



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH

GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG

Arbeitsgruppe Radioagronomie

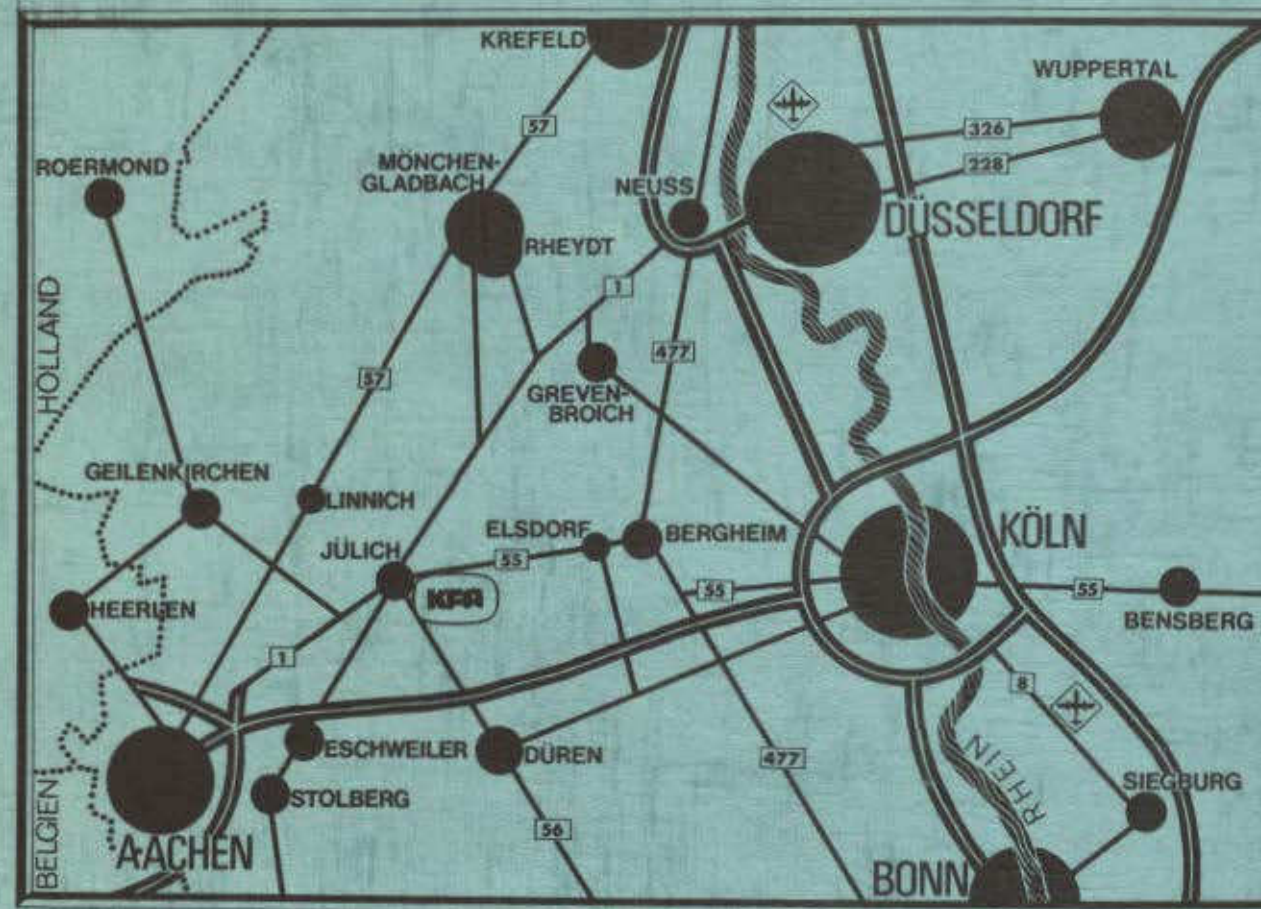
**Die Umsetzung organischer Substanzen
im Boden, Aufnahme von organischen
Verbindungen durch Pflanzenwurzeln und
Absorption, Translokation und
Remobilisierung von Calcium in Bäumen. —
Wissenschaftliche Arbeiten von 1962 bis 1974**

von

F. Führ

Jül - 1135 - RA
November 1974

Als Manuskript gedruckt



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Nr. 1135

Arbeitsgruppe Radioagronomie JÜl - 1135 - RA

Dok.: Tracer Technique
¹⁴C-Labeling
 Soil Organic Matter
 Plant Uptake
 Decomposition
 Pesticides
 Ca-Uptake
 Ca-Remobilization
 Microautoradiography

Im Tausch zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,
 Jülich, Bundesrepublik Deutschland

**Die Umsetzung organischer Substanzen
im Boden, Aufnahme von organischen
Verbindungen durch Pflanzenwurzeln und
Absorption, Translokation und
Remobilisierung von Calcium in Bäumen. –
Wissenschaftliche Arbeiten von 1962 bis 1974**

von

F. Führ

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. <u>Abbau von ^{14}C-markierten Substanzen im Boden und Aufnahme von organischen Verbindungen des Bodens durch Pflanzenwurzeln</u>	4
1.1 ^{14}C -Markierung von Pflanzen	4
1.2 Methodische Arbeiten zur Messung der spezifischen ^{14}C -Aktivität	5
1.3 Abbau von Stroh im Boden unter Feldbedingungen einschließlich Ergebnisse aus ^{15}N -Versuchen	5
1.4 Aufnahme von organischen Verbindungen des Bodens	12
1.41 CO_2 -Dunkelfixierung in Pflanzen	12
1.42 Aufnahme von Kohlenhydraten, Fulvosäuren, Huminsäuren, Lignin, D-/L-Leucin	13
2. <u>Forschungsarbeiten im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsprogramme der Kernforschungsanlage Jülich GmbH</u>	18
2.1 Translokation, Aufnahme, Degradation und Metabolisierung von bestimmten Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und Agrarchemikalien in Boden, Pflanze und Kleintier	19
2.11 Versuche mit Polyurethan-Hartschaum zu Fragen der Mineralisierung und Aufnahme durch Pflanzen	19
2.12 Bilanz- und Stoffwechsel von Wirkstoffen in Boden, Pflanze und Kleintier	21
2.2 Aufnahme, Ferntransport, Mobilisierung und Remobilisierung von bestimmten Nährionen in Pflanzen	23

2.21	Aufnahme und Transport von Calcium in Bäumen	24
2.22	Calcium-Fixierung - mikroautoradiographischer Nachweis	25
2.23	Remobilisierung von Calcium in fruchttragenden Obstbäumen	26

1. Abbau von ^{14}C -markierten Substanzen im Boden und Aufnahme von organischen Verbindungen des Bodens durch Pflanzenwurzeln

Kooperation mit dem Agrikulturchemischen Institut der Universität Bonn

In vielen Arbeiten über die Wirkung von natürlichen wie künstlichen Huminsäuren und deren Vorstufen auf das Pflanzenwachstum wurden physiologische Veränderungen in der Pflanze festgestellt, aus denen geschlossen werden konnte, daß diese organischen Verbindungen über die Wurzel aufgenommen werden. Auch die natürlichen Abbau- und Umsetzungsprodukte, die bei der Strohrotte entstehen, zeigten in einer Reihe von Versuchen ähnliche Wirkungen auf das Pflanzenwachstum, die nicht nur auf eine reine Nährstoffwirkung zurückgeführt werden können. Zu diesem Fragenkomplex wurde mit Hilfe von radioaktivem Kohlenstoff (^{14}C) die Humifizierung pflanzlicher Rückstände im Boden, die Aufnahme von Rotteprodukten durch Wurzeln und deren Einbau in der Pflanze untersucht.

1.1 ^{14}C -Markierung von Pflanzen

Als Ausgangsmaterialien für diese Untersuchungen wurden Pflanzen unmittelbar nach dem Keimen in ein spezielles Isotopengewächshaus überführt und in kontrollierter $^{14}\text{CO}_2$ -haltiger Atmosphäre uniform markiert (1). Bei spezifischer Aktivität über $300\text{ }\mu\text{Ci/g C}$ wurden erhebliche Strahlenschäden sichtbar: Gerste und Weizen gelangten nicht in die generative Phase, und bei 1 mCi/g C stellten Raps und Sonnenblumen bereits ihre vegetative Entwicklung ein. Nur Mais zeigte trotz einer Wachstumsdepression eine nahezu unbeeinflusste Chlorophyllbildung und Assimilation.

1.2 Methodische Arbeiten zur Messung der spezifischen ^{14}C -Aktivität

Im Zuge dieser Untersuchungen fielen sehr verschiedenartige ^{14}C -markierte Substanzen an: Boden, Stroh und Grünmasse, Strohrotteprodukte, Pflanzen- und Bodenextrakte bzw. -fraktionen. Für die serienmäßige Bestimmung geringer spezifischer ^{14}C -Aktivitäten in den verschiedenen Materialien wurde eine Methode entwickelt, die die Naßverbrennung nach von Slyke-Folch und titrimetrische Bestimmung der Kohlensäure nach Absorption in Alkalilauge kombiniert mit der unmittelbaren Flüssigkeits-Szintillationsmessung der Absorberlösung (2, 3). Gearbeitet wird im Halbmikromaßstab (ca. 5 mg C/Probe). Bei Verwendung geeigneter Absorptionsvorrichtungen reichen 8 ml 1 n NaOH für eine quantitative CO_2 -Bindung aus. Davon wird in 3 ml der Kohlenstoffgehalt titrimetrisch bestimmt und in 4 ml die ^{14}C -Aktivität gemessen.

1.3 Abbau von Stroh im Boden unter Feldbedingungen einschließlich Ergebnisse aus ^{15}N -Versuchen.

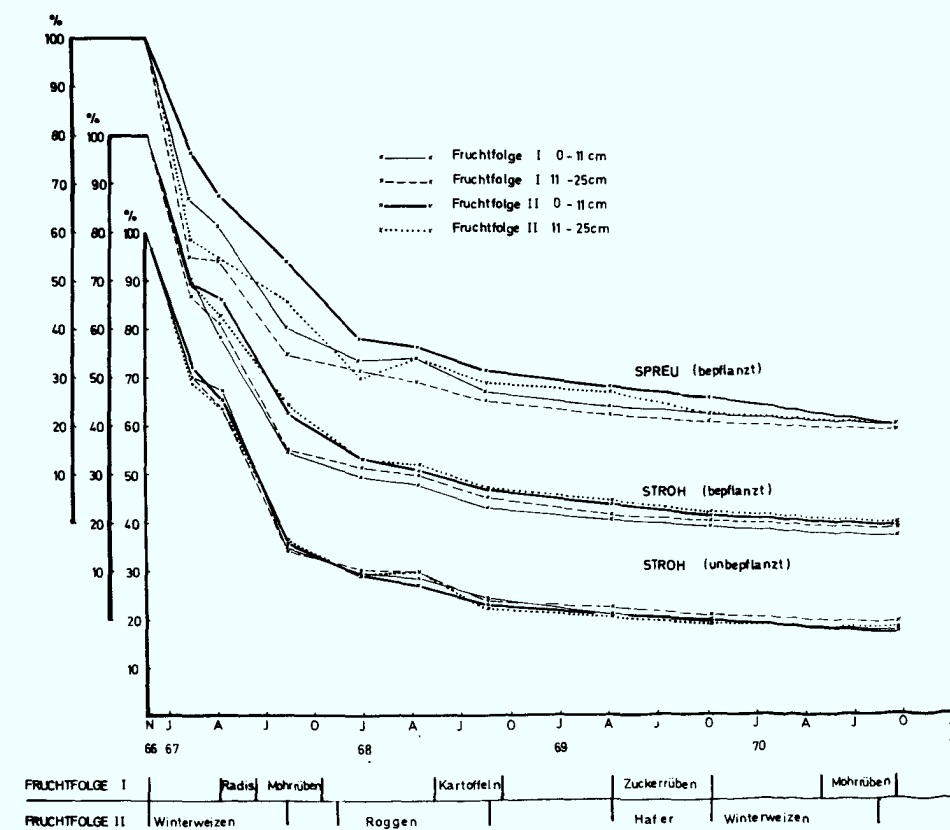
Ein wesentliches Problem bei der landwirtschaftlichen Betriebsvereinfachung in viehlosen Betrieben ist die Erhaltung des Humusgehaltes und damit der Fruchtbarkeit des Ackerbodens durch Strohdüngung. Der Abbau und die Humifizierung pflanzlicher Rückstände im Boden lassen sich mit den herkömmlichen Analyseverfahren kaum verfolgen, weil ihre Mengen im Vergleich zum Kohlenstoffgehalt des natürlichen Bodens zu gering sind. Erst der Einsatz von ^{14}C -markiertem Pflanzenmaterial als Humusrohstoff erlaubt eine einwandfreie Trennung zwischen diesem und dem sonstigen, im Boden vorhandenen Kohlenstoff.

Zur Nachprüfung früherer Ergebnisse aus Modellversuchen wurden im Jahre 1966 Kleinstparzellen eines Versuchsfeldes des Agrikulturchemischen Instituts der Universität Bonn mit ^{14}C -markiertem Weizenstroh bzw. -spreu gedüngt (45 g/715 cm² entspr. 60 dt/ha). Der Markierungsgrad betrug

$^{12}\text{uCi/g C}$. Seither werden der Abbau und die Humifizierung dieses Materials in Abhängigkeit von der Versuchsdauer und der Bodennutzung (Hackfrucht, Halmfrucht, Brache) auf chemischem und auf radiometrischem Wege (4, 5, 6) verfolgt.

Abbildung 1:

Der Verlust an ^{14}C -markiertem Stroh- und Spreukohlenstoff während der Umsetzung im Boden unter Feldbedingungen.



Die Abbaukurven auf Abb. 1 zeigen einen gewissen Einfluß der Jahreszeit und der Bepflanzung auf den Umsetzungsverlauf. Nach dem raschen Abbau der leicht zersetzlichen Anteile - 45 bis 65 % des zugesetzten Strohkohlenstoffs während der ersten sieben Monate - schreitet die weitere Mineralisierung der markierten Reste nur noch langsam fort. Zwischen 17 und 20 % des markierten Kohlenstoffs finden sich selbst nach vierjähriger Umsetzung noch im Boden.

Sowohl die Art des markierten Materials als auch die verschiedene Nutzung beeinflussen den Umsatzverlauf über mehrere Jahre hinweg signifikant. Die Spreu wird bis zum dritten Jahre deutlich langsamer abgebaut als das Stroh, wenn sich diese Unterschiede auch naturgemäß allmählich verringern.

Während der ersten Vegetationsperiode fand unter Hackfrucht und Brache ein bis zu 20 % stärkerer Abbau statt als unter Halmfrucht. Dies kann teilweise dadurch erklärt werden, daß die stärkere Bearbeitung der Hackfrucht- und Bracheparzellen die Bodendurchlüftung verbessert und die mikrobielle Aktivität gefördert hat. Diese Unterschiede im Abbau des markierten Materials haben sich nach der ersten Ernte und Bearbeitung der Halmfruchtparzellen zwar verringert, aber auch nach vier Jahren enthalten die Halmfruchtparzellen noch immer 2 % mehr von dem ursprünglich verabreichten Radiokohlenstoff als die übrigen Flächen. Bezogen auf die im Boden verbliebenen Reste betragen diese Unterschiede also etwa 10 %.

Fraktioniert man den Bodenumus nach dem Verfahren von Tjurin und vergleicht die jeweiligen Anteile an aktivem und inaktivem Kohlenstoff in den einzelnen Fraktionen, so findet sich in den wenig stabilen Fulvosäuren auch nach 4 Jahren noch relativ viel markierter Kohlenstoff, während in den stabileren Huminsäuren der unmarkierte Bodenkohlenstoff überwiegt. Demnach unterscheiden sich die im Boden verbliebenen Reste und Umsetzungsprodukte des markierten Weizenstrohs auch nach mehrjähriger Humifizierung in ihrer chemischen Zusammensetzung und Stabilität noch deutlich von der älteren organischen Masse des Bodens und werden dieser nur allmählich angeglichen.

Die Tatsache, daß auch von den kleinen praxisüblichen Gaben an Pflanzenmasse unter Feldbedingungen ca. 1/5 nach 4 Jahren noch im Boden zu finden ist, und daß dieser Rest zunehmend stabilisiert bzw. humifiziert wird, läßt die Bedeutung von Stroh- und Gründüngung für den Humushaushalt erkennen, auch wenn dies nach außen hin nicht durch Nettoänderungen im Kohlenstoffgehalt des Bodens in Erscheinung tritt.

Generell ist es auch heute noch äußerst schwierig, analytisch die qualitativen Veränderungen in der organischen Masse des Bodens zu erfassen. "Humus" ist nach wie vor ein komplexes Gemisch von verschiedenen organischen Verbindungen. Zur möglichst weitgehenden Auftrennung werden Extraktions- und Fraktionierungsmethoden angewandt, die selbst mehr oder weniger drastische Veränderungen bewirken können. In der Regel werden Bodenproben, denen ^{14}C -markierte organische Materialien zugesetzt wurden, in gewissen Zeitabständen analysiert, um das Ausmaß der Humusbildung im Vergleich zum markierten Ausgangsmaterial feststellen zu können. Die analytischen Ergebnisse hängen jedoch sehr stark ab von den angewandten Extraktions- und Fraktionierungsmethoden. Oxidation, Polymerisation sowie Kondensation und Hydrolyse treten vor allem dann während der Humusextraktion und Aufarbeitung auf, wenn speziell alkalische Lösungen als Extraktionslösungen eingesetzt werden. Und darüber hinaus ist es mit den konventionellen Methoden bisher nicht möglich, zwischen nicht-zersetzten Pflanzenmaterialien und bereits in der organischen Masse eingebauten Verbindungen zu unterscheiden.

Um das Ausmaß dieser Störeffekte zu zeigen, wurden ^{14}C -markierte Pflanzenmaterialien vor und nach ihrer Umsetzung sowie mit und ohne Boden extrahiert (7). Dabei zeigte sich, daß organische Verbindungen von unzersetzten Pflanzen nicht nur in den löslichen Fulvosäuren auftraten, sondern daß sie sogar in der Huminsäurefraktion gefunden wurden. Dieser Anteil an markierten Verbindungen in den Humin-

säuren stieg sogar noch an, wenn den unzersetzten Pflanzenmaterialien während der Extraktion Boden zugesetzt wurde. Von daher ist anzunehmen, daß während der Alkaliextraktion chemische Reaktionen zwischen dem Bodenhumus und den löslichen Pflanzenverbindungen stattfinden. Im Laufe der Abbauprozesse im Boden nahm der Anteil an Radiokohlenstoff in der Huminsäurefraktion ab. Eine Ausnahme bildete ein Unterboden mit sehr geringem Kohlenstoffgehalt.

Die Humifizierung von markierten Pflanzenmaterialien im Boden kann demnach nicht einfach mit Hilfe der Radioaktivitätsmessung von konventionell gewonnenen Humusfraktionen verfolgt werden. Solange stark alkalische Lösungsmittel eingesetzt werden, ist immer damit zu rechnen, daß die Verbindungen während der Extraktion verschiedenen Einflüssen unterliegen. Besonders drastische Veränderungen treten in kurzfristigen Umsetzungsversuchen auf. Verlässlichere Werte sind zu erwarten, wenn der Verlauf der Abbaukurve eine weitgehende Stabilisierung des verbleibenden Rückstandes im Boden erwarten läßt.

Der o.g. Umsetzungsversuch ergab zusätzlich Anhaltswerte über eine Aufnahme an mineralisiertem $^{14}\text{CO}_2$ durch die Folgepflanzen im ersten Versuchsjahr. Während im Februar 2,4 bis 3,7 % des Kohlenstoffs der jungen Winterweizenpflanzen aus dem mineralisierten Stroh stammten, nahm dieser Anteil bis zur Ernte auf 0,01 % ab (Tab. 1). Aus einer im Herbst verabreichten Strohdüngung von 60 dt/ha werden demnach von der folgenden Halmfrucht nur etwa 2 kg Kohlenstoff je ha aufgenommen bzw. assimiliert. Der "bodenfürtigen" Kohlen-säure scheint nach diesen Ergebnissen nur eine untergeordnete Bedeutung für die Substanzproduktion der Folgefrucht zuzukommen.

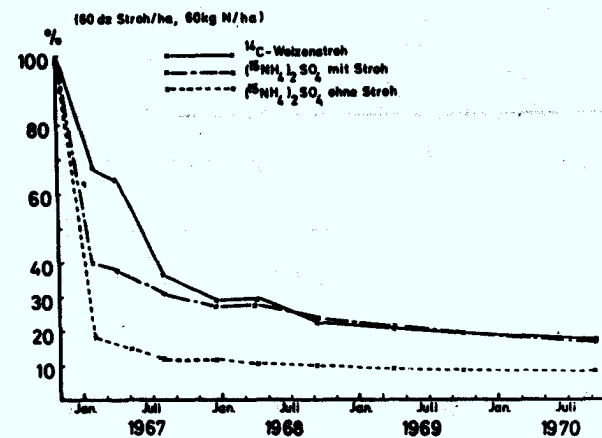
Tabelle 1:

Die Aufnahme von markiertem Strohkohlenstoff aus einer vorangegangenen Strohdüngung (entsprechend 60 dt/ha) durch die Folgefrucht Winterweizen in % des Gesamtkohlenstoffs dieser Pflanzen (Strohdüngung: 3.11.66, Weizensaat: 9.11.66)

Probenahme 1967	Februar	April	Mai	August	
Strohdüngung: ¹⁴ C-markiertes Pflanzenmaterial	junge Pflanzen %	junge Pflanzen %	junge Pflanzen %	Stroh %	Korn %
Stroh	2,44	0,12	0,09	0,014	0,008
Spreu	3,69	0,23	0,08	0,011	0,005

In Zusammenhang mit dem Abbauversuch unter Freilandbedingung wurde auch der Verlust bzw. Einbau von ¹⁵N-markiertem Ammoniumsulfat-Stickstoff in die organische Stickstofffraktion des Bodens unter dem Einfluß der gleichzeitig verabreichten Strohdüngung untersucht (8). Unter Brache befanden sich schon nach 3-monatiger Umsetzung über Winter (November bis Februar) nur noch 1 - 3 % des markierten ¹⁵N in der anorganischen Stickstoff-Fraktion. In Parzellen ohne Strohgabe wurden in diesem Zeitraum ca. 18 % in anorganische Form überführt, während bei Strohdüngung 40 % des Ammoniumdüngerstickstoffs in organischer Form wiedergefunden wurden (Abb. 2). Gleichlaufend mit dem Strohabbau findet also eine Fixierung der anorganischen Stickstoffs statt, und der Aufbau stabiler organischer Verbindungen trägt offenbar sehr wesentlich zu einer Erhaltung des Stickstoffverrats im Boden bei. Vergleicht man die Abbau-

Abbildung 2:
Verlust an markiertem Strohkohlenstoff und Düngerstickstoff im Boden unter Freilandbedingungen



kurve des ^{14}C -Weizenstrohs mit der Verlustkurve des Düngerstickstoffs (Abb.2), so verlaufen beide - abgesehen von den Unterschieden im ersten Jahr - parallel. Die Freisetzung des einmal fixierten Ammoniumstickstoffs aus der organischen Bindungsform erfolgte im gleichen Verhältnis wie die weitere Mineralisierung des

Reststrohkohlenstoffs. Daraus kann geschlossen werden, daß schon im Laufe des intensiven Abbaus in den ersten Monaten der Umsetzung der anorganische Stickstoff relativ gleichmäßig in die neugebildeten Umsetzungsprodukte eingebaut wurde.

Auffallend hoch sind die Anfangsverluste an Dünger-Stickstoff während der Umwandlung in organische Bindungsformen. Während eines Forschungsaufenthalts an der Iowa State University/Ames/Iowa/USA wurde in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. J.M. Bremner den Fragen der N-Fixierung durch Reaktionen mit der organischen Masse des Bodens sowie auch den gasförmigen N-Verlusten nachgegangen (9, 10, 11).

Mit $^{15}\text{NO}_2$ ließ sich zeigen, daß Reaktionen zwischen Nitrit und der organischen Masse des Bodens zu einer Fixierung von $\text{NO}_2\text{-N}$ in organische Bindungsformen führt unter gleichzeitiger Bildung von gasförmigen Stickstoffverbindungen wie N_2 , N_2O , NO und Methylnitrit. Bei dem Fixierungsprozess handelt es sich um rein chemische Vorgänge ohne Beteiligung von Mikroorganismen. Die Reaktionen sind pH-abhängig und treten sowohl in sauren, neutralen als auch

in leicht alkalischen Böden auf. Mit fallendem pH-Wert werden steigende Mengen an Nitrit-N fixiert. Zunehmender Feuchtigkeitsgehalt im Boden unterbindet die Reaktionen. Vorwiegend ist die Ligninderivatfraktion des Humus für die Fixierung von Nitrit-N verantwortlich, und zwar unter Verlust von Methoxylgruppen.

1.4 Aufnahme von organischen Verbindungen des Bodens

Beim mikrobiellen Abbau von Pflanzenrückständen im Boden entstehen u.a. auch Verbindungen, denen ein positiver Einfluß auf das Wachstum zugeschrieben wird. Mit ^{14}C -markierten Strohrotteprodukten, Fulvosäure- und Humusfraktionen sowie Lignin wurde untersucht, in welchem Umfang Pflanzenwurzeln diese Verbindungen aus Nährlösung und Boden aufnehmen, innerhalb der Pflanze verlagern und in ihren Stoffwechsel einbeziehen.

1.41 CO_2 -Dunkelfixierung in Pflanzen

Da jeweils mit nicht-sterilen Medien gearbeitet wurde, unterlagen die ^{14}C -markierten Verbindungen dem mikrobiellen Abbau und $^{14}\text{CO}_2$ entstand als Ausscheidungsprodukt, das ebenfalls von Pflanzenwurzeln aufgenommen werden kann (CO_2 -Dunkelfixierung). Um diese mögliche Fehlerquelle bei Aufnahmeversuchen mit ^{14}C -markierten organischen Verbindungen einzugrenzen oder zu erfassen, wurden vorab Umfang und beeinflussende Faktoren der CO_2 -Dunkelfixierung durch Pflanzenwurzeln untersucht (12, 13, 14, 15).

In geschlossenen Wurzelsystemen wurde Sonnenblumen $^{14}\text{CO}_2$ in Konzentrationen von 0,5 bis 4,6% angeboten. Die Wurzelfixierte Kohlensäure betrug über einen Zeitraum von 6 Tagen ca. 1,3 % der Gesamtassimilation an Kohlenstoff. Die CO_2 -Fixierung der Wurzeln erwies sich dabei als stark konzentrationsabhängig. Unter Feldbedingungen mit CO_2 -Konzentrationen in der Bodenluft unter 0,5 % dürfte dieser Anteil 0,2 % nicht überschreiten. Für die Kohlenstoffbilanz der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ist die CO_2 -Dunkel-

fixierung sicher von untergeordneter Bedeutung. In Versuchen zur Aufnahme von ^{14}C -markierten organischen Verbindungen genügen diese geringen Mengen jedoch, um die Aussagekraft empfindlich zu beeinflussen. Aufgrund der Ergebnisse wurde deshalb eine spezielle Versuchstechnik entwickelt, die ein Entweichen des markierten $^{14}\text{CO}_2$ in die Sproßatmosphäre verhinderte, entstehendes $^{14}\text{CO}_2$ möglichst rasch aus dem Wurzelmedium entfernte und außerdem durch Einschalten von Vergleichspflanzen, deren Wurzeln in Reihe belüftet wurden, eine Korrektur ermöglichte (15).

1.42 Aufnahme von Kohlenhydraten, Fulvosäuren, Huminsäuren, Lignin, D-/L-Leucin

In Tabelle 2 sind einige Ergebnisse aus Aufnahmeversuchen in Nährlösung zusammengestellt (16, 17, 18, 19, 20). In Abhängigkeit von der Versuchsdauer und von der organischen Fraktion wurden zwischen 6,6 und 37 % des angebotenen markierten Kohlenstoffs in der Wurzelmasse gefunden, während im Durchschnitt weniger als 1 % in die Sprosse verlagert wurde. Die Ergebnisse einer Stoffgruppenanalyse lassen vermuten, daß vorwiegend niedermolekulare Verbindungen innerhalb der Pflanze transloziert und metabolisiert wurden.

Eingehender untersucht wurden die Wurzeln, da nahezu ausgeschlossen werden kann, daß Pflanzenwurzeln innerhalb von wenigen Tagen nahezu 10 % ihres Gesamtkohlenstoffs aktiv aus den angebotenen organischen Verbindungen aufnehmen und einbauen. Autoradiogramme von Speicherwurzeln wie Rettich (17) und Mohrrüben (18, 19) sowie Mohrrübenwurzeln (18) zeigten, daß nach Angebot von niedermolekularen Verbindungen ^{14}C relativ stark im Holzkörper, speziell in den Leitbahnen, aber auch gleichmäßig in der Rindenzone verteilt ist. Die stärkste Konzentrierung tritt jedoch in der Epidermisregion auf. Nach Angebot von höhermolekularen Verbindungen wie Huminsäuren ist der markierte Kohlenstoff ausschließlich in der Epidermis lokalisiert. Dabei war

Tab. 2: Die Verteilung von Radiokohlenstoff in Pflanzen nach Angebot von ^{14}C -markierten Humusfraktionen in Nährlösung.

Humus- fraktion	mark.C/l mg	Vers. dauer d	Pflanzen	% des mark. Kohlenstoffs in		
				Sprossen	Speicher- organen	Wurzeln
H_2O -Extrakt	50	7	Sonnen- blumen	0,4		8,2
	100	7	"	0,4		8,5
	150	3	Rettich	0,1	0,3	6,9
	150	3	Mohrrüben	3,3	4,0	23,5
NaOH-Extrakt	50	7	Sonnen- blumen	0,3		6,6
	100	7	"	0,3		8,6
	150	3	Mohrrüben	0,5	1,6	10,9
Fulvosäuren	50	7	Sonnen- blumen	0,2		11,0
	100	7	"	0,3		9,0
	150	3	Rettich	0,8	0,7	15,8
	150	3	Mohrrüben	0,8	1,7	23,2
Huminsäuren	50	7	Sonnen- blumen	0,2		37,0
	100	7	"	0,1		31,1
	150	3	"	0,3		21,9
	75	3	Mohrrüben	0,1	1,6	12,3

nicht genau zu differenzieren, ob die organischen Verbindungen bereits die Epidermis passiert hatten oder nur an oder in der Epidermisregion adsorptiv festgehalten wurden.

Offenbar üben die Epidermiszellen gegenüber den mehr dispergierten als gelösten Huminsäuren z.B. einen Siebeffekt aus. Während der Wasseraufnahme werden die organischen Verbindungen mehr oder weniger passiv in den "apparent free space" (AFS) der Wurzeln transportiert. Ein weiteres Eindringen in das Wurzelinnere hängt dann weitgehend von der Permeabilität der Zellmembranen ab. Über Lipidstellen in der Membran könnten sicher lipophile Substanzen passieren. Für höhermolekulare Verbindungen wirken die Zellmembranen jedoch wie Molekularfilter, so daß es leicht zu einer Akkumulation an oder in der Epidermis kommen kann. Hinzu kommt natürlich bei den säurefällbaren Humusstoffen die einfache Immobilisierung durch Koagulation infolge der Funktion der Wurzel als wasserstoffionenbelegter Kationenaustauscher. Diese Annahme wird unterstützt durch das Ergebnis einer Wurzelwäsche mit Na^+ gesättigtem Dowex A 1-Austauscher (pH 10,3): bis zu 74 % des fixierten Huminsäurekohlenstoffs ließen sich wieder in Lösung bringen, ohne daß mikroskopisch Veränderungen an der Wurzel festzustellen waren (19, 20).

Die chemische Stoffgruppenanalyse zeigte bei Sproßteilen und teilweise auch bei Mohrrüben eine Anhäufung des Radio-kohlenstoffs in den Komponenten des Zuckerstoffwechsels, und zwar unabhängig von der Art der angebotenen Rotteprodukte. Daraus wird geschlossen, daß die Pflanzen in erster Linie die niedermolekularen Spaltprodukte aus den Rotteprodukten translozieren und einbauen.

Die vielfach beobachteten positiven Einflüsse von mikrobiellen Abbauprodukten werden vorwiegend auf phenolische Verbindungen zurückgeführt, die als mikrobielle Degradationsprodukte der Huminsäuren bzw. des Lignins auftreten. Mit ^{14}C -markierten Phenolcarbonsäuren ist deren Aufnahme und

Tabelle 3:

Die Aufnahme von ^{14}C -markiertem Ligninkohlenstoff durch Wurzeln von *Helianthus annuus* (5 Pflanzen/Gefäß, 50 mg Lignin-C/kg Boden)

Boden	pH	Pflanzenteil	mark. C in den Pflanzen	
			in μg	in % ⁺
Mülldorf (Sandboden, 0,31% C)	5,6	Blätter	12	
		Stengel	8	
		Wurzeln	<u>400</u>	
		Gesamt	420	0,84
Meckenheim (Parabraunerde, 0,97 % C)	6,7	Blätter	16	
		Stengel	10	
		Wurzeln	130	
		Gesamt	156	0,31

⁺ % der Ligninkohlenstoffgabe

Stoffwechsel in der Pflanze intensiv erforscht worden. Allerdings stammen diese Ergebnisse fast ausschließlich aus Vegetationsversuchen in Nährlösung, in denen sowohl die Pflanzenwurzeln als auch die getesteten organischen Verbindungen - wie bereits oben gesagt - anderen Bedingungen unterworfen sind als im Boden. Deshalb wurde zusätzlich untersucht, in

welchem Umfang ^{14}C -markierte Verbindungen während eines 4-wöchigen Ligninabbaus im Boden durch Pflanzenwurzeln aufgenommen werden (20, 21). Sonnenblumenpflanzen nahmen nur etwa $0,25 \text{ mg} = 0,5 \%$ des markierten Ligninkohlenstoffs auf (Tabelle 3). 90 % dieser Menge verblieb in den Pflanzenwurzeln und zwar überwiegend in der Ligninfraktion. Die relative Verteilung des Ligninkohlenstoffs auf Sproß und Wurzel entsprach derjenigen von markiertem Huminsäurekohlenstoff in Pflanzen aus Nährlösungsversuchen. Absolut gesehen war die Aufnahme aus dem Boden jedoch sehr viel geringer.

Nach allen bisherigen Erkenntnissen können nur niedermolekulare Ligninspaltstücke die Wurzelepidermis durchdringen. Für den Kohlenstoffhaushalt der Pflanzen sind die aufgenommenen Mengen bedeutungslos. Vorausgesetzt aber, daß es sich um physiologisch aktive Substanzen handelt, ist eine Beeinflussung des pflanzlichen Stoffwechsels auch durch derart geringe Mengen durchaus möglich.

Die zunehmende Spezifität der analytischen Verfahren hat auch zu einer intensiveren Betrachtung der Aminosäurefraktion des Bodens geführt und detaillierte Angaben über deren Zusammensetzung und Gehalt geliefert. In diesem Zusammenhang stieß man auch auf Aminosäuren in der D-Konfiguration, die als mikrobielle Ausscheidungsprodukte und Bestandteile von Kapselsubstanzen und Zellwänden verschiedener Bakterien, Insekten und Erdwürmer identifiziert werden konnten. Nach neuesten Angaben können zwischen 10 und 45 % der freien Aminosäuren im Boden aus der optisch-aktiven D-Form bestehen.

Aus diesem Grunde wurde in gleicher Weise wie oben beschrieben die Wurzelaufnahme von D- und L-Leucin- $1\text{-}^{14}\text{C}$ untersucht (22, 23). L- als auch D-Leucin wurde von *Vicia faba*-Wurzeln aus Nährlösung und Boden in annähernd gleichen Raten aufgenommen. Beim Stoffwechsel von L- und D-Leucin in der Pflanze entstehen mit Ausnahme des N-Malonyl-D-Leucins zwar die gleichen

Metaboliten, jedoch sind Stoffwechselverhalten und Verwendung des L- und D-Leucins in der Pflanze völlig verschieden. Während das L-Isomer vorwiegend zur Proteinsynthese verwandt wird, wirkt D-Leucin in der Pflanzenzelle als störender Ballast. Es wird deshalb in einem Acylierungsprozess mit Malonsäure fixiert und nur sehr zögernd abgebaut.

In den proteingebundenen Aminosäuren der mit D-Leucin behandelten Pflanzen wurde, obwohl ^{14}C -D-Leucin nicht in Protein eingebaut werden kann, ^{14}C -Aktivität nachgewiesen. Da in der Pflanze bislang kein Enzym zur Racemisierung von D- in L-Leucin nachgewiesen werden konnte, ist anzunehmen, daß durch Desaminierung zur ^{14}C - α -Ketoisocapronsäure und anschließender Transaminierung dieses Metaboliten eine Konfigurationsumwandlung zum ^{14}C -L-Isomer stattgefunden hat, das dann in Proteine eingebaut wurde.

2. Forschungsarbeiten im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsprogramme der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Ab 1969/70 erfolgte eine Konzentrierung der Aufgaben der Arbeitsgruppe Radioagronomie im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsprogramme der Kernforschungsanlage Jülich GmbH auf zwei Problemstellungen (24):

1. Translokation, Aufnahme, Degradation und Metabolisierung von bestimmten Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und Agrarchemikalien in Boden, Pflanze und Kleintier.
2. Aufnahme, Ferntransport, Mobilisierung und Remobilisierung von bestimmten Nährionen in Pflanzen.

Die im Zuge der in Teil 1 dargestellten Arbeiten entwickelten Tracertechniken konnten im vollen Umfang bei diesen Untersuchungen eingesetzt werden.

2.1 Translokation, Aufnahme, Degradation und Metabolisierung von bestimmten Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und Agrarchemikalien in Boden, Pflanze und Kleintier.

Im Pflanzenbau kommen in steigendem Maße synthetische Verbindungen zum Einsatz, sei es in Form von Kultursubstraten zur Erleichterung der Anbautechnik oder als Pflanzenschutzmittelwirkstoffe zur Vermeidung von Ernteverlusten. Dabei werden in der Regel Fremdstoffe in das System Boden/Pflanze gebracht, die heute mit sicheren Methoden im behandelten Material nachgewiesen werden können. Es kommt jedoch nicht nur darauf an festzustellen, daß von einem Fremdstoff nur ein möglichst geringer Rückstand in der Nahrung verbleibt. Ebenso wichtig ist es, den weiteren Weg der Ausgangsverbindung im Boden, in Pflanzen und Ernteprodukten und im Tier zu verfolgen und zu prüfen, ob und in welchem Umfang Tochtersubstanzen entstehen, die ihrerseits schädlich für den Menschen sein können.

Mit Hilfe einer ^{14}C -Markierung an definierten Positionen eines Moleküls wird es möglich, Angaben über Stabilität, Aufnahme durch Pflanzen und Stoffwechsel in Pflanze und Kleintier zu erarbeiten (25).

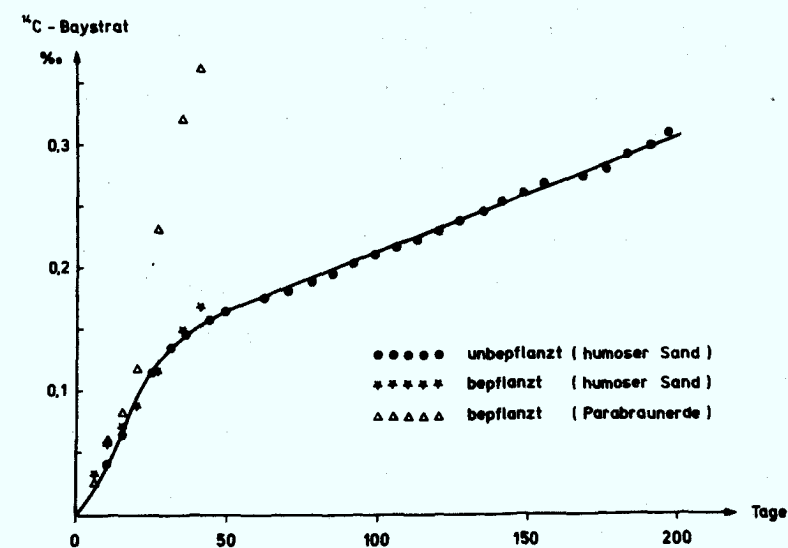
2.11 Versuche mit Polyurethan-Hartschaum zu Fragen der Mineralisierung und Aufnahme durch Pflanzen

Polyurethan-Hartschaumstoffe spielen in technischen Sektoren seit mehr als 20 Jahren eine bedeutende Rolle. Neben diesen Anwendungen sind auch Produkte für den Gartenbau und Zierpflanzenbau entwickelt worden. Spezielle offenzellige, hydrophile Polyurethan-Hartschäume erwiesen sich dabei aufgrund ihrer Zellgrößenverteilung und ihres Wasseraufnahme- und Speicherungsvermögens als ideales synthetisches Substrat für die Stecklingsvermehrung in Kombination mit einer dosierten Nährlösungsanwendung. Im praktischen Einsatz zeigte das Substrat große Verrottungsfestigkeit. Aufgrund dieser Eigenschaften erscheinen eine weitgehende Standardisierung der gärtnerischen Pflanzenproduktion, der Einsatz von Ansaatsubstraten und eine

Industrialisierung der Pflanzenproduktion in Gebieten, die trotz bodenmäßig schlechtester Voraussetzung klimatische Vorteile besitzen, denkbar. Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten für die Anwendung dieser neuartigen Polyurethan-Systeme wurden mit dem Polyurethan-Hartschaum "Baystrat", ^{14}C -markiert in den Diphenylmethangruppen, Bilanzversuche zur Aufnahme von markiertem Kohlenstoff während der Stecklings- und Senkerbewurzelung in Baystrat-Blöcken sowie zur Aufnahme durch intakte Pflanzen und Mineralisierung im Boden durchgeführt (26, 27).

Abbildung 3:

Die Mineralisierung von ^{14}C -Baystrat im Boden in ‰ der zugesetzten Menge (Baystratgabe:unbepflanzt = 1025 ppm; bepflanzt = 2480 ppm)



Baystrat erwies sich als äußerst stabil gegen einen mikrobiellen Abbau. Nach Mineralisierungsraten von 0,003 ‰/Tag während der Anfangsphase ergab sich im Langzeitversuch im Boden ein Gesamtabbau von nur 0,3 ‰/Jahr. Daraus kann geschlossen werden, daß auch nur ein sehr begrenztes Angebot an aufnehmbaren, niedermolekularen Verbindungen aus dem Baystrat freigesetzt wird. In den Kurzzeitversuchen (bis zu 60 Tagen) enthalten zwar die Blätter und Stengel von Tomaten, Gurken und Erdbeeren ^{14}C -Aktivität, die bis 5 ppm Baystrat-Äquivalent in der Frischmasse repräsentieren.

In Langzeitversuchen (90 bis 185 Tage) nach Zusatz von Baystrat in Boden betragen die aufgenommenen Mengen 0,1 ppm und in den Früchten sogar unter 0,01 ppm. Inwiefern die ^{14}C -Aktivität bereits ausreicht, auch dünn-schicht-chromatographisch Metaboliten der kernmarkierten Diphenylmethangruppe bzw. aus deren Derivaten aufzufinden und nachzuweisen, hängt von der Verteilung der ^{14}C -Aktivität auf die in Frage kommenden Verbindungen ab und wird zur Zeit überprüft.

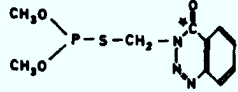
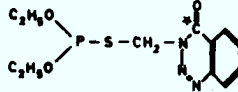
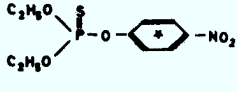
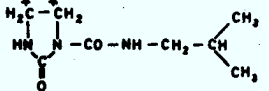
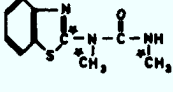
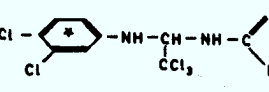
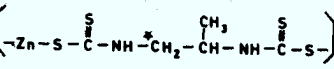
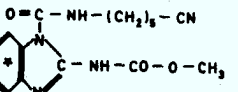
2.12 Bilanz- und Stoffwechsel von Wirkstoffen in Boden, Pflanze und Kleintier.

Der Schwerpunkt der Arbeiten in diesem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben liegt eindeutig auf dem Gebiet der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe.¹⁾ So werden zur Zeit Bilanz- und Stoffwechselversuche mit insgesamt 8 Wirkstoffen durchgeführt (siehe Abbildung 4). Die Arbeiten an den Wirkstoffen Chloraniformethan und Isocarbomid in Boden und Pflanze sowie über das Verhalten des insektiziden Wirkstoffs Gusathion im Huhn sind weitgehend abgeschlossen. Veröffentlichungen befinden sich in Vorbereitung (28, 29, 30, 31, 32). Die Ergebnisse aus Bilanz- und Stoffwechselversuchen mit dem herbiziden Wirkstoff Methabenzthiazuron werden einschließlich einer ausführlichen Beschreibung der speziellen Versuchstechniken im Rahmen einer gesonderten Arbeit dargestellt (33).

Zum Teil werden diese Untersuchungen in Zusammenarbeit mit verschiedenen Hochschulinstituten der Universität Bonn (Institut für Anatomie, Physiologie und Hygiene der Haustiere; Lehr- und Forschungsbereich Biochemie; Agrikulturchemisches Institut) sowie der Washington State University, Pullman/USA (Department of Agronomy and Soils) durchgeführt (34). Fragestellungen von besonderem akademischen Interesse werden im Rahmen von gemeinsam betreuten Dissertationen untersucht.

1) Zusammenarbeit mit der Bayer AG Leverkusen

Abbildung 4:
Pflanzenschutzwirkstoffe

<u>Insektizide</u>		
	Kurzbezeichnung Azinphosmethyl	Als Wirkstoff in: Gusathion®
	Kurzbezeichnung Azinphosäthyl	Als Wirkstoff in: Gusathion A®
	Kurzbezeichnung Parathion	Als Wirkstoff in: E 605®
<u>Herbizide</u>		
	Kurzbezeichnung Isocarbomid	Als Wirkstoff in: Merpelan A-Z®
	Kurzbezeichnung Methabenzthiazuron	Als Wirkstoff in: Tribunil®
<u>Fungizide</u>		
	Kurzbezeichnung Chloraniformethan	Als Wirkstoff in: Imugan®
	Kurzbezeichnung Propineb	Als Wirkstoff in: Antracol®
	Kurzbezeichnung Cypendazol	Als Wirkstoff in: Folicidin®

So gab es bislang keine Untersuchungen zum Einfluß von Bioziden auf den Nukleinsäuren- und Proteinstoffwechsel im Hühnerembryo. Bevor man die Ursachen der Biozidwirkung auf den Hühnerembryo studieren konnte, war es unumgänglich, bestimmte Vorarbeiten zu leisten. Hierzu gehörte die Erarbeitung bestimmter grundlegender Kenntnisse zur Biosynthese von Protein- und Nukleinsäuren sowie deren Umsetzung im Hühnerembryo. Es wurden Methoden zur Extraktion, Säulenchromatographie und Gelelektrophorese von embryonalen Nukleinsäuren teils neu entwickelt und teils speziell weiterentwickelt (35, 36). Mit deren Hilfe wurden Art

und Verteilung der aus Hühnerembryonen extrahierbaren Nukleinsäuren sowie die Charakterisierung von DNS und RNS anhand ihrer Basenzusammensetzung studiert (37, 38). Neben genaueren Informationen über die Verteilung von Nukleinsäuren stand auch die Frage nach der Biosynthese dieser Verbindungen im

Blickpunkt. Als geeigneter Baustein für die Synthese der verschiedenen RNS bot sich ^{14}C -markiertes Uracil besonders an, um möglichst auch Überlagerung mit der Synthese von DNS zu vermeiden.

Die spezifische Radioaktivität der aus Hühnerembryonen extrahierten Nukleinsäuren war nach Applikation von $2\text{-}^{14}\text{C}$ -Uracil relativ niedrig. Der Anteil der DNS-Radioaktivität lag bei 35 %. Dabei wurden Thymin, Cytosin, Adenin und Guanin mit ^{14}C aus Uracil markiert. Auch die RNS-Nukleotide CMP, AMP, UMP und GMP enthielten ^{14}C . Ebenfalls konnte ein Einbau von ^{14}C aus Uracil in proteingebundene und freie Aminosäuren im Dotter und Embryo festgestellt werden. Ein Einfluß von DDT - 1 mg DDT in den Dottersack injiziert am 7. Inkubationstag - auf das Verteilungsprofil von Nukleinsäuren konnte nicht beobachtet werden (37).

Aus der Zusammenarbeit mit den Agrikulturchemischen Instituten entstand eine Studie über Stabilität, Wurzelaufnahme und Verteilung von Steroidhormonen unter Verwendung von Pregnenolon- $4\text{-}^{14}\text{C}$ (39). Pregnenolon erwies sich im Boden als äußerst instabil. Nur in Sandkultur bei einem retardierten Pregnenolonabbau ließ sich ^{14}C -Pregnenolon in 16 Tagen alten Weizenkeimpflanzen chromatographisch feststellen.

2.2 Aufnahme, Ferntransport, Mobilisierung und Remobilisierung von bestimmten Nährionen in Pflanzen.

Bekanntlich verursacht im Obstbau die Stippigkeit, eine Nekrose an Apfelfrüchten, aufgrund von Qualitätsminderungen schweren wirtschaftlichen Schaden. Ähnliche Symptome treten auch bei anderen Spezies an Früchten oder vegetativen Organen auf. Sie alle sind nachweislich mit einem geringen Calcium-Gehalt der betroffenen Organe korreliert, wenngleich nicht verkannt werden darf, daß auch andere Nährstoffe und Faktoren bei der Suche nach den Ursachen dieser nekrotischen Veränderungen beachtet werden müssen. Aus einer Reihe von Arbeiten auf diesem Gebiet geht jedoch her-

vor, daß die Nekrose nicht unmittelbar mit einer mangelhaften Calcium-Aufnahme der gesamten Pflanze einhergehen muß, sondern daß vielmehr die Verteilung dieses Nährstoffs innerhalb der Pflanze bzw. des befallenen Organs unzureichend oder gestört erscheint. Ein umfassenderes Verständnis der Calcium-Translokation, insbesondere in ihrer Beziehung zu Wachstum und Entwicklung der Pflanze im Verlaufe der gesamten Vegetationsperiode, ist deshalb wichtige Voraussetzung, den genannten Schädigungen wirksam begegnen zu können.

2.21 Aufnahme und Transport von Calcium in Bäumen

Über das Transportverhalten von Calcium in der höheren Pflanze existieren zahlreiche Arbeiten, doch wurden diese Versuche vorwiegend mit krautigen Pflanzen durchgeführt. Über Gehölzpflanzen und speziell über fruchttragende Obstgehölze liegen dagegen nur sehr begrenzt Informationen vor. Bei den wenigen Versuchen an fruchttragenden Obstbäumen handelt es sich um Untersuchungen an Teilorganen bzw. um Experimente, in denen Injektionen oder andere Maßnahmen vorgenommen wurden, die stets einen künstlichen Eingriff in das Gesamtgeschehen der Pflanze bedeuten und so oftmals nur Teilaussagen erlauben. Aus diesem Grunde wurde in einem umfangreichen Freilandversuch an fruchttragenden Apfelbäumen (Cox Orangen Renette/M 9) in Topf-Sandkultur die Translokation von ^{45}Ca in Abhängigkeit vom Aufnahmezeitpunkt durch die Wurzel untersucht (40). Die Markierung (4 Bäume/Versuch) erfolgte:

1. Vor und während des Frühjahrsaustriebs (23.3. bis 15.5.71),
2. im frühen Stadium der Fruchtentwicklung (2.6. bis 16.6.71)
- und 3. nach Triebabschluß der Bäume (16.8. bis 30.8.1971).

Radioaktives Calcium erreichte bereits einige Tage vor der vollen Blüte die Infloreszenzen. Mit fortschreitendem Austrieb der Bäume nahmen die Ca-Translokation in alle Teile der Baumkrone schnell zu. Die junge Frucht zeigte zunächst eine kräftige "sink"-Wirkung, wenn auch - bezogen auf das

Gewicht - mehr Calcium ins Blatt transportiert wurde. So wanderte das Calcium in den ersten Markierungsversuchen bevorzugt in die jungen Blätter der noch wachsenden saisonalen Triebe.

Im August (ca. 14 Wochen nach der Blüte) war dagegen die Calcium-Translokation in den gesamten oberen Baum stark herabgesetzt, obwohl die Bäume in diesem Monat den größten Wasserverbrauch (2-fach mehr als im Juni) verzeichneten. Zur Frucht wurde nur noch eine sehr geringe Calcium-Rate transportiert. Hingegen war die Calcium-Ablagerung in Pflanzenorganen mit noch meristematischen Geweben, wie den Blüten- und Blattknospen relativ groß. Im Blatt wurde Calcium im Stiel und im Bereich der Blattadern weitgehend zurückgehalten. Eine unterschiedliche Calcium-Ablagerung in den einzelnen Blättern am Jahrestrieb war im August nicht zu beobachten.

Diese Versuchsergebnisse zeigen, daß neben der Transpiration Wachstumsstadien, die die Pflanzenorgane während der Vegetationsperiode durchlaufen, entscheidenden Einfluß auf die Calcium-Verteilung im Baum ausüben. In einer nach faktoriellen Gesichtspunkten angelegten Versuchsanordnung wurden an Apfelsämlingen die Wechselwirkungen zwischen dem Spurennährstoff Bor und dem Makronährstoff Calcium bezüglich Absorption und Translokation untersucht (41).

2.22 Calcium-Fixierung - mikroautoradiographischer Nachweis

Bei Studien zur Lokalisation der Transportbahn von ^{45}Ca im Fruchtstielgewebe von Apfelfrüchten konnten mit Hilfe der mikroautoradiographischen Technik radioaktiv markierte Kristallablagerungen besonders effektiv im Dunkelfeld sichtbar gemacht werden (42). 4 Wochen nach der Junimarkierung waren vor allem im Bereich des Phloems, häufig auch an den Grenzen zwischen Sklerenchym und Rindenparenchym, aber auch im Rindenparenchym nahe der Epidermis und im Mark ^{45}Ca -markierte Kristallabscheidungen zu beobachten. Desgleichen wurden sie verbreitet in der Nähe von Gefäß-

bündeln im Fruchttinnern festgestellt. Nach einer ^{45}Ca -Injektion (Trogapplikation) in einen Apfelzweig im Mai etwa 25 cm unterhalb der Fruchtinseration waren markierte Kristallaggregate bereits nach 20 Stunden nachweisbar.

Die Befunde zeigen, daß auf dem Wege zur Frucht lateral verlagertes Calcium rasch dazu benutzt wird, um lösliches Oxalat - möglicherweise auch gerade in den besonders stoffwechselaktiven Zellen der Transportbahn, wie z.B. den Geleitzellen - aus dem Stoffwechsel zu entfernen. Insgesamt scheint jedoch die physiologische Rolle der Oxalsäure immer noch nicht befriedigend geklärt zu sein.

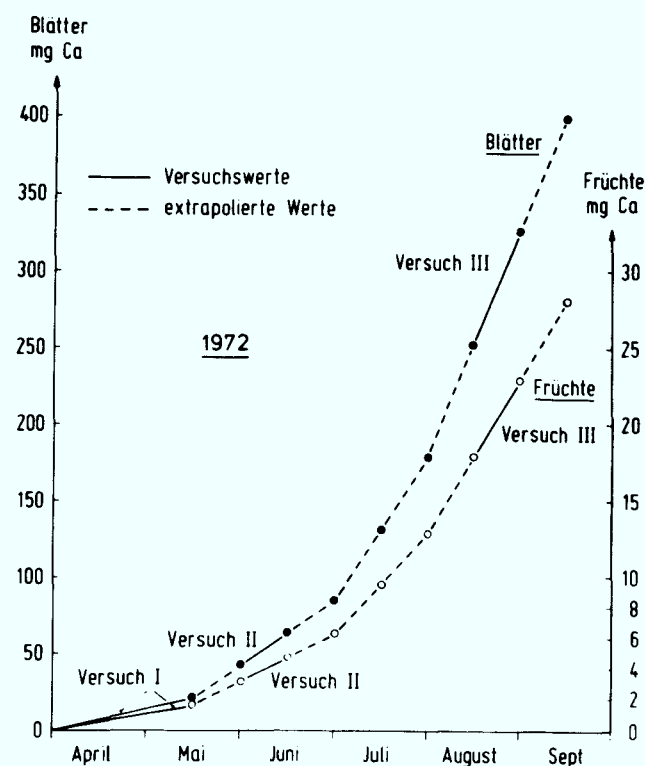
Im Zuge dieser Untersuchungen galt es auch, technische Probleme der Mikroautoradiographie zu lösen (43). Bei der Lokalisierung von löslichen Substanzen im pflanzlichen Gewebe mit Hilfe der Mikroautoradiographie müssen von der Entnahme der Segmente bis hin zur Entwicklung der Mikrofilme alle Schritte ausgeschaltet werden, die zu einer Verlagerung oder Auswaschung der fraglichen Substanz führen. In umfangreichen Testserien wurden die publizierten Mikroautoradiographietechniken hinsichtlich ihres serienmäßigen Einsatzes in Lokalisationsstudien überprüft und schließlich eine Gefrierschnitt-Technik entwickelt, die die vorgenannten Forderungen erfüllt und vor allem ein schnelles sowie zeitunabhängiges Arbeiten ermöglicht.

2.23 Remobilisierung von Calcium in fruchttragenden Obstbäumen

Der Nährstoff Calcium ist in der Pflanze im Sinne einer möglicherweise basipetalen Retranslokation weitgehend immobil und wurde sogar in manchen Arbeiten generell für kaum mehr mobilisierbar nach seiner Ablagerung im Gewebe gehalten. Einige Untersuchungen haben aber in den letzten Jahren gezeigt, daß eine sekundäre Verlagerung von Calcium, vornehmlich von den unteren in die oberen Pflanzenteile, erfolgen kann. Ihr Ausmaß ist bei krautigen Pflanzen relativ gering. Mehrjährige Pflanzen durchlaufen eine Ruheperiode mit anschließendem Frühjahrsaustrieb und einer da-

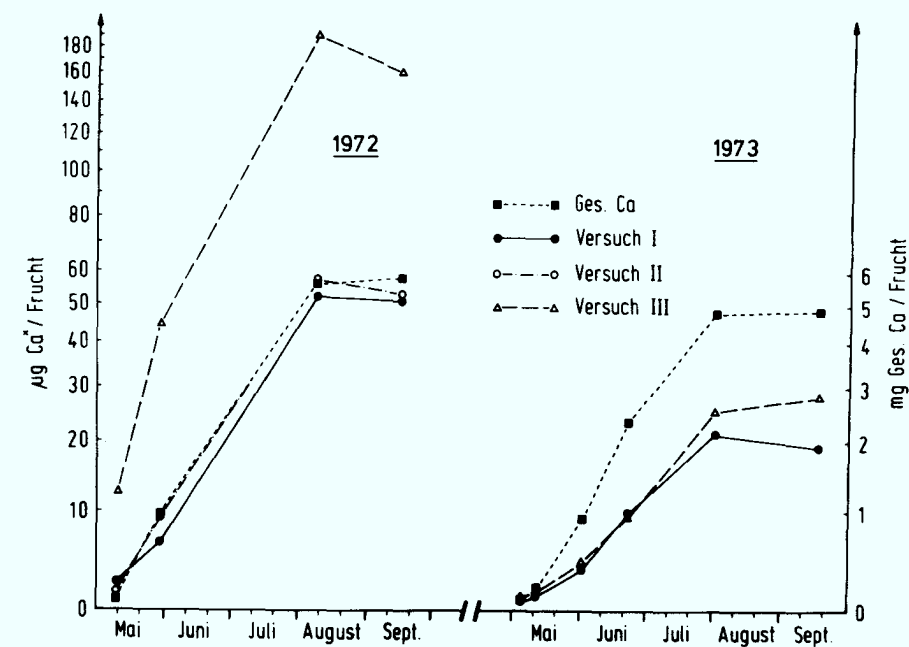
mit verbundenen intensiven Mobilisierung von Nährstoffen, in begrenztem Umfang auch von Calcium. Offen ist dabei, inwieweit diese Umverlagerung von Calcium auf den Frühlingsaustrieb beschränkt bleibt und welche Bedeutung sie im Hinblick auf die Versorgung von Früchten hat, die gerade zu Beginn ihrer Entwicklung einen hohen Calciuminflux aufweisen. Für das Studium der Calcium-Sekundärverlagerung standen die ^{45}Ca -markierten Apfelbäume ("Cox-Orangen Renette-M 9) aus dem Aufnahme- und Translokationsversuch 1971 (40) in den beiden darauffolgenden Jahren zur Verfügung (44, 45). Als Indikator diente vor allem die im Neuzuwachs (Früchte, Blätter, saisonale Triebe) ermittelte ^{45}Ca -Aktivität.

Abbildung 5:
Gesamt-Sekundärverlagerung an Ca in Blätter und Früchte/Baum auf der Basis von Versuchs- und extrapolierten Werten.



Aufgrund der Befunde wird Calcium um so stärker mobilisiert und sekundär verlagert, je später es im Vorjahr im Verlaufe der Saison aufgenommen wurde (Faktor 3 - 5 zwischen Aufnahme Mai/Juni gegenüber Ende August). Für eine ganze Vegetationsperiode kann nach Extrapolation der erhaltenen Versuchswerte der Anteil an sekundär verlagertem Ca mit 20 - 25 % des in Blättern und Früchten eines Baumes vorhandenen Gesamt-Ca angesetzt werden (Abb.5).

Abbildung 6:
Vergleich zwischen Einlagerung von sekundärem ^{45}Ca ,
das im Jahre der Baummarkierung (1971) zu verschie-
denen Zeitpunkten aufgenommen wurde, und Gesamt-Ca
in Apfelfrüchte (Cox Orangen).



Die sekundäre Ca-Verlagerung erfolgte am intensivsten zu Beginn der Wachstumsperiode, ist aber nicht allein ein Phänomen des Frühjahrsaustriebs (Abb. 6). Vielmehr verlief die sekundäre Ca-Translokation in den Neuzuwachs in ihrer Tendenz in etwa parallel zur Gesamt-Ca-Einlagerung bis in den Spätsommer hinein. Dies läßt vermuten, daß Austauschvorgänge mit den im Xylem herangeführten Kationen bei der Ca-Mobilisierung im Apfelbaum eine Rolle spielen. Die speziellen Mechanismen der Ca-Mobilisierung bedürfen jedoch weiterer grundlegender Untersuchungen.

Wissenschaftliche Arbeiten

- | | |
|--------------------------------|--|
| F. Führ | Untersuchungen zur Aufnahme von Kohlen-
dioxyd und Strohabbauproduktendurch
die Pflanzenwurzel.
Diss. Universität Bonn (1962) |
| 1. D. Sauerbeck
und F. Führ | Experiences on labelling whole plants
with ^{14}C .
In: The Use of Isotopes in Soil Organic
Matter Studies, 391 - 399, Pergamon
Press, Oxford (1966) |
| 2. D. Sauerbeck
und F. Führ | Routineverfahren zur empfindlichen
Messung der Menge und Radioaktivität
von ^{14}C .
Landw. Forschung SH <u>20</u> , 75 - 84 (1966) |
| 3. D. Sauerbeck
und F. Führ | Über die ^{14}C -Messung natronalkalischer
Carbonatlösungen mit dem Flüssigkeits-
Scintillationszähler.
Z. analyt. Chemie <u>218</u> , 43 - 45 (1966) |
| 4. F. Führ und
D. Sauerbeck | Decomposition of wheat straw in the
field as influenced by cropping and
rotation.
In: The Use of Isotopes and Radiation
in Soil Organic Matter Studies, 241 -
250, FAO/IAEA Wien (1968) |
| 5. D. Sauerbeck
und F. Führ | Die Umsetzung von markiertem Pflanzen-
material unter Feldbedingungen.
Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.
<u>10</u> , 174 - 177 (1970) |

6. D. Sauerbeck und F. Führ
Decomposition and humification of ^{14}C -labelled plant residues in the field.
Int. Symposium Humus et Planta, Prag (CSSR), 13 - 17. Sept. 1971, S.173-182.
7. D. Sauerbeck und F. Führ
Alkali extraction of labelled plant materials before and after decomposition - a contribution to the technical problems in humification studies.
In: The Use of Isotopes and Radiation in Soil Organic Matter Studies, 3 - 11
FAO/IAEA Wien (1968)
8. F. Führ und D. Sauerbeck
Verlust und Einbau von ^{15}N -markiertem Ammoniumsulfat-Stickstoff im Boden unter dem Einfluß einer gleichzeitig verabreichten Strohdüngung im Freiland.
(unveröff. Ergebnisse).
9. J.M. Bremner und F. Führ
Tracer studies of the reaction of soil organic matter with nitrite.
In: The Use of Isotopes in Soil Organic Matter Studies, 337 - 346, Pergamon Press, Oxford (1966)
10. F. Führ und J.M. Bremner
Beeinflussende Faktoren in der Fixierung des Nitrit-Stickstoffs durch die organische Masse des Bodens.
Atompraxis 10, 109 - 113 (1964).
11. F. Führ und J.M. Bremner
Untersuchungen zur Fixierung des Nitrit-Stickstoffs durch die organische Masse des Bodens.
Landw. Forschung SH 18, 43 - 51 (1964)

12. H. Kick,
D. Sauerbeck
und F. Führ
Die Aufnahme von Kohlendioxid durch
die Pflanzenwurzeln. I. Gegenwärtiger
Stand des Problems und Vorschläge zu
seiner experimentellen Lösung.
Plant & Soil 21, 303 - 316 (1964).
13. H. Kick,
D. Sauerbeck
und F. Führ
Die Aufnahme von Kohlendioxid durch
Pflanzenwurzel. II. Untersuchung zur
Verteilung innerhalb der Pflanze.
Plant & Soil 22, 99 - 111 (1965).
14. H. Kick,
D. Sauerbeck
und F. Führ
Die Aufnahme von Kohlendioxid durch
die Pflanzenwurzel. III. Untersuchungen
über die mengenmäßige Bedeutung.
Plant & Soil 23, 181 - 191 (1965).
15. D. Sauerbeck
und F. Führ
The interference of $^{14}\text{CO}_2$ in studies
on the uptake of organic substances
by plant roots.
In: The Use of Isotopes in Soil
Organic Matter Studies, 61 - 72,
Pergamon Press, Oxford (1966)
16. F. Führ und
D. Sauerbeck
The uptake of straw decomposition
products by plant roots.
In: The Use of Isotopes in Soil
Organic Matter Studies, 73 - 83,
Pergamon Press, Oxford (1966).
17. F. Führ und
D. Sauerbeck
Über die Aufnahme und Translokation
 ^{14}C -markierter organischer Rottepro-
dukte bei Raphanus sativus.
Z. Pflanzenern. Düngg., Bodenkde. 105,
136 - 144 (1964)

18. F. Führ und
D. Sauerbeck Die räumliche und chemische Verteilung durch die Wurzel aufgenommener organischer Rotteprodukte bei *Daucus carota*.
Landw. Forschung SH 19, 153 - 165, (1965).
19. F. Führ und
D. Sauerbeck The uptake of colloidal organic substances by plant roots as shown by experiments with ^{14}C -labelled humus compounds.
In: Isotopes in Plant Nutrition and Physiology, 317 - 328, IAEA Wien (1967).
20. F. Führ Tracer studies on the uptake of soil organic matter compounds by plant roots.
Proc. Symposium of Radioecology, Cadarache/Frankreich, 623 - 636 (1970).
21. F. Führ Die Aufnahme von Ligninkohlenstoff durch Sonnenblumenwurzeln aus dem Boden.
Z. Pflanzenern. u. Bodenkde. 122, 43 - 52, (1969).
22. F. Führ und
W. Steffens Untersuchungen zum Stoffwechsel von D-Leucin in Pflanzen. 1. Wurzelaufnahme aus Nährlösung und Boden und Verteilung in *Vicia faba* L.
Landw. Forschung, 25, 226 - 236, (1972)

23. W. Steffens,
W. Thiemann,
W. Darge und F. Führ
Untersuchungen zum Stoffwechsel
von D-Leucin in Pflanzen. 2. Ein-
bau und Stoffwechsel in *Vicia*
*fab*a L.
Landw. Forschung 28, 61 - 72
(1973)
24. F. Führ, H. Kick,
Chr. Schimansky,
W. Steffens und
J. Wieneke
Agrarbiologische Forschung in der
Kernforschungsanlage Jülich -
Rückschau und Ausblick.
Jahrbuch des Landes Nordrhein-
Westfalen 1971/72: 115 - 136,
Westdeutscher Verlag Opladen.
25. F. Führ
Pflanzenschutzmittel im System
Boden/Pflanze.
Jahresbericht 1973 der Kernfor-
schungsanlage Jülich GmbH, 65 -70.
26. F. Führ und
W. Mittelstaedt
Versuche mit Polyurethan-Hart-
schaum auf Basis von ^{14}C -markiertem
Diphenylmethan-diisocyanat (MDI)
zu Fragen der Mineralisierung und
Aufnahme durch Pflanzen.
JÜL-Bericht 1062 RA (1974).
27. F. Führ, K.H.Domsch
und W. Mittelstaedt
Versuche mit Polyurethan-Hart-
schaum auf Basis von ^{14}C -markiertem
Diphenylmethandiisocyanat (MDI)
zu Fragen der Mineralisierung und
Aufnahme durch Pflanzen.
Landw. Forschung (im Druck).
28. F. Führ
Zum Verhalten von Chloranifor-
methan in Boden und Pflanze.
(in Vorbereitung).

- | | |
|--|---|
| 29. W. Mittelstaedt,
F. Führ und
H.J. Jarczyk | Isocarbomid-Applikation zu
Zuckerrüben.
1. Translokationsverhalten im Boden und Aufnahme durch Pflanzen.
(in Vorbereitung). |
| 30. H.J. Jarczyk, F. Führ
und W. Mittelstaedt | Isocarbomid-Applikation zu
Zuckerrüben.
2. Verteilung und Stoffwechsel.
(in Vorbereitung). |
| 31. B. Scheele, F. Führ,
G. Krampitz und
W. Steffens | Das Verhalten von Methylgusathion
im Huhn.
1. Bilanzstudien nach oraler und
i.v.-Applikation.
(in Vorbereitung). |
| 32. B. Scheele,
G. Krampitz, F. Führ
und J. Wieneke | Das Verhalten von Methylgusathion
im Huhn. 2. Stoffwechsel
(in Vorbereitung) |
| 33. F. Führ | Zur Bilanzierung von Pflanzenschutzmitteln am Beispiel des
Herbizid-Wirkstoffs Methabenzthiazuron.
(in Vorbereitung) |
| 34. H.H. Cheng,
F. Führ und
W. Mittelstaedt | Fate of methabenzthiazuron in the
soil system.
In: Environmental Quality and
Safety: Pesticides.
Eds.: F. Korte und F. Coulston
(im Druck) |
| 35. K.J. Groneuer,
H. Hardebeck
F. Führ und
G. Krampitz | Untersuchungen zum Nukleinsäurestoffwechsel an Hühnerembryonen.
Z. Tierphysiol., Tierern. Futtermittelkd. <u>32</u> , 24 (1973) |

36. G. Krampitz,
K.J. Groneuer,
H. Hardebeck und
F. Führ
Molekularbiologische Untersuchungen an Hühnereiern. 3. Mitteilung: Methodik zur Isolierung und Fraktionierung von Nucleinsäuren und ihren Baustein aus Hühnerembryonen.
Z. Tierphysiol., Tierernährg., Futtermittelkde. 33, 237-249 (1974).
37. K.J. Groneuer,
G. Krampitz,
H. Hardebeck und
F. Führ
Molekularbiologische Untersuchungen an Hühnereiern. 4. Mitteilung: Verteilung von Nucleinsäuren in Hühnerembryonen.
Z. Tierphysiol., Tierernährg., Futtermittelkde. 33, 250 - 267 (1974)
38. K.H. Groneuer,
G. Krampitz,
H. Hardebeck und
F. Führ
Molekularbiologische Untersuchungen an Hühnereiern. 5. Mitteilung: Über den Stoffwechsel von Uracil in Hühnerembryonen.
Z. Tierphysiol., Tierernährg., Futtermittelkde. 33, 289 - 304, (1974).
39. F. Führ
Verhalten des Pregnenolons in der Nährlösung und in der Pflanze.
Landw. Forschung, SH 26/I, 118 - 124 (1971).
40. J. Wieneke und
F. Führ
Untersuchungen zur Translokation von ⁴⁵Ca im Apfelbaum. I. Transport und Verteilung in Abhängigkeit vom Aufnahmezeitpunkt.
Gartenbauwiss. 38, 91 - 108 (1973)

41. C.G. Woodbridge,
J. Wieneke und
F. Führ
The interaction between calcium and boron in apple seedlings. Z. Pflanzenern. Bodenkd. (im Druck)
42. J. Wieneke und
F. Führ
Mikroautoradiographischer Nachweis von ^{45}Ca -Kristallablagerungen im Apfelstiel- und Fruchtgewebe. Angew. Botanik 47, 107 - 112, (1973)
43. F. Führ und
J. Wieneke
Die mikroautoradiographische Technik in pflanzenphysiologischen Untersuchungen. Angew. Botanik 47, 97 - 106, (1973)
44. F. Führ und
J. Wieneke
Secondary translocation of ^{45}Ca to the fruit of apple trees the year after dormancy. In: "Mechanisms of Regulation of Plant Growth". Eds. R.L. Bielecki, A.R. Ferguson und M.M. Cresswell. Bulletin 12, Royal Soc. New Zealand, Wellington (im Druck)
45. J. Wieneke und
F. Führ
Untersuchungen zur Translokation von ^{45}Ca im Apfelbaum. IV. Sekundäre Verteilung nach der Ruhephase. Gartenbauwiss. (im Druck)