GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

26

Humushaushalt von Ackerparabraunerden aus Löß

1973

Im Selbstverlag der Anstalten für

Bodenkunde der Universität Göttingen

Herausgeber: B. Meyer und B. Ulrich

Schriftleitung: P. Hugenroth

Bestellungen über:

Institut für Bodenkunde, Göttingen, von Siebold-Str. 4

Institut für Bodenkunde und Waldernährung
Göttingen, Büsgenweg 2

oder den Buchhandel (Gewährung von Wiederverkäufer-Rabatt)

Selbstkostenpreis DM

GÖTTINGER BODENKUNDLICHE BERICHTE

26

Humushaushalt von Ackerparabraunerden aus Löß

1973

INHALT

Seite

Becker, K.-W., u. B. Meyer,:

Abbau, natürliche Bodeninkorporation und Ertragswirkungen von Ernterückstandsdecken (Stroh, Rübenblatt) auf Ackerparabraunerden aus Löß 1

Becker, K.-W., u. B. Meyer,:

Verluste und Regeneration von organischem C in Böden unter besonderer Berücksichtigung des wurzelbürtigen Humusersatzes (Literaturübersicht) . 39

Becker, K.-W., u. B. Meyer,:

Freiland-Modellversuche zum Humus-Abbau, zur Wurzelbildung und Humus-Regeneration in schluffigen Ackerböden 49

Becker, K.-W., u. B. Meyer,:

Örtliche C-Gehaltsverteilung und zeitliche -Veränderung in Ackerkrumen - Bestimmungseinflüsse durch Probenahme, Aufbereitung und Analysenverfahren 77

BECKER,K.-W., u. MEYER,B. :

Abbau, natürliche Boden-Inkorporation und Ertrags-Wirkungen von Ernte-Rückstands- Decken (Stroh, Rübenblatt) auf Ackerparabraunerden aus Löß

Göttinger Bodenkundliche Berichte 26, 1 - 38 (1973)

I N H A L T

Abbau, natürliche Bodeninkorporation und Ertragswirkungen von Ernterückstandsdecken (Stroh, Rübenblatt) auf Ackerparabraunerden aus Löß.....1

Verluste und Regeneration von organischem C in Böden unter besonderer Berücksichtigung des wurzelbürtigen Humusersatzes (Literaturübersicht).....39

Freiland-Modellversuche zum Humus-Abbau, zur Wurzelbildung und Humus-Regeneration in schluffigen Ackerböden.....49

Örtliche C-Gehaltsverteilung und zeitliche -veränderung in Ackerkrumen - Bestimmungseinflüsse durch Probenahme, Aufbereitung und Analysenverfahren..... 77

Abbau, natürliche Bodeninkorporation und Ertragswirkungen von Ernterückstandsdecken (Stroh, Rübenblatt) auf Ackerparabraunerden aus Löss

G L I E D E R U N G

		Seite
1	Ü B E R B L I C K und F R A G E S T E L L U N G	4
2	V E R S U C H S S T A N D O R T E und W I T T E-R U N G S B E D I N G U N G E N	4
2.1	VERSUCHSSTANDORTE	6
2.2	WITTERUNGSBEDINGUNGEN	6
3	V E R S U C H E mit S T R O H	7
3.1	MESSUNG des STROHABBAUS 1970/71	7
3.1.1	Versuchsanlage	7
3.1.2	Meßmethoden	8
3.1.3	Beobachtungen	8
3.1.4	Ergebnisse	11
3.1.5	Diskussion	12
3.2	DER EINFLUSS einer STROHDECKE auf den ERTRAG von WINTERWEIZEN (1971/72)	14
3.2.1	Versuchsanlage	14
3.2.2	Meßmethode	14
3.2.3	Beobachtungen	14
3.2.4	Ergebnisse	15
3.2.5	Diskussion	15
4	V E R S U C H E mit R Ü B E N B L A T T	18
4.1	OBERFLÄCHLICHER RÜBENBLATTABBAU und ERTRAGS-BEEINFLUSSUNG von WINTERWEIZEN (1970/71)	18
4.1.1	Versuchsanlage und Varianten	19
4.1.2	Meßmethoden	19
4.1.3	Ergebnisse und Diskussion	20

Seite

4.2 WIEDERHOLUNG von ABBAUMESSUNGEN und ERTRAGSWIRKUNGEN unter ANDEREN WITTERUNGS-BEDINGUNGEN (1971/72) 27

4.2.1 Ertragswirkungen von Rübenblatt-decken auf Winterweizen bei hoher N-Grunddüngung, Grebenstein (1971/72) 27

4.2.2 Abbauraten von Rübenblatt unter Winterweizen in Drüber (1971/72) 28

4.3 FREILAND-MODELLVERSUCH zur ERFASSUNG der ABBAU- und AUSWASCHUNGSRATEN 29

4.3.1 Versuchsanlage und Methoden 30

4.3.2 Ergebnisse und Diskussion 30

4.3.2.1 Organische Trocken-substanz, C und N 32

4.3.2.2 Die sonstigen Bioelemente 33

4.3.3 Rückblick und Ausblick 34

5 Z U S A M M E N F A S S U N G 34

6 L I T E R A T U R 35

1 ÜBERBLICK und FRAGESTELLUNG

Die Frage des oberirdischen Abbaues von Ernterückständen und der natürlichen Inkorporation organischer Reste in den Boden ist in verschiedener Hinsicht von Bedeutung:

1.) Besonders in schluffigen Böden mit geringer Luftversorgung kann es bei mechanischer Einarbeitung von organischen Massen - und zwar sowohl von Rübenblatt wie von Stroh - zur Auslösung reduzierender Milieubedingungen mit sehr nachteiligen Folgen für den C- und N-Haushalt und den biologischen Zustand des Bodens kommen. Durch oberflächliche Vorrotte oder Totalabbau ließen sich u.U. derartige nachteilige Wirkungen umgehen.

2.) Durch oberflächliche Verrottung kann u.U. die für sandige Böden wichtige Bildung von Moderhumus - d.h. koprogenen Humusköpern - gefördert werden, da die Moderhumus erzeugenden Organismen (z.B. Oribatiden) bevorzugt in organischen Auflagedecken tätig sind.

3.) Im bearbeitungsfreien Ackerbau stellen die oberflächliche Verrottung organischer Reste und ihre natürliche Inkorporation in den Boden einen der wenigen Wege für die Beseitigung von Ernterückständen dar.

Zu untersuchen, ob er gangbar und nutzbringend ist und wie und mit welcher Geschwindigkeit Abbau bzw. Bodeninkorporation erfolgen, ist Aufgabe der nachfolgenden Untersuchungen.

2 VERSUCHSSTANDORTE und WITTERUNGSBEDINGUNGEN

Die Versuche wurden auf wenig erodierten, tiefgründig entkalkten Parabraunerden aus würmzeitlichem Löß durchgeführt. Die Versuchsparzellen waren - ausgenommen der Inkorporationsversuch in Drüber - vor Anlage des Versuches bereits vier Jahre ohne Pflugbearbeitung ackerbaulich genutzt worden, wobei die jeweiligen Ernterückstände abgeräumt oder verbrannt worden waren. Bei der Fläche in Drüber handelt es sich um die

Tab. 1: Abweichungen der monatlichen Durchschnittstemperaturen und Niederschläge im Untersuchungszeitraum vom langjährigen Mittel in Göttingen (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

		Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.
langjähriges Mittel	Temp. °C	13.4	8.9	5.0	1.5	0.2	0.5	3.9	8.4	12.9	15.8	17.3	16.9
	mm Niederschlag	47	50	48	46	44	42	32	40	58	63	75	70
1970/71	Temp. °C	-0.2	+0.7	+1.7	0	+0.1	+2.0	-2.1	+0.5	+1.9	-1.4	+0.7	+1.3
	mm Niederschlag	+14	+30	+17	-10	-21	-22	-26	- 3	-14	+72	-61	-18
1971/72	Temp. °C	-1.2	+0.3	-0.7	+3.0	-1.9	+2.9	+2.1	-0.6	-1.1	-1.3	+0.4	-1.4
	mm Niederschlag	-20	-27	- 4	-13	-40	-35	+24	+ 9	+ 1	+88	- 2	+27

O-Parzelle des bei SCHEFFER und MEYER (26) eingehend beschriebenen Tiefumbruchversuches.
Alle Versuche wurden im Herbst angelegt.

2.1 VERSUCHSSTANDORTE

1970 / 71 Weizenstroh- } Inkorporationsversuch, Hoffmeister-
Z.-Rübenblatt- } schlag Weende bei Göttingen

Vorfrucht: Winterraps
Deckfrucht: Winterweizen

1971 / 72 Roggenstroh- } Inkorporationsversuch, Grebenstein,
Z.-Rübenblatt- } Kreis Hofgeismar

Vorfrucht: Körnermais
Deckfrucht: Winterweizen

1971 / 72 Zuckerrübenblatt-Inkorporationsversuch, Drüber, Kreis Einbeck

Vorfrucht: Zuckerrüben
Deckfrucht: Winterweizen

1971 / 72 Z.-Rübenblatt-Modellabbauversuch, Institutsgelände Göttingen

2.2 WITTERUNGSBEDINGUNGEN

Wie Tab. 1 zeigt, weicht der Temperaturgang im ersten Versuchsjahr nur wenig vom Normaljahr ab. Dem Niederschlagsgang nach ist - mit Ausnahme vom Juni 71 - der Hauptabbau-Zeitabschnitt von Dezember bis Mai und darüber hinaus bis zum August als unnormal trocken zu bezeichnen. Auch eine länger dauernde Schneedecke fehlte.

Im zweiten Versuchsjahr, dessen Temperaturgang besonders durch die wärmeren Monate Dezember, Februar und März gekennzeichnet ist, war der erste Abschnitt (bis Februar 72) unnormal trocken, danach folgten - ausgenommen der nasse Juni - ein Sommer

mit etwa normalen Niederschlägen. Der trockene Sommer 1971 entließ den Boden bereits mit einem erheblichen Feuchte-Defizit in das zweite Versuchsjahr.

3 V E R S U C H E mit S T R O H

3.1 MESSUNG des STROHABBAUS 1970/71

Versuchsfrage: Abbau und Bodeninkorporation von oberflächlich ausgebreitetem Stroh in heranwachsendem Winterweizen.

Varianten: Einfluß von Strohlänge, Strohmenge, Durchwuchs von Zwischenfrucht, Höhe der N-Gabe zur Zwischenfrucht.

3.1.1 Versuchsanlage

Entfernung der Winterraps-Rückstände; Totspritzen des durch Kornausfall bedingten Rapsaufwuchses auf den Parzellen "ohne Gründüngung"; Stehenlassen des natürlichen Rapsaufwuchses auf den Parzellen "mit Gründüngung"; Einfüllen von langem bzw. auf 2 bis 3 cm Länge gehäckseltem W.-Weizenstroh in 0.1 m^2 große Beutel aus Diolen-Gardinenstoff (Maschenweite 8 mm) in Mengen entsprechend 30 und 60 dt/ha; Auslegen der Beutel am 26.8.70 in dreifacher Wiederholung, je Variante sechs Beutel für verschiedene Probenahme-Termine; dabei reihenmäßiges Ausrichten der Beutel, gleichmäßiges Verteilen von Stroh in entsprechender Menge und Form zwischen den Beuteln; Flüssigdüngung der N-Varianten mit Harnstoff in zwei Gaben (je 30 kg/ha) in vierwöchigem Abstand; am 25.11.70 Abspritzen der Gründüngungs-Varianten mit Paraquat; Einsaat von Winterweizen zwischen die Beutelreihen in 25 cm Reihenabstand mit Einzelreihen-Drillgerät.

Probenahme-Termine: 15.10.70; 15.12.70; 28.3.71; 25.7.71;
Ernte: 5.8.71;

3.1.2 Meßmethoden

Als Maß für die Abbau- bzw. Bodeninkorporations-Verluste des in den Beuteln ausgebrachten Strohs wurde der Verlust an organischer Trockensubstanz (105 °C) aus den zu den verschiedenen Zeitpunkten entnommenen Beuteln gegenüber dem Ausgangszustand verwendet. Zur Verlust-Ermittlung wurde der gesamte Beutelinhalt getrocknet und verascht und der Glühverlust bestimmt. Da Bodenmaterial in die Beutel gelangt war, wurde jeweils ein der Asche dieses Bodenmaterials entsprechender Glühverlust berücksichtigt.

Besonders bei dem gehäckselten Stroh waren durch Regenwurm-Tätigkeit und sonstige mechanische Einwirkungen (Wind, Maulwürfe, Hochdrücken der Beutel durch heranwachsendes Unkraut) Strohhalme aus den Beuteln herausgefallen. Sofern diese nicht oder nur teilweise dem Boden inkorporiert waren, wurden sie abgelesen und dem Beutelinhalt wieder zugefügt. Halme, die bereits fest im Boden verankert waren, wurden als "inkorporiert" bewertet.

Die Regenwürmer wurden im Herbst 1970 in 0.1 m^2 großen in den Boden eingedrückten Kunststoffringen nach Austreiben mit Formalin ausgezählt.

3.1.3 Beobachtungen

Wenige Wochen nach dem Ausbringen des Strohs wurde eine rege Regenwurm-Aktivität festgestellt. Aufgrund der in Tab. 2 wiedergegebenen Auszählung ist zu vermuten, daß die

Tab. 2: Regenwurm-Besatz im Oktober 1970

Ort	Variante	Anzahl Regenwürmer je m^2
Grebenstein	bearbeitet	27
	3 Jahre unbearbeitet	149
Hoffmeister-schlag	4 Jahre unbearbeitet	330

hohe Individuenzahl eine Folge der vorausgegangenen bearbeitungsfreien Jahre ist. Derartig hohe Werte, wie auf beiden Versuchsschlägen, sind bei entsprechenden Bodentypen in der Regel nur vom Grünland her bekannt.

Es wurde beobachtet, daß von Oktober ab Individuen der größeren Arten, insbesondere Lumbricus terrestris, Stroh über ihren Wohnröhren anhäuften oder in die Röhren hineinzogen. Gleichzeitig erfolgte eine Vermengung mit Bodenmaterial, was in vielen Fällen zu einer Verklebung der Strohbeutel mit dem Boden führte. Diese Arbeit der Regenwürmer setzte sich während milder Wintertage und während des ganzen Frühjahres fort. Während des folgenden Jahres bot sich folgendes Bild: Die 5 bis 8 cm hoch um die Gangausmündungen angehäuften, mit Bodenmaterial stark durchmengten Strohhäufchen waren aus dem gesammelten Stroh gebildet, dessen Halme in einem Umkreis von 10 bis 20 cm sternförmig auf den Wurmgang hin ausgerichtet waren. Es konnten vier bis zehn solcher Strohhäufchen je m^2 gezählt werden, die Zwischenräume waren entsprechend dünner mit Stroh bedeckt.

Hierdurch und durch die oben genannten mechanischen Störungen wurden besonders die Meßwerte der Beutelvariante mit gehäckseltem Stroh verfälscht. Eine Auswertung wurde daher nur zu den ersten beiden Terminen versucht, ist aber auch hier nur mit erheblichen Einschränkungen verwertbar.

Der Weizen stand auf den mit Stroh versehenen Parzellen lückig. Obwohl bei der verwendeten Drillmaschine vor dem Drillschaar ein Schneidsech gelaufen war, war es nicht gelungen, das Saatgut auch an Stellen mit besonders dicker Strohauflage hinreichend gleichmäßig in den Boden einzubringen. Eine Ertragsauswertung war somit nicht möglich.

Tab. 3: In den Beuteln erhalten gebliebene Strohtrockenmasse in % der Ausgangstrockenmasse

	Entnahmetermine			26. 8.70	15.10.70	15.12.70	28. 3.71	25. 7.71
Strohform	Variante		TrS Stroh je Beutel	TrS % der TrS-Einwaage				
	Raps	60 kg/ha N						
lang	-	-	55.8 g	100	89	76	79	55
	-	-	27.6 g	100	93	87	78	59
	-	+	55.8 g	100	88	75	68	56
	-	+	27.6 g	100	84	76	72	54
	+	-	55.8 g	100	86	81	78	66
	+	-	27.6	100	87	74	72	52
	+	+	55.8 g	100	87	75	76	55
	+	+	27.6 g	100	82	72	68	45
gehäckselt	-	-	55.8 g	100	79	86	n. b.	n. b.
	-	-	27.6 g	100	91	80	n. b.	n. b.
	-	+	55.8 g	100	77	80	n. b.	n. b.
	-	+	27.6 g	100	83	67	n. b.	n. b.
	+	-	55.8 g	100	85	78	n. b.	n. b.
	+	-	27.6 g	100	83	68	n. b.	n. b.
	+	+	55.8 g	100	87	74	n. b.	n. b.
	+	+	27.6 g	100	86	81	n. b.	n. b.

3.1.4 Ergebnisse

In Tab. 3 sind die in den Strohbeuteln zu den verschiedenen Entnahme-Zeitpunkten erhalten gebliebenen Mengen an organischer Strohtrockenmasse in % der Ausgangsmenge aufgeführt.

Ein Vergleich zwischen den Häcksel- und Langstroh-Varianten liefert aufgrund der mechanischen Verluste beim Häckselstroh lediglich den vagen Hinweis, daß die Häckselung offenbar bis zum Dezember keinen wesentlichen Vorsprung beim Abbauvorgang bewirkte.

Innerhalb der Langstroh-Variante zeigt sich, daß die in Prozenten ausgedrückten Verluste nicht von der Höhe der Strohgabe abhängig sind. Da in dieser Versuchsvariante nur unbedeutende Verluste durch das Herausziehen von Strohhalmen aus den Beuteln und Inkorporation in den Boden auftraten, ist die Verminderung der organischen Strohtrockenmasse fast ausschließlich auf Auswaschungs- und gasförmige Mineralisierungsverluste zurückzuführen, deren Höhe unabhängig von der aufgewandten Strohmenge ist.

Im Hinblick auf eine Übertragung dieser Versuchsergebnisse auf normale Feldbedingungen ist natürlich zu bedenken, daß durch die Ausbringung des Strohs in den Beuteln die natürliche Inkorporation behindert wurde - im Gegensatz zu dem frei zwischen den Beuteln ausgebrachten Langstroh.

Trotz der beträchtlichen, durch die genannten Störungen ausgelösten Streuungen läßt sich beim Langstroh doch erkennen, daß die N-Gabe im Herbst und der Zwischenfrucht-Aufwuchs so gut wie keinen Einfluß auf den ohne engen Bodenkontakt ablaufenden Abbauprozeß des langen Strohs hatten. Auch das unterschiedlich starke Einbringen von mineralischer Bodensubstanz in die Langstroh-Beutel durch Regenwürmer läßt bei dieser Versuchsanordnung keine sichtbare Beeinflussung des oberirdischen Strohabbaus erkennen.

Somit ist als Ergebnis festzuhalten, daß unter den Witterungsbedingungen des Jahres 1970/71 im Laufe eines Jahres

(August bis August) die oberirdischen Abbauraten des Weizen-Langstrohs ca. 40 bis 50 % der aufgebrachten organischen Trockenmasse betragen.

Das in den Beuteln verbliebene Stroh zeigte nach einem Jahr eine nur schwache bräunliche Verfärbung, hatte aber an Elastizität verloren und brach in trockenem Zustand bereits bei leichter Berührung.

3.1.5 Diskussion

Die für 1970/71 ermittelten Verlustraten der Langstroh-Mulchdecke decken sich etwa mit den von RAUHE et al. (23) gefundenen. Diese Autoren fanden bei 100 dt/ha Strohauflage in der Zeit von Anfang Oktober bis Anfang Mai Substanzverluste von 33 %. Weitere Vergleichsangaben sind rar. Die von GOODMAN (9) an jährlich ergänzten Stroh-Mulchdecken in Obstplantagen ermittelten sehr geringen Abbauraten lassen sich insofern nicht zu quantitativen Vergleichen heranziehen, als keine quantitative Entnahme des Strohs erfolgte und nur prozentuale Trockensubstanzgehalte einzelner Proben bestimmt wurden.

Beobachtungen von JUNG und RIEHLE (14) ergaben, ähnlich wie bei uns, nach einer einjährigen Abbauzeit oberflächlich ausgebrachten Strohs lediglich eine Bräunung, jedoch keine makromorphologisch erkennbare "Zersetzung" der Strohhalme. ANDERSON und RUSSEL (1) fanden im Versuch mit ca. 80 dt/ha Strohmulch, daß nach dreijähriger Lagerungszeit nur noch so geringe Reste des Strohs erhalten geblieben waren, daß mit einer Scheibenegge leicht ein Saatbett geschaffen werden konnte. Die von BROWN und DICKEY (5) in Montana gemessenen Abbauraten für oberflächlich ausgebrachtes Weizenstroh erscheinen mit 31 bis 40 % in 18 Monaten relativ niedrig, lassen sich aber durch die dort angewandte Methode erklären: Trotz Waschens des vom Boden entnommenen Strohs waren darin noch mineralische Bodenteilchen enthalten, die in die

ermittelte "Strohtrockenmasse" eingingen.

In Versuchen von GRAFF (10) mit Weizenstroh in Mulchrahmen verschwanden innerhalb von drei Monaten (September bis Dezember 1960) bei unterbundener Niederschlags-Durchwaschung 22 % der Strohtrockenmasse, bei verstärkter Niederschlags-Durchwaschung 37 %. Aus Vergleichen mit Laboratoriums-Versuchen, bei denen innerhalb von drei Monaten die Strohtrockenmasse allein durch Auswaschungsverluste um 25 % vermindert wurde, schließt GRAFF folgendes: Der Abbauprozeß von Strohmulchdecken besteht im wesentlichen in einer kontinuierlich fortschreitenden mikrobiellen Aufschließung unlöslicher organischer Strohanteile, die als lösliche Produkte mit dem Niederschlagswasser dem Boden zugeführt werden.

Die Tatsache jedoch, daß auch die zwar feucht gehaltene, nicht jedoch von Niederschlägen durchwaschene Strohmulchdecke Trockensubstanzverluste in Höhe von 22 % erfahren hat, läßt die Möglichkeit offen, daß bei einem Totalverlust von ca. 40 % der Trockensubstanz bis zur Hälfte der Verlustmenge auch durch die Entbindung gasförmiger Mineralisierungs-Produkte zu erklären ist. Dies steht auch etwa in Einklang mit dem Befund, daß in Lysimetern unter der Strohdecke in drei Monaten nur etwa 10 % der organischen Stroh-Trockensubstanz als Auswaschungsprodukt wiedergefunden wurde.

Unsere Untersuchungsergebnisse zeigen in Übereinstimmung mit GRAFF, daß bis zu 30 % der organischen Trockenmasse einer Strohdecke zwischen der Getreideernte und dem Beginn der kalten winterlichen Witterung, also in einem Zeitabschnitt von ca. drei Monaten verloren gehen. Vom Dezember bis zum März gehen die Abbauraten des Strohs erheblich zurück. Erst mit der Erwärmung im Frühjahr steigen sie wieder an und erreichen annähernd gleiche Beträge wie in den Herbstmonaten.

3.2 DER EINFLUSS EINER STROHDECKE AUF DEN ERTRAG VON WINTERWEIZEN (1971/72)

Da in dem vorausgegangenen Versuch wegen der Ungleichmäßigkeit des Weizenbestandes Ertragsvergleiche nicht lohnten, wurde der folgende Versuch speziell im Hinblick auf die Ertragsbeeinflussung bei Winterweizen durch Roggenstrohmulch angelegt.

3.2.1 Versuchsanlage

Direkteinsaat von Winterweizen nach Mais am 5.11.71; unmittelbar danach gleichmäßiges Verteilen von 10, 30 und 60 dt/ha langem Roggenstroh (Frischmasse, 11 % H_2O); 10 m^2- Parzellen in vierfacher Wiederholung; im Frühjahr Freispritzen 30 cm breiter Grenzstreifen um die Parzellen; Ernte am 29.8.72.

3.2.2 Meßmethode

Der gesamte Weizenbestand jeder Parzelle wurde geerntet und auf die bestandene Fläche (ohne Randstreifen) bezogen.

3.2.3 Beobachtungen

Selbst auf den Parzellen mit der höchsten Strohgabe entwickelte sich ein gleichmäßiger Weizenbestand. Zu einzelnen Fehlstellen kam es lediglich durch die Tätigkeit von Maulwürfen, die sich in den vergangenen Jahren unter den Bedingungen eingeschränkter mechanischer Bearbeitung stark vermehrt hatten.

Während des Schossens des Weizens wuchsen auf den mit Stroh bedeckten Parzellen Roggenähren über den Weizenbestand hinaus, deren Zahl von der Menge ausgebrachten Roggenstrohs

abhängig war. Durch unsauberen Drusch im Stroh verbliebene Roggenkörner waren nach der oberflächlichen Strohausbreitung zur Keimung gelangt.

Alle Parzellen zeigten als Folge der im Hinblick auf den Stickstoffhaushalt ungünstigen Jahreswitterung vollständiges Lagern zum Erntezeitpunkt, ein Umstand, der bei der Ertragsbildung zu berücksichtigen ist.

3.2.4 Ergebnisse

Tab. 4: Kornerträge 1972

Strohauflage	Kornerträge (Trockensubstanz)		
dt/ha	kg/Parzelle	dt/ha	relativ
0	3.24	40.5	100
10	3.58	44.8	111
30	3.30	41.3	102
60	3.57	44.6	110

Die in Tab. 4 aufgeführten Trockensubstanz-Erträge erlauben trotz des ungleichmäßigen Trends die Aussage, daß unter den beschriebenen Umständen keine negative Ertragsbeeinflussung durch die oberflächliche Strohausbringung eintrat. Inwieweit diese Aussage nur für die Witterungssituation des Vergleichsjahres 1971/72 (s.o.) gilt, bleibt zunächst offen.

3.2.5 Diskussion

JUNG und RIEHLE (14) fanden in mehrjährigen Gefäßversuchen eine durch Strohauflage bewirkte leichte Ertragssteigerung gegenüber Versuchsvarianten mit eingearbeitetem Stroh und auch gegenüber der Nullparzelle. Eine klare Ertragsdepression durch eine Strohdecke teilt BRADE (4) für das Versuchs-

jahr 1958/59 mit, während er in dem sehr viel trockeneren Jahr 1959/60 keine negative Ertragsbeeinflussung feststellen konnte. Eine schlechtere Anfangsentwicklung von Mais geben WIJK et al. (34) für die Staaten Minnesota, Ohio und Iowa an; im wärmeren South Carolina dagegen zeigten sich solche nachteiligen Wirkungen nicht.

Die Auswirkungen einer Strohmulchdecke auf den Getreideertrag können chemisch-biologische und physikalisch-biologische Ursachen haben. Eine direkte Wirkung von Strohextrakten auf keimende oder wachsende Pflanzen ist mehrfach nachgewiesen [vgl. z.B. BÖRNER (2), (3), WINTER (35), GUENZI (13)] und auch die Wirkung auf Bodenorganismen diskutiert worden. Die Mehrzahl der Autoren neigt jedoch dazu, die Wirkungsursachen in erster Linie in der physikalischen Beeinflussung des Bodenwasser-Haushaltes und in Abhängigkeit davon des Stickstoffhaushaltes zu sehen. Dies würde auch leichter die je nach Witterungsbedingungen positiven und negativen Wirkungen von Strohdecken erklären.

Im Vordergrund steht dabei die bessere Retention von pflanzenverfügbarem Bodenwasser als Folge reduzierter Evaporation und verminderten Oberflächenabflusses [MEYER et al. (18), MANNERING und MEYER (17), GREB (11), VERMA und KOHNKE (33), TAYLOR et al. (31)]. Nachteilige Wirkungen können dabei aufgrund von Modellversuchen von PARKER et al. (21,22) durch Temperaturerniedrigung und Wasserüberschuß im Frühjahr ausgelöst werden, deren Folge in einer Nitrifikationshemmung, einer verstärkten Nitratauswaschung und einer N-Festlegung bestehen.

In Lysimeterversuchen von MOOERS et al. (20) wurde eine deutliche Hemmung der Nitratproduktion durch eine Strohmulchdecke nachgewiesen, dadurch bedingt aber auch eine Reduktion der Nitratauswaschung um ein Drittel. Über temperaturerniedrigende Wirkungen von Strohdecken und ihre hemmenden Einflüsse auf junge Sommerweizenbestände im Frühjahr (Canada) berichteten ANDERSON und RUSSEL (1), die wiederum

keine wesentliche Wirkung der Strohdecke auf den N-Haushalt des Bodens feststellen.

Solche nachteiligen Wirkungen von Strohdecken, die auch von MOODY et al. (19) in jungen Maisbeständen festgestellt werden, werden aber offenbar durch die günstigen Wirkungen zur Zeit der Wasserbeanspruchung des Bodens mehr als ausgeglichen [MOODY et al. (19)]. Die Strohdecke vermindert die täglichen und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen, schränkt bei Temperaturen $< 4^{\circ}C$ die Wärmeabgabe ein [RAUHE und LEHNE (23)] und konserviert die Bodenfeuchte [MOOERS et al. (20)]. Dies scheint die Ursache dafür zu sein, daß in der wärmeren Jahreszeit und in wärmeren Gebieten der N-Haushalt positiv beeinflußt wird. So finden STEVENSON und SCHUSTER (30) noch im dritten Jahr nach der Strohgabe eine beträchtliche Steigerung des NO_3-Gehaltes des Bodens und GREENLAND und NYE (12) in tropischen Böden eine Zunahme an nitrifizierbarem Boden- N.

Schließlich ist unter den chemisch-biologischen Einflüssen von Strohdecken auf Boden und Pflanze die Lieferung mineralischer Nährstoffe zu betrachten, die von RAUHE und LEHNE (24) untersucht wurde. Bei einem 33 %igen Abbau der Stroh-Trockenmasse bis zum Mai des auf die Ausbringung folgenden Jahres ist pro 100 dt Stroh/ha mit ca. 3 kg N, 6 kg P_2O_5, 62 kg K_2O, 10 kg CaO und 3 kg MgO zu rechnen.

Eine aufgrund der Zufuhr von löslichen und mikrobiell leicht zersetzbaren Stroh-Auslaugungsprodukten zum Boden nach SOMMER (28) eventuell zu erwartende Steigerung der dissimilatorischen N_2- Entbindung bzw. der N_2- Assimilation des Bodens ist bislang nicht untersucht, muß aber bei der Interpretation vor- und nachteiliger Wirkungen von Strohdecken in Abhängigkeit von Witterungs- und physikalischen Bodenverhältnissen im Auge behalten werden.

Für die im Jahr 1971/72 unter trocken-milden Herbst- und Winter- sowie feucht-warmen Sommerbedingungen gewonnenen Versuchsergebnisse, die für die strohbedeckten Parzellen durchweg höhere Erträge anzeigen, läßt sich nur schwer eine

Erklärung finden. Man könnte daran denken, daß die positive Wirkung des Strohs in einer Förderung der Jugendentwicklung in den Herbst- und Wintermonaten bestanden hat, sei es durch eine bessere Konservierung des Bodenwassers oder durch Reduktion der Temperaturschwankungen.

4 VERSUCHE mit RÜBENBLATT

In stärkerem Maße noch als beim Stroh ist die Umsetzung des Rübenblattes nicht nur ein Problem des Ackerbaues mit reduzierter Bodenbearbeitung, sondern gleichzeitig auch ein Problem des normalen Ackerbaues mit mechanischer Inkorporation der Erntereste.

Die schädigenden Wirkungen von frisch eingepflügtem Rübenblatt überwiegen nach neueren Beobachtungen in langfristiger Sicht offensichtlich die gelegentlich z.B. von GIERKE (8) festgestellten "Düngewirkungen" des mit dem Blatt eingebrachten Stickstoffs. Die Auslösung reduzierender Milieubedingungen durch Einbringen leicht zersetzlicher und gärfähiger organischer Frischmasse in zur Wasserübersättigung neigende Schluffböden kann irreparable Störungen des biologischen Bodenzustandes mit gravierenden Verschlechterungen des C- und N- Haushaltes nach sich ziehen.

Somit ist die Frage der oberflächlichen Teil- oder Ganzrotte des Rübenblattes, besonders in Betrieben, die auf eine Blattverwertung verzichten müssen, von allgemeinem Interesse.

4.1 OBERFLÄCHLICHER RÜBENBLATTABBAU und ERTRAGSMESSUNG von WINTERWEIZEN 1970/71

Versuchsfragen:
a) Abbau und Bodeninkorporation von oberflächlich ausgebreitetem Rübenblatt in heranwachsendem Winterweizen,
b) Verbleib des mit dem Rübenblatt auf den Boden aufgebrachten Stickstoffs,
c) Ertragsbeeinflussung von Winterweizen durch oberflächlich ausgebreitetes Rübenblatt.

4.1.1 Versuchsanlage und Varianten

Sorgfältiges Ablesen aller oberflächlichen Winterrapsrückstände; Direktdrillen des Winterweizens am 25.11.70 in 20 cm Reihenabstand; Anlage eines Kleinparzellen-Versuches, 60 Parzellen von 1 m^2 Größe; Varianten: 8 / 4 / 0 kg (entsprechend 800, 400 und 0 dt/ha) oberflächlich ausgebrachte Rübenblatt-Frischmasse pro m^2 in gehäckselter ("kurz") und ungehäckselter ("lang") Form; Verhältnis Frischmasse Blatt: Frischmasse Rübenköpfe etwa 5.8; 12 Parzellen pro Variante in Form einer vollständig randomisierten Blockanlage mit vierfacher Wiederholung; Ausbringung des Rübenblattes: Zwischen der zweiten und dritten Weizenreihe jeder Parzelle genau ausgewogene Blattmenge von 1.6 bzw. 0.8 kg / m^2 ausgelegt, die übrige Menge visuell gleichmäßig über den Parzellenrest verteilt; Fläche zwischen zweiter und dritter Reihe als Entnahmefläche vorgesehen; Umzäunung.

N-Düngung: Gleichmäßig 90 kg/ha als Kalkammonsalpeter am 12.5.71; am 3.5.71 und 3.6.71 Probenahme der oberflächlich aufliegenden Blattreste; am 3.6.71 Boden und oberflächlich gewachsene Weizenpflanzenmenge entnommen; Ernte am 5.8.71.

4.1.2 Meßmethoden

Bestimmung der aschefreien organischen Trockenmasse durch Trocknen bei 105 °C und Veraschen im Muffelofen unter Abzug des auf anhaftendes Bodenmaterial entfallenden Glühverlustes (4%). Bestimmung des Kohlenstoffs gasanalytisch im Leitfähigkeitsgerät der Fa. Wösthoff, des Stickstoffs im Mikro-N-Rapid-Gerät der Fa. Heraeus. Da dieses Verfahren für Substanzen mit C/N- Verhältnissen >25 Fehler mit sich bringt, wurde das Stroh-N durch Kjehldahl-Aufschluß und -Destillation bestimmt. Die N-Fraktionierung wurde nach FLEIGE et al. (7) durchgeführt, die Urease-Aktivität des Bodens nach TWACHTMANN (32) mit Hilfe der Abbauraten zugefügten Harnstoffs bestimmt

und der Gehalt an löslichem Gesamtzucker (einschließlich Stärke, Zellulose, sonstiger Polysaccharide) durch Anfärben des Bodenextraktes mit Anthron-Reagenz nach SCHLEGEL (27) ermittelt.

4.1.3 Ergebnisse und Diskussion

Tab. 5: Zeitliche Verminderung der dem Boden auflagernden Rübenblatt-Trockenmasse

Versuchvariante			Sand- u. aschefreie org. Trockenmasse				
Rübenblatt			Ausbringung		davon erhalten		
Frischmasse		Ausbrin-	25.11.70		3.5.71		3.6.71
kg/m²	dt/ha	gungsart	g/m²	dt/ha	g/m²	%	%
8	800	lang	1320	132	344	26	<2
4	400	lang	660	66	221	33	<2
8	800	kurz	1320	132	224	17	<2
4	400	kurz	660	66	105	16	<2

Tabelle 5 zeigt, daß bis zum 3. Mai 1971 2/3 bis 4/5 der auf die Bodenoberfläche aufgebrachten Rübenblatt-Trockenmasse verschwunden sind. Trotz unterschiedlicher Ausbringungsmengen bleiben die prozentualen Abbauraten - ähnlich wie beim Stroh - gleich. Doch bewirkt die Häckselung eine erhebliche Erhöhung zumindest der anfänglichen Abbauraten. Anfang Juni sind außer wenigen Resten eingetrockneter, schwammig poröser Rübenköpfe kaum noch Blattreste auf der Oberfläche vorhanden. Die Frage nach der Art der Verminderung der Blatt-Trockenmasse - mineralisierender Abbau und/oder Auswaschung - bleibt zunächst offen.

Tab. 6: Erntemengen (250 g/m² entsprechen 25 dt/ha)

Versuchsvariante			Trockenmasse				Ähren-
Rübenblatt			Korn		Stroh		zahl
Frischmasse		Ausbrin-	g/m²	rel.	g/m²	rel.	pro m²
kg/m²	dt/ha	gungsart					
8	800	lang	342*	136	632	129	317
4	400	lang	305*	121	581	119	302
8	800	kurz	295*	117	603	123	302
4	400	kurz	250	100	510	105	268
0			251	100	488	100	268

*) GD 5 % = 38 g

Tab. 6 bringt die Erntemengen. Die Kornerträge sind umso höher, je langsamer die Verminderung der dem Boden aufliegenden Blattmasse erfolgte. Im Strohertrag wirkte sich besonders die Höhe der Blattgabe aus.

Tab. 7: N-Gehalte und N-Entzüge durch das Erntegut

Versuchsvariante Rübenblatt			N % TrM		N-Entzug in kg/ha			
Frischmasse		Ausbrin-	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Σ	Differenz gegenüber 0
kg/m²	dt/ha	gungsart						
8	800	lang	2.26	0.57	77	36	113	+ 35
4	400	lang	2.16	0.56	66	33	99	+ 20
8	800	kurz	2.01	0.52	59	32	90	+ 12
4	400	kurz	2.28	0.50	57	26	83	+ 4
0			2.14	0.50	54	25	78	0

Tabelle 7 gibt die Stickstoffgehalte des Erntegutes und die Gesamtstickstoff-Entzüge 1971 wieder. Der Vergleich der einzelnen Versuchsvarianten mit der O-Parzelle legt den Schluß nahe, daß die Beziehung zwischen Rübenblattverminderungsrate und Weizenertrag über das Stickstoffangebot aus der Blattauflage an den Boden hergestellt wird. Da sich die Produktionsunterschiede des Weizenbestandes bereits im April und Mai abzeichneten, - 3.6.71: O-Parzelle 360 g TrM/m^2 oberirdische Weizenpflanzen; 8k-Parzelle: 440 g TrM/m^2 - ist anzunehmen, daß neben der Menge an N, die mit dem Rübenblatt angeboten wurde, besonders der stetige Fluß an nachgeliefertem N für die Ertragsbildung von Bedeutung war. Das würde die bessere Wirkung des ungehäckselten Rübenblattes erklären.

Somit scheint der Verminderungsvorgang des auflagernden Rübenblattes nur zum Teil auf einer zu gasförmigen Endprodukten führenden Mineralisierung zu beruhen. Wesentliche Anteile, besonders N und N-haltige organische Verbindungen, werden offenbar aus dem Blatt gelöst und mit dem Niederschlagswasser dem Boden zugeführt.

Tab. 8: Abbauvorgang des Rübenblattes, C- und N-Freisetzung (Parzellen "8 kg lang").

			Parz. "8 kg Blatt lang"	
		%	.../m²	.../ha
25. Nov. 70 Ausbringung von Rübenblatt auf die Bodenoberfläche	Frischmasse	100	8000 g	800 dt
	Trockenmasse	18.7	1495 g	150 dt
	Asche	2.2	175 g	18 dt
	aschefreie organische Trockenmasse	16.5 =100	1320 g	132 dt
	C	54	711 g	71 dt
	N	2.02	27.2 g	272 kg
	C/N		26	26
3. Mai 71 An der Bodenoberfläche verbleibende Blattreste	aschefreie organische Trockenmasse	100	344 g	34 dt
	TrM in % der Ausgangs-TrM		26 %	26 %
	C	45	155 g	16 dt
	C in % des Ausgangs-C		22 %	22 %
	N	1.3	4.5 g	45 kg
	N in % des Ausgangs-N		17 %	17 %
	C/N		34	34
3. Juni 71 Reste	Trockenmasse		< 25 g	
	TrM in % der Ausgangs-TrM		< 2 %	

In Tabelle 8 wird die Veränderung der C- und N-Gehalte auf den Parzellen "8 l" dargestellt. Es zeigt sich, daß im Vergleich zu den Reduktionsraten der organischen Trockenmasse C relativ stärker, N noch stärker vermindert werden. Die an der Oberfläche liegenden Blattreste werden relativ C-ärmer, was mit der relativen Verschiebung Blatt: Rübenköpfe zusammenhängen mag. Sie verarmen darüber hinaus stark an N, das offenbar entweder in mineralisierter Form oder in organischer Bindung in den Boden gewaschen wird.

Tab. 9: C- und N-Bilanz des Systems Boden + Weizen und des Bodens in Gegenüberstellung zur C- und N-Freisetzung aus dem Rübenblatt, Parzelle "8 k" im Vergleich zu Parzelle "0" (Tr.-Raumdichte des Bodens als Berechnungsgrundlage 1.4)

		0-Parzelle		8 k-Parzelle		
		.../m²	.../ha	.../m²	.../ha	
Bis 3. 6. 71 durch Blattabbau	freigewordenes C			711 g	71 dt	
	freigewordenes N			27 g	272 kg	
	C/N			26	26	
Am 3. 6. 71 im System Boden 0-10cm + Weizenbestand (oberirdische Pflanzenmasse) vorhanden	Boden-C	1540 g	154 dt	1680 g	168 dt	
	C-Gewinn			+140 g	+14 dt	
	Boden-N	158 g	1580 kg	174 g	1740 kg	
	Weizen-N	8 g	83 kg	11 g	113 kg	
	Σ N	166 g	1663 kg	185 g	1853 kg	
	N-Gewinn*			19 g	190 kg	
	Boden-C/N		9.8		9.7	
	Zuwachs-C/N**				8.1	
3. 6. 71 N-Bilanz	im Rübenblatt zugeführtes N		0		272 kg	
	N-Gewinn i. System		0		190 kg	
	N-Gewinn Boden				160 kg	
3. 6. 71 N-Fraktionen im Boden	1 NO_3 -N		21 kg		22 kg	+ 1 kg
	2 NH_4 (a) -N		21 kg		14 kg	- 7 kg
	3 Amid + NH_4 (f) -N		392 kg		396 kg	+ 4 kg
	davon NH_4 (f) ca.		175 kg		175 kg	± 0 kg
	4 Aminozucker -N		123 kg		155 kg	+32 kg
	5 Aminosäuren$_t$ -N		840 kg		938 kg	+98 kg
	6 N-heterocyclisch + NH_4 (f)-Rest***		205 kg		237 kg	+32 kg
	Σ 1....6		1602 kg		1762 kg	+160 kg
	Gewinn hydrolysables organisches N				248 kg	

*) nur im oberirdischen Aufwuchs

**) aus C- und N-Gewinn berechnet

***) berechnete Differenz

Zur Klärung der quantitativen N-Lieferung an den Boden und der Art der N-Auswaschung gibt Tabelle 9 eine bilanzmäßige Gegenüberstellung der N-Gewinne im Boden sowie im System Boden-Weizenbestand. Dazu werden die O-Parzellen mit den 8 k - Parzellen verglichen. Bezugsdatum ist der 3. Juni, an dem kaum noch oberflächliche Blattreste vorhanden waren, Bezugsschicht für den Boden sind dessen obere 10 cm, da unterhalb dieser Schicht keine N-Differenzen zwischen O- und 8 k-Parzellen nachzuweisen waren.

Bemerkenswert ist, daß der N-Verlust der Rübenblattdecke zu 70 % als N-Gewinn im System Boden-Weizenpflanze gegenüber O wiederzufinden ist. Gleichzeitig tritt ein C-Gewinn auf, der jedoch nur 1/5 des Verlustes der Rübenblattdecke ausmacht. Das C/N-Verhältnis der C- und N-Gewinn-Mengen ist mit 8.1 in Relation zum C/N-Wert des Rübenblatt-Verlustes außerordentlich niedrig. Das ließe sich u.U. in der Weise interpretieren, daß besonders an lösliche Eiweißkomponenten gebundener Stickstoff aus dem Blatt ausgewaschen und dem Boden zugeführt wurde, während der überwiegende Teil der Kohlenhydrate zu CO_2 veratmet wurde.

Im unteren Abschnitt der Tabelle 9 wird dieser Frage nachgegangen. Zum 3. Juni 71 wurde der Boden-Gesamtstickstoff fraktioniert. Soweit sich dies aufgrund der Bestimmungsgenauigkeit im Fraktionierungsgang mit hinreichender Sicherheit feststellen läßt, zeigte sich, daß die N-Gewinne des Bodens fast ausschließlich in der Aminosäure-, in geringerem Maße auch in der Aminozucker-N-Fraktion auftreten. Der Gewinn in diesen beiden Fraktionen macht mit 130 kg/ha ungefähr 80 % des Gesamtgewinns aus. Nach Untersuchungen von FLEIGE et al. (7) gehört die Aminosäure-N-Fraktion zu denjenigen organischen Boden-N-Fraktionen, die im Laufe der Vegetationszeit im Vergleich z.B. zur Amid-Aminozucker-N-Fraktion nur in geringerem Maße an der Nachlieferung mineralischer N-Formen (NO_3, NH_4) beteiligt sind und auch erst zum Herbst hin eine Vermehrung erfahren. Das gilt in noch stärkerem Maße für die Fraktion Hydrolysat-Rest-N ($\approx$ Heterozyklisch gebundenes N).

Wenn Anfang Juni bereits eine derartig starke Anreicherung von Aminosäure-N, Aminozucker-N und heterozyklischem N im Oberboden gegeben ist, dagegen keine wesentliche Amid-, NH_4- und NO_3-Vermehrung, so kann dies im wesentlichen nur eine Folge der direkten Einwaschung blattbürtiger Extrakte sein. Diese Annahme hat auch insofern eine Berechtigung, als in Rübenkörpern 50 und mehr % des N in löslicher Form vorliegen und andererseits beim Proteinabbau in welkenden Blättern Asparagin ein dominierendes Zwischenprodukt darstellt (MC. KEE, 16). Berücksichtigt man allerdings, daß bilanzmäßig 270 kg N aus der Blattauflage abgeführt, vom Weizenbestand aber nur 30 kg N zusätzlich aufgenommen und ca. 80 kg an mineralischen Verlusten (gasförmig? Auswaschung?) eingetreten sind, 160 kg N dagegen im Boden gespeichert wurden, so würde dies bedeuten, daß auch ein erheblicher Teil der leichter mineralisierbaren N-Bindungsformen der Blattdecke, z.B. Amid-N im Boden mikrobiell wieder in schwerer lösliche organische Bindungsformen überführt worden sind.

Dies gibt zu folgenden weiterführenden Überlegungen Anlaß: Wenn schon die Parzelle "8 k" eine 70 %ige Deckung von N-Verlusten in der Blattauflage und N-Gewinnen im System Boden-Weizenpflanze aufweist, die "8 l"-Parzelle dagegen aber noch höhere Weizenerträge und N-Entzugsraten liefert, so ist diese Differenz wohl hauptsächlich mit der unterschiedlichen Geschwindigkeit der N-Auswaschung aus dem Blatt zu erklären. Offenbar liefert das ungehäckselte Rübenblatt den Stickstoff im Frühjahrsabschnitt der Vegetationsperiode langsamer und stetiger an den Boden als das gehäckselte und ermöglicht damit ein gleichmäßigeres Angebot an die Pflanze.

Neben den löslichen N-Bindungsformen werden entweder nur wenig anthronaktive Kohlenhydrate aus der Blattdecke in den Boden gewaschen oder - wenn eine solche Auswaschung doch erfolgen sollte - relativ rasch im Boden um- oder abgebaut. Bei einer Gesamtmenge von 0 - 10 kg anthronaktiven Kohlenhydraten pro ha in 0 - 10 cm Tiefe zeigten sich keine Gehaltsunterschiede zwischen den 0- und den 8 k-Parzellen.

Lediglich in der Urease-Aktivität wiesen - wie erwartet - die mit einer Blattdecke versehenen Parzellen schwach erhöhte Werte gegenüber den O-Parzellen auf: 8 k-Parzelle 6.7 ml n/10 H_2SO_4-Verbrauch; O-Parzelle 5.5 ml H_2SO_4-Verbrauch.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß trotz der Grunddüngung von 90 kg N/ha im Frühjahr die Rübenblattauflage einen beträchtlichen ertragswirksamen Stickstoffsteigerungseffekt auf den Weizen ausgeübt hat. Diese Feststellung darf jedoch allein nicht zu generalisierenden Schlußfolgerungen führen, da sowohl die Wirkung der gegebenen Mineraldüngung wie auch die der N-Lieferung aus der Blattauflage stark von der Jahreswitterung abhängig sein dürften.

Aus diesem Grund wurden 1972 zwei weitere, allerdings weniger ausführliche Wiederholungsversuche angelegt, von denen der eine der Blattwirkung bei höheren N-Grunddüngergaben, der andere der Messung der Blattabbauraten unter anderen Witterungsbedingungen dienen sollte.

4.2 WIEDERHOLUNG von ABBAUMESSUNGEN und ERTRAGSWIRKUNGEN unter ANDEREN WITTERUNGSBEDINGUNGEN 1971/72

4.2.1 Ertragswirkungen von Rübenblattdecken auf Winterweizen bei hoher N-Grunddüngung, Grebenstein 1971/72

Versuchsanlage

Am 5.11.71 Direktdrillen des Winterweizen in Grebenstein; Anlage der 10 m^2 großen Parzellen; oberflächliches Verteilen von 50, 25 und 0 kg (entsprechend 500, 250 und 0 dt/ha) Rübenblatt-Frischmasse in gehäckselter und ungehäckselter Form in vierfacher Wiederholung; im Frühjahr Auspritzen 30 cm breiter Grenzstreifen um jede Parzelle; Ernte am 26.8.72; N-Düngung: 145 kg/ha N als Kalkammonsalpeter in zwei Gaben (Anfang März und Ende April)

Tab. 10: Kornerträge (3.3 kg/Parzelle entsprechen 41.3 dt/ha)

Frischmasse Rübenblatt	Ausbringungsart	Kornerträge (Trockenmasse)	
dt/ha		dt/ha	relativ
500	lang	42.9	104
250	lang	43.8	106
500	kurz	42.9	104
250	kurz	43.3	105
0		41.3	100

Die Kornerträge (Tab. 10) zeigen auf den mit Rübenblatt bedeckten Parzellen keine deutliche Ertragssteigerung gegenüber der Nullvariante. Als Ursache hierfür ist die üppige Entwicklung des Weizens anzusehen. Die hoch bemessene Mineraldüngung ließ offenbar keine N-Steigerungswirkung durch das Rübenblatt zu.

So ist es zu erklären, daß der Weizen von Anfang Juli an auf allen Parzellen zu lagern begann. Zum Zeitpunkt der Ernte betrug der Lageranteil 100 %. Eine Ertragsminderung durch die Blattdecke war jedenfalls auch unter diesen Bedingungen nicht festzustellen.

Allerdings waren in diesem Jahr die Abbauraten der Blattdecke auch geringer, was der nächste Versuch zeigt.

4.2.2 Abbauraten von Rübenblatt unter Winterweizen in Drüber 1971/72

Versuchsanlage

Winterweizeneinsaat (normal bearbeiteter Boden!) Anfang Dezember; am 20.12.71 auf sechs 1 m^2-Parzellen je 5 kg Rübenblatt in gehäckselter bzw. in langer Form ausgebreitet; am

15.3.72, 21.4.72 und 31.5.72 wurden die Blattreste je einer "gehäckselten" und einer "ungehäckselten" Parzelle abgesammelt; Bestimmung der organischen Trockenmasse nach 4.3.1; N-Düngung ca. 90 kg/ha Anfang März.

Ergebnisse:

Tab. 11: Zeitliche Verminderung der dem Boden auflagernden organischen Rübenblatt-Trockenmasse

Versuchsvariante			Sand- und aschefreie org. Trockenmasse							
Rübenblatt			Ausbringung		erhalten					
Frischmasse		Ausbrin-	20. 12.71		15. 3. 72		21. 4. 72		31. 5. 72	
kg/m²	dt/ha	gungsart	g/m²	%	g/m²	%	g/m²	%	g/m²	%
5	500	lang	560	100	461	82	304	54	123	22
5	500	kurz	560	100	470	84	221	40	78	14

Wie aus Tabelle 11 zu sehen ist, verläuft die Gewichtsverminderung des oberflächlich aufliegenden Rübenblattes im Jahr 1971/72 gegenüber dem Vorjahr deutlich langsamer. Dies mag an den durch die ausgesprochen trockene Witterung während des Winters und des zeitigen Frühjahrs stark beeinträchtigten Lebensbedingungen für die in der Blattauflage tätigen Mikroorganismen, z.B. durch Austrocknen der Blattreste bei mangelnder Auswaschung, liegen. Mit dem Einsetzen günstigerer Zersetzungsbedingungen vom März 72 ab zeigt das gehäckselte Rübenblatt wie im Versuch 4.1 einen zunehmend größer werdenden Abbauvorsprung.

4.3 FREILAND-MODELLVERSUCH zur ERFASSUNG der ABBAU- und AUSWASCHUNGSRATEN

Die vorhergehenden Versuche lieferten keine exakte Aussage zur Frage der Anteile von gasförmigen Verlusten und Aus-

waschungsverlusten am Gesamtabbau der Rübenblattdecke. Im folgenden wird versucht, eine Bestimmung der Menge ausgewaschener organischer und anorganischer Blattanteile durchzuführen, um damit auch Hinweise auf mögliche Düngewirkungen zu erhalten.

Versuchsfrage: Auslaugung von Rübenblatt (entsprechend 500 dt/ha) durch Regenwasser.

Versuchsvariante: Einfluß der Rübenblattlänge.

4.3.1 Versuchsanlage und Methoden

Aufstellen von sechs Trichtern (Ø 25 cm) im Freiland am 20.12.72; Verwendung von Glasfasermatten als Filtereinlage; Füllen von je zwei Trichtern mit langem und mit gehäckseltem Rübenblatt, zwei Trichter als 0-Variante freibleibend; Auffangen des durchlaufenden Regenwassers; Verhinderung von Bakterien- und Pilzwachstum im Eluat durch $CHCl_3$; Entnahme von Wasserproben am 15.3., 24.4. und am 2.6.72; Eindampfen des Eluats bei 50 °C; bei Versuchsende Trocknung der Rübenblattreste; Bestimmung von C, N, P, K, Ca, Mg und Na im Eindampfrückstand der wässrigen Filtrate bzw. Durchläufe und im Rübenblattrest.

Bestimmungsverfahren: C: gasanalytisch (Wösthoff-Gerät), N: als N_2 im Rapid-N-Gerät; nach Veraschung P: kolorimetrisch mit Ammoniumvanadat, K, Ca, Na: flammenphotometrisch, Mg: atomabsorptionsflammenphotometrisch.

4.3.2 Ergebnisse und Diskussion

In Tab. 12 sind die Ergebnisse dieses Versuches bilanzmäßig dargestellt. Aus der Differenz aus vorgegebener Stoffmenge, Auswaschungsmenge und residualer Stoffmenge im Blatt wurde die auf den Gasverlust entfallende Stoffmenge berechnet.

Tab. 12: Verteilung der Bioelemente auf Rübenblattrest (Bestimmung), Auswaschlösung (Bestimmung) und Gasverlust (Berechnung) (Mit den Niederschlägen erfolgte Immissionen sind abgezogen)

			Asche	Org. TrS.	C	N	C/N	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TrS.
In der Rübenblatt-TrS (12.1 % der Frischsubstanz) in % enthalten			23.2*	76.8	35.6	2.35	15.2	1.16	1.27	0.53	6.29	1.68	100
In der Rübenblatt-Frischmasse (500 dt/ha) in kg enthalten pro ha			1404	4646	2154	142	15.2	70	77	32	381	102	6050
im Eluat in % der Vorlage des betreffenden Elements	vom 20.12.71 bis 17. 3.72	lang	30	5	5	6	10.2	14	0	29	57	65	16
		kurz	32	7	7	8	12.0	18	4	37	73	64	19
	vom 17. 3.72 bis 24. 4.72	lang	14	6	6	9	8.4	32	2	15	30	30	10
		kurz	9	5	5	6	8.8	22	1	10	21	17	8
	vom 24. 4.72 bis 2. 6.72	lang	3	3	3	4	9.0	5	0	8	5	5	3
		kurz	4	3	3	4	8.9	6	1	9	5	5	3
in % der Vorlage	ausgewaschen	Ø	46	15	15	19	9.6	49	4	54	96	94	30
	im Blattrest	Ø	54	48	48	78	10.4	51	94	46	4	4	51
	Gasverlust	Ø	-	37	37	3	12.3	-	-	-	-	-	19

*) Die relativ hohen Aschegehalte sind weniger auf Verschmutzung als auf den infolge der späten Blattentnahme bereits erreichten Zersetzungsgrad zurückzuführen

Vorweg ist festzustellen, daß der Zerkleinerungsgrad des Rübenblattes in keinem Fall einen Einfluß auf die Mengenverteilung der analysierten Bioelemente am Ende der 5 1/2-monatigen Versuchsdauer hat. Er wirkt sich lediglich auf die zeitliche Abfolge der Freisetzung der Bioelemente aus der Rübenblattdecke aus.

4.3.2.1 Organische Trockensubstanz, C und N

Ein Vergleich dieses Modellversuches mit dem gleichzeitig und mit Rübenblatt gleicher Herkunft beschickten Feldversuch 4.2.2 zeigt: Wenn schon im Feld 1972 die Abbaugeschwindigkeit gegenüber 71 stark reduziert ist, so bringt der Modellversuch eine weitere Verminderung der Abbauraten. Die Blattrest-Trockensubstanz betrug am 31.5.72 22 bzw. 14 %, im Trichterversuch 49 bzw. 47 %. Da das Blatt/Rübenkopfverhältnis in beiden Fällen etwa gleich war, ist der Unterschied wahrscheinlich der häufigeren und intensiveren Austrocknung des Blattes während der Versuchsdauer im Trichter zuzuschreiben.

Der Gehalt an C in der organischen Trockenmasse der verwendeten Blattsubstanz ist etwa gleich dem des Versuchs 4.1 von 1971. Der N-Gehalt beträgt gegenüber 1971 etwa das 1.5 fache.

Durch die Auswaschung des Blattes werden in den 5 1/2 Versuchsmonaten 15 % der organischen Trockenmasse und entsprechend auch 15 % des C ausgewaschen. 48 % bleiben zurück und 37 % sind mineralisiert und gasförmig entbunden worden. Bei Häckselblatt ist die Auswaschungsquote zunächst etwas größer, dann etwas kleiner als beim Langblatt und gleicht sich schließlich an. Dieselbe Tendenz, jedoch verstärkt, findet sich bei allen übrigen Bioelementen.

Im Gegensatz zum Kohlenstoff folgt der Stickstoff in seiner Umverteilung nicht der der organischen Substanz. Es sind nur

geringe gasförmige Verluste nachweisbar, die Auswaschbarkeit ist etwas höher, die Retention in den Blattresten sehr viel höher als beim Kohlenstoff. Immerhin kann das Rübenblatt trotz seines witterungs- und experimentbedingten unvollkommenen Abbaues während der Vegetationszeit allein 31 kg N/ha mit den Eluaten an den Boden abgeben. Die Disproportionierung zwischen C und N durch CO_2-Entbindung aus dem betrachteten System führt zu einer Verringerung der C/N-Verhältnisse im Blattrest und im Eluat auf ca. 10.

4.3.2.2 Die sonstigen Bioelemente

Abgesehen vom Ca, das als im Oxalatanteil der Blattmasse festgelegt anzusehen ist, ist bei allen analysierten mineralischen Bioelementen die Auswaschungsquote größer als bei der organischen Substanz.

Die Aschegehalte des verwendeten Rübenblattes sind sehr hoch. Sie bestehen zu etwa 50 % aus festanhaftendem Bodenmaterial. Die analysierten Nährstoffe können jedoch deswegen fast ausschließlich der reinen blattbürtigen Asche zugerechnet werden.

Über 60 % des K und Na werden bereits in den ersten drei Monaten ausgewaschen. Unter natürlichen normalen Bedingungen wäre dieser Prozentanteil vermutlich noch höher. Das entspricht etwa 230 kg K_2O /ha, die während der Wintermonate dem Boden aus dem Rübenblatt wieder zur Verfügung gestellt werden.

P und Mg werden während des Versuchs etwa in gleich hohen Prozentanteilen ausgewaschen, wobei jedoch das Mg eher, das P erst im März / April in den Eluaten erscheint. Selbst bei den geringen Abbauquoten dieses Versuchs ist der Düngewert des P während der auf die Blattdüngung folgenden Vegetationsperiode mit ca. 35 kg/ha P_2O_5, der des Mg mit 16 kg/ha MgO anzusetzen.

4.3.3 Rückblick und Ausblick

Obwohl dieser Versuch hinsichtlich seiner geringen Abbauraten, die unter denen der Feldversuche 4.1 und 4.2.2 liegen, nur bedingt mit diesen verglichen werden kann, stützt er doch die Interpretationen, die für die Ertragswirkungen des Rübenblattes im Versuch 4.1 gegeben worden sind. Er stützt insbesondere die Vermutung, daß sich der Stickstoff nur zu geringen Anteilen verflüchtigt und - höhere Abbauquoten vorausgesetzt - über die Blatteluate der auf die Blattausbringung folgenden Vegetation mehr oder weniger vollständig zur Verfügung gestellt werden kann.

In noch stärkerem Maße gilt diese Vermutung für K, Mg und P, während das Ca für längere Zeit dem Kreislauf entzogen wird.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Im Hinblick auf Abbau, Bodeninkorporation und Ertragswirkungen von Ernterückstands-Decken auf Winterweizen wurden zwei Freilandversuche mit Stroh, drei mit Rübenblatt und ein Freiland-Trichterversuch mit Rübenblatt durchgeführt. Versuchsböden waren Parabraunerden aus Löß. Die Versuchsjahre 1971 und 1972 wichen zumindest in den Abschnitten, in denen der Hauptabbau der Mulchdecken erfolgte, vom Normalklimadiagramm stark zur trockenen Seite ab.

Die Versuche mit Stroh bestätigen und ergänzen Versuche anderer Autoren. Vom Zeitpunkt der herbstlichen Ausbringung bis zum Mittwinter verschwinden ca. 30 % der Trockensubstanz als Folge mikrobiellen Abbaues, der gleichermaßen gasförmig entweichende und auswaschungsfähige Abbauprodukte liefert. Nach einer Phase mit reduzierten Abbauraten stellen sich mit zunehmender Erwärmung von März / April ab wieder die herbstlichen Abbauraten ein. Ertragsdepressionen oder Ertragssteigerungen wurden nicht festgestellt. Die

Häckselung des Strohs, Gründüngungsdurchwuchs und zusätzliche N-Düngung brachten keine wesentliche Beschleunigung des Abbauprozesses.

Die Rübenblattversuche ergaben eine starke Abhängigkeit der Frühjahrsabbauraten von den witterungsbedingten Auswaschungsraten. Während die organische Trockenmasse bzw. der Kohlenstoff überwiegend in Gasform mineralisiert wird, werden P, Mg, K, Na und auch der Stickstoff mit den Eluaten dem Boden zugeführt. Häckselung beschleunigt den Auswaschprozeß. Blattmassen bis zu 800 dt/ha konnten bis zum Mittsommer des folgenden Jahres fast vollständig abgebaut werden. Der freigesetzte, wohl überwiegend als Amid- und Amino-N ausgewaschene Stickstoff blieb zu 70 % und mehr im System Boden / Pflanzenbestand erhalten und wurde bei einer Mehraufnahme von 30 kg N/ha durch den Weizen in erheblichem Maße ertragswirksam. N-Fraktionierungen am Boden ergaben eine N-Anreicherung hauptsächlich in der Aminosäuren-Fraktion.Unterlassen der Häckselung führte unter den Witterungsbedingungen des Versuchsjahres 1971 zu einer gleichmäßigeren und dadurch ertragswirksameren N-Freisetzung.

6 L I T E R A T U R

1 Anderson, D.T., u. G.C. Russel, 1964: Effects of various quantities of straw mulch on the growth and yield of spring and winter wheat, Canad. J. S. Sci. 44, 109 - 118 (1964)

2 Börner, H., 1960: Liberation of organic substances from higher plants and their role in the soil sickness problem, Bot. Rev. 26, 393 - 424 (1960)

3 Börner, H., 1957: Die Abgabe organischer Verbindungen aus den Karyopsen, Wurzeln und Ernterückständen von Roggen (secale cereale L.), Weizen (triticum aestivum L.) und Gerste (hordeum vulgare L.) und ihre Bedeutung bei der gegenseitigen Beeinflussung der höheren Pflanzen, Beitr. Biol. Pflanzen 33, 33 - 83 (1957)

4 Brade, K., 1961: Der Einfluß der Strohdüngung auf den Pflanzenertrag unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffdüngung, Diss. Landw. Fak. Giessen (1961)

5 Brown, P.L., u. D.D. Dickey, 1970: Losses of wheat straw residue under simulated field conditions, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 134, 118 - 122 (1970)

6 Deutscher Wetterdienst, Wetteramt Hannover: Monatlicher Witterungsbericht für das östliche Niedersachsen (1970 bis 1972) Adr.: 3 Hannover, Flughafen

7 Fleige, H., B. Meyer u. H. Scholz, 1971: Fraktionierung des Boden-Stickstoffs für N-Haushalts-Bilanzen, Göttinger Bodenkundl. Ber. 18, 1 - 37 (1971)

8 Gierke, Kl. v., 1965: Die düngende Wirkung des Zuckerrübenblattes im Gefäßversuch bei Hafer und Sommerweizen und sein physiologisch ertragswirksamer Stickstoffanteil, Z. Acker- u. Pflanzenbau 123, 109 - 120 (1966)

9 Goodman, R.N., 1953: Influence of organic mulches on reaction and exchangeable calcium content of soil, Soil Science 75, 459 - 466 (1953)

10 Graff, O., 1964: Untersuchungen über die Bodenfauna im Ackerboden, Habilschr. Landw. Fak. Giessen (1964)

11 Greb, B.W., 1966: Effect of surface-applied wheat straw on soil water losses by solar destillation, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30, 786 - 788 (1966)

12 Greenland, D.J., u. P.H. Nye, 1960: Does straw induce nitrogen deficiency in tropical soils? 7. Int. Congr. Soil Sci. Madison (Wisc.) 3, 478 - 485 (1960)

13 Guenzi, W.D., u. T.M. Mc.Calla, 1962: Inhibition of germination and seedling development by crop residues, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26, 456 - 458 (1962)

14 Jung, J., u. G. Riehle, 1966: Mehrjährige Gefäßversuche zur Frage der Strohdüngung und ihrer Auswirkung auf die Stickstoffversorgung der Kulturpflanzen, Z. Acker- u. Pflanzenbau 123, 345 - 355 (1966)

15 Jung, J., u. G. Riehle, 1966: Der Einfluß von Getreidestroh, Rübenblatt und Zuckerrohrbagasse auf die Stickstoffversorgung in Gefäßdüngungsversuchen, Z. Acker- u. Pflanzenbau 124, 368 - 377 (1966)

16 Mc.Kee, H.S., 1958: Nitrogen metabolism in leaves, in: Handbuch der Pflanzenphysiologie VIII, Springer Verlag Berlin; Göttingen; Heidelberg; (1958)

17 Mannering, J.V., u. L.D. Meyer, 1963: The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27, 84 - 86 (1963)

18 Meyer, L.D., W.H. Wishmeyer u. G.R. Foster, 1970: Mulch rates required for erosion control on steep slopes, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34, 928 - 931 (1970)

19 Moody, J.E., J.N. Jones jr. u. J.H. Lillard, 1963: Influence of straw mulch on soil moisture, soil temperature and growth of corn, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27, 700 - 703 (1963)

20 Mooers, C.A., J.B. Washko u. J.B. Young, 1948: Effects of wheat straw, lespedeza sericea hay, and farmyard manure, as soil mulches, on the conservation of moisture and the production of nitrates, Soil Sci. Baltimore 66, 307 - 315 (1948)

21 Parker, D.T., u. W.E. Larson, 1962: Nitrification as affected by temperature and moisture content of mulched soils, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26, 238 - 242 (1962)

22 Parker, D.T., W.E. Larson u. W.V. Bartholomew, 1957: Studies on nitrogen tie-up as influenced by location of plant residues in soil, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21, 608 - 612 (1957)

23 Rauhe, K., u. I. Lehne, 1960: Ertragssteigerungen bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen durch Bodenbedeckung mit organischen Stoffen, Thaer Archiv 4, 346 - 368 (1960)

24 Rauhe, K., I. Lehne u. V. Koepke, 1960: Der Einfluß einer Bodenbedeckung mit organischen Stoffen auf die Nährstoffverhältnisse in Boden und Pflanze, Thaer Archiv 5, 125 - 139 (1961)

25 Sauerland, W. u. O. Graff, 1959: Die Strohdecke auf dem Ackerboden, Landbauforsch. Völkenrode 9, 57 (1959)

26 Scheffer, K., u. B. Meyer, 1970: Zielsetzungen und Anlage eines Tiefumbruchversuches einer grundwasserfreien Löß-Parabraunerde in Südniedersachsen, Göttinger Bodenkundl. Ber. 16, 1 - 169 (1970)

27 Schlegel, H.G., 1956: Die Verwertung organischer Säuren durch Chlorella im Licht, Planta, Berlin 47, 510 - 526 (1956)

28 Sommer, K., 1971: Elementarstickstoffverluste bei der Umsetzung leichtzersetzlicher organischer Masse im Boden, Habil.-Schrift Landw. Fak. Bonn (1971)

29 Stevenson, R.E., u. C.E. Schuster, 1946: Straw mulch for soil improvment, Soil Sci. Baltimore 61, 219 - 223 (1946)

30 Stevenson, R.E., u. C.E. Schuster, 1945: Effect of mulches on soil properties, Soil Sci. Baltimore 59, 219 - 230 (1945)

31 Taylor, R.E., O.E. Hays, C.E. Bay u. R.M. Dixon, 1964: Corn stover mulch for control of runoff and erosion on land planted to corn after corn, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28, 123 - 125 (1964)

32 Twachtmann, R., 1951: Besteht eine Beziehung zwischen dem Enzymgehalt eines Bodens und seiner Fruchtbarkeit? Diss. Landw. Fak. Göttingen (1951)

33 Verma, A.B.S., u. H. Kohnke, 1951: Effects of organic mulches on soil conditions and soybean yields, Soil Sci. Baltimore 72, 149 - 156 (1951)

34 Van Wijk, W.R., W.E. Larson u. W.C. Bourroughs, 1959: Soil temperature and the early growth of corn from mulched and unmulched soil, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23, 428 - 434 (1959)

35 Winter, H.G., u. F. Schönbeck, 1953: Untersuchungen über die Beeinflussung der Keimung und Entwicklung von Getreidesamen durch Kaltwasserauszüge aus Getreidestroh, Naturwissenschaften 40, 168 - 169 (1953)

BECKER,K.-W., u. MEYER,B. :

Verluste und Regeneration von organischem C in Böden unter besonderer Berücksichtigung des wurzelbürtigen Humus-Ersatzes. ——— (Literatur-Übersicht)

Göttinger Bodenkundliche Berichte 26,39-48 (1973)

Verluste und Regeneration von organischem C in Böden unter besonderer Berücksichtigung des wurzelbürtigen Humusersatzes (Literaturübersicht)

Zeitliche Veränderungen des Humus-, besser C-Gehaltes von landwirtschaftlich genutzten Böden sind Gegenstand zahlreicher älterer und neuerer Untersuchungen. Die mitgeteilten quantitativen Angaben sind aber zum Teil so widersprüchlich, daß es schwer fällt, gültige und zu verallgemeinernde Schlüsse zu ziehen.

Sieht man einmal von den durch eine ungeeignete Probeentnahme-, Aufbereitungs- und Analysentechnik verursachten und nachträglich nur schwer überschaubaren Fehlermöglichkeiten ab, überraschen die quantitativ erheblichen Umsatzquoten, denen das organisch gebundene C in den Böden unterworfen zu sein scheint.

Hohe, innerhalb kurzer Zeiten eintretende Humusverluste sind dabei eher glaubhaft und leichter zu interpretieren, als die wiederholt mitgeteilte Erscheinung, daß diese z.T. gewaltigen Verluste in relativ kurzer Zeit wieder ausgeglichen werden und daß dieser Ersatz durch die Anlieferung von organischer Substanz aus der Wurzelmasse der Pflanzenbestände erfolgen soll.

Im Widerspruch dazu stehen Befunde über starke Vermehrungen der organischen Substanz auf Brachflächen oder in der Winterzeit, und zwar unter Bedingungen, bei denen Immissionen von C aus der Atmosphäre auszuschließen sind.

Der erste Punkt betrifft zeitliche Humusgehaltsänderungen. Unter Winterweizen fanden SAUERLANDT und GROETZNER (1953, 17) bei fortlaufenden Wurzelauswaschungen maximale Wurzelmengen von 2.4 t / ha, entsprechend ca. 1 t C / ha, im Zeitpunkt des Schossens. Gleichzeitig durchgeführte Gesamt-C-Bestimmungen ergaben aber demgegenüber für die Zeit vom März bis zum Juni eine Zunahme des Boden-C-Gehaltes von durchschnittlich 2.8 t / ha, mindestens 2.3 und maximal 4.5 t / ha.

Dieselben Autoren (1955, 19) fanden in Versuchen mit gesteigerter Mineraldüngung bei Winterweizen erhebliche zeitliche

C-Gehaltsschwankungen. Danach gab es z.B. in der zweiten Mai-Hälfte innerhalb von 14 Tagen im A_p-Horizont (0 - 20 cm) Anhebungen der Gesamt-C-Menge, die in Abhängigkeit von der Mineraldüngergabe 1.8 bis 4.0 t / ha betrugen. Die Autoren erklären dies mit der Bildung einer sehr beträchtlichen Menge an feinen und feinsten Wurzeln, die bald danach wieder dem Abbau unterlagen. Die tatsächlich ausspülbare Wurzelmenge war dieser C-Gehaltsdifferenz gegenüber nur gering.

Aufgrund von 3 Untersuchungszeitpunkten pro Jahr berichtete v. BOGUSLAWSKI (1959, 5) über den zeitlichen C-Mengengang auf Lößparabraunerden (nach heutiger Nomenklatur) während dreier Jahre. "Schwankungen" von ± 4 t C / ha waren keine Seltenheit und zwischen April und Juli 1955 wurde unter Rüben ein Boden-C-Gewinn von 8 t / ha (bei 0.36 t N-Gewinn) in der Ackerkrume festgestellt, der allerdings bis Oktober 1955 wieder aufgezehrt war. Die Intensität der Einflüsse auf die Größe der Schwankungen folgte dabei der Reihe: Gründüngung < mineralische N-Düngung < Jahreswitterung.

Nach BARANOVSKAJA (1961, 3; 1958, 4) fielen in sandigen Lehmen unter Lieschgras die C-Gehalte des Bodens im Juni/Juli (1. Jahr) bzw. Mai/Juni (2. Jahr) um ca. 0.35 %, d.h. ca. 10 t / ha, um dann wieder bis Oktober bzw. Juli um denselben Betrag anzusteigen.

Zeitliche Humusgehaltsschwankungen der genannten Größenordnung finden sich auch als Nebenergebnis in Untersuchungen von BANSE (1956, 2) zum organisch gebundenen P und in Untersuchungen von HAEHNEL (1960, 9) zur bakteriologischen Charakterisierung von Böden. Beide Arbeiten behandeln verschiedene Bodentypen.

In einer auf sehr umfangreiche Vergleichsuntersuchungen gestützten Analyse der zeitlichen Humusgehaltsänderungen ungedüngter und in verschiedener Weise mit organischen Düngern versorgter Ackerböden kamen SAUERLANDT u. TIETJEN (1971, 20) ebenfalls zu dem Schluß, daß der organisch gebundene Boden-Kohlenstoff jahreszeitliche Phasen mit hohen und mit niedrigen Gehalten durchläuft, wobei innerhalb einer Vegetations-

periode zwischen Minimum und Maximum Zuwachsquoten von mehr als 4.5 t / ha auftreten sollen.

SCHEFFER und MEYER (1970, 21) kalkulierten aufgrund von wiederholten C-Gehaltsmessungen an Lößparabraunerden unter Rüben Mineralisierungsverluste von ca. 3 tC/ ha und Regenerationsgewinne von ca. 2.5 t C / ha, wovon nur rund 1/5 auf die Wurzelmasse zum Enrtezeitpunkt entfiel. Der in einer Vegetationsperiode auf einer tiefumgebrochenen Parabraunerde erzielte C-Gewinn betrug - ähnlich wie in aufgelandeten Lößpoldern des rheinischen Braunkohlenreviers (SCHULZE u.ENGELS, 1962, 24) - etwa das 2- bis 3-fache der zum Erntezeitpunkt auswaschbaren Menge an Pflanzenwurzelsubstanz (SCHULZE u. REZANIA, 1969, 23).

Diese Arbeiten leiten bereits zu solchen Untersuchungen über, aus denen aufgrund langzeitiger Humusgehaltsänderungen auf jährliche Humus-C-Lieferraten geschlossen werden kann.

So ergaben 10-jährige Lysimeterversuche mit kalkhaltigem Lößmaterial (179 mg C, 19 mg N pro 100 g Lößmaterial), die SCHMALFUSS (1960, 22) analysierte, unter verschiedenen Kulturen einen Gewinn an C in 0 bis 15 cm Tiefe von umgerechnet 12 t / ha (Ø 1.2 t / ha · Jahr) und einen Gewinn an N in Höhe von 0.6 t / ha (Ø 60 kg / ha · Jahr). Beide Daten gelten für die nicht mit organisch oder mineralisch gebundenem N gedüngten Versuchsvarianten ohne Leguminosen. Auf den gedüngten Versuchsvarianten erhöhen sich die jährlichen Durchschnittswerte auf bis zu 1.5 t C / ha.

Neben Arbeiten der bislang behandelten Art, deren Ergebnis im wesentlichen in der Konstatierung von beträchtlichen Schwankungen der C-Gehalte in Ackerböden bei zeitlich aufeinander folgender Probeentnahme und in der Feststellung langfristiger C-Gehaltsänderungen besteht, befassen sich andere mit der quantitativen Seite der fortlaufenden Reproduktion von Wurzelmasse. So rechnen z.B. KLEINHEMPEL und KNAPPE (1966, 12) - allerdings wieder aufgrund von "zeitlichen" C-Gehaltsänderungen, die zwischen 3.8 und 15 t C/ha

liegen - mit einem ständigen Auf- und Abbau von Fein- und Feinstwurzeln, deren Produktion in der Größenordnung des gefundenen C-Umsatzes liegt. Sie beziehen sich dabei auf Untersuchungen an 10 verschiedenen Schlägen eines kontrollierten landwirtschaftlichen Betriebes mit einer Vielzahl verschiedener Kulturen. Sie verweisen auf KONUROV (1961, 14), der unter ein- und mehrjähriger Grasdecke eine jährliche C-Anreicherung feststellt, die das zwei-bis dreifache der zu einem bestimmten Zeitpunkt ermittelbaren Masse lebender Wurzeln ausmacht.

Ein kritisch zu beleuchtender Widerspruch besteht bislang zwischen den vorgenannten Arbeiten mit ihrem Postulat einer fortlaufenden Neubildung wurzelbürtigen Boden-Kohlenstoffs und den zahlreichen Arbeiten, welche sich mit einer quantitativen Erfassung der momentanen Wurzelmasse befassen.

Die meisten Untersuchungen zur Wurzelmassenbestimmung basieren auf der Entnahme von Bodenmonolithen zu bestimmten Zeitpunkten im Entwicklungsablauf der Kulturpflanzen. Nach Auswaschen der Bodenmonolithe wird die auf dem Sieb verbleibende bzw. durch das Sieb hindurchgegangene Wurzelmasse, soweit sie makroskopisch erkennbar und separierbar ist, getrocknet. Nach Abzug des Ascheanteils ist aufgrund der Angaben bei KÖHNLEIN und VETTER (1953, 13) bzw. SAUERLANDT und GROETZNER (1953, 17) je nach Entwicklungszustand der Kulturpflanzen mit Wurzeltrockenmassen von 1.2 bis 2.4 t / ha,entsprechend etwa 0.5 bis 1.0 t C / ha, in der Ackerkrume zu rechnen.

Im Hinblick auf die Reproduktion von Wurzelmasse sagen solche Versuche jedoch relativ wenig, da sie im Grunde nur Momentaufnahmen darstellen. Zwar zeigen die veröffentlichen Wurzelbilder, daß offenbar erhebliche Umverteilungen der Wurzelmasse im Boden durch Abbau und Regeneration während der Vegetationszeit möglich sind, doch fehlen hierzu aufgrund methodisch kaum zu überwindender Schwierigkeiten nähere Aussagen.

Besonderes Gewicht hätte in diesem Zusammenhang die nähere Kenntnis der Reproduktion von Wurzelhaaren.

Die umfangreichen Wurzeluntersuchungen von DITTMER (1937, 7; 1938, 8) lieferten quantitative Angaben über das Volumen von Wurzelmasse und Wurzelhaaren bei Getreide. An 4 Monate alten Winterroggenpflanzen, die einzeln in Holzkästen (30 x 30 cm, 55 cm tief) im Gewächshaus angezogen worden waren, hat DITTMER 83.2 m^3 / ha Wurzelmasse und zusätzlich 13.4 m^3/ha lebende Wurzelhaare gemessen. Im Freilandversuch unter natürlichen Bedingungen aufgewachsene Getreidepflanzen haben im grünen Zustand vor der Ernte bis 15 cm Bodentiefe ein Wurzelvolumen von 5.7 (Hafer) bzw. 10.1 (W-Roggen) m^3 / ha. Das Volumen der lebenden Wurzelhaare betrug in diesen Versuchen 2.6 bzw. 5.6 m^3 / ha. Offensichtlich kann unter Feldbedingungen mindestens ein Drittel der Gesamtmasse der Getreidewurzeln aus Wurzelhaaren bestehen. Dieser Anteil ist vermutlich noch höher, da die Untersuchungen an aus dem Boden ausgewaschenen Wurzeln durchgeführt wurden und bei dem Auswaschen nicht alle Feinstwurzeln erfasst werden konnten.

Die Lebensdauer solcher Wurzelhaare beträgt nach Angaben bei KAUSSMANN (1963, 11) nur 4 - 5 Tage. Das würde bedeuten, daß allein aufgrund der Wurzelhaarbildung quantitativ eine vollständige Reproduktion der zu einem Zeitpunkt gemessenen Wurzelmasse innerhalb eines Zeitraums von 14 Tagen denkbar wäre.

Einen völlig anderen Weg der Wurzelumsatzmessungen gingen SHAMOOT et al. (1968, 25). Untersuchungen mit verschiedenen in $C^{14}O_2$-Atmosphäre aufgezogenen Getreide-,Gras- und Leguminosenpflanzen zeigten, daß zum Erntezeitpunkt außer dem in lebender Wurzelmasse enthaltenen C auch noch in wurzelbürtigen Zerfallsprodukten enthaltenes organisch gebundenes C angereichert worden ist. Auf 1 t Wurzel-C entfielen dabei 0.2 bis 0.5 t neugebildetes Humus-C. Die Verfasser meinen aber, daß die Anlieferung von Humus-C aus postmortaler Wurzelsubstanz noch größer gewesen sein könnte, da bis zum Erntezeitpunkt bereits mit einer erheblichen Mineralisierung des insgesamt angefallenen wurzelbürtigen Humus-C gerechnet werden kann.

Andere Hinweise auf Wurzelmassenbildung ergeben sich aus Untersuchungen von ALBERDA u. SIBMA (1968, 1). Diese Autoren berechneten nach de WITS Computermodell aufgrund von Photosyntheseraten bei gegebener Sonneneinstrahlung, Blattstellung und Blattflächenindex die potentielle Trockenmassenproduktion von Pflanzenbeständen und verglichen sie mit der tatsächlich gemessenen. Dabei beschränkten sie sich auf die Produktion oberirdischer Trockenmasse. Sie fanden von Ende März bis August annähernd gleichbleibende Verhältnisse von aktueller zu potentieller Trockenmassenproduktion. Von August an fällt jedoch die Trockenmassenproduktion bei intakter Photosyntheseleistung und gleichbleibender Pflanzenatmung ab. Den Autoren drängt sich dabei die Vermutung auf, daß im Herbst Kohlenhydrate in stärkerem Maße unter die "Schnittebene" verlagert werden. Dies kann nicht auf der Inkorporation von Pflanzenteilen in den Boden durch Bodentiere beruhen, sondern ist in Anbetracht der verlagerten Menge wohl auf verstärkte Wurzelbildung zurückzuführen. Je Tag werden etwa 60 kg C / ha in Form von Kohlenhydraten unter die Oberfläche abgeleitet.

Problematisch und im Widerspruch zu den im Vorangegangenen gemachten Aussagen stehend sind die Befunde über C-Gehaltsänderungen unter Brache. SHAMOOT et al. (oben zitiert) fanden z.B. in einem Versuchsjahr nur ca. 25 kg angereichertes C pro 3000 t Boden, in einem zweiten Versuchsjahr dann aber 350 kg C pro 3000 t Boden.

BARANOVSKAJA (oben zitiert) berichtete dagegen von "zeitlichen" Humusgehaltsgängen, bei denen Verluste von 7 t C/ha innerhalb von vier Wochen wieder ausgeglichen worden sein sollen. SAUERLANDT u. GROETZNER (1953, 18) stellten Steigerungen der C-Menge auf Brachflächen während des Winters 1951/52 in Höhe von 6 t C pro 3000 t Boden fest. Auch KULLMANN u. LEHFELD (1968, 15) stellten unter zweijähriger Brache in den Sommermonaten Vermehrungen der C-Menge in Höhe von 2.25 t / ha fest, wobei sich ebenfalls ein charakteristischer Zeitgang mit C-Maxima in der Mitte Juni und in der Mitte August abzeichneten.

Erklärungen für dieses Phänomen führen in den Bereich des Spekulativen. Während KULLMANN u. LEHFELD an eine CO_2-Bindung durch Algen denken, weisen SAUERLANDT u. GROETZNER auf die "als gesichert anzusehende Assimilation von CO_2 durch heterotrophe Mikroben sowie die enzymatische Überführung von Kohlendioxid in organische Bindung nach der WOOD-WERKMAN-Reaktion" hin. Beide Hypothesen sind jedoch nicht gesichert.

Nur selten finden sich Ansätze zur Methodentechnik, so z.B. bei KULLMANN u. LEHFELD. Über Probleme der C-Verteilung in der Ackerkrume und ihre Auswirkungen auf die ermittelten Durchschnitts-C-Gehalte ist wenig zu finden, was verwundert, da über die K- (SAUERBECK, 1954, 16), und N-Verteilung (CARTER et al., 1966, 6) und andere Bioelemente (v. HERTZBERG, 1969, 10) Angaben vorliegen.

Als Fazit dieser Literaturübersicht wäre die Forderung zu erheben, 1.) zu prüfen, ob es sich bei den "zeitlichen" C-Gehaltsschwankungen tatsächlich um Zeitgänge und nicht um ortsbedingte Streuungen handelt, 2.) nach weiteren quantitativen Methoden für die Erfassung der Reproduktion der Wurzelmasse zu suchen und 3.) die Entnahme- und C-Bestimmungsmethoden einer kritischen Sichtung zu unterziehen.

L I T E R A T U R

1 ALBERDA, T., u. L. SIBMA, 1968: Dry matter production and light interception of crop surfaces, J. of the British Grassland Soc. 23, 206-215 (1968)

2 BANSE, H.J., 1956: Über die Veränderung des organisch gebundenen Phosphors in Abhängigkeit von Bodentyp, Phosphorsäuredüngung und Jahreszeit, Diss. Landw. Fak. Göttingen (1956)

3 BARANOVSKAJA, A.W., A.Ju. DARAGAN - SSUSCHTSCHOVA u. A.M. GLOBUS, 1957: Ref. in Landw.Zentralblatt Abt. II,S.1384 (1958)

4 BARANOVSKAJA, A.W., 1961: Change in humus composition in the annual cycle of sodpodsolic sandy loam soil, Soviet Soil Sci. 4, 183-189 (1961)

5 Boguslawski, E. von, 1959: Das Zusammenwirken von Gründüngung und Stickstoffdüngung auf den C- und N-Umsatz im Boden, Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 84, 85-93 (1959)

6 Carter, J.N., O.L. Bennett u. R.W. Pearson, 1966: Recovery of fertilizer nitrogen under field conditions using nitrogen-15, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31,50-56 (1967)

7 Dittmer, H.J., 1937: A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant (secale cereale) Am.J. Bot. 24, 117-120 (1937)

8 Dittmer, H.J., 1938: A quantitative study of the subterranean members of three field grasses, Am.J. Bot. 25, 654-657 (1938)

9 Haehnel, W., 1960: Bakteriologische Charakterisierung einiger Bodentypen an Hand der varianzanalytischen Methodik unter Anwendung der Fluoreszenz, Landw. Habilschrift, Leipzig (1960)

10 Hertzberg, K. von, 1969: Zur Frage verschiedener Verfahrensweisen bei der Bodenprobenahme, Landw. Forschung 22, 291-299 (1969)

11 Kaussmann, B., 1963: Pflanzenanatomie, VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 624 S.

12 Kleinhempel, D., u. S. Knappe, 1966: Über die Humusdynamik unter wachsenden Pflanzenbeständen, Albrecht-Thaer-Archiv 10, 793-801 (1966)

13 Köhnlein, J., u. H. Vetter, 1953: Ernterückstände und Wurzelbild, Paul Parey-Verlag Hamburg u. Berlin, 138 S.

14 Konurov, S.G., 1961: Quantitative Veränderungen der organischen Substanz in gewöhnlicher Schwarzerde bei unterschiedlicher Nutzung, Ref. in Landw. Ztrlbl. Abt. II, S. 954 (1962)

15 Kullmann, A., u. J. Lehfeld, 1968: Ein methodischer Beitrag zu den Veränderungen des Kohlenstoffgehaltes auf einer Schwarzbrache, Albrecht-Thaer-Archiv 13, 691-698 (1969)

16 Sauerbeck, D., 1954: Dreijährige Versuchsergebnisse über die jahreszeitlichen Schwankungen bei der Bodenuntersuchung, Landwirtsch. Forsch. 6. Sonderh. 32-38 (1954)

17 Sauerlandt, W., u. E. Groetzner, 1953: Untersuchungen über organisch gebundenen Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden, Ztschr. Pflzern.,Dg., Bodenkunde 62, 214-229 (1953)

18 Sauerlandt, W., u. E. Groetzner, 1953: Untersuchungen über organisch gebundenen Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden (2. Mitteilung), Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 63, 142-149 (1953)

19 Sauerlandt, W., u. E. Groetzner, 1955: Untersuchungen über organisch gebundenen Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden (3. Mitteilung), Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 69, 181-190 (1955)

20 Sauerlandt, W., u. C. Tietjen, 1971: Der organisch gebundene Kohlenstoff und seine Phasen während des Jahresablaufs im Ackerboden, Z. Acker- u. Pflanzenbau 134, 313-322 (1971)

21 Scheffer, K., u. B. Meyer, 1970: Zum Humushaushalt einer ungestörten und tiefumgebrochenen Löß-Parabraunerde unter Ackernutzung, Göttinger Bodenkundl. Berichte 16, 99-124 (1970)

22 Schmalfuß, K., 1960: Mineraldüngung, Pflanzenertrag u. organische Bodensubstanz, Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 90, 50-58 (1960)

23 Schulze, E., u. M. Rezania, 1968: Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit trocken umgelagerter Lößböden verschiedenen Rekultivierungsalters im Rheinischen Braunkohlengebiet, Z. Acker- u. Pflanzenbau 129, 1-28 (1969)

24 Schulze, E., u. A. Engels, 1962: Rekultivierung von Lößböden im Rheinischen Braunkohlengebiet, Z. Acker- u. Pflanzenbau 115, 115-143 (1962)

25 Shamoot, S., L. Mc.Donald u. W.V. Bartholomew, 1968: Rhizo-deposition of organic debris in soil, Soil Sci. Soc. of Am. Proc. 32, 817-820 (1968)

BECKER, K.-W., u. MEYER, B. :

Freiland-Modellversuche zum Humus-Abbau, zur Wurzelbildung und Humus-Regeneration in schluffigen Ackerböden

Göttinger Bodenkundliche Berichte 26, 49 - 76 (1973)

Freiland-Modellversuche zum Humus-Abbau, zur Wurzelbildung und Humus-Regeneration in schluffigen Ackerböden

G L I E D E R U N G

		Seite
1	Ü B E R B L I C K und P R O B L E M S T E L L U N G	52
2	V E R S U C H S A N L A G E	53
	2.1 MESSANORDNUNG	53
	2.1.1 Bezugsgefäße	53
	2.1.2 Gasentnahme-Gefäße	54
	2.2 TESTBODEN-MATERIAL	56
	2.3 VARIANTEN des GASENTNAHME-VERSUCHS	56
	2.4 DÜNGUNG und BEWÄSSERUNG	57
	2.5 ANALYSE des GASENTNAHME-VERSUCHS	57
	2.6 VERSUCHSERSCHWERNISSE beim GASENTNAHME-VERSUCH	58
3	V E R S U C H S E R G E B N I S S E	59
	3.1 BEZUGSGEFÄSS-VERSUCH / KALKULATORISCHE ANSÄTZE	59
	3.2 HUMUSABBAU im GASENTNAHME-VERSUCH	62
	3.3 WURZEL-C-PRODUKTION in C-FREIEM BODENMATERIAL im GASENTNAHME-VERSUCH	65
	3.4 HUMUSABBAU und WURZEL-UMSATZ unter BEWUCHS im GASENTNAHME-VERSUCH	66
	3.5 ZEITLICHER GANG der CO_2-ENTBINDUNG	69
4	D I S K U S S I O N	72
5	Z U S A M M E N F A S S U N G	74
6	L I T E R A T U R	76

1 Ü B E R B L I C K und P R O B L E M S T E L L U N G

In einer vorausgegangenen Mitteilung (1) haben wir das Problem des im Jahresablauf unter ackerbaulichen Bedingungen stattfindenden Humus-Abbaues und -Wiederaufbaues für die Ackerkrume von Löß-Parabraunerden diskutiert. Im Frühsommer und zum Teil noch im Herbst treten erhebliche Humus-Verluste ein, die jedoch normalerweise durch den Pflanzen-Bestand wieder ausgeglichen werden. Ein Problem besteht darin, daß die Humusverluste so groß sein können, daß es schwer fällt, ihren nachweisbaren Ersatz durch die Produktion bestandesbürtiger Humus-Massen zu erklären. Da eine weitgehende Humusregeneration nach bisherigen Befunden auch dann noch gegeben zu sein scheint, wenn die oberirdischen Pflanzen-Massen oder Ernte-Rückstände dem Boden nicht einverleibt werden, muß anscheinend dem Wurzelsystem eine größere Rolle für die Humus-Bildung zugebilligt werden, als man bisher tatsächlich nachweisen konnte.

Das methodische Problem liegt darin, daß es bislang keinen zuverlässigen Weg gibt, auf dem man die gesamte Produktion an Wurzelmasse eines Pflanzenbestandes im Laufe einer Vegetationsperiode messen kann. Die zahlreichen, von mehreren Autoren durchgeführten Wurzel-Auswaschungen liefern stets nur Moment-Aufnahmen. Es ist bekannt, daß fortlaufend Teile des Wurzel-Netzwerkes absterben - wobei sie zur Humus-Bildung beitragen können - und fortlaufend neue Wurzeln gebildet werden. Eine Quantifizierung dieses für die Humusmetabolik so bedeutenden Vorganges ist bislang nicht möglich gewesen.

Aufgrund methodisch-theoretischer Überlegungen erscheint es kaum möglich, die Frage der Häufigkeit der Wurzel-Regeneration und damit der potentiellen Humus-Lieferung unter Pflanzenbeständen sicher zu beantworten. Modell-Versuche entfernen sich zwangsläufig zu weit von den natürlichen Bedingungen. So bleibt weiterhin der empirische Weg, d.h. die fortlaufende Messung von Humus-Gehaltsänderungen im

Boden, der zur Lieferung von Bezugsdaten allein gangbare.

Im folgenden wird angestrebt, durch eine vergleichende Auswertung kombinierter Modellversuche eine Basis für kalkulatorische Ansätze zum Ausmaß der Gesamt-Wurzelmassen-Bildung über eine bestimmte Zeit hinweg zu erlangen, um damit die Möglichkeiten der wurzelbürtigen Humusbildung abzuschätzen.

Der methodische Ansatz ist dabei folgender: Ein für die mitteleuropäischen Löß-Parabraunerde-Gebiete typisches A_p-Horizont-Material wird über zwei Jahre hinweg im Freiland ungestört in Boden-Gefäßen gehalten, z.T. mit Bewuchs, z.T. ohne Bewuchs. In Parallel-Ansätzen wird dasselbe Bodenmaterial in geglühtem Zustand verwendet. An jeweils zeitlich nacheinander entnommenen und schichtweise zerlegten Gefäßen werden die Gesamt-C-Gehalte bzw. auswaschbaren Wurzel-Anteile bestimmt. Die zeitlichen Veränderungen werden verglichen mit den in besonders konstruierten Gefäßen fortlaufend ermittelten CO_2-Entbindungsraten und den aufgefangenen Mengen an ausgewaschenen Humusbestandteilen. Ziel der Auswertung ist, durch Kalkulation der Maximal- und Minimal-Umsätze eine Spanne für mögliche Bilanz-Ansätze zu gewinnen.

2 V E R S U C H S A N L A G E

2.1 MESSANORDNUNG

2.1.1 Bezugsgefäße

30 PVC-Rohrstücke von 25 cm Ø und 30 cm Länge wurden 1971 in 30 cm tiefe Bodenlöcher eingesetzt, so daß sie unten offen auf dem lößbürtigen Unterboden standen. Sie wurden mit Testbodenmaterial bis zur Oberfläche des umgebenden Bodens aufgefüllt. Innerhalb und außerhalb der Gefäße wurde Sommergerste eingesät. Die Hälfte der Gefäße blieb unbestellt. Näheres zur Bestellung und Düngung siehe in den Absätzen 2.3 und 2.4.

Zu vier Terminen zwischen Saat und Ernte der Sommergerste und zu zwei Terminen während des nachfolgenden Lupinen-Wachstums wurden je 2 bis 3 der bewachsenen und unbewachsenen Rohre entnommen und in 5 cm-Schichten zerlegt, die durch Mahlen homogenisiert und auf C (total) analysiert wurden. An dem homogenisierten Material jeder Entnahme-Schicht wurden 3 Parallel-C-Bestimmungen vorgenommen. Für die Wurzel-C-Mengen-Analysen wurden die Tiefen 0 - 10 und 10 - 25 cm zusammengefaßt. Daraus resultieren zwischen 12 und 27 Einzel-C-Bestimmungen, auf denen die in Absatz 3.1 unter (4), (5) und (7) angegebenen Durchschnittswerte beruhen.

2.1.2 Gasentnahme-Gefäße

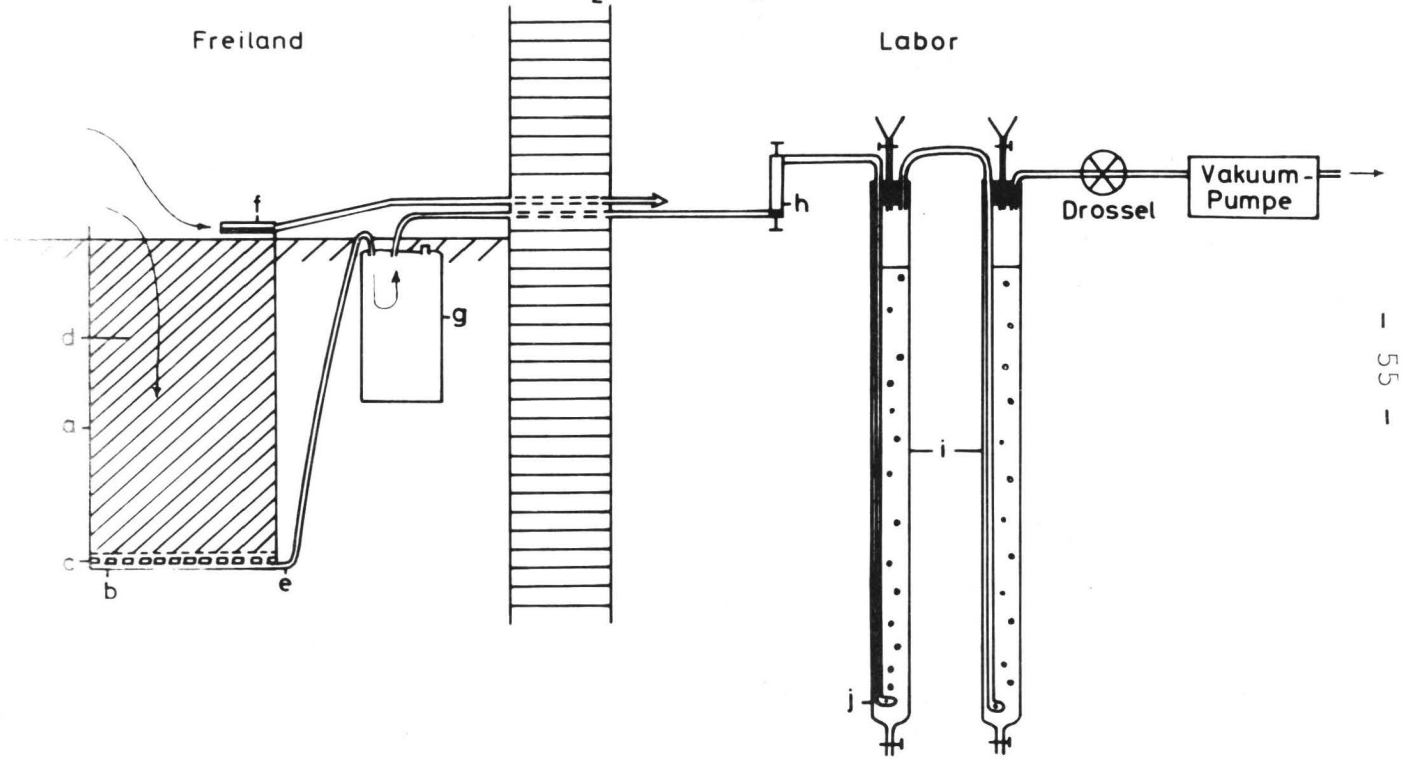
Im Freiland wurden PVC-Zylinder (a) von 45 cm Länge und 25 cm Ø mit einem luftdicht eingekitteten Boden (b), einer Siebplatte in 1 cm Abstand vom Boden und darauf liegender Glasfaserscheibe (c) versehen und mit Bodenmaterial (d) befüllt. Die Gefäße wurden in den Boden eingelassen, so daß innere und äußere Bodenoberfläche miteinander abschnitten. Durch einen Schlauchstutzen (e) zwischen Gefäßboden und Siebplatte wurde von oben nach unten Außenluft durch das Gefäß gesaugt. Durch einen dem oberen Gefäßrand aufliegenden Ansaug-Flachtrichter (f) wurde gleichzeitig die Außenluft getrennt und in gleichen Raten angesaugt. Es wurde die CO_2-Differenz beider Luftströme ermittelt.

Der aus dem Gefäß abgesaugte Luftstrom wurde durch eine Waschflasche (g) zur Abscheidung flüssigen Wassers über Schlauchleitungen dem Labor-Meßplatz für CO_2 zugeleitet. Die Kontrolle des Luftdurchflusses erfolgte über Gas-Strömungsdurchflußmesser mit Nadelventil (h) (FISCHER u. PORTER), die von Zeit zu Zeit mit ELSTER - Experimentier - Gaszählern auf die Durchflußmenge hin geeicht wurden. In zwei hintereinander geschalteten Gas-Waschrohren (i) mit Fritten-Einsatz (j) und definierter NaOH-Lösung wurde das CO_2 abgefangen und durch Titration der Lösung in wöchentlichen Abständen quantitativ bestimmt. Gleiches geschah mit der nicht durch den Boden gesaugten atmosphärischen Luft.

Die Anlage wurde kontinuierlich von Mai bis Dezember 71 und 72 betrieben.

Der Luftdurchfluß wurde so eingestellt, daß gerade der Rücktausch von Bodenluft in die Atmosphäre verhindert wurde. Er betrug innerhalb des Bodengefäßes 3 - 5 mm pro Minute. Diese Grenzraten wurden durch Steigerung des Luftdurchsatzes, z.T. unter Abdeckung der Bodengefäße mit Plastikhauben, die nur eine kleine Luftzutrittsöffnung enthielten, bei gleichzeitiger CO_2-Gehaltsbestimmung unter mittlerem Bodenwassergehalt bestimmt.

Abb. 1: Gasentnahme - Gefäße und CO_2 - Messanlage



2.2 TESTBODEN-MATERIAL

Kalkfreie Ackerkrume (Ap) mit pH 5.9 der Tiefe 0 - 25 cm einer typischen Parabraunerde aus Löß - siehe "O_T-Parzelle" des von SCHEFFER und MEYER (3) beschriebenen Tiefumbruchversuches in Drüber, Krs. Einbeck - wurde getrocknet, gesiebt (8 mm Maschenweite) und in die Versuchsgefäße gefüllt. Für die Gasentnahme-Versuche wurde sie vorher mit Sedipur als Flockungs- und Stabilisierungsmittel (MEYER, 2) versetzt (0.1 % der TrS). Im zweiten Versuchsjahr wurde in zusätzlichen Varianten dasselbe Bodenmaterial nach Glühen bei 750 °C verwendet.

2.3 VARIANTEN des GASENTNAHME-VERSUCHS

Insgesamt 6 der oben beschriebenen Meßeinrichtungen wurden wie folgt betrieben:

3 Gefäße unbewachsen, angesetzt 16.4.71
- davon 1 Gefäß zerlegt und auf C analysiert 23.12.71
- 2 Gefäße 1972 erneute CO_2-Analyse der Bodenluft, zerlegt und auf C analysiert 24.11.72

3 Gefäße bewachsen,
- Einsaat Sommergerste 16.4.71
- Ernte Sommergerste 27.7.71
- Einsaat Süßlupine 27.7.71
- Ernte Grünmasse Süßlupine 23.12.71
- davon 1 Gefäß zerlegt und auf C analysiert 23.12.71
- 2 Gefäße Einsaat Hafer 8.4.72
- Ernte Hafer 16.8.72
- Einsaat Süßlupine 16.8.72
- Ernte Grünmasse Süßlupine 24.11.72
- zerlegt und auf C analysiert 24.11.72

2 Gefäße geglühter Boden, bewachsen
- Einsaat Hafer 17.4.72
- Ernte Hafer 16.8.72
- Einsaat Süßlupine 16.8.72
- davon 1 Gefäß zerlegt und auf C analysiert 11.9. 72
- 1 Gefäß zerlegt, auf C analysiert und in einer Hälfte Wurzeln ausgewaschen 24.11.72

Von Dez. 71 bis Apr. 72 verblieben die Gefäße abgedeckt im Freiland.

2.4 DÜNGUNG und BEWÄSSERUNG

Die Umgebung wurde wie die Gefäße selbst bestellt.
Düngung 1971: 1.36 g NH_4NO_3 pro Gefäß, entsprechend 100 kg N/ha am 13.5.

Düngung 1972:

Gefäße mit geglühtem Boden:
1.7 g N, 0.19 g P, 1.4 g K pro Gefäß entsprechend 362 kg N, 78 kg P und 288 kg K/ha.

Gefäße mit nicht geglühtem Boden:
1.2 g N, 0.11 g P, 0.8 g K pro Gefäß entsprechend 252 kg N, 46 kg P und 168 kg K/ha.

Die Verabreichung der Nährstoffe erfolgte in mehrfacher Gabe in flüssiger Form als Nährlösung, die mit Mikronährstoffen angereichert war, gleichmäßig verteilt über den Zeitraum April bis Anfang Juni.

Abweichend von den natürlichen Verhältnissen wurde beim Gasentnahme-Versuch in den bewachsenen Gefäßen durch ausgleichende Bewässerung ein konstanter mittlerer Wassergehalt über die Versuchszeit hinweg eingehalten. Dieses ließ sich aufgrund der Strukturstabilisierung der Böden in den Gefäßen durch Sedipur relativ leicht bewerkstelligen, da durch die Flockung Rißbildungen und Verschlämmungen unterbunden waren. Auf den unbewachsenen Böden kam es dagegen häufiger zu Wasserübersättigungen und -abflüssen.

2.5 ANALYSE des GASENTNAHME-VERSUCHS

Nach Beendigung der kontinuierlichen CO_2-Analyse der durchgesaugten Bodenluft (siehe 2.1) wurden die Bodensäulen der Gefäße getrocknet, schichtweise zerlegt und in der Culatti-Hammermühle gemahlen und homogenisiert. Die C-Bestimmung erfolgte unter Verbrennung gasanalytisch im Wösthoff-Gasanalysengerät.

Zur Separatbestimmung der Grobwurzelmasse wurden Aliquots der Bodensäule feucht auf dem 1 mm-Sieb ausgeschlämmt. Die Wurzeln auf dem Sieb wurden mit dem schwimmenden Anteil vereinigt, getrocknet und der C-Bestimmung unterworfen.

Jede C-Bestimmung am Bodenmaterial wurde in 6facher Wiederholung durchgeführt. Durch das Mahlen des gesamten Gefäß-Inhaltes bzw. einzelner Abschnitte wurde ein so guter Homogenitätsgrad erzielt, daß die Bestimmungsparallelen nur eine geringe Streubreite der Analysen-Werte aufwiesen.
Sie betrugen bei

C-Gehalten von $10 - 1.5$ % $\leq \pm 3$ % $- \leq \pm 4$ % des C-Gehaltes
< 1.5 % $\leq \pm 4$ % $- \leq \pm 10$ % des C-Gehaltes

Im Interesse der Einheitlichkeit der Darstellung werden die C-Gehalte auf die 2. Dezimalstelle hinter dem Komma abgerundet.

2.6 VERSUCHSERSCHWERNISSE beim GASENTNAHME-VERSUCH

Das kontinuierliche Absaugen und Analysieren der Bodenluft bot keine Probleme. Die Parallelen stimmten im ersten Jahr sehr gut überein. Gelegentliche Undichtigkeiten der Anlage äußerten sich bei der wöchentlichen Titration in einer Erniedrigung der CO_2-Mengen und konnten behoben werden.

Die unbewachsenen Gefäße wurden ständig von Unkraut freigehalten, Moos und Algenwachstum machte eine chemische Bekämpfung erforderlich.

Von September 71 ab siedelten sich in allen Gefäßen Regenwürmer kleinerer Arten sowie Jungtiere an, deren Tätigkeit jedoch ohne nachweisbaren Einfluß auf den Luftdurchsatz und die CO_2-Entwicklung blieb.

Ertragsmessungen wurden im ersten Jahr infolge Vogelfraß, im zweiten Jahr infolge Mäusefraß zwecklos.

Im zweiten Versuchsjahr ließ die Verstärkung der Regenwurm- und besonders der Ameisentätigkeit die CO_2-Entwicklung in einigen Meßanlagen erheblich ansteigen. Wiederholter Einsatz von Kontakt- und Fraßgiften verringerte die Individuenzahl stark, konnte aber die Auswanderung der Ameisen in die unbewachsenen Gefäße und in tiefere Gefäß-Abschnitte nicht unterbinden (Vermischungseffekte).

Die Lupinen entwickelten sich im ersten Jahr üppig, im zweiten war der Bestand lückig und blieb in der Entwicklung hinter dem ersten Versuchsjahr zurück.

Der geglühte Boden zeigte auch ohne Sedipur-Zusatz eine anhaltend gute Aggregatstabilität mit einer Trockenraumdichte von 1.1. Der Hafer entwickelte sich nur wenig schlechter als auf dem ungeglühten Boden, was zum Teil auf den 10 Tage später liegenden Saattermin zurückgeführt werden mag. Zeitweilig auftretende Mangelsymptome (hellere Blattflecken) wurden durch eine sofortige Nährstoffgabe ausgeglichen. Im Gegensatz dazu entwickelten sich die Lupinen außerordentlich schlecht (geringe Keimzahl, Maximalhöhe 15 cm, Fehlen von seitlichen Blattrieben, geringe Blattgröße).

3 V E R S U C H S E R G E B N I S S E

3.1 BEZUGSGEFÄSS-VERSUCH / KALKULATORISCHE ANSÄTZE

Die unbewachsenen Gefäße zeigten zwischen Saat und Ernte der Sommergerste folgende Abnahmen ihrer Gesamt-C-Gehalte:

	Boden-tiefe in cm	Ausgangs-C in g am 20.4.(Saat)	Verlust an C an g bis 28.7.(Ernte, Saat Lupinen)
(1)	0 - 5	28.3	- 0.9
	5 - 10	28.3	- 1.6
	10 - 15	28.3	- 1.6
	15 - 20	28.3	- 0.5
	20 - 25	28.3	- 1.7
	0 - 25	141.5	- 6.3

Die Abnahme war dabei nicht stetig. Trotz Herbizid-Einsatz wuchs immer wieder Unkraut auf, das bis zu seiner Beseitigung Wurzeln bilden konnte, die intermediäre C-Gehaltserhöhungen auslösten.

Bei den mit Sommergerste bestandenen Gefäßen ergab sich dagegen folgender Gewinn:

	Boden-tiefe in cm	Gewinn an C(t) in g bis 28.7. (Ernte)
(2)	0 - 5	+ 2.7
	5 - 10	+ 0.2
	10 - 15	+ 0.6
	15 - 20	+ 0.4
	20 - 25	- 0.4
	0 - 25	+ 3.5

Zum Ernte-Zeitpunkt entfallen 9.8 g C auf Gerstenwurzeln. Somit errechnen sich für den bewachsenen Boden, wenn man gleiche Abbauraten für den Bodenhumus zugrunde legt, wie im unbewachsenen Zustand:

(3)

Humus-C-Verluste:	6.3 g
Wurzel-C-Gewinn:	9.8 g

Wahrscheinlich sind die Humus-C-Verluste im bewachsenen Boden größer, so daß der hier eingesetzte Wert als Minimalwert zu betrachten ist.

Durch Vergleich der unbewachsenen mit den bewachsenen Gefäßen läßt sich der Gang der Wurzel-C-Anreicherung verfolgen:

Gewinn (+) bzw. Verlust (-) an Wurzel-C (g/Gefäß) in der Zeit vom ...

(4)

	20.IV. bis 27.V.	27.V. bis 24.VI.	24.VI. bis 13.VII.	13.VII. bis 28.VII.
0 - 10 cm	+ 2.8	- 1.4	+ 1.6	+ 2.4
10 - 25 cm	+ 0.1	+ 1.3	- 0.2	+ 3.2

Dies bedeutet, daß Wurzelmasse in den einzelnen Tiefenabschnitten aufgebaut und wieder abgebaut wird. Eine Summierung ergibt:

(5)

Wurzel-C-Gewinne:	0 - 10 cm	6.8 g C
	10 - 25 cm	4.6 g C
	0 - 25 cm	11.4 g C
Wurzel-C-Verluste:	0 - 10 cm	1.4 g C
	10 - 25 cm	0.2 g C
	0 - 25 cm	1.6 g C

Somit errechnen sich bilanzmäßig für die Vegetationszeit der Sommergerste:

		C in g/Gef.	C in t/ha	C in % TrS der Ackerkrume
(6)	a) Humus-C-Verluste	6.3	1.3	0.04
	b) Wurzel-C-Gesamtproduktion	>11.4	> 2.4	> 0.07
	c) Wurzel-C-Verluste	> 1.6	> 0.3	> 0.01
	d) = a)+c) Verluste durch Humus- und Wurzelabbau	> 7.9	> 1.7	> 0.05
	e) Wurzel-C-Anreicherung	9.8	2.1	0.06

Hiernach würde die Produktion an Wurzel-C während des Gerstenwachstums bei einem Ertrag von 40 dt Korn und 40 dt Stroh pro ha etwa 3/4 der C-Produktion an oberirdischer Pflanzenmasse betragen. Es ist jedoch bei dieser Aussage zu berücksichtigen, daß die gebildete Wurzel-C-Menge in unserem Versuch wohl höher, aber nicht niedriger liegen kann. Die als Bezugsbasis für die Berechnung verwendeten unbewachsenen Gefäße, hatten, wie oben gesagt, selbst schwaches Wurzelwachstum, so daß die Differenz zu "bewachsen" etwas zu klein ausfiel. Weiter ist zu berücksichtigen, daß mit kleinerem Abstand der Meßzeitpunkte die Werte für die Wurzel-C-Gesamtproduktion nur größer werden können. Der Wert b) für die Wurzel-C-Gesamtproduktion ist somit eindeutig als Minimalwert zu betrachten.

Unter den auf die Gerste folgenden Lupinen ergibt sich für die Meßtermine 1. IX. und 29. IX.:

Wurzel-C-Gewinn (+) bzw. -Verlust (-):

(7)	0 - 10 cm	+ 0.6 g C	+ 0.8 g C
	10 - 25 cm	- 1.2 g C	+ 3.2 g C

Daraus folgt:

		C in g/Gef.	C in t/ha	C in % TrS der Ackerkrume
	b) Wurzel-C-Gesamt-Produktion	>4.6	1.0	>0.03
(8)	d) C-Verluste durch Humus- bzw. Gerstenwurzel-Abbau	>1.2	>0.3	>0.01
	e) Wurzel-C-Anreicherung	3.4	0.7	0.02

Insgesamt errechnen sich daraus für die 5 Sommermonate 1971:

		C in g/Gef.	C in t/ha	C in % TrS der Ackerkrume
	Ausgangsmenge vor der Gersteneinsaat	141.5	29.7	0.90
	a) Verluste von Humus-C, das vor der Gerste vorhanden war	6.3	1.3	0.04
	b) Gesamtproduktion an Wurzel-C	<16.0	<3.4	
(9)	d) Gesamt-C-Entbindung aus abgestorbenen Wurzeln und Humus	<9.1	<1.9	
	e) Anreicherung von wurzelbürtigem C	13.2	2.8	0.08
	f) Netto-C-Gewinn	6.9	1.5	0.04

3.2 HUMUSABBAU im GASENTNAHME-VERSUCH

Die vor der Gerstenaussaat vorhandene Humus-C-Menge des Testbodens wurde in den unbewachsenen Bezugsgefäßen bei 25 cm Füllhöhe während der Sommermonate um 6.3 g vermindert. Die Verlustmenge könnte teilweise ausgewaschen, teilweise als CO_2 gasförmig entbunden worden sein.

Der gleichzeitig laufende Gasentnahme-Versuch (45 cm Füllhöhe) gibt dazu folgende Hinweise: (Tab. 1):

Tab. 1: C-Bilanz der unbewachsenen Gasentnahme-Gefäße

Zeitpunkt / Zustand	Tiefe cm	g C/Gefäß (25 kg Boden)	g C/Gefäß als CO_2 abgesaugt	g C/Gefäß als org. Substanz ausgewaschen
16.4.71 (Ausgangszustand)	0 - 10	52 } 117		
	10 - 20	52 }		
	20 - 30	52 } 117		
	30 - 40	52 }		
	40 - 45	26 }		
	0 - 45	234		
23.12.71	0 - 22.5	117	(5)	
	22.5 - 45	112	(5)	
	0 - 45	229	9.6	--
Winterruhe bis 15.4.72				
24.11.72	0 - 10	50 } 107	(4)	(6)
	10 - 20	46 }		
	20 - 30	46 }		
	30 - 40	47 } 106	(4)	(2)
	40 - 45	24 }		
	0 - 45	213	8.4	8

Die Humus-C-Verluste sind im ersten Jahr allein auf Mineralisierung und CO_2-Entbindung zurückzuführen. Eine Durchwaschung der Gasentnahme-Gefäße durch Niederschläge fand in der relativ trockenen Sommerzeit nicht statt. Die Beschränkung der Verluste auf den Unterboden (22.5 - 45 cm) ist insofern nur scheinbar, als diese im Oberboden teilweise durch das Wachstum von Unkrautwurzeln (siehe Absatz 2.6) überdeckt wurden. Im zweiten Jahr ist diese Überdeckung weniger stark, doch immer noch etwas vorhanden. Die gemessenen gasförmigen C-Verluste sind somit als Maximalwerte anzusehen. Immerhin zeigt sich, daß sowohl die am Boden bestimmte Verlust-Menge an Humus-C wie auch der ermittelte gasförmige C-Verlust mit 8 bis 10 g C bei 45 cm Tiefe bzw.

4 bis 5 g C bei 25 cm Tiefe etwa in der gleichen Höhe wie die Verlust-Summe in den Bezugsgefäßen liegen. Die bestehenden geringen Unterschiede müssen auf den permanenten Gasaustausch, die gleichmäßige Feuchte und die größere Lokkerheit in den Gasentnahme-Gefäßen gegenüber den Bezugsgefäßen zurückgeführt werden.

Trotz unterschiedlicher Witterung sind die CO_2-Entbindungssummen in beiden Jahren annähernd gleich. Im zweiten Jahr treten jedoch mit der Sickerwasser-Lieferung der Gasentnahme-Gefäße C-Auswaschungsverluste ein.

Diese Verluste sind offenbar nicht außergewöhnlich. Läßt man im Labor durch Proben des verwendeten Testbodens destilliertes Wasser filtrieren, so lassen sich umgerechnet auf 1 ha Ackerkrume durch 70 mm Niederschlag ca. 0.5 t C auswaschen. Bezogen auf die Versuchsgefäße von 25 cm Höhe macht dies 2.4 g aus. Solche Versuche wurden an den Proben aller Tiefenabschnitte zu den 3 in Tab. 1 genannten Entnahmezeitpunkten durchgeführt. Sie ergaben durchweg etwa übereinstimmende Werte. Dies weist darauf hin, daß nach Auswaschung der im Boden zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen lösbaren organischen Anteile durch einen Starkregen immer wieder lösbare organische Substanz nachgeliefert wird.

Somit könnten - wenn man die Gasentnahme-Modell-Versuche auf natürliche Verhältnisse überträgt- die jährlichen reinen Mineralisierungsverluste des Humus-C unbewachsener Löß-Böden noch über 1.3 t/ha hinausgehen und bis zu 2 t/ha betragen. Rechnet man die Auswaschungsverluste hinzu, werden Krumen-C-Verluste von 2.5 t/ha und mehr möglich. Dabei muß aber bedacht werden, daß die ausgewaschene organische Substanz nicht verloren zu sein braucht, sondern eventuell durch Wiederaufstieg des Kapillarwassers mit der Evaporation in der Krume zu einem potentiellen C-Verlust-Ausgleich führen kann. In unserem Versuch war das jedoch aufgrund der Anordnung nicht möglich.

3.3 WURZEL-C-PRODUKTION in C-FREIEM BODENMATERIAL im GASENTNAHME-VERSUCH

Aus dem Versuch mit Bezugsgefäßen wurde für eine 25 cm mächtige Ackerkrume unter Sommergerste eine Gesamtproduktion an Wurzel-C während der Vegetationszeit von mindestens 11.4 g C pro Gefäß, entsprechend mindestens 2.4 t/ha kalkuliert. Die nachfolgenden Lupinen eingeschlossen, erhöhte sich diese Menge auf 16 g bzw. 3.4 t/ha.

Eine Bestätigung für diesen noch immer mit kalkulatorischen Ungenauigkeiten behafteten Ansatz liefert der 1972 mit geglühtem, also C-freiem Boden unter Hafer mit nachfolgender, allerdings sehr schlecht wachsender Lupine durchgeführte Gasentnahme-Versuch (Tab. 2).

Tab. 2: C-Bilanz des humusfreien Testbodenmaterials; Versuchsbeginn 17.4.72

Termin Zustand	Tiefe cm	Gesamt-C in g/Gefäß(22.5 kg Boden)	davon Wurzel-C in g/Gefäß	C als CO_2 gasförmig freigesetzt
8.9.72 Hafer geerntet, Lupinen aufgelaufen	0 - 10	6.6		
	10 - 20	0.9		
	20 - 30	0.9		
	30 - 40	0.9	n.b.	
	40 - 45	0.4		
	0 - 45	9.7		7.0
27.11.72 Lupinen geerntet	0 - 10	6.6		
	10 - 20	0.8		
	20 - 30	0.8		
	30 - 40	1.0		
	40 - 45	0.6		
	0 - 45	9.8	3.3	1.5

Dieser Versuch zeigt am Ende, daß außer der absiebbaren Wurzel-C-Menge, die etwa in der Größenordnung von 0.7 t C/ha liegt, eine wurzelbürtige Humusmenge von etwa 1.4 t C/ha erzeugt worden ist. Das sind zusammen mindestens 2.1 t an Wurzel-C, die bereits vom Hafer allein erzeugt worden sind -

Werte, die den unter 3.1 ermittelten durchaus entsprechen.

Auch dieses sind Mindestwerte, denn es ist nicht zu unterscheiden, ob die abgesaugten CO_2-Mengen allein der "Atmung" lebender Wurzeln oder aber auch der Mineralisierung abgestorbener Wurzeln entstammen.

3.4 HUMUS-ABBAU und WURZEL-UMSATZ unter BEWUCHS im GASENTNAHME-VERSUCH

In diesem Versuch traten keine Auswaschungsverluste an organischer Substanz auf. Für eine Bilanzberechnung kann daher einerseits auf die Veränderung der C-Gehalte in den Gefäßen (mit und ohne auswaschbarem Wurzelanteil), andererseits auf die als CO_2 entbundene C-Menge zurückgegriffen werden. Problematisch ist die Aufschlüsselung der CO_2-Menge nach ihrer Herkunft. Im Gegensatz zum Versuch 3.3 mit geglühtem Boden tritt hier zum CO_2 aus der Wurzelatmung und aus dem Wurzelabbau noch die Menge an CO_2 hinzu, die aus dem Abbau von primärem Bodenhumus stammt.

Um trotz dieser Erschwernisse zu einem kalkulatorischen Ansatz zu kommen, werden in Tab. 3 (rechte Seite) die aus dem Bezugsgefäß-Versuch stammenden Daten für die Gesamt-Wurzel-C-Produktion eingesetzt und verrechnet. Auch hierbei ist es wiederum nur möglich, Mindest- bzw. Höchstmengen für die auf den Humusabbau entfallenden Kohlendioxid-C-Mengen anzusetzen.

Verglichen mit Versuch 3.2, Humusabbau ohne Bewuchs, liegen im Versuch mit Pflanzenbewuchs die Abbauraten des vor der Versuchsanlage vorhandenen Boden-Humus-C etwa in gleicher Höhe. Bei dieser Aussage ist zu berücksichtigen, daß im Versuch ohne Bewuchs eine erhebliche Humusmenge ausgewaschen wurde, was im Versuch mit Bewuchs unterblieb.

Tab. 3: C-Bilanz der bewachsenen Gasentnahme-Gefäße. Berechnung der CO_2-Herkunftsmengen aufgrund des Bezugsgefäß-Versuches

Im Gasentnahme-Versuch gemessen					Unter Heranziehung der Werte vom Bezugsgefäß-Versuch übertragen und verrechnet				
Zeitpunkt — Zustand	Tiefe in cm	gC/Gefäß (total) (25 kg Boden)	g C/Gefäß (total) nach Abzug auswaschbarer Wurzeln	gC/Gefäß als CO_2 freigesetzt (total)	+ Ausgangs-C(t) + gebildete Wurzel-C(t)-Menge - C(t) zum Meßzeitpunkt	C in g/Gefäß als CO_2 freigesetzt aus:			Wurzelatmung
						Abbau von Humus und postmortalen Wurzeln	davon entfallen ca. auf den Abbau des Humus, der zu Beginn der Veg.-Periode vorlag	davon entfallen ca. auf den Abbau der absterbenden Wurzeln	
16.4.71 (Ausgang)	0 -22.5	117							
	22.5-45	117							
	0 -45	234			234				
29.7.71 (Gersten-ernte)				17	+ 234 + 11	21	> 7	< 14	≈ 13
23.12.71 (Lupinen-ernte)	0 -22.5	119	116		+ 7				
	22.5-45	112	111						
	0 -45	231	227	17	- 231				
16.8.72 (Hafer-ernte)				14	+ 231 + 10	15	> 6	< 9	≈ 7
24.11.72 (Lupinen-ernte)	0 - 10	61	59		+ 4				
	10 - 20	47 120	46 117						
	20 - 30	48	48						
	30 - 40	49 110	48 109						
	40 - 45	25	25						
	0 - 45	230	226	8*	- 230				

*) schlechter Stand der Lupinen

Summiert man über beide Versuchsjahre, so ergibt sich:

	Verminderung des vor der Versuchsanlage vorhandenen Humus-C in g durch CO_2-Entbindung	g C/Gefäß als CO_2 aus abgestorbenen Wurzeln entbunden (kalkuliert)	g C/Gefäß aus Atmung lebender Wurzeln
Unbewachsen	13		(≈4) *)
bewachsen	>15	<21	≈20

*) bedingt durch die nicht vollständig durchführbare Unkrautvertilgung

Für die errechneten Beträge der CO_2-Abgabe lebender Wurzeln läßt sich nur der im 2. Jahr durchgeführte Versuch 3.3 mit geglühtem Boden zum Vergleich heranziehen, der unter Hafer und Lupine zusammen maximal 8.5 g C/Gefäß erbrachte, also ähnliche Werte lieferte, wie der hier besprochene Versuch im 2. Jahr (≈7 g). Damit läßt sich der Betrag an Wurzelatmung für die untersuchte Sommergetreide-Hauptfrucht mit etwa 1.5 t C/ha angeben.

Das Problematische eines Ansatzes wie in Tab. 3 besteht darin, daß über das Schicksal der gebildeten und wieder vergehenden Wurzeln, d.h. desjenigen Anteils, der nicht auf dem Wurzel-Spülsieb zurückbleibt, nichts Näheres auszusagen ist. In diesem Versuch erfaßt man immer nur das an auswaschbaren Wurzeln, was der gerade geernteten Pflanzenmasse zuzurechnen ist. Bei der Kalkulation der in Tab. 3, rechte Seite, enthaltenen Werte wurde zu Beginn jedes der beiden Versuchsjahre so getan, als ob die abgestorbene und noch nicht mineralisierte, aber nicht mehr durch Siebung abtrennbare Wurzel-C-Masse bereits zum Humus gehörte.

Dies kann insofern gerechtfertigt werden, als der besonders im oberen Abschnitt des Bodens akkumulierte Wurzel-Rückstandshumus relativ stabil zu sein scheint. Während auch in diesem Versuch die unterhalb von 10 cm Tiefe gebildete und konser-

vierte Wurzel-C-Menge nicht ausreicht, um die Abbau-Verluste des Bodenhumus zu kompensieren, kommt es - ähnlich wie beim geglühten Boden - in den oberen 10 cm zu einer Erhöhung der Humus-C-Menge (frei von absiebbaren Wurzeln) um 7 g.

Das entspricht einer Anhebung des C(t)-Gehaltes in den oberen 10 cm im Verlaufe von 2 Jahren um 0.13 % der Boden-Trockenmasse bzw. des Humus-Gehaltes um 0.22 %. Das sind etwa 1.9 t C bzw. 3.3 t Humus pro ha in der obersten Krumenschicht. Die gleichzeitige Verminderung des Ausgangs-Humusgehaltes in der Schicht 10 - 30 cm, d.h. innerhalb des unteren Teils einer gedachten Ackerkrume erreicht im gleichen Zeitraum etwa dieselbe Höhe.

3.5 ZEITLICHER GANG der CO_2 - ENTBINDUNG

In Abb. 2, 3 u. 4 ist der zeitliche Ablauf der CO_2 - Entbindung in den Gasentnahme-Versuchen dargestellt.

Vergleicht man den Gang der CO_2 - Entbindung unter Bewuchs im nicht geglühten Boden und im geglühten Boden (Abb. 3 u. 4), so zeigt sich trotz der extremen Bodenunterschiede eine auffällige Übereinstimmung. Dieser Umstand sowie der Befund, daß sich die nicht bewachsene Parzelle völlig anders verhält, lassen vermuten, daß die Abfolge von Perioden mit starker und schwacher CO_2 - Entbindung in erster Linie ein Effekt der Wurzeltätigkeit, d.h. Atmung und Abbau, und deren wechselnder Intensität ist.

Die Phasen I und II erreichen beim geglühten Boden (Abb. 4) ihr Maximum etwa 10 Tage später als beim ungeglühten Boden, was auf den um 10 Tage später liegenden Saat-Termin zurückgeführt werden könnte. Die geringe Peakhöhe beim geglühten Boden kann wohl nicht auf eine geringere Wurzel-C-Produktion zurückgeführt werden, da der Hafer etwa eine gleiche Entwicklung aufwies. Wir vermuten, daß in Zusammenhang mit der stärkeren Konservierung des postmortalen Wurzel-C im geglühten Boden relativ weniger postmortale Wurzelmasse

Abb.2: CO_2 - Abgabe der Gefäße mit nicht geglühtem Boden 1971

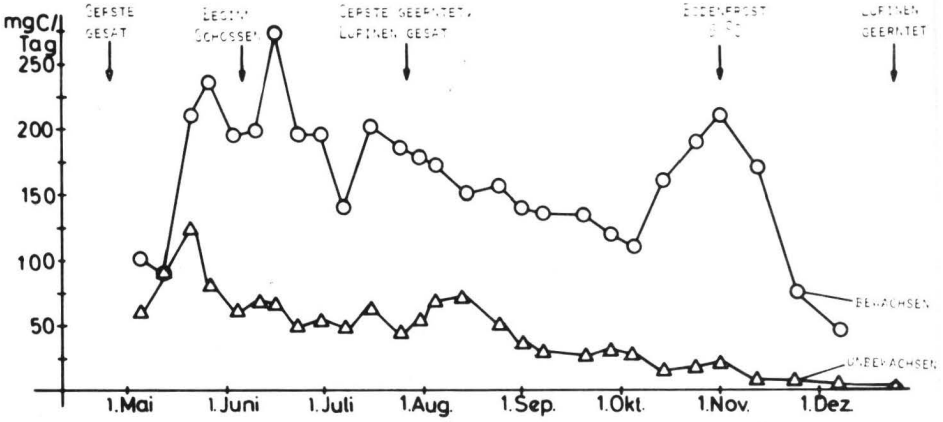


Abb.3: CO_2 - Abgabe der Gefäße mit nicht geglühtem Boden 1972

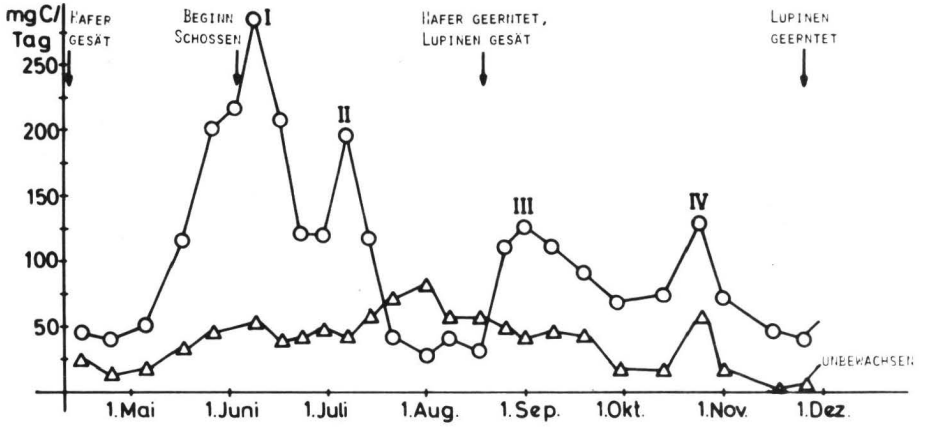
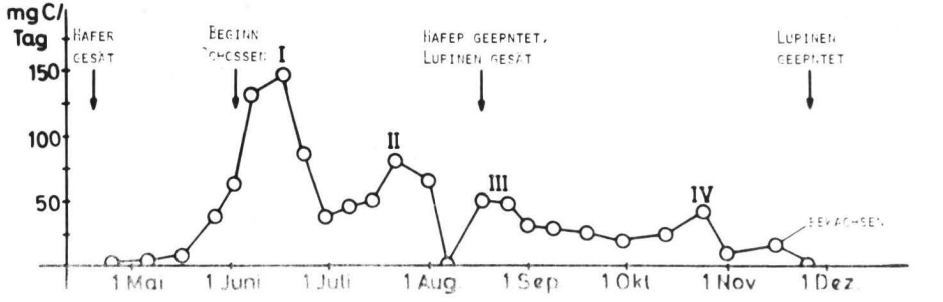


Abb.4: CO_2 - Abgabe der Gefäße mit geglühtem Boden 1972



mineralisiert wurde. Trifft dieser Schluß zu, so würde das bedeuten, daß die CO_2 - Entbindungs-Peaks zu wesentlichen Anteilen von der Mineralisierung des postmortalen Wurzel-C mit geprägt werden, die bei "ungeglüht" höher sind als bei "geglüht".

Peak III fällt bei "ungeglüht" in die Zeit nach der Ernte der Gerste und in die Anlauf-Phase der Lupine, bei "geglüht" bereits in die Zeit unmittelbar vor der Ernte. Dies gibt Anlaß zu der Vermutung, daß auch dieser Peak im wesentlichen auf der Mineralisierung postmortalen Wurzel-Kohlenstoffs beruht.

Dies ist in Phase IV ebenfalls wahrscheinlich, da auch der unbewachsene Boden zu diesem Zeitpunkt eine starke Humus-Mineralisierung erkennen läßt. Diese Erscheinung trat auch bereits im Jahr 1971 (Abb. 2) auf.

Erstaunlich sind die beiden Depressionen der CO_2 - Entbindung zwischen I und II, ganz besonders aber zwischen II und III im Monat vor der Ernte, wo die CO_2 - Entbindungsraten der bewachsenen Böden unter die der unbewachsenen sinken. Über die Ursachen kann nichts gesagt werden.

Beachtlich erscheint im Hinblick auf die Frage der herbstlichen Humus-Regeneration, daß in beiden Jahren und auf allen Varianten zwischen dem CO_2 - Entbindungs-Maximum zur Erntezeit (III) und dem November-Maximum (IV) eine Phase mit kontinuierlich sinkender CO_2 - Entbindung liegt, obwohl eine starke Wurzelentwicklung der Lupine nachweisbar ist.

Vergleiche der Phasen-Abfolge in Abb. 2 mit der gleichzeitig gemessenen Wurzelbildungs-Intensität in den Bezugsgefäßen zeigen - soweit sich die Meßtermine zur Deckung bringen lassen - die Tendenz einer stärkeren Wurzel-C-Anreicherung in Phasen niedriger oder fallender CO_2 - Produktion.

4 DISKUSSION

Es erhebt sich die Frage, ob die im Verlaufe zweier Jahre in den verschiedenartigen Versuchsgefäßen ohne stärkere mechanische Bodenbearbeitung allein durch Humusabbau und Wurzel-Humus-Lieferung erzielten Umverteilungen des Boden-C-Gehaltes auf Feldbedingungen im bearbeitungsfreien Ackerbau übertragen werden können. Dazu liefert Tab. 4, in der Vergleiche mit Ermittlungen an bearbeitungsfreien Versuchsflächen dargestellt werden, Hinweise. Bei den Böden dieser Versuchsflächen handelt es sich ebenfalls um ehemalige Ackerkrumen aus Löß-Parabraunerde-A_1-Horizonten.

Tab. 4: Gewinne und Verluste an C in den einzelnen Tiefenabschnitten unbearbeiteter ehemaliger Ackerkrumen (Löß-Parabraunerde-A_1-Horizonte) und im bewachsenen Gasentnahme-Gefäßversuch.

	Tiefe in cm	t C/ha	
Versuch Grebenstein nach dem 4. Jahr ohne Bodenbearbeitung (Ap gepflügt: 1.10%C)	0 - 2	+ 2.0	+ 2.8
	2 - 4	+ 0.8	
	4 - 6	± 0	
	6 - 8	± 0	
	8 - 10	± 0	
	10 - 15	- 0.2	- 0.7
	15 - 20	- 0.5	
Versuch Angerstein nach dem 5. Jahr ohne Bodenbearbeitung (Ap gepflügt: 1.12%C)	0 - 2.5	+ 1.2	+ 2.3
	2.5 - 5	+ 0.8	
	5 - 10	+ 0.3	
	10 - 15	± 0	- 2.4
	15 - 20	± 0	
	20 - 30	- 2.4	
Gasentnahme-Gefäßversuch nach dem 2. Jahr ohne Bearbeitung (Ausgangsgehalt: 0.94%C)	0 - 10	+ 1.9	+ 1.9
	10 - 20	- 1.2	- 2.0
	20 - 30	- 0.8	

In den in Tab. 4 angegebenen Daten sind die zum Zeitpunkt der Entnahme vorhandenen absiebbaren Wurzelmengen enthalten. Für deren C-Menge wären im Schnitt für die oberen 10 cm des Bodens ca. 0.5 t/ha in Abzug zu bringen.

In allen drei Beispielen zeigt sich die Tendenz einer Anreicherung von wurzelbürtigem Humus in den oberen 10 cm und zwar offenbar schwerpunktmäßig in den oberen 4 cm. Demgegenüber findet in den Tiefen untehalb von 10 cm eine Reduktion des Humusgehaltes statt, die sich aber jeweils mit unterschiedlicher Intensität auf verschiedene Tiefen-Abschnitte zu erstrecken scheint. Die im Gefäßversuch - trotz abweichender physikalischer Bedingungen - gewonnenen Resultate fügen sich recht gut in das Bild der beiden Feldversuche.

Offen bleibt die Frage, welches die Endpunkte der möglichen Humusanreicherung im oberen Abschnitt und des möglichen Humusabbaues im unteren Abschnitt der ehemaligen Krume sind und wann und mit welchen jährlichen Raten diese erreicht werden. Gewisse Hinweise aus den Absaug-Gefäßversuchen lassen vermuten, daß die Zuwachsraten mit fortschreitender Zeit geringer werden und sich langsam einem Endpunkt nähern. Näheres kann dazu jedoch nicht gesagt werden.

Einen Hinweis auf die Annäherung der Kohlenstoff-Profile von gepflügtem Ackerland und altem, umgebrochenem Grasland, die beide 4 Jahre bearbeitungsfreier ackerbaulicher Nutzung unterlegen haben, liefert Tab. 5.

Messungen an den oberen 3 - 4 cm alter Grasnarben ergaben C-Geahlte von 2.8 - 3.1 %.

Tab. 5: Gehalte an C (% bez. auf Boden-TrS) nach vierjährigem bearbeitungsfreien Ackerbau. Vergleich zwischen altem Ackerland und umgebrochenem alten Grasland.

Tiefe in cm	Ackerland		Grasland		Zum Vergleich: Acker gepflügt	Zum Vergleich: Grasland gepflügt
0 - 2	1.75		2.01			
2 - 4	1.35		1.61			
4 - 6	1.09		1.40			
6 - 8	1.09	1.20	1.68	1.70	1.10	1.52
8 - 10	1.09		1.63			
10 - 15	1.06		1.86			
15 - 20	1.03		1.71			
20 - 30	0.62		0.88			
30 - 40	0.41		0.51			

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit befaßt sich mit dem Versuch, das Ausmaß der fortgesetzten Bildung von Wurzelmassen unter stehenden Pflanzenbeständen zu erfassen und dabei die quantitativen Möglichkeiten der Humusbildung aus postmortaler Wurzelsubstanz abzugrenzen.

Dazu werden im Freiland in den Boden eingesetzte Versuchs-Gefäße verwendet, die mit A_p-Horizont-Material einer Löß-Parabraunerde befüllt und über zwei Jahre hinweg mit und ohne Bewuchs gehalten werden. Zu zeitlich gestaffelten Entnahme-Terminen werden schichtweise Bestimmungen des Gesamt-C-Gehaltes und der abtrennbaren Wurzelmasse durchgeführt. Der Jahresgang des C wird mit den in Gasentnahme-Gefäßen fortlaufend ermittelten CO_2 - Entbindungsraten und eventuell auftretenden Humus-Auswaschungsverlusten verglichen.

In einem Parallel-Ansastz wird geglühter humusfreier Testboden verwendet.

Die von Mai bis Dezember ermittelten Humus-C-Verluste betragen - soweit eine Umrechnung auf Ackerflächen zu rechtfertigen ist - 2.5 t/ha und mehr, wenn die Auswaschungsverluste (0.5 t/ha und mehr) mit einbezogen werden. Die für Sommergerste kalkulierte, für Hafer an geglühtem Boden gemessene Anreicherung an wurzelbürtigem C im Boden betrug ca. 2.1 t/ha. Bei Einbeziehung der Zwischenfrucht Lupine stieg dieser Betrag am Jahresende auf 2.8 t/ha.

Die kalkulierte Gesamtmenge an Wurzel-C, die bis zur Ernte der Sommergerste gebildet und teilweise wieder abgebaut wurde, macht mit 2.4 t/ha und mehr mindestens 3/4 des C aus, das zur Ernte in der oberirdischen Bestandesmasse gespeichert ist.

Ohne Bearbeitung der Versuchsböden ergab sich - ähnlich den auf gleichen Böden angelegten bearbeitungsfreien Versuchsflächen - eine Boden-C-Umverteilung. Sie führte während der beiden Jahre zu einem C-Gewinn in den oberen 10 cm von ca. 2 t/ha und einem gleich hohen C-Verlust in der Tiefe 10 - 30 cm.

Die CO_2 - Entbindungsraten der bewachsenen Gefäße zeigen in beiden Jahren ähnliche Abfolgen von jahreszeitlich bedingten Maxima und Minima. Sie werden im wesentlichen als Ergebnis des Wechselspiels von Wurzelmassen-Bildung und -Abbau gedeutet.

6 LITERATUR

1 Becker, K.-W., u. B. Meyer, 1973:
C-Umsatz und -Bilanz, Humusabbau und -regeneration im Jahresgang (Literaturübersicht), Göttinger Bodenkundl. Berichte, 26, 39-48 (1973)

2 Meyer, B., 1972: Einsatz des synthetischen Aggregans „Sedipur" zur Oberflächen-Strukturierung und meliorativen Krumen-Konditionierung von Schluff-, Lehm- und Tonböden, Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 15, 253-258 (1972)

3 Scheffer, K., u. B. Meyer, 1970: Zielsetzungen und Analyse eines Tiefumbruch-Versuches an einer grundwasserfreien Löß-Parabraunerde in Süd-Niedersachsen, Göttinger Bodenkundliche Berichte 16, 1-169 (1970)

BECKER,K.-W., u. MEYER,B. :

Örtliche C-Gehaltsverteilung und zeitliche -veränderung in Ackerkrumen — Bestimmungseinflüsse durch Probenahme, Aufbereitung und Analysenverfahren

Göttinger Bodenkundliche Berichte 26, 77-109 (1973)

Örtliche C-Gehaltsverteilung und zeitliche -veränderung in Ackerkrumen -- Bestimmungseinflüsse durch Probenahme, Aufbereitung und Analysenverfahren

G L I E D E R U N G

		Seite
1	Ü B E R B L I C K , P R O B L E M S T E L L U N G	80
2	Z E I T G A N G der B O D E N - C - G E H A L T E bei A N W E N D U N G E I N E R Ü B L I C H E N M E S S M E T H O D E (M E S S B E I S P I E L G R E B E N S T E I N 1 9 7 0)	81
2.1	STANDORT und MESSVERFAHREN	81
2.1.1	Standort	81
2.1.2	Meßverfahren	82
2.1.2.1	Probenahme	82
2.1.2.2	Aufbereitung	82
2.1.2.3	Analyse	83
2.2	ERGEBNISSE	86
2.2.1	Darstellung	86
2.2.2	Jahresdurchschnitt, absolute Höhe	86
2.2.3	Streuungen	88
2.2.4	Zeitliche Schwankungen	88
2.2.5	Kurvenverläufe	89
2.3	DISKUSSION	90
3	Z U R F L Ä C H E N V E R T E I L U N G der H U - M U S G E H A L T E von O B E R K R U M E N (M E S S B E I S P I E L D R Ü B E R 1 9 7 2)	92
3.1	PROBLEMSTELLUNG	92
3.2	VERTEILUNG des BODEN-C INNERHALB der UNTERSUCHUNGSFLÄCHE	93

Seite

4 V E R T E I L U N G des B O D E N - C in K L E I N E N K R U M E N - A U S S C H N I T T E N (M E S S B E I S P I E L D R Ü B E R 1 9 7 1) 95

4.1 PROBENAHME und AUFBEREITUNG 95

4.2 ERGEBNISSE 97

4.3 MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN bei BOHRSTOCK-PROBE-ENTNAHME 98

5 Z E I T V E R G L E I C H E von C - G E H A L T E N B E W A C H S E N E R und U N B E W A C H S E N E R F L Ä C H E N 100

5.1 METHODEN 101

5.2 ERGEBNISSE und DISKUSSION 101

6 V E R G L E I C H S U N T E R S U C H U N G an einem S A N D B O D E N 105

7 Z U S A M M E N F A S S U N G 107

8 L I T E R A T U R 109

1 ÜBERBLICK, PROBLEMSTELLUNG

Mehrere Autoren berichten über erhebliche zeitliche Schwankungen des Humusgehaltes in Ackerböden. Eine Literaturübersicht hierzu gaben wir an anderer Stelle (1). Eines der bislang nicht gelösten Probleme besteht in folgendem: Innerhalb einer Vegetationsperiode sollen kurzfristig in der Ackerkrume Depressionen des Humusgehaltes eintreten. Sie liegen in der Größenordnung von einem Zehntel oder - nach anderen Autoren - einem Viertel des gesamten Humusvorrates, d.h. entsprechen Verlusten von 10 und mehr t / ha. Diese Befunde erscheinen erklärlich, nicht jedoch der mehrfach beobachtete Umstand, daß sie in kürzester Zeit wieder ausgeglichen werden. Die dafür notwendige Humusmenge müßte von der Wurzelmasse der Pflanzenbestände geliefert werden, deren Regenerationsfähigkeit zwar - wie auch wir feststellen konnten (2) - größer ist, als bisher meist geschätzt, jedoch mit großer Sicherheit nicht ausreichen würde, um derartige Humusabbauverluste wieder auszugleichen.

Daraus resultiert die Frage, ob die vorstehend genannten, aufgrund der Kenntnis natürlicher Vorgänge nicht deutbaren Befunde lediglich auf einem ungeeigneten Bestimmungsverfahren beruhen. Dazu muß eine Kritik an den drei wesentlichen Punkten der Analytik ansetzen: Der Probenahme, der Probenaufbereitung und der analytischen C-Bestimmung.

Eine Klärung dieser Frage ist erforderlich, wenn man Veränderungen des Humusgehaltes quantitativ erfassen will, die dann eintreten, wenn ackerbaulich bislang normal bearbeitete Böden einer bearbeitungsfreien Nutzungsweise unterworfen werden. Lösungsansätze zu diesem Problem müssen auf dem Vergleich zwischen "gepflügt" und "ungepflügt" basieren und erfordern zunächst einmal die Kenntnis humusdynamischer Vorgänge in gepflügten Ackerböden.

Bei den im folgenden gewählten Beispielen handelt es sich mit einer Ausnahme (der sauren Sandbraunerde) um Parabraunerden aus Löß.

2 ZEITGANG der BODEN-C-GEHALTE bei ANWENDUNG EINER ÜBLICHEN MESSMETHODE (MESSBEISPIEL GREBENSTEIN 1970)

Bei Untersuchungen zum Gang der Humusgehalte in der Ackerkrume einer Lößparabraunerde in einem Tiefumbruchversuch fanden SCHEFFER und MEYER (3) auf den normal bearbeiteten O-Parzellen über vier Jahre hinweg unter verschiedenen Kulturen einen jahreszeitlichen Gang der Humusgehalte, bei dem im Juni/Juli jeweils ausgeprägte Minima auftraten. Diese wurden zum Herbst hin wieder ausgeglichen. Die Gehaltsdifferenz zwischen Minimum und Maximum betrug dabei bis zu 0.3 Gewichtsprozent Humus - entsprechend einer Menge von ca. 9 t Humus pro ha.

Zur Nachprüfung dieser Ergebnisse wurden die Untersuchungen über den zeitlichen Gang der C-Gehalte in Drüber in den Jahren 1970 und 1971 fortgesetzt. Parallel dazu wurden Messungen auf der Versuchsfläche Grebenstein (1970) durchgeführt, wo in einem bereits im dritten Jahr laufenden Dauerversuch die Effekte der herkömmlichen und der pfluglosen Bodennutzungsweise miteinander verglichen wurden.

Bei diesen Untersuchungen wurde methodisch wie bei SCHEFFER und MEYER (3) angegeben verfahren. Auch die mechanische Humusfraktionierung in Feinhumus und Aggregat- und Grobhumus wurde berücksichtigt. Die 1969 von SCHEFFER und MEYER und 1970 von uns auf den beiden Versuchsflächen gewonnenen Ergebnisse waren in ihrer Streuung, Differenzierung und in ihrem unregelmäßigen zeitlichen Verlauf einander so ähnlich, daß wir uns im folgenden auf die Darstellung der Resultate von Grebenstein als Repräsentativbeispiel beschränken können.

2.1 STANDORT und MESSVERFAHREN

2.1.1 Standort

Es handelt sich um eine nicht erodierte Lößparabraunerde in ebener Lage, bis Herbst 1967 ackerbaulich normal genutzt (Pflug), ab Herbst 1967 normal weiter genutzt, zur Hälfte pfluglos bewirtschaftet. Die 1970 durchgeführten Messungen erfolgten im Weizenbestand bzw. anschließend unter den Weizenstoppeln. Auf den "Normal-Parzellen" wurde nach der Ernte flach geschält (5 cm). Das Stroh wurde auf der Fläche verbrannt.

Der pH-Wert (KCl) der Versuchsfläche lag zwischen 6.0 und 6.5. Vorversuche hatten gezeigt, daß keine Spuren von Erdalkalicarbonat-Düngerresten nachweisbar waren. Somit war die methodische Voraussetzung für den gasanalytischen Weg

der C-Bestimmung (Verbrennung) gegeben, der bei Anwesenheit von Carbonaten infolge zusätzlicher Störungen für die hier zu beantwortende Frage hätte in Zweifel gezogen werden können.

2.1.2 Meßverfahren

Um den Einfluß der Meßmethode auf den zeitlichen Gang der Resultate zu erfassen, wurde das Meßverfahren nach Aufbereitung und Analytik variiert.

2.1.2.1 Probenahme

10 Entnahmetermine zwischen April und Dezember 1970 (siehe Abb. 1 u. 2) auf den Parzellen "gepflügt" und "ungepflügt". Auf jeder Parzelle Ausscheidung eines visuell einheitlichen Teilareals von 15 x 15 m; darin an 3 Schwerpunkten Entnahme je einer Probe, gemischt aus je 5 Bohreinstichen (insgesamt 15 Einstiche je Entnahme-Termin); Aufteilung des Bohrkerns in die Tiefenabschnitte 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 und 15 - 20cm; Bohrpunkte zwischen den Drillreihen;
Bohrertyp: kurzer PÜRCKHAUER-Bohrer mit 4 cm lichtem Durchmesser.

2.1.2.2 Aufbereitung

Die Aufbereitung der Bohrproben erfolgte in drei Varianten. Grundsätzlich wurde jede Entnahmeprobe für sich im Backenbrecher auf eine Aggregatgröße < 2 mm zerdrückt und danach in Aliquots aufgeteilt, die folgender Behandlung unterworfen wurden:

Aufbereitungsweg A: Trockenes Absieben je eines Aliquots auf Korngrößen < 63 µm, ohne stärkeres mechanisches Zerreiben der zurückbleibenden größeren und festeren Aggregate (Siebdurchgang = "Feinhumus", Siebrückstand = "Aggregat- und Grobhumus"); je Entnahme-

Parallele 2 bis 3 Einwaagen zur C-Bestimmung; Einwaage 500 mg;

Aufbereitungsweg B: Vermischen von je einem Aliquot der 3 Entnahme-Parallelen zu einer Mischprobe; Vollständiges Zermahlen in der Kolloidmühle; 4 bis 5 Einwaage-Parallelen zur C-Bestimmung; Einwaage 500 mg;

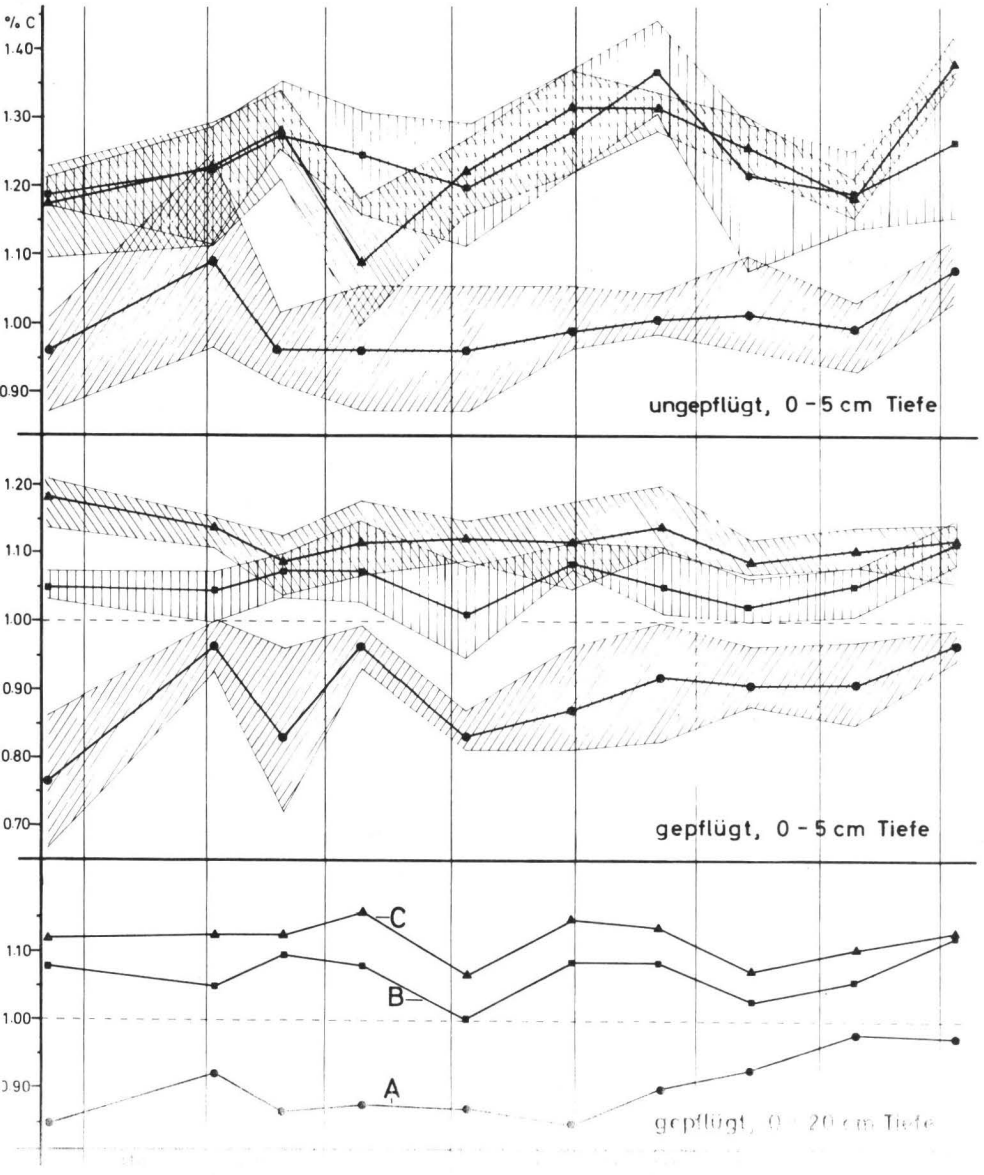
Aufbereitungsweg C: Der Backenbrecherdurchgang wurde direkt der C-Analyse unterworfen; Erhöhung der Einwaage auf 2000 mg.

2.1.2.3 Analyse

Die C-Analyse erfolgte durch Verbrennung und CO_2-Bestimmung im Gasanalysengerät (WÖSTHOFF). Je nach Art der Probenaufbereitung dürfte der Homogenitätsgrad der Verteilung des organischen C in der für die Analyse hergerichteten Substanz ein unterschiedlicher sein. Da sich mit Vergrößerung der Analysen-Einwaage der durch Verteilungs-Inhomogenitäten bedingte Streubereich der Meßwerte einengen läßt, hätte für jeden Aufbereitungsgang die zur Minimierung der Streuung erforderliche Einwaagemenge ermittelt werden müssen. Später zeigte sich, daß für den Aufbereitungsweg A (Absieben, Feinhumus) die Einwaage von 500 mg und für den groben Aufbereitungsweg C (Backenbrecherdurchgang) die Einwaage von 2 g völlig ausreichend waren, um die durch C-Verteilungs-Inhomogenitäten zwischen den Analysenproben hervorgerufenen Streuungen auszuschließen. Beim Aufbereitungsweg B (Feinmahlung) ergaben sich dagegen bei 500 mg Einwaage stärkere Streuungen der Analysenwerte der Entnahme-Mischproben. Wir beobachteten, daß bei diesem Aufbereitungsverfahren ein Teil der Pflanzenwürzelchen nicht zermahlen wurde und sich bei der Einwaage entmischte. Somit gelangte eine sehr unterschiedliche Zahl von Wurzel-Bruchstücken in die einzelnen Analysenproben. Um mit 2 bis 3 Analysenproben pro Entnahme-Parallele auszukommen, müßte bei Methode B die Einwaage ebenfalls auf mindestens 2 g erhöht werden.

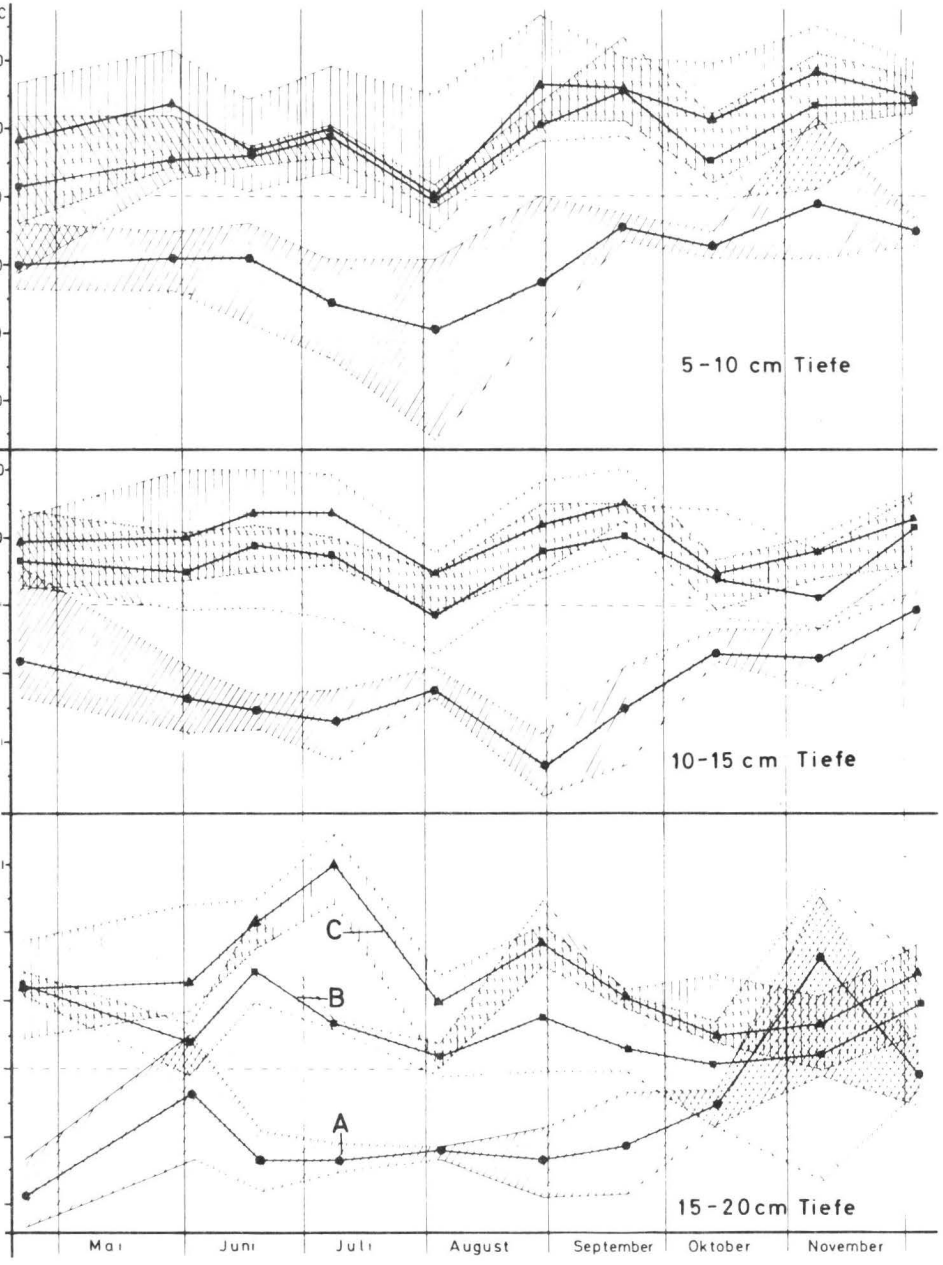
Abb 1: Zeitlicher Gang des C-Gehaltes, Grebenstein 1970; einzelne Tiefenabschnitte des A_p-Horizontes (0 - 20 cm) einer Löß-Parabraunerde; Varianten: normale Bearbeitung („gepflügt") und bearbeitungsfrei („ungepflügt"); C-Gehalte nach folgenden Probeentnahme- und Aufbereitungsverfahren bestimmt:

3 Entnahmeparallelen (aus je 5 Einstichen gemischt), Backenbrecher, einzeln analysiert (3 Analysenparallelen), 2000 mg Einwaage;
3 " " " 5 " " , " , zusammengemischt, analysiert, 5 " 500 mg " ;
3 " " " 5 " " , " , je auf 63 µ abgesiebt, " , 3 " 500 mg " .



2: Zeitlicher Gang des C-Gehaltes, Grebenstein 1970; einzelne Tiefenabschnitte des A_p - Horizontes (0 - 20 cm) einer normal bearbeiteten Löß-Parabraunerde; C - Gehalte nach folgenden Probenahme- und Aufbereitungsverfahren bestimmt:

3 Entnahmeparallelen (aus je 5 Einstichen gemischt), Backenbrecher, einzeln analysiert (3 Analysenparallelen), 2000 mg Einwaage;
3 " " " 5 " " " zusammengemischt, analysiert, 5 " , 500 mg " ,
3 " " " 5 " " " , je auf 63 µ abgesiebt, " , 3 " , 500 mg "



2.2 ERGEBNISSE

2.2.1 Darstellung

In Abb. 1 und 2 sind die zu den einzelnen Zeitpunkten gemessenen C-Gehalte dargestellt. Für die gepflügte Vergleichsparzelle geben 4 Diagramme die C-Gehalte der gleichzeitig in einem Bohrvorgang untereinander entnommenen Proben an. In einem 5. Diagramm ist der durchschnittliche C-Gehalt der Ackerkrume (0 - 20 cm) errechnet. Für die nicht gepflügte Parzelle beschränken wir uns auf die Darstellung der oberen 5 cm, da nur in dieser Zone deutliche Abweichungen von der gepflügten Parzelle sichtbar waren.

Die drei Schraffuren entsprechen den drei Aufbereitungsvarianten. Sie markieren den Streubereich, und zwar für das Aufbereitungsverfahren B (Feinmahlung) den Streubereich der Analysen-Einzelwerte, für die Aufbereitungsverfahren A und C den Streubereich der drei Entnahme-Durchschnittswerte. Für jeden Streubereich sind die Durchschnittswerte als durchgezogenen Linie eingetragen.

2.2.2 Jahresdurchschnitt, absolute Höhe

Summiert man die Durchschnittswerte der Entnahme-Zeitpunkte über die gesamte Vegetationsperiode, so ergibt sich die in Tab. 1 enthaltene Zusammenstellung:

Tab. 1: Jahresdurchschnitts-C-Gehalte in % TrS, Methodenvergleich

Bodentiefe (cm)	gepflügt			ungepflügt		
	Aufbereitungsverfahren			Aufbereitungsverfahren		
	B (Vermahlung)	C (Backenbrecher)	A (Feinhumus <63µ)	B (Vermahlung)	C (Backenbrecher)	A (Feinhumus <63µ)
0- 5	1.12	1.06	0.91	1.25	1.23	1.00
5-10	1.12	1.08	0.91	1.14	1.08	0.95
10-15	1.10	1.07	0.88	1.10	1.10	0.94
15-20	1.14	1.06	0.90	1.11	1.08	0.94
0-20	1.12	1.07	0.90	1.15	1.13	0.96

Aufbereitungsverfahren B (Feinmahlung) bringt etwa dieselben Durchschnittswerte wie Verfahren C (Backenbrechung). Die in der abgesiebten (A) Feinschluff-Fraktion enthaltenen Feinhumusgehalte sind erwartungsgemäß geringer, da sich nach SCHEFFER und MEYER (3) ein bestimmter Anteil des organisch gebundenen Gesamt-C auf die bei diesem Verfahren nicht miterfaßten stabilen Aggregate und die Wurzelsubstanz konzentriert.

Tab. 2: C-Mengen in t / ha, Differenzbeträge (+) "ungepflügt" minus "gepflügt" im 3. Jahr nach Versuchsbeginn

Bodentiefe (cm)	Aufbereitungsverfahren		
	B (Vermahlung)	C (Backenbrecher)	A (Feinhumus <63µ)
0- 5	1.0	1.3	0.7
5-10	0	0	0.3
10-15	0	0.2	0.4
15-20	-0.1	0.2	0.3
0-20	0.9	1.8	1.8

Tab. 2 dient dem C-Mengenvergleich zwischen den gepflügten und den nicht gepflügten Versuchsparzellen. Nach allen drei Aufbereitungsverfahren ergibt sich für die ehemaligen A_p-Horizonte (0 - 20 cm) gegenüber den weiter gepflügten eine Anhebung der Humusmenge als Folge der unterlassenen Bodenwendung. Tab. 2 läßt jedoch erkennen, daß die Humusvermehrung weit überwiegend in einer Anreicherung der Schicht 0 - 5 cm besteht. Für diese Schicht liefern die Methoden B und C einen Anreicherungsbetrag an Gesamt-Kohlenstoff von 1.0 bzw. 1.3 t / ha. Diese Anreicherung wirkt sich somit offenbar sowohl in der Feinhumus-Fraktion als auch in der Aggregat- und Wurzelhumus-Fraktion aus. Wie aus Tab. 2 ersichtlich, ist die Kohlenstoffmengen-Differenz in Tiefen unterhalb von 5 cm bei Verfahren B gering. Sie sollte auch bei Verfahren C vernachlässigt werden, da hier nicht in allen Tiefen und zu allen Zeitpunkten nach der Methode C aufbereitet wurde und die Jahres-C-Werte unsicher sind. Nur in der Menge an

Feinhumus-C (A) zeigt sich auch in größerer Tiefe eine relative Anhebung auf der pfluglosen Parzelle gegenüber der gepflügten Parzelle. Dies könnte auf besseren Konservierungs-Bedingungen beruhen.

2.2.3 Streuungen

Die schraffierten Flächen in Abb. 1 und 2 geben die Streubreiten der C-Gehaltswerte an (vgl. Absatz 2.2.1). Bei den nach Aufbereitungsweg B gewonnenen Werten handelt es sich um die Streubreite der 5 Analyseneinwaagen ein und derselben homogenisierten Mischprobe. Aufgrund der unter 2.2.1 genannten Inhomogenitäten des Vermahlungsproduktes kommt es zu Abweichungen vom Mittelwert in Höhe von ca. ± 10 %, entsprechend etwa ± 0.1 % C, d.h. bei Umlegung auf die Fläche bis zu ± 3 t / ha.

Bei den anderen Aufbereitungsverfahren sind dagegen die Abweichungen der Analysenproben vom Mittelwert nicht größer als ± 4 %.

Bei den für die Aufbereitungsverfahren C und A angegebenen Streuungsbereichen handelt es sich im Gegensatz zu B um Streuungen aufgrund von ortsverschiedenen Probenahmen. Diese sind erheblich: Zu einzelnen Zeitpunkten können sie bis zu ± 20 % des gebildeten Mittelwertes betragen, was ± 0.2 % Boden-Gesamt-C-Gehalt oder ± 6 t C / ha bedeuten würde.

2.2.4 Zeitliche Schwankungen

Die nach der Methode C - der noch am ehesten gültigen Methode - gewonnenen Tiefenabschnitts-Mittelwerte für den C-Gehalt schwanken im gepflügten Boden mit einer Amplitudenhöhe von maximal ± 0.08 % C um den jeweiligen Jahresmittelwert. Am geringsten ist die zeitliche Schwankungsbreite mit ± 0.05 % C im obersten Abschnitt des gepflügten Bodens, am größten mit ± 0.15 % C beim ungepflügten Boden.

Für den gepflügten A_p-Horizont (0 - 20 cm) entspricht die Gesamt-Schwankungsbreite in der Beobachtungsperiode mit ± 0.07 % C etwa ± 2.1 t C / ha.

Die natürlichen Oszillationen, d.h. die Differenzen zwischen aufeinanderfolgenden Maxima und Minima sind jedoch wesentlich geringer. Sie gehen nicht über 0.08 % C (entsprechend 2.4 t C / ha im A_p-Horizont) hinaus.

Für die aus den anderen beiden Aufbereitungsverfahren gewonnenen Mittelwertkurven gilt größenordnungsmäßig das Gleiche. Lediglich die maximalen Amplitudenhöhen der C-Gehaltsschwankungen einzelner Horizonte um ihren Jahresmittelwert werden größer, was besonders für den Feinhumus gilt.

2.2.5 Kurvenverläufe

Ein Vergleich der nach den Methoden C und B gefundenen Mittelwertkurven zeigt, daß die zeitliche Abfolge der Maxima und Minima - was eigentlich, da es sich ja um Gesamt-C-Bestimmungen handelt, zu erwarten ist - innerhalb aller Tiefenabschnitte annähernd dieselbe ist. Vergleicht man die Mittelwertkurven B und C für den gesamten A_p-Horizont (0 - 20 cm) des gepflügten Bodens, so ergibt sich sogar eine weitgehende Parallelität der Kurvenverläufe. Durch Anwendung eines Korrekturfaktors, der sich aus den unterschiedlichen Eichverfahren der Meßapparatur ergibt, lassen sich auch die absoluten Höhen zur Deckung bringen.

Auffälligerweise lassen die oberen 5 cm des ungepflügten Bodens eine synchrone Abfolge der Maxima und Minima in den nach C und B ermittelten Kurven vermissen. Dies mag mit dem oben erwähnten, durch die Proben-Inhomogenität verursachten Bestimmungsfehler der Kurve B zusammenhängen, die in diesem Tiefenabschnitt die größten Schwankungs-Amplituden um den Jahresmittelwert aufweist. Man kann annehmen, daß dies mit der starken und offenbar unregelmäßigen Konzentration von wurzelbürtigem Grob- und Aggregathumus in der obersten Bodenschicht zusammenhängt.

Im Gegensatz dazu zeigt die Abfolge der Maxima und Minima des Feinhumus-C (A) einen von B und C abweichenden, phasenweise sogar gegensätzlichen Verlauf. Dies wird am deutlichsten im Zeitdiagramm (Abb. 2) für die Tiefe 10 - 15 cm, ist aber auch im Gesamtdiagramm für die Tiefe 0 - 20 cm (Abb. 1) noch erkennbar.

Auf diese gegenläufige Tendenz haben bereits SCHEFFER und MEYER (3) hingewiesen. Sie erklären sie durch Umverteilungsprozesse, die sich zwischen dem Grob- und Aggregathumus einerseits und dem Feinhumus andererseits im Zuge des jahreszeitlichen Humusauf- und -abbaus abspielen.

Vergleicht man die Abfolgen der Gesamt-C-Maxima und -Minima (B und C) der einzelnen Tiefenabschnitte miteinander, so zeigt sich, daß diese ebenfalls phasengleich sind; d.h., wenn im oberen Tiefenabschnitt starke negative C-Gehalts-Abweichungen vom Jahresdurchschnitt auftreten, zeichnen sich diese gleichzeitig auch in den tiefer liegenden Probenahme-Abschnitten mehr oder weniger deutlich ab. Dies führt dazu, daß in den Durchschnitts-C-Gehaltsproben für den gesamten A_p Maxima und Minima entstehen.

Im Gegensatz zum Gesamt-C-Gehalt des Bodens läßt sich beim Feinhumus-C-Gehalt keine vertikale Gleichsinnigkeit des Kurvenablaufes feststellen. Die Abfolge der Maxima und Minima ist in den einzelnen Tiefenabschnitten z.T. deutlich "phasenverschoben", sodaß es bei der Bildung des vertikalen Durchschnittes zu Kompensationen kommt.

2.3 DISKUSSION

Gegenstand der Diskussion muß in erster Linie die Frage sein, ob die im Vorstehenden als Funktion der Zeit dargestellten C-Gehaltsänderungen tatsächlich als ein Ergebnis zeitlich aufeinanderfolgender Humusmineralisierungs- und -Wiederanreicherungsprozesse interpretiert werden dürfen. Zweifellos prägen solche Prozesse die Kurvenverläufe mit, doch besteht die Möglichkeit, daß sie sehr stark überlagert

werden von vorgegebenen lokalen C-Gehaltsschwankungen in der Ackerkrume der Entnahme-Parzellen. Man könnte sich ein grob gerastertes Mosaik von Kompartimenten mit primär unterschiedlichen C-Gehalten in der Ackerkrume vorstellen, das bei der Art des Probeentnahme-Verfahrens dazu führen kann, daß zum einen Zeitpunkt überwiegend Proben mit niedrigem C-Gehalt und zum anderen Zeitpunkt Proben mit überwiegend hohem C-Gehalt gewonnen werden.

Die in Abb. 1 und 2 dargestellten Streubreiten der nach C und A aufbereiteten Bodenproben basieren auf drei Entnahme-Parallelen, die aus je fünf Einstichen zusammengemischt sind. Erstaunlich ist, daß sich mehrfach die zu aufeinanderfolgenden Entnahmeterminen ergebenden Streubreiten nicht einmal in Randbereichen überschneiden, sodaß eine signifikante Unterschiedlichkeit vorgetäuscht wird. Es gibt dann jedoch wieder Meßzeitpunkte, an denen die Streubreite der Proben der Entnahme-Parallelen so groß ist, daß sie alle übrigen Meßzeitpunkts-Schwankungsbreiten überlappend einschließt.

Offenbar ist trotz der scheinbaren Rechtfertigung durch geringe Streubreiten und signifikante C-Gehaltsdifferenzen zu den verschiedenen Entnahmezeitpunkten die Zahl von Entnahme-Parallelen nicht ausreichend, um eine sichere quantitative Aussage über die orts- und zeitbedingten Anteile der C-Gehalts-Änderungen liefern zu können. Nach den vorliegenden Ergebnissen scheint es fast so, als ob bei dem in ständiger Pflugkultur befindlichen Boden die Differenzierung der C-Gehalte in der Horizontalen ausgeprägter und gröber gerastert ist als in der Vertikalen.

Für weitere Untersuchungen zur C-Gehaltsverteilung in A_p-Horizonten von Lößparabraunerden könnte es daher sinnvoll sein, zunächst die Frage der vertikalen Differenzierung hintan zu stellen und der der horizontalen - gemessen an kompletten Krumenausstichen - den Vorrang zu geben.

Neben der Erfassung des C-Gehaltes des Grob-Mosaiks ist aber auch die kleinsträumige Humusverteilung in der Krume zu berücksichtigen und zwar besonders dann, wenn es um die Frage

geht, ob Humusgehalts- und überhaupt Bioelementgehalts-Bestimmungen aufgrund von Bohrprobe-Entnahmen wissenschaftlich zu rechtfertigen sind.

3 ZUR FLÄCHENVERTEILUNG der HUMUS-GEHALTE von OBERKRUMEN (MESS-BEISPIEL DRÜBER 1972)

3.1 PROBLEMSTELLUNG

Bei allen Untersuchungen über die Humusbilanz von Oberböden ist Sicherheit hinsichtlich der Repräsentanz der für die C-Analyse entnommenen und aufbereiteten Bodenproben unerläßlich. Dies gilt ebenso für die Bestimmung von Pflanzen-Nährstoffen, besonders in der Krume beackerter Böden.

Die Art der Probenahme muß sich nach dem Grad der Homogenität der Verteilung der zu bestimmenden Elemente im Bodenvolumen richten.

Disproportionierungen können mechanischer und biologischer Natur sein. Unter dem Pflanzenbestand baut sich z.B. ein Humus-Gradient auf, der durch die Pflugarbeit wieder zerstört wird, ohne daß es dabei sofort zu einer homogenen Vermischung innerhalb der Krumenzone kommt. Pilze als heterotrophe Organismen können z.B. organische Bodensubstanz in ihren Mycelien lokal konzentrieren. Bei der gasanalytischen C-Bestimmung kann sich die inhomogene Verteilung von verkohlten Ernterückständen auswirken. Bei kalkhaltigen Böden kommt die inhomogene Carbonatverteilung hinzu.

Vorversuche (Abschnitt 2) hatten gezeigt, daß auf dem Wege einer Probenentnahme mit dem 4 cm-Bohrstock - selbst bei sehr hohen Wiederholungszahlen der Entnahme von Krumen-Proben und bei nachfolgender Mischung - Streuungen auftraten, die keine sichere Aussage über den jahreszeitlichen Gang des Humusgehaltes zuließen.

Im folgenden sollen in 2 Versuchen Angaben über den Verteilungszustand des Humus in einem alten gepflügten Acker auf Lößparabraunerde gewonnen werden, um darauf aufbauend Hinweise für eine zielgerechte Probe-Entnahmetechnik zu erhalten.

Versuchszeitpunkte waren der 3.9.1971 (Rübenbestand) nach vorausgegangener intensiver Herbst- und Frühjahrsbearbeitung und der 12.5.1972 (Winterweizen, auf die Rüben folgend). Versuchsfläche war der bei SCHEFFER und MEYER (3) beschriebene Tiefumbruch-Versuch in Drüber, Kreis Einbeck, auf dessen nicht umgebrochener O-Parzelle (O_I) die Untersuchung durchgeführt wurde. Diese Fläche wurde gewählt, weil sie in der Krume völlig frei von Kalk war, so daß bei der gasanalytischen C-Bestimmung Verfälschungen durch mitbestimmtes Ca- oder Mg-Carbonat ausgeschlossen werden konnten.

3.2 VERTEILUNG des BODEN-C INNERHALB der UNTERSUCHUNGSFLÄCHE

Winterweizen, 12.5.72. Die ca. 6 a große Fläche wurde in 5 Teilareale und jedes Teilareal in 3 Unterareale gegliedert. Auf diesen wurden je 5 10 cm tiefe Einstiche mit dem 2 cm Ø-Bohrer ausgeführt. Die Bohrkerne wurden zu einer Mischprobe vereinigt. Die Mischproben wurden getrocknet, gebrochen, durch intensives Mahlen (Kreuzschlagmühle) homogenisiert und auf $C_{(t)}$ im Gasanalysengerät (WÖSTHOFF) in mindestens dreifacher Wiederholung analysiert (Bestimmungsparallelen).

Die Bestimmungsparallelen stimmen gut überein. Für die in Tab. 3 angegebenen Einzelwerte sind die Abweichungen kleiner als ± 0.06 % C, bei 13 der 15 Proben sogar kleiner als ± 0.04 % C.

In 4 der 5 Teilareale sind die Abweichungen vom Mittelwert der 3 Unterareale mit weniger als ± 0.06 % C gering, im Teilareal V dagegen hoch.

Tab. 3: C-Gehalt der Parzelle O_I

Teilareal	Unter-areal	% C	% C im ø
I	1 2 3	0.81 0.83 0.72	0.78
II	1 2 3	0.84 0.84 0.88	0.86
III	1 2 3	0.83 0.89 0.86	0.86
VI	1 2 3	0.96 0.87 0.97	0.93
V	1 2 3	0.84 0.90 1.05	0.93

Die Unterschiede im C-Gehalt zwischen den 5 Teilarealen sind beträchtlich und lassen bei kartenmäßiger Darstellung eine flächenhafte Zonierung erkennen, die mit der ackerbaulichen Vorgeschichte der untersuchten Parzelle zusammenhängen mag.

Die Störungen innerhalb des Teilareals V können dem optischen Befund nach auf ungleichmäßige Anhäufung von Ernterückständen der im Vorjahr auf der Fläche gewachsenen Rüben zurückzuführen sein.

Aus diesen Befunden läßt sich folgern, daß eine innerhalb der Gesamtfläche zufällig getreute Lage der Bohrproben-Entnahmestellen für zeitlich aufeinanderfolgende Bestimmungen des Bodenhumusgehaltes wenig geeignet erscheint. Schon während eines einzelnen Entnahme-Zeitpunktes beträgt die Abweichung des Teilareal-C-Gehaltes vom Mittelwert aller Teilareale $\pm$ 0.09 % C, was bei 10 cm Entnahmetiefe ca. $\pm$ 1.4 t C / ha entspricht. Auch eine Erhöhung der Bohrprobenzahl würde wenig Effekt zeigen. Zweckmäßig erscheint dagegen die Ausscheidung und Markierung einzelner homogener

Test-Areale. Hinsichtlich der Entnahmetechnik sollte der folgende Absatz Hinweise geben.

4 VERTEILUNG des BODEN-C in KLEINEN KRUMEN-AUSSCHNITTEN (MESSBEISPIEL DRÜBER 1971)

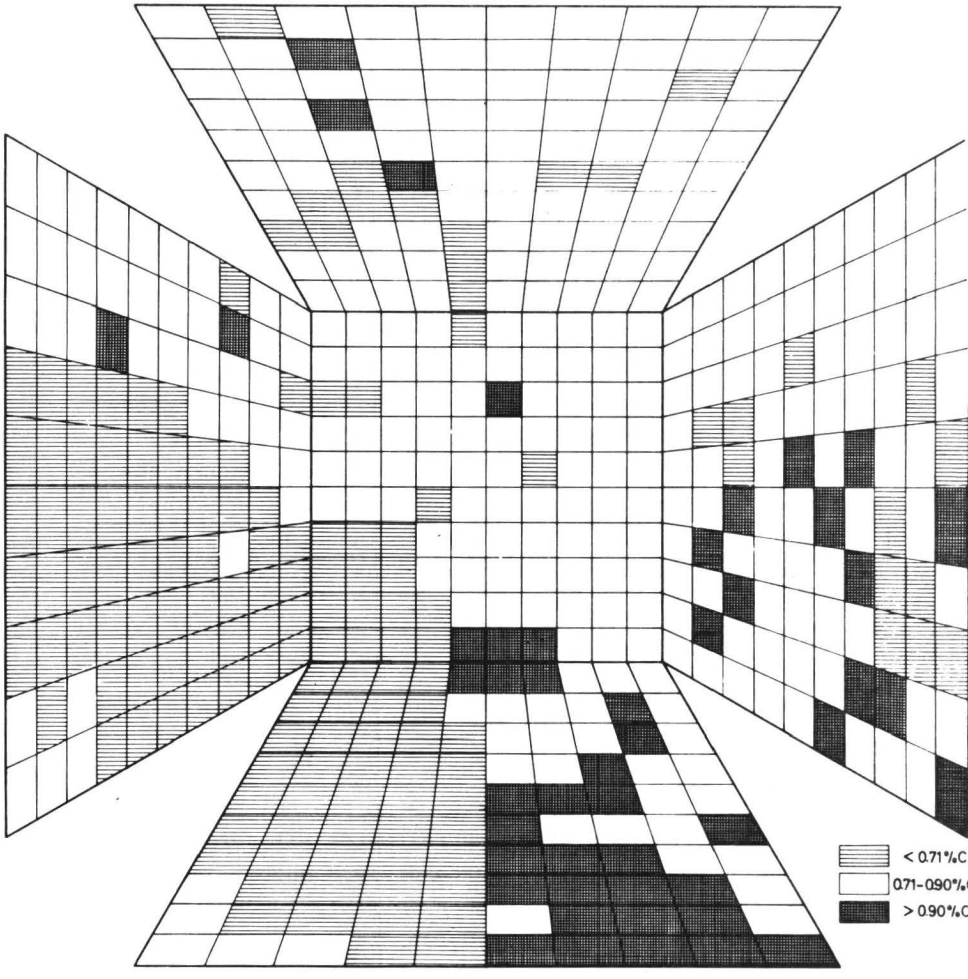
In stehenden Pflanzenbeständen kann die Entnahme von Spaten-Mischproben anstelle von Bohrproben eine Versuchsparzellenanlage rasch unbrauchbar machen. Es ist zudem fraglich, ob die an wenigen Stellen entnommene Spaten-Mischprobe eine größere analytische Sicherheit bietet als eine Vielzahl von Bohrproben.

Die folgende Untersuchung befaßt sich mit der Verteilung unterschiedlicher Humusgehalts-Zonen innerhalb eines Spatenausstichs von 1 l Volumen aus den oberen 10 cm der Krume. Die Probe wurde zwischen den Reihen eines geschlossenen Rübenbestandes entnommen, nachdem im vorausgegangenen Herbst und Frühjahr eine intensive Bodenbearbeitung und - wie man erwarten sollte: Bodendurchmischung - stattgefunden hatte (vgl. Standortsangabe in Abschnitt 3).

4.1 PROBENAHME und -AUFBEREITUNG

Ein Bodenwürfel von 10 cm Kantenlänge wurde aus dem Boden herauspräpariert, in 1000 Würfel von 1 cm Kantenlänge zerschnitten und getrocknet. Jeder Würfel wurde mit seiner Gesamtmasse auf C analysiert. Da durch diese Maßnahme jedes Homogenisieren und Teilen der Proben entfiel, wurde die Bestimmungsgenauigkeit für C nur durch die Meßgenauigkeit des verwendeten Gasanalysengerätes (± 0.01 % C) begrenzt.

Abb. 3: Räumliche Anordnung von 1cm-Bodenwürfeln unterschiedlichen C-Gehaltes (dreistufig klassiert) in einem 1dm-Bodenwürfel aus der Ackerkrume 0 - 10 cm Tiefe



4.2 ERGEBNISSE

Die 1000 1 cm-Würfel wurden, wie in Tab. 4 dargestellt, nach ihrem C-Gehalt in 12 Klassen gegliedert, die sich zu 3 Klassen-Gruppen zusammenfassen lassen. Ca. 60 % der Würfel fallen in die Klasse mit 0.71 bis 0.90 % C und einem Mittelwert von 0.81 % C. Der Mittelwert des gesamten Blockes beträgt 0.79 % C.

Tab. 4: Verteilung des Kohlenstoffs im Boden (Würfel mit 10 cm Kantenlänge, Ges.-Ø = 0.79 % C)

Klasse	% C	Häufigkeit	
1	⟨ 0.51	29	
2	0.51 - 0.55	70	
3	0.56 - 0.60	41	242
4	0.61 - 0.65	42	
5	0.66 - 0.70	60	
6	0.71 - 0.75	124	
7	0.76 - 0.80	175	
8	0.81 - 0.85	198	625
9	0.86 - 0.90	128	
10	0.91 - 0.95	57	
11	0.96 - 1.00	36	133
12	⟩ 1.00		

Die nach oben und unten nicht abgegrenzten Klassen 1 und 12 haben eine geringe Streubreite. Ihre C-Gehalte liegen dicht bei den Werten 0.51 und 1.00 %. Minimalwerte sind 0.42 % und Maximalwerte 1.97 % C.

In Abb. 3 wird eine räumliche Darstellung der C-Verteilung gegeben. Der Boden-Würfel wird als Hohl-Kubus dargestellt, in den man von einer Seite her hineinblickt und dessen Seitenwände, Boden und Deckel leicht aufgeklappt sind. Von 1000 Einzelproben sind 460 dargestellt. Die dreistufige Schattierung entspricht den drei Klassengruppen aus Tab. 4. Die weißen Flächen kennzeichnen die mittlere, dominierende Klassengruppe mit durchschnittlich 0.81 % C ± 12 % Abweichung (0.71 bis 0.90 % C).

Die relativen Anteile der dargestellten Klassen an der Gesamtzahl der 1 cm-Würfel entsprechen dem relativen Anteil

der Klassengruppen an der Gesamtsumme der 1 cm-Würfel (1000).

Auf den ersten Blick gibt sich im unteren linken Teil des Würfels eine deutlich Zonierung der Humusgehalte zu erkennen. An einen ziemlich geschlossenen von links oben zur Mitte unten hin fallenden Keil niedriger Humusgehalte schließt sich unvermittelt rechts eine Zone mit höchsten Humusgehalten an. Der Winkel der Grenzfläche der beiden Zonen beträgt etwa 54 °. Es könnte sich um eine Pflugscholle von tiefer heraufgepflügtem Unterboden-Material handeln, dem Oberflächen-Material auflagert. Auffallend ist allerdings, daß sehr häufig innerhalb des ganzen Volumens des Würfels immer wieder Klein-Würfel mit niedrigen C-Gehalten unmittelbar an Würfel mit sehr hohen C-Gehalten angrenzen. Innerhalb einer Querschnittsfläche von wenigen cm^2 Inhalt können cm^2-Partien von 0.50 bis 0.60 % C mit solchen von 0.90 % C vergesellschaftet sein. Auf die zum Meßzeitpunkt vorhandene Verteilung der Rübenwürzelchen kann dies nicht zurückgeführt werden, da diese zu gleichmäßig wäre. Die Wurzelmenge in einem Einzelwürfelchen wäre auch zu gering, um die gefundenen lokalen Gehaltsdifferenzen zu erklären.

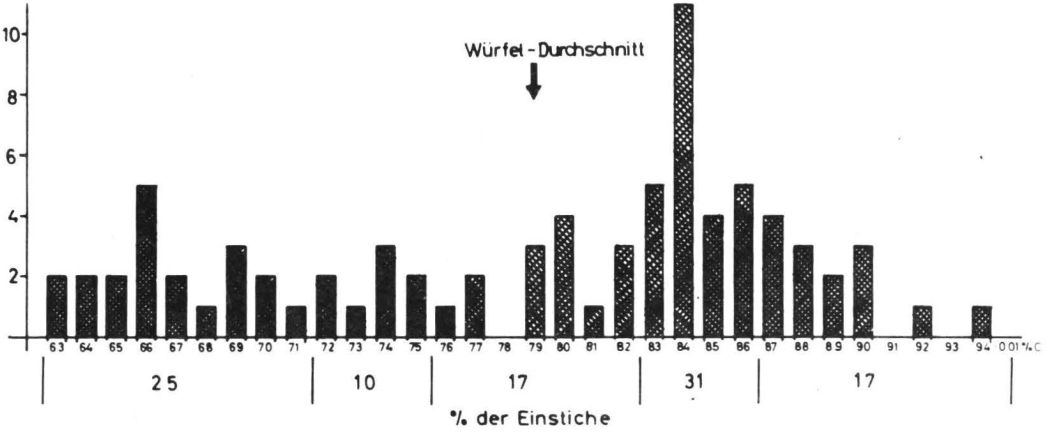
4.3 MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN bei BOHRSTOCK-PROBEENTNAHMEN

Geht man von der - nicht bewiesenen - Annahme aus, daß der dargestellte Würfel tatsächlich eine Elementarzelle, d.h. einen in gleicher Zusammensetzung stets wiederkehrenden Einheitsausschnitt des Oberbodens eines Teilareals der Gesamtfläche repräsentiert, so erhebt sich die Frage, welche C-Gehalts-Streuungen sich ergeben würden, wenn man mit einem gedachten 2 x 2 oder 4 x 4 cm-Bohrer eine 10 cm-Bodensäule entnehmen und deren mittleren C-Gehalt bestimmen würde.

Zur Beantwortung dieser Frage wurden anhand des untersuchten Würfels für 81 mögliche verschiedene vertikale Einstiche mit dem 4 cm^2- und 49 mögliche Einstiche mit dem 16 cm^2-Boh-

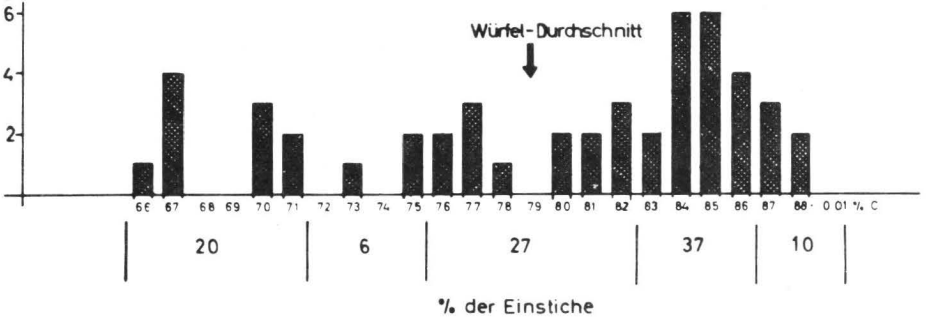
Zahl der Einstiche (bei 81 möglichen)

Abb. 4a: Mittlerer C-Gehalt der Tiefe 0-10 cm aufgrund gedachter vertikaler Bohreinstiche (Fläche 2·2 cm) am untersuchten Bodenwürfel



Zahl der Einstiche (bei 49 möglichen)

Abb. 4b: Mittlerer C-Gehalt der Tiefe 0-10 cm aufgrund gedachter vertikaler Bohreinstiche (Fläche 4·4 cm) am untersuchten Bodenwürfel



rer (bei Überlappung der Einstichflächen) die sich aus der C-Gehaltsverteilung ergebenden mittleren C-Gehalte für die Einstichtiefe von 10 cm errechnet.

Nach Abb. 4a würden sich bei einer Entnahme mit dem 4 cm^2-Bohrer C-Gehalte ergeben, die zwischen 0.63 und 0.94 % liegen. Dabei gruppieren sich die C-Gehalte keineswegs um den Gesamt-Mittelwert von 0.79 %. Es resultiert ein breites, flaches Spektrum von Werten. Ein schwache Häufung liegt bei Gehalten von ca. 0.85 %, d.h. oberhalb des tatsächlichen Gesamt-Durchschnittswertes. Bei fast 40 % der Einstiche fallen die Werte zu niedrig aus.

Die Verwendung eines 16 cm^2-Bohrers (ca. 4.5 cm Ø) bringt nach Abb. 4b zwar eine Einengung des Werte-Spektrums mit sich, verbessert jedoch nicht die Werte-Verteilung und liefert ebenfalls in mehr als 50 % der Fälle zu hohe C-Gehalte. Hat das durch die Verteilungsanalyse gewonnene Bild tatsächlich eine generelle Verbreitung, so ergibt sich daraus folgendes:

Je größer die Einstich-Querschnittsfläche gewählt wird, was z.B. durch Ersatz des Bohrstockes durch den Spaten geschehen kann, desto besser wird die Annäherung an den tatsächlichen Mittelwert, wobei gleichzeitig eine Reduktion der Entnahmeparallelen erlaubt werden kann.

5 ZEITVERGLEICHE von C-GEHALTEN BEWACHSENER und UNBEWACHSENER FLÄCHEN

In diesem Versuch wird zwar die Bohrstock-Entnahme-Technik aufgrund der geringen Parzellengrößen und des Bestrebens, auch Proben größerer Tiefen zu gewinnen, beibehalten - was, wie im folgenden zu zeigen sein wird, die gleichen Fehler wie im Versuch I (Abschnitt 2) bedingt. Doch wird die Mischung und Vermahlung so vorgenommen, daß keine durch mangelnde Analysenproben-Homogenität ausgelösten Streuungen entstehen.

Nach dem in den Abschnitten 2 und 3 Gesagten können die vorgegebenen örtlichen C-Gehaltsdifferenzen eventuell auftretende zeitliche C-Gehaltsschwankungen so stark überlagern, daß diese nicht mehr erkennbar sind. Daher wird im folgenden versucht, durch den Vergleich bewachsener (Rüben) und unbewachsener Flächen zu Differenzbetrachtungen und damit zu Aussagen in der Frage der Wurzelproduktion und der aufgrund von Wurzelverteilungen verursachten C-Gehaltsstreuungen zu gelangen.

5.1 METHODEN

Zu 33 Zeitpunkten in der Wachstumszeit der Zuckerrüben (April bis November 1971) wurden auf der 10 x 15 m großen Entnahme-Parzelle (s. Abschnitt 3 und 4) 15 Einstiche von 60 cm Tiefe und zusätzlich 9 Einstiche von 10 cm Tiefe mit dem PÜRCKHAUER-Bohrstock (2 cm Ø) vorgenommen. Die Bohrkern-Abschnitte gleicher Tiefe wurden zu je drei Mischproben ("Entnahmeparallelen") vereinigt.

Jede dieser Entnahmeparallelen wurde getrocknet(50 ^{o}C), in der CULATTI-Schlagkreuzmühle feingemahlen und mit drei Einwaageparallelen (5oo mg) auf C analysiert.

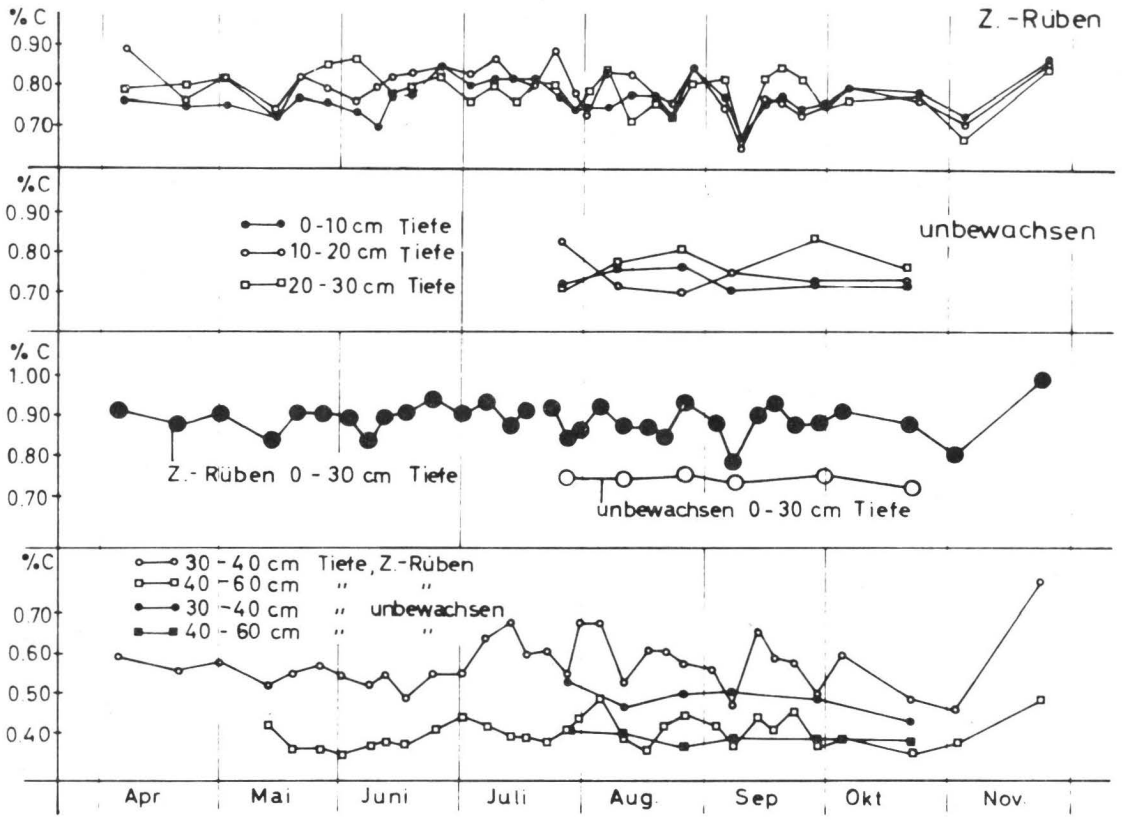
Die Proben wurden in 10 cm Abstand von den Rübenreihen entnommen. Im Mai 1971 wurde eine Fläche von 3 x 2 m gerodet und von diesem Zeitpunkt ab als "Brachfläche" zum Vergleich herangezogen.

5.2 ERGEBNISSE und DISKUSSION

In Abb. 5 sind dieC-Gehalte (Mittelwerte der Entnahmeparallelen) für die Entnahmetiefen 0 bis 10 (gemittelt aus 0 - 5 und 5 - 10 cm Tiefe), 10 - 20, 20 - 30, 30 - 40 und 40 - 60 cm dargestellt.

Die Streuung der Einwaageparallelen war mit ± 5 % ihres

Abb. 5: Zeitlicher Gang des Kohlenstoff-Gehaltes im Sommer 1971 im A_p einer Löß-Parabraunerde, Drüber Null-Parzelle (0_I)



Mittelwertes gering, die Streuung der drei Entnahmeparallelen dagegen mit ± 15 % und mehr beträchtlich.

Die Darstellung (Abb. 5) gibt oben den Gang der C-Gehalte in den einzelnen Lagen des A_p, in der Mitte den Gang der Durchschnitts-C-Gehalte für die Gesamtmächtigkeit des A_p und unten den Gang der C-Gehalte in den einzelnen Tiefenabschnitten des Unterbodens - getrennt nach Rüben- und Brachfläche - wieder.

Wie bereits in Abschnitt 2 dargestellt, gibt sich auch in diesem Versuch bei recht starken Schwankungen der zu den einzelnen Meßzeitpunkten gefundenen C-Gehalte eine auffällige "Synchronität" der Maxima und Minima in allen Tiefen zwischen 0 und 60 cm zu erkennen. Nach den oben gemachten Ausführungen deutet das darauf hin, daß es sich bei dem scheinbaren Zeitgang der C-Gehalte offenbar wieder um vorgegebene lokale C-Gehaltsunterschiede handelt.

Offenbar werden diese jedoch überlagert von gewissen Trends, die mit der Wurzelentwicklung der Rüben zusammenhängen. Dies wird z.B. an den Unterboden-Proben deutlich, deren zeitlicher C-Gehaltsgang bis etwa Mitte Juni einen recht "ruhigen" Verlauf erkennen läßt, um dann anzusteigen und recht starken "Oszillationen" zu unterliegen. Diese mögen ebenfalls wieder räumlichen Differenzierungen in der Wurzelverteilung zuzuordnen sein, da die Differenz zwischen aufeinanderfolgenden Maxima und Minima bereits in der Größenordnung von 0.20 %, entsprechend 3 t C pro 10 cm Tiefenabschnitt und ha, liegen. Daß aber Wurzelverteilungs-Einflüsse eine Rolle spielen müssen, zeigt der Vergleich mit den Brachparzellen, auf denen der C-Gehaltsgang im Unterboden kaum Schwankungen erkennen läßt.

In der Ackerkrume ist der C-Gehaltsgang der Brachparzelle ebenfalls "ruhiger" als der der bewachsenen Parzelle, doch ist der Unterschied nicht so ausgeprägt wie im Unterboden.

Wenn nun der Gang der C-Gehaltsmittelwerte der einzelnen Tiefenabschnitte keine eindeutig als Zeitfunktion interpretierbaren Minimums- und Wiederausgleichsphasen erkennen läßt, so bedeutet dies nicht, daß kein Mineralisie-

rungsverlust und keine den Verlust wieder ausgleichende Humus-Nachlieferung aus der Wurzelmasse stattfindet.

Betrachtet man die in der Mitte von Abb. 5 gegebene Darstellung der C-Gehalts-Mittelwerte für die Ackerkrume (0 - 30 cm), so liegt der C-Gehalt der Brachfläche um durchschnittlich 0.13 % unterhalb des Durchschnittswertes der bewachsenen Parzelle. Da die Anfangs-C-Gehalte beider Parzellen gleich waren, liegt folgende Erklärung für diese Differenzen nahe: Auf der Brachparzelle sind C-Mineralisierungsverluste eingetreten, die nicht wieder durch Wurzelmassenbildung kompensiert worden sind. Auf der bewachsenen Parzelle hat dagegen eine Kompensation stattgefunden. Der Differenzbetrag von 0.13 % C in den oberen 30 cm entspricht allerdings etwa 5.9 t C / ha, um welchen Betrag die organische Bodensubstanz auf der Brachparzelle gegenüber der bewachsenen Parzelle abgenommen hat. Dieser Betrag erscheint, wenn man ihn gleich der Menge an neu gebildetem wurzelbürtigem Humus-C setzt, gar nicht so hoch gegriffen im Vergleich zu früheren Angaben von SCHEFFER und MEYER (3), die dafür als Minimalbetrag (1968) etwa 4.5 t / ha veranschlagten.

Daß diese Unterschiede und die dargestellten, nun wohl eher als örtliche Gehaltsdifferenzen zu deutenden scheinbaren zeitlichen Schwankungen tatsächlich mit der Wurzelmassenbildung in Zusammenhang stehen müssen, geht auch aus folgender Zusammenstellung der über die Vergleichszeit gemittelten C-Gehaltswerte hervor:

C % TrS

Tiefe cm	unbewachsen	bewachsen	Differenz
0-10	0.72	0.86	+ 0.14
10-20	0.74	0.89	+ 0.15
20-30	0.73	0.84	+ 0.11
30-40	0.49	0.52	+ 0.03
40-60	0.39	0.39	0.00

Die in der Vegetationszeit zwischen beiden Parzellen entstandenen Gehaltsdifferenzen sind danach in dem oberen Abschnitt des A_p-Horizontes am höchsten und nehmen nach unten hin ab.

Fazit dieser Betrachtung wäre, daß u.U. auch ohne sichtbare echte zeitliche Humusgehalts-Änderungen - die vorhandenen Schwankungen sind durch örtliche Gehaltsdifferenzen vorgetäuscht - Mineralisierungsverluste und wurzelbürtige C-Gewinne verschleiert auftreten können.

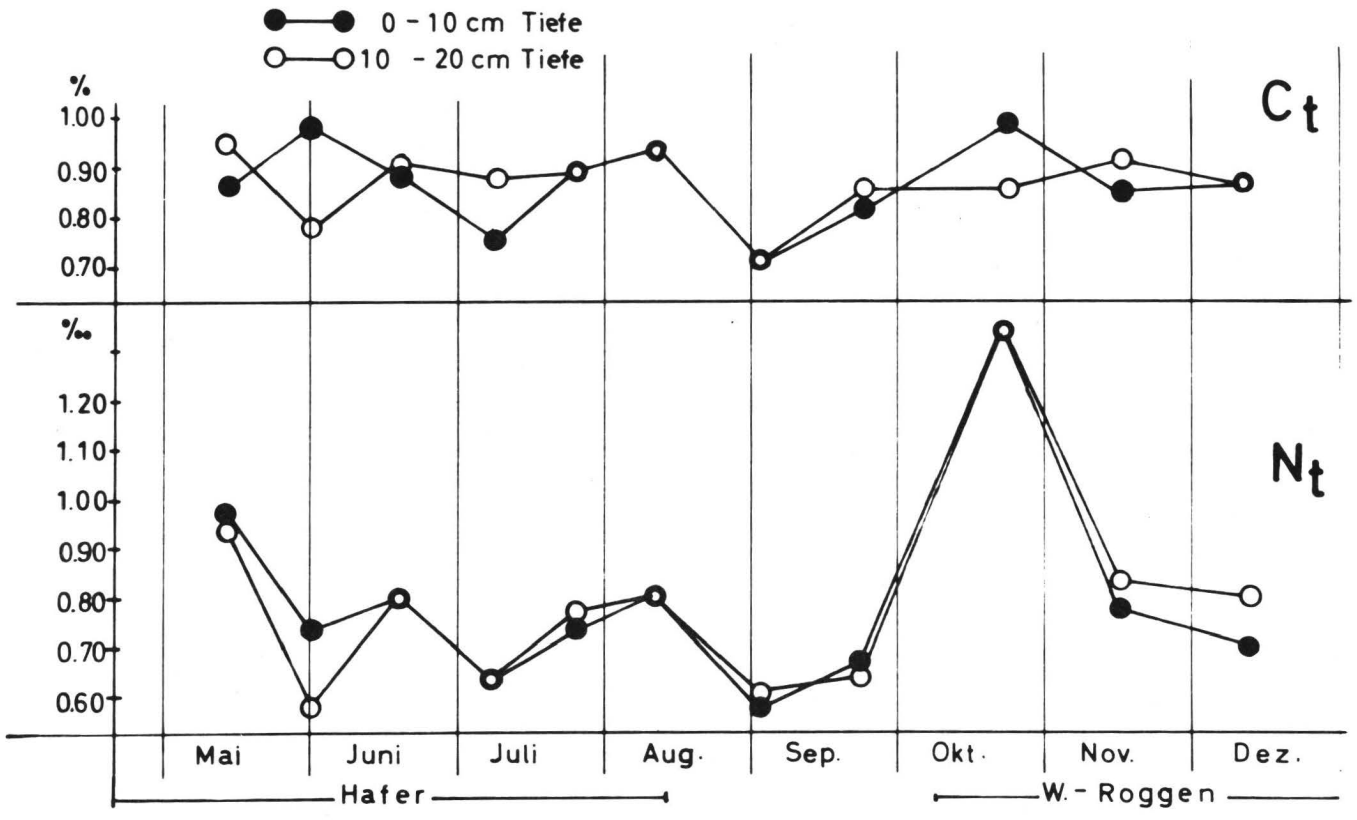
6 VERGLEICHSUNTERSUCHUNG an einem SANDBODEN

Die im Vorstehenden behandelten Untersuchungen beziehen sich auf Parabraunerden aus Löß, die durch Ton- und Schluffreichtum gekennzeichnet sind und deren Humusart Mullhumus ist. Um einen Einblick in das Geschehen bei tonarmen Moderhumusböden zu erhalten, wurde nach der gleichen Entnahmemethode wie in Abschnitt 2 auch ein Sandboden - Sauerbraunerde aus Buntsandstein-Verwitterungssand (Reinhausen) - untersucht. Versuchsfrucht war Hafer mit nachfolgendem Winterroggen.

Unter den angewendeten Aufbereitungsverfahren brachte bei der groben Mineralkörnung nur das totale Mahlen in der Kolloidmühle befriedigende Analysenparallelen. $N_{(t)}$ wurde gasvolumetrisch im N-Rapid-Gerät (HERAEUS) bestimmt.

Die Ergebnisse sind in Abb. 6 dargestellt. Die zeitlichen "Schwankungen der C-Gehalte" oder was auch hier den Tatsachen wahrscheinlich besser entspricht - die "ortsbedingten C-Gehaltsstreuungen" um einen zeitlich mehr oder weniger konstanten Mittelwert sind ähnlich stark wie in den Parabraunerden aus Löß. Eine Synchronität mit den dort gefundenen "C-Gehaltskurven" läßt sich nicht feststellen. Auffällig ist auch hier wieder das gleichsinnige Verhalten der jeweils in einem Bohreinstich untereinander entnommenen Tiefenabschnittsproben, das wiederum für eine bevorzugt horizontale Differenzierung der C-Gehaltszonen in der Ackerkrume spricht.

Abb. 6 : Zeitlicher Gang des Kohlenstoff - und Stickstoff - Gehaltes im Sommer 1970 im A_p einer sauren Braunerde, Reinhausen



Die N-Gehalte folgen - mit einer Ausnahme - den C-Gehalten bei einem durchschnittlichen C/N-Verhältnis von 10 - 12. Für die relative N-Gehaltserhöhung im Oktober ($C/N < 7$) läßt sich vorerst keine Erklärung finden.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit befaßt sich kritisch mit den von anderen Autoren festgestellten, z.T. erheblichen "zeitlichen" Schwankungen der organischen C-Gehalte in Ackerböden während des Ablaufs von Vegetationsperiode und Nacherntezeit. Anlaß ist der Vergleich gepflügter und bearbeitungsfrei genutzter Lößparabraunerden. Es wird gefragt, ob bzw. inwieweit die festgestellten zeitlichen C-Gehaltsschwankungen lediglich auf örtlichen Bodenunterschieden sowie methodischen Fehlern bei der Probenentnahme, Probenaufbereitung und der gasverbrennungsnanlytischen Bestimmung beruhen.

Auf gepflügten und längerfristig ungepflügt bestellten Lößparabraunerden wurden 1970 bis 1972 Probeentnahmen mit dem Bohrstock durchgeführt (3 x 5 Einstiche), die Bohrkerne in Tiefenabschnitte zerlegt, die Proben nach 3 Verfahren fraktioniert - totale Mahlung von Mischproben, Backenbrechung bzw. Absiebung des in der Schluff-Fraktion enthaltenen Feinhumus - und mit verschiedenen Einwaagemengen analysiert.

Der im dritten Jahr nicht mehr gepflügte Boden weist gegenüber dem weiter gepflügten einen Humus-C-Gewinn auf, der sich aber im wesentlichen nur auf die oberen 5 cm konzentriert und dort C-Gehaltserhöhungen von 0.13 bis 0.17 %, entsprechend 1.0 bis 1.3 t C / ha, bewirkt hat.

Die durch die Analysen-Einwaagen bedingten C-Gehaltsstreuungen sind besonders bei Vermahlung der Proben und geringer Einwaagemenge groß ($\pm$ 10 %, entsprechend $\pm$ 3 t C / ha im A_p). Steigerungen der Einwaagen können die Streubreite verringern.

Horizontale Verteilungs-Inhomogenitäten in der Ackerkrume

können Streuungen von $\pm$ 20 % (entsprechend $\pm$ 6 t C / ha im A_p) verursachen.

Die nach dem Bohrstockverfahren und den drei Aufbereitungsverfahren zu mehreren aufeinanderfolgenden Zeitpunkten ermittelten C-Gehalte sind trotz teilweiser hochsignifikanter Unterschiedlichkeit nicht oder zumindest nicht allein als Resultat von Humus-Ab- und -Aufbauvorgängen zu interpretieren, sondern überwiegend als Resultat vorgegebener örtlicher C-Gehalts-Differenzen zu deuten, deren Ausschaltung selbst bei weiterer Erhöhung der Probenzahl schwierig sein dürfte.

Die jeweils an einem Ort untereinander entnommenen Bohrproben zeigen in der Regel gleichläufige C-Gehaltswerte in allen Krumentiefen. Dies gilt nicht für den "Feinhumus" (Siebfraktion $<$ 63 µm), der in bestimmter Tiefe positive, in anderer Tiefe negative Abweichungen vom Jahresmittelwert der jeweiligen Tiefe aufweist und sich gegenläufig zum Gesamthumus verhalten kann.

Die horizontale C-Gehalts-Differenzierung der untersuchten A_p-Horizonte erscheint stärker als deren vertikale.

Untersuchungen über das horizontale Verteilungsmosaik von C-Gehalten in A_p-Horizonten lassen die Probenahme mittels zufällig gestreuter Einstiche im Hinblick auf zeitliche C-Gehaltstrends als ungeeignet erscheinen. Der Auswahl homogener Testareale muß der Vorrang gegeben werden.

Die detaillierte C-Gehaltsbestimmung an 1000 1-cm-Würfeln aus einem 1 dm^3 großen Krumenausstich unter Rüben erklärt die Ursache der Streuungen bei Bohrstock-Probeentnahmen: Dicht nebeneinander treten in der gepflügten Krume Kompartimente mit C-Gehalten von 0.60 % und 0.90 % bei einem Durchschnitt von 0.79 % C auf. Eine Annäherung an den tatsächlichen C-Gehaltsmittelwert erscheint nur durch die Vergrößerung des Entnahme-Volumens möglich.

In einem weiteren Versuch, durchgeführt in demselben Rübenbestand und ebenfalls - aus technischen Gründen - mit Hilfe

der Bohrstockprobenahme, allerdings mit sehr geringen Entnahme-Zeitabständen ergab sich ebenfalls, daß innerhalb der Vergleichsparzellen vorgegebene lokale C-Gehaltsunterschiede die eventuell vorhandenen zeitlichen Schwankungen überdecken bzw. solche Schwankungen vortäuschen. Der Vergleich der bewachsenen mit einer durch frühe Rodung erzeugten Brachfläche zeigte jedoch folgendes: Unterdrückt man durch Mittelwertbildung das "Rauschen" der C-Gehaltszeitkurve, so resultiert ein annähernd gleichbleibender C-Gehaltsspiegel, unter dem sich ein relativ starker Humusmineralisations- und C-Ersatzprozess verbergen kann. Aus den C-Gehaltsdifferenzen zwischen beiden Vergleichsparzellen ergab sich für Zuckerrüben ein wurzelbürtiger C-Ersatz in Höhe von 0.13 %, entsprechend 5.9 t C / ha. Dabei zeigte sich, daß die lokalen, das "Rauschen" erzeugenden C-Gehaltsunterschiede zu wesentlichen Anteilen auf die Inhomogenität der Wurzelverteilung zurückgeführt werden müssen.

Vergleichsuntersuchungen auf einer Sandbraunerde führten zu ähnlichen Resultaten wie bei den Lößparabraunerden.

8 LITERATUR

1 Becker, K.-W., u. B. Meyer, 1973: Verluste und Regeneration von organischem C in Böden unter besonderer Berücksichtigung des wurzelbürtigen Humusersatzes (Literaturübersicht), Göttinger Bodenkundl. Ber. 26, 39-48 (1973)

2 Becker, K.-W., u. B. Meyer, 1973: Freiland-Modellversuche zum Humus-Abbau, zur Wurzelbildung und Humusregeneration in schluffigen Ackerböden, Göttinger Bodenkundl. Ber. 26, 49-76 (1973)

3 Scheffer, K., u. B. Meyer, 1970: Zum Humushaushalt einer ungestörten und tief umgebrochenen Löß-Parabraunerde unter Ackernutzung, Göttinger Bodenkundl. Ber. 16, 99-125 (1970)