

Zur Wirkung von Herbiziden auf die Aktivität und Leistung von freilebenden N₂-Fixierern und Blaualgen in Böden

Rudolf Aldag

1. Einleitung und Problemstellung

In der modernen Landwirtschaft hat die Anfälligkeit der Kulturpflanzen gegen Krankheiten und Schädlingsbefall mit steigendem Ertragsniveau und veränderten Wirtschaftsweisen zugenommen. Betriebssysteme mit hoher spezieller Intensität sind an die Verwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln gebunden. Von den eingesetzten Pestiziden wird eine zuverlässige und gezielte Wirkung auf einzelne zu bekämpfende Bestandteile eines Agrarökosystems wie z.B. Unkräuter oder Pilze verlangt. Durch die Vielgestaltigkeit des Ökosystems sind aber fließende Übergänge in den physiologischen Eigenschaften und Fähigkeiten von Organismen anzunehmen, wodurch die selektive Wirkung von Pflanzenschutzmitteln eingeschränkt werden kann. Demzufolge sind auch Nebenwirkungen auf andere als die Zielorganismen zu erwarten. Beim grundsätzlichen Vergleich von natürlichen Ökosystemen und Agrarökosystemen muß allerdings berücksichtigt werden, daß sich bei der Frage nach der »Landbewirtschaftung« oder der »Ackerkultur« schon immer der Konflikt gezeigt hat, in welchem Ausmaß der Mensch in ein Ökosystem eingreifen darf, ohne dabei die Grundlagen aller Lebensvorgänge zu zerstören.

Einerseits nutzt der Mensch die Kräfte der Natur für seine wirtschaftlichen Zwecke, andererseits muß er sich ihnen aber auch, da er in natürliche Lebensgemeinschaften eingreift, permanent widersetzen. Insofern ist der Ackerbau etwas »Unnatürliches«, wengleich er ohne die Natur nicht denkbar wäre. Dieser Widerspruch wird allgemein als Dualismus von Natur und Mensch oder von Natur und Kultur bezeichnet.

In der Abbildung 1 sind die wesentlichen Unterschiede zwischen einem natürlichen Ökosystem und einem modernen konventionellen Agrarökosystem hinsichtlich der Energieflüsse und Wechselwirkungen dargestellt. In dem unteren Teil der Abbildung 1 sind die Unkräuter in der Rolle als Konkurrenten (competitors) zu den Kulturpflanzen zusätzlich besonders hervorgehoben.

Die mit den Dreieck-Symbolen besonders gekennzeichneten Pfeile sollen anzeigen, daß es in einem modern wirtschaftenden Agrarökosystem kaum noch einen Bereich gibt, in den der Landwirt nicht steuernd und kontrollierend eingreifen kann. Solche Agrarökosysteme müssen nach dem Grad ihrer Intensitätsstufe und nach dem Ausmaß der Nebenwirkungen von Maßnahmen auf das Gesamtsystem beurteilt werden.

Der Boden spielt in der pflanzlichen Produktion eine zentrale Rolle als Standort, Speicher und Vermittler von für das Pflanzenwachstum notwendigen Nährstoffen und bestimmt durch die »Bodenfruchtbarkeit« maßgeblich das potentielle Ertragsniveau. Für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sind die

im Habitat »Boden« lebenden Mikroorganismen von Bedeutung, weil der Hauptteil der biochemischen Umsetzungen das Ergebnis mikrobieller Aktivität ist.

Pflanzenschutzmittel rufen im Boden Nebenwirkungen hervor, die die Anzahl und die Aktivität von Bodenmikroorganismen und ihre Populationszusammensetzung verändern. Diese Nebenwirkungen können letztendlich auch die Bodenfauna und das Pflanzenwachstum beeinflussen. Dies gilt insbesondere für den Nährstoff Stickstoff und dessen Metabolik im Boden, weil das quantitative N-Angebot des Bodens an die Pflanzen wesentlich durch die Tätigkeit von Mikroben beeinflußt wird und weil über die biologische Stickstoffbindung das System Boden - Pflanze mit Stickstoff versorgt werden kann.

Hier soll über zwei Gruppen von Organismen im Boden berichtet werden, die durch Bodenherbizide beeinflußt werden können. Es sind freilebende heterotrophe Bakterien und Blaualgen, die beide Luftstickstoff fixieren.

Heute sind über 150 Blaualgenarten (Cyanobakterien) bekannt, die mit Hilfe der Lichtenergie die Luftgase N₂ und CO₂ zur Primärproduktion organischer Substanzen nutzen können. Ihre relativ autarke Lebensweise erlaubt ihnen eine gute Anpassung an die extremsten Standorte (Antarktis, Salzböden, Wüstenklima). Sie kommen freilebend, in Symbiose mit Pilzen als Flechten, als Symbionten mit Pflanzen wie Farne und Leberblümchen, als Epiphyten mit Moosen und als Knöllchen in Wurzeln vor.

Das Vorhandensein von Algenmatten auf Kulturböden kann wesentlich zur Verringerung der Erosion beitragen. Die Cyanobakterien haben im Reisanbau eine große Bedeutung, wo sie freilebend oder als Anabaena-Azolla-Symbionten Stickstoff fixieren und den Reispflanzen zur Verfügung stellen. Die N₂-Fixierungsleistung auf Ackerböden des gemäßigten Klimabereiches liegt im allgemeinen niedriger. Immerhin werden N-Mengen von bis zu 55 kg N x ha⁻¹ x Jahr⁻¹ als realistisch angesehen.

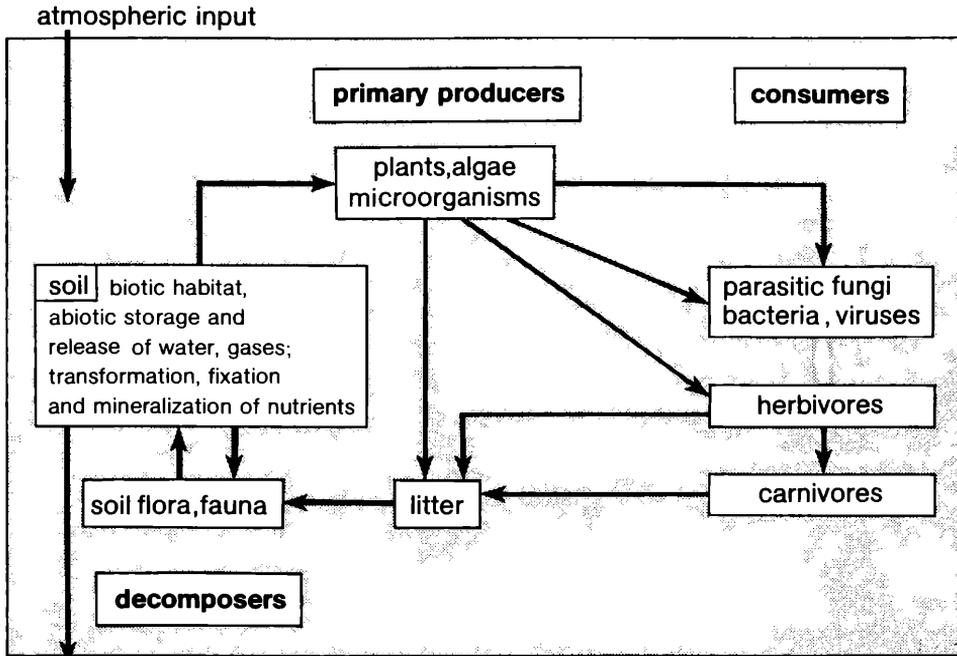
2. Material und Methoden

Die Herbizide wurden mit folgenden Ackerböden getestet:

Rendsina, Pelosol, Podsol, Parabraunerde und Schwarzerde.

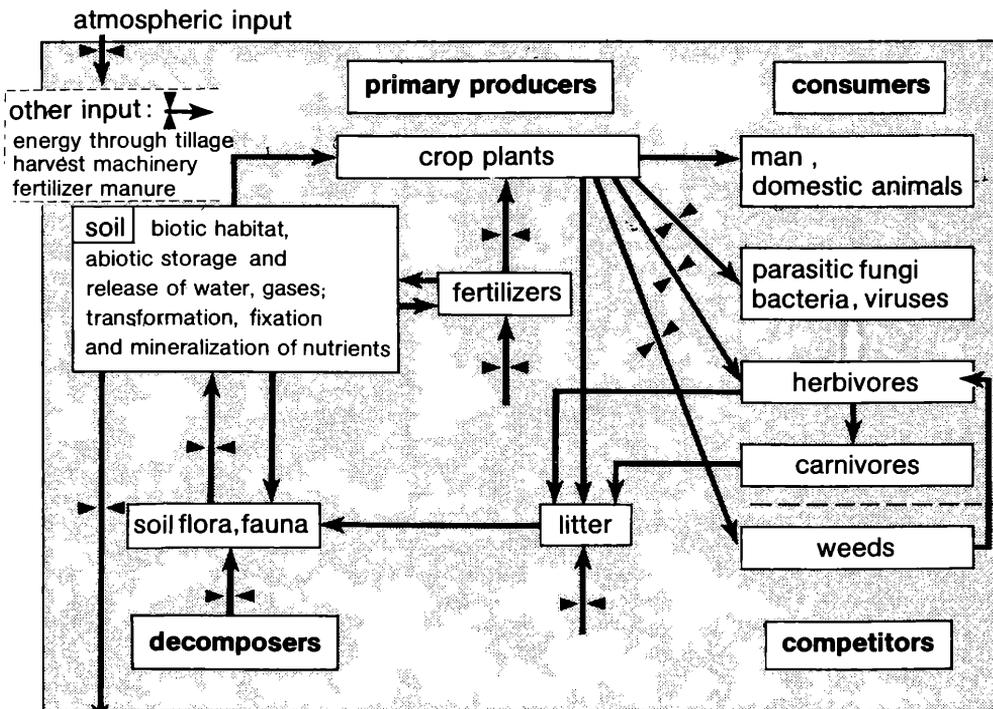
Wenn die Böden unmittelbar vor Versuchsbeginn im Gelände entnommen und nicht luftgetrocknet wurden, sind sie als »Frischboden« bezeichnet. Zur Beschleunigung des Wachstums der Bakterien wurde der Boden mit 0.6 Gewichts-% Glucose angereichert. Als Behandlungsmittel wurden die Bodenherbizide Chlortoluron, Terbutryn, Metabenzthiazuron und Cloridazon sowie das Blattherbizid

Natural ecosystem



output: harvest, leaching losses, gases evolved, erosion losses

Modern conventional agroecosystem



Output: harvest, leaching losses, gases evolved, erosion losses

▲ influenced or controlled by man

Abbildung 1

Dinosebacetat und zum Vergleich das Fungizid Carbendazim eingesetzt.

Die Messung der Aktivität der Organismen und deren Beeinflussung durch Herbizide erfolgte mit Hilfe des Acetylen-Reduktionstests (ALDAG et al., 1985).

Aufwandmengen der Pestizide bei den heterotrophen Bakterien:

1. praxisüblich (flächenbezogen):
je nach Pestizid 3–17 µg/g Boden-Trs
2. ca. 5-fach überhöht:
je nach Pestizid 10–50 µg/g Boden-Trs
3. ca. 10-fach überhöht:
je nach Pestizid 20–100 µg/g Boden-Trs

Versuchsdauer: je nach Boden 69–261 Stunden, wenn keine Reduktionsleistung mehr erfolgte.

In den Versuchen mit den Blaualgen wurden sowohl die oben erwähnten Aufwandmengen (WEGENER et al., 1985) als auch geringere als in der landwirtschaftlichen Praxis üblich (JANSSEN, 1984) eingesetzt. Die geringeren Aufwandmengen betragen jeweils 2,7 und 15 ppm bei den Herbiziden Dinosebacetat, Terbutryn und Chloridazon. Hier wurde der Boden mit 1 Gew.-% Zellulose angereichert. Versuchsdauer 50–60 Tage.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Einfluß der Pestizide auf die Nitrogenaseaktivität der heterotrophen Bakterien

Um die pestizidbedingten Einflüsse auf die untersuchten Parameter besser vergleichen zu können, sind alle gemessenen Daten als Mittelwerte der behandelten Varianten in Prozent des Mittelwertes der jeweiligen unbehandelten Kontrollen, der gleich 100 gesetzt ist, dargestellt. Wenn also Werte < 100 auftreten, bedeutet dies eine Hemmung, wogegen Werte > 100 eine fördernde Wirkung des betrachteten Pestizids ausweisen.

In den Böden Pelosol, Schwarzerde und Parabraunerde wird die Äthylenbildung durch die vier getesteten Bodenherbizide Chlortoluron, Terbutryn, Methabenzthiazuron und Chloridazon kaum beeinflusst (Abbildung 2). Dagegen zeigen sich bei der Rendsina, dem Podsol und den Varianten Chloridazon – Parabraunerde in Abhängigkeit von der jeweiligen Pestizidkonzentration positive Effekte, die zu Steigerungen der Nitrogenaseaktivität gegenüber den unbehandelten Kontrollen von 20 bis 100 % führen. Beim Podsol nimmt dieser deutlich positive Einfluß mit steigender Bodenherbizidaufwandmenge, besonders beim Chloridazon, jedoch wieder ab. Einen negativen Einfluß übt dagegen das Dinosebacetat aus, das die Äthylenbildung im Podsol schon bei praxisüblicher Aufwandmenge auf 21 % und in der Parabraunerde bei höchster Aufwandmenge auf 35 % des jeweiligen Kontrollwertes reduzierte.

Durch das Fungizid Carbendazim wurde die Nitrogenaseaktivität der heterotrophen Bakterien in den getesteten Böden ausschließlich positiv beeinflusst, wobei im Podsol gegenüber der Kontrolle die dreifache Aktivität gemessen wurde. Bei der Bewertung der dargestellten Ergebnisse ist aber zu berücksichtigen, daß die im Podsol reduzierten Acetylenmengen im Vergleich zu den übrigen Böden sehr gering sind, und daß bei diesem Boden die aufgetretenen Streuungen besonders groß sind.

Der Einfluß des Fungizids Carbendazim wird dem typischen Muster der Reaktion von Bodenorganismen auf eine Fungizidbehandlung zugeordnet. Die Pilzflora wird selektiv unterdrückt und die Anzahl und Aktivität der heterotrophen Bakterien steigt an. Das Ausmaß der Steigerung steht im umgekehrten Verhältnis zur Bedeutung der Gruppe der heterotrophen Bakterien im unbehandelten Boden.

Die bei Zugabe von Dinosebacetat festgestellten Reaktionen der Böden sind weniger einheitlich. KIRKWOOD (1976) führt an, daß Phenole allgemein als Entkoppler der oxidativen Phosphorylierung bekannt sind, und daß sie dabei in subletaler Konzentration zunächst die Atmung stimulieren. Dies erklärt sowohl die markanten Beeinträchtigungen der energieaufwendigen Acetylenreduktion (Podsol, Parabraunerde) als auch die gesteigerte Respirationsaktivität in den Böden Pelosol, Schwarzerde und Rendsina. Die Ursache für die unterschiedlich starke Beeinflussung der mikrobiellen Reaktion in den mit Dinosebacetat behandelten Böden wird von uns im wesentlichen in solchen Bodeneigenschaften wie der Sorptionskapazität gesehen, die auch die Phytotoxizität von Herbiziden beeinflusst.

3.2 Einfluß der Pestizide auf die autotrophen Blaualgen

Der gravierende Einfluß der Pestizide auf die Nitrogenaseaktivität von Blaualgen bei praxisüblichen (Stufe 1) und darüber hinaus gehenden Aufwandmengen (Stufe 2 und 3) auf einen Schwarzerde-Boden ist in der Tabelle 1 dargestellt.

Die Proben wurden erstmals am 18. Bebrütungstag mit Acetylen begast. In der Kontrollvariante wurde zu diesem Zeitpunkt eine Nitrogenaseaktivität von $1.1 \text{ nMol C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ Boden} \cdot \text{h}^{-1}$ gemessen (Tabelle 1). Sie steigt bis zum 33. Tag auf knapp $20 \text{ nMol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Boden} \cdot \text{h}^{-1}$ an und geht dann im weiteren Versuchsverlauf bis zum 70. Tag auf 40 % der Maximalwerte zurück.

Die mit dem Fungizid Carbendazim behandelten Versuchsglieder zeigen kaum Abweichungen gegenüber den jeweiligen Kontrollwerten. Während des gesamten Versuchs tritt nur bei der Variante CARB 3 einmal eine signifikante Differenz auf.

Die geprüften Herbizide bewirkten dagegen eine über einen Zeitraum von mehreren Wochen anhaltende totale Unterdrückung der Äthylenbildung. Im Versuchsglied DINO 1 und den mit Chloridazon behandelten Varianten konnte erstmals am 33. Tag nach Bebrütungsbeginn sicher Äthylenbildung nachgewiesen werden. Bei den Bodenherbiziden Chlortoluron, Terbutryn und Methabenzthiazuron sind die entsprechenden Zeitpunkte der 47., der 54. und der 39. Bebrütungstag.

In den in der Tabelle 1 nicht aufgeführten Varianten CHLORT 2 und 3, TERB 2 und 3, META 2 und 3 sowie DINO 2 und 3 kam es während der gesamten Versuchsdauer zu keinerlei Acetylenreduktion.

Aufgrund dieser starken Hemmung des Blaualgenwachstums sind weitere Versuche mit frisch im Gelände entnommenen Bodenproben und mit geringeren Aufwandmengen an Herbiziden unternommen worden.

In der Abbildung 3 ist der Verlauf der Nitrogenaseaktivität von Blaualgen auf Frischboden (A) und Trockenboden (B) dargestellt. Daraus geht hervor, daß die verschiedenen Böden den Cyanobakterien

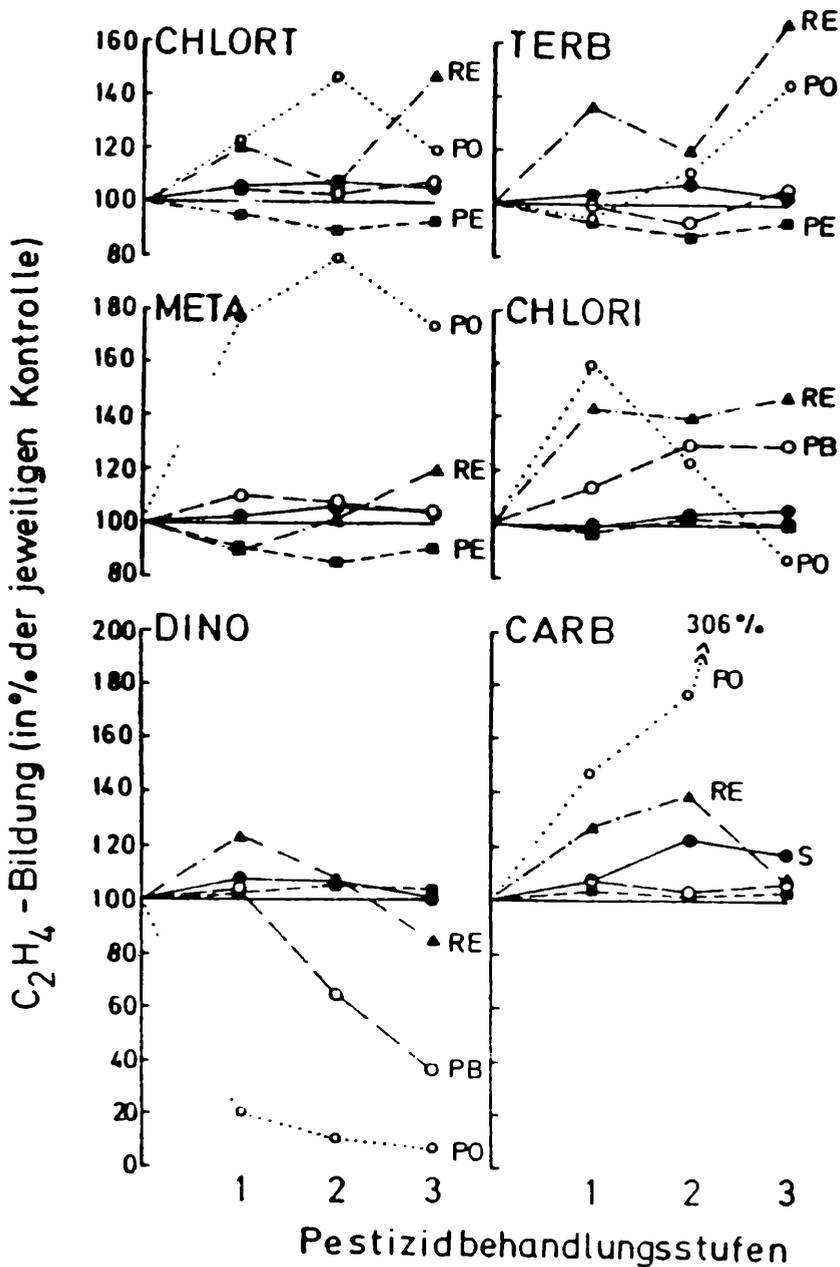


Abbildung 2

Beeinflussung der Nitrogenaseaktivität verschiedener, mit Glucose angereicherter Böden durch steigende Konzentrationen zugesetzter Pestizide.

Alle Werte in Relation zur jeweiligen unbehandelten Kontrolle. Schwarzerde (S, ●—●); Rendsina (RE, ▲---▲); Parabraunerde (PB, ○—○); Pelosol (PE, ■--■); Podsol (PO, ○····○).

unterschiedlich günstige Lebensbedingungen bieten und daß an den Frischböden fast doppelt so hohe Nitrogenaseaktivitäten als auf den Trockenböden gemessen werden.

Die Ursachen lassen sich nicht vollständig klären. Bodenkennwerte allein können nicht dafür verantwortlich sein. Die Verfügbarkeit von Phosphor, Kalzium und Molybdän könnte Bedeutung haben. Die Parabraunerde weist den größten Unterschied zwischen der N_2 -Bindung auf Frischboden und der Trockenbodenfixierung auf, während die Differenz auf dem Pelosol am kleinsten ist.

Die Nitrogenaseaktivität wird offensichtlich umso mehr beeinträchtigt, je geringer das gesamte Fixie-

rungspotential des Frischbodens ist. Über ähnliche Befunde hat auch WRIGHT (1978) berichtet.

Tabelle 2 zeigt als Beispiel den Einfluß der eingesetzten Herbizide bei Schwarzerde-Frischboden und Schwarzerde-Trockenboden. Dort sind jeweils die Mittelwerte aller Varianten zusammengefaßt (Herbizidbehandlung: 4 Wiederholungen, Kontrollen: 8 Wiederholungen). 9 bis 10 Tage nach der Herbizidaufgabe bilden sämtliche Kontrollen in einer Stunde 2,85 bis 4,66 nMol Ethylen pro g Boden. Alle mit Herbiziden behandelten Varianten vollbringen - unabhängig von Boden, Herbizid und Aufwandmenge - zu den ersten beiden Meßterminen Reduktionsleistungen, die hochsignifikant

Tabelle 1**Einfluß verschiedener, bei Bebrütungsbeginn applizierter Pestizide auf die Entwicklung der Acetylenreduktionsaktivität von langfristig bebrüteten Schwarzerde-Bodenproben.**

Mittelwerte aus jeweils 4 (Kontrolle 12) Wiederholungen. Es sind nur die Varianten aufgeführt, in denen während der Bebrütung Ehtylenbildung festgestellt werden konnte.

Variante	Pestizid-behandlungs-stufe	Nitrogenaseaktivität (nMol C ₂ H ₄ · g ⁻¹ Boden · h ⁻¹)							
		Tage nach Bebrütungsbeginn							
		18	25	33	39	47	54	61	70
Kontrolle		1.1	13.3	19.8	16.1	14.7	12.3	9.8	8.1
CHLORT	1	0 **	0 **	0.1**	0 **	0.6**	3.4**	14.6**	22.4**
TERB	1	-0.1**	0 **	0 **	0 **	0.1**	0.6**	2.2**	8.0
META	1	-0.1**	0 **	0.1**	0.5**	1.7**	2.2**	2.7**	7.7
CHLORI	1	0 **	0.2**	0.6**	0.9**	2.9**	5.5**	9.1	15.3**
	2	0 **	0.1**	0.5**	2.1**	3.6**	3.6**	5.2**	4.5 *
	3	-0.1**	0 **	0.4**	0.9**	1.4**	1.7**	4.5**	6.6
DINO	1	-0.1**	0 **	0.4**	0.8**	1.6**	2.4**	2.8**	4.7
CARB	1	1.1	12.8	19.9	15.6	15.5	12.7	10.3	8.4
	2	0.9	12.2	19.4	16.0	14.4	11.5	9.2	6.7
	3	0.8	9.4 *	19.2	16.0	16.1	13.8	10.0	6.7

Abweichung der Varianten von der Kontrolle gesichert bei: * (P = 0,05), ** (P = 0,01)

Tabelle 2 a**Nitrogenaseaktivität und ihre Beeinflussung durch Herbizide auf Schwarzerde-Frischboden**Angaben in nMol C₂H₄ · g⁻¹ Boden h⁻¹; Mittelwerte aus 4 Wdh., Kontrolle 8 Wdh.

Variante	Bebrütungstag							
	9	16	25	30	37	43	50	
Kontrolle	3,41	9,04	24,09	18,33	15,45	8,42	6,38	
DINO 2	0,11--	2,13--	19,04	20,16	20,37++	14,12++	9,24	
TERB 2	0,03--	-0,05--	0,02--	0,55--	4,14--	7,31	12,52++	
CHLO 2	0,05--	0,98--	16,82-	16,99	15,41	11,40	5,20	
DINO 7	0,03--	0,56--	3,54--	6,77--	8,97--	7,94	8,57	
TERB 7	0,03--	0,00--	0,00--	-0,02--	0,07--	-0,11--	-0,02--	
CHLO 7	0,03--	0,05--	6,83--	14,88-	18,89	12,37+	6,72	
DINO 15	0,03--	0,00--	0,81--	2,13--	3,27--	3,03--	4,60	
TERB 15	0,03--	0,00--	0,00--	0,00--	0,05--	-0,10--	0,00--	
CHLO 15	0,03--	0,00--	1,33-	2,58--	5,15--	7,02	9,86	

Werte signifikant kleiner als der Kontrollwert: - (P = 0,05); -- (P = 0,01)

Werte signifikant größer als der Kontrollwert: + (P = 0,05); ++ (P = 0,01)

Tabelle 2 b**Nitrogenaseaktivität und ihre Beeinflussung durch Herbizide auf Schwarzerde-Trockenboden**Angaben in nMol C₂H₄ · g⁻¹ Boden h⁻¹; Mittelwerte aus 4 Wdh., Kontrolle 8 Wdh.

Variante	Bebrütungstag							
	10	17	24	31	38	45	51	
Kontrolle	4,66	26,79	25,53	18,58	12,22	9,36	6,95	
DINO 2	1,88--	14,82--	22,46-	24,77++	20,13++	16,51++	12,20+	
TERB 2	0,02--	0,04--	0,12--	0,22--	1,32--	5,27--	18,38++	
CHLO 2	0,66--	22,25--	30,41++	19,77	13,94	7,49	5,67	
DINO 7	0,10--	1,32--	2,55--	3,71--	5,52--	7,36	12,60+	
TERB 7	-0,03--	0,20--	0,07--	0,07--	0,22--	0,08--	1,16-	
CHLO 7	0,20--	5,82--	17,95--	17,98	20,56++	13,04++	8,48	
DINO 15	-0,03--	0,18--	0,05--	0,22--	0,41--	0,39--	0,47--	
TERB 15	-0,03--	0,07--	0,05--	0,07--	0,22--	0,12--	0,03--	
CHLO 15	-0,03--	1,15--	3,17--	11,33--	16,33++	16,96++	13,19+	

Werte signifikant kleiner als der Kontrollwert: - (P = 0,05); -- (P = 0,01)

Werte signifikant größer als der Kontrollwert: + (P = 0,05); ++ (P = 0,01)

Abb. 3 Verlauf der Nitrogenaseaktivität auf Frischboden (A) und Trockenboden (B)

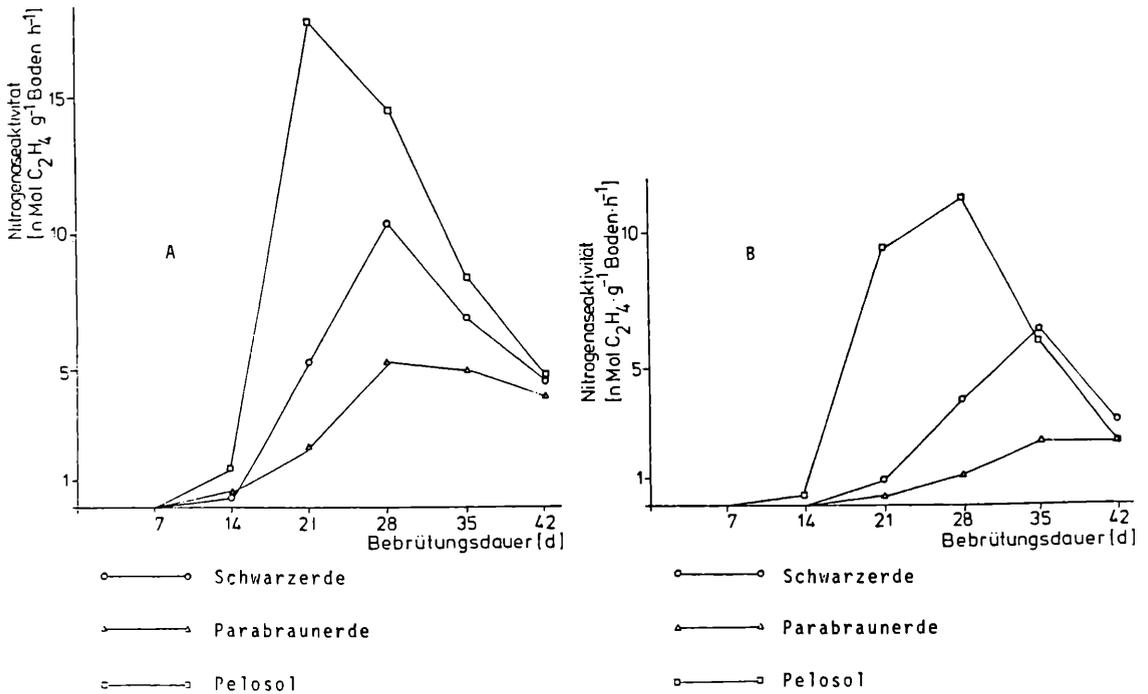


Abbildung 3

Verlauf der Nitrogenaseaktivität auf Frischboden (A) und Trockenboden (B)

geringer sind als Leistungen der Kontrollproben. Als Beispiel und der besseren Übersicht halber ist in der Abbildung 4 nur der Verlauf der Nitrogenaseaktivität auf Schwarzerde-Frischboden graphisch dargestellt.

Die in Abbildung 4 abgebildeten Kurven machen folgende 3 Auswirkungen der Unkrautbekämpfungsmittel deutlich:

1.) Je höher die Aufwandmenge und je stärker die Wirkung eines Herbizids, um so später setzt die Reduktionsleistung ein. Die erste meßbare Nitrogenaseaktivität tritt z. B. bei DINO 2 am 16. Tag, bei DINO 7 am 25. Tag und bei DINO 15 am 30. Tag auf.

2.) Mit zunehmender Herbizidmenge und -toxizität wird der Kurvenverlauf flacher. Der Anstieg der log-Phase verläuft weniger steil, und es dauert wesentlich länger, bis die maximale Reduktionsleistung erreicht ist. Das Versuchsglied CHLO 2 erreicht beispielsweise 1 bis 2 Wochen nach Beginn der Aktivität seine Höchstleistung, bei CHLO 7 dauert es zwei Wochen und CHLO 15 hat 5 Wochen nach dem Einsetzen der N_2 -Fixierung seinen Höhepunkt offensichtlich noch nicht erreicht.

3.) Die Höhe des erreichten Maximalwertes einer Variante nimmt mit Zunahme der applizierten Pestizidmenge ab. Während die Kontrolle eine Höchstleistung von $24,09 \text{ nMol } C_2H_4 \cdot g^{-1} \text{ Boden } h^{-1}$ erzielt, liegt der entsprechende Wert für DINO 2 bei 20,37, für DINO 7 bei 8,97 und für DINO 15 bei 4,60. Der Kurvenverlauf von DINO 15 schließt zwar nicht aus, daß zu einem späteren Zeitpunkt ein noch höherer Wert erreicht wird, ein nennenswerter Anstieg ist allerdings nicht mehr zu erwarten, wie stichprobenhafte Messungen der Trockenbodenvarianten über den 51. Tag hinaus gezeigt haben.

Die beobachteten Effekte der Unkrautbekämpfungsmittel sind also umso stärker ausgeprägt, je

höher die applizierte Herbizidmenge ist. FLETCHER et al. (1970), die die Beeinflussung dreier Blaualgenarten durch MCPB, MCPA und zwei Fungizide prüften, stellten ebenfalls fest, daß die Beeinträchtigung der Cyanobakterien proportional zur verwendeten Pestizidkonzentration ist.

GRAEVES und MALKOMES (1980) führten ähnliche Versuche durch und sprechen von »reversibler« Wirkung der Pestizide, wenn die Organismen nur vorübergehend in ihrer Aktivität geschwächt werden, und von »irreversibler« Wirkung, wenn das Wachstum der Algen gänzlich zum Erliegen kommt. In unseren Untersuchungen ist offensichtlich die »reversible« Wirkung vorherrschend, wenngleich zu berücksichtigen ist, daß die Aufwandmengen sich alle unterhalb der empfohlenen Richtlinien bewegen.

Es sei hier ferner angemerkt, daß die bisherige Interpretation der Ergebnisse sich an dem Vergleich der ermittelten Reduktionsleistungen des gleichen Tages orientierte. Da die Cyanobakterien bei ungesteuerter Entwicklung auf den Kontrollen ihre maximale Reduktionsleistung wesentlich früher erreichen als auf den pestizidbehandelten Varianten, werden zwangsläufig unterschiedliche Entwicklungsstadien von Algen miteinander verglichen, was häufig zu Fehlinterpretationen führt. Aus diesem Grunde ist es sinnvoll, die Summe des bis zum Zeitpunkt der Messung gebildeten Ethylens als Vergleichsgröße heranzuziehen.

In Tabelle 3 sind bei Parabraunerde-Frischboden die bis zum jeweiligen Bebrütungstag gebildeten Ethylenmengen zusammengestellt. Die Gesamtreduktionsleistung ist bei allen behandelten Varianten signifikant bis hochsignifikant geringer als bei der Kontrolle ausgefallen. Die bisher aus der Literatur bekanntgewordenen Daten zum Einfluß von Herbiziden auf Cyanobakterien bestätigen im großen und ganzen unsere Befunde (DAY et al.; 1975).

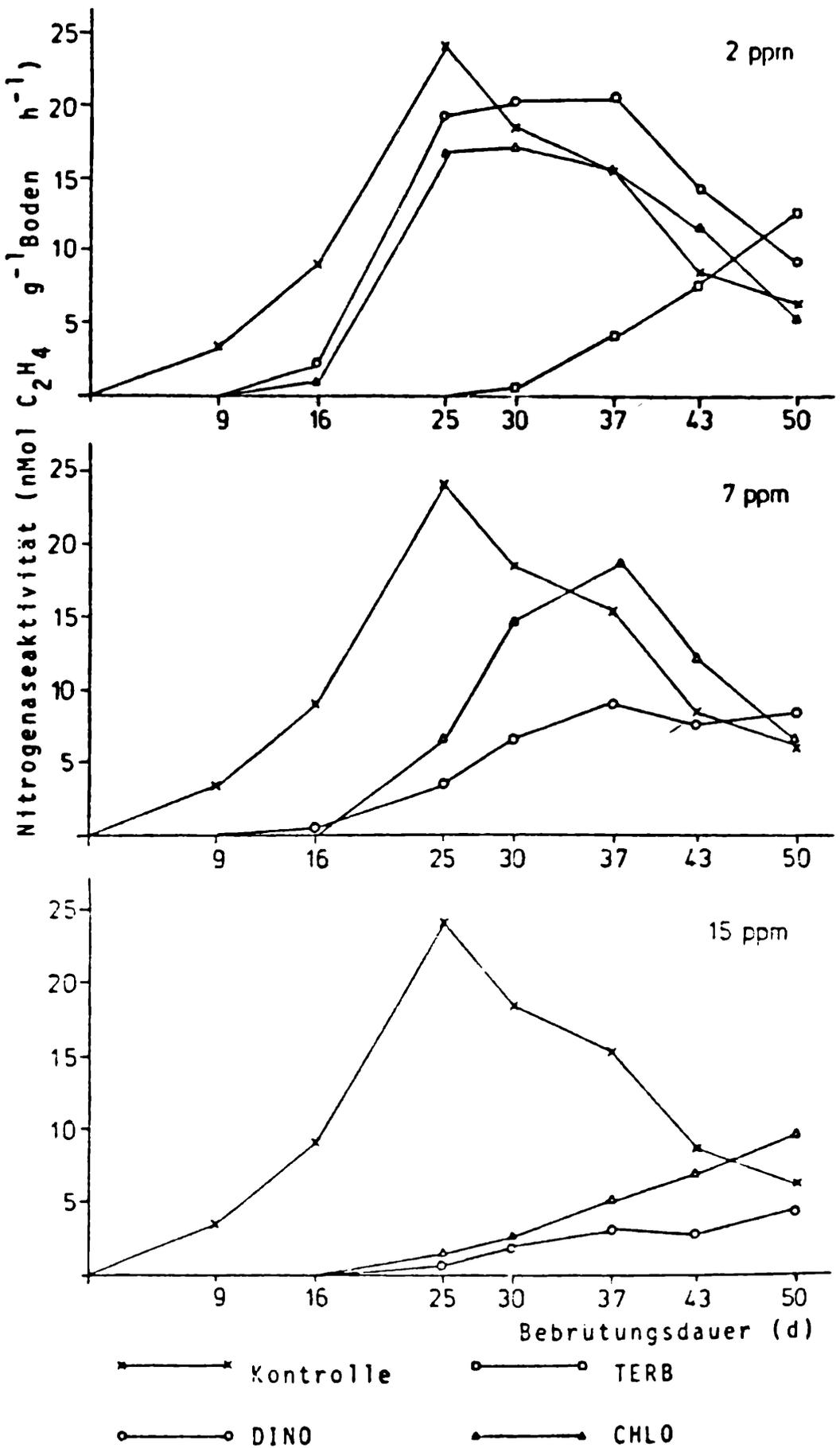


Abbildung 4
Verlauf der Nitrogenaseaktivität auf Schwarzerde-Frischboden

Tabelle 3

Bis zum jeweiligen Bebrütungsstag durch Cyanobakterien auf Parabraunerde-Frischboden gebildetes Ethylen
Angaben in $\mu\text{Mol C}_2\text{H}_4$ pro Versuchsgefäß; Mittelwerte aus 4 Wdh., Kontrolle 8 Wdh.

Variante	Bebrütungsstag						
	9	16	25	30	37	43	50
Kontrolle	8,4	55,0	146,0	183,3	222,1	245,6	261,2
DINO 2	0,2 ⁻⁻	11,9 ⁻⁻	76,4 ⁻⁻	122,2 ⁻⁻	162,3 ⁻⁻	182,7 ⁻⁻	197,6 ⁻⁻
TERB 2	0,1 ⁻⁻	0,1 ⁻⁻	1,4 ⁻⁻	8,2 ⁻⁻	36,0 ⁻⁻	66,6 ⁻⁻	89,9 ⁻⁻
CHLO 2	0,1 ⁻⁻	16,8 ⁻⁻	78,1 ⁻⁻	116,2 ⁻⁻	154,1 ⁻⁻	175,7 ⁻⁻	191,0 ⁻⁻
DINO 7	0,1 ⁻⁻	1,3 ⁻⁻	18,2 ⁻⁻	44,3 ⁻⁻	87,7 ⁻⁻	113,6 ⁻⁻	133,8 ⁻⁻
TERB 7	0,1 ⁻⁻	0,1 ⁻⁻	0,4 ⁻⁻	0,6 ⁻⁻	0,6 ⁻⁻	0,9 ⁻⁻	3,3 ⁻⁻
CHLO 7	0,1 ⁻⁻	1,6 ⁻⁻	38,4 ⁻⁻	86,0 ⁻⁻	149,3 ⁻⁻	181,9 ⁻⁻	205,3 ⁻⁻
DINO 15	0,1 ⁻⁻	0,1 ⁻⁻	2,0 ⁻⁻	5,0 ⁻⁻	13,8 ⁻⁻	23,6 ⁻⁻	37,1 ⁻⁻
TERB 15	0,1 ⁻⁻	0,1 ⁻⁻	0,1 ⁻⁻	0,0 ⁻⁻	0,0 ⁻⁻	-0,1 ⁻⁻	-0,4 ⁻⁻
CHLO 15	0,1 ⁻⁻	0,1 ⁻⁻	4,1 ⁻⁻	11,5 ⁻⁻	32,2 ⁻⁻	57,9 ⁻⁻	90,3 ⁻⁻

Werte signifikant kleiner als der Kontrollwert: ⁻ (P = 0,05); ⁻⁻ (P = 0,01)

3.3 Einfluß der Herbizide auf die Stickstoff-Fixierungsleistung der Blaualgen

Durch sehr empfindliche C₊- und N₊-Messungen an Bodenmaterial waren wir in der Lage, die Menge des insgesamt von den Blaualgen fixierten Kohlenstoffs und Stickstoffs während der Versuchszeit zu messen. Dabei stellte sich heraus, daß ausschließlich die oberste Bodenschicht (1–2 mm) eine Erhöhung der C- und N-Mengen durch die Cyanobakterien erfahren hat.

In Tabelle 4 sind die durch Cyanobakterien gebundenen Kohlenstoff- und Stickstoffmengen sowie das Verhältnis dieser beiden Größen dargestellt. Die Daten, die eine gesicherte Abweichung vom Kontrollwert zeigen, sind gekennzeichnet. Auch hier hat TERB die deutlichste Auswirkung der drei geprüften Herbizide. Außerdem hemmt DINO 2 die auf Parabraunerde fixierte N-Menge. CHLO 15 verringert die C- und N-Bindung, während das Mittel in den beiden geringeren Applikationsmengen nur den fixierten Stickstoff beeinflusst. Es wird also die Stickstoffbindung stärker beeinträchtigt als die Kohlenstoffbindung. Dies wird deutlich, wenn man die Werte, die das Verhältnis des fixierten C zum fixierten N angeben, miteinander vergleicht. Je stärker der Einfluß einer Herbizidbe-

handlung auf die Cyanobakterien ist, desto weiter wird dieses C/N-Verhältnis. EL NAWAWY & HAMDY (1975) berichten ebenfalls, daß der N-Gehalt der Blaualgen in einem größeren Ausmaß gesenkt wird als das Zellgewicht.

Die Kontrollproben weisen ein C_{fix}/N_{fix}-Verhältnis von 5,5 bzw. 6,3 auf. In dieser Größenordnung liegt auch das C/N-Verhältnis von Eiweiß.

ANTARIKANONDA (1980) ermittelte für eine Anabaena-Art ein Verhältnis von 5,8, das mit zunehmendem Alter der Kultur auf 6,6 anstieg.

Die Cyanobakterien haben, besonders in den unbehandelten Gefäßen, das C/N-Verhältnis des Bodens verengt. Es betrug im Ausgangsboden bei der Schwarzerde (Werte für Parabraunerde in Klammern) 11,62 (9,15) und wurde durch die Zellulosezugabe auf 13,47 (12,92) erweitert. Die Blaualgen verringerten in der obersten Bodenschicht das C/N-Verhältnis auf 9,55 (8,95). Als Algengattungen traten Nostoc, Cylandrospermum und vereinzelt Anabaena auf.

3.4 Beziehung des C- und N-Gehaltes des Bodens zur Nitrogenaseaktivität

Vergleicht man die Mengen des fixierten C und N (Tabelle 4) mit dem im gesamten Bebrütungszeit-

Tabelle 4

Durch Cyanobakterien fixierter Stickstoff und Kohlenstoff

(Alle Angaben sind Mittelwerte aus 4 Wdh., Kontrolle 8 Wdh.)

Variante	Schwarzerde-Frischboden			Parabraunerde-Frischboden		
	fixierter N (mg/Gefäß)	fixierter C (mg/Gefäß)	C/N-Verhältnis (C _{fix} /N _{fix})	fixierter N (mg/Gefäß)	fixierter C (mg/Gefäß)	C/N-Verhältnis (C _{fix} /N _{fix})
Kontrolle	2,10	11,6	5,5	1,71	11,1	6,3
DINO 2	1,94	12,4	6,4	1,47 ⁻	10,8	7,3
TERB 2	0,70 ⁻⁻	4,5 ⁻⁻	6,3	0,80 ⁻⁻	6,1 ⁻⁻	7,8
CHLO 2	1,72	10,4	6,1	1,51 ⁻	10,5	6,9
DINO 7	0,89 ⁻⁻	6,4 ⁻⁻	7,1	1,10 ⁻⁻	7,3 ⁻⁻	6,7
TERB 7	0,03 ⁻⁻	0,5 ⁻⁻	16,7	0,25 ⁻⁻	2,1 ⁻⁻	8,8
CHLO 7	1,60 ⁻	9,3	5,8	1,50 ⁻	10,4	7,0
DINO 15	0,48 ⁻⁻	3,9 ⁻⁻	8,2	0,45 ⁻⁻	4,7 ⁻⁻	10,7
TERB 15	0,03 ⁻⁻	0,3 ⁻⁻	10,0	0,01 ⁻⁻	0,0 ⁻⁻	—
CHLO 15	0,66 ⁻⁻	6,5 ⁻⁻	11,2	0,94 ⁻⁻	7,8 ⁻⁻	8,3

Werte signifikant kleiner als der jeweilige Kontrollwert: ⁻ (P = 0,05); ⁻⁻ (P = 0,01)

raum gebildeten Ethylen, so zeigt sich, daß alle Herbizidvarianten, die signifikant weniger C und N gebunden haben als die Kontrollproben, auch in der gemessenen Ethylenmenge eine statistisch gesicherte Abweichung aufweisen. Die berechneten Korrelationskoeffizienten liegen alle im Bereich zwischen 0,93 und 0,99 und bestätigen damit die enge Beziehung zwischen der tatsächlich fixierten N-Menge der Blaualgen und dem insgesamt gebildeten Ethylen.

3.5 Größenordnung des fixierten Stickstoffs

Wenn man die in Tabelle 4 gemessenen fixierten N-Mengen auf den Kontrollen flächenbezogen pro ha umrechnet, dann wurden auf der Schwarzerde 31,8 kg N/ha und auf der Parabraunerde 25,9 kg N/ha durch die Cyanobakterien fixiert.

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit Werten aus der Literatur ist aus mehreren Gründen problematisch. Zunächst sollte man grundsätzlich sehr vorsichtig sein, wenn man Laborergebnisse auf Feldbedingungen überträgt. Außerdem sind die Methoden, die zur Abschätzung der Fixierungsleistung Verwendung finden, sehr verschieden und, wenn überhaupt, nur bedingt vergleichbar.

Es kommt hinzu, daß viele Autoren nicht angeben, auf welche Weise die für die N₂-Bindung im Feld angegebenen Werte ermittelt wurden, so daß man solche Berechnungen meist nicht nachvollziehen kann. Ergebnisse, die in Versuchen mit Reinkulturen gewonnen werden, dürfen nach ATLAS et al. (1978) grundsätzlich nicht auf Feldbedingungen übertragen werden. Trotzdem basieren mehrere Angaben zur Fixierungsleistung im Feld auf in vitro-Messungen. Als äußerst bedenklich müssen Berechnungen angesehen werden, in denen Werte, die andere Autoren mit Reinkulturen ermittelt haben, dazu benutzt werden, auf Stickstoffgewinne im Feld zu schließen. JAHNKE (1967) errechnete so jährliche N₂-Fixierungsleistungen von über 3100 kg/ha.

Den tatsächlichen Verhältnissen relativ nahe kommen dürften Ergebnisse aus Messungen der Nitrogenaseaktivität von Bodenproben, die unmittelbar vorher vom Feld entnommen wurden. Da besonders Zellen von Nostoc- und Anabaena-Arten bei einer Störung sehr schnell Akineten bilden, die dann keine Reduktionsleistung mehr zeigen, können auch die bei einer solchen Vorgehensweise ermittelten Resultate verfälscht werden (HENRIKSSON, 1971).

ALEXANDER (1975) ermittelte auf diese Weise jährliche Stickstoffgewinne von 0 bis 51 kg/ha, GRANHALL (1975) berichtet über eine Fixierungsleistung von 11 kg/ha in einem Jahr und HENRIKSSON (1971) berechnet unter Berücksichtigung des Witterungsverlaufs jährliche N-Gewinne auf Ackerland von 15–55 kg/ha und auf Wiesen von 4 bis 44 kg/ha. Wie schon einleitend erwähnt, kalkulierten WITTY et al. (1979) eine jährliche N₂-Fixierung durch Blaualgen von 0,8 bis 24,6 kg/ha.

4. Zusammenfassung

Agrarökosysteme werden im Vergleich zu natürlichen Ökosystemen vom Menschen gesteuert und beeinflusst. Sie arbeiten auf einem sehr viel höheren Energieniveau. Demzufolge sind auch uner-

wünschte Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf nützliche Partner des Systems insbesondere im Boden nicht gänzlich auszuschließen. Der Einfluß der Herbizide auf die N₂-Fixierung der *heterotrophen Bakterien* ist als gering zu bewerten. Er tritt, falls er überhaupt nachweisbar ist, nur bei überhöhter Dosierung auf. Hingegen beeinflussten alle getesteten Herbizide auf allen Böden in jeder Aufwandmenge sowohl das Wachstum als auch die Nitrogenaseaktivität der Blaualgen negativ. Je höher die Applikationsmenge war, um so später setzte die Algenentwicklung ein und um so geringer war die erreichte Leistung. Auf den Hektar umgerechnet fixierten die unbehandelten Blaualgen auf der Schwarzerde 31,8 kg/N und auf der Parabraunerde 25,9 kg/N während eines Zeitraumes von ca. 50 Tagen.

5. Literatur

ALDAG, R., MEYER, B. und WEGENER, K. E. (1985): Einfluß von Herbiziden auf die N₂-Fixierung und Atmungsaktivität von Mikroorganismen in Ackerböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 148, 379–388.

ALEXANDER, V. (1975): Nitrogen fixation by blue-green algae in polar and sub-polar regions. In: STEWART, W. D. P.: Nitrogen fixation by free-living microorganisms. pp. 175–188.

ANTARIKANONDA, P. (1980): Morphological, physiological and biochemical studies with the effectively N₂-fixing blue-green algae (Cyanobacterium) *Anabaena* sp. TA 1; Dissertation, Universität Göttingen.

ATLAS, R. M., PRAMER, D. & BARTHA, R. (1978): Assessment of pesticide effects on non-target soil microorganisms. – Soil Biol. Biochem. 10, 231–239.

DAY, J. M., HARRIS, D., DART, P. J. and VAN BERKUM, P. (1975): The broadbalk experiment. An investigation of nitrogen gains from non-symbiotic nitrogen fixation; In: STEWART, W. D. P.: Nitrogen fixation by free-living microorganisms. pp. 71–84. Cambridge University Press (Cambridge).

EL NAWAWY, A. S. & HAMDI, Y. A. (1975): Research on blue-green algae in Egypt, 1958–1972; In: STEWART, W. D. P.: Nitrogen fixation by free-living microorganisms. pp. 219–228. Cambridge University Press (Cambridge).

FLETCHER, W. W., KIRKWOOD, R. C. & SMITH, D. (1970): Investigations on the effect of certain herbicides on the growth of selected species of micro-algae. Meded. Rijksfac. Landbouwwet. Gent 3, 855–866.

GRANHALL, U. (1975): Nitrogen fixation by blue-green algae in temperate soils. In: STEWART, W. D. P.: Nitrogen fixation by free-living microorganisms. pp. 189–197. Cambridge University Press (Cambridge).

GREAVES, M. P. & MALKOMES, H. P. (1980): Effects on the soil microflora. In: HANCE, R. J. (ed.): Interactions between herbicides and the soil. pp. 223–253. Acad. Press (London).

HENRIKSSON, E. (1971): Algal nitrogen fixation in temperate regions. – Pl. Soil Spec. Vol. 415–419.

JANSSEN, E. (1984): Phototrophe N₂-Fixierung auf Ackerböden aus Löß und ihre Beeinflussung durch Herbizide. – Diplomarbeit. Ldw. Fakultät der Universität Göttingen.

JAHNKE, E. (1967):

Die Rolle stickstoffbindender Blaualgen in mecklenburgischen Böden. - Zbl. Bakt. Parasitkde. Abt. II 121, 636-641.

KIRKWOOD, R. C. (1976):

Action on respiration and intermediary metabolism; In: ANDUS, L. J. (ed.): Herbicides, pp. 444-492. Acad. Press (London, New York).

WEGENER, K. E., ALDAG, R. und MEYER, B. (1985): Soil algae: Effects of herbicides on growth and C₂H₂-reduction (Nitrogenase) activity. - Soil Biol. Biochem. 17, 641-644.

WITTY, J. F., KEAY, P. J., FROGATT, P. J. & DART, P. J. (1979):

Algal nitrogen fixation on temperature arable fields. The broadbalk experiment. - Pl. Soil 52, 151-164.

WRIGHT, S. J. L. (1978):

Interactions of pesticides with micro-algae. In: HILL, I. R. & WRIGHT, S. J. L.: Pesticides microbiology. Microbiological aspects of pesticides behaviour in the environment. pp. 535-602. Acad. Press (London).

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Rudolf Aldag
Abteilung Agrarökologie
Universität Bayreuth
Postfach 3008
Universitätsstr. 30
8580 Bayreuth

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [7_1986](#)

Autor(en)/Author(s): Aldag Rudolf

Artikel/Article: [Zur Wirkung von Herbiziden auf die Aktivität und Leistung von freilebenden N₂-Fixierern und Blaualgen in Böden 73-82](#)