicht statistisch absichern. Zwar ist bei der Rüttelegge eine geringere Aggregatgröße (GMD = 14,1 mm) als bei der Kreiselegge (GMD = 14,7 mm) vorhanden, aber die Grenzdifferenz liegt mit 0,9 mm über der vorhandenen Differenz von 0,6 mm. Die Fräse dagegen unterscheidet sich signifikant von den beiden Vergleichsgeräten. Ihre Zerkleinerungswirkung ist geringer, was sich durch eine größere Aggregatgröße (GMD = 16,7 mm) ausdrückt. Der Bodenzerkleinerungseffekt der Fräse ist bei allen Einsatzzeitpunkten den Vergleichsgeräten (Kreisel- und Rüttelegge) unterlegen.

Diese Ergebnisse dürfen jedoch nur unter den jeweiligen Einsatzbedingungen und vor allem den jeweiligen Werkzeuggeschwindigkeiten der Geräte (Kreiselegge $n = 242$ 1/min, Fräse $n = 225$ 1/min, Rüttelegge $v = 9$ s⁻¹) gesehen werden. Eine Verallgemeinerung des Arbeitserfolges unter gleichen Bedingungen und Voraussetzungen ist nicht möglich, da durch eine gezielte Variation der Werkzeug- und Vorfahrtgeschwindigkeit jede gewünschte Bodenzerkleinerung möglich ist (Punkt 6.1.2).

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß die Fräse bei der Oberflächenbearbeitung mit entsprechender Werkzeug- und Vorfahrtgeschwindigkeit nicht so stark zerkleinert wie die Vergleichsgeräte. Wenn aber trotzdem bei der Fräsarbeit stets

auf die Gefahren der Verschlämmung und der zu starken Bodenzerkleinerung hingewiesen wird, so ist dies in erster Linie eine Frage der Wahl von der Werkzeug- und Vorfahrtgeschwindigkeit. Die weitverbreitete Meinung einer zu starken Zerkleinerung durch die Fräsarbeit ist damit nicht gerechtfertigt.

Interessant ist der Vergleich, wie sich die jeweiligen jahreszeitlich unterschiedlichen Einsatzbedingungen während der Versuchsjahre auf den Arbeitseffekt der Geräte ausgewirkt haben. Dabei wird die Herbst- und Frühjahrsbestellung wegen der grundsätzlich verschiedenen Bodenzustände getrennt berechnet. Die Frühjahrsbearbeitung beinhaltet somit die Sommergersten- und Maisbestellung.

Die Grundlage des Gerätevergleichs bildet der Gewogene Mittlere Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate. Als Beurteilungsmaßstab für die Homogenität der Bodenzerkleinerung wird der Variationskoeffizient (VK) herangezogen (37). Dieser drückt die Auswirkungen der unterschiedlichen Bodenzustände auf die Homogenität des Zerkleinerungseffektes der untersuchten Geräte aus. Der Zerkleinerungseffekt der Geräte ist in den einzelnen Versuchsjahren und Fruchtarten sehr verschieden. So liegt die Aggregatgröße beim Winterweizen über die Jahre zwischen 14,9 mm und 38,1 mm und bei Sommergerste/Mais zwischen 4,0 mm und 20,9 mm (Tab. 11).

Der Schwankungsbereich der Aggregatgrößen bei den einzelnen Geräten über die Versuchsjahre hinweg wird durch den Variationskoeffizienten (VK) ausgedrückt. Je höher der Variationskoeffizient (VK) ist, umso stärker schwankt der Arbeitseffekt (GMD), je niedriger, desto unabhängiger zerkleinert das Gerät bei den gegebenen Einsatzbedingungen. Die unterschied-

lichen Bodenzustände, bedingt durch die jeweiligen Witterungseinflüsse, der Bodenfeuchte und der Bearbeitungszeitpunkte führen zu den verschiedenen Bearbeitungserfolgen.

Tabelle 11: Einfluß der untersuchten Geräte auf den Zerkleinerungseffekt (GMD mm) an unterschiedlichen Bearbeitungsterminen

Standort: Dürnast

Grundbodenbearbeitung: Scharpflug

Bodenart: tL

	Fruchtart					
	Winterweizen			Sommergerste/Mais		
Geräte	Rüttel- egge GMD mm	Kreisel- egge GMD mm	Fräse GMD mm	Rüttel- egge GMD mm	Kreisel- egge GMD mm	Fräse GMD mm
Jahr						
1973/74	<u>14,9</u>	23,2	25,7	10,8 13,1	10,8 12,7	20,2 14,8
1974/75	31,3	28,5	30,7	10,2 8,8	12,4 14,3	10,7 15,6
1975/76	<u>38,1</u>	32,7	32,7	5,5 <u>4,0</u>	5,5 5,9	10,3 7,5
1976/77	16,5	21,5	19,7	10,7 12,3	15,7 11,2	20,0 12,5
1977/78	25,9	24,8	27,5	14,6 9,4	18,2 12,0	<u>20,9</u> 9,5
VK	38,8	17,2	18,4	33,3	33,2	34,4

Bei der Herbstbearbeitung zerkleinert die Kreiselegge und die Fräse ziemlich unabhängig vom Bodenzustand, während der Zerkleinerungseffekt der Rüttellegge in den einzelnen Versuchsjahren stark vom jeweiligen Bodenzustand abhängt. Die rotierenden

zapfwellenangetriebenen Geräte reagieren daher auf frisch-gepflügtem Boden nicht so stark wie die Rüttelegge. Bei der Frühljahrsbestellung haben alle eingesetzten Geräte einen hohen Variationskoeffizienten (VK).

Je nach dem Witterungsablauf, der Auswirkung der Frostgare und der Aggregatstabilität kommen diese Unterschiede im Zerkleinerungseffekt zustande. Die Geräte zeigen bei diesen gegebenen Unterschieden in der Krümelbereitschaft des Bodens auch diese Differenzen im Bearbeitungseffekt.

Bei der Frühljahrsbestellung ist damit die Geräteauswahl nicht so entscheidend wie im Herbst. Die Jahreseinflüsse dominieren über den Geräteeffekt bei der Frühljahrsbestellung.

6.1.6 Einfluß der Nachlaufgeräte

Als weiteren Geräteeinfluß auf die Bodenzerkleinerung wurde die Wirkung der Nachlaufgeräte bei der Fräse und der Kreiselegge untersucht. Diese nachgeschalteten Packerwalzen oder Krümelwalzen dienen der exakten Tiefenführung der Bodenbearbeitungswerkzeuge und sollen darüberhinaus auch eine zusätzliche Zerkleinerung der Bodenaggregate und eine Wiederverfestigung der oberen Bodenschicht bewirken. Eine viel diskutierte Frage ist es, ob diese Nachlaufgeräte die Funktion der Nachzerkleinerung erfüllen können.

Aus den vielen, auf dem Markt befindlichen Varianten von Packer- bzw. Krümelwalzen, wurden zwei typische Bauarten untersucht: Packerringwalze an einer Fräse, Rundrohrwalze an einer Kreiselegge. Die beiden genannten, zapfwellenangetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte wurden sowohl mit, als auch ohne Nachlaufgeräte bei verschiedenen Werkzeuggeschwindigkeiten eingesetzt. Die Aggregatgröße schwankte dabei zwischen 6 und 30 mm.

Tabelle 12: Einfluß der Nachlaufgeräte auf die Bodenzerkleinerung

Standort: Zolling (16)

Bodenfeuchte: 18 - 22 % (Gewichts-%)

Gerät*	n	\bar{x} GMD (mm)	GD _{5%}
Fräse +	16	16,6	1,2
Fräse -	16	17,0	
Kreiselegge +	16	17,3	1,5
Kreiselegge -	16	18,5	
Fräse +, Kreiselegge +	32	17,0	1,0
Fräse -, Kreiselegge -	32	17,7	

* + mit Nachlaufgerät

- ohne Nachlaufgerät

Die Ergebnisse zeigen, daß auf lehmigem Sand bei einem Bodenwassergehalt von 18 - 22 Gewichtsprozent die verwendeten Nachlaufgeräte keinen zusätzlichen Zerkleinerungseffekt besitzen. Tendenzmäßig ist zwar bei allen Versuchen mit den Nachlaufgeräten eine etwas geringere Aggregatgröße (GMD) festzustellen, jedoch liegen die vorhandenen Unterschiede im Bereich der Grenzdifferenz.

Hieraus läßt sich ableiten, daß die Funktion dieser Nachlaufgeräte vorrangig in der Tiefenführung der Bearbeitungswerkzeuge und einer Wiederverfestigung des Bodens in den oberen Schichten, nicht jedoch in einer zusätzlichen Zerkleinerungswirkung besteht.

6.1.7 Einfluß der Grundbodenbearbeitung

Hierbei sollen die Auswirkungen der Grundbodenbearbeitung auf den Zerkleinerungseffekt der zapfwellenangetriebenen Geräte untersucht werden. Dabei werden die Varianten Scharpflug, Kreiselpflug und ohne Grundbodenbearbeitung verglichen. Beim Vergleich Schar- und Kreiselpflug wurden in Roggenstein Rüttel- und Kreiselegge, in Dürrnast Kreiselegge und Fräse untersucht (Tab. 13). In Dürrnast wurde die Fräse bei allen drei Grundbodenbearbeitungsvarianten eingesetzt (Tab. 14).

Der Kreiseloflug hinterließ nach visueller Prüfung auf beiden Standorten eine feingekrümeltere Oberfläche als der Scharpflug. Der Einfluß der beiden Pflugarten auf die Bodenzerkleinerung beim Einsatz der ausgewählten zapfwellenangetriebenen Geräte wird in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 13: Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf die Bodenzerkleinerung beim Einsatz zapfwellenangetriebener Geräte

Standort	Roggenstein		Dürrnast	
Geräte	Rüttel- und Kreiselegge		Kreiselegge und Fräse	
Grundbodenbearbeitung	Kreisel- Pflug	Schar- Pflug	Kreisel- Pflug	Schar- Pflug
GMD (mm)	13,4	12,7	17,0	17,7
GD _{5%}	0,9		0,8	

Die augenscheinlich bessere Zerkleinerung des Kreiselpfluges bei der Grundbodenbearbeitung kommt im Vergleich zum Schar-

pflug nach der Bearbeitung mit den angeführten zapfwellengetriebenen Geräten, auf beiden Standorten, nicht zum Ausdruck. Die Aggregatgröße (GMD) der Grundbodenbearbeitungsvarianten (Kreisel- und Scharpflug) errechnet sich aus den Mittelwerten der beiden Nachbearbeitungsgeräte (Rüttel- und Kreiselegge) der Versuchsjahre 1972 - 1976 bei Winterweizen und von 1975 - 1977 bei Sommergerste und Mais.

Zwischen dem Kreisel- und Scharpflug lassen sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den Zerkleinerungseffekt nach der Oberflächenbearbeitung feststellen. Die Grundbodenbearbeitung zeigt an den unterschiedlichen Standorten keinen Einfluß auf den Zerkleinerungseffekt der Geräte. Die zu erwartende höhere Zerkleinerung der eingesetzten Geräte auf den Kreiselflugparzellen traf nicht ein. Wegen der begrenzten Versuchsfläche war ein direkter Vergleich dreier gleicher Sekundärbodenbearbeitungsgeräte an beiden Standorten nicht möglich (Fräse, Kreisel- und Rüttelegge).

Ein weiterer Vergleich der Grundbodenbearbeitung läßt sich auf dem Standort Dürrnast mit der Fräse anführen. Drei verschiedene Möglichkeiten der Grundbodenbearbeitung werden dabei aufgezeigt. Tabelle 14 zeigt, daß sich über die gesamten Versuchsjahre hinweg zwischen Kreisel- und Scharpflug kein Unterschied in der Bodenzerkleinerung ergab. Dies traf auch innerhalb der einzelnen Fruchtarten zu.

Signifikante Unterschiede bestanden dagegen im Vergleich der Pflugparzellen (19,0 bzw. 18,7 mm) zu der ungepflügten Fläche (23,9 mm). Die höhere Zerkleinerung auf der gepflügten Fläche ist auf die Vorlockerung der Pflugarbeit zurückzuführen. Während sich bei der Herbstbestellung noch keine signifikanten Unterschiede in der Bodenzerkleinerung bei den Grundbodenbearbeitungsvarianten zeigten, waren sie bei der Frühjahrsbestellung besonders gravierend (Tab. 14 und Anhang S. 182, 183).

Tabelle 14: Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf den Zer-
kleinerungseffekt (GMD) einer Fräse

Standort: Dürnast

Bodenart: tL

Jahr	Frucht	Grundbodenbearbeitung		
		ohne Pflug GMD (mm)	Kreisel- pflug GMD (mm)	Schar- pflug GMD (mm)
1972 - 1977	Winterweizen	26,7	26,2	26,2
1974 - 1978	Sommergerste	23,5	15,7	16,4
1974 - 1978	Mais	20,9	13,8	12,0
\bar{x} GMD (mm)		23,9	19,0	18,7
GD _{5%}		1,2		

Die enormen Unterschiede bei der Frühjahrsbearbeitung ergaben sich aus dem höheren Wassergehalt zum Zeitpunkt der Bearbeitung und durch die Auswirkungen der Frostgare auf den Pflugparzellen (Tab. 15).

Tabelle 15: Der durchschnittliche Bodenfeuchtegehalt in Prozent (%) zum jeweiligen Bearbeitungstermin bei den verschiedenen Grundbodenbearbeitungsvarianten

Standort: Dürnast; Bodenart: tL; Gerät: Fräse

Jahr	Frucht	Grundbodenbearbeitung			
		ohne Pflug (%)	Kreisel- pflug (%)	Schar- pflug (%)	GD _{5%}
1972 - 77	Winterweizen	26,5	23,5	23,6	1,1
1974 - 78	Sommergerste	24,3	19,8	19,8	2,2
1974 - 78	Mais	19,8	15,3	15,1	1,6

Die Bodenfeuchte auf der Parzelle "ohne Pflug" war bei allen drei Bestellterminen gegenüber den Pflugparzellen eindeutig höher. Während es bei der Winterweizenbestellung etwa 3 % waren, lag die Bodenfeuchte der Parzelle "ohne Pflug" bei der Frühjahrsbestellung 4 - 5 % über den Pflugparzellen. Dies liegt im Trocknungsablauf des Bodens begründet. Die Pflugparzellen haben durch ihre rauhere Oberfläche einen besseren und rascheren Trocknungsablauf. Daher wäre man auf der "Fräsparzelle" gezwungen, länger mit der Bestellung zu warten, was aber eine Verkürzung der Vegetationszeit bedeuten würde. Besonders im Frühjahr wäre dies nicht zu vertreten. Deshalb ist die Frässaat ohne Pflug im Herbst ohne größere Nachteile durchführbar, während sie im Frühjahr aus den genannten Gründen abzulehnen ist.

6.1.8 Einfluß der Jahre bzw. des Bearbeitungszeitpunktes

Wie bereits im Kapitel 6.1.1, 6.1.4, 6.1.5 angedeutet wurde, bestehen hinsichtlich der Jahre große Unterschiede in der Krümelbereitschaft des Bodens. Dies wirkt sich am auffälligsten unter dem Einfluß der wechselnden Witterung durch Anfeuchten und Austrocknen, durch Quellen und Schrumpfen des Bodens und durch die auflockernde oder setzende Wirkung von Frost und Regen auf die Struktur des Bodens aus. Dies trifft nicht nur von Jahr zu Jahr, sondern auch innerhalb des Jahres, zu. Die Jahresunterschiede und -einflüsse auf den Zerkleinerungseffekt können je nach Witterungsverlauf sehr verschieden sein.

Bei diesem Versuch wurde die Werkzeug- und Vorfahrtgeschwindigkeit konstant gehalten. Nur bei schwierigen Verhältnissen wurde die Vorfahrtgeschwindigkeit verringert. Aber trotz kleinerer Abweichungen im Versuchsablauf sind die Auswirkungen der Jahreseinflüsse auf den Zerkleinerungseffekt gut zu erkennen (Tab. 16 und Anhang S. 181, 182).

Tabelle 16: Einfluß der Jahre auf den Zerkleinerungseffekt (GMD) der Bodenbearbeitungsgeräte

Geräte: Kreisel-, Rüttelegge, Fräse

Standort: Dürnst

Bodenart: tl

Grundbodenbearbeitung: Scharpflug

Versuchsjahre	Fruchtart		
	Winterweizen GMD (mm)	Sommergerste GMD (mm)	Mais GMD (mm)
1973/1974	21,3	13,9	13,5
1974/1975	30,2	11,1	12,9
1975/1976	34,5	7,0	5,8
1976/1977	19,2	15,5	12,0
1977/1978	26,1	17,9	10,3
GD 5%	3,6	1,9	2,1

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß die Unterschiede in der erzielten Aggregatgröße (GMD) zwischen den verschiedenen Jahren stark ausgeprägt sind. Der Einfluß der Jahre ist bei der Herbst- und Frühjahrsbestellung gleichermaßen vorhanden. Die Aggregatgrößen schwanken bei den Fruchtarten z.T. über 100 %. Generell ist festzustellen, daß bei der Bodenvorbereitung zu Winterweizen ein deutlich größeres Aggregatgemisch erzeugt wird, als bei der Saatbettbereitung zu Sommerfrüchten. Hier wird eine durchwegs geringere Aggregatgröße erreicht als bei der Winterweizenbestellung. Die Zerkleinerung nimmt beim Mais gegenüber der Gerste in fast allen Jahren noch zu. Unterschiede in der Bodenzerkleinerung sind auch bei der Maisbestellung noch vorhanden. Hier macht sich die physikalische Wirkung der Winter- und Frühjahrswitterung auf das Bodengefüge deutlich

bemerkbar. Diese Differenzen könnten durch eine gezielte Werkzeug- und Vorfahrtsgeschwindigkeit verkleinert, jedoch nicht ausgeglichen werden.

6.1.9 Einfluß der Arbeitstiefe

Ausgangspunkt dieser Untersuchungen war die Frage, ob Zusammenhänge zwischen der Arbeitstiefe und der erzielten Bodenzerkleinerung bestehen. Daß der Leistungsbedarf mit zunehmender Arbeitstiefe ansteigt, ist allgemein bekannt, daß mit zunehmender Arbeitstiefe ein etwa gleichbleibendes Krümelgemisch beibehalten wird, dagegen nicht. Bei einer tieferen Bearbeitung könnte man eine stärkere Reibung der Bodenaggregate untereinander annehmen, was schließlich zu einer besseren Zerkleinerung bei gleichen Rotor- und Vorfahrtsgeschwindigkeit führen würde.

BÜTTCHER (?) stellte fest, daß mit zunehmender Arbeitstiefe die größeren Aggregate geringfügig zu Gunsten der kleineren abnehmen. Die mittlere Fraktion (10 - 20 mm) bleibt nahezu konstant und ist bei den verschiedenen Arbeitstiefen ziemlich ausgeglichen. Die Fraktionen ≤ 10 mm nehmen dagegen mit zunehmender Arbeitstiefe leicht zu.

Bei diesen Untersuchungen ging es nicht um die Abhängigkeit der einzelnen Fraktionen, sondern um die aussagekräftigere Kenngröße GMD. Bei gleichbleibender Rotordrehzahl und Vorfahrtsgeschwindigkeit wurden die Untersuchungen bei verschiedenen Arbeitstiefen durchgeführt. Die Ergebnisse werden in der folgenden Abbildung dargestellt.

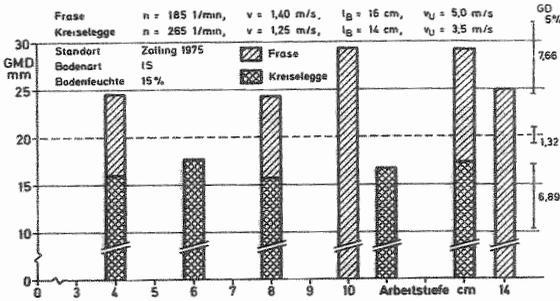


Abbildung 22: Einfluß der Arbeitstiefe auf die Aggregatgröße (GMD) bei Fräse und Kreiselegge

Nimmt man den Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) als Maß für die Aggregatgröße, so zeigt die Arbeitstiefe keinen Einfluß auf die Bodenzerkleinerung. Zwar sind geringe Abweichungen bei den einzelnen Arbeitstiefen vorhanden, aber ein signifikanter Unterschied ist bei beiden untersuchten Geräten nicht festzustellen. Die Grenzdifferenz ($GD_{5\%}$) beträgt bei der Fräse 7,66 und bei der Kreiselegge 6,89. Zwischen den Geräten besteht hinsichtlich der Aggregatgröße ein signifikanter Unterschied $GD_{5\%} = 1,32$. Erreicht die Kreiselegge eine durchschnittliche Aggregatgröße von 16,7 mm, so sind es bei der Fräse 26,4 mm (Anhang S. 184).

Ein Trend bei flacher oder tieferer Bearbeitung zu einem feineren oder gröberen Krümelgemisch läßt sich nicht feststellen, die Schwankungen innerhalb der Grenzdifferenz bei beiden Geräten sind willkürlich. Durch eine Veränderung der Bearbeitungstiefe bei sonst gleichen Voraussetzungen tritt keine zusätzliche Zerkleinerung auf.

Die Streuung der Siebanteile der Siebfractionen und die Prozentanteile von Fräse und Kreiselegge bei den verschiedenen Arbeitstiefen sind in der Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Mittelwert und Streuung der Prozentanteile der Siebfractionen

Siebfractionen (mm)	n	Geräte			
		Fräse		Kreiselegge	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s
80 - 40	5	<u>23,36</u>	4,24	6,93	1,88
40 - 20	5	<u>27,11</u>	2,99	24,91	1,44
20 - 10	5	<u>20,33</u>	3,03	24,80	0,79
10 - 5	5	10,09	<u>1,08</u>	<u>15,98</u>	1,29
5 - 2,5	5	6,95	<u>1,18</u>	<u>11,14</u>	0,69
< 2,5	5	10,16	2,03	<u>16,24</u>	0,85

Die mittleren Siebanteile (\bar{x}) der einzelnen Siebfractionen unterscheiden sich darin, daß bei der Fräse ein höherer Prozentanteil in den Fractionen 10 - 20 mm, 20 - 40 mm und 40 - 80 mm, bei der Kreiselegge dagegen in den Fractionen < 2,5 mm, 2,5 - 5 mm und 5 - 10 mm vorhanden ist. Aus dem höheren Prozentanteil der einzelnen Fractionen ergibt sich der größere bzw. kleinere Aggregatdurchmesser (GMD).

Die Siebfractionen der Kreiselegge liegen mit der Streuung (s) alle unter zwei Einheiten, während es bei der Fräse nur die Fractionen 2,5 - 5 mm und 5 - 10 mm sind. Dies spricht für die homogenere und feinere Zerkleinerung des Bodens durch die Kreiselegge, welche auf den Bewegungsablauf der Arbeitswerkzeuge im Boden zurückzuführen sind. Fräse und Kreiselegge sind hinsichtlich dieses Merkmales, wie bereits mehrmals erwähnt, verschieden.

6.1.10 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse verdeutlichen einen unterschiedlichen Einfluß der besprochenen Parameter auf die Bodenzerkleinerung. Auch ihre Gewichtung ist je nach der Fragestellung nicht gleich. Bei der Vielzahl der einwirkenden Faktoren, den betrieblichen und ökonomischen Gesichtspunkten ergibt sich bei den jeweiligen Gegebenheiten immer nur ein Kompromiß.

Der Einfluß der Bodenfeuchte auf den Zerkleinerungserfolg zeigt sich im parabolischen Kurvenverlauf. Bei den unterschiedlichen Werkzeuggeschwindigkeiten in den Versuchsjahren ist dies deutlich erkennbar. Besonders bei der höheren Werkzeuggeschwindigkeit tritt der optimale Bereich klarer hervor. Eine exakte Abgrenzung der Bodenfeuchte ist jedoch nicht möglich. Aufgrund der jeweiligen Einflußfaktoren sind Schwankungen gegeben.

Auffallend groß ist der Unterschied des Zerkleinerungseffektes in den Versuchsjahren 1975 und 1976, ebenso der des parabolischen Kurvenverlaufes. So gelangt man selbst bei gleichem Standort, gleicher Bodenart, gleicher Bodenfeuchte, gleichen Bodenbearbeitungsgeräten und Werkzeuggeschwindigkeiten von Jahr zu Jahr zu verschiedenen Ergebnissen.

Die Geräte zeigen mit steigender Werkzeuggeschwindigkeit eine zunehmende Bodenzerkleinerung. Wie aus den Untersuchungen hervorgeht, haben die Bissenlänge (l_B), die Umfangsgeschwindigkeit (v_U) und das Verhältnis von Umfangs- und Vorfahrtgeschwindigkeit (u/v) einen wesentlichen Einfluß auf den Zerkleinerungseffekt. Mit Hilfe der abbauenden multiplen Regression ABMUR (AUERNHAMMER 1976 (68)) konnten die untersuchten Gerätekenngößen analysiert werden (Tab. 18).

Tabelle 18: Der Bodenbearbeitungseffekt (ZG) in Abhängigkeit wichtiger Einflußfaktoren der Bodenzerkleinerung (statistische Kenngrößen)

Standort: Zolling

Standort: Hagenau

Bodenart: lS

Bodenart: sL

Versuchsjahr: 1975, 1976

Versuchsjahr: 1975

Geräte	Einflußfaktoren	Korrelationsanalyse			Regressionsanalyse
		$r_{\text{parti.}}$	$r_{\text{multi.}}$	t-Wert	b
Fräse (n = 68)	WG (%)	-0,067	0,055	-0,536	-0,036
	l_B (cm)	0,333	0,954	<u>2,803</u>	0,263
	v_U (m/s)	<u>0,454</u>	0,963	<u>4,039</u>	<u>1,760</u>
	u/v	0,047	0,966	0,373	0,210
Rotor- egge (n = 63)	WG (%)	-0,169	0,158	-1,306	-0,066
	l_B (cm)	0,121	0,961	0,930	0,051
	v_U (m/s)	0,021	0,988	0,160	0,076
	u/v	<u>0,174</u>	0,987	1,347	<u>0,808</u>
Kreisel- egge (n = 56)	WG (%)	-0,244	0,211	-1,795	-0,160
	l_B (cm)	0,205	0,939	1,498	0,177
	v_U (m/s)	<u>0,286</u>	0,959	<u>2,135</u>	<u>1,640</u>
	u/v	0,059	0,951	0,425	0,303
Rüttel- egge (n = 48)	WG (%)	<u>0,519</u>	0,019	<u>4,072</u>	0,147
	v (m/s)	0,111	0,019	0,750	0,132

Durch die multiple Regression kommen den untersuchten Einflußgrößen der Bodenzerkleinerung unterschiedliche Bedeutung zu. Der Bodenwassergehalt (Gewichts-%) zeigt bei allen Geräten einen geringen Einfluß, was durch die niedrigen Werte der statistischen Kenngrößen zum Ausdruck kommt. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt die Zerkleinerung ab, was durch das negative Vorzeichen ausgedrückt wird. Eine Ausnahme macht die Rüttelegge. Der geringe Zusammenhang von Bodenfeuchte und dem Zerkleinerungsgrad kann in dem parabolischen Kurvenverlauf und dem geringen Einfluß bei niedriger Werkzeuggeschwindigkeit begründet sein.

Interessanter dagegen ist der Vergleich der Einflußgrößen von Seiten der Gerätekenndaten. So hat bei der Fräse und der Kreiselegge die Umfangsgeschwindigkeit (v_U) den weitest starken Einfluß auf die Bodenzerkleinerung, was durch die partielle Korrelation ($r_{\text{parti.}}$) und den t-Wert ausgedrückt wird. Bei der Rotoregge dagegen ist es das Verhältnis von u/v , welches jedoch in seiner Korrelation und dem t-Wert niedrigere Werte aufweist. Bei der Rüttelegge hat der Wassergehalt den größten Einfluß auf die Bodenzerkleinerung, während durch die Vorfahrtgeschwindigkeit keine gezielte Steuerung des Bearbeitungseffektes möglich ist. Gibt die partielle Korrelation den einfachen Grad des Zusammenhanges des Zerkleinerungsgrades in Abhängigkeit der untersuchten Einflußgrößen an, so sagt die multiple Regression ($r_{\text{multi.}}$) über den mehrgradigen Zusammenhang der Einflußgrößen auf den Zerkleinerungsgrad (ZG) etwas aus, wenn die folgende Größe in der genannten Reihenfolge zu den vorhergehenden dazugenommen wird.

Die jeweilige Einflußstärke kommt durch die Höhe des t-Wertes zum Ausdruck. Je höher der t-Wert, desto stärker ist die Auswirkung des untersuchten Parameters auf die Bodenzerkleinerung. Liegt der t-Wert über 2,0, so besteht eine signifikante

Abhängigkeit. Die Höhe des Regressionskoeffizienten (b) gibt darüber Auskunft, um wieviel der Zerkleinerungsgrad (ZG) ab- oder zunimmt, wenn die Einflußgröße um eine Einheit steigt. Durch die Berechnung lassen sich die untersuchten Parameter auf die Bodenzerkleinerung klar erkennen und in ihrer Bedeutung einordnen.

Geht man durch diese Erkenntnisse nun davon aus, daß die Umfangsgeschwindigkeit (v_U) der Arbeitswerkzeuge bei der Fräse und der Kreiselegge den größten Einfluß auf die Bodenzerkleinerung ausübt, so muß sie auch entsprechend zum Leistungsbedarf und der jeweiligen Flächenleistung betrachtet werden. Erst durch ein vernünftiges Verhältnis von Kraftbedarf (kW), Flächenleistung (ha/Std) und erreichbarem Arbeitseffekt (ZG) ist ein optimaler und energiesparender Geräteinsatz gegeben.

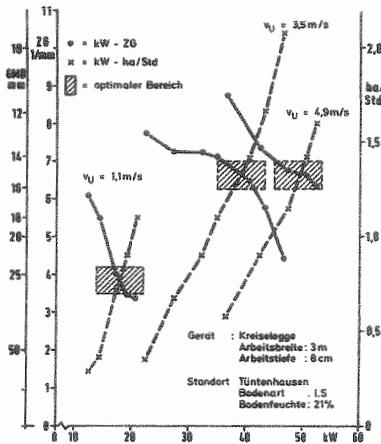


Abbildung 23: Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) auf den Arbeitseffekt (ZG) und auf die Flächenleistung (theoretisch, ha/Std) in Abhängigkeit vom Leistungsbedarf (kW)

Diese Ergebnisse bestätigen die Aussagen der vorangegangenen Untersuchungen hinsichtlich der optimalen Gerätekennwerte wie der Bissenlänge (l_B), der Vorfahrtgeschwindigkeit (v), der Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge (v_U) und des Verhältnisses von u/v .

So kommt bei der Abbildung 23 zum Ausdruck, daß bei der Kreiselegge bei der gegebenen Bodenfeuchte die Umfangsgeschwindigkeit (v_U) von 3,5 m/s den günstigsten Zerkleinerungseffekt ($ZG = 6,5$ 1/mm; $GMD = 15,4$ mm) bei einer theoretischen Flächenleistung von 1,3 ha/Std und einem relativ niedrigen Kraftbedarf (40 kW) gewährleistet (schraffierter Bereich). Der günstigste Bereich der drei genannten Faktoren liegt deshalb bei der Kreiselegge bei einer Vorfahrtgeschwindigkeit von 1,0 m/s, einer Umfangsgeschwindigkeit von 3,5 m/s, einer Bissenlänge von 12 cm und einem Verhältnis von u/v von 3,5. Dies entspricht einer Drehzahl von 242 Umdrehungen pro Minute. Wie die Abbildung 23 zeigt, erfordert dagegen eine Umfangsgeschwindigkeit von $v_U = 4,9$ m/s bei etwa gleicher Flächenleistung und gleichem Bearbeitungseffekt einen höheren Kraftbedarf (50 kW gegenüber 40 kW).

Die Umfangsgeschwindigkeit von $v_U = 1,1$ m/s bewirkt nur eine mäßige Bodenzerkleinerung ($ZG = 3,8$ 1/mm; $GMD = 26,3$ mm), bei geringer Flächenleistung (0,75 ha/Std) und niedrigen Kraftbedarf (18 kW).

Gleiche Tendenzen ergeben sich auch bei der Fräse, wo die Umfangsgeschwindigkeit mit 6,2 m/s den optimalen Bereich für die Flächenleistung und den Bearbeitungseffekt liefert. Dies entspricht einer Bissenlänge von 12 cm, einer Vorfahrtgeschwindigkeit von 1,33 m/s und einem Verhältnis von u/v von 4,66 (= 255 Umdrehungen pro Minute).

Damit werden die Aussagen von GALLWITZ (19, 20), BREITFUSS (19), BÖTTCHER (7), KALK (35) und ZELTNER (65) bestätigt, daß mit steigender Umfangsgeschwindigkeit eine stärkere Bodenzerkleinerung erreicht wird. Jedoch ist diese nach oben durch den zunehmenden Leistungsbedarf und die spezifische Krümelgröße begrenzt. KNITTEL (37) errechnete den spezifischen Zerkl€inerungsaufwand ($Z_{spez.}$), das ist die Arbeit, die erforderlich ist, um ein Bodenvolumen (Arbeitsbreite x Arbeitstiefe x Vorfahrtgeschwindigkeit) in eine bestimmte Aggregatgröße zu zerkl€inern. Auch hier wird deutlich, daß dieser ab einer bestimmten Werkzeuggeschwindigkeit zunimmt.

Der Einfluß der Standorte läßt sich aus den unterschiedlichen Bodenarten ableiten. Ebenso die Auswirkungen der verschiedenen Geräte, die im wesentlichen durch die Einstellung der Werkzeuggeschwindigkeit vorherbestimmt sind.

Hinsichtlich des Vergleiches von Schar- und Kreiselpflug ergeben sich keine Unterschiede, während auf der Parzelle ohne Grundbodenbearbeitung stets eine schlechtere Bodenzerkleinerung festzustellen ist.

Der Einfluß des jeweiligen Bodenzustandes macht sich bei den langjährigen Versuchen, bei gleicher Versuchsdurchführung und Geräteeinstellung, deutlich bemerkbar. Jahresunterschiede auf den Standorten, selbst bei gleichem Feuchtegehalt und Bearbeitungsstermin, sind stets gegeben.

Unterschiede ergeben sich bei der Herbst- und Frühjahrsbestellung, wo der Einfluß der Frostgare zur Wirkung kommt. Die mehrmaligen Schrumpfs- und Quellvorgänge wirken sich auf die Bodenzerkleinerung positiv aus. Damit ist bei garem Boden eine wesentlich stärkere Zerkl€inerung gegeben, während bei einem schlechten Bodenzustand selbst bei einer Erhöhung der Umfangs-

geschwindigkeit diese Bodenkrümelung nicht erreicht werden kann. Dies ist in erster Linie auf den Witterungsablauf während des Jahres und das Zusammenwirken der physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse im Boden zurückzuführen.

6.2. Prüfen des Arbeitseffektes mit dem Reliefmeßgerät

Das Problem der Bewertung des Arbeitseffektes von Bodenbearbeitungsgeräten ist so alt wie die Bearbeitung des Bodens. Die Güte und Qualität der Bearbeitung wird im allgemeinen nach dem Augenschein beurteilt und dabei ein Komplex von Einzelbewertungen zu einem Gesamturteil gefühlsmäßig zusammengefaßt.

Will man aber den Arbeitseffekt, soweit er in der Krümelung bzw. Zerkleinerung zum Ausdruck kommt, von verschiedenen Geräten miteinander vergleichen, so ist es zweckmäßig, sich nicht auf diese subjektive Beurteilung zu verlassen, sondern eine objektive Messung durchzuführen. Als bekannte und verwendete Methode ist die Krümel- und Schollenanalyse (48, 59) zu nennen, die auch in diesen Untersuchungen angewandt wurde. Als Maß dient der Gewogene Mittlere Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate.

Die praktische Anwendung dieser Methode ist sehr arbeitsaufwendig, z.T. aber auch problematisch. Außerdem liegen die Ergebnisse frühestens nach einer Woche vor. Daher sind schon viele Versuche unternommen worden, welche den Bearbeitungseffekt der Geräte mit ausreichender Genauigkeit schnell und sicher erfassen. Besonders KUIPERS (41, 42) arbeitete auf diesem Gebiet intensiv. Er schlug die Messung der Rauheit der Bodenoberfläche vor.

Auch amerikanische (8, 9, 57) und deutsche (53, 61, 63) Wissenschaftler befaßten sich mit diesen Möglichkeiten der Rauheitsmessung mit abgeänderten Methoden. Sie stellten mit ihren Messungen nur die Rauheit der Bodenoberfläche bzw. die Relieflinie dar. Es wurden keine Aussagen über etwaige Beziehungen zu der bereits bekannten Schollenanalyse gemacht, um so Zusammenhänge zwischen beiden Methoden herauszufinden.

Will man trotzdem eine Aussage treffen, so wird aus den genannten Kriterien der bedeutendste Arbeitseffekt untersucht und analysiert. Bei der Oberflächenbearbeitung ist der Krümelungseffekt und die Einebnung des Saatbettes in erster Linie von Bedeutung, denn sie wirken sich auf die Saatgutablage aus (Punkt 6.3).

Ziel der Reliefmessungen ist es,

- Zusammenhänge zwischen den Methoden der Schollenanalyse von PUCHNER (48) und der Oberflächenrauheit von KUIPERS (41) zu finden
- beide Methoden miteinander zu korrelieren und
- zu untersuchen, inwieweit die Methode der Rauheitserschassung der arbeitsaufwendigeren Schollenanalyse in der Beurteilung des Arbeitseffektes gleich ist.

Nach den bisherigen Kenntnissen (Punkt 5.1) eignet sich der Gewogene Mittlere Durchmesser (GMD) zur Beurteilung des Bearbeitungseffektes (32, 33, 37, 65). Da die neue Methode die bisherige ablösen soll, muß sie mit ausreichender Genauigkeit mit den bisher genannten Ergebnissen korrelieren. Außerdem soll die Arbeit mit einem geringeren Zeitaufwand zu realisieren sein. Grundlage der Untersuchungen bilden die Beziehungen zwischen der Bodenoberflächenrauheit und der Aggregatgrößenverteilung.

Die Arbeit von DITTMANN (12) zeigte gute Beziehungen zwischen der Oberflächenrauheit des Bodens und der Aggregatgrößenverteilung (GMD). Vor allem geht es in der vorliegenden Arbeit

darum,

- auf den vorhandenen Erkenntnissen aufzubauen,
- die Meßmethode zu vereinfachen,
- eine Vereinfachung und Beschleunigung des Auswertungs-
geschehens anzustreben und
- eine aussagekräftige, exakte Kenngröße einzuführen,
welche in enger Beziehung zur Aggregatgröße steht.

Von den Untersuchungen wurde eine Aussage darüber erwartet, inwieweit durch die Reliefmessungen Ungenauigkeiten entstehen, weil nur die Oberflächenrauheit gemessen wird, also die horizontale Heterogenität der Bodenaggregate, obwohl sie auch in vertikaler Richtung von Bedeutung sein kann.

6.2.1 Beziehungen der errechneten Rauheitskennziffern zum Ge- wogenen Mittleren Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate

In Ergänzung zu den Laborversuchen (12) wurden diese Untersuchungen auch auf Feldversuche ausgedehnt. Aufgabe war es, herauszufinden, ob die ermittelten Korrelationen der Kenngrößen zwischen den beiden Methoden auch unter praktischen Bedingungen gegeben sind. Dazu wurden auf zwei Standorten (Zolling, Hagenau) Feldversuche mit vier zapfwellenangetriebenen Geräten (Fräse, Rotor-, Kreisel- und Rüttelegge) durchgeführt. Durch das Variieren der Vorfahrt- bzw. Werkzeuggeschwindigkeit wurden mit jedem Gerät sechs unterschiedliche Aggregatgrößen (GMD) erzeugt. Die Spannweite reichte von etwa 10 bis 40 mm, so daß die gefundenen Zusammenhänge für diesen Bereich gültig sind. Pro Bearbeitungsvariante wurden fünf Wiederholungen mit einem Stababstand von 50 mm gemessen, verrechnet und mit der ermittelten Aggregatgröße (GMD) korreliert. Die Untersuchungen wurden auch von einem Vielfachen des Stababstandes 50 mm, also 100 und 150 mm, angestellt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 19, 20 und 21 zusammengefaßt.

Tabelle 19: Korrelation der Aggregatgröße (GMD) mit den verschiedenen Rauheitskennziffern der untersuchten Geräte auf zwei Standorten im Jahre 1975 (Stababstand = 50 mm)

Standort	Zolling				Hagenau				Beide Standorte			
	350	360	330	320	350	360	330	320	350	360	330	320
Wiederholungen	30	30	24	30	16	16	16	14	46	46	40	44
Rauheitskennziffern												
\bar{x} Diff.	0,78	0,74	0,86	0,58	0,86	0,88	0,73	0,43	0,80	0,76	0,80	0,51
s Diff.	0,77	0,70	0,83	0,43	0,84	0,83	0,76	0,27	0,75	0,72	0,79	0,40
s Res.	0,79	0,81	0,86	0,36	0,83	0,86	0,78	0,28	0,79	0,77	0,82	0,37
R	0,79	0,80	0,86	0,36	0,83	0,85	0,77	0,26	0,79	0,77	0,82	0,36
RV	0,79	0,81	0,87	0,35	0,86	0,85	0,79	0,37	0,80	0,76	0,83	0,38
DF	0,75	0,73	0,83	0,53	0,85	0,87	0,75	0,36	0,77	0,75	0,79	0,47

* 350 = Fräse
 360 = Rotoregge
 330 = Kreiselegge
 320 = Rüttelegge

Tabelle 20: Korrelation der Aggregatgröße (GMD) mit den verschiedenen Rauheitskennziffern der untersuchten Geräte auf zwei Standorten im Jahre 1975 (Stababstand = 100 mm)

Standort	Zolling				Hagenau				Beide Standorte			
	350	360	330	320	350	360	330	320	350	360	330	320
Gerät*	350	360	330	320	350	360	330	320	350	360	330	320
Wiederholungen	30	30	24	30	16	16	16	14	46	46	40	44
Rauheitskennziffern												
\bar{x} Diff.	0,77	0,68	0,75	0,41	0,69	0,84	0,78	0,41	0,74	0,66	0,76	0,42
s_{Diff}	0,64	0,53	0,78	0,34	0,51	0,76	0,76	0,45	0,72	0,54	0,75	0,38
s_{Res}	0,76	0,64	0,86	0,32	0,69	0,82	0,75	0,45	0,73	0,59	0,81	0,37
R	0,77	0,64	0,86	0,33	0,69	0,82	0,75	0,46	0,74	0,59	0,81	0,38
RV	0,77	0,67	0,85	0,27	0,71	0,80	0,74	0,44	0,74	0,61	0,81	0,33
OF	0,73	0,69	0,77	0,38	0,60	0,85	0,75	0,38	0,68	0,67	0,76	0,40

* 350 = Fräse
 360 = Rotoregge
 330 = Kreiselegge
 320 = Rüttelegge

Tabelle 21: Korrelation der Aggregatgröße (GMD) mit den verschiedenen Rauheitskennziffern der untersuchten Geräte auf zwei Standorten im Jahre 1975 (Stababstand = 150 mm)

Standort	Zolling				Hagenau				Beide Standorte			
	350	360	330	320	350	360	330	320	350	360	330	320
Wiederholungen	30	30	24	30	16	16	16	14	46	46	40	44
Rauheitskennziffern												
$\bar{x}_{\text{Diff.}}$	0,82	0,69	0,74	0,24	0,74	0,75	0,57	0,11	0,79	0,70	0,67	0,25
$s_{\text{Diff.}}$	0,73	0,60	0,75	0,23	0,69	0,73	0,47	0,26	0,72	0,57	0,63	0,16
$s_{\text{Res.}}$	0,83	0,63	0,78	0,13	0,64	0,82	0,61	0,11	0,77	0,61	0,72	0,15
R	0,83	0,63	0,78	0,13	0,64	0,82	0,61	0,10	0,77	0,61	0,72	0,15
RV	0,84	0,64	0,77	0,16	0,64	0,82	0,61	0,22	0,78	0,61	0,72	0,19
OF	0,79	0,72	0,74	0,25	0,64	0,80	0,54	0,09	0,74	0,72	0,65	0,21

* 350 = Fräse
 360 = Rotoregge
 330 = Kreiselegge
 320 = Rüttelegge

Die gefundenen Beziehungen, welche durch den Korrelationskoeffizienten (r) ausgedrückt sind, schwanken hinsichtlich Gerät, Standort und Stababstand unterschiedlich stark. Wie aus den Tabellen (19, 20, 21) zu entnehmen ist, ist kein eindeutiger und vor allem hoher Korrelationskoeffizient (r) bei allen Varianten gegeben. Der Trend, wie er schon bei den Laborversuchen festgestellt wurde, daß der engere Stababstand (50 mm) die höchsten Beziehungen zur Aggregatgröße hat, ist hier ebenfalls vorhanden. Dennoch fällt er nicht so deutlich aus, wie zu erwarten war.

Während bei der Fräse (350), der Kreiselegge (330) und der Rotoregge (360) der Korrelationskoeffizient (r) um 0,8 liegt, ist er bei der Rüttelegge (320) auffallend geringer (Tab. 19, 20, 21). Diese Tendenz ergibt sich an beiden Standorten und bei allen errechneten Stababständen.

Es ist anzunehmen, daß die Ursache in einer anderen Bauweise des Nachlaufgerätes (Packerwalze) liegt. Diese wirkt sich verändernd auf die Oberflächenrauheit und damit auf den Grad des Zusammenhanges mit der Aggregatgröße aus. Fräse, Rotoregge und Kreiselegge haben eine offene Walze, während die Walze bei der Rüttelegge eine geschlossene Form hat. Die Nachlaufgeräte sind je nach Fabrikat und Ausführung unterschiedlich. Sie gehören als Standardausrüstung zu jedem Gerät.

Die untersuchten Geräte zeigen auf den verschiedenen Standorten zwar unterschiedlich hohe Korrelationen, jedoch sind die Abweichungen unwesentlich. Auch ist der Unterschied der einzelnen Rauheitskenngrößen in ihrer Beziehung zur Aggregatgröße gering, so daß alle für eine Aussage geeignet erscheinen. Bevorzugt werden die einfachen, leicht vorstellbaren Kenngrößen, wie die mittlere Differenz ($\bar{x}_{\text{Diff.}}$), die Rauheit (R) und die Oberflächenvergrößerung (OF).

Da diese Zusammenhänge der Aggregatgröße mit den Messungen der Oberflächenrauheit bei den Feldversuchen richtungsweisend waren, ging man dazu über, den Ablesevorgang zu ändern. Ziel der Arbeit war daher, das zeitraubende Ablesen der einzelnen Stabhöhen und die folgenden Rechenvorgänge zu umgehen und zu vereinfachen.

Nach DITTMANN (12) konnte man davon ausgehen, daß die gemessenen Differenzen auch durch den Verlauf eines Polygons ermittelt werden können. Vertiefungen wie auch Erhebungen der Bodenoberfläche lassen die Meßstrecke (Polygon) länger werden. Dazu wird eine nicht dehbare Schnur am ersten Stab festgebunden, durch die Ösen der folgenden hintereinandergereihten Stäbe leicht beweglich gezogen und am Ende mit der angebrachten Meßskala, welche stets die Höhe des letzten Stabes einnimmt, die Länge des Polygons in Millimeter feststellt. Das Polygon der einzelnen verbundenen Stäbe beschreibt somit das Bodenrelief. Je unebener und rauher die Bodenoberfläche, je heterogener das Bodenrelief, je größer die Abweichung von der Ebene, desto länger ist das Polygon und umso höher ist der Schnurverbrauch. Durch diese Methode werden umfangreiche Rechenvorgänge vermieden, weil pro Messung nur mehr die Länge des Polygons (mm) festgehalten und aus der notwendigen Anzahl der Wiederholungen das arithmetische Mittel (\bar{x}) gebildet wird. Sofort nach der Durchführung der Messungen stehen die Ergebnisse zur Verfügung. Der Arbeitsaufwand pro Messung beträgt etwa 30 Sekunden.

Wie die abgelesene Länge des Polygons (RM in mm) mit den errechneten Rauheitskennziffern aus den abgelesenen Stabhöhen korreliert, zeigt die folgende Tabelle. Die gemessenen Aggregatgrößen liegen im Bereich von 6 - 30 mm.

Tabelle 22: Korrelation der errechneten Rauheitskennziffern mit dem Rauheitsmaß (RM = Polygonlänge in mm) bei verschiedenen Stababständen (n = 155)

Rauheitskennziffer	Korrelationskoeffizient (r) bei Stababstand		
	25 mm	50 mm	100 mm
$\bar{x}_{\text{Diff.}}$	<u>0,92</u>	<u>0,91</u>	0,83
$s_{\text{Diff.}}$	0,80	0,81	0,75
$s_{\text{Res.}}$	0,80	0,81	0,75
R	0,74	0,80	0,70
RV	0,76	0,79	0,75
OF	<u>0,90</u>	<u>0,91</u>	0,82

Während die Abstände von 25 und 50 mm in ihren Beziehungen zum Rauheitsmaß (RM) ziemlich gleich hoch sind, fällt die Korrelation bei 100 mm Stababstand ab. Die engsten Zusammenhänge liegen bei $\bar{x}_{\text{Diff.}}$ und OF vor. Damit ist die mittlere Differenz ($\bar{x}_{\text{Diff.}}$) eine Rauheitskenngröße, welche gut mit der Aggregatgröße (GMD) (Tabelle 19, 20, 21) und auch gut mit dem Rauheitsmaß (RM) korreliert.

Daher ist RM eine Kenngröße, welche leicht und schnell meßbar ist und außerdem mit der Aggregatgröße (GMD) eine enge Beziehung hat. Entscheidend ist der Zusammenhang zwischen beiden Methoden. Erst dadurch kann die Schollenanalyse durch die Rauheitsmessung ersetzt und Rückschlüsse von der Oberflächenrauheit auf die Aggregatgrößenverteilung gezogen werden.

Um diese Zusammenhänge genauer zu untersuchen, wurden bei den Versuchen Standort Zolling im Jahre 1976 ab der zweiten Versuchsvariation nur mehr die genannten Rauheitsmessungen (RM) neben der Schollenanalyse durchgeführt. Diese Ergebnisse erklären, inwieweit Rückschlüsse von der Oberflächenrauheit auf den Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate gegeben sind und welche Einflußfaktoren störend auf die Beziehung wirken. Die Korrelation der Krümelgrößen bei den jeweiligen Geräten und Bearbeitungsterminen zeigen mit dem Rauheitsmaß (RM) gute Zusammenhänge. Besonders die geringen Stababstände 25 mm und 50 mm. Der Korrelationskoeffizient (r) liegt dabei meist über 0,9. Nur bei wenigen Versuchsanstellungen weist der Stababstand 100 mm eine höhere Korrelation auf.

Tabelle 23 a: Korrelation der Krümelgröße (GMD) mit dem Rauheitsmaß (RM)

Versuch	Gerät*	n	Stababstand (mm)		
			25	50	100
Zolling (1) 23.08.1976 WG* 16,2 %	Alle	15	0,80	0,58	0,31
	351-5	5	0,90	0,87	0,77
	331-5	5	0,99	0,93	0,46
	361-5	5	0,98	0,89	0,72
Zolling (2) 26.08.1976 WG* 14,0 %	Alle	15	0,71	0,73	0,62
	351-5	5	0,94	0,94	0,98
	331-5	5	0,92	0,69	0,53
	361-5	5	0,87	0,88	0,74
Zolling (3) 07.09.1976 WG* 22,1 %	Alle	25	0,77	0,72	0,60
	351-5 \pm	10	0,90	0,88	0,73
	351-5 +	5	0,92	0,90	0,94
	351-5 -	5	0,96	0,96	0,89
	331-5 \pm	10	0,86	0,84	0,68
	331-5 +	5	0,96	0,98	0,79
	331-5 -	5	0,83	0,79	0,65
	361-5	5	0,92	0,85	0,96
Zolling (4) 09.09.1976 WG* 21,1 %	Alle	25	0,93	0,91	0,87
	351-5 \pm	10	0,94	0,91	0,91
	351-5 +	5	0,96	0,93	0,88
	351-5 -	5	0,92	0,91	0,97

Tabelle 23 b: Korrelation der Krümelgröße (GMD) mit dem Rauheitsmaß (RM)

Versuch	Geräte*	n	Stababstand (mm)		
			25	50	100
Zolling (4) 09.09.1976 WG* 21,1 %	331-5 +	10	0,86	0,83	0,84
	331-5 +	5	0,98	0,90	0,91
	331-5 -	5	0,96	0,83	0,92
	361-5	5	0,96	0,96	0,82
Zolling (5) 13.09.1976 WG* 18,2 %	Alle	24	0,87	0,86	0,82
	351-6 +	12	0,97	0,96	0,88
	351-6 +	6	0,98	0,96	0,81
	351-6 -	6	0,97	0,96	0,97
	331-6 +	12	0,90	0,72	0,73
	331-6 +	6	0,92	0,92	0,85
	331-6 -	6	0,85	0,45	0,51
Zolling (6) 15.09.1976 WG* 22,2 %	Alle	15	0,81	0,77	0,60
	351-5	5	0,94	0,91	0,95
	331-5	5	0,90	0,93	0,84
	361-5	5	0,63	0,33	0,36
Zolling 1-6	Alle	119	0,67	<u>0,72</u>	0,60
Zolling 1-6	Fräse	47	<u>0,79</u>	0,79	0,64
Zolling 1-6	Kreisel- egge	47	0,61	0,71	0,64
Zolling 1-6	Zinken- rotor	25	0,61	0,72	<u>0,60</u>

* 330 Kreiselegge (1 - 6 Werkzeuggeschwindigkeit)
 350 Fräse (1 - 6 Werkzeuggeschwindigkeit)
 360 Zinkenrotor (1 - 5 Werkzeuggeschwindigkeit)

+ = mit Nachlaufgerät
 - = ohne Nachlaufgerät
 * = Wassergehalt

wie die Tabellen 23 a und 23 b zeigen, bestanden erhebliche Einwirkungen der Geräte und Bearbeitungstermine auf die Zusammenhänge beider Methoden. Bei allen Versuchen ist ein geringerer Korrelationskoeffizient (r) vorhanden, wenn sämtliche Geräte an einem Bearbeitungstermin verrechnet werden und er wird noch geringer, wenn die Ergebnisse aller Geräte und Bearbeitungstermine beider Methoden korreliert werden (Zolling 1 - 6). Bei dem Stababstand 50 mm beträgt der Korrelationskoeffizient (r) nur noch 0,72. Genauso verhält es sich bei den untersuchten Geräten über den gesamten Bearbeitungszeitraum (Zolling 1 - 6), wo der Korrelationskoeffizient (r) bei allen Stababständen zwischen 0,79 und 0,60 liegt.

Aussagen über den Zusammenhang beider Methoden ergeben sich auch aus den Regressionsansätzen durch das Steigungsmaß (b) und dem Absolutglied (a). Das Steigungsmaß (b) gibt an, um wieviel Einheiten die Aggregatgröße (GMD) steigt, wenn das Rauheitsmaß (RM) um eine Einheit zunimmt. Durch die geringe Anzahl der Gerätevariationen an den jeweiligen Bearbeitungsterminen läßt sich keine statistische Aussage treffen.

Es soll in dieser Arbeit untersucht werden, ob sich aus den Einflußgrößen (Bearbeitungstermine, Bodenfeuchte, Geräte, Nachlaufgeräte) ein Trend erkennen läßt, welcher auf die beiden angewandten Methoden eine Aussage zuläßt. Daher wurden die statistischen Kenngrößen (Absolutglied a , Steigungsmaß b) für alle Geräte, Bearbeitungstermine und Stababstände berechnet. Diese sind in den folgenden Tabellen zusammengefaßt (Tab. 24 a, 24 b).

Tabelle 24 a: Absolutglied (a) und Steigungsmaß (b) der Aggregatgröße (GMD = y) in Abhängigkeit vom Rauheitsmaß (RM = x) bei verschiedenen Stababständen

Versuch	Geräte*	n	Stababstand (mm)					
			25		50		100	
			a	b	a	b	a	b
Zolling (1) Bodenwas- sergehalt 16,2 %	ALLE	15	4,06	0,82	5,84	1,35	10,68	1,39
	351-5	5	3,34	0,91	4,10	1,60	2,31	4,35
	331-5	5	-0,80	0,88	0,61	1,57	8,32	0,91
	361-5	5	3,17	1,21	7,37	1,77	10,77	3,08
Zolling (2) Bodenwas- sergehalt 14,0 %	ALLE	15	0,85	1,53	5,22	2,28	7,13	5,11
	351-5	5	0,31	1,64	6,30	2,41	6,71	5,85
	331-5	5	0,99	1,70	-1,55	3,44	9,31	3,29
	361-5	5	-3,87	2,05	-1,54	3,44	2,65	7,53
Zolling (3) Bodenwas- sergehalt 22,1 %	ALLE	25	1,60	1,43	3,77	2,24	5,97	4,39
	351-5 ±	10	3,62	1,60	3,52	3,20	8,63	4,45
	351-5 +	5	1,88	1,92	3,38	3,48	3,88	8,70
	351-5 -	5	5,17	1,34	3,18	3,06	7,42	4,22
	331-5 ±	10	-1,14	1,41	0,70	2,21	0,90	5,13
	331-5 +	5	-7,02	2,03	-3,32	2,90	-1,68	6,11
	331-5 -	5	1,24	1,15	2,68	1,86	2,19	4,68
	361-5	5	-0,30	1,51	2,64	2,22	3,26	7,11
Zolling (4) Bodenwas- sergehalt 21,1 %	ALLE	25	5,42	1,31	7,44	2,07	10,11	4,09
	351-5 ±	10	6,22	1,18	7,27	1,98	7,12	4,92
	351-5 +	5	5,00	1,25	5,71	2,34	8,26	4,67
	351-5 -	5	7,36	1,10	8,53	1,70	5,08	5,55
	331-5 ±	10	-0,58	1,74	10,15	1,76	13,19	3,20
	331-5 +	5	2,97	1,54	9,4	2,00	11,89	4,20
	331-5 -	5	2,65	1,15	5,74	2,17	6,04	4,71
	361-5	5	6,30	1,31	5,46	2,48	14,26	3,24

Tabelle 24 b: Absolutglied (a) und Steigungsmaß (b) der Aggregatgröße (GMD = y) in Abhängigkeit vom Rauheitsmaß (RM = x) bei verschiedenen Stababständen

Versuch	Geräte*	n	Stababstand (mm)					
			25		50		100	
			a	b	a	b	a	b
Zolling (5) Bodenwas- sergehalt 18,2 %	ALLE	24	<u>5,88</u>	<u>1,37</u>	<u>6,98</u>	<u>2,21</u>	<u>8,12</u>	<u>4,79</u>
	351-6 ±	12	<u>5,43</u>	<u>1,35</u>	<u>5,98</u>	<u>2,41</u>	<u>7,35</u>	<u>4,95</u>
	351-6 +	6	<u>5,60</u>	<u>1,28</u>	<u>5,98</u>	<u>2,43</u>	<u>7,91</u>	<u>5,26</u>
	351-6 -	6	5,14	1,43	<u>5,97</u>	<u>2,40</u>	5,76	<u>5,23</u>
	331-6 ±	12	6,51	<u>1,36</u>	8,41	1,95	9,26	4,47
	331-6 +	6	3,35	1,45	6,43	2,00	9,59	4,17
	331-6 -		-2,91	2,93	2,74	3,66	<u>7,80</u>	5,32
Zolling (6) Bodenwas- sergehalt 22,2 %	ALLE	15	11,79	1,17	12,62	1,76	16,96	2,68
	351-5	5	12,77	1,27	14,00	1,87	12,15	7,87
	331-5	5	6,93	1,39	6,28	2,40	6,81	5,20
	361-5	5	8,43	1,65	16,35	1,21	18,05	3,00
Zolling (1-6)	ALLE	119	6,98	1,06	7,01	1,96	10,00	3,56
Zolling (1-6)	Fräse	47	7,80	<u>1,04</u>	8,26	<u>1,90</u>	10,12	<u>3,68</u>
Zolling (1-6)	Kreisel- egge	47	4,93	<u>1,15</u>	4,41	2,17	7,27	<u>4,06</u>
Zolling (1-6)	Zinken- rotor	25	7,08	1,13	5,54	<u>2,34</u>	11,70	3,79

* 330 Kreiselegge (1 - 6 Werkzeuggeschwindigkeit)
 350 Fräse (1 - 6 Werkzeuggeschwindigkeit)
 360 Zinkenrotor (1 - 5 Werkzeuggeschwindigkeit)

+ = mit Nachlaufgerät
 - = ohne Nachlaufgerät

Wie aus diesen Tabellen ersichtlich ist, ergeben sich keine aussagekräftigen Werte für das Steigungsmaß (b) und das Absolutglied (a) der Aggregatgrößen (GMD) in Abhängigkeit vom Rauheitsmaß (RM) bei den gemessenen Stababständen. Die Werte schwanken je nach Geräten und Bearbeitungsterminen ganz willkürlich, ohne daß dabei ein gewisser Trend erkennbar ist. Dies trifft insbesondere für das Absolutglied (a) zu. Das Steigungsmaß (b) ist dagegen in seiner Aussage eindeutiger. Hier sind klare Bereiche bei den vorhandenen Stababständen zu erkennen. Während es beim Stababstand 25 mm um 1,04 - 1,15 Einheiten liegt, bewegt es sich beim Stababstand 50 mm bei 1,90 - 2,34 und beim Stababstand 100 mm um 3,68 - 4,06 Einheiten. Eine Systematisierung nach Geräten, Bodenfeuchte und Nachlaufgeräten ist nicht möglich.

Bei den größeren Stababständen war mit diesen Ergebnissen zu rechnen, weil die schlechtere Beziehung zur Krümelgröße auch bei den vorhergehenden Untersuchungen festgestellt worden war. Die großen Schwankungen haben sich jedoch auch beim Stababstand von 25 mm ergeben, was die Aussagekraft dieser Methode mindert. Denn für jedes Gerät hat sich bei den verschiedenen Bodenfeuchten und Nachlaufgeräten ein unterschiedlicher Wert errechnet. Nur bei der Fräse (Zolling 5) ergeben sich einheitlichere Werte (Unterstrichene Werte in Tabelle 24 b). Das Absolutglied (a) und das Steigungsmaß (b) schwanken etwa um 10 %.

6.7.2 Einfluß des Bodenwassergehaltes auf die Rauheitsmessungen

Um die Ursachen der großen Schwankungen eingehender zu durchleuchten, wird auf den Einfluß der Bodenfeuchte auf die Rauheitsmessungen im folgenden eingegangen. Der Bodenwassergehalt ist mitbestimmend für den Zerkleinerungs-, Lockerungs- und Rückverfestigungseffekt des bearbeiteten Bodens. Somit

wird die Oberflächenrauheit durch den jeweiligen Bodenzustand und die Aggregatstabilisierung geprägt. Dadurch ergeben sich bei gleicher Aggregatgröße (GMD) unterschiedliche Rauheitsmaße. Bei trockenem Boden ist die Stabilität der an der Oberfläche liegenden Bodenaggregate wesentlich höher. Dadurch wird die Oberflächenkontur in den Ausmaßen exakter durch die Rauheitsmessung erfaßt. Bei einem feuchten Boden dagegen kann die Oberflächenrauheit nicht so genau erfaßt werden, weil die Konturen durch die höhere Elastizität und Plastizität der Bodenkrümel nicht so exakt abgetastet werden können.

Ebenso ist die Einsinktiefe der Stäbe bei den Rauheitsmessungen des frisch bearbeiteten Bodens von größerer Bedeutung. Das Absolutglied (a) sagt aber bei diesen Untersuchungen keinen eindeutigen Trend aus, sondern es schwankt recht willkürlich bei den untersuchten Geräten und den verschiedenen Bodenwassergehalten. Ein Zusammenhang zwischen den genannten Faktoren ist nicht erkennbar. Auch geht daraus keine unterschiedliche Verfestigungswirkung der Nachlaufgeräte hervor.

Der Vergleich zweier Feuchtestufen bringt die Beziehungen der genannten Faktoren in der Abbildung 24 deutlicher zum Ausdruck.

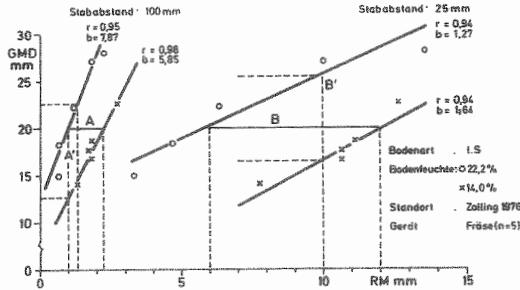


Abbildung 24: Abhängigkeit des Rauheitsmaßes (RM) von der Aggregatgröße (GMD) bei unterschiedlichem Bodenwassergehalt und verschiedenem Stababstand

Um den Einfluß der Bodenfeuchte auf die Reliefmessungen zu zeigen, sind extreme Bodenwassergehalte (14,0 % und 22,2 %) und Stababstände (25 mm und 100 mm) dargestellt. Dadurch sind deutliche Unterschiede bei den Stababständen (25 mm, 100 mm) und bei den Bodenfeuchten (14,0 %, 22,2 %) gegeben. Während beim Stababstand 25 mm ein klarer Unterschied zwischen den untersuchten Bodenwassergehalten vorhanden ist, ist dies beim Stababstand 100 mm nicht so deutlich. Beide Geraden sind zwar noch getrennt, aber sie liegen näher beieinander und der gemessene Rauheitsbereich erstreckt sich nur über etwa zwei Einheiten. So ergibt sich eine Aggregatgröße von 20 mm mit $RM = 1,0$ mm bei 22,2 % Bodenfeuchte und $RM = 2,3$ mm bei 14,0 % Bodenfeuchte (Gerade A).

Die gleiche Aggregatgröße ($GMD = 20$ mm) ergibt sich beim Stababstand von 25 mm mit $RM = 6,0$ mm bei 22,2 % und $RM = 12,0$ mm

bei 14,0 % Bodenfeuchte (Gerade B). Dies bedeutet bei gleicher Aggregatgröße (GMD = 20 mm) beim Stababstand 25 mm, daß bei trockenem Boden (14,0 %) das Rauheitsmaß doppelt so hoch ist wie beim feuchten Boden (22,2 %).

Geht man vom Rauheitsmaß $RM = 10$ mm aus, so lassen sich auch unterschiedliche Aggregatgrößen bei den untersuchten Feuchtebereichen und beim Stababstand von 25 mm feststellen (Gerade B'). So ergibt sich bei 14,0 % Bodenfeuchte ein GMD von 16,5 mm und bei 22,2 % ein GMD von 25,5 mm. Ähnliche Abweichungen ergeben sich auch beim Stababstand 100 mm bei dem $RM = 1,3$ mm (Gerade A').

Beim Stababstand (25 mm) ist der Bereich des Rauheitsmaßes (RM) wesentlich breiter (etwa 3 - 14 mm) und deshalb die Genauigkeit, auf die Aggregatgröße (GMD) zu schließen, exakter. Dies spricht für den geringeren Stababstand von 25 mm. Steigt das Rauheitsmaß (RM) z.B. um eine Einheit an, so nimmt der GMD beim Stababstand von 100 mm um 5,85 mm (bei 14,0 %) bzw. 7,87 mm (bei 22,2 %) zu, während er beim Stababstand von 25 mm um 1,64 mm (bei 14,0 %) bzw. 1,27 mm (bei 22,2 % Bodenfeuchte) steigt. Somit läßt sich die Aggregatgröße (GMD) mit dem geringeren Stababstand von 25 mm genauer erfassen.

Es müßte daher für jeden Bodenfeuchtegehalt jeweils eine GMD-Eichkurve erstellt werden. Mit Hilfe eines Umrechnungsfaktors könnte man die ermittelten Ergebnisse der Reliefmessungen durch Berücksichtigung der GMD-Eichkurve auf die Aggregatgröße (GMD) umrechnen.

6.2.3 Einfluß der Geräte

Hinsichtlich der Korrelation mit der Aggregatgröße kann man keinen spezifischen Einfluß der Geräte auf die Oberflächenrauheit feststellen. Lediglich die Rüttelegge macht eine Ausnahme, weil durch die Packerwalze die Bodenoberfläche wesentlich in seiner Form verändert wird, Kreiselegge, Fräse und Rotoregge dagegen sind in der Ausformung der Bodenoberfläche ziemlich gleich, was die Beziehungen in den Tabellen 19, 20, 21 zum Ausdruck bringen. Eine Auswirkung der genannten Bestellgeräte auf eine spezifische Ausformung der Bodenoberfläche ist dabei nicht festzustellen. Auch die Tabellen 24 a, 24 b mit dem Absolutglied (a) und dem Steigungsmaß (b) bestätigen diese Aussage.

Ein Einfluß der Bestellgeräte auf die Oberflächenrauheit, ausschließlich eines speziellen Nachlaufgerätes, können durch die unterschiedlichen Werkzeugformen, die Wirkungsweise und den Bewegungsbahnen der Werkzeuge im Boden verursacht werden, insbesondere hinsichtlich der Aggregatzusammensetzung in dem bearbeiteten Krumenhorizont. Einigen Geräten sagt man einen spezifischen Aufbau des Saathorizontes nach (37).

Mit dem Reliefmeßgerät wird nun die Oberflächenbeschaffenheit und -ausformung, also die horizontale Heterogenität der Bodenaggregate, abgetastet und erfaßt. Bei dem Gerätevergleich von Fräse, Kreiselegge und Rotoregge mit den geräteüblichen Nachlaufgeräten läßt sich kein wesentlicher Unterschied in der Oberflächenrauheit in Abhängigkeit von der Aggregatgröße (GMD) feststellen.

Dies ist auch aus der Abbildung 25 zu erkennen.

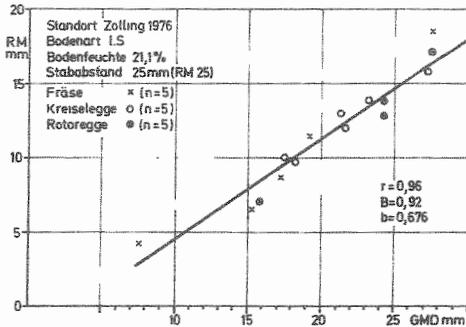


Abbildung 25: Beziehung zwischen dem Rauheitsmaß (RM 25) und der Krümelgröße (GMD)

Die Beziehungen zwischen den Aggregatgrößen (GMD) und dem Rauheitsmaß (RM) sind bei den drei Geräten (Fräse, Rotoregge, Kreiselegge) sehr hoch ($r = 0,96$). Ein Geräteeinfluß auf die Oberflächenrauheit kann deshalb nicht festgestellt werden. Dies bestätigen die Versuche bei den übrigen Bearbeitungsterminen ebenfalls. An einem einzelnen Bearbeitungstermin liegen die Beziehungen der beiden Kenngrößen immer höher, als wenn alle Bearbeitungstermine zusammen verrechnet werden (Tab. 23 a, 23 b).

6.2.4 Einfluß der Nachlaufgeräte

Wie im Punkt 6.1.6 festgestellt wurde, haben die Standardnachlaufgeräte der eingesetzten Geräte keine Auswirkung auf den Zerkleinerungseffekt gezeigt. In diesem Abschnitt soll untersucht werden, ob ein Einfluß auf die Bodenoberflächenrauheit durch die jeweiligen Nachlaufgeräte ausgeübt wird.

Mit dem Rauheitsmeßgerät können etwaige spezifische Ausformungen der Bodenoberfläche gemessen werden, die nur das jeweilige Gerät hinterläßt. Daher wurden die Auswirkungen auf die Rauheit der Bodenoberfläche bei der Fräse und der Kreiselegge untersucht.

Tabelle 25: Einfluß der Nachlaufgeräte auf die Bodenoberflächenrauheit (RM)

Standort: Zolling (15)

Bodenfeuchte: 18,0 - 22,2 % (Gewichts-%)

Gerät*	n	Rauheitsmaß (RM)					
		RM 25 (mm)	GD _{5%}	RM 50 (mm)	GD _{5%}	RM 100 (mm)	GD _{5%}
Fräse -	16	84,3	7,3	42,8	5,0	15,9	2,7*
Fräse -	16	86,5		47,7		21,9	
Kreiselegge +	16	<u>105,3</u>	7,9	57,8	5,5	23,0	3,2*
Kreiselegge -	16	<u>103,7</u>		58,7		26,6	
Fräse -, Kreiselegge +	32	94,8	5,3	50,3	3,7	19,5	2,1*
Fräse -, Kreiselegge -	32	95,1		53,2		24,2	

* + mit Nachlaufgerät
- ohne Nachlaufgerät

* signifikanter Unterschied

Die Nachlaufgeräte der beiden zapfwellenangetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte haben bei den jeweils 16 Bodenbearbeitungsvarianten keinen Einfluß auf die Ausformung der Bodenoberfläche. Ein signifikanter Unterschied ist bei den Stababständen von 25 und 50 mm nicht vorhanden. Beim Stababstand 100 mm ist ein signifikanter Unterschied (*) gegeben, dem jedoch durch die Feststellung im Punkt 6.2.1 keine Bedeutung zukommt. Bei fast allen Untersuchungen ist die Oberflächenrauheit mit einem Nachlaufgerät etwas geringer. Ausnahme bildet die Kreiselegge beim RM 25.

Die Tendenz für die geringere, aber nicht statistisch abgesicherte Oberflächenrauheit könnte von der etwas besseren Zerkleinerung, wie es sich bereits im Punkt 6.1.6 (Tab. 12) zeigte, begründet sein. Da es sich um statistisch nicht abgesicherte Ergebnisse handelt, können diese Faktoren nur als Hinweise auf die möglichen Ursachen der geringeren Oberflächenrauheit gewertet werden.

6.2.5 Veränderungen der Bodenoberflächenrauheit im Laufe der Vegetation

Die Zusammenhänge der Oberflächenrauheit mit der Aggregatgröße und die Geräteauswirkungen sind eingehend behandelt worden. Der Einfluß der Aggregatgröße auf die Saatgutablage und den Felddaupgang wird im Punkt 6.3 untersucht.

Bei diesen mehrmaligen in zeitlichen Abständen folgenden Rauheitsmessungen ging es darum, inwieweit die Bodenoberfläche im Laufe der Vegetationszeit durch die Witterungseinflüsse, insbesondere der Niederschläge, verändert wird. Nach dem Einsatz verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte (Feingrubber, Rüttelegge, Kreiselegge, Fräse, Saatbettkom-

bination) erfolgte die Bestellung mit Sommergerste. Die Rauheitsmessungen wurden anschließend in bestimmten Zeitabständen mit dem Reliefmeßgerät durchgeführt. Als Kenngröße diente das Rauheitsmaß (RM), Anhang S. 184.

Bei diesen Untersuchungen sind die Veränderungen der Bodenoberfläche durch die Witterungseinflüsse nach der Bestellung bis hin zu Bedeckung der Bodenoberfläche erfaßt worden. Abbildung 26 zeigt die ermittelte Bodenoberflächenrauheit der untersuchten Geräte.

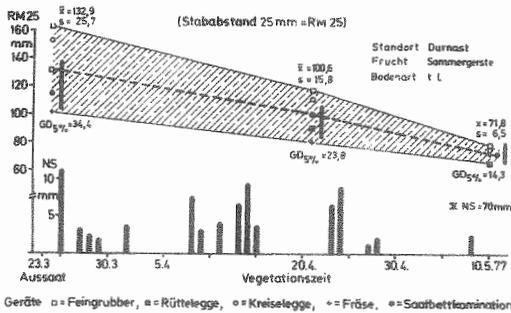


Abbildung 26: Veränderung der Bodenoberflächenrauheit im Laufe der Vegetationszeit

In dem aufgeführten Vegetationsabschnitt, vom 23.3. bis 10.5. wurden drei Untersuchungen mit dem RM 25 durchgeführt. Bei der ersten Rauheitsmessung am 25.3. schwankte das Rauheitsmaß (RM 25) zwischen den verschiedenen Bestellgeräten von 100 bis 160 mm. Die Grenzdifferenz betrug 34,4, so daß einzelne Geräte statistisch abgesichert waren. Der Mittelwert (\bar{x}) über die fünf Geräte lag bei 132,9 mm und die

Streuung (s) bei 25,7 mm. Die zweite Messung brachte eine Abnahme des Mittelwertes (\bar{x}) auf 100,6 mm. Die Streuung (s) nahm auf 15,8 mm ab. Aber auch hier ergaben sich noch signifikante Unterschiede bei den einzelnen Geräten und die Grenzdifferenz betrug $GD_{5\%} = 23,8$. Zwischen den beiden Messungen lag eine Vegetationszeit von 28 Tagen und es fielen 47,8 mm Niederschläge, welche in der Intensität und Menge unter dem langjährigen Mittel lagen.

Auffallend ist, daß die Streubreite der Oberflächenrauheit der Geräte stark abnimmt. Dieser Trend setzt sich auch bei der dritten Messung fort. Dabei gleichen sich alle Parzellen in ihrer Oberflächenrauheit im Verlauf der Vegetationszeit an und sind statistisch nicht mehr zu unterscheiden. Der Mittelwert (\bar{x}) der Oberflächenrauheit sinkt auf 71,8 mm und die Streuung (s) der Geräte liegt bei 6,5 mm, während die $GD_{5\%}$ 14,3 ergibt.

Daraus geht hervor, daß das feinere Saatbett im Laufe der Vegetation mit einer geringeren Veränderung der Bodenoberflächenrauheit verbunden ist, während die gröbere Oberfläche eine stärkere Wandlung erfährt. Von der ersten Messung am 25.3. bis zum 10.5. ist das Rauheitsmaß (RM) auf etwa die Hälfte (von $\bar{x} = 132,9$ mm auf $\bar{x} = 71,8$ mm) und die Streuung (von $s = 25,7$ auf $s = 6,5$ mm) auf ein Viertel der ursprünglichen Werte zurückgegangen. In der gesamten Periode fielen 70 mm Niederschläge, was etwa dem langjährigen Mittel entspricht. Die Abnahme der Bodenoberflächenrauheit verläuft kontinuierlich und ist je nach der Ausgangsrauheit mehr oder weniger stark. Nach 45 Tagen ist die Bodenoberflächenrauheit der Geräte ausgeglichen und statistisch nicht mehr zu unterscheiden.

Somit erfolgt erwartungsgemäß bei der geringeren Oberflächenrauheit, d.h. feinerem Saatbett, eine schwächere Abnan-

me der Veränderung der Bodenoberflächenrauheit als bei dem größeren Saatbett. Gewiß tritt im Laufe der weiteren Vegetationszeit eine Verringerung bzw. ein Stillstand der Veränderung der Oberflächenrauheit, bedingt durch die fortschreitende Bedeckung des Bodens mit den Kulturpflanzen, ein.

Mit dieser Methode kann man die Veränderungen der Rauheit der Bodenoberfläche über eine bestimmte Zeit verfolgen. Bei rascher Abnahme der Oberflächenrauheit durch Einwirkung hoher Niederschlagsintensität ist tendenziell auf eine zunehmende Verschlammungsgefahr zu schließen. Die Merkmale und Faktoren der Bodenverschlammung können jedoch nicht erfaßt werden, sondern nur die Veränderungen der an der Oberfläche liegenden Bodenaggregate. Insbesondere berücksichtigen diese Messungen nicht das Ausmaß und die Stärke der Verkrustung und Verhärtung der Bodenoberfläche. Dafür sind vor allem die Aufprallgeschwindigkeiten der Regentropfen auf die Bodenaggregate, die Stabilität der Bodenkrümel, die Intensität und Menge der Niederschläge und die Temperatur- und Windverhältnisse ausschlaggebend.

Generell bestimmen die fruchtspezifischen Ansprüche des Samenkornes an das Saatbett und die Zeitdauer in der der Boden ohne Schutz durch die Pflanzendecke der Witterung ausgesetzt ist, die Rauheit der Bodenoberfläche. Der Grad der Verschlammung ist je nach Bodenart, Bodentyp und Witterung sehr verschieden.

6.2.6 Diskussion der Ergebnisse

Die bei diesen Versuchen angewendeten Methoden der Aggregatanalyse und der Messung der Bodenoberflächenrauheit, zeigen unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodenverhältnisse gute Zusammenhänge. Als Maßstab für die Aussagekraft der Rauheitsmessung wird die anerkannte Methode der Schollenanalyse nach PUCHNER (48) herangezogen.

Einen wesentlichen Einfluß auf die Meßgenauigkeit und auf den Grad des Zusammenhanges der angewendeten Methoden haben vor allem die jeweiligen Bodenverhältnisse. Entscheidend für die Genauigkeit der Aussage beider Methoden ist stets, wie genau von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit geschlossen werden kann. Deshalb ist die Forderung nach einem repräsentativen Durchschnitt bei der Probenahme zu beachten und die statistisch notwendige Anzahl der Wiederholungen einzuhalten. Diese richten sich nach der Streuung der durchzuführenden Messungen (Punkt 5,2,3). Der Variationskoeffizient erweist sich als eine brauchbare Größe, um die notwendige Anzahl der Wiederholungen abzulesen zu können.

Die Erfassung der Bodenoberflächenrauheit durch das Ablesen der Polygonlänge bringt wesentliche Vorteile. Vor allem eine Beschleunigung des Meßvorganges und der Auswertung der Ergebnisse. Eine aufwendige und zeitraubende Verrechnung ist nicht mehr erforderlich. Es ist nur noch die Länge abzulesen und aus der notwendigen gemessenen Anzahl der Wiederholungen das arithmetische Mittel zu errechnen. Somit stehen die Ergebnisse bereits kurz nach der Bearbeitung am Feld zur Verfügung.

Zweifel an der Aussagefähigkeit der Rauheitsmessung können sich dadurch ergeben, daß nur die Oberflächenrauheit des Bodens, d.h. die horizontale Heterogenität und nicht die verti-

kale Heterogenität gemessen wird. Sie bringt auch nicht zum Ausdruck, wie das Meßergebnis zustande kommt. So kann die Rauheit von wenigen größeren oder von vielen kleineren Aggregaten, von Bodenunebenheiten oder von der speziellen Ausformung der Nachlaufgeräte stammen. Eine gleiche Polygonlänge kann sich deshalb aus völlig verschiedenen Bodenoberflächenrauheiten ergeben. Diese Überlegungen sind zwar berechtigt, aber die Untersuchungen ergeben dennoch gute Beziehungen zu den ermittelten Aggregatgrößen (GMD).

Keine befriedigenden Ergebnisse über den Zusammenhang beider Methoden bestehen bei den Beziehungen über mehrere Untersuchungszeiträume untereinander. Je nach Bearbeitungs-termin und Bodenzustand schwankt das errechnete Absolutglied (a) bei den jeweiligen Bearbeitungsvarianten recht willkürlich, ohne daß daraus irgendwelche Zusammenhänge erkennbar sind. Man erkennt keine Beziehung der Bodenfeuchte, der Geräte oder der Nachlaufgeräte zu dieser statistischen Kenngröße. Dagegen ist das Steigungsmaß (b) in seiner Aussage konstanter, aber dennoch schwankt es ebenfalls zwischen 1 und 2 Einheiten, ohne dabei eine Tendenz von etwaigen Abhängigkeiten erkennen zu lassen.

Die vermutlichen Ursachen der scheinbaren Unabhängigkeiten der verwendeten Kennziffern (GMD, RM) können mit der Stabilität der Bodenkrümel, dem Lockerungs- bzw. Rückverfestigungseffekt, der Bearbeitungstiefe, der Bodenart und dem jeweiligen Bodenzustand zusammenhängen. Eine genauere Aussage ist daher mit den bisherigen Kenntnissen nicht möglich.

Beim Einfluß der Geräte, mit und ohne Nachlaufgeräte, konnten keine statistisch absicherbaren Unterschiede errechnet werden. Zu diesem Ergebnis kommt man auch mit der Absiebmethode. Hier ergeben sich ebenfalls keine signifikanten Unter-

schiede bei der Aggregatgrößenverteilung. Beide Methoden stimmen deshalb in ihren Aussagen und Feststellungen überein.

Als weiterer Anwendungsbereich des Reliefmeßgerätes kommt die Erfassung der Bodenoberflächenrauheit im Laufe der Vegetationsdauer, bis zur Bedeckung des Bodens, in Frage. Wie die Versuche ergeben, können die Veränderungen der Bodenoberfläche durch die Witterungseinflüsse gut erfaßt werden. Die Rauheit der Bodenoberfläche nimmt kontinuierlich, je nach der Ausgangsrauheit, mehr oder weniger stark, ab. Ein Vergleich verschiedener Böden und Standorte wäre daher bei gleichen Ausgangsvoraussetzungen und gleichem Witterungsverlauf möglich, um eine Aussage über die jeweilige Krümelstabilität treffen zu können. Allerdings muß man erwähnen, daß damit nur die Veränderungen der Bodenoberfläche erfaßt werden können. Über das Ausmaß, den Grad und über die Verhärtung der Bodenverschlammung kann mit dieser Methode nichts ausgesagt werden.

Auffallend bei den Untersuchungen über die Veränderung der Bodenoberflächenrauheit im Laufe der Vegetationszeit ist, daß sich die rauhere Oberfläche der feineren, bei den gegebenen Witterungsverhältnissen, angeglichen hat. So erfuhr die rauhere Oberfläche eine stärkere Veränderung, als die Oberfläche mit der geringeren Aggregatgröße. Die gemessenen Oberflächenrauheiten ließen sich am Ende nicht mehr statistisch unterscheiden.

Der Stababstand mit 25 mm ergab bereits bei den Untersuchungen von DITTMANN (12) und mit dem Rauheitsmaß (RM) gute Beziehungen zur Aggregatgröße (GMD). Der geringere Stababstand gewährleistet eine genaue Erfassung der Oberfläche, weil jede Bodenunebenheit erfaßt wird. Es erfolgt ein genaueres Ab-

tasten des Bodenreliefs, und der Verlauf kommt durch den Schnurverbrauch zum Ausdruck. Die engen Beziehungen der Aggregatgröße (GMD) mit dem Rauheitsmaß (RM) bestätigen diese Aussagen.

Als Schlußfolgerung aus diesen Untersuchungen ergibt sich folgendes:

- Die Anzahl der Wiederholungen, welche vom Variationskoeffizienten (VK) abhängen, können mit einem breiteren Reliefmeßgerät (2 m) verringert werden. Bei einem breiteren Meßgerät ist die Streuung bei den gemessenen Wiederholungen geringer. Der Arbeitsaufwand pro Messung bleibt gleich. Die Aussagegenauigkeit der Messungen würde zunehmen und die Anzahl der Wiederholungen könnte verringert werden. Mit geringerem Arbeitsaufwand könnten die Ergebnisse statistisch leichter abgesichert werden.
- Ein Gerät in der 2-Meterausführung müßte handlicher und leichter angefertigt werden, damit die Messungen weiterhin von einer Person durchgeführt werden können.
- Als weiteren Beurteilungsmaßstab könnte das Reliefmeßgerät für die Güte der Pflugarbeit Verwendung finden. Vorwiegend könnte es zur Messung der Krümelung und Schüttung der Pflugfurche eingesetzt werden.
- Das Rauheitsmaß (RM) wäre somit ein Ausdruck für die Rauheit der Pflugfurche, welches ein Maß für die folgende Frostwirkung und Oberflächennachbearbeitung sein könnte. Die Messung der Aufschüttung der Pflugarbeit, so wie es KUIPERS (42) vorgeschlagen hat, ist mit diesem Reliefmeßgerät nicht möglich.
- Es bleibt hier unerwähnt, welche Eigenschaften und welche Kennziffern für die Güte der Bodenbearbeitung bestimmt sind. Vermutlich sind es eine ganze Reihe verschiedenster Eigenschaften, aber ohne Zweifel wird dabei der Zerklei-

nerungseffekt und die daraus resultierende Aggregatgröße (GMD) und die Bodenoberflächenrauheit (RM 25) eine wesentliche Rolle spielen. Auf die Beziehungen zwischen beiden Kennziffern wird in dieser Arbeit mehrmals eingegangen.

6.3. Einfluß der Aggregatgrößen auf die Saatgutablage und das Pflanzenwachstum

Hohe und stabile Erträge können nur dann erreicht werden, wenn unter anderem auch optimale Bodenstrukturverhältnisse während der gesamten Vegetationszeit gewährleistet werden. Die Aggregatgrößenverteilung bildet die Grundlage für das Luft- und Porenvolumen, d.h. für den Aufbau des Bodengefüges und für das folgende Pflanzenwachstum. Eine optimale Saatbettvorbereitung schafft die Basis für einen raschen und schnellen Feldaufgang. Dies ist die Voraussetzung für einen homogenen Pflanzenbestand und einen hohen Ertrag.

Die Ansprüche der verschiedenen Kulturpflanzen an die Saatbettbeschaffenheit sind jedoch verschieden. Man spricht deshalb von standort- und fruchtartenspezifischen Anforderungen. Eine exakte Definition über optimale Aggregatgemische für die wichtigsten Kulturpflanzen ist wegen der Vielfalt der einwirkenden Faktoren nicht möglich. In der Literatur weisen verschiedene Autoren auf die günstigsten Aggregatzusammensetzungen hin (6, 15, 30, 38, 47, 63, 65).

Der Grad der Bodenzerkleinerung ist, wie schon in dem vorhergehenden Punkt (6.1) angeschnitten, von vielen Faktoren abhängig. Daher müssen zwangsläufig bei der Saatbettbereitung Kompromisse geschlossen werden, denn eine Vielzahl von

Faktoren hat einen wesentlichen Einfluß auf die spezifischen Saatbettanforderungen:

- je kleiner das Samenkorn ist, umso feiner sollte das Saatbett und umso flacher die Saatgutablage sein
- je stabiler die Bodenaggregate, desto feiner kann bearbeitet werden, ohne die Gefahr einer starken Verschläm-
mung
- je niederschlagsärmer die Vegetationsperiode, umso feiner das Saatbett
- je mehr Niederschläge fallen, umso größer das Saatbett
- je höher das Verhältnis von u/v , desto höher ist der Kraftbedarf und die Zerkleinerung, aber umso geringer die Flächenleistung

Die Auswirkungen der Saatbettbeschaffenheit auf die Saatgutablage und deren Folgen auf den Pflanzen- und Feldaufgang werden im folgenden Kapitel eingehender behandelt.

6.3.1 Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die mittlere Saattiefe (\bar{x})

Die Keim- und Auflaufbedingungen werden durch die unterschiedliche Tiefenablage der Samenkörner wesentlich beeinflusst. Das Saatgut benötigt außer einer artbedingten Temperaturspanne noch Wasser und Sauerstoff. Die Saattiefe kann daher als ein Regulator für die Bereitstellung der Keimfaktoren im günstigen Mengenverhältnis herangezogen werden, wobei jede Saattiefe einen Kompromiß zwischen den genannten Keimfaktoren darstellt.

In der Regel bedeutet eine zunehmende Saattiefe eine Verbesserung der Keimwasserversorgung, die Verschlechterung der Luftverhältnisse und eine tiefere Bodentemperatur. Auch wächst mit der Saattiefe die Wegstrecke, die der Keimling bis zum Durchstoßen der Bodenoberfläche und entsprechend bis zum Be-

ginn der Assimilation zurücklegen muß. Bei zu tiefer Saat wird somit der Pflanzenaufgang erschwert und die an die Oberfläche gelangten Pflanzen sind geschwächt und anfälliger gegenüber Krankheiten und Schädlingen. Auch hinsichtlich der Anwendung von Bodenherbiziden soll eine gleichmäßige Saattiefe eingehalten werden, um etwaige Keimsschäden zu verhindern, VOLLMER (64).

Der Einfluß der Saattiefe auf den Pflanzenaufgang wurde von KORSMO (39), HAKANSSON und v. POLGAR (23), HANSEN (24) und KAHNT (33) untersucht. Diese Untersuchungen machen aber keine Angaben über die Wechselwirkungen zwischen der Aggregatgröße (GMD) und der mittleren Saattiefe (\bar{x}). Bisher wurden nur Versuche durchgeführt, wie sich die verschiedenen Säverfahren auf die Saatgutplatzierung im Boden auswirken (1, 26, 27, 28, 29, 65).

Aufgabe der vorliegenden Untersuchungen war es, den Einfluß der Aggregatgröße auf die Saatgutplatzierung bei verschiedenen Fruchtarten und auf das folgende Pflanzenwachstum zu behandeln.

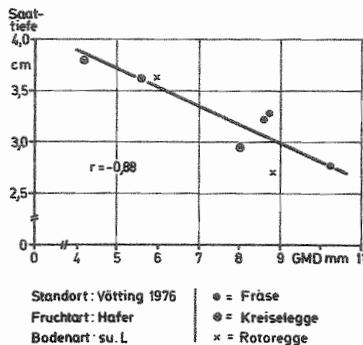


Abbildung 27: Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Saattiefe (cm) bei verschiedenen Bodenbearbeitungsgeräten

Betrachtet man den Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Saattiefe (\bar{x}), so zeigt sich, daß bei den drei verwendeten Geräten (Fräse, Kreiselegge, Rotoregge) eine zunehmende Aggregatgröße eine Verringerung der Saattiefe bewirkt.

Die größeren Bodenaggregate verhindern ein ausreichend und gleichmäßig tiefes Eindringen der Säschare. Bei einem feinen und lockeren Saattbett dagegen, erfolgt eine gleichmäßige und tiefere Ablage der Körner, bei gleichem Schar- druckverstellung. Dadurch ist es möglich die Saattiefe den gegebenen Umständen anzupassen. Bei der unterschiedlichen Saattbettbeschaffenheit (Frühjahr, Herbst) soll daher der Schar- druck den Einsatzbedingungen entsprechend angepaßt werden, umso die angestrebte Saattiefe zu erzielen. Bei einem rauhen Saattbett ist deshalb der Druck zu erhöhen und bei einem feinen zu verringern.

Gleiche Ergebnisse zeigen die Untersuchungen auch bei der Winterweizenbestellung. Hier ergibt sich ebenfalls eine negative Beziehung zwischen der Aggregatgröße (GMD) und der Saattiefe (\bar{x}), wie aus der Tabelle 26 ersichtlich ist.

Tabelle 26: Korrelation (r) der mittleren Saattiefe (\bar{x}) und die Streuung um die mittlere Saattiefe (s) in Abhängigkeit von der Aggregatgröße (GMD) und den Bodenbearbeitungsgeräten

Standort: Vötting 1976

Frucht: Winterweizen

Gerät	n	GMD-Bereich (mm)	Saattiefe (\bar{x}) (r)	Streuung (s) (r)
Fräse	5	17,57-31,82	- 0,79	0,91
Kreiselegge	5	17,86-32,43	- 0,83	0,83

Der Aggregatgrößenbereich liegt dabei etwa zwischen 17 bis 32 mm. Der Untersuchungsbereich ist also wesentlich breiter als bei der Abbildung 27 (GMD = 4 bis 11 mm). Mit jedem eingesetzten Gerät wurden fünf verschiedene Aggregatgrößen erzeugt. Die negative Korrelation bei der Kreiselegge ($r = -0,83$) ist höher als bei der Fräse ($r = -0,79$). Auf die positive Korrelation der Streuung (s) wird im nächsten Punkt (6.3.2) eingegangen.

Die Abhängigkeit der Saattiefe von der Saatbettbeschaffenheit (GMD) kann durch Standort, Schardruck, Bodenfeuchte, Bodenart und Bestellzeitpunkt verändert werden. Grundsätzlich aber bleibt diese Beziehung erhalten. Vor allem kann die Bodenfeuchte und die Festigkeit und Homogenität des Saatbettes nivellierend auf den Tiefgang der Säschare einwirken.

Die Aggregatgröße (GMD) ist ein wichtiger Faktor für eine exakte Saatguttiefenablage. Deshalb sollen bei der Saatbettbereitung und Aussaat alle Faktoren und deren Wechselwirkungen beachtet werden, welche positive und negative Voraussetzungen für das spätere Pflanzenwachstum erwarten lassen.

6.3.2. Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Standardabweichung (s) um die mittlere Saattiefe (\bar{x})

Die Saatbettbeschaffenheit hat nicht nur Auswirkungen auf die mittlere Saattiefe (\bar{x}), sondern unmittelbar auch auf die Standardabweichung (s). Beide Parameter sind statistisch wichtige Kenngrößen. Die Standardabweichung oder Streuung (s) gibt an, wie die Körner im Boden vertikal um die mittlere Saattiefe (\bar{x}) abgelegt sind. Sie hat damit eine wesentliche Aussagekraft bei der Interpretation der Ergebnisse.

Welche Auswirkungen die Aggregatgröße (GMD) auf eine gleichmäßige Ablagetiefe hat, zeigen die folgenden Untersuchungen (Abb. 28).

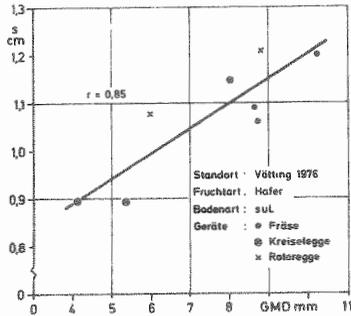


Abbildung 28: Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Standardabweichung (s) um die mittlere Saattiefe bei verschiedenen Bodenbearbeitungsgeräten

Wie aus der Tabelle 26 und der Abbildung 28 zu ersehen ist, bestehen enge Zusammenhänge zwischen der Aggregatgröße (GMD) und der Standardabweichung (s). Die Korrelation ist positiv, was bei einer Zunahme des Faktors (GMD) auch eine Zunahme des Faktors (s) bedeutet. Aus dieser Beziehung folgt, daß mit steigender Krümelgröße die Streuung um die mittlere Saattiefe zunimmt. Auf grobscholligem Saatbett ist mit einer ungenauen Tiefenablage und einer daraus resultierenden großen Streuung um die mittlere Ablagetiefe zu rechnen. Eine Streuung der Ablage um die mittlere Saattiefe verursacht eine unterschiedliche Entwicklung der Einzelpflanzen. Die errechnete Streuung der Abbildung 28 ist relativ gering. Bei einem Ansteigen des GMD von etwa 4,0 mm auf 10,0 mm nimmt die Streuung um 0,3 cm, d.h. von 0,9 mm auf 1,2 cm zu (Anhang S. 185, Tab. 16).

Vergleicht man aber die absoluten Zahlen der Untersuchungen (Tab. 27), so ist ein direkter Zusammenhang zwischen der Aggregatgröße (GMD) und der Streuung (s) nicht gegeben.

Tabelle 27: Vergleich der absoluten Zahlen der Aggregatgröße (GMD) und der Standardabweichung (s)

Standort: Vötting

Bodenart: suL

Frucht/ Gerät	n	GMD-Bereich (mm)	s-Bereich (cm)
<u>Hafer</u>			
Fräse (3)	8	von 4,2 bis 10,2	von 0,86 bis 1,21
Kreiselegge (3)			
Rotoregge (2)			
<u>Winterweizen</u>			
Fräse	5	von 17,6 bis 31,8	von 0,98 bis 1,28
Kreiselegge	5	von 17,9 bis 32,4	von 1,12 bis 1,26

Der geringe GMD-Bereich (4,2 mm bis 10,2 mm) hat zwar im s-Bereich die niedrigsten Werte (0,86 cm, 1,21 cm) aufzuweisen, aber die Differenz der Standardabweichung ist am größten (0,35 cm). Dies liegt vermutlich an dem unterschiedlich verfestigten Saatbett der eingesetzten Bodenbearbeitungsgeräte. Selbst in dem sehr weiten GMD-Bereich (etwa 17,9 mm bis 32,4 mm) beim Winterweizen liegt die Standardabweichung (s) in der Differenz niedriger.

Bei der Kreiselegge (Winterweizen) beträgt trotz des hohen GMD-Bereiches die Differenz bei der Standardabweichung nur 0,14 cm. Dies läßt sich auf eine gleichmäßigere Dichtlagerung des homogenen Saathorizontes zurückführen.

Zusammenhänge ergeben sich auch zwischen der Streuung (s) und der mittleren Saattiefe (\bar{x}) in der Weise, daß mit zunehmender Saattiefe die Streuung um die mittlere Saattiefe abnimmt. Dieser Trend ist ebenfalls bei Hafer und Winterweizen festzustellen. Mit Hilfe der Korrelationsrechnung wird auf diese Beziehung hingewiesen.

Weitere statistische Kenngrößen wurden wegen der geringen Anzahl von Messungen und unterschiedlichen Versuchsbedingungen nicht errechnet. Die gefundenen Zusammenhänge sind in der Tabelle 28 ersichtlich.

Tabelle 28: Abhängigkeit der Streuung (s) von der mittleren Saattiefe (\bar{x}) bei verschiedenen Fruchtarten und Bodenbearbeitungsgeräten

Standort: Vötting

Bodenart: suL

Frucht/ Gerät	n	GMD-Bereich (mm)	Korrelationskoeffizient (r) ($y = s$) ($x = \bar{x}$)
<u>Hafer</u>			
Kreiselegge			
Fräse	8	4,2 - 10,2	- 0,88
Zinkenrotor			
<u>Winterweizen</u>			
Fräse	5	17,6 - 31,8	- 0,76
Kreiselegge	5	17,9 - 32,4	- 0,68

Der negative Korrelationskoeffizient bedeutet, daß mit zunehmender Saattiefe die Streuung um die mittlere Saattiefe ab-

nimmt. Somit ist bei einer geringen Saattiefe die Streuung größer und nimmt mit zunehmender Ablagetiefe ab. Um jedoch eine geringe Streuung bei flacher Saat zu erreichen, ist ein feinkrümeliges Saatbett Voraussetzung.

Die Ablagetiefe ist steuerbar durch eine gezielte Saatbettbereitung und durch die zentrale Einstellung des Säschardruckes bei der Drillmaschine. Bei geringer Druckeinstellung der Säschare, d.h. flacher Saat, reagiert die Federbelastung und daraus resultierende Saattiefe, auf ein heterogenes Saatbett und Aggregatgrößenverhältnis empfindlicher, als bei einer stärkeren Belastung des Säschares. Denn durch die geringe Belastung der Drillschare ist die Tiefenführung des Säschares wesentlich unruhiger, weil es etwaigen Widerständen leichter ausweichen kann.

Der Korrelationskoeffizient ist im feineren GMD-Bereich (4 - 10 mm) im Frühjahr höher ($r = 0,88$) als im gröberen Bereich (18 - 32 mm) im Herbst. Bei gleicher Schardruckeinstellung muß davon ausgegangen werden, daß die gröberen Bodenaggregate und heterogener Saathorizont im Herbst diese Beziehungen nicht so deutlich erkennen lassen wie der gut abgesetzte und feinkrümelige Saathorizont im Frühjahr.

Welche Auswirkungen die ungleichmäßige Tiefenablage auf die Keim- und Auflaufbedingungen hat wird im folgenden Punkt 6.3.3. behandelt.

5.3.3 Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Gleichmäßigkeit des Pflanzenaufganges

Die Auswirkungen auf die Saattiefe sind in den beiden vorausgegangenen Punkten behandelt worden. Die mittlere Saattiefe (\bar{x}) und besonders die Streuung (s) um die mittlere Saattiefe beeinflussen den Pflanzenaufgang in der Aufgangphase wesentlich. Sucht man jedoch ein Maß für die Homogenität des Aufganges, so bietet sich der Variationskoeffizient (VK) an.

Ein durchgeführter Vergleich (Abb. 29) zeigt deutliche Unterschiede und Abhängigkeiten des Variationskoeffizienten (VK) der Keimdichte von den verschiedenen Aggregatgrößen im Laufe der Vegetationszeit.

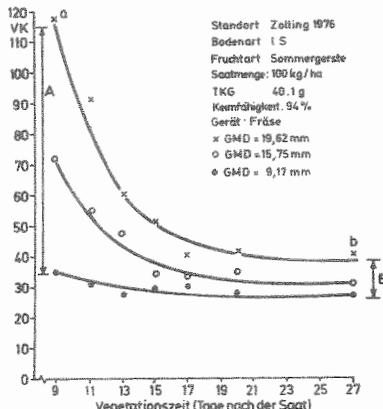


Abbildung 29: Abhängigkeit des Variationskoeffizienten (VK) der Keimdichte (Pfl/m^2) von der Aggregatgröße (GMD) und der Vegetationszeit

Abbildung 29 zeigt drei verschiedene Aggregatgrößen und deren Abhängigkeiten vom Variationskoeffizienten im Verlaufe des Pflanzenaufganges bis 27 Tage nach der Saat. Besonders bei der groben Bearbeitung (GMD = 19,62 mm) ist zu Beginn des Pflanzenaufganges der Variationskoeffizient (VK) relativ hoch (a), welcher aber rasch im Laufe der Aufgangsphase abfällt und am 27. Tage nach der Saat nur mehr ein Drittel seines Ausgangswertes umfaßt (b).

Bei der feinen Bearbeitungsvariante (GMD = 9,17 mm) ist von Anfang an ein ausgeglichener gleichmäßiger Pflanzenaufgang gegeben, der sich auch zum Ende hin nicht mehr wesentlich verbessert. Die Homogenität des Pflanzenaufganges ist bei dieser Aggregatgröße und gegebenen Umweltbedingungen über die Aufgangsphase hinweg ziemlich einheitlich.

Die feine und grobe Bearbeitungsstufe ist deutlich durch den Kurvenverlauf getrennt. Die mittlere Bearbeitungsvariante (GMD = 15,75 mm) nimmt eine Mittelstellung ein. Bei der groben Bearbeitungsvariante (GMD = 19,62 mm) lag der Variationskoeffizient am Ende des Pflanzenaufganges um mehr als 13 Einheiten über der feinen (GMD = 9,17 mm) und mehr als 9 Einheiten über der mittleren Bearbeitungsvariante. Bei sämtlichen Versuchsergebnissen schwankt der Variationskoeffizient zu Beginn des Pflanzenaufganges etwa zwischen 115 und 35 Einheiten (A) und am Ende des Pflanzenaufganges (= Feldaufgang) nur mehr etwa zwischen 40 und 25 Einheiten (B).

Der Variationskoeffizient veranschaulicht, wie das gröbere Saatbett die Keim- und Auflaufbedingungen durch die größere Streuung um die mittlere Saattiefe erschwert und verzögert, was durch die Höhe des Variationskoeffizienten ausgedrückt wird. Die Unterschiede am Ende der Auflaufphase (= Feldaufgang) haben sich dagegen minimiert, weil die Samen auch aus größeren Tiefen durchgestoßen sind. Inwieweit sich dieser heterogene Pflanzenaufgang auf die Ertragsstruktur auswirkt, konnte nicht mehr erfaßt werden.

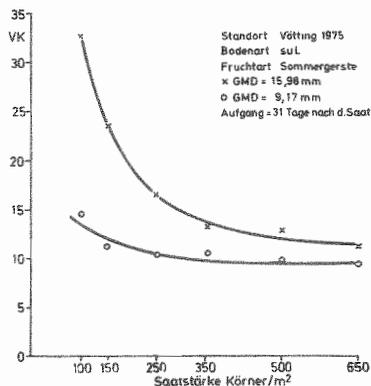


Abbildung 30: Abhängigkeit des Variationskoeffizienten (VK) der Keimdichte von der Saatstärke und der Aggregatgröße

Wie aus der Abbildung 30 ersichtlich ist, bestehen die angeführten Beziehungen von der Aggregatgröße (GMD) und dem Variationskoeffizienten (VK) auch bei den verschiedenen Saatstärken (Körner/m²). Der Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf den Variationskoeffizienten (VK) der Keimdichte ist bei den untersuchten Saatstärken ebenso vorhanden. Besonders bei den geringen Saatstärken (100, 150, 250 Körner/m²) ist der Variationskoeffizient bei der groben Bearbeitungsvarianten (GMD = 15,98 mm) hoch.

Dagegen besteht bei der feinen Varianten (GMD = 9,17 mm) hinsichtlich der Variationskoeffizienten bei den niedrigen Saatstärken eine geringere Differenz, welche bei den Saatstärken 100 und 150 Körner/m² vorhanden ist. Dies bedeutet, daß auch bei niedriger Saatstärke (100 Körner/m²) und kleiner Aggre-

gatgröße eine geringe Streuung in der Tiefenablage besteht und somit ein gleichmäßiger Pflanzenaufgang erfolgt.

Bei normal üblichen Saatstärken (> 300 Körner/m²) ist die Differenz nicht mehr so groß, aber dennoch vorhanden. Bei niedrigen Saatstärken und einem groben Saatbett ist ein heterogener Feldaufgang und ein ungleichmäßiger Pflanzenbestand zu erwarten. Deshalb soll gerade bei geringen Aussaatmengen auf eine hohe Saatbettqualität geachtet werden, um einen einheitlichen Pflanzenbestand zu erhalten. Denn nicht immer vermag sich ein heterogener Pflanzenbestand durch eine stärkere Bestockung wieder auszugleichen.

Beim Vergleich beider Abbildungen (29, 30) fällt auf, daß der Variationskoeffizient auf dem Standort Zolling, selbst bei einem vergleichbaren Aggregatgrößenbereich von 9 bis 16 mm, bedeutend höher ist (VK = 30 Einheiten) als auf dem Standort Vötting (VK = 10 Einheiten). Dies mag in erster Linie auf die unterschiedlichen Standort- und Witterungsbedingungen zurückzuführen sein.

6.3.4. Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf den Feldaufgang

Nachdem in den vorangegangenen Punkten die Einflüsse der Aggregatgröße (GMD) auf die Saatgutplazierung im Boden und deren Auswirkung auf einen gleichmäßigen Pflanzenaufgang behandelt wurden, bleibt zu klären, inwieweit unter Berücksichtigung dieser Detail-Ergebnisse ein genereller Einfluß der Aggregatgröße und deren Anteil an den einzelnen Siebfractionen (v.H.) auf den Feldaufgang nachgewiesen werden kann.

Die angeführten Autoren (17, 27, 32, 40, 47) haben in ihren Untersuchungen auf die Bodenzerkleinerung und deren Auswirkung auf den Feldaufgang hingewiesen. Sie stellen jedoch unter-

schiedliche Kenngrößen, Siebfraktionen oder andere Kennziffern in Beziehung zum Feldaufgang. In letzter Zeit wird vor allem der Gewogene Mittlere Durchmesser (GMD) in Beziehung mit dem Feldaufgang gebracht (32, 38, 65).

Besonders die gemeinsamen Untersuchungen von Hohenheim und Weihenstephan lassen einen Zusammenhang hinsichtlich der unterschiedlichen Aggregatgrößen und dem Feldaufgang erkennen. ESTLER (15) beschreibt den prozentualen Zusammenhang des Feldaufganges über dem Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate mit einem s-förmigen Verlauf der Kurve und lehnt eine lineare Abhängigkeit ab. Das Optimum des Feldaufganges wird bei diesen Untersuchungen bei einer mittleren Aggregatgröße (GMD) im Bereich von 10 - 15 mm erreicht. In dem kleineren und größeren Bereich ist dagegen mit einem degenerativen Zusammenhang zu rechnen. Es ist bei sehr kleinen Bodenaggregaten (GMD = < 10 mm) durch die Gefahr der Verschlämmung und bei größeren Aggregaten (GMD = > 20 mm) durch die Verschlechterung der Auflaufbedingungen eine Verminderung des Feldaufganges gegeben.

Der Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf den Feldaufgang geht aus diesen und anderen Untersuchungen klar hervor. Unklar war der Einfluß der Krümelgröße im Verlauf der Aufgangsphase bis hin zum Feldaufgang, welcher als Summeneffekt von Saattiefe und Streuung zu werten ist.

Durch gezielte Untersuchungen sollten die bereits vorliegenden Ergebnisse bestätigt und vervollständigt werden. In erster Linie wird bei diesen Versuchen der Pflanzenaufgang in Abhängigkeit von der Vegetationszeit und der Aggregatgröße untersucht. Die Untersuchungsergebnisse sind in der Tabelle 29 für zwei Standorte (Vötting, Zolling) und zwei Fruchtarten (Hafer, Gerste) in Form des Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Zahl der Tage nach der Saat zusammengestellt (Anhang S. 85, 186).

Tabelle 29: Beziehungen zwischen dem Pflanzenaufgang (Pfl/m² = Abszisse y) und der Aggregatgröße (GMD = Ordinate x) in Abhängigkeit von der vegetationszeit

Versuch: Vötting Frucht: Hafer (n = 12)		Versuch: Zolling Frucht: Sommergerste (n = 15)	
Zahl der Tage nach der Saat	r	Zahl der Tage nach der Saat	r
14	- 0,88	9	- 0,84
16	- 0,85	11	- 0,85
18	- 0,79	13	- 0,77
21	- 0,79	15	- 0,70
27	- 0,76	17	- 0,56
32	- 0,75	20	- 0,59
39	- 0,72	27	- 0,55

Bei beiden Fruchtarten, Hafer und Sommergerste, ist ein abnehmender Einfluß der Aggregatgröße (GMD) im Laufe der Vegetationszeit festzustellen. Während zu Beginn der Aufgangphase der Korrelationskoeffizient (r) noch relativ hoch ist, nimmt er im Laufe der Zeit kontinuierlich mehr oder weniger stark ab. Die Unterschiede beider Fruchtarten liegen in den unterschiedlichen Voraussetzungen der Keimbedingungen, speziell der Witterungsverhältnisse, begründet.

Dennoch ist interessant, daß der Einfluß der Aggregatgröße durch die übrigen Keimfaktoren Wasser, Temperatur und Luft nicht ganz ausgeschaltet, sondern z.T. nur überdeckt werden kann. Die negative Korrelation besagt, daß mit zunehmender Krümelgröße der Pflanzen-, bzw. der Feldaufgang abnimmt.

Die Bedeutung der Krümelgröße auf den Pflanzenaufgang im Laufe der Aufgangphase läßt sich aus der folgenden Abbildung 31 deutlich ablesen.

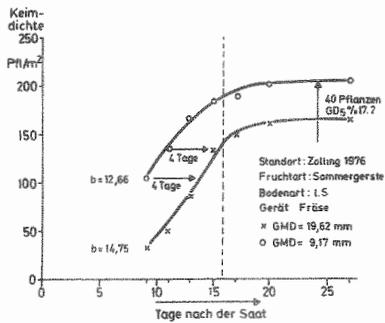


Abbildung 31: Einfluß der Aggregatgröße und Vegetationsdauer auf Keimdichte und Feldaufgang

Bei dieser Versuchsanstellung wurden mit der Fräse zwei sehr unterschiedliche Aggregatgrößenspektren erzeugt (GMD 9,17 bzw. 19,62 mm). Der Kurvenverlauf läßt erkennen, daß bei dem geringen GMD eine deutlich höhere Keimdichte und damit ein wesentlich besserer Feldaufgang erreicht werden kann als bei einem größeren Aggregatgemisch. So ist die Keimdichte (Pfl/m^2) bei $\text{GMD} = 9,17$ mm am Anfang der Aufgangszählung bereits um etwa vier Tage voraus. Der gleiche Vegetationsvorsprung ergibt sich auch bei der folgenden Zählung. Das feine Saatbett bringt bereits nach 11 Tagen eine Keimdichte von $136 \text{ Pfl}/\text{m}^2$, während das größere Saatbett erst nach 15 Tagen eine Keimdichte von $133 \text{ Pfl}/\text{m}^2$ erreicht.

Der tägliche Zuwachs an aufgelaufenen Pflanzen der ersten vier Aufgangszählungen wird durch das Steigungsmaß (b) ausgedrückt. Es besagt, daß pro Tag ein Zuwachs der Keimdichte in Höhe des Steigungsmaßes (b) erfolgt (bei GMD 9,17 mm = 12,66 Pflanzen/m²). Neben der höheren Keimdichte (Pfl./m²) spricht für die feinere Bearbeitung (GMD = 9,17 mm) der höhere Feldaufgang am Ende der Aufgangsphase bei gleicher Saattiefe. Aus der Abbildung ergeben sich für die feinere Bearbeitung (GMD = 9,17 mm) 40 Pflanzen/m² mehr, wodurch sich ein signifikanter Unterschied im Feldaufgang errechnet (GD_{5%} = 17,2). Allein durch die gröbere Saattiefe liegt der Feldaufgang um rund 20 % niedriger (Abb. 31).

Gewiß wird nicht immer ein so starker Einfluß der Aggregatgröße auf den Pflanzenaufgang gegeben sein, denn auch andere Faktoren spielen eine wesentliche Rolle. Der Einfluß der Aggregatgröße, dargestellt durch den GMD, ist jedoch unbestreitbar vorhanden. Darüber hinaus interessiert aber auch die Frage, ob und in welchem Umfang sich Einflüsse der einzelnen Siebfractionen auf den Pflanzenaufgang ergeben und welchen Aussagewert der GMD bezüglich des Pflanzenaufganges besitzt. Diese Zusammenhänge sind in den Tabellen 30 und 31 in Form der Korrelation der Aggregatgrößenklassen bzw. des GMD's mit dem Pflanzenaufgang für zwei Standorte und zwei Fruchtarten dargestellt.

Tabelle 30: Korrelation der Aggregatgrößenklassen und dem GMD mit dem Pflanzenaufgang in Abhängigkeit von der Vegetationszeit

Standort: Zolling 1976

Fruchtart: Sommergerste

Bodenart: 1S

Geräte: Fräse (n = 5)

Kreislegge (n = 5)

Rotoregge (n = 5)

Aggregatgrößenklassen (mm) (%-Anteil)	Tage nach der Saat							
	9	11	13	15	17	20	27	\bar{x}
80 - 40	-0,78	-0,82	-0,74	-0,66	-0,54	-0,55	-0,51	-0,66
40 - 20	-0,67	-0,63	-0,57	-0,49	-0,38	-0,44	-0,42	-0,51
20 - 10	-0,32	-0,27	-0,31	-0,40	-0,32	-0,37	-0,34	-0,33
10 - 5	-0,22	-0,17	-0,17	-0,17	-0,15	-0,15	-0,14	-0,18
5 - 2,5	0,67	0,68	0,62	0,56	0,44	0,50	0,48	0,56
2,5 - 1,25	0,81	0,82	0,76	0,69	0,56	0,60	0,56	0,56
< 1,25	0,84	0,80	0,74	0,70	0,56	0,60	0,55	0,68
< 40,0	0,81	0,84	0,77	0,68	0,58	0,59	0,54	0,69
< 20,0	0,81	0,81	0,73	0,65	0,52	0,55	0,52	0,66
< 10,0	0,83	0,83	0,76	0,71	0,56	0,61	0,57	0,70
< 5,0	0,83	0,81	0,75	0,70	0,57	0,60	0,56	0,69
< 2,5	0,84	0,82	0,76	0,72	0,60	0,62	0,57	0,70
GMD	-0,84	-0,85	-0,77	-0,70	-0,56	-0,60	-0,55	-0,70

Tabelle 31: Korrelation der Aggregatgrößenklassen und dem GMD mit dem Pflanzenaufgang in Abhängigkeit von der Vegetationszeit

Standort: Vötting 1976

Fruchtart: Hafer

Bodenart: suL

Geräte: Fräse (n = 3)
 Kreiselegge (n = 3)
 Rotoregge (n = 3)
 Fräse o. Pflug (n = 3)

Aggregat- größenklas- sen (mm) (%-Anteil)	Tage nach der Saat							
	14	16	18	21	27	32	39	\bar{x}
40 - 20	-0,86	-0,88	-0,95	-0,94	-0,92	-0,91	-0,90	-0,91
20 - 10	-0,68	-0,63	-0,52	-0,55	-0,51	-0,49	-0,46	-0,55
10 - 5	-0,06	0,16	0,23	0,16	0,19	0,20	0,21	0,17
5 - 2,5	0,90	0,88	0,86	0,88	0,85	0,84	0,81	0,86
2,5 - 1,25	0,80	0,76	0,65	0,72	0,67	0,67	0,64	0,70
< 1,25	0,78	0,73	0,71	0,70	0,67	0,66	0,63	0,70
< 40,0	0,51	0,40	0,23	0,19	0,17	0,19	0,12	0,26
< 20,0	0,91	0,90	0,91	0,90	0,87	0,87	0,84	0,89
< 10,0	0,89	0,86	0,84	0,84	0,81	0,79	0,76	0,83
< 5,0	0,83	0,79	0,75	0,76	0,73	0,71	0,68	0,75
< 2,5	0,80	0,75	0,71	0,72	0,69	0,67	0,64	0,71
GMD	-0,89	-0,84	-0,80	-0,79	-0,76	-0,75	-0,71	-0,79

Bei diesen Untersuchungen wurden die Aggregatgrößenkennziffer (GMD), die einzelnen Anteile der Siebfraktionen (v.H.) und die anfallenden Aggregatgrößeklassen mit dem Pflanzenaufgang korreliert. Somit werden alle bisherigen Erkenntnisse (27, 30, 32, 65) in ihren Zusammenhängen durchleuchtet, die gefundenen Parallelen aufgezeigt und die einzelnen Kenngrößen in ihrer Bedeutung gewichtet.

Die Aggregatgrößeklassenanteile (v.H.) der verschiedenen Siebfraktionen zeigen im Laufe der Aufgangsphase einen unterschiedlichen positiven oder negativen Zusammenhang mit dem Pflanzenaufgang. Meist schwächt sich die Korrelation im Laufe der Vegetationszeit leicht ab.

Während die Fraktionen > 5 mm den Pflanzenaufgang in der Aufgangsphase negativ beeinflussen, wirken die Fraktionen < 5 mm positiv auf die Keim- und Aufgangsphase ein. Der Einfluß der einzelnen Siebfraktionen ist jedoch recht unterschiedlich, was durch den jeweiligen Korrelationskoeffizienten zum Ausdruck kommt. So beeinflussen die Siebfraktionen (v.H.) 20 - 40 mm und 40 - 80 mm den Aufgang stark negativ, während die kleineren Siebfraktionen (v.H.) $< 1,25$ und 1,25 - 2,5 mm stark positiv beeinflussen.

Der Gewogene Mittlere Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate nimmt im Laufe der Zeit ab, steht aber beim Mittelwert (\bar{x}) noch in guter Beziehung zum Pflanzenaufgang ($r = 0,79$). Hierbei kommen die Folgen der schlechten Saatgutablage und der größeren Streuung zur Auswirkung und bestätigen die Eignung des GMD als einfache und brauchbare Kennziffer. Da der GMD als Gesamtausdruck des Aggregatgemisches zu verstehen ist, ist er als Wertmaßstab den einzelnen Siebfraktionen vorzuziehen.

Die Anteile bestimmter Siebfractionen kleiner (\leq) einer bestimmten Aggregatgröße unterstützen die Aussagekraft der Aggregatgröße (GMD) und der einzelnen Siebfractionen. Ein hoher Grad des Zusammenhanges mit dem Pflanzenaufgang ist jedoch nicht gegeben. Im Verlauf der Aufgangsphase ist ein leichter Abfall des Korrelationskoeffizienten (r) bei allen Fractionen und Kenngrößen festzustellen.

Beim Vergleich der Standorte Zolling und Vötting (Tab. 30, 31) fällt auf, daß der Einfluß der Aggregatgrößeklassen 20 - 40 mm, 40 - 80 mm in Zolling geringer ist. Dies ist sicherlich auf die höheren Niederschläge im Verlauf der Aufgangsphase zurückzuführen (Zolling = 90 mm, Vötting = 38,6 mm). Durch die geringere Niederschlagsmenge ist der negative Einfluß des GMD auf den Pflanzenaufgang während der gesamten Phase durchschnittlich höher. Auffallend hoch ist der negative Einfluß der Siebfraction 40 - 20 mm auf dem Standort Vötting. Der geringe positive Einfluß der Siebfraction \leq 40 mm auf dem Standort Vötting ist auf den sehr geringen Anteil der Siebfraction $>$ 40 mm zurückzuführen (Anhang S. 187, 188, 190).

Jedoch wird der Grad des Zusammenhanges einer jeden Kenngröße von den Witterungsbedingungen vor und besonders nach der Aussaat bestimmt. So können bestimmte Keimfaktoren sich z.T. kompensieren (33) oder über andere dominieren. Ein Vergleich der Tabelle 30 und der Tabelle 31 bringt dies zum Ausdruck.

Vergleicht man die einzelnen Siebfractionen der untersuchten Bodenhorizonte von 0 - 3 cm, 3 - 6 cm und 6 - 9 cm der Tabelle 32, so läßt sich im Bereich von 0 - 6 cm ein negativer Zusammenhang der Fractionen 2,5 - 40,0 mm auf den Pflanzenaufgang feststellen.

Der geringe negative Zusammenhang der Aggregatgröße 20 - 40 mm ist sicher auf die Probenahme zurückzuführen, weil alle Bodenaggregate >30 mm durch die versuchstechnische Probenahme zerschnitten wurden. Auffallend ist die Korrelation der Siebfraction $<1,25$ mm, die im Bereich von 0 - 6 cm in beiden Fällen am höchsten ist. Im tieferen Saathorizont (6 - 9 cm) korrelieren die Siebfractionen 1,25 - 2,5 mm und 2,5 - 5 mm mit $r = 0,50$. Gewichtige Aussagen können in diesem Bereich nicht angestellt werden, weil durch die Probenahme die gegebenen Verhältnisse verändert werden.

Diese Ergebnisse sollen vor allem dazu dienen, die Zusammenhänge von Pflanzenaufgang und Krümelgröße mit den bekannten Definitionen näher zu erläutern. Wie die Untersuchungen zeigen, bestehen bei allen angeführten Definitionen Zusammenhänge, die in ihrer Kausalität so zu erwarten waren. Schwierig ist dagegen eine exakte Aussage über die genaueren Abhängigkeiten der einwirkenden Faktoren zu machen und sämtliche Einflußfaktoren in ihrer Wichtigkeit zu erfassen. Daher ist es nicht sinnvoll, diese Beziehungen eingehender zu berechnen oder sogar Funktionen aufzustellen, denn sie können ständig ihren Aussagewert und die Genauigkeit ändern.

In der Praxis ist es daher sinnvoll Aggregatgemische mit entsprechenden Anteilen der verschiedenen Siebfractionen herzustellen, um einerseits eine rasche Keimung und Jugendentwicklung der Pflanzen zu fördern, andererseits einen wirksamen Verschlammungs-, Verkrustungs- und Erosionsschutz in der Phase des Pflanzenaufganges bis zur völligen Bodenbedeckung durch die Pflanzen zu gewährleisten.

6.3.5 Einfluß der Saatstärke auf den Feldaufgang in Abhängigkeit von der Aggregatgröße

Der negative Zusammenhang zwischen der Aggregatgröße und dem Feldaufgang ist auch bei den verschiedenen Saatstärken (Körner/m²) zu erwarten. Die unterschiedliche Ablage und die Keimbedingungen der Samenkörner sind durch die verschiedenen Krümelgrößen aus den vorhergehenden Kapiteln bekannt. Interessant erscheint nun, wie die einzelnen Saatstärken, vor allem die niedrigen und hohen Werte, auf unterschiedliche Aggregatgrößen (GMD) reagieren.

In den folgenden zwei Tabellen sind sechs Saatstärken im Durchschnitt von drei Bodenbearbeitungsgeräten (Fräse, Kreiselegge, Zinkenrotor) bei grober und feiner Bearbeitungsvariante (GMD mm) bei den untersuchten Fruchtarten dargestellt.

Tabelle 33: Einfluß der Saatstärke auf den Feldaufgang in Abhängigkeit von der Aggregatgröße

Standort: Vötting 1976

Fruchtart: Hafer

Bodenart: suL

GMD (\bar{x}) (mm)	Aufgang bei der Saatstärke (Körner/m ²) Pfl/m ²						
	100	250	350	500	700	1000	GD _{5%}
9,00	84,6	190,5	283,7	404,9	589,4	685,3	15,2
6,67	105,9	205,8	321,7	435,6	592,1	672,0	
sign. Unterschied	*	>	*	*	-	-	

Tabelle 34: Einfluß der Saatstärke auf den Feldaufgang in Abhängigkeit von der Aggregatgröße

Standort: Vötting 1975

Fruchtart: Sommergerste

Bodenart: suL

GMD (\bar{x}) (mm)	Aufgang bei der Saatstärke (Körner/m ²) Pfl/m ²						
	100	150	250	350	500	650	GD _{5%}
16,24	89,2	125,8	215,1	269,0	408,9	553,4	7,6
10,53	98,2	143,2	227,8	296,4	430,2	537,5	
sign. Unterschied	*	*	*	*	*	*	

Der Trend, daß die feinere Bearbeitungsvariante der größeren beim Feldaufgang überlegen ist, wird auch bei den verschiedenen Saatstärken bestätigt. In beiden Untersuchungen (Hafer Tab. 33, Sommergerste Tab. 34) geht dies klar hervor. Statistisch sind die geringeren und normalen Saatstärken abgesichert.

Bei den höheren Saatstärken > 500 Körner/m² ist bei Hafer kein signifikanter Unterschied mehr vorhanden. Ursache könnte die ungenauere Saatgutablage bei dem größeren Saatbett sein, denn dadurch wird die intraspezifische Konkurrenz gemildert. Die Konkurrenz um die Keimfaktoren ist dadurch räumlich und zeitlich etwas verschoben. Dagegen ist bei den niedrigeren Saatsmengen immer ein gesicherter Unterschied vorhanden, was gerade eine gute Saatbettbereitung bei den genannten Saatstärken verlangt.

Das Problem einer genaueren Aussage liegt auch hier wiederum in dem geringen Aggregatgrößenbereich. Doch ist es sehr wertvoll, wenn sich bereits aus kleineren Differenzen gewisse Tendenzen mehrfach zeigen, um den Aufwand der Untersuchungen einschränken zu können.

6.3.6. Einfluß des Säverfahrens bei gleicher Aggregatgröße auf den Feldaufgang

Die Wahl des Säverfahrens ist für die Saatguttiefenablage und -verteilung im Boden entscheidend. Im wesentlichen unterscheidet man die Drill-, die Band- und die Breitsaat. Wie ZELTNER (65) in seinen Untersuchungen nachwies, ist die Platzierung des Saatgutes im Boden entscheidend vom jeweiligen Säverfahren abhängig. Es zeigen sich erhebliche Unterschiede bei der Streuung (s), in der Tiefen- und in der Breitenablage. Bei der Breitsaat ist eine ungenauere Ablage in der Tiefe, aber eine bessere Verteilung über die Fläche gegeben. Da aber auch die Aggregatgröße (GMD) einen Einfluß auf die Saat-tiefenstreuung bei gleichem Säverfahren (Punkt 6.3.2) und auf den Feldaufgang (Punkt 6.3.4) hat, wird nun auf den Einfluß des Säverfahrens bei gleicher Aggregatgröße bei verschiedenen Getreidearten eingegangen. Der Vergleich des Feldaufganges (in Prozent) bezieht sich auf die Band- und Breitsaat eines Howard Sämvators.

Tabelle 35: Einfluß des Säverfahrens auf den Feldaufgang (%)

Standort	Frucht	Versuchsjahre	Säverfahren		GD _{5%}
			Bandsaat (%)	Breitsaat (%)	
Roggenstein	Winterweizen	1973 - 77	49,3	47,1	6,3
	Sommergerste	1973 - 77	77,4	70,7	4,0*
Dürnast	Winterweizen	1973 - 78	34,9	36,5	8,9
	Sommergerste	1973 - 78	52,2	44,7	4,3*

* signifikanter Unterschied

Wie die Tabelle 35 zeigt, ist der Feldaufgang bei den genannten Säverfahren (Band-, Breitsaat) bei Winterweizen und Sommergerste auf beiden Standorten über mehrere Versuchsjahre relativ niedrig. Dies ist vor allem auf die durchgeführte Frässaat ohne Grundbodenbearbeitung zurückzuführen. Während beim Winterweizen auf beiden Standorten im Vergleich der Säverfahren keine signifikanten Unterschiede vorhanden sind, kommt die Differenz bei der Sommergerste sehr deutlich zum Ausdruck. Hier ist die Breitsaat auf beiden Standorten der Bandsaat signifikant unterlegen.

Die Breitsaat bringt zwar eine Verbesserung des Standraumes der Einzelpflanze, aber eine ungenauere Saatgutablage in der Tiefe mit sich, was eine größere Streuung (s) im Saathorizont bedeutet. Dies bedingt schlechtere und ungleichmäßige Keimbedingungen für das Samenkorn und einen daraus resultierenden geringeren und heterogenen Feldaufgang.

Hieraus wird ersichtlich, daß die Fruchtarten auf die nachgewiesene größere Streuung der Breitsaat unterschiedlich stark mit dem Feldaufgang reagieren. So kann der Winterweizen die unterschiedlichen Keimbedingungen leichter ausgleichen als die Sommergerste. Daraus lassen sich auch die unterschiedlichen Ansprüche der Fruchtarten an das Saatbett ableiten.

6.3.7 Abhängigkeit der Aggregatgröße vom Witterungsverlauf

Der problematischste Faktor bei allen Überlegungen zur Optimierung der bereits behandelten Einflußfaktoren auf den Pflanzenaufgang ist der unbekannte Witterungsablauf nach der Bestellung. Eine optimale Saatbettbereitung unter Berücksichtigung sämtlicher bekannter und beeinflubarer Faktoren ist deshalb wegen dieser unbekanntes und nicht steuerbaren Größe nur bedingt möglich.

Bei den jeweiligen Verhältnissen müssen gewisse Schwerpunkte gesetzt werden, die auf Erfahrungswerten oder Fingerspitzengefühl basieren. Ein sicheres Rezept für die Bestellung wird es sicherlich auch in nächster Zukunft nicht geben. Eine genaue und treffsichere Wettervorhersage wäre daher eine wichtige Voraussetzung für die Überleitung der Bodenbearbeitung und -bestellung aus der Empirie in den Bereich der exakten Wissenschaft.

Solange dies aber noch nicht zutrifft, müssen wir uns weiterhin in einem bestimmten Bereich bewegen, der bei den gegebenen Bedingungen am Richtigsten erscheint. Sorgfältige und sachgerechte Bestell- und Sätechnik kann sowohl die Wahl des Saattermines, als auch die Saatmenge modifizieren. Auch sollte man bestrebt sein natürlich stabile Bodenkrümel durch Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit zu mehren. Oft werden ungünstige Boden- und Witterungsverhältnisse vorgegeben, um uneingestandene Unterlassungsfehler in der Anbautechnik zu verdecken.

6.3.8 Diskussion der Ergebnisse

Eine optimale Saatbettvorbereitung schafft die Basis für eine exakte Saatgutablage, geringe Streuung in der Saattiefe und für einen hohen und sicheren Feldaufgang. Da die einzelnen Ansprüche der Kulturpflanzen verschieden sind, muß auf die frucht- und standortspezifischen Anforderungen geachtet werden. Je nach Kulturpflanze sind die Ansprüche an die Saatbettbeschaffenheit unterschiedlich hoch.

Wie aus den durchgeführten Untersuchungen hervorgeht, hat die Krümelgröße (GMD) auf die Saatgutplazierung einen wesentlichen Einfluß, was durch die mittlere Saattiefe (\bar{x}) und Streuung (s) um die mittlere Saattiefe nachgewiesen werden konnte. Jedoch müßte hinsichtlich der Säverfahren noch eine weitere Differenzierung erfolgen, da die durchgeführten Untersuchungen nur auf der Drillsaat mit Schleppscharen beruhen. ZELTNER (65) und HEEGE (26) stellten bei der Drillsaat die exakteste Saatgutplazierung fest, während die Band- und die Breitsaat eine zunehmend ungenauere Ablage aufweisen. Grundsätzlich dürften diese Beziehungen bei den genannten

Säverfahren bestehen bleiben. Jedoch ist mit einer zunehmenden Krümelgröße auch mit einer weiteren Steigerung der Streuung um die mittlere Saattiefe bei den einzelnen Säverfahren zu rechnen. Auffallend bei den durchgeführten Untersuchungen (Drillsaat) ist, daß die Streuung um die mittlere Saattiefe nur relativ, aber nicht absolut festzustellen ist. Ein Einfluß der Sekundärbodenbearbeitungsgeräte wird nicht festgestellt.

Die ungleichmäßige Tiefenablage zeigt Auswirkungen auf die Keim- und Auflaufbedingungen, welche sich in einem verzögerten und geringeren Feldaufgang äußern. Ein Vegetationsvorsprung und höherer Feldaufgang wird durch ein feineres Saattbett, ein heterogener Pflanzenaufgang durch ein grobes Saattbett, erreicht.

Als ein Maß für die Heterogenität bzw. Homogenität des Pflanzen- und Feldaufganges bietet sich der Variationskoeffizient (VK) an. Es konnte jedoch nicht geklärt werden, inwieweit sich im Laufe der Vegetation der Pflanzenbestand an- und auszugleichen vermag. Wie jedoch aus der Literatur bekannt ist, vermag sich die Bestandesdichte von einer bestimmten Mindestgrenze ab durch die übrigen Ertragsfaktoren, Kornzahl/Ähre und Tausendkorngewicht, gegenseitig zu ersetzen (11).

Die Auswirkungen der Aggregatgröße auf den Feldaufgang ist bei den niedrigen Saatstärken besonders hoch, aber auch noch bei der normalen Saatstärke vorhanden. Die Zeitdauer des Pflanzenaufganges wird dagegen im wesentlichen vom jeweiligen Witterungsablauf beeinflußt.

Ein weiteres Ziel dieser Untersuchungen war es, den gewogenen mittleren Durchmesser (GMD) in Beziehung zum Pflanzen- und Feldaufgang zu setzen, um diese Kenngröße unter

den hiesigen Standortbedingungen zu prüfen und zu werten. Es zeigt sich deutlich, daß sich zu diesen Aussagen der GMD eignet. Im Vergleich zu den übrigen aufgeführten Kenngrößen, bei den Korrelationen mit dem Pflanzenaufgang, ist er nicht unterlegen. Dies läßt sich vom Beginn des Pflanzenaufganges bis hin zum Feldaufgang feststellen.

Der Einfluß des Säverfahrens auf den Feldaufgang bei gleicher Aggregatgröße wird auch bei diesen Untersuchungen nachgewiesen. Somit werden die Aussagen von ZELTNER (65) und HEEGE (26) bestätigt. Jedoch reagieren die verschiedenen Fruchtarten unterschiedlich. Dies könnte auf die Länge der Auflaufphase und auf die jeweiligen Auflaufbedingungen zurückzuführen sein.

Die verschiedenen Fruchtarten reagieren auf ein unterschiedliches Saatbett tendenziell alle gleichmäßig. Bei einem größeren Saatbett sinkt der Feldaufgang und der Variationskoeffizient nimmt zu. Auf die unterschiedlichen Ansprüche der einzelnen Fruchtarten muß jedoch hingewiesen werden. Eine optimale Aggregatgröße läßt sich wegen des unbekanntes Witterungsablaufes nach der Bestellung generell nicht angeben, sondern immer nur ein bestimmter Bereich, womit sich die Aussagen von ESTLER (15) bestätigen. Weiterhin ist die Verschlammungsgefahr und -neigung der Böden an den jeweiligen Standorten zu berücksichtigen.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Das Teilsystem Bodenbearbeitung kann nicht isoliert betrachtet werden, sondern es ist ein integrierter und wichtiger Bestandteil der pflanzlichen Produktion. Als die derzeit wichtigsten Anforderungen sind die Steigerung des effektiven Ertrages (dt/ha) und der Ertragssicherheit anzusehen. Dies bedeutet auf dem Sektor der Bodenbearbeitung eine Steigerung der Flächenleistung und Schlagkraft, termingerechte Bestellung und gezielter Bearbeitungseffekt bei gleichzeitig verbesserter Qualität der Arbeitserledigung. Der frucht- und standortspezifischen Saatbettqualität wird in der Zukunft eine noch größere Bedeutung beigemessen werden müssen.

Daher war es notwendig, den Einfluß der wichtigsten und veränderlichen Parameter, wie der Bodenfeuchte, der Werkzeuggeschwindigkeit, der Standorte, der Grundbodenbearbeitung, der Jahre und der Bearbeitungstermine auf die Bodenzerkleinerung zu untersuchen. Mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse wurden die wesentlichsten Faktoren der Bodenzerkleinerung in ihrer Bedeutung und Wirkung errechnet.

Zur Beurteilung des Bearbeitungseffektes wurde primär die Schollensiebanalyse verwendet. Mit dieser Methode wurden auch die Ergebnisse der Reliefmessungen korreliert, um so klarere Erkenntnisse und etwaige Zusammenhänge analysieren zu können. Die Auswirkungen der Aggregatgröße auf den Verlauf des Pflanzenaufganges wurde vor allem in der Analyse der Saatgutablagegenauigkeit und des Einwirkens verschiedener Saatstärken, Säverfahren und des jeweiligen Witterungsablaufes berücksichtigt. Die Schwierigkeiten, mit denen man bei Feldversuchen zu rechnen hat, um gesicherte Aussagen über diese Zusammenhänge zu treffen, wurden aufgezeigt.

Die Untersuchungen erbrachten folgende Ergebnisse:

1. Die Versuchsjahre ergaben unterschiedliche Zerkleinerungseffekte, wobei das Maximum bei einem Bodenwassergehalt zwischen 18 bis 21 % lag.

In Abhängigkeit von den boden- und gerätespezifischen Einflußfaktoren ergaben sich bei den untersuchten Geräten differenzierte Ergebnisse. So war es nach statistischer Berechnung bei der Fräse und der Kreiselegge die Umfangsgeschwindigkeit (v_U) der Arbeitswerkzeuge und bei der Rüttellegge der Bodenwassergehalt (Gewichts-%), welche den größten Einfluß auf die Bodenzerkleinerung hatte. Bei der Rotoregge konnte keine der untersuchten Einflußgrößen statistisch abgesichert werden.

Der Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge zeigt eine Parallele zu den gezogenen Oberflächennachbearbeitungsgeräten, bei denen ebenfalls mit der Steigerung der Vorfahrtgeschwindigkeit eine höhere Zerkleinerung einhergeht. Die Grenzen liegen jedoch in der möglichen Leistungsübertragung, woraus sich die Vorteile der zapfwellenangetriebenen Geräte mit veränderlicher Drehzahl ableiten lassen. Der günstigste Bereich liegt bei der Kreiselegge bei einer Vorfahrtgeschwindigkeit (v) von 1 m/s und einer Umfangsgeschwindigkeit (v_U) von 3,5 m/s. Dies entspricht einer Drehzahl von etwa 242 Umdrehungen pro Minute. Bei der Fräse liegen die Werte bei einer Vorfahrtgeschwindigkeit (v) von 1,33 m/s und einer Umfangsgeschwindigkeit (v_U) von 6,2 m/s. Dies entspricht einer Drehzahl von 255 Umdrehungen pro Minute.

Auch bestätigte sich die in der Praxis gemachte Erfahrung, daß der Einfluß der Bodenart, des Bearbeitungszeitpunktes und der Geräte auf die Zerkleinerungswirkung groß ist.

Die Funktion der Nachlaufgeräte liegt vorrangig in der Tiefenführung der Bearbeitungswerkzeuge und in der Rückverfestigung des zu tief gelockerten Saathorizontes, nicht je-

doch in einer zusätzlichen Zerkleinerungswirkung. Dies konnte mit beiden Untersuchungsmethoden (GMD, RM) festgestellt werden.

Bei der Grundbodenbearbeitung lassen sich zwischen Schar- und Kreiselpflug keine signifikanten Unterschiede im Bezug auf den Zerkleinerungseffekt nach der Oberflächenbearbeitung errechnen.

Die Arbeitstiefe der Sekundärbodenbearbeitungsgeräte zeigt keinen Einfluß auf die Bodenzerkleinerung. Mit zunehmender Arbeitstiefe blieb die Aggregatgröße (GMD) konstant.

2. Die Beurteilung des Zerkleinerungseffektes erfolgte nach den Grundlagen der Schollensiebanalyse. An der Kenngröße des Gewogenen Mittleren Durchmessers (GMD) wurde festgehalten. Als Beurteilungsmaßstab zeigte er zu den übrigen bereits verwendeten Kenngrößen eine hohe Korrelation und sollte deshalb wegen der Einfachheit, leichten Vorstellbarkeit und sicheren Aussage als der primäre Beurteilungsmaßstab für die Bodenzerkleinerung in Zukunft Verwendung finden.

Der Nachteil dieser Methode liegt an dem hohen Arbeitsaufwand und in der langen Zeitspanne zwischen der Probenahme und dem Vorliegen der Ergebnisse. Deshalb kann keine Aussage sofort nach der Bearbeitung erfolgen. In Anlehnung an die Reliefmessungen nach KUIPERS und den Untersuchungen von DITTMANN wurde das vorhandene Reliefmeßgerät weiterentwickelt und vereinfacht. Dies diente vorwiegend einer schnelleren Erfassung des Arbeitseffektes und der sofortigen Aussage nach der Bearbeitung. Die Ergebnisse der Reliefmessung wurden mit dem Beurteilungsmaßstab GMD nach der Schollenanalyse korreliert, um so etwaige Zusammenhänge zwischen beiden Methoden herausfinden zu können. Der errechnete Grad des Zusammenhanges (r) der Kenngrößen beider

Methoden (GMD und AM) war hoch ($r = 0,9$), so daß bei den unterstellten Bedingungen die Reliefmessung als ein Ersatz für die Schollensiebanalyse verwendet werden kann. Einschränkungen sind durch die verschiedenen Bearbeitungs-terminen und durch die Form der Nachlaufgeräte gegeben. Diese können durch die Erstellung einer Eichkurve verringert werden.

Bei Verwendung des weiterentwickelten Reliefmeßgerätes ist es möglich, den Bearbeitungseffekt von Bodenbearbeitungsgeräten objektiv festzustellen, mit Kenngrößen zu formulieren, die Maßzahlen zu vergleichen und kritisch zu beurteilen. Für die statistisch notwendige Anzahl der Wiederholungen hat sich der Variationskoeffizient als günstig erwiesen. Ebenso hat sich diese Kenngröße auch als Maß für die notwendige Anzahl der Wiederholungen beim Pflanzenaufgang ergeben.

3. Im Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen (HEEGE, ZELTNER) hat nicht nur das Säverfahren einen Einfluß auf die mittlere Saattiefe (\bar{x}) und auf die Streuung um die mittlere Saattiefe (s), sondern vor allem auch die jeweilige Aggregatgröße (GMD). Die Folgen der ungleichmäßigen Tiefenablage äußern sich in einem verzögerten (4 Tage), heterogenen und geringen Feldaufgang, welcher mit Hilfe des Variationskoeffizienten gut erfaßt werden kann. Mit zunehmender Saatstärke verringert sich jedoch der Einfluß der Aggregatgröße. Ebenso spielt der jeweilige Witterungsablauf zur Zeit der Keim- und Auflaufphase eine entscheidende Rolle. Der GMD zeigte sich auch im Zusammenhang mit dem Pflanzenaufgang als ein recht brauchbarer Beurteilungsmaßstab. Das Optimum des Feldaufganges lag bei einem Ge-wogenen Mittleren Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate um 15,0 mm.

Man kann aus diesen Untersuchungen den Schluß ziehen, daß die Bodenbearbeitung und Bestelltechnik ein Produktionsmittel des Pflanzenbaues ist, dessen Einsatz nicht schematisch zu erfolgen hat, sondern in den übrigen Faktoren des Betriebs- und Produktionssystems eingegliedert werden muß.

Der Pflanzenbau - als ein kompliziertes Wechselspiel des Dreiklangs **B o d e n - P f l a n z e - G e r ä t** in Abhängigkeit von den genetisch festgelegten physiologischen Bedürfnissen der einzelnen Pflanzenarten und unter dem Einfluß der Keimfaktoren von Licht, Wärme und Feuchtigkeit - ist bei weitem noch nicht völlig geklärt. Es wurde bei diesen Untersuchungen immer wieder deutlich, daß infolge des dynamischen Charakters und der multifaktoriellen Abhängigkeit dieses Wechselspiel Boden-Pflanze-Gerät nur begrenzt steuerbar ist.

Im praktischen Ackerbau gibt es daher kaum eine ideale oder optimal genau definierte Kenngröße für den Boden, für ein Gerät oder eine bestimmte Pflanze, sondern immer nur einen mehr oder weniger breiten Bereich. Ziel der weiteren Forschung muß es deshalb sein, ein System zuverlässiger Informationen, vor allem des Witterungsgeschehens, zu entwickeln, um der Praxis die Ausnutzung aller Maßnahmen einer gezielten Bodenbearbeitung zu ermöglichen.

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. A c h i l l e s, A.: Auf die genaue Kornablage kommt es an. Lohnunternehmer, H. 1 (1977), S. 9 - 12
2. B a v e l v a n, C.H.M.: Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Proc. Soil. Sci. Amer. 19 (1949), S. 20 - 23
3. B a v e r, L.D.: The effect of the organic mater upon several physical properties of soils. J. Amer. Soc. Agron. 22 (1930), S. 703 - 708
4. B e r n a c k i, H., H a m a n, J.: Grundlagen der Bodenbearbeitung und Pflugbau, VEB-Verlag Technik Berlin (1972)
5. B o o s e, D., H e r z o g, R., S e i d e l, K.: Untersuchung von Arbeitseffekten verschiedener Bodenbearbeitungswerkzeuge. Albrecht-Thaer-Archiv, Bd. 14 (1970),
6. B o r n e m a n n, A.: Bodenphysikalische Studien zur Fräskultur, Deutsche Landw. Presse, Bd. 49 (1922), Nr. 47, S. 321 - 322
7. B ä t t c h e r, G.: Untersuchungen an Bodenfräsworkzeugen in einem Bodenkanal. Landtechnische Forschung (1957), H. 2, S. 50 - 52
8. C u r r e n c e, H.D., L o v e l y, W.G.: The Analysis of Soil Surface Roughness. Transactions of the ASAE (1970), S. 710 - 714
9. C u r r e n c e, H.D., L o v e l y, W.G.: An Automatic Soil Surface Profilometer. Transactions of the ASAE (1971), S. 69 - 71
10. C z e r a t z k i, W.: Die Charakterisierung von bearbeitungsbeeinflußten Bodeneigenschaften in Beziehung zum Pflanzenwachstum. Landbauforschung Völkenrode Bd. 16 (1966), H. 1, S. 37 - 44
11. D e b r u c k, J., F i s c h b e c k, G., K a m p e, W.: Getreideanbau aktuell. DLG-Verlag, Frankfurt/Main (1975)
12. D i t t m a n n, T.: Methodische Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Bodenoberflächenkontur und Aggregatgrößenzusammensetzung. Diplomarbeit Weißenstephan (1976)

13. D o m s c h, M., K a l k, W.D.: Erfahrungen mit einer Zeitlupenkamera bei Untersuchungen von Bodenbearbeitungswerkzeugen. Agrartechnik. 24 (1974), H. 1, S. 32 - 33
14. E n g e l, R.: Die Kinematographie als Forschungsmittel zur Beurteilung der Einzelvorgänge an Bodenbearbeitungsgeräten. Landtechnische Forschung 19 (1971), H. 3/4, S. 71 - 80
15. E s t l e r, M.: Bodenbearbeitung und Bestelltechnik für Körnerfrüchte. Jahresbericht der Landtechnik Weißenstephan (1975), S. 97 - 108
16. F e u e r l e i n, W.: Meßmethoden und Kenngrößen zur Ermittlung des Arbeitserfolges beim Pflügen. Grundlagen der Landtechnik 18 (1968), Nr. 2, S. 65 - 77
17. F e u e r l e i n, W.: Geräte zur Bodenbearbeitung. 2. Auflage, Stuttgart 1971
18. F r e s e, H.: Aussichten für eine exakte Beurteilung des Arbeitserfolges von Bodenbearbeitungsgeräten. Grundlagen der Landtechnik 7 (1956), S. 5 - 10
19. G a l l w i t z, K., B r e i t f u ß, J.: Vergleichende Untersuchungen an Bodenfräswerkzeugen in zwei Modellböden. Landtechnische Forschung 3 (1953), S. 125 - 129
20. G a l l w i t z, K.: Arbeitsaufwand und Krümelbildung von Fräswerkzeugen in der Bodenrinne. Grundlagen der Landtechnik 9 (1957), S. 54 - 57
21. G r a b l e, A.R., S i e m e r, E.G.: Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32 (1968), S. 180 - 186
22. H a d a s, A., R u s s o, D.: Water uptake by seeds as affected by waterstress, capillary conductivity and seed-soil-water-contact. Agr. Z. 66 (1974), I. Experimental Study, S. 643 - 647, II. Analysis of Experimental Data, S. 647 - 652
23. H a k a n s s o n, J., v. P o l g a r, Z.: Modellförsök med Sodbäddensfunktion. Landbrukshögskolan, Upsala, Rapporter från Jordbearbetningsvidelningarna (1971)
24. H a n s e n, G.: Einfluß der Saattechnik bei Minimalbestellmaschinen auf Keimung und Pflanzenentwicklung am Beispiel von Winterweizen. Diplomarbeit Weißenstephan (1972)

25. H e e g e, H.J.: Getreidebestellung. Bodenbearbeitungs-Sätechnik-Kombination von Arbeitsgängen, Frankfurt (1973)
26. H e e g e, H.J.: Tiefenablage der Körner bei der Getreidebestellung. Landtechnik 3 (1974), S. 115 - 120
27. H e e g e, H.J.: Saatbettherrichtung für Getreide. Landtechnik 3 (1974), S. 108 - 109
28. H e e g e, H.J.: Technik der Getreidebestellung. Mitteilungen der DLG, 14 (1975), S. 785 - 788
29. H e e g e, H.J., M ü l l e, G.: Technik bei der Aussaat von Getreide. Neuzeitliche Bestelltechnik, KTBL-Schrift 212 (1977), S. 88 - 99
30. H e e g e, H.J.: Technik bei der Getreidebestellung. Mitteilungen der DLG 18 (1977), S. 1004 - 1007
31. H e n d r i c k, J.G., G i l l, W.R.: Rotary-Tiller Design Parameters. Transaction of ASAE (1971), S. 669 - 683
32. K a h n t, G., B a u s c h, R., K ö l l e r, K.-H.: Auswirkungen einiger den Arbeitseffekt von Bestellwerkzeugen kennzeichnenden Größen auf den Pflanzenaufgang von Getreide. Grundlagen der Landtechnik 26 (1976), Nr. 4, S. 140 - 144
33. K a h n t, G.: Forderungen des Pflanzenbaues an die Bestelltechnik. Landtechnik 3 (1977), S. 97 - 101
34. K a i n, M.K., A g r a w a l, J.P.: Effect of clod size in the seedbed on development and yield of sugarcane. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34 (1970), S. 795 - 797
35. K a l k, W.-D.: Zur Nutzung der Rotorabdeckung einer Bodenfräse als Arbeitsorgan. Agrartechnik 27 (1977), H. 7, A. 321 - 323
36. K l ü g e l, M.: Saatbettbereitung und Bestelltechnik. Landtechnik 3 (1976), S. 94 - 96
37. K n i t t e l, H.: Auswirkungen der Minimalbestelltechnik auf physikalische Bodeneigenschaften. Dissertation Weihenstephan (1975)
38. K ö l l e r, K.-H.: Neuzeitliche Bestelltechnik. KTBL-Schrift 212 (1977), S. 28 - 37
39. K o r s m o, E.: Saadybde - ob Saamenmengdeforsok med vaarkorn. Meldinger fra Norges. Landbrukshoiskole 13, Oslo (1933), S. 321

40. K r a u s e, E.: Russische Forschung auf dem Gebiet der Bodenstruktur. Landwirtschaftliche Jahrbücher 1973 (1931), H. 4, S. 603 - 690
41. K u i p e r s, H.: A reliefmeter for soil cultivation studies. Netherlande Journals of Agric. Sci. 5 (1957), S. 255 - 262
42. K u i p e r s, H.: Bemerkungen zum Reliefmeßgerät. Institut für Bodenfruchtbarkeit, Groningen, Niederlande, Mai 1959, S. 1 - 3
43. K u i p e r s, H.: Der Arbeitserfolg eines Pfluges. DLG-Mitteilungen (1959), H. 13, S. 376 - 382
44. K u n z e, A., K a i s e r, M., S t r a n a k, A.: Einfluß der Lagerungsdichte des Bodens auf Keimung und Entwicklung von Sommergerste. A. Thier-Archiv 10 (1966), S. 927 - 938
45. K u n z e, A.: Bodenbearbeitung und Bestellung in hoher Qualität. Agrartechnik 24, H. 1 (1974), S. 20 - 22
46. P l a r r e, W.: Die Züchtung leistungsfähiger Getreidesorten als Beitrag zur Sicherung der Welternährung. Berlin und Hamburg (1971), S. 51
47. P r e u s c h e n, G.: Die Technik im landwirtschaftlichen Betrieb. Stuttgart (1951)
48. P u c h n e r, H.: Die Schollenanalyse, ein Mittel zur Bestimmung der Bodenstruktur. Mitteilungen der DLG 26 (1911), S. 38 - 40
49. P u c h n e r, H.: Vergleichende Untersuchungen über die Kohäsionsverschiedener Bodenarten. Mitteilungen für Bodenkunde III (1913), S. 191 - 239
50. P u c h n e r, H.: Bodenkunde für Landwirte. Stuttgart (1923)
51. R e e g e, H.: Der Zerkleinerungserfolg als Bewertungsmaßstab für Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen. Deutsche Agrartechnik 15 (1965), H. 8, S. 376 - 378
52. R i d, H.: Bodenbearbeitung und Bodenpflege. BLV-Verlagsgesellschaft München-Bonn-Wien (1958)
53. R i d, H., S ü B, A.: Zur Methodik der Prüfung des Effektes von Bodenbearbeitungsgeräten. Landtechnische Forschung 10 (1960), H. 3, S. 62 - 69

54. R i d, H.: Bodenbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen. Landtechnik 19 (1964), S. 723 - 728
55. R u h m, E.: Bessere Arbeitseffekte bei der Grundbodenbearbeitung. Landtechnik 3 (1976), S. 89 - 93
56. S a c h s, L.: Angewandte Statistik. Berlin 4. Auflage, Springer-Verlag (1974)
57. S c h a f e r, R.L., L o v e l y, W.G.: Recording Soil Surface Profile Meter. Agricultural Engineering May (1967), S. 280 - 282
58. S c h e f f e r, F., S c h a c h t s c h a b e l, P.: Lehrbuch der Bodenkunde, 8. Auflage (1973), Enke-Verlag, Stuttgart
59. S ö h n e, W.: Krümel- und Schollenanalyse als ein Mittel zur Beurteilung der Güte der Bodenbearbeitung. Landtechnische Forschung 4 (1954), S. 79 - 81
60. S ö h n e, W.: Form und Anordnung von Fräswerkzeugen. Grundlagen der Landtechnik 9 (1957), S. 69 - 87
61. S ö h n e, W., M ö l l e r, R., B r u e r, R.: Geräte und Meßeinrichtungen zur Durchführung und Auswertung von Pflugversuchen. Landtechnische Forschung 12 (1962), H. 2, S. 44 - 47
62. S t e i n k a m p f, H., Z a c h, M.: Leistungsbedarf und Krümeleffekt von gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten zur Saatsbettbereitung. Landbauforschung Völknerode 24 (1974), H. 1, S. 55 - 62
63. T h e i s s i g, K.: Arbeitseffekt von Geräten zur Sekundärbodenbearbeitung. Dissertation Bonn (1975)
64. V o l l m e r, D.: Wie die Saat, so die Ernte. Top agrar 9 (1977), S. 45
65. Z e l t n e r, E.: Betriebstechnische und pflanzenbauliche Aspekte verschiedener Minimalbestellverfahren. Dissertation Weihenstephan (1975)
66. Z h u l a m a n o v, K.R.: Methode zur Bestimmung der Arbeitsbreite von Bodenbearbeitungsfräsen. Vestnik sel'skochoz. Nauki, Alma-Ata 20 (1977) 3, S. 98 - 101

E D V - P r o g r a m m e :

67. A u e r n h a m m e r , H.: PESK - Programm zur Erstellung statistischer Kenngrößen. Programmbibliothek des Instituts für Landtechnik, TU München-Weihenstephan 1976, 2. Auflage, S. 6 - 8
68. A u e r n h a m m e r , H.: ABMUR - Abbauende multiple Regression, EDV-Programmbibliothek des Instituts für Landtechnik, TU München-Weihenstephan 1976, 2. Auflage, S. 9 - 12
69. A u e r n h a m m e r , H.: AUFMUR - Aufbauende multiple Regression. EDV-Programmbibliothek des Instituts für Landtechnik, TU München-Weihenstephan 1976, 2. Auflage, S. 23 - 26
70. A u e r n h a m m e r , H.: RAUH - Rauheitsbestimmung. EDV-Programmbibliothek des Instituts für Landtechnik, TU München-Weihenstephan 1976, 2. Auflage, S. 36 - 37
71. A u e r n h a m m e r , H.: AREGA - Aggregatgrößenauswertung. EDV-Programmbibliothek des Instituts für Landtechnik, TU München-Weihenstephan 1976, 2. Auflage, S. 38 - 39
72. A u e r n h a m m e r , H.: Varianzanalyse. Programmbibliothek der Rechenzentrale am BELF
73. A u e r n h a m m e r , H.: Programm 5001. EDV-Programmbibliothek des Instituts für Landtechnik, TU München-Weihenstephan 1973
74. A u e r n h a m m e r , H.: UMSTA - Umstanzen. EDV-Programmbibliothek des Instituts für Landtechnik, TU München-Weihenstephan 1972

9. VERZEICHNIS DER TABELLEN

Nr.	Seite
1 Bodentyp, Bodenart und Bodenzahl der Versuchsstandorte	20
2 Textur und organische Substanz der Ap-Horizonte	21
3 Übersetzungsverhältnisse, Drehzahlen (1/min), Umfangsgeschwindigkeit (m/s) und Codenummer bei den Versuchsjahren	25
4 Übersetzungsverhältnisse, Drehzahlen (1/min), Umfangsgeschwindigkeiten (m/s) und Codenummer bei den Versuchsjahren	26
5 Benutzte Vorfahrtgeschwindigkeit (m/s) und Codenummern bei der Rüttelegge	29
6 Übersetzungsverhältnisse, Drehzahlen (1/min), Umfangsgeschwindigkeit (m/s) und Codenummer bei den Versuchsjahren	30
7 Drehzahl (n) und Umfangsgeschwindigkeit (v_U) der Arbeitswerkzeuge	35
8 Korrelation (r) der Prozentanteile der Siebfraktionen und der übrigen Aggregatgrößenkennziffern mit dem Gewogenen Mittleren Durchmesser (GMD) und der Vergleich der absoluten Größen (n = 198)	41
9 Mehrjähriger Vergleich zweier Bodenarten hinsichtlich der Aggregatgröße (GMD) bei unterschiedlichen Bearbeitungszeitpunkten (Bestellzeitpunkt der Fruchtarten)	74
10 Einfluß der Geräte auf die Bodenzerkleinerung (GMD) bei mehrjährigen Versuchen auf zwei Standorten (Roggenstein, Dürnast)	75
11 Einfluß der untersuchten Geräte auf den Zerkleinerungseffekt (GMD mm) an unterschiedlichen Bearbeitungsterminen	78
12 Einfluß der Nachlaufgeräte auf die Bodenzerkleinerung	80

13	Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf die Bodenzerkleinerung beim Einsatz zapfwellengetriebener Geräte	81
14	Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf den Zer- kleinerungseffekt (GMD) einer Fräse	83
15	Der durchschnittliche Bodenfeuchtegehalt in Pro- zent zum jeweiligen Bearbeitungstermin bei den ver- schiedenen Grundbodenbearbeitungsvarianten	83
16	Einfluß der Jahre auf den Zerkleinerungseffekt (GMD) der Bodenbearbeitungsgeräte	85
17	Mittelwert und Streuung der Prozentanteile der Siebfractionen	88
18	Der Bodenbearbeitungseffekt (ZG) in Abhängigkeit wichtiger Einflußfaktoren der Bodenzerkleinerung (statistische KenngröÙe)	90
19	Korrelation der AggregatgröÙe (GMD) mit den ver- schiedenen Rauheitskennziffern der untersuchten Ge- räte auf zwei Standorten im Jahre 1975 (Stababstand = 50 mm)	98
20	Korrelation der AggregatgröÙe (GMD) mit den ver- schiedenen Rauheitskennziffern der untersuchten Ge- räte auf zwei Standorten im Jahre 1975 (Stababstand = 100 mm)	99
21	Korrelation der AggregatgröÙe (GMD) mit den ver- schiedenen Rauheitskennziffern der untersuchten Ge- räte auf zwei Standorten im Jahre 1975 (Stababstand = 150 mm)	100
22	Korrelation der errechneten Rauheitskennziffern mit dem Rauheitsmaß (RM = Polygonlänge in mm) bei ver- schiedenen Stababständen (n = 155)	103
23	a/b Korrelation der KrümelgröÙe (GMD) mit dem Rau- heitsmaß (RM)	105/106
24	a/b Absolutglied (a) und Steigungsmaß (b) der Agg- regatgröÙe (GMD = y) in Abhängigkeit vom Rauheits- maß (RM = x) bei verschiedenen Stababständen	108/109

25	Einfluß der Nachlaufgeräte auf die Bodenoberflächenrauheit (R_M)	116
26	Korrelation (r) der mittleren Saattiefe (\bar{x}) und die Streuung um die mittlere Saattiefe (s) in Abhängigkeit von der Aggregatgröße (GMD) und den Bodenbearbeitungsgeräten	128
27	Vergleich der absoluten Zahlen der Aggregatgröße (GMD) und der Standardabweichung	131
28	Abhängigkeit der Streuung (s) von der mittleren Saattiefe (\bar{x}) bei verschiedenen Fruchtarten und Bodenbearbeitungsgeräten	132
29	Beziehungen zwischen dem Pflanzenaufgang ($Pfl/m^2 =$ Abszisse y) und der Aggregatgröße (GMD = Ordinate x) in Abhängigkeit von der Vegetationszeit	139
30	Korrelation der Aggregatgrößenklassen und dem GMD mit dem Pflanzenaufgang in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer	142
31	Korrelation der Aggregatgrößenklassen und dem GMD mit dem Pflanzenaufgang in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer	143
32	Korrelation der Aggregatgrößenklassen und dem GMD mit dem Pflanzenaufgang in Abhängigkeit von der Vegetationsdauer	146
33	Einfluß der Saatstärke auf den Feldaufgang in Abhängigkeit von der Aggregatgröße	148
34	Einfluß der Saatstärke auf den Feldaufgang in Abhängigkeit von der Aggregatgröße	149
35	Einfluß des Säverfahrens auf den Feldaufgang (%)	151

10. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Nr.		Seite
1	Anteil des Getreides und der Ackerfläche und der durchschnittliche Getreideertrag (dt/ha) in der Bundesrepublik Deutschland	7
2	Sämaschine (Seitenansicht)	24
3	Bewegungsablauf der Fräsmesser im Boden (nach ZELTNER)	24
4	Kreiselegge (Seitenansicht)	27
5	Bewegungsablauf der Kreiseleggenzinken im Boden (nach ZELTNER)	27
6	Rüttelegge (Seitenansicht)	28
7	Rotoregge (schematisch)	31
8	Versuchsplan Zolling	34
9	Versuchsplan Vötting	37
10	Reliefmeßgerät zur Messung der Bodenoberflächenrauheit	45
11	Reliefmeßgerät im praktischen Einsatz	46
12	Noch zu messende (n) bei bereits 10 gemessenen Wiederholungen (n) beim RM 25 in Abhängigkeit vom Variationkoeffizienten (VK)	49
13	Bodenhobel zur Bestimmung der Saattiefe (nach ZELTNER)	50
14	Zeitlicher Verlauf des Pflanzenaufganges (schematisch in abgeänderter Form nach KAHNT (32))	52
15	Noch zu messende (n) bei bereits 10 gemessenen Wiederholungen (n) beim Feldaufgang in Abhängigkeit vom Variationskoeffizienten (VK)	55
16	Einfluß der Bodenfeuchte auf die Bodenzerkleinerung in zwei Versuchsjahren	59

17	Einfluß der Bodenfeuchte auf die Bodenzerkleinerung bei unterschiedlicher Werkzeuggeschwindigkeit in zwei Versuchsjahren	61
18	Einfluß der Bissenlänge (l_B) bei konstanter Umfangsgeschwindigkeit (v_U) auf die Aggregatgröße (GMD)	65
19	Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) bei gleicher Bissenlänge (l_B) auf die Bodenzerkleinerung	67
20	Einfluß von u/v auf die Bodenzerkleinerung bei Fräse und Kreiselegge in Abhängigkeit unterschiedlicher Werkzeug- und Umfangsgeschwindigkeiten (v_U)	70
21	Einfluß vom Verhältnis u/v auf die Bodenzerkleinerung bei verschiedenen Bodenfeuchten	72
22	Einfluß der Arbeitstiefe auf die Aggregatgröße (GMD) bei Fräse und Kreiselegge	87
23	Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) auf den Arbeitseffekt (ZG) und auf die Flächenleistung (theoretisch, ha/Std) in Abhängigkeit vom Leistungsbedarf (kW)	92
24	Abhängigkeit des Rauheitsmaßes (RM) von der Aggregatgröße (GMD) bei unterschiedlichem Bodenwasser-gehalt und verschiedenem Stababstand	112
25	Beziehungen zwischen dem Rauheitsmaß (RM 25) und der Krümelgröße (GMD)	115
26	Veränderung der Bodenoberflächenrauheit im Laufe der Vegetationszeit	118
27	Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Saattiefe (cm) bei verschiedenen Bearbeitungsgeräten	127
28	Einfluß der Aggregatgröße (GMD) auf die Standardabweichung (s) um die mittlere Saattiefe bei verschiedenen Bodenbearbeitungsgeräten	130
29	Abhängigkeit des Variationskoeffizienten (VK) der Keimdichte (Pfl/m ²) von der Aggregatgröße (GMD) und der Vegetationszeit	134
30	Abhängigkeit des Variationskoeffizienten (VK) der Keimdichte von der Saatstärke und der Aggregatgröße	136
31	Einfluß der Aggregatgröße und Vegetationsdauer auf Keimdichte und Feldaufgang	140

11. A N H A N G

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Tabelle 1: Aggregatgrößen (GMD) in mm
Standort: Zolling, Versuchsjahr 1975

Geräte- code	Bearbeitungsstermin/Bodenfeuchte (%)				
	14.8.1975	21.8.1975	04.9.1975	11.9.1975	25.9.1975
	23,0	20,0	19,7	18,4	15,0
351	41,58	31,98	29,93	28,92	38,00
352	32,99	38,22	29,61	30,91	46,08
353	30,01	39,10	29,62	26,03	40,56
354	36,39	27,30	22,55	23,05	36,79
355	25,68	23,63	27,28	23,98	34,47
356	21,64	16,85	14,79	17,23	26,21
GD 5%	6,64	6,29	5,54	9,22	5,51
331	38,40	30,78	25,62		37,75
332	30,44	28,65	24,79		37,62
333	35,44	28,46	25,50		33,26
334	31,88	19,48	19,74		30,67
335	25,61	15,71	12,94		30,62
336	14,51	11,89	10,22		24,38
GD 5%	4,94	6,77	6,30		6,45
361	36,40	31,18	35,20	31,19	32,38
362	28,38	29,36	31,66	30,87	38,80
363	28,85	28,27	30,89	33,55	34,64
364	24,71	21,05	29,77	29,20	34,49
365	26,31	14,68	21,40	27,74	34,79
366	21,22	19,13	20,89	24,99	27,18
GD 5%	8,37	7,66	6,61	6,92	7,81
321	22,82	22,59	27,48	30,48	34,55
322	20,52	23,18	30,55	28,07	36,76
323	27,38	19,28	26,41	26,72	31,19
324	36,06	29,26	24,28	31,26	34,90
325	24,29	19,50	21,88	24,97	35,77
326	27,36	26,21	28,02	30,09	33,97
GD 5%	7,16	8,18	9,39	8,00	5,45

Tabelle 2: Ergebnisse der Aggregatgrößen und Rauneitsmessungen
Zolling (1) 23.8.1976
Bodenwassergehalt 16.2 %

Geräte- code	GMD (mm)	RM 25 (mm)	RM 50 (mm)	RM 100 (mm)
351	19,62	18,00	10,14	4,00
352	17,86	16,00	8,02	2,50
353	15,25	12,42	6,44	3,24
354	11,22	8,16	3,84	2,20
355	9,17	7,16	4,32	2,20
GD _{5%}	4,99			
331	13,81	16,38	8,22	3,86
332	11,26	13,54	7,18	2,34
333	12,21	15,12	6,74	2,58
334	8,94	10,96	6,02	4,02
335	7,79	10,02	4,42	1,06
GD _{5%}	4,02			
361	21,35	15,00	8,44	3,76
362	19,42	12,94	7,14	2,52
363	20,33	13,60	5,26	1,54
364	10,67	5,76	2,62	1,06
365	14,81	8,90	4,70	1,76
GD _{5%}	7,45			

Tabelle 3: Ergebnisse der Aggregatgrößen und Rauheitsmessungen
Zolling (2) 26.8.1976
Bodenwassergehalt 14,0 %

Geräte- code	GMD (mm)	RM 25 (mm)	RM 50 (mm)	RM 100 (mm)
351	22,60	12,77	6,52	2,74
352	18,35	11,15	5,16	1,87
353	17,45	10,82	4,08	1,77
354	16,79	10,78	4,92	1,85
355	14,07	7,86	3,29	1,30
GD _{5%}	7,38	2,21	2,01	0,84
331	20,70	11,22	6,20	2,38
332	16,73	13,36	6,88	2,88
333	18,67	13,17	6,62	2,28
334	18,47	10,61	5,98	2,19
335	11,71	10,36	4,90	2,00
GD _{5%}	7,71	3,45	2,34	1,15
361	25,14	14,98	8,22	3,10
362	22,63	11,78	6,08	2,20
363	21,79	10,99	6,29	1,93
364	13,38	8,97	5,21	2,00
365	14,00	10,04	4,61	1,79
GD _{5%}	7,07	3,03	2,09	1,02

Tabelle 4: Ergebnisse der Aggregatgrößen und Rauheitsmessungen

Zolling (3) 07. 09. 1976
Bodenwassergehalt 22,1 %

Geräte- code	GMD (mm)	RM 25 (mm)	RM 50 (mm)	RM 100 (mm)
351 +	27,15	13,21	6,98	2,39
352 +	23,03	9,35	4,38	1,78
353 +	14,67	6,21	3,03	0,88
354 +	11,43	7,60	3,74	1,18
355 +	9,43	3,43	1,65	0,79
GD 5%	3,44	3,54	2,43	0,87
351 -	24,21	14,48	6,88	3,64
352 -	19,50	10,41	5,53	3,29
353 -	16,89	7,73	4,03	1,58
354 -	14,44	7,30	3,43	1,53
355 -	10,82	5,80	2,96	1,50
GD 5%	6,48	2,61	1,91	1,22
331 +	17,85	12,33	7,31	3,20
332 +	9,04	8,80	3,98	2,30
333 +	16,26	11,13	6,65	2,13
334 +	8,15	6,79	3,69	1,80
335 +	7,08	7,23	4,21	1,49
GD 5%	4,31	3,80	2,57	1,06
331 -	16,61	13,78	7,74	3,04
332 -	10,14	6,28	3,03	1,11
333 -	14,00	10,28	5,41	2,05
334 -	8,07	6,89	3,73	1,75
335 -	6,14	5,01	2,55	1,45
GD 5%	5,67	2,84	1,62	1,20
361	19,52	12,71	7,46	2,31
362	18,04	11,10	5,55	1,84
363	12,41	8,96	4,58	1,44
364	9,74	6,05	3,21	0,81
365	12,86	10,31	5,91	1,51
GD 5%	3,97	2,71	2,16	0,50

+ mit Nachlaufgeräten
- ohne Nachlaufgeräten

Tabelle 5: Ergebnisse der Aggregatgrößen und Rauheitsmessungen
 Zolling (4) 09. 09. 1976
 Bodenwassergehalt 21,1 %

Geräte- code	GMD (mm)	RM 25 (mm)	RM 50 (mm)	RM 100 (mm)
351 +	27,45	18,51	8,99	4,18
352 +	19,16	11,43	6,80	2,29
353 +	17,13	8,24	3,96	1,18
354 +	15,38	6,58	2,94	1,04
355 +	7,37	4,28	2,11	0,99
GD _{5%}	5,71	3,12	2,78	1,43
351 -	25,73	17,05	10,38	3,84
352 -	20,68	9,25	4,98	2,45
353 -	14,23	8,96	5,11	1,95
354 -	15,42	6,41	3,46	1,74
355 -	10,45	3,58	1,90	1,04
GD _{5%}	5,39	3,51	2,42	1,31
331 +	27,13	15,31	8,15	3,19
332 +	21,80	11,85	6,93	2,75
333 +	23,11	13,70	7,40	2,83
334 +	21,62	12,39	5,34	2,35
335 +	18,14	9,80	4,64	1,35
GD _{5%}	8,39	3,81	2,49	1,51
331 -	29,36	16,49	10,29	5,08
332 -	24,50	14,28	6,79	3,29
333 -	25,70	17,06	11,45	5,10
334 -	19,13	13,31	7,91	3,38
335 -	19,48	14,00	7,19	2,91
GD _{5%}	7,89	3,37	2,61	1,93
361 +	27,55	17,01	8,95	4,40
362 +	24,33	12,48	7,20	1,98
363 +	24,37	13,03	7,28	2,04
364 +	15,67	7,10	3,73	1,59
365 +	17,40	9,73	5,81	1,70
GD _{5%}	6,33	3,81	2,88	1,47

- mit Nachlaufgerät
- ohne Nachlaufgerät

Tabelle 6: Ergebnisse der Aggregatgrößen und Rauheitsmessungen

Zolling (5) 13. 09. 1976
 Bodenwassergehalt 18,2 %

Geräte- code	GMD (mm)	AM 25 (mm)	AM 50 (mm)	AM 100 (mm)
351 +	23,05	14,00	7,88	3,38
352 +	22,21	13,51	6,14	1,65
353 +	17,76	7,94	3,93	1,19
354 +	14,31	5,90	2,94	1,19
355 -	9,08	3,76	1,81	0,85
356 +	7,59	2,04	1,23	0,59
GD _{5%}	5,14	2,93	1,58	0,97
351 -	27,08	15,03	9,13	4,25
352 -	20,50	10,41	5,11	2,49
353 -	16,04	9,23	4,73	2,14
354 -	16,22	6,06	3,33	1,60
355 -	10,54	3,96	2,51	1,13
356 -	9,19	3,21	1,71	0,85
GD _{5%}	3,85	2,39	1,55	0,85
331 +	26,42	16,95	10,69	4,29
332 +	18,93	11,61	7,22	1,07
333 +	24,32	11,14	6,43	2,39
334 +	14,58	6,80	3,71	1,09
335 +	12,66	7,33	3,29	1,65
336 +	9,36	5,39	2,53	1,19
GD _{5%}	6,18	3,35	2,55	1,18
331 -	24,24	9,41	5,14	3,00
332 -	18,76	6,98	3,88	1,65
333 -	25,40	9,48	5,68	2,35
334 -	14,71	6,00	5,05	2,49
335 -	16,72	6,43	3,46	1,63
336 -	11,43	5,01	2,70	1,00
GD _{5%}	5,07	2,55	2,07	1,34

- mit Nachlaufgerät
- ohne Nachlaufgerät

Tabelle 7: Ergebnisse der Aggregatgrößen und Rauheitsmessungen
Zolling .6) 15. 09. 1976
Bodenwassergehalt 22,2 %

Geräte- code	GMD (mm)	RM 25 (mm)	RM 50 (mm)	RM 100 (mm)
351	28,02	13,56	8,59	2,20
352	27,83	10,03	6,09	1,79
353	22,33	6,10	3,31	1,18
354	18,44	4,56	2,38	0,63
355	14,92	3,25	1,90	0,65
GD 5%	5,11	2,98	1,98	0,68
331	28,11	15,35	9,29	3,70
332	19,42	9,86	5,90	3,10
333	24,00	11,54	6,73	3,20
334	16,62	5,84	4,03	1,63
335	14,19	6,26	3,58	1,50
GD 5%	7,00	3,38	2,55	1,78
361	24,80	10,88	7,28	2,45
362	24,03	8,48	4,61	1,30
363	27,44	9,41	5,88	1,60
364	16,98	8,09	5,31	1,35
365	22,41	7,61	4,89	1,75
GD 5%	6,66	1,88	1,53	0,91

Tabelle 8: Versuchsergebnisse Tüntenhausen

Bodenwassergehalt 21,0 %

Bodenart: LS

Gerät: Fräse

v (m/s)	GMD (mm)	v_U^* (m/s)	l_B (m)	u/v
0,90	33,51	2,2	0,22	2,44
0,72	29,68	2,2	0,18	3,06
0,57	27,91	2,2	0,14	3,86
0,46	29,79	2,2	0,11	4,78
0,28	29,22	2,2	0,06	7,86
1,67	28,25	3,9	0,23	2,33
1,46	27,63	3,9	0,20	2,67
1,09	28,36	3,9	0,15	3,58
0,71	25,81	3,9	0,10	5,50
0,44	24,63	3,9	0,06	8,86
2,42	29,04	5,2	0,25	2,15
2,21	27,98	5,2	0,23	2,35
1,39	26,25	5,2	0,15	3,74
1,07	25,84	5,2	0,11	4,86
0,89	22,52	5,2	0,09	5,84
0,35	20,53	5,2	0,04	14,86
1,66	22,79	6,2	0,15	3,73
1,33	20,15	6,2	0,12	4,66
1,08	20,00	6,2	0,10	5,74
0,57	18,68	6,2	0,05	10,88

* v_U 2,2 m/s \approx 81 Umdrehungen/Minute
 3,9 m/s \approx 144 Umdrehungen/Minute
 5,2 m/s \approx 191 Umdrehungen/Minute
 6,2 m/s \approx 228 Umdrehungen/Minute

Tabelle 9: Versuchsergebnisse Tüntenhausen

Bodenwassergehalt 21,0 %

Bodenart: 19

Gerät: Kreiselegge

v (m/s)	GMD (mm)	v_U * (m/s)	l_B (m)	u/v
0,85	29,02	1,1	0,32	1,30
0,67	25,04	1,1	0,25	1,64
0,34	19,13	1,1	0,13	3,23
0,27	17,68	1,1	0,10	4,07
1,92	23,06	3,4	0,23	1,77
1,54	18,73	3,4	0,18	2,21
1,32	16,03	3,4	0,16	2,57
1,01	14,22	3,4	0,12	3,37
0,83	13,96	3,4	0,10	4,10
0,63	13,94	3,4	0,08	5,40
0,34	12,89	3,4	0,04	10,00
1,50	16,17	4,9	0,13	3,26
1,25	14,65	4,9	0,10	3,92
1,05	15,05	4,9	0,09	4,67
0,83	13,83	4,9	0,07	5,90
0,53	11,86	4,9	0,04	9,24

* v_U 1,1 m/s $\hat{=}$ 81 Umdrehungen/Minute
 3,4 m/s $\hat{=}$ 250 Umdrehungen/Minute
 4,9 m/s $\hat{=}$ 360 Umdrehungen/Minute

Tabelle 10: Aggregatgrößen (GMD) in mm

Versuchsstandort: Roggenstein

Gerät	Grundbodenbearbeitung						
	ohne Pflug	Kreiselflug		Scharpflug			
	Fräse	Rüttel- egge	Kreisel- egge	Kreisel- egge	Rüttel- egge	Fräse	
Fruchtart / Jahr							
Winterweizen	1972	27,1	18,8	14,1	10,4	18,2	18,5
	1973	27,4	15,3	17,5	16,8	13,4	18,3
	1974	19,4	24,0	23,7	16,7	22,6	27,7
	1975	19,7	27,0	19,7	20,9	19,6	22,2
	1976	10,3	13,3	11,7	16,8	16,1	14,6
Sommergerste	1975	18,2	10,8	12,6	12,4	13,3	11,3
	1976	9,5	5,1	5,3	7,1	5,5	7,1
	1977	19,3	12,5	11,8	11,8	9,3	8,3
Mais	1975	17,5	12,1	9,6	11,0	9,6	13,4
	1976	8,1	4,4	4,3	4,5	3,0	5,5
	1977	21,1	12,1	9,3	7,6	13,3	14,6

Tabelle 11: Aggregatgrößen (GMD) in mm, Versuchsstandort Dürrnast

Geräte	Grundbodenbearbeitung						
	ohne Pflug	Kreiselflug		Scharpflug			
	Fräse	Fräse	Kreisel- egge	Kreisel- egge	Rüttel- egge	Fräse	
Fruchtart / Jahr							
Winterweizen	1972	21,8	20,8	14,7	16,6	14,1	21,2
	1973	31,1	28,4	21,3	23,2	14,9	25,7
	1974	33,4	28,5	23,5	28,5	31,3	30,7
	1975	30,4	34,4	32,8	32,7	38,1	32,7
	1976	12,4	17,2	20,1	21,5	16,5	19,7
	1977	31,3	27,6	25,4	24,8	25,9	27,5
Sommergerste	1974	16,7	16,1	9,8	10,8	10,8	20,2
	1975	19,7	17,3	11,1	12,4	10,2	10,7
	1976	9,9	10,1	5,0	5,5	5,5	10,3
	1977	36,3	17,6	9,6	15,7	10,7	20,0
	1978	35,0	17,3	11,6	18,2	14,6	20,9
Mais	1974	18,4	16,8	10,0	12,7	13,1	14,8
	1975	12,5	20,4	11,2	14,3	8,8	15,6
	1976	9,2	7,2	4,8	5,9	4,0	7,5
	1977	34,1	14,0	12,4	11,2	12,3	12,5
	1978	30,5	10,9	15,1	12,0	9,4	9,5

Tabelle 12: Bodenwassergehalt (%)

Versuchsstandort: Dürnast

Gerät: Fräse

Gerät		Grundbodenbearbeitung		
		ohne Pflug	Kreisel-pflug	Schar-pflug
Fruchtart	Jahr			
Winterweizen	1972	20,5	19,6	19,6
	1973	23,7	22,1	22,1
	1974	32,4	26,3	25,7
	1975	26,1	24,7	25,3
	1976	25,6	20,4	21,1
	1977	30,9	27,9	27,6
Sommergerste	1974	24,9	21,2	21,2
	1975	25,4	20,9	22,6
	1976	20,0	18,9	19,2
	1977	30,5	21,6	20,6
	1978	20,6	16,2	15,6
Mais	1974	21,0	19,0	19,0
	1975	21,9	12,4	11,8
	1976	14,7	12,3	13,2
	1977	22,1	17,2	17,6
	1978	19,5	15,7	14,1

Tabelle 13: Aggregatgrößen (GMD) in mm verschiedener Arbeitstiefen, Versuchsstandort: Zolling

Arbeitstiefe (cm)	Gerät	
	Fräse GMD (mm)	Kreiselegge GMD (mm)
4	24,63	16,02
6	-	17,78
8	24,15	15,76
10	29,33	-
11	-	16,77
13	29,11	17,27
14	24,93	-
GD _{5%}	7,66	6,89

Tabelle 14: Rauheitsmessungen (RM 25) in mm

Standort: Dürnast, Fruchtart: Sommergerste
Grundbodenbearbeitung: Scharpflug

Gerät	Rauheitsmessungen (RM 25) mm			GD _{5%}
	24.3.1977	21.4.1977	10.5.1977	
Feingrubber	161,8	118,2	79,6	14,43
Rüttelegge	130,9	89,3	66,5	
Kreiselegge	155,6	113,6	78,2	
Fräse	102,3	80,9	67,5	
Saatbett- kombination	113,9	101,0	67,1	
GD _{5%}	11,18			

Tabelle 15: Pflanzenaufgang (Pfl/m²)

Standort: Vötting
 Fruchtart: Hafer
 Bodenart: suL
 Aussaat: 25.3.1976

GMD (mm)	Tage nach der Saat (Pfl/m ²)						
	14	16	18	21	27	32	39
8,05	149	171	211	253	290	293	291
5,36	193	231	387	299	324	326	326
4,16	204	229	306	326	350	351	356
8,79	141	171	219	235	277	293	292
8,71	162	171	265	269	300	309	309
6,99	207	247	282	290	312	313	327
10,20	138	165	217	231	270	277	279
8,72	136	180	214	262	297	305	307
8,70	191	224	281	305	325	341	345
14,81	28	39	127	143	161	170	196
12,91	56	105	204	231	267	271	289
7,13	138	221	282	294	341	346	347

Tabelle 16: Abhobelergebnisse Vötting 1976

Fruchtart: Winterweizen

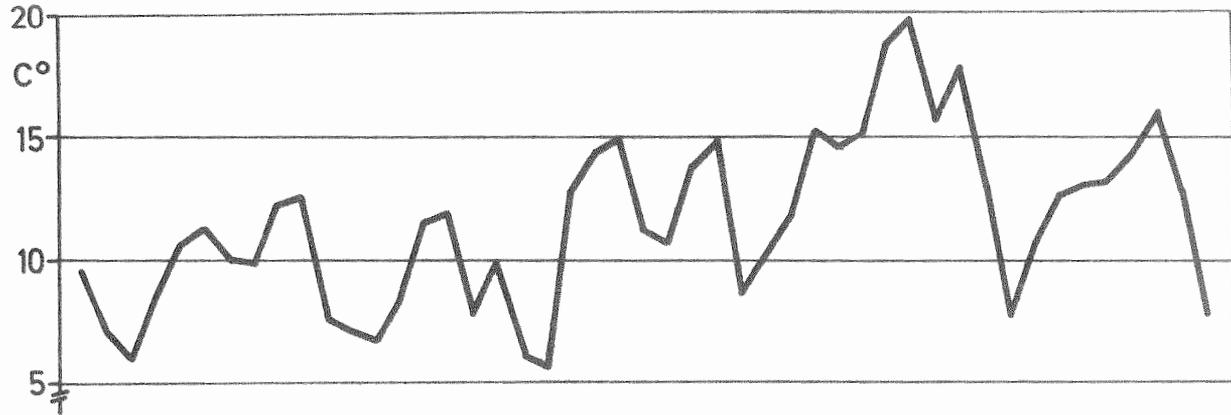
Geräte- code	GMD (mm)	Saattiefe (\bar{x}) (cm)	Streuung (s) (cm)
351	31,82	2,98	1,277
352	29,51	3,39	1,125
353	26,48	3,51	1,162
354	26,10	3,67	1,165
355	17,57	3,69	0,977
331	32,43	3,35	1,208
332	29,10	3,68	1,254
333	32,18	3,75	1,259
334	25,34	4,12	1,224
335	17,86	4,14	1,119

Tabelle 17: Pflanzenaufgang (Pfl/m²)

Standort: Zolling (1)
Fruchtart: Sommergerste
Bodenart: 15
Aussaart: 24.8.1976

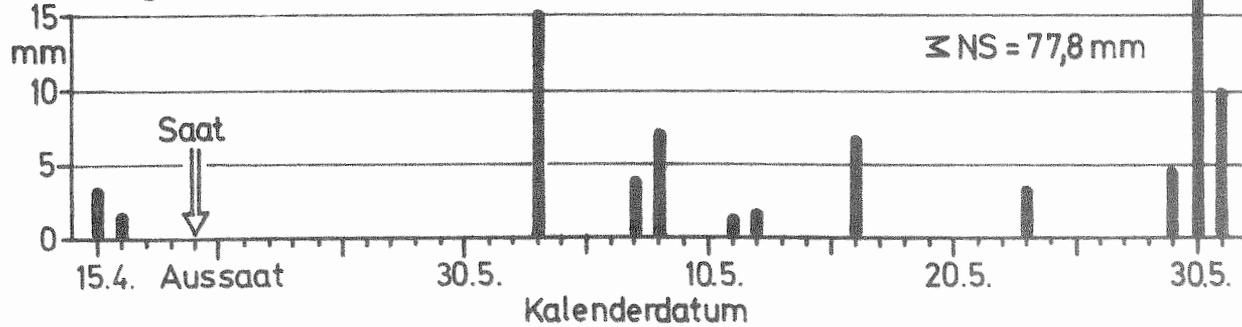
Geräte- code	Tage nach der Saat (Pfl/m ²)						
	9	11	13	15	17	20	27
351	31	42	83	133	149	160	166
352	48	74	111	148	164	169	174
353	58	84	114	151	164	175	181
354	73	95	120	151	164	168	172
355	105	136	167	181	186	202	206
331	80	114	123	154	179	182	184
332	96	124	145	180	196	198	202
333	77	108	136	163	177	182	185
334	113	130	153	175	179	189	190
335	139	163	177	182	188	194	195
361	34	61	90	147	173	177	183
362	72	90	132	158	180	186	190
363	61	77	127	147	155	158	161
364	79	109	144	169	176	183	184
365	94	129	158	180	186	199	200

Witterungsablauf Vötting 1975



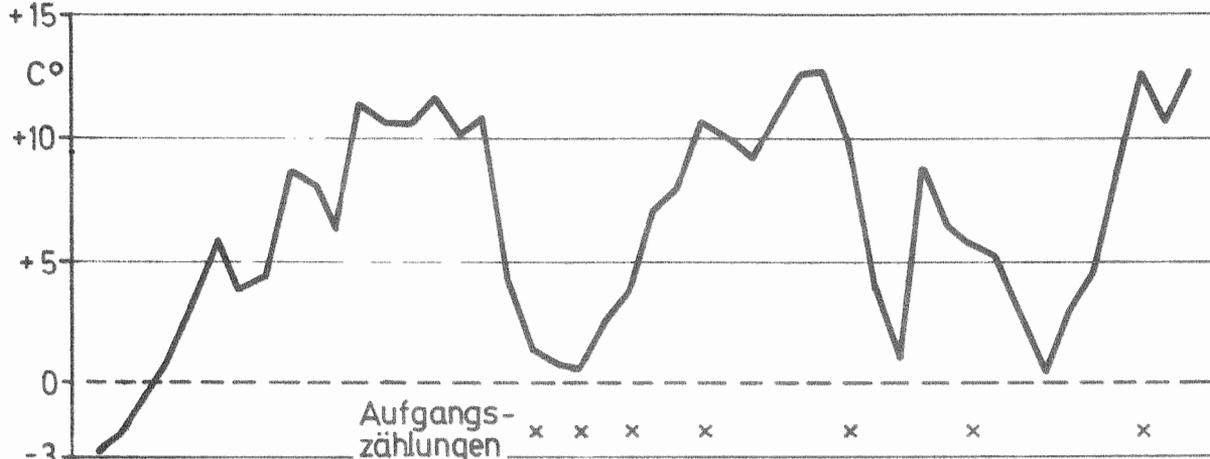
100

Niederschläge

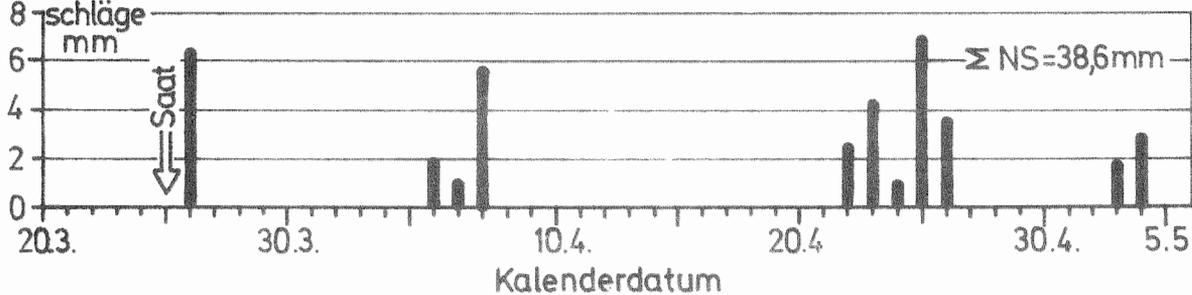


Witterungsablauf Vötting 1976

Temperatur(x)

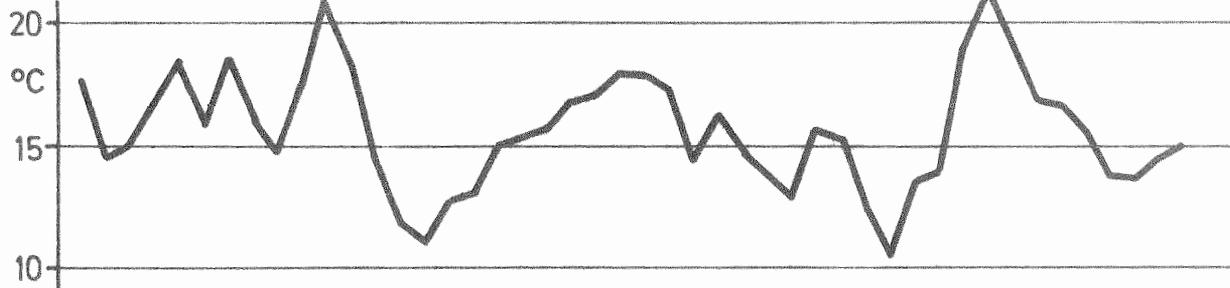


Niederschläge mm

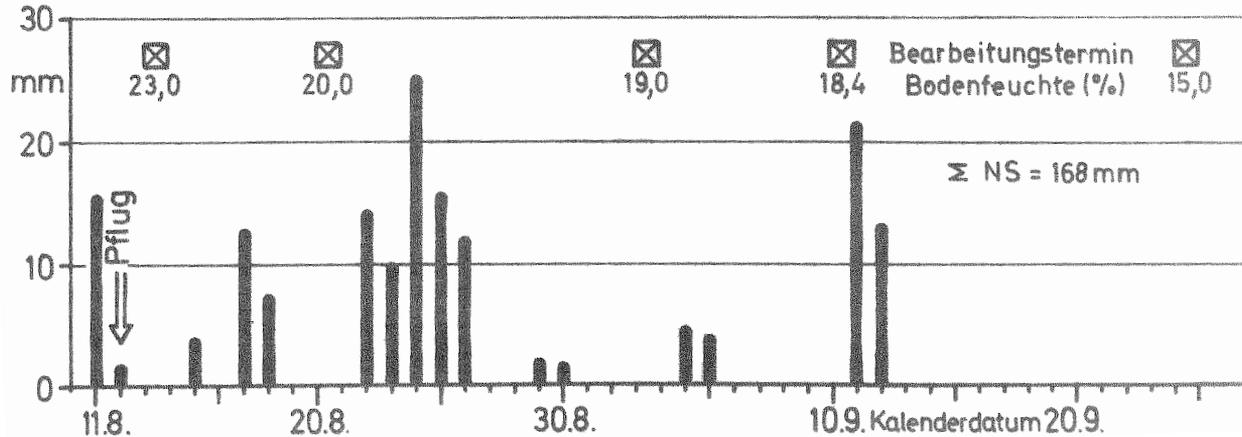


Witterungsablauf Zolling 1975

Temperatur (\bar{x})

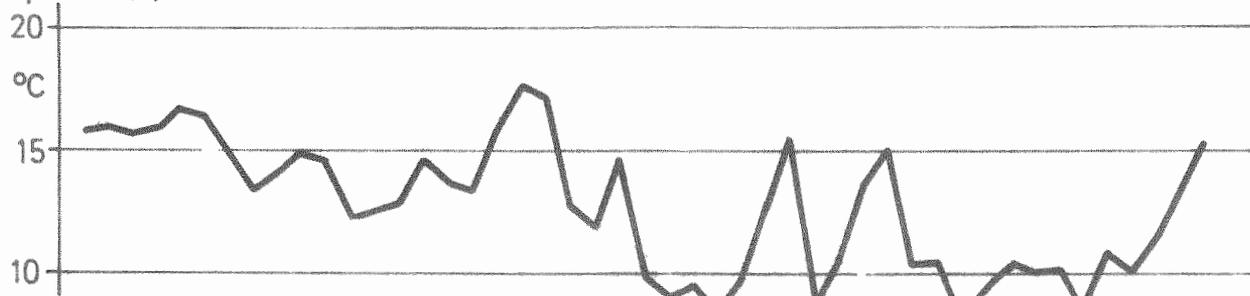


Nieder-
schläge



Witterungsablauf Zolling 1976

Temperatur (\bar{x})



Niederschläge

