

**FORSCHUNGSBERICHTE
DES WIRTSCHAFTS- UND VERKEHRSMINISTERIUMS
NORDRHEIN-WESTFALEN**

Herausgegeben von Staatssekretär Prof. Leo Brandt

Nr. 137

Prof. Dr. rer. nat. habil. W. Baumeister

Beiträge zur Mineralstoffernährung der Pflanzen

Als Manuskript gedruckt



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

1955

ISBN 978-3-663-03257-1

ISBN 978-3-663-04446-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-04446-8

G l i e d e r u n g

Einleitung	S. 5
TEIL I. Beiträge zur Bedeutung des Eisens und des Mangans für die Pflanzen	S. 7
Methodik	S. 7
Versuchsergebnisse	S. 9
I. Krankheitssymptome bei Mangel oder Überschuß von Eisen bzw. Mangan	S. 9
II. Die Beeinflussung der CO ₂ -Assimilation, der Atmung und der Pigmentgehalte in den Blättern . .	S. 11
III. Der Einfluß einer nachträglichen Änderung der Nährlösung bei Manganmangel, Eisenmangel, Mangan- überschuß und Eisenüberschuß	S. 14
IV. Ergebnisse der Versuchsreihen	S. 21
Literaturverzeichnis	S. 23
TEIL II. Über den Einfluß des Stickstoffs auf die Photosynthese und Atmung sowie auf die Pigmentausbildung beim Sommer- weizen	S. 25
Methodik	S. 25
Versuchsergebnisse	S. 26
I. Der Einfluß der Stickstoffdüngung auf die Photo- synthese, Atmung und den Pigmentgehalt der Blätter	S. 26
II. Einfluß einer nachträglichen Stickstoffgabe auf den Pigmentgehalt und die Photosynthese bei Stickstoffmangelpflanzen	S. 29
III. Einfluß der Stickstoffquelle auf die Photosyn- these, Atmung und Pigmentausbildung	S. 30
IV. Zusammenfassung	S. 34
Literaturverzeichnis	S. 35
TEIL III. Über den Einfluß des Zinks bei <i>Silene inflata</i> Smith .	S. 37
Versuchsergebnisse	S. 38
I. Vorversuche im Jahre 1951	S. 38
II. Sandkulturversuche im Jahre 1952	S. 39
III. Wasserkulturversuche im Jahre 1953	S. 42
IV. Zusammenfassung	S. 46
Literaturverzeichnis	S. 47

Einleitung

Die Forschungsergebnisse der letzten Jahrzehnte haben die entscheidende Bedeutung der Mineralstoffe für das Wachstum der Pflanzen bewiesen. Wir wissen heute, daß neben den Elementen: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Kalium, Kalzium und Magnesium, deren Bedeutung schon lange erkannt worden ist und die in relativ großen Mengen benötigt werden, weitere Elemente von Bedeutung sind. Im Gegensatz zu den genannten Mineralstoffen sind diese als Spurenelemente bezeichneten Mineralstoffe in kleinsten Mengen lebensnotwendig, in größeren Mengen aber schädlich. Als Beispiele seien hier die Elemente: Bor, Eisen, Mangan, Kupfer, Molybdän, Zink genannt, wobei allerdings betont werden muß, daß mit fortschreitender Forschung die Zahl der lebensnotwendigen Spurenelemente sicherlich noch größer werden wird (Lit. bei BAUMEISTER, 1954).

Hinsichtlich der Bedeutung der einzelnen Elemente für die Pflanze besitzen wir bereits eine beträchtliche Kenntnis über die Beeinflussung der einzelnen Stoffwechselvorgänge. Wenn unsere Beurteilung der Wirkung einzelner Elemente dennoch unsicher und unbefriedigend ist, so ist die Ursache darin zu suchen, daß bei dem verwickelten Zusammenspiel aller Stoffwechselprozesse nur in den wenigsten Fällen klar erkannt werden konnte, wo die einzelnen Elemente primär eingreifen. Sehr häufig müssen daher festgestellte Erscheinungen als sekundäre Auswirkungen einer noch nicht bekannten Primärwirkung angesehen werden.

Es ist daher notwendig, die physiologische Wirkung zahlreicher Elemente erneut einer genauen Analyse zu unterziehen, um zu einer klaren Kenntnis der entscheidenden Primärwirkungen zu kommen. Das gilt selbst für Elemente, deren Bedeutung für den Aufbau wichtiger organischer Verbindungen unbestritten ist. So sind für das Element Stickstoff Beeinflussungen der Photosynthese und der Pigmentbildung festgestellt worden, die nicht ohne Weiteres aus der Tatsache zu erklären sind, daß dieses Element für den Aufbau der Eiweißkörper und anderer wichtiger organischer Verbindungen notwendig ist. Es ist begreiflich, daß die Erfassung der physiologischen Wirkung bei den nur in Spuren wirksamen Spurenelementen noch weit schwieriger ist, so daß hier noch intensive Forschungsarbeit zu leisten sein wird.

Im Rahmen einer größeren Untersuchungsreihe wird z.Zt. von mir und meinen Mitarbeitern die Bedeutung verschiedener Mineralstoffe auf pflanzliche Stoffwechselprozesse untersucht. Während die Arbeiten über die Bedeutung des Kaliums und des Bors noch nicht beendet werden konnten, liegen hinsichtlich der Elemente Eisen und Mangan, Stickstoff und Zink abgeschlossene Untersuchungen vor, über deren Ergebnis berichtet werden soll.

TEIL I

Beiträge zur Bedeutung des Eisens und des Mangans für die Pflanzen

Während die Einzelwirkungen von Eisen und Mangan auf den pflanzlichen Stoffwechsel schon seit langem diskutiert werden, gewann die Frage nach den Wechselbeziehungen zwischen beiden Elementen erst mit der Feststellung von RIPPEL (1923), daß Manganüberschußwirkungen an Hafer auf Eisenmangel zurückzuführen und durch eine Eisenzufuhr heilbar seien, an Interesse. SOMERS und SHIVE (1942) beobachteten dann jeweils eine Übereinstimmung der Symptome von Manganmangel und Eisenüberschuß, sowie von Eisenmangel und Manganüberschuß. Zur Klärung dieser Erscheinungen haben diese Autoren die Theorie aufgestellt, daß sich Eisen und Mangan in der Pflanze in einem Redoxgleichgewicht befinden sollen. Um dessen Aufrechterhaltung zu gewährleisten und Störungen zu vermeiden, muß nach ihren Angaben die Zufuhr von Eisen und Mangan - unabhängig von den jeweiligen Konzentrationen - im Verhältnis 2/1 erfolgen. Zwar sind bisher noch keine gleichzeitigen Untersuchungen über den Assimilationsapparat von Manganmangel-, Eisenmangel-, Manganüberschuß- und Eisenüberschußpflanzen ausgeführt worden, trotzdem standen aber einzelne Beobachtungen anderer Autoren bereits im Widerspruch zu den Angaben von SOMERS und SHIVE. Zur erneuten Untersuchung der möglichen Wechselbeziehungen zwischen Eisen und Mangan mußten zunächst die Symptome von Manganmangel, Eisenmangel, Manganüberschuß und Eisenüberschuß unter einheitlichen Bedingungen und an einer Pflanzenart miteinander verglichen und durch Messungen der CO₂-Assimilation, der Atmung, der Pigmentgehalte und der Frischgewichte belegt werden. Es war die Bedeutung des Verhältnisses der Eisen- und Mangankonzentrationen für das Auftreten von Chlorosen zu überprüfen, und schließlich mußten in besonderen Versuchsreihen "antagonistische" Wirkungen von Eisen bei Manganüberschußpflanzen und von Mangan bei Eisenüberschußpflanzen ausprobiert werden.

M e t h o d i k

Die für die Bearbeitung der Fragestellung erforderliche Versuchsgenauigkeit wurde durch die Anzucht der aus Hochzuchtsaatgut gezogenen Pflanzen in Wasserkultur unter Verwendung von Jenaer Glasgefäßen, Mercks Reagenzien und über Quarz destilliertem Wasser erreicht. Als Nährlösung diente

eine variierte SHIVE'sche 3 Salz-Lösung vom pH Wert 5,5 - 6,0, bestehend aus (Mengen in mg/l): $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (825), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (241), KH_2PO_4 (272), Eisen (komplex gebunden, 10), H_3BO_3 (3), $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (3). Die Eisenversorgung gestaltete sich anfangs schwierig, weil die üblichen Eisensalze infolge von Eisenausfällungen im Nährmedium keine exakte Eisendosierung gestatteten. Erst mit der Verwendung eines komplexen Eisen - Kalium - Salzes der Äthylendiamintetraessigsäure (EDTA), das sich durch große Beständigkeit auszeichnet, wurden hier übersichtliche Verhältnisse geschaffen (JACOBSON, 1951).

Als eine auf Mangel und Überschuß an Eisen und Mangan gleich gut reagierende Pflanze wurde der Spinat (*Spinacia oleracea* L., Sorte Matador) vor Hafer, Gerste, Mais, Tomate, Pferdebohne und Salat ermittelt und für die weiteren Versuche allein verwendet. In den Mangellösungen wurden die Eisen- und Manganzusätze einfach weggelassen. Die für die Überschußlösungen notwendigen Eisen - und Manganmengen wurden nach folgenden Gesichtspunkten ermittelt: die Eisen- und Mangankonzentrationen sollten zwar Symptome einer Schädigung hervorrufen, aber nicht ausgesprochen giftig wirken. In Versuchsreihen mit abgestuften Eisen- und Mangankonzentrationen wurden Mengen von 37,5 mg Fe/l und 367 mg Mn/l für die vorliegenden Versuchsbedingungen als geeignet befunden, so daß mit diesen weiter experimentiert werden konnte.

Bereits im Alter von ca. 14 Tagen wurden die jungen Pflanzen in die unterschiedlichen Nährlösungen mit Manganmangel, Eisenmangel, Manganüberschuß und Eisenüberschuß überführt. 14 Tage später wurde mit den Analysen und Messungen von CO_2 -Assimilation, Atmung, Pigmentgehalt und Frischgewicht begonnen und diese über 14 Tage fortgeführt. Die Photosynthese- und Atmungswerte wurden durch CO_2 -Analysen mit Hilfe des Ultrarotabsorptionschreibers bestimmt (siehe BAUMEISTER, 1952). Die sich daran sofort anschließende Trennung der Blattpigmente des gleichen Materials erfolgte nach der chromatographischen Adsorptionsmethode (TSWETT, 1906; WENDEL, 1950), die Messung der Farbstoffkonzentrationen mit einem Leitz-Photometer und die Berechnung der absoluten Pigmentmengen mit Hilfe der in der Literatur (KAR, 1937; ZSCHEILE und COMAR, 1941; SCHLEEP, 1953) für die einzelnen Pigmente angegebenen Extinktionskoeffizienten. Als Bezugsgröße diente jeweils die Blattfläche, die planimetrisch ermittelt wurde (Polarplanimeter von A. OTT, Kempten). Besonderer Wert wurde auf die unmittelbare

Vergleichbarkeit aller gewonnenen Meßergebnisse gelegt. Die Meßgenauigkeit war ausreichend, um klare Unterscheidungen zwischen den einzelnen Versuchsreihen zu gewährleisten.

V e r s u c h s e r g e b n i s s e *

I. Krankheitssymptome bei Mangel oder Überschuß von Eisen bzw. Mangan

1. Manganmangel ("-Mn")

Das Auftreten von Manganmangelsymptomen erfolgte nach einer Anlaufszeit von 14 Tagen bis 3 Wochen. Dann machte sich eine Wachstumshemmung bemerkbar, die auch die Wurzel Ausbildung betraf und innerhalb der Beobachtungszeit von ca. 4 Wochen zu einer Verminderung des Gesamtfrischgewichtes von 24 % gegenüber den normal ernährten Pflanzen führte. Schädigungen traten besonders an den jüngeren Teilen der Pflanzen auf. Die Blätter zeigten zwischen den Nerven eine Aufhellung der grünen Farbe und blieben kleiner als bei normaler Ernährung. Diese anfangs relativ geringfügigen chlorotischen Erscheinungen verstärkten sich bei anhaltendem Manganmangel.

2. Eisenmangel ("-Fe")

Die für Eisenmangel typische Hemmung der Chlorophyllbildung führte - zunächst an den jüngeren Pflanzenteilen - innerhalb von 14 Tagen zu chlorotischen Erscheinungen. Nur zwei bis drei Blätter der Eisenmangelpflanzen entwickelten sich mit normal grüner Farbe, die folgenden zeigten bei zunächst noch grüner Aderung eine Aufhellung der Blattflächen. Bereits das 5. Blatt entfaltete sich jedoch schon völlig farblos. Nachträglich erfolgte auch in den älteren Blättern noch ein Pigmentabbau, der von dem Auftreten nekrotischer Flecken begleitet war. Die Wurzeln waren bräunlich gefärbt und zeigten auffallend viele kurze Seitenwurzeln. Infolge der verminderten Photosynthese stellte sich eine Wachstumshemmung ein, die innerhalb der Beobachtungszeit zu einem Frischgewichtsverlust von 34 % gegenüber den normal ernährten Pflanzen führte. Nach etwa 5 Wochen starben die Pflanzen ab. Eisenmangel muß nicht unbedingt in einer Verminderung des Eisengehaltes der Blätter zum Ausdruck kommen, da auch trotz ausreichender

* Alle Zahlenangaben sind auf die Werte normal ernährter Pflanzen (Kontrolle = 100 %) bezogen.

Eisengehalte eine Eisenchlorose auftreten kann, wenn das vorhandene Eisen in einer für die Pflanze nicht ausnutzbaren Form vorliegt. Bei den untersuchten, in eisenfreier Lösung kultivierten Pflanzen lag aber ein tatsächlicher Eisenmangel vor.

3. Manganüberschuß ("Mn")

Bereits nach 7 Tagen verursachte der Manganüberschuß eine chlorotische Scheckung besonders der peripheren Teile der älteren Blätter. Außerdem zeigten sich an den Blättern braune Flecken und trockene Ränder. Nach 10 Tagen war auch schon eine Wachstumshemmung festzustellen, die innerhalb der Beobachtungszeit zu einem Frischgewichtsverlust von 57 % gegenüber den normal ernährten Pflanzen führte. Das Wurzelsystem erreichte nicht einmal die Hälfte der normalen Wurzellänge. Sofern - wie im vorliegenden Falle - die Mangankonzentration so gewählt war, daß sie die Pflanzen nicht sofort vergiftete, d.h. unter 550 mg Mn/l blieb, erholten sich die Manganüberschußpflanzen nach Überführung in Lösungen mit normaler Mangankonzentration aber innerhalb von 3 Wochen und zeigten wieder neues Wachstum an Blättern und Wurzeln.

4. Eisenüberschuß ("Fe")

Ein Eisenüberschuß verursachte keine Chlorose, sondern im Gegenteil innerhalb von 7 - 14 Tagen eine intensive Dunkelfärbung der Blätter. Das Wachstum von Sproß und Wurzeln war allerdings stark gehemmt, so daß das Frischgewicht nur 18 % der Werte von normal ernährten Pflanzen erreichte. Zudem zeigten die Blätter gelegentlich trockene Spitzen und die Wurzeln eine bräunliche Verfärbung. Auch bei einem völligen Wachstumsstillstand hielten sich die Pflanzen mehrere Wochen ohne sonstige Veränderung.

Einen Überblick über die beschriebenen sichtbaren Symptome von Manganmangel, Eisenmangel, Manganüberschuß und Eisenüberschuß vermittelt die folgende Tabelle.

		K	-Mn	-Fe	+Mn	+Fe
Blattfarbe		grün	hellgrün	farblos	gelb-grün gescheckt	blau- grün
Wachstum (in % der Kontrolle)	Frischgewicht	100 % = 1418 mg	76	66	43	18
	Blattfläche	100 % = 44,8 cm ²	86	68	50	14
	Wurzellänge	100 % = 43,9 cm	59	65	44	9
Ort			jüngere Teile	jüngere Teile	ältere Teile	Gesamt- pflanzen
Beginn der Schädigung			nach 14- 21 Tagen	nach 14 Tagen	nach 7- 10 Tag.	nach 7- 14 Tag.
Grad			leicht	schwer	mittel	schwer
Verlauf			allmählich fortschrei- tend	nach 5 Wochen letal	nach 3 Wochen abklin- gend	über 5 Wochen keine Veränd.

II. Die Beeinflussung der CO₂- Assimilation, der Atmung und der
Pigmentgehalte in den Blättern

Manganmangel, Eisenmangel, Manganüberschuß und Eisenüberschuß wirkten sich auf die Photosynthese, die Atmung und die Pigmentgehalte in der folgenden Weise aus:

	Kontrolle (K)	-Mn	-Fe	+Mn	+Fe
		Werte in % d. Kontro.			
App.CO ₂ -Assimilation	100 % = 4,63 mgCO ₂ /dm ² Std	77	49	82	87
Atmung	100 % = 0,90 mgCO ₂ /dm ² Std	96	81	100	145
App.Ass./Atm.	100 % = 5,24	81	61	88	62
App.Ass./a+b	100 % = 2,84	112	323	106	84
Chlorophyll a	100 % = 1,06 mg/dm ²	69	16	83	110
Chlorophyll b	100 % = 0,56 mg/dm ²	79	16	83	107
Carotin (c)	100 % = 0,14 mg/dm ²	61	23	81	100
Xanthophyll (x)	100 % = 0,27 mg/dm ²	77	43	85	103
a/b	100 % = 1,90	86	105	100	103
x/c	100 % = 1,90	129	186	109	105
a + b / c + x	100 % = 3,96	102	46	101	106

Die Photosynthese war im Vergleich zu den Werten normal ernährter Pflanzen (K) in allen Fällen gehemmt, und zwar zunehmend in der Reihenfolge: Eisenüberschuß, Manganüberschuß, Manganmangel, Eisenmangel. Während - mit diesen übereinstimmende - Angaben über CO_2 -Assimilationswerte bei Mangan- und Eisenmangel in der Literatur (WILLSTÄTTER und STOLL 1918, Mc HARGUE 1926, GERRETSEN 1937, BUKATSCH 1952, PIRSON 1952) bereits vorliegen, sind solche für Mangan- und Eisenüberschuß nicht bekannt. Bei der Beobachtung des zeitlichen Verlaufes der Auswirkungen unterschiedlicher Eisen- und Manganversorgung der Pflanzen war in den Analyseergebnissen besonders ein Unterschied zwischen Eisenmangel und Manganüberschuß auffallend. Einem gleichmäßigen und relativ starken Abfall der CO_2 -Assimilationswerte bei Eisenmangel stand ein Anstieg der anfangs gehemmten CO_2 -Assimilation - fast bis auf den Kontrollwert - bei Manganüberschuß gegenüber.

Eine eindeutige Beeinflussung der Atmung durch das Mangan konnte nicht festgestellt werden, dagegen fielen die Atmungswerte bei Eisenmangel auf 81 % derjenigen von normal ernährten Pflanzen ab und stiegen bei Eisenüberschuß auf 145 % an. Der Quotient: CO_2 -Assimilation/Atmung änderte sich zwar bei Eisenmangel wie bei Eisenüberschuß mit einem Abfall auf 62 % des Kontrollwertes gleichmäßig, war aber einmal durch die verminderte Photosynthese, das andere Mal durch die erhöhte Atmung beeinflusst. Manganmangel und Manganüberschuß änderten das normale Verhältnis: CO_2 -Assimilation/Atmung nur in geringerem Maße.

Wenn auch keine direkte Proportionalität zwischen Pigmentausrüstung und Photosynthese festgestellt werden konnte, so waren CO_2 -Assimilation und Pigmentgehalte - außer bei Eisenüberschuß - jeweils doch in gleichem Sinne beeinflusst. Bei Eisenüberschuß allerdings erhöhten sich die Pigmentgehalte bis über die Kontrollwerte. Im Zusammenhang mit dem Auftreten von Chlorosen erfolgte in den 3 anderen Fällen eine Verminderung der Pigmentgehalte, bei Manganüberschuß + - je nach Farbstoff - um 15-19 % der Kontrollwerte, bei Manganüberschuß um 21-39 % und bei Eisenmangel um je 84 % für Chlorophyll a und b, 77 % für Carotin und 57 % für Xanthophyll. Neben dieser allgemeinen absoluten Abnahme der Pigmentgehalte sind für eine Blattchlorose außerdem - infolge unterschiedlicher Beeinflussung der einzelnen Farbstoffe - eine Verminderung des Verhältnisses der grünen zu den gelben Pigmenten ($a + b / c + x$), sowie eine Zunahme des Verhältnisses x / c und der Assimilationszahl ($\text{App. Assimilation} / a + b$) typisch.

So war das Verhältnis $a + b / c + x$ bei Eisenmangel stark vermindert und das normale Verhältnis x/c von 1,9 bei Manganüberschuß um 9 %, bei Manganmangel um 29 % und bei Eisenmangel um 86 % erhöht. Das Verhältnis a/b hielt sich dagegen innerhalb relativ enger Grenzen (1,9 - 2,0). Die Chlorophyllausnutzung wurde mit zunehmender Chlorose besser, wie die Erhöhung der Assimilationszahlen um 6 % bei Manganüberschuß, um 12 % bei Manganmangel und um 223 % der Kontrollwerte bei Eisenmangel zeigt. Bei Eisenüberschuß hingegen verminderte sich die Assimilationszahl um 16 % auf 84 % des Kontrollwertes.

Gegenüberstellung der Befunde

Nach den Beobachtungen bei der Pflanzenanzucht und den Analyseergebnissen kann zusammenfassend gesagt werden: Dem Manganmangel, der sich in einer Chlorose der jüngeren Blätter bei relativ geringer Wachstumshemmung bemerkbar macht und ohne wesentlichen Einfluß auf die Atmung bleibt, steht der Eisenüberschuß mit erhöhten Pigmentgehalten, mit schwerer Wachstumshemmung und stark erhöhter Atmung gegenüber. Der Eisenmangel äußert sich in ausgeprägter Chlorose und Wachstumshemmung der jungen Blätter, in verminderter Atmung, in geringsten CO_2 -Assimilationswerten und Pigmentgehalten und in vorzeitigem Absterben der Pflanzen. Der Manganüberschuß dagegen verursacht chlorotische Erscheinungen vorwiegend an älteren Blättern, bleibt ohne Einfluß auf die Atmung und vermindert die CO_2 -Assimilationswerte und die Pigmentgehalte in weit geringerem Umfange. Die Folgen eines Manganüberschusses können von der Pflanze überstanden werden.

Die Ausprägung der Mangel- und Überschusssymptome ist zwar von der Empfindlichkeit der Versuchspflanzen und von der jeweils angewendeten Eisen- bzw. Mangankonzentration abhängig. Auch unter anderen Versuchsbedingungen treten aber nur graduelle, keine grundsätzlichen Unterschiede gegenüber den beschriebenen Erscheinungen auf, so daß die beobachteten deutlichen Differenzen zwischen den einzelnen Krankheitsbildern kaum verwischt werden können. Die Feststellung, daß Eisen- und Manganmangel stark auf den Assimilationsapparat und zunächst relativ wenig auf das Wachstum, Eisen- und Manganüberschuß dagegen relativ schwach auf den Assimilationsapparat und sehr stark auf das Wachstum einwirken, läßt den Schluß zu, daß die Mangel- und Überschuswirkungen an verschiedenen Stellen der Pflanzen angreifen müssen.

Allgemein läßt sich also feststellen, daß die vier beschriebenen Krankheitsbilder voneinander sehr verschieden sind. Es konnte in keinem Falle eine wechselseitige Gleichheit der Symptome von Eisenmangel und Manganüberschuß sowie von Manganmangel und Eisenüberschuß beobachtet werden. Damit ist in diesen Versuchen bisher kein Hinweis auf die Existenz antagonistischer Beziehungen zwischen Eisen und Mangan gefunden worden.

III. Der Einfluß einer nachträglichen Änderung der Nährlösung bei Manganmangel, Eisenmangel, Manganüberschuß und Eisenüberschuß

Mit der nachträglichen Änderung der Nährlösung bei Manganmangel-, Eisenmangel-, Manganüberschuß- und Eisenüberschußpflanzen wurden mehrere Ziele verfolgt:

1. Durch das Zurücksetzen von mangel- oder überschußkranken Pflanzen in normale Nährlösungen sollte der spezifische Charakter der beschriebenen Symptome nachgewiesen werden.
2. Auf die gleiche Weise wurde überprüft, ob und in welchem Maße die benutzten überschüssigen Konzentrationen an Eisen und Mangan überhaupt bleibende Schädigungen verursachten.
3. Es sollten mögliche "antagonistische" Wirkungen des Eisens und Manganüberschuß und des Mangans bei Eisenüberschuß untersucht werden.

Die Durchführung der Versuche gestaltete sich folgendermaßen: Nach 16-tägiger Anzucht wurden die Spinatpflanzen 3 Wochen lang in normaler Nährlösung, bzw. in Manganmangel-, Eisenmangel-, Manganüberschuß und Eisenüberschußlösungen kultiviert. Nach der Ausprägung der für den jeweiligen Ernährungszustand typischen - vorher beschriebenen - Symptome wurden die Pflanzen in neue Nährlösungen überführt. Diese Arbeit wurde nach folgendem Versuchsplan vorgenommen:

Versuchspflanzen mit gleichbleibender Nährlösung

1. Reihe: Normal ernährte Pflanzen
2. Reihe:
 - a) Manganmangelpflanzen
 - b) Eisenmangelpflanzen
 - c) Manganüberschußpflanzen
 - d) Eisenüberschußpflanzen

Die Pflanzen der Reihe 2 gelten im folgenden als "unbehandelt".

Versuchspflanzen mit geänderter Nährlösung

3. Reihe: a) Manganmangelpflanzen in normale Nährlösung überführt
b) Eisenmangelpflanzen in normale Nährlösung überführt
c) Manganüberschußpflanzen in normale Nährlösung überführt
d) Eisenüberschußpflanzen in normale Nährlösung überführt

Dieser Wechsel der Nährlösung wird im folgenden als Normalbehandlung bezeichnet.

4. Reihe: Manganüberschußpflanzen mit zusätzlicher Eisengabe

Dieser Wechsel der Nährlösung wird im folgenden als Eisenbehandlung bezeichnet.

5. Reihe: Eisenüberschußpflanzen mit zusätzlicher Mangangabe

Dieser Wechsel der Nährlösung wird im folgenden als Manganbehandlung bezeichnet.

In der Reihe 3 waren die Eisen- und Mangandosierungen gegenüber den bisherigen Versuchen unverändert, d.h. nach dem Wechsel enthielten die Nährlösungen wiederum 10 mg Eisen bzw. 1 mg Mangan /l. Bei der Festsetzung der zusätzlichen Eisen- und Mangangaben für die Reihen 4 und 5 ergaben sich einige Schwierigkeiten. Es sollte erreicht werden, daß das im Sinne von SOMERS und SHIVE (1942) stark gestörte Eisen/Mangan-Verhältnis wieder normalisiert wurde, ohne aber dabei die Gesamtkonzentration der Nährlösung in unzulässiger Weise zu erhöhen. Ganz ließ sich eine solche Erhöhung natürlich nicht vermeiden, doch ist dabei zu bedenken, daß nun mit älteren Pflanzen experimentiert wurde, die weniger empfindlich sind als die relativ jungen Pflanzen in den früher beschriebenen Versuchsreihen. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse erhielten die Manganüberschußpflanzen zusätzlich 100 mg Fe/l und die Eisenüberschußpflanzen zusätzlich 37,5 mg Mn/l. Das Verhältnis Eisen/Mangan wurde dadurch im ersten Falle von 1/36,7 auf 1/3,5 und im zweiten Falle von 37,5/1 auf 1/1 gebracht. Die Gesamtkonzentration überschritt - bei 0,1 ‰ Fe und 0,35 ‰ Mn - den Wert von 3,8 ‰ nicht.

Die CO_2 -Assimilations-, Atmungs-, Pigment- und Frischgewichtsbestimmungen wurden gleichzeitig an Pflanzen aus allen Reihen, im Mittel 15 Tage nach dem Wechsel der Nährlösung vorgenommen.

1. Manganmangel

Zur Zeit des Nährlösungswechsels zeigten die Manganmangelpflanzen die bereits beschriebenen Erscheinungen einer Wachstumshehmung und einer Blattchlorose. Die nachträgliche Manganzufuhr beseitigte diese Symptome innerhalb von 5 - 13 Tagen. Ihre Auswirkungen auf die apparente CO_2 -Assimilation, die Atmung, die Pigmentgehalte und die Frischgewichte gehen aus der folgenden Tabelle hervor:

	Normal ernährte Pflanzen (Reihe 1)	Mn-Mangelpflanzen*	
		unbeh. (Reihe 2a)	Norm. Beh. (Reihe 3a)
App. CO_2 -Assimilation	100 % = 5,59 mg CO_2/dm^2 Std.	64	91
Atmung	100 % = 0,84 mg CO_2/dm^2 Std.	68	82
App.Ass./Atm.	100 % = 6,65	94	111
App.Ass./a + b	100 % = 3,43	88	70
Chlorophyll a	100 % = 1,05 mg/ dm^2	70	133
Chlorophyll b	100 % = 0,58 mg/ dm^2	76	128
Carotin (c)	100 % = 0,14 mg/ dm^2	64	121
Xanthophyll (x)	100 % = 0,29 mg/ dm^2	83	131
a / b	100 % = 1,81	92	104
x / c	100 % = 2,07	129	108
a + b / c + x	100 % = 3,79	94	103
Gesamtfrischgewicht	100 % = 8089 mg	65	70

* Werte in %, bezogen auf die der Reihe 1 = 100 %

Als Ergebnis dieser Versuchsreihe darf festgestellt werden, daß die Manganmangelschäden - mindestens in den Anfangsstadien - nicht irreversibel sind. Durch eine nachträgliche Zufuhr von Mangan können die Pflanzen wieder gesunden. Die CO_2 -Assimilation und die Atmung blieben allerdings auch

nach der Manganzufuhr etwas hinter den Werten bei normal ernährten Pflanzen zurück, obgleich die Pigmentwerte durchweg über 100 % hinaus erhöht wurden. Alle übrigen den Assimilationsapparat betreffenden und bei Manganismangel veränderten Verhältniszahlen erreichten wieder normale Werte.

In einem zusätzlichen Versuch mit einer nachträglichen Eisengabe von 37,5 mg Fe/l, der zeigen sollte, ob der Manganismangel durch hohe Eisengaben verstärkt werden kann, wurden an den Manganismangelpflanzen zwar weitere Schädigungen verursacht; diese konnten jedoch nur als Eisenüberschußwirkungen gedeutet werden und ergaben somit keine Hinweise für den Eisen - Mangan - Antagonismus im Sinne von SOMERS und SHIVE (1942). Die Frischgewichte waren 20 Tage nach der Eisenzugabe, verglichen mit normal ernährten Pflanzen, von 65 auf 29 % abgesunken.

2. Eisenmangel

Die Eisenmangelpflanzen, die neben einer Wachstumshemmung typische Chloroseerscheinungen zeigten, waren 5 Tage nach dem Wechsel der Nährlösung fast vollständig wieder ergrünt. Die Ergrünung erfolgte entsprechend der Eisenzufuhr jeweils von der Blattbasis her, begann aber stets an den jungen Blättern. Gleichzeitig setzte das Wachstum der Wurzeln wieder ein. Die Auswirkungen der nachträglichen Eisenzugabe sind aus der nachfolgenden Tabelle zu ersehen:

	Normal ernährte Pflanzen (Reihe 1)	Fe-Mangelpflanzen*	
		unbeh. (Reihe 2b)	Norm. Beh. (Reihe 3b)
App. CO ₂ -Ass.	100 % = 5,59 mg CO ₂ /dm ² Std.	42	100
Atmung	100 % = 0,84 mg CO ₂ /dm ² Std.	75	87
App.Ass./Atm.	100 % = 6,65	56	115
App.Ass./a + b	100 % = 3,43	283	95
Chlorophyll a	100 % = 1,05 mg/dm ²	14	105
Chlorophyll b	100 % = 0,58 mg/dm ²	16	105
Carotin	100 % = 0,14 mg/dm ²	29	100
Xanthophyll	100 % = 0,29 mg/dm ²	41	93
a / b	100 % = 1,81	92	99

Fortsetzung

	Normal ernährte Pflanzen (Reihe 1)	Fe-Mangelpflanzen*	
		unbeh. (Reihe 2b)	Norm. Beh. (Reihe 3b)
x / c	100 % = 2,07	145	93
a + b / c + x	100 % = 3,79	40	110
Gesamtfrisch- gewicht	100 % = 8089 mg	26	37

* Werte in %, bezogen auf die der Reihe 1 = 100 %

Auch die Folgen des Eisenmangels lassen sich demnach in den anfänglichen Stadien durch eine nachträgliche Eisenzugabe sehr schnell und fast völlig beseitigen. Beachtenswert ist bei den Ergebnissen dieser Versuchsreihe vor allem die sehr schnelle Neubildung von Chlorophyll a und b und die damit verbundene Ergrünung der Blätter, sowie die völlige Normalisierung der CO_2 -Assimilationswerte. Für die Ergrünung ist neben der absoluten Zunahme aller Pigmentgehalte eine Verschiebung der Pigmentverhältnisse x/c und a+b/c+x bezeichnend. Ein erheblicher Anstieg der Werte für das Verhältnis a+b/c+x (auf 110 % des Wertes von normal ernährten Pflanzen) und ein Abfall für x/c kamen nach der Eisenversorgung von Eisenmangelpflanzen besonders deutlich zum Ausdruck. Entsprechende Veränderungen der Pigmentgehalte waren - aber nur in geringerem Maße - auch bei der Heilung der durch Manganmangel und Manganüberschuß verursachten Chlorosen zu beobachten. Damit sind die Pigmentverhältnisse bei der nachträglichen Ergrünung chlorotischer älterer Blätter genau die gleichen wie bei der normalen Farbstoffausbildung in jungen, wachsenden Blättern.

3. Manganüberschuß

Wenige Tage nach dem Überführen der Manganüberschußpflanzen in die normale Nährlösung setzte ein erneutes Wachstum der Blätter und Wurzeln ein. Eine zusätzliche Eisengabe verursachte hingegen einen völligen Wachstumsstillstand und nach 13 Tagen an den jüngeren, nicht von der Chlorose befallenen Blättern das Auftreten einer dunkelgrünen Färbung. Die Auswirkungen einer Überführung in die Normallösung und einer nachträglichen Eisenbehandlung von Manganüberschußpflanzen auf die apparente CO_2 -Assimilation, die Atmung, die Pigmentgehalte und die Frischgewichte gehen aus der folgenden Tabelle hervor:

	Normal ernährte Pflanzen (Reihe 1)	Mn-Überschußpflanzen*		
		unbeh. (Reihe 2c)	Norm. Beh. (Reihe 3c)	Fe-Beh. (Reihe 4)
App.CO ₂ -Ass.	100 % = 5,59 mg CO ₂ /dm ² Std.	80	92	39
Atmung	100 % = 0,84 mg CO ₂ /dm ² Std.	104	95	146
App.Ass./Atm.	100 % = 6,65	77	97	27
App.Ass./a+b	100 % = 3,43	98	96	50
Chlorophyll a	100 % = 1,05 mg/dm ²	85	96	76
Chlorophyll b	100 % = 0,58 mg/dm ²	76	95	81
Carotin	100 % = 0,14 mg/dm ²	107	100	71
Xanthophyll	100 % = 0,29 mg/dm ²	90	97	90
a/b	100 % = 1,81	112	102	94
x/c	100 % = 2,07	84	97	126
a+b/c+x	100 % = 3,79	86	98	93
Gesamtfrisch- gewicht	100 % = 8089	19	21	3

* Werte in %, bezogen auf die der Reihe 1 = 100 %

Der Einfluß des Manganüberschusses äußerte sich vor allem in der Hemmung des Wachstums. Die Frischgewichte waren bei der gewählten Mangankonzentration noch wesentlich geringer als bei Eisenmangel. Vermindert wurden darüber hinaus besonders die CO₂-Assimilation, die Chlorophyllgehalte und das Verhältnis: apparente Assimilation/Atmung. Die Erholung der Manganüberschußpflanzen nach der Überführung in die Normallösung äußerte sich in einer völligen Normalisierung der CO₂-Assimilation, der Pigmentgehalte und aller Verhältnisse. Die zusätzliche Eisengabe bei den Manganüberschußpflanzen beeinflusste die Auswirkungen des Manganüberschusses in keiner Weise, wohl traten aber nun noch die Auswirkungen des Eisenüberschusses hinzu. Einer starken Hemmung der CO₂-Assimilation stand nun eine starke Steigerung der Atmung gegenüber. Sämtliche Pigmentwerte nahmen zahlenmäßig ab, die Assimilationszahl sank auf 50 % der Werte von normal ernährten Pflanzen.

4. Eisenüberschuß

Wenige Tage nach ihrer Überführung in die normale Nährlösung entwickelten die vorher völlig in ihrem Wachstum gehemmten, dunkelgrün gefärbten Eisenüberschußpflanzen neue, normal aussehende Blätter und Wurzeln. Als Reaktion der Eisenüberschußpflanzen auf eine erhöhte Mangangabe traten lediglich zu den unveränderten Eisenüberschußsymptomen nach 17 Tagen zusätzlich gelbe Flecken an den dunkel gefärbten Blättern hinzu. Die Auswirkungen einer Überführung in die Normallösung und einer nachträglichen Manganbehandlung von Eisenüberschußpflanzen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt worden.

	Normal ernährte Pflanzen (Reihe 1)	Fe-Überschußpflanzen*		
		unbeh. (Reihe 2d)	Norm. Beh. (Reihe 3d)	Mn-Beh. (Reihe 5)
App.CO ₂ -Ass.	100 % = 5,59 mg CO ₂ /dm ² Std.	86	108	52
Atmung	100 % = 0,84 mg CO ₂ /dm ² Std.	173	112	202
App.Ass./Atm.	100 % = 6,65	50	97	25
App.Ass./a+b	100 % = 3,43	64	87	50
Chlorophyll a	100 % = 1,05 mg/dm ²	132	124	112
Chlorophyll b	100 % = 0,58 mg/dm ²	134	122	86
Carotin	100 % = 0,14 mg/dm ²	121	121	100
Xanthophyll	100 % = 0,29 mg/dm ²	114	128	103
a/b	100 % = 1,81	98	101	130
x/c	100 % = 2,07	94	105	103
a+b/c+x	100 % = 3,79	105	98	101
Gesamtfrischgewicht	100 % = 8089 mg	2	6	2

* Werte in %, bezogen auf die der Reihe 1 = 100 %

Von allen Kombinationen der verwendeten Eisen- und Mangankonzentrationen hemmte der Eisenüberschuß das Wachstum am stärksten. Obwohl die Pigmentausstattung, mengenmäßig gesehen, relativ verbessert war, wurde die

physiologische Leistung der Blätter hinsichtlich der CO_2 -Assimilation bei Eisenüberschuß schlechter. Die Assimilationszahl (CO_2 -Assimilation/a+b) betrug nur 64 %, das Verhältnis: Apparente Assimilation/Atmung infolge der stark erhöhten Atmung nur 50 % der Werte von normal ernährten Pflanzen. Die nachträgliche Überführung der Eisenüberschußpflanzen in die normale Nährlösung beeinflusste die prozentualen Werte für die Pigmentgehalte nicht, wohl verbesserte sie aber durch eine Erhöhung der CO_2 -Assimilation und eine Hemmung der durch den Eisenüberschuß gesteigerten Atmung das Verhältnis: Apparente Assimilation/Atmung im Sinne einer Normalisierung.

Die zusätzliche Manganbehandlung bewirkte vor allen Dingen eine starke Hemmung der CO_2 -Assimilation bei fast verdoppelter Atmung. Die Verhältnisse: Apparente Assimilation/Atmung und: Apparente Assimilation/a+b sanken daher sehr stark ab.

IV. Ergebnisse der Versuchsreihen

Sowohl Eisen als auch Mangan beeinflussen die Synthese aller Blattpigmente, das Mangan allerdings in viel geringerem Umfange als das Eisen. Während ein Manganüberschuß ebenso wie Mangan- und Eisenmangel die Pigmentsynthese hemmte, förderte sie ein Eisenüberschuß.

Die Atmung der Sprosse wurde durch das Eisen deutlich beeinflusst, was bei der Tatsache, daß mehrere Atmungsfermente als Eisenproteide bekannt sind, zu erwarten war.

Aus der Art der Beeinflussung der CO_2 -Assimilation durch die unterschiedliche Eisen- und Manganversorgung der Pflanzen kann geschlossen werden, daß die Photosynthese durch das Mangan direkt, durch das Eisen aber nur mittelbar beeinflusst wird.

Direkte Beziehungen zwischen der Pigmentausrüstung und der Photosynthese konnten nicht festgestellt werden, da - wie die Assimilationszahlen zeigen - beim Vergilben und Ergrünen der Blätter die Photosynthese allgemein langsamer reagierte als der Gehalt der Blätter an Pigmenten.

Bei allen untersuchten Chlorosen zeigten sich prinzipiell ähnliche, nur graduell verschiedene Pigmentverhältnisse. Die Veränderungen gegenüber den Normalwerten nahmen in der Reihenfolge: Manganüberschuß, Manganmangel, Eisenmangel zu. Durch die Gehalte der Blätter an Eisen und Mangan

läßt sich dagegen - wie zahlreiche einander widersprechende Angaben der Literatur zeigen (GRIESSMEYER 1930, CHAPMAN 1931, BENNETT 1945, TWYMAN 1951) - eine Chlorose nicht charakterisieren. Wenn auch die Ursachen der Vergilbungserscheinungen damit noch unklar bleiben, so konnte immerhin festgestellt werden, daß das Eisen/Mangan-Verhältnis in der Nährlösung ohne Beziehung zum Auftreten von Blattchlorosen ist. Bei einem normalen Fe/Mn-Verhältnis von 10/1 wirkte ein Verhältniswert von 50/1 bereits stark giftig, 1/15 dagegen noch völlig unschädlich. Da die Grenzen einer optimalen Versorgung für Eisen sehr eng, für Mangan dagegen recht weit sind, zeigten die in den Versuchen auftretenden Schädigungen nur Beziehungen zu den jeweiligen absoluten Konzentrationen beider Elemente. Die natürlich vorkommenden, sehr starken Schwankungen in den Eisen- und Mangangehalten der Pflanzen und Böden sprechen ebenfalls gegen eine Bedeutung des Fe/Mn-Verhältnisses für die normale Eisen- und Manganversorgung der Pflanzen.

Mit der Feststellung einer völligen Verschiedenheit der Auswirkungen von Manganmangel und Eisenüberschuß sowie von Eisenmangel und Manganüberschuß war schon der Annahme eines Redoxgleichgewichtes zwischen Eisen und Mangan eine wesentliche Voraussetzung entzogen. Die Ergebnisse der Versuche mit wechselseitiger Behandlung von Eisenüberschußpflanzen mit Mangan und von Manganüberschußpflanzen mit Eisen zeigten darüber hinaus, daß ein Fe/Mn-Antagonismus in der Form, wie er von SOMERS und SHIVE (1942) angenommen wurde, nicht existiert. Die Wirkungen von Eisen und Mangan auf die Pflanze sind vielmehr voneinander getrennt und beeinflussen sich gegenseitig nicht.

Prof.Dr.rer.nat.habil. WALTER BAUMEISTER, Münster/Westf.
Dr.rer.nat. HELMUT BURGHARDT, Münster/Westf.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- BAUMEISTER, W. 1952 a
Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. Verlag G. Fischer, Jena, 2. Auflage 1954
- BAUMEISTER, W. 1952 b
Zur Anwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers für CO₂-Assimilationsmessungen an abgeschnittenen Blättern im Laboratorium. Ber.Dtsch.Bot.Ges. 65, 361 - 368
- BENNETT, J.P. 1945. Iron in leaves. Soil Sci. 60, 91 - 106
- BUKATSCH, Fr. 1942. Über den Einfluß verschiedener mineralischer Ernährung auf den Blattpigmentgehalt und die Photosynthese junger Getreidepflanzen. Jahrb.Wiss.Bot. 90, 293 - 334
- CHAPMAN, G.W. 1931. The relation of iron and manganese to chlorosis in plants. The New Phytologist 30, 266 - 283
- GERRETSEN, F.C. 1937. Manganese deficiency of oats and its relation to soil bacteria. Ann.of Bot. 1, 207 - 230
- GRIESSMEYER, H. 1930. Über experimentelle Beeinflussung des Eisens in Chloroplasten. Planta 11, 331 - 358
- JACOBSON, L. 1951. Maintenance of iron supply in nutrient solutions by a single addition of ferric-potassium-ethylenediamine-tetra-acetate. Plant Physiol. 26, 411 - 413
- KAR, BAIKUNTHA KUMAR 1937. Über das Verhalten der Plastidenfarbstoffe photoperiodisch reagierender Pflanzen bei verschiedenem Lichtgenuß. Planta 26, 420 - 462
- Mc HARGUE, J.S. 1926. Manganese and plant growth. J. Industrial and Engineering Chemistry 18, 172 - 175
- PIRSON, A.,
TICHY, C. u.
G. WILHELMI 1952. Stoffwechsel und Mineralsalzernährung einzelliger Grünalgen. Planta 40, 199 - 253

- RIPPEL, A. 1923. Über die durch Mangan verursachte Eisenchlorose bei grünen Pflanzen. Biochem.Z. 140, 315 - 323
- SCHLEEP, W. 1953. Beiträge zur Physiologie der Pigmentbildung in belichteten etiolierten Blättern. Diss. Münster
- SHIVE, J.W. 1915. A three-salt nutrient solution for plants Amer. J. of Bot. 2, 157 - 160
- SOMERS, J.J. and J.W. SHIVE 1942. The iron-manganese relation in plant metabolism. Plant Physiol. 17, 582 - 602
- TSWETT, M. 1906. Adsorptionsanalyse und chromatographische Methode. Ber.Dtsch.Bot.Ges. 24, 384 - 393
- TWYMAN, E.S. 1951. The iron and manganese requirements of plants. The New Phytologist 50, 210 - 226
- WENDEL, K. 1950. Beiträge zur chromatographischen Analyse von Chlorophyll-Lösungen und deren kolorimetrische und photometrische Messung. Planta 37, 604 - 611
- WILLSTÄTTER, R. und A. STOLL 1918. Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Verlag J. Springer, Berlin
- ZSCHEILE, F.P. and C.L. COMAR 1941. Influence of preparative procedure on the purity of chlorophyll components as shown by absorption spectra. Bot.Gaz. 102, 463 - 481

TEIL II

Über den Einfluß des Stickstoffs auf die Photosynthese und Atmung sowie auf die Pigmentausbildung beim Sommerweizen

Die Bedeutung des Stickstoffs für den pflanzlichen Stoffwechsel ist einmal durch die Beteiligung dieses Elementes am Aufbau der Eiweißstoffe sowie anderer organischer Verbindungen charakterisiert, zum anderen sind aber Hinweise dafür vorhanden, daß der Stickstoff auch die Pigmentbildung in den Blättern und deren photosynthetische Leistungsfähigkeit in direkter Weise beeinflußt. Es sei in diesem Zusammenhang verwiesen auf die Arbeiten von LUNDEGARDH (1932), MÜLLER (1932, 1935), GASSNER und GOEZE (1934) und BUKATSCH (1942). Eine einwandfreie Klärung der Bedeutung des Stickstoffs für diese stoffwechselphysiologischen Prozesse konnte aber noch nicht erreicht werden. Eine erneute Bearbeitung dieses Problems mit modernen Methoden erschien uns daher unbedingt notwendig.

M e t h o d i k

Die Versuchspflanzen (Sommerweizen) wurden in Buchensägemehl vorgezogen und dann nach sorgfältiger Reinigung der Wurzeln im Alter von etwa 6 - 7 Tagen in die Wasserkultur überführt. Als Gefäße dienten Glasbehälter aus Jenaer Glas (G 20) von 3 Ltr. Inhalt. Die Nährlösung hatte folgende Zusammensetzung:

1000 g aqua dest.

0,5 g K_2SO_4

0,5 g $MgSO_4 + 7 H_2O$

0,5 g $CaSO_4 + 2 H_2O$

0,25 g $Ca_3 (PO_4)_2$

0,12 g Eisenzitrat

3 mg H_3BO_3

3 mg $MnSO_4 + 4 H_2O$

1 ccm A-Z-Lösung nach HOAGLAND (ohne Bor und Mangan)

Die Stickstoffversorgung der Pflanzen variierte von Fall zu Fall. Die verwendeten Mengen werden bei der Besprechung der Versuchsergebnisse jeweils angegeben werden. Die Versuchsgefäße wurden im Versuchsgewächshaus des Botanischen Institutes der Universität Münster aufgestellt.

Hinsichtlich der Messungen der Photosynthese und der Atmung sowie der Bestimmung der Pigmentgehalte sei auf die Angaben im Teil I dieses Berichtes verwiesen.

V e r s u c h s e r g e b n i s s e

I. Einfluß der Stickstoffdüngung auf die Photosynthese, Atmung und den Pigmentgehalt der Blätter

Die unterschiedliche Stickstoffdüngung (0,00 - 0,17 - 0,50 - 1,50 g NH_4NO_3 je Ltr. Nährlösung) führte, wie zu erwarten war, sehr schnell zu Wachstumsunterschieden bei den Versuchspflanzen. Bei den Stickstoffmangelpflanzen traten bereits nach einer Woche chlorotische Erscheinungen auf. Besonders bemerkenswert waren weiter Abweichungen vom normalen Zustand beim Wurzelsystem. Der Stickstoffmangel hatte die Ausbildung langer, nur wenig verzweigter Wurzeln zur Folge. Die Sproßentwicklung war deutlich gehemmt, so daß relativ gesehen die Wurzelentwicklung gefördert erschien. Bei den durch eine Überdüngung mit Stickstoff geschädigten Pflanzen war demgegenüber eine gleichmäßige Hemmung des Wachstums von Sproß und Wurzeln zu beobachten.

Die hellgrüne Farbe der Blätter von Stickstoffmangelpflanzen hat, wie die Untersuchungen zeigten, verschiedene Gründe. Zunächst konnte festgestellt werden, daß in den Palisadenparenchymzellen der Blätter unter Stickstoffmangel leidender Pflanzen die Zahl der Chloroplasten vermindert worden ist. Es konnten hier nur durchschnittlich 42 Chloroplasten gegenüber 59 bei normal ernährten Pflanzen gezählt werden. Ein entsprechender Unterschied wurde auch hinsichtlich der Größe der Chloroplasten sichtbar. Die Werte für den Durchmesser betrugen 3,5 - 4,5 bzw. 5 - 6 μ .

Darüber hinaus bewirkte die unterschiedliche Stickstoffernährung auch Verschiebungen in den Mengenverhältnissen der vier Blattfarbstoffe: Chlorophyll a und b, Carotin und Xanthophyll und natürlich auch eine Beeinflussung der Photosynthese. In der Tabelle 1 sind die an 4 Wochen alten Weizenpflanzen ermittelten Verhältnisse einschließlich der Atmungswerte zusammengestellt worden.

Beim Vergleich der Werte ergibt sich zunächst ein Anstieg im Chlorophyllgehalt der Blätter mit zunehmender Stickstoffgabe. Dieser Anstieg ist besonders hoch zwischen den Reihen mit extremem Stickstoffmangel und der

T a b e l l e 1

Einfluß des Stickstoffs auf den Pigmentgehalt, die Photosynthese
und Atmung 4 Wochen alter Weizenpflanzen

	Bezugs- größe	Höhe der Stickstoffga- be in g NH_4NO_3 je Ltr.			
		0,00	0,17	0,50	1,50
App.CO ₂ -Assimilation	mg CO ₂ / Std./dm ²	1,3	3,1	4,3	3,6
Atmung	"	0,71	0,48	0,49	0,75
App.CO ₂ -Ass./Atmung	-	1,8	6,5	8,8	4,8
App.CO ₂ -Ass./Chlorophyll	-	1,8	2,5	2,8	2,0
Chlorophyll a	mg/dm ²	0,49	0,84	1,03	1,15
Chlorophyll b	"	0,22	0,41	0,50	0,61
Carotin (c)	"	0,07	0,13	0,09	0,09
Xanthophyll (x)	"	0,13	0,18	0,17	0,19
a / b	-	2,2	2,0	2,1	1,9
x / c	-	1,9	1,4	1,9	2,1
a + b / x + c	-	3,6	4,0	5,9	6,3

Reihe mit leichtem Stickstoffmangel, tritt aber in abgeschwächtem Maße auch bei weiterer Steigerung der Stickstoffgabe noch in Erscheinung. Entsprechend steigen auch die Werte für die apparente CO₂-Assimilation an, doch bedingt die höchste Stickstoffgabe bereits wieder eine leichte Hemmung. Die Ausnutzung der vorhandenen Chlorophyllmenge wird also bei hoher Stickstoffversorgung deutlich schlechter, was auch im Verhältnis apparente CO₂-Assimilation/Chlorophyll a + b (Assimilationszahl) zum Ausdruck kommt. In der Reihe mit extremem Stickstoffmangel ist auch der Gehalt an Carotin und Xanthophyll verringert, allerdings ist der durch die unterschiedliche Stickstoffversorgung bedingte Schwankungsbereich wesentlich enger als bei den Chlorophyllfarbstoffen. Die starke Steigerung im Chlorophyllgehalt bewirkt daher auch eine bis zur höchsten Stickstoffgabe ansteigende Erhöhung des Verhältnisses Chlorophyll a + b/Carotin + Xanthophyll (a + b/x + c). Die Schwankungen in den Verhältnissen a/b und x/c sind nur unwesentlich oder unregelmäßig, besondere Aussagen lassen sich deshalb in dieser Hinsicht nicht machen.

Unterschiede bei den Verhältnissen a/b und x/c ergeben sich aber beim Vergleich der Zahlenverhältnisse junger Primärblätter mit denen ausgewachsener Blätter. Um diesen Vergleich zu ermöglichen, wurde der Pigmentgehalt noch nicht entfalteter Primärblätter zwei und drei Tage nach Aufgang des Saatgutes untersucht. Als Vergleich dienten ausgewachsene Blätter im Alter von 14, 21 und 30 Tagen.

Alter der Blätter	a / b	x / c	$a+b / x+c$
2 Tage	2,64	3,39	5,46
3 Tage	2,39	2,45	6,80
14 Tage ⁺	2,00	2,00	7,20
21 Tage ⁺	2,00	1,90	6,00
30 Tage ⁺	2,10	1,90	5,90

+ Pflanzen mit optimaler Stickstoffernährung
(0,5 g NH_4NO_3 je Ltr. Nährlösung)

Die Aufstellung zeigt, daß in den jüngsten, noch nicht entfalteten Blättern der Anteil des Chlorophylls a höher ist als bei den ausgewachsenen Blättern. Wie der schnelle Abfall der Werte für das Verhältnis Chlorophyll a / Chlorophyll b (a/b) vom zweiten zum dritten Tag beweist, ändert sich die Zusammensetzung des Gesamtchlorophyllgehaltes aber sehr schnell im Sinne einer Annäherung an das normale Verhältnis in der Größenordnung um 2. Ähnliches gilt auch für den Quotienten Xanthophyll / Carotin. Die äußerlich sichtbare Ergrünung der Primärblätter ist auch in diesen Versuchen mit einer Zunahme der Werte für den Quotienten $a+b / x+c$ verbunden. Die stärkste Zunahme des relativen Chlorophyllgehaltes ist allerdings auf einen kurzen Zeitraum beschränkt. Später normalisieren sich auch hier die Verhältnisse. Bei den 14 Tage alten Pflanzen wurde für den Quotienten $a+b / x+c$ mit 7,20 der höchste Wert ermittelt. Bei den 21 und 30 Tage alten Blättern wurde eine konstante Höhe von 6,0 bzw. 5,9 festgestellt. Diese Beobachtungen stehen in guter Übereinstimmung mit den von SEYBOLD und EGGLE (1938) gemachten Befunden bei ergrünenden Weizenblättern. Auch diese Autoren geben an, daß zu Beginn der Belichtung mehr Chlorophyll a als Chlorophyll b und mehr Xanthophyll als Carotin gebildet wird. Mit der Dauer der Belichtung nehmen dann die Quotienten a / b und x / c ab, das Verhältnis $a+b / x+c$ aber zu.

Bemerkenswert bei den hier geschilderten Versuchsreihen ist noch die relativ hohe Atmung bei den unter Stickstoffmangel und bei den unter Stickstoffüberschuß leidenden Pflanzen. Das ist zweifellos ein Zeichen dafür, daß diese Stickstoffgaben ernsthafte Störungen im Stoffwechsel der Pflanzen bewirkt haben.

II. Einfluß einer nachträglichen Stickstoffgabe auf den Pigmentgehalt und die Photosynthese bei Stickstoffmangelpflanzen

Die Versuchspflanzen wurden zunächst drei Wochen in stickstofffreier Nährlösung herangezogen, dann im bewurzelten Zustand für CO_2 -Assimilationsmessungen verwendet und anschließend in eine Nährlösung von kompletter Zusammensetzung einschließlich $0,5 \text{ g NH}_4\text{NO}_3$ je Ltr. überführt. Die folgende laufende Kontrolle der Assimilationsintensität ergab, daß vom dritten Tage nach dem Wechsel der Nährlösung an deutliche Unterschiede zwischen den in Mangellösung verbliebenen und den in die volle Nährlösung überführten Pflanzen auftraten. Die Ergebnisse der Pigmentanalysen und Messungen der CO_2 -Assimilation sind aus der Tabelle 2 ersichtlich.

T a b e l l e 2

Einfluß einer nachträglichen Stickstoffgabe auf den Pigmentgehalt und die Höhe der CO_2 -Assimilation. Durchführung der Analysen 3 Tage nach dem Wechsel der Nährlösung

	nach stickstofffreier Anzucht	
	in N-freier Lösung verblieben	in N-haltige Lösung überführt
app. CO_2 -Assimilation		
in $\text{mg CO}_2/\text{Std.}/\text{dm}^2$	3,75	7,00
Chlorophyll a in mg/dm^2	0,90	1,14
Chlorophyll b "	0,35	0,56
Xanthophyll "	0,14	0,20
Carotin "	0,07	0,11
a / b	2,56	2,03
x / c	2,00	1,80
a+b / x+c	6,00	5,45
app. CO_2 -Assimilation/ Chlorophyll	3,0	4,1

Die Stickstoffmangelpflanzen reagierten - wie die Werte der Tabelle 2 zeigen - auf den Stickstoffzusatz mit einer deutlichen Erhöhung der Mengen aller 4 Pigmente, der CO_2 -Assimilation und sogar mit einer Verbesserung der Chlorophyllausnutzung. Die relativ stärkere Förderung der CO_2 -Assimilation ergibt sich einmal aus der Erhöhung des Quotienten $\text{app. CO}_2\text{-Assimilation/Chlorophyllgehalt}$ (Assimilationszahl) und zum anderen aus den prozentualen Steigerungen. Einer Erhöhung der Werte für die CO_2 -Assimilation um 86,7 % entsprechen nämlich nur Steigerungen der Chlorophyllmengen (Chlorophyll a und b) von 36 % und der Mengen an Xanthophyll und Carotin von 53 %. Die Quotienten a/b und x/c werden nach der Überführung der Pflanzen in stickstoffhaltige Nährlösungen sehr schnell verringert und damit normalisiert. Beim Vergleich der Werte in den Tabellen 1 und 2 ergibt sich weiter die überraschende Tatsache, daß den Stickstoffmangelpflanzen bereits wenige Tage in stickstoffhaltiger Nährlösung genügen, um die Störungen im Pigmentgehalt der Blätter zu beseitigen. Die CO_2 -Assimilation wird in der kurzen Zeit sogar so sehr erhöht, daß sie weit intensiver als bei ausgewachsenen und normal ernährten Pflanzen ist. Später sinken die Werte für die CO_2 -Assimilation aber stark ab.

III. Einfluß der Stickstoffquelle auf die Photosynthese, Atmung und Pigmentausbildung

Wir wissen heute auf Grund der Untersuchungen vor allem von MEVIUS (1928) und PIRSCHLE (1930), daß bei Beachtung ihrer pH-Abhängigkeit Ammonium- und Nitratverbindungen gute Stickstoffquellen für die Pflanzen sein können. Da auch die organischen stickstoffhaltigen Verbindungen gute Stickstoffdünger darstellen, stehen uns für die Stickstoffversorgung der Pflanzen zahlreiche Stoffe zur Verfügung. Uns interessierte nun die Frage, ob alle Stickstoffverbindungen die Pigmentausbildung und die CO_2 -Assimilation sowie die Atmung in gleicher Weise beeinflussen. Wir kultivierten daher die Versuchspflanzen in Nährlösungen, die den Stickstoff entweder als Amid (Harnstoff) Nitrat (NaNO_3), als Ammonium (NH_4Cl) oder in gemischter Form als Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) enthielten. In allen Fällen wurde mit drei Konzentrationen gearbeitet, und zwar mit 0,06, 0,23 und 0,90 g Stickstoff im Ltr. Nährlösung. In Vorversuchen wurde geprüft, ob die als Kation bzw. Anion verwendeten Natrium- bzw. Chlorionen die spezifische Wirkung des Stickstoffs zu beeinträchtigen vermögen. Die Kontrollpflanzen wurden bei einem Kochsalzgehalt der Nährlösungen von 0,00;

1,00; 1,93 und 3,70 g NaCl je Ltr. Nährlösung herangezogen. Es zeigte sich, daß nach 3 Wochen der unterschiedliche Kochsalzgehalt weder die Pigmentbildung, noch die CO_2 -Assimilation und die Atmung in nennenswerter Weise beeinflußt hatte. Die Wirkung der Na- bzw. Cl-Ionen konnte daher in den weiteren Versuchen vernachlässigt werden.

Da hinsichtlich der Versuchsergebnisse die niedere und mittlere Stickstoffgabe sich gleichartig verhalten haben, sollen in der Tabelle 3 nur die Ergebnisse der Reihen mit niederer und hoher Stickstoffgabe berücksichtigt werden.

T a b e l l e 3

Einfluß verschiedener Stickstoffquellen auf die Pigmentausbildung, die CO_2 -Assimilation und die Atmung. Alter der Pflanzen drei Wochen.

I. niedere N-Gabe (0,06 g), II. hohe N-Gabe (0,90 g)

	Stickstoffquelle für die Pflanzen							
	NH_2CONH_2		NH_4NO_3		NaNO_3		NH_4Cl	
	I	II	I	II	I	II	I	II
app. CO_2 -Assimilation mg CO_2 /Std./dm ²	6,0	7,0	5,2	5,3	5,2	4,8	5,2	1,7
Atmung mg CO_2 /Std./dm ²	0,83	0,60	0,62	0,60	0,73	0,60	0,90	1,10
Chlorophyll a mg/dm ²	1,40	1,69	1,21	1,51	1,13	1,45	1,24	0,95
Chlorophyll b "	0,61	0,85	0,49	0,82	0,42	0,74	0,49	0,48
Xanthophyll "	0,18	0,19	0,13	0,15	0,14	0,13	0,12	0,07
Carotin "	0,08	0,09	0,07	0,10	0,07	0,09	0,05	0,04
a / b	2,3	2,0	2,5	1,9	2,7	2,0	2,5	2,0
x / c	2,3	2,1	1,9	1,5	2,0	1,4	2,4	1,7
a+b / x+c	7,7	9,0	8,5	9,3	7,4	10,0	10,2	13,0
app. CO_2 -Assimilation/ Chlorophyll	3,0	2,7	3,0	2,3	3,4	2,2	3,0	1,2

Bei der Durchsicht der Tabelle 3 fällt zunächst auf, daß die mit Harnstoff versorgten Pflanzen in allen Fällen, und zwar sowohl bei der niederen als auch bei der hohen Stickstoffgabe die höchsten Werte für die CO_2 -Assimilation und für die Pigmentgehalte aufweisen. Die hohe Gabe hat in diesen Versuchen eine sehr günstige Wirkung gehabt. Assimilationswerte und Pigmentgehalte wurden durch die Steigerung der Stickstoffgabe

erhöht, die Quotienten a / b und x / c leicht verringert, das Verhältnis $a+b / x+c$ erhöht, die Chlorophyllausnutzung aber, wie der Quotient $\text{app. CO}_2\text{-Assimilation} / \text{Chlorophyll (Assimilationszahl)}$ beweist, verschlechtert. Alles in allem sind das aber Erscheinungen, die wir bereits vorher bei gesunden und normal ernährten Pflanzen beobachtet haben.

Nur sehr wenig Unterschiede sind zwischen den mit Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) und Natriumnitrat (NaNO_3) ernährten Pflanzen festzustellen. Erstaunlicherweise sind aber auch kaum Auswirkungen der unterschiedlichen Stickstoffgaben auf die Höhe der CO_2 -Assimilation festzustellen, wenn wir von der leichten Senkung durch die hohe Natriumnitratgabe absehen. Bisher hatten wir bei Steigerungen der Stickstoffgabe bis zur optimalen Grenze stets auch eine Erhöhung der Werte für die Photosynthese beobachtet. Die Beeinflussung der Pigmentgehalte durch die niedrige und hohe Gabe von Ammoniumnitrat und Natriumnitrat entspricht tendenzmäßig den Verhältnissen der Harnstoffreihe. Die absoluten Werte für die Farbstoffe Chlorophyll a und b sowie für das Xanthophyll sind aber stets niedriger als in der Harnstoffreihe. Beim Carotingehalt sind die Unterschiede zu gering, um eine Aussage darüber machen zu können, ob eine Beeinflussung durch die unterschiedliche Stickstoffversorgung eingetreten ist. Beim Vergleich der Zahlen für die Pflanzen mit der niedrigen und der hohen Stickstoffgabe ist auch bei diesen Stickstoffsalzen eine Erhöhung des Gehaltes an Chlorophyll und an Xanthophyll bei der höheren Stickstoffgabe zu bemerken. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Ammoniumnitrat und Natriumnitrat als gleichwertig anzusehen sind, beide aber hinsichtlich der günstigen Beeinflussung der Pigmentgehalte und der CO_2 -Assimilation dem Harnstoff unterlegen sind.

Bei den mit Ammoniumchlorid versorgten Pflanzen ergeben sich bei der niedrigen Gabe von 0,06 g Stickstoff/Ltr. Nährlösung kaum Unterschiede gegenüber den Pflanzen, die Ammoniumnitrat zur Verfügung hatten. Eine schädliche Wirkung der Ammoniumionen ist also hier noch nicht vorhanden, was aber, wie wir gesehen haben, auch noch für die Gabe von 0,9 g Ammoniumnitrat je Ltr. Nährlösung zutrifft. Bei der Verwendung von 0,9 g Ammoniumchlorid trat die schädliche Wirkung der Ammoniumionen aber sehr schnell und kraß in Erscheinung. Bereits äußerlich konnten Chloroseerscheinungen an den Blättern und braune Verfärbungen an den Wurzeln mit nachfolgendem Absterben der Wurzelspitzen beobachtet werden. Das Absterben der Wurzeln

an der Spitze hatte die Neubildung zahlreicher, gedrungener Seitenwurzeln zur Folge.

Bei den Analysen stellte sich heraus, daß bei den Pflanzen mit der hohen Gabe von Ammoniumchlorid nicht nur die sonst bei Erhöhung der Stickstoffgabe übliche Steigerung des Pigmentgehaltes ausgeblieben, sondern der Gehalt an Chlorophyll a und Xanthophyll sogar erheblich vermindert ist. Die Unterschiede in den Pigmentgehalten sind allerdings nicht besonders tiefgreifend, zumal die Verhältnisse a / b und x / c noch als durchaus normal zu beurteilen sind. Die Pigmentausnutzung ist aber, wie die extrem tiefen Werte für die CO_2 -Assimilation und für die Assimilationszahl (app. CO_2 -Assimilation / Chlorophyll a+b) ausweisen, sehr schlecht. Die Atmungswerte sind demgegenüber gestiegen. Hier liegen also zweifellos Giftwirkungen der Ammoniumionen vor, deren Einbau in C-Gerüste bei der geringen CO_2 -Assimilation zu Schwierigkeiten führen muß, so daß die Bildung freier Ammoniakmoleküle in den Zellen wahrscheinlich ist. Diese Giftwirkung einer Ammoniumchloridgabe von 0,9 g je Ltr. Nährlösung ist eingetreten, obwohl dafür gesorgt wurde, daß der pH-Wert der Nährlösungen im Bereich von pH 5 - 6 blieb, ein Anstieg ins alkalische Gebiet also vermieden wurde. Entscheidend ist also stets der pH-Wert in der Zelle, der durch äußere Maßnahmen demnach nur unvollkommen gesteuert werden kann.

Das Ergebnis dieser Untersuchungsreihe ist daher dahingehend zusammenzufassen, daß, von der Giftwirkung hoher Ammoniumkonzentrationen abgesehen, die Art der Stickstoffquelle für den Einfluß des Stickstoffs auf den Pigmentgehalt und die CO_2 -Assimilation von untergeordneter Bedeutung ist. Die günstige Wirkung einer guten Stickstoffversorgung ist tendenzmäßig stets gleichartig. Daß bei den Harnstoffpflanzen alle Werte absolut höher liegen, ist nur ein Beweis dafür, daß der Harnstoff ein besonders gut ausnutzbares Stickstoffdüngemittel ist. Die Art der Stickstoffwirkung wird grundsätzlich aber nicht beeinflusst.

Hier muß aber als Ergebnis aller Versuchsreihen festgestellt werden, daß nicht anzunehmen ist, daß der Stickstoff in spezifischer Weise die Pigmentbildung und die Photosynthese beeinflusst. Eine Förderung ist zweifellos vorhanden. Sie ist aber wahrscheinlich die Auswirkung anderer Vorgänge in der Zelle. Die beobachteten Wirkungen: Anstieg des Chlorophyllgehaltes, Verminderung des Quotienten a / b , Erhöhung des Verhältnisses $a+b / x+c$ sind Erscheinungen, die stets für das Verschwinden von Chlorosen

typisch sind. Die bei Stickstoffmangel festgestellten Verhältnisse stimmen in den wesentlichsten Zügen z.B. völlig mit den Veränderungen überein, die in den Blättern zu finden sind, die unter Eisenmangel leiden. Eine besonders spezifische Wirkung des Stickstoffs muß daher als unwahrscheinlich bezeichnet werden.

IV. Zusammenfassung

1. In Wasserkulturversuchen wurde der Einfluß des Stickstoffs auf die Pigmentbildung, die CO_2 -Assimilation und die Atmung beim Sommerweizen untersucht.
2. Stickstoffmangelpflanzen weisen einen geringeren Gehalt an Chlorophyll a und b, an Xanthophyll und Carotin auf. Die Quotienten app. CO_2 -Assimilation / Chlorophyllgehalt (Assimilationszahl) sowie $a+b / x+c$ sind verringert, das Verhältnis Chlorophyll a / Chlorophyll b ist erhöht. Durch den Stickstoffmangel wird die CO_2 -Assimilation gehemmt und die Atmung gefördert.
3. Steigende Stickstoffgaben erhöhen allgemein den Pigmentgehalt und den Quotienten $a+b / x+c$. Der Quotient a / b wird vermindert. CO_2 -Assimilation und Assimilationszahl steigen bis zu den optimalen Gaben an, höhere Stickstoffgaben wirken erneut hemmend.
4. Durch eine nachträgliche Stickstoffzufuhr werden in kurzer Zeit die Pigmentgehalte und die CO_2 -Assimilation wieder normalisiert.
5. Die Stickstoffwirkung auf die Zusammensetzung und die Menge der Blattpigmente sowie auf die CO_2 -Assimilation und die Atmung ist unabhängig von der Art der Stickstoffquelle. Eine besonders gute Ausnutzung ist für den Harnstoff kennzeichnend. Hohe Ammoniumchloridgaben wirken ausgesprochen schädlich.
6. Ein spezifischer Einfluß des Stickstoffs auf den Pigmentgehalt und die CO_2 -Assimilation wird für unwahrscheinlich gehalten. Ähnliche Wirkungen werden z.B. auch durch Eisenmangel hervorgerufen.

Prof.Dr.rer.nat.habil. WALTER BAUMEISTER, Münster/Westf.
Dr.rer.nat. FRIEDRICH SCHMITZ, Münster/Westf.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- BUKATSCH, F. Über den Einfluß verschiedener mineralischer Ernährung auf den Pigmentgehalt und die Photosynthese junger Getreidepflanzen. Jb.f.wiss.Bot. 90, 293 - 334, 1942
- GASSNER, G. und G. GOEZE Assimilationsverhalten, Chlorophyllgehalt und Transpirationsgröße von Getreideblättern mit besonderer Berücksichtigung der Kalium- und Stickstoffernährung. Ztschr. f. Bot. 27, 257 - 340, 1934
- LUNDEGARDH, H. Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Verlag G. Fischer Jena 1932
- MEVIUS, W. Die Wirkung der Ammoniumsalze in ihrer Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration. Planta 6, 379 - 455, 1928
- MÜLLER, D. Analyse der verminderten Stoffproduktion bei Stickstoffmangel. Planta 16, 1 - 9, 1932
- MÜLLER, D. und D. LARSEN Analyse der Stoffproduktion bei Stickstoff- und Kaliummangel. Planta 23, 501 - 517, 1935
- PIRSCHLE, K. Nitrate und Ammonsalze als Stickstoffquelle für höhere Pflanzen bei konstanter Wasserstoffionenkonzentration. Planta 2, 84 - 104, 1930
- SEYBOLD, A. und K. EGLE Lichtfeld und Blattfarbstoffe II. Planta 28, 87 - 123, 1938

TEIL III

Über den Einfluß des Zinks bei *Silene inflata* Smith

Die formenreiche Caryophyllaceenart *Silene inflata* Sm. (*Silene vulgaris* [Moench] Garke) findet sich in besonderen Varietäten auch auf Zinkböden (Galmeiböden), die in Deutschland in der Nähe von Aachen, auf dem Silberberg bei Osnabrück, bei Blankenrode in Westfalen und in Oberschlesien vorkommen. SCHWICKERATH (1931) führt für die Zinkböden in der Umgebung von Aachen die Varietät *Silene inflata* var. *glaberrima* SMITH und KOCH (1932) für ein begrenztes Vorkommen auf dem Silberberg bei Osnabrück die Varietät *Silene vulgaris* var. *angustifolia* KOCH an. Wieweit es sich dabei um die gleichen Formen handelt, kann ich nicht entscheiden, da mir bisher eine Vergleichsmöglichkeit fehlte. Bei der von KOCH für den Silberberg bei Osnabrück angegebenen Varietät handelt es sich um eine schmalblättrige, tiefwurzelnde und rasenbildende Form, die vor allem an den Rändern eines alten Pingentrichters zu finden ist.

Die Vegetation der Zinkböden ist ernährungsphysiologisch naturgemäß von großem Interesse. Dabei darf die Notwendigkeit des Zinks für höhere Pflanzen heute als bewiesen angesehen werden (Lit. bei PIRSCHLE, 1939; SCHARRER, 1944; REED, 1946; CHESTERS und ROLINSON, 1951; u.a.). Die für ein normales Wachstum notwendigen Zinkmengen sind aber relativ gering; so liegen in Nährlösungen die optimalen Konzentrationen in der Regel zwischen 1 - 10 mg/l Nährlösung. Entsprechend wurden in normalen Ackerböden nur Werte von unter 0,1 % Zn gefunden, während wir für Böden vom Pingentrichter auf dem Silberberg bei Osnabrück Werte von 1 % Zn und darüber feststellen konnten. Verglichen mit den von JENSCH (1894) für Galmeihalden in Oberschlesien angegebenen Werte von 8,93 bis 11,88 % Zn ist der Zinkgehalt der Böden auf dem Silberberg gering, doch reicht er bereits aus, um eine typische Zinkflora hervorzurufen.

Der Zinkgehalt bei *Silene inflata* Sm. wird von BAUMANN (1885) für Exemplare von den Zinkböden bei Altenberg in der Nähe von Aachen mit 0,44 % ZnO im lufttrockenen Zustand und mit 2,66 % ZnO in der Asche angegeben. Demgegenüber werden von BERTRAND und ANDREITCHewa (1933) Werte von 1 - 50 mg/kg angeführt. Die Zinkgehalte der Pflanzen schwanken also innerhalb weiter Grenzen je nach dem Zinkgehalt des Bodens. Für die hier beschriebenen Versuche ergab sich daraus die Problemstellung, da geklärt

werden sollte, ob die Pflanzen zinkreicher Standorte den dort üblichen hohen Zinkgehalt des Bodens für ein normales Wachstum benötigen oder ob sie diese normalerweise toxischen Zinkkonzentrationen lediglich ertragen. Zur Aufklärung dieser Verhältnisse wurden in den Jahren 1951 - 1953 Versuche mit Silene inflata Sm. durchgeführt, wobei Saatgut Verwendung fand, das auf dem Silberberg bei Osnabrück eingesammelt worden war. Die Versuche des Jahres 1951 sind dabei nur als Vorversuche zu werten, die dem Zweck dienten, Fragen der Anzucht zu klären. 1952 und 1953 wurde zur Kontrolle auch Saatgut benutzt, das aus dem Botanischen Garten in Hohenheim stammte.

Die Auswirkung der unterschiedlichen Zinkversorgung der Pflanzen wurde vor allem durch Messungen der CO_2 -Assimilation und der Atmung beblätterter Sprosse zu erfassen versucht. Dabei wurden die Erfahrungen anderer Autoren berücksichtigt, die einmal ergeben hatten, daß das Zink die Struktur und den Stoffwechsel der Blätter höherer Pflanzen tiefgreifend beeinflusst (DUFRENOY und REED, 1934; REED und DUFRENOY, 1935; REED, 1938, 1946; u.a.) und zum anderen gezeigt hatten, daß das Zink in fördernder Weise auf die Photosynthese einwirkt (STEGMANN, 1940).

V e r s u c h s e r g e b n i s s e

I. Vorversuche im Jahre 1951

Das für diese Versuche verwendete Saatgut von Silene inflata Sm. wurde im Herbst 1950 auf dem Silberberg bei Osnabrück gesammelt. Die Aussaat erfolgte am 21.6.1951 in mit Erde gefüllte Tonschalen. Nach gleichmäßigem Aufgang der Saat und normaler Keimlingsentwicklung wurden am 7.8.1951 je drei Pflanzen zusammen in Blumentöpfe (9 cm) umpikiert. Am 8.9.1951 wurden die Gefäße mit unterschiedlichen Zinkgaben versehen, und zwar nach folgendem Plan:

1. Reihe	(9 Töpfe mit je 3 Pflanzen)	kein Zink
2. Reihe	" "	10 mg Zn / Topf
3. Reihe	" "	100 mg Zn / Topf

Die Zinkgabe wurde dabei in Form von ZnSO_4 -Lösung zugesetzt.

Die Auswirkung der Zinkdüngung ergibt sich aus der Tabelle 1, in der die Frischgewichte der oberirdischen Pflanzenmasse und die Werte für die CO_2 -Assimilation zusammengestellt worden sind.

T a b e l l e 1

Einfluß des Zinks auf das Frischgewicht und die CO₂-Assimilation
bei Silene inflata Sm. vom Silberberg bei Osnabrück.

Aussaat am 21. Juni 1951

Höhe der Zinkgabe	Frischgewicht (Sproß + Blätter) in g je Pflanze am 17. 10. 1951	app.CO ₂ -Assimilation in mg ² CO ₂ / Std./ g Frischgewicht 5. - 9. Okt. 1951
Kein Zink (Kontrolle)	1,602	1,183
10 mg Zn je Topf	2,026	1,443
100 mg Zn je Topf	2,081	1,395

Aus den Werten der Tabelle 1 ergibt sich deutlich eine Förderung in der Entwicklung der oberirdischen Pflanzenteile und eine Steigerung der CO₂-Assimilation der Blätter durch die zusätzliche Düngung mit Zinksulfat. Es ist dabei zu bedenken, daß die Kultivierung der Versuchspflanzen in Erde eine normale Versorgung mit Zink bereits sichergestellt hat. Es handelt sich hier also um die Auswirkung höherer Zinkgaben, die nicht nur ertragen, sondern auch mit Vorteil ausgenutzt werden.

II. Sandkulturversuche im Jahre 1952

Die Vorversuche des Jahres 1951 hatten bereits gezeigt, daß Pflanzen, die aus Saatgut von Zinkböden herangezogen waren, sich gegenüber einer relativ hohen Zinkgabe sehr positiv verhalten. Um mit größerer Sicherheit die Auswirkung des Standortes beurteilen zu können, verwendete ich, wie bereits erwähnt, neben Saatgut, das im Herbst des Jahres 1951 wieder auf dem Silberberg bei Osnabrück eingesammelt worden war, auch Saatgut von Pflanzen aus dem Botanischen Garten von Hohenheim bei Stuttgart. Die Anzucht der Pflanzen erfolgte in diesem Jahre in Mitscherlichgefäßen mit Quarzsand aus Dörentrup in Lippe. Die Düngung je Gefäß hatte folgende Zusammensetzung:

Grunddüngung:

2,0 g CaCO₃, 0,5 g CaSO₄, 2,0 g KNO₃, 2,0 g CaHPO₄ + 2 H₂O, 0,5 g MgSO₄ + 7 H₂O, 0,1 g FeSO₄ + 7 H₂O, 0,1 g MnSO₄ + 4 H₂O, 0,25 g NaCl, 0,01 g H₃BO₃.

Zinkdüngung:

1. Reihe kein Zink
2. Reihe 10 mg Zn als $\text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
3. Reihe 100 mg Zn als $\text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Jede Reihe bestand aus drei Gefäßen. Die Aussaat unmittelbar in die Gefäße erfolgte am 8. April 1952. Die Zahl der Pflanzen wurde nach etwa 4 Wochen auf durchschnittlich 10 reduziert, um vergleichbare Bedingungen zu schaffen.

Während der Entwicklung der Pflanzen wurde äußerlich keine Auswirkung der unterschiedlichen Zinkdüngung beobachtet. Wohl aber unterschieden sich die beiden Formen von Silene inflata Sm. sehr deutlich. Die Form vom Silberberg entwickelte sich auch in der Sandkultur als niederliegende Pflanze mit kleinen Blättern, während die Form von Hohenheim kräftige Pflanzen mit aufrechtem Wuchs und relativ großen Blättern ausbildete. Die Wuchsunterschiede werden auch in der folgenden Aufstellung sichtbar.

	Größe der Blätter in cm^2	Gewicht d. Blätter in mg
Silene inflata Sm. Pflanzen		
1. vom Silberberg	1,50	69
2. aus Hohenheim	2,35	113

Die Werte stellen das Mittel dar von etwa je 200 Blättern.

Die Versuchspflanzen des Jahres 1952 wurden vor allem zur Untersuchung des Zinkeinflusses auf die CO_2 -Assimilation und Atmung verwendet. Die Messungen wurden mit Hilfe des Ultrarotabsorptionsschreibers (URAS) durchgeführt. Die Methodik ist im einzelnen ausführlich bei STRUGGER und BAUMEISTER (1951), sowie BAUMEISTER (1952) beschrieben worden, so daß sich eine erneute Schilderung hier erübrigt.

Die in Tabelle 2 zusammengestellten Versuchsergebnisse beweisen zunächst einmal, daß die im Quarzsand enthaltenen Zinkmengen bereits ausgereicht haben, um den Silene inflata Sm. - Pflanzen ein normales Wachstum und eine normale CO_2 -Assimilation zu ermöglichen. Auch die Düngung mit 10 mg Zn je Gefäß blieb daher ohne stärkere Auswirkung. Erst die Düngung mit 100 mg Zink wirkte sich deutlich aus, interessanterweise aber unterschiedlich bei den beiden Formen. Während die Pflanzen aus dem Saatgut vom

T a b e l l e 2

Einfluß des Zinks auf die CO₂-Assimilation
und Atmung bei Silene inflata Sm.

Zinkgabe je Gefäß in mg Zn als $\text{ZnSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$	Versuchs- daten 1952	Temp. im URAS	Atmung	CO_2 -Assimilation	
				apparente	wirkliche
<u>Silberberg</u>					
1. ohne Zink	30.6.-1.7.	21°C	1,66	4,45	6,11
	3.8.-6.8.	21°C	0,92	4,70	5,62
2. 10 mg Zn	2.7.-3.7.	22°C	0,98	5,16	6,10
	6.8.-7.8.	22°C	1,23	4,72	5,95
3. 100 mg Zn	3.7.-5.7.	22°C	0,98	6,09	7,07
	8.8.	22°C	1,05	5,73	6,78
<u>Hohenheim</u>					
1. ohne Zink	23.6.-25.6.	20°C	0,79	4,01	4,80
	28.7.-29.7.	20°C	0,94	4,33	5,27
2. 10 mg Zn	26.6.-27.6.	20°C	0,79	4,50	5,29
	31.7.	21°C	0,93	4,50	5,43
3. 100 mg Zn	27.6.-28.6.	20°C	0,94	4,04	4,98
	2.8.	21°C	0,93	3,73	4,66

Silberberg die hohe Zinkgabe offensichtlich noch gut zu verwerten vermochten, wurden die Pflanzen aus dem Saatgut von Hohenheim durch die gleiche Zinkgabe bereits geschädigt, wie aus dem Abfall der Werte für die CO₂-Assimilation geschlossen werden kann. Wichtig ist auch die Tatsache, daß die Assimilationsintensität bei der Zinkform von Silene inflata Sm. in allen Reihen höher ist als bei den entsprechenden Pflanzen der normalen Gartenform. Das gilt besonders für die Ende Juni bis Anfang Juli ermittelten Werte der CO₂-Assimilation. Während die Zinkform bereits zu dieser Zeit die höchsten Assimilationswerte erreicht hat, steigen diese bei der Gartenform von Hohenheim noch bis Anfang August an, bleiben aber auch dann noch immer unter den entsprechenden Werten bei der Zinkform vom

Silberberg. Der erwähnte Anstieg der Werte für die CO_2 -Assimilation von Juli bis August bei der Gartenform ist aber natürlich nicht bei den Pflanzen zu beobachten, die eine hohe Zinkgabe erhalten hatten.

Die wesentlichsten Feststellungen aus diesem Versuch sind dahin zu charakterisieren, daß die Pflanzen vom zinkreichen Silberbergstandort neben den Abweichungen in der Wuchsform auch hinsichtlich der photosynthetischen Leistungsfähigkeit ihrer Blätter Unterschiede gegenüber den Silene inflata Sm. - Pflanzen normaler Standorte aufweisen. Sie assimilieren grundsätzlich stärker und sind darüber hinaus in der Lage, Zinkkonzentrationen auszunutzen, die bei den Pflanzen normaler Standorte mit nur geringem Zinkgehalt des Bodens bereits schädigend wirken. Für die oben definierte Fragestellung ergibt sich daher auch aus diesen Versuchen die Antwort, daß Silene inflata Sm. - Pflanzen aus Saatgut von Pflanzen zinkreicher Böden hohe Zinkmengen nicht nur ertragen, sondern in deutlich positiver Weise darauf reagieren.

III. Wasserkulturversuche im Jahre 1953

Für die Beurteilung des Verhaltens der Pflanzen zinkreicher Böden hinsichtlich ihrer Ansprüche an den Zinkgehalt des Bodens ist es ein Nachteil, wenn nicht am natürlichen Standort experimentiert werden kann. Die Versuche mit aus Saatgut herangezogenen Pflanzen haben daher nur dann eine ausreichende Beweiskraft, wenn mit hinreichender Sicherheit angenommen werden kann, daß das Verhalten der Pflanzen hohen Zinkkonzentrationen gegenüber erblich fixiert ist. Es muß daher von Interesse sein, zu prüfen, ob die Unterschiede zwischen der Normalform von Hohenheim und der Zinkform vom Silberberg bei Silene inflata Sm. auch dann noch auftreten, wenn für die Versuche nicht Saatgut vom ursprünglichen Standort, sondern von den Versuchspflanzen des Jahres 1952 verwendet wurde. Dabei blieb die unterschiedliche Zinkversorgung während dieses Jahres völlig unberücksichtigt, da alles gewonnene Saatgut vermischt und lediglich nach Pflanzen aus Saatgut vom Silberberg bzw. Hohenheim getrennt aufbewahrt wurde und erneut zur Aussaat gelangte.

Die Aussaat erfolgte in Erdschalen am 17.4.1953. Nach vorhergehender mehrmaliger Umpikierung wurden die Jungpflanzen am 21.5.1953 in Wasserkulturgefäße mit 0,3 l Inhalt übertragen, und zwar je Gefäß eine Pflanze. Als Nährlösung diente eine SHIVE'sche Lösung folgender Zusammensetzung:

0,825 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ je Liter

0,241 g $\text{MgSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ je Liter

0,272 g KH_2PO_4 je Liter

An Spurenelementen wurde Mangan ($3 \text{ mg MnSO}_4 + 4 \text{ H}_2\text{O/Liter}$) und Bor ($3 \text{ mg H}_3\text{BO}_3/\text{Liter}$) sowie Zink nach folgendem Plan zugegeben.

Silene inflata Sm. (Silberberg)

1. Reihe (5 Gefäße) ohne Zink
2. Reihe (5 Gefäße) je Gefäß 10 mg Zn/Liter
3. Reihe (5 Gefäße) je Gefäß 100 mg Zn/Liter

Silene inflata Sm. (Hohenheim)

1. Reihe (5 Gefäße) ohne Zink
 2. Reihe (5 Gefäße) je Gefäß 10 mg Zn/Liter
 3. Reihe (5 Gefäße) je Gefäß 100 mg Zn/Liter
- Als Zinksalz wurde $\text{ZnSO}_4 + 7 \text{ H}_2\text{O}$ verwendet.

In der Wasserkultur des Jahres 1953 waren die Auswirkungen der hohen Zinkgabe sehr viel schneller und deutlicher festzustellen, wobei allerdings zu bedenken ist, daß die Zinkgaben in diesen Versuchen stark erhöht worden waren. In den Sandkulturgefäßen des Jahres 1952 mit je 10 Pflanzen betrug die Zinkmenge je 6 kg Quarzsand 10 bzw. 100 mg Zink, während die Wasserkulturgefäße mit je einer Pflanze (0,3 l Inhalt) 3,0 bzw. 30,0 mg Zink enthielten. Es ist deshalb nicht überraschend, daß in diesen Versuchen auch die Zinkform von Silene inflata Sm. bereits am 27.5. 1953, also nach einer Woche, unter dem Einfluß der sehr hohen Zinkgabe leichte rotbraune Verfärbungen an den Rändern der ältesten Blätter aufwies. Die Schäden waren aber zur gleichen Zeit bei den entsprechenden Pflanzen der Normalform wesentlich auffälliger. Hier kam zur allgemeinen stark rotbraunen Verfärbung noch das Auftreten von Anthozyan hinzu. Es zeigte sich damit bereits sehr frühzeitig, daß auch nach zweimaliger Vermehrung mit Saatgut das Verhalten der Pflanze dem Zink gegenüber gleich geblieben war. Die Zinkform von Silene inflata Sm. erwies sich auch jetzt noch hohen Zinkgaben gegenüber als wesentlich unempfindlicher als die Normalform.

Eine Kontrolle am 8.6.1953 ergab eine weitere Verstärkung der geschilderten Unterschiede. Die Pflanzen der Reihen ohne Zink und mit 10 mg Zn/

Liter Nährlösung waren bei der Zinkform gesund geblieben, während die Pflanzen mit der hohen Zinkgabe Schäden aufwiesen. Sie waren im Wuchs klein geblieben, hatten chlorotische jüngere Triebe und stark braunrot verfärbte ältere Blätter. Bei der Normalform von Silene inflata Sm. waren nur die Pflanzen ohne Zinkgabe normal geblieben, die Pflanzen mit der niedrigen Zinkgabe waren hingegen chlorotisch und die Pflanzen mit der hohen Zinkgabe völlig abgestorben.

Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode änderte sich das Bild nur noch insofern, als die Pflanzen der Normalform auch unter der Einwirkung der Zinkgabe von 10 mg/l noch weiter geschädigt wurden und sich dadurch noch deutlicher von den entsprechenden Pflanzen der Zinkform unterschieden.

Es sei auch hier auf die unterschiedliche Wuchsform hingewiesen, nämlich aufrechter Wuchs bei der Normalform und niederliegende Pflanzen bei der Zinkform. Diese auch in der Wasserkultur auftretenden Unterschiede kamen aber noch deutlicher in einer Erdkultur zur Ausprägung, die parallel zur Wasserkultur herangezogen worden war.

Auch im Jahre 1953 wurde die CO_2 -Assimilation und die Atmung bei den Versuchspflanzen untersucht. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in der Tabelle 3 zusammengestellt worden.

Bei der Durchsicht der Tabelle 3 fällt zunächst der Unterschied in der Höhe der Werte für die Atmung und die CO_2 -Assimilation bei der Zinkform und der Normalform von Silene inflata Sm. auf. Die Zinkform weist eindeutig wesentlich höhere Werte auf als die Normalform. Im einzelnen ist dann festzustellen, daß die hohe Zinkgabe die CO_2 -Assimilation auch bei den äußerlich bereits geschädigten Pflanzen der Zinkform gefördert hat, obgleich die entsprechenden Pflanzen der Normalform unter der Einwirkung gleich hoher Zinkmengen bereits völlig abgestorben waren. Zwischen den Reihen ohne Zink und mit 10 mg Zink ist bei beiden Formen kein Unterschied zu erkennen. Da aber an der Notwendigkeit des Zinks für Silene inflata Sm. - gleichgültig ob Zink- oder Normalform - nicht zu zweifeln ist, muß angenommen werden, daß durch Verunreinigungen der verwendeten Salze und durch anhaftende Erdsuren beim Übertragen der Pflanzen aus den Anzuchtschalen in die Wasserkulturen der dringendste Bedarf der Pflanzen an Zink bereits sichergestellt worden ist. Eine zusätzliche Zinkgabe wirkt sich dann offenbar erst aus, wenn es sich um beträchtliche Konzen-

T a b e l l e 3

Einfluß des Zinks auf die CO₂-Assimilation und Atmung bei
Silene inflata Sm. Die Pflanzen wurden aus Saatgut der
Kulturen des Jahres 1952 herangezogen

Zinkgabe je Ltr. Nährlösung in mg Zn als $\text{ZnSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$	Versuchs- datum 1953	Temp. im URAS	Atmung	CO ₂ -Assimilation	
				apparente	wirkliche
<u>Silberberg</u>					
1. Reihe ohne Zink	17.-20.6.	21°C	1,13	2,93	4,06
2. Reihe 10 mg Zn	17.-20.6.	21°C	1,00	2,92	3,92
3. Reihe 100 mg Zn	18.6.	21°C	0,86	3,67	4,53
<u>Hohenheim</u>					
1. Reihe ohne Zink	18.-19.6.	21°C	0,63	2,21	2,84
2. Reihe 10 mg Zn	18.-19.6.	21°C	0,68	2,21	2,89
3. Reihe 100 mg Zn	Pflanzen bereits sämtlich abgestorben.				

trationserhöhungen handelt. Allerdings gilt das nur für die Beeinflussung der Atmung und der Photosynthese. Im äußeren Erscheinungsbild der Pflanzen hatte sich - wie beschrieben worden ist - die Zinkgabe von 10 mg Zn/Ltr. Nährlösung deutlich ausgewirkt. Die Erhöhung der Assimilationsintensität der Blätter bei der Zinkform von Silene inflata Sm. unter dem Einfluß hoher Zinkgaben beweist aber erneut, daß diese Pflanzen den hohen Zinkgehalt ihres natürlichen Standortes nicht nur ertragen, sondern auch auszunutzen vermögen. Dabei ist von besonderer Bedeutung, daß die zuletzt beschriebenen Versuche auch gezeigt haben, daß es sich hier wahrscheinlich um erblich fixierte Eigenschaften handelt. Nur so ist verständlich, daß die geschilderten Feststellungen auch dann noch getroffen werden können, wenn bereits die zweite im künstlichen Milieu kultivierte Generation von Silene inflata Sm. untersucht wird.

Mit dieser durch die Ergebnisse von drei Versuchsjahren erhärteten Feststellung ist der Charakter der Galmeipflanzen - wenigstens soweit Silene inflata Sm. betroffen ist - geklärt. Es handelt sich demnach um Biotypen mit einer ganz speziellen Anpassung an einen hohen Zinkgehalt des Bodens.

Zur gleichen Auffassung sind auch SCHWANITZ und HAHN (1954) auf Grund von Versuchen mit Galmeipflanzen gekommen, für die das Saatgut vom Galmeipflanzenstandort Blankenrode in Westfalen beschafft wurde. Im Gegensatz zu SCHWANITZ und HAHN bin ich aber der Ansicht, daß es sich hier nicht um eine Resistenz gegenüber hohen Zinkkonzentrationen handelt, sondern um eine so weitgehende Anpassung, daß bereits von einer Notwendigkeit oder wenigstens von einer günstigen Wirkung hoher Zinkkonzentrationen gesprochen werden kann.

IV. Zusammenfassung

1. Als Typ einer Galmeipflanze wurde Silene inflata Sm. aus Saatgut kultiviert, das von dem Galmeipflanzenstandort auf dem Silberberg bei Osnabrück beschafft worden war. Für die Anzucht der Kontrollpflanzen wurde Saatgut aus dem Botanischen Garten in Hohenheim verwendet.
2. In dreijährigen Versuchen wurde festgestellt, daß hohe Zinkgaben von der Zinkform der Silene inflata Sm. nicht nur ertragen, sondern auch vorteilhaft ausgenutzt werden. Es liegt also nicht nur eine Resistenz gegenüber hohen Zinkkonzentrationen, sondern ein gewisses Bedürfnis für diese Zinkmengen vor. Es konnte auch gezeigt werden, daß es sich hier um wahrscheinlich erblich fixierte Eigenschaften dieser Pflanzen handelt.
3. Normal- und Zinkform von Silene inflata Sm. unterscheiden sich deutlich im Wuchs. Die Zinkform wächst auch in der Kultur niederliegend und bildet kleinere, schmalere Blätter aus, während die Normalform hochwüchsig ist und größere, breitere Blätter besitzt.
4. Auch in diesen Versuchen trat die günstige Beeinflussung der CO₂-Assimilation durch das Zink deutlich in Erscheinung.

Für die Durchführung von Zinkanalysen bin ich Herrn Prof. Dr. SEITH, Münster, und für die Beschaffung von Erdproben Herrn Prof. Dr. WALTER, Hohenheim zu großem Dank verpflichtet.

Prof.Dr.rer.nat.habil. WALTER BAUMEISTER, Münster/Westf.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- BAUMANN, A. Das Verhalten von Zinksalzen gegen Pflanzen und
im Boden. Landw.Versuchsst. 31, 1885, 1 - 53
- BAUMEISTER, W. Zur Anwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers für
CO₂-Assimilationsmessungen an abgeschnittenen
Blättern im Laboratorium. Ber.Dtsch.Bot.Ges. 65,
1952, 361 - 368
- BERTRAND, G. et
M. ANDREITCHewa Sur la teneur comparée en zinc des feuilles vertes
et des feuilles étoilées. C.r.Acad. Sci.Paris 197,
1933, 1374 - 1376
- CHESTERS, C.G.C. and
G.N. ROLINSON The Role of Zinc in Plant Metabolism. Biol.Revs.
Cambridge Phil.Soc. 26, 1951, 239 - 252
- DUFRENOY, I. and
H.S. REED Pathological Effects of the Deficiency or Excess
of Certain Ions on the Leaves of Citrus Plants.
Ann.Agron. 4, 1934, 637 - 653
- JENSCH, K. Beiträge zur Galmeiflora von Oberschlesien. Ztschr.
f.angew.Chemie 7, 1894, 14 - 15
- KOCH, K. Die Vegetationsverhältnisse des Silberbergs im
Hüggelgebiet bei Osnabrück. Mitt. des naturw. Ver-
eins zu Osnabrück. 22, 1932, 117 - 149
- PIRSCHLE, K. Die Bedeutung der Spurenelemente für Ernährung,
Wachstum und Stoffwechsel der Pflanzen. Ergebnisse
d.Biol. 17, 1939, 255 - 413
- REED, H.S. Cytology of Leaves affected with Little-Leaf.
Amer.Journ.Bot. 25, 1938, 174 - 186
- REED, H.S. Effects of Zinc Deficiency on Phosphate Metabolism
of the Tomato Plant. Amer.Journ.Bot. 33, 1946,
778 - 784
- REED, H.S. and
I. DUFRENOY The Effects of Zinc Salts on the Oxydation Process
in Plant Cells. Science 82, 1935, 249 - 250
- SCHARRER, K. Biochemie der Spurenelemente. 2. Aufl. Verlag
P. Parey, Berlin 1944

- SCHWANITZ, F. und H. HAHN Genetisch-entwicklungsphysiologische Untersuchungen an Galmeipflanzen. Ztschr.f.Bot. 42, 1954, 179 - 190
- SCHWICKERATH, M. Das Violetum calaminariae der Zinkböden in der Umgebung Aachens. Beiträge z. Naturdenkmalpflege 14, 1930, 463 - 503
- STEGMANN, G. Die Bedeutung der Spurenelemente für Chlorella. Ztschr.f.Bot. 35, 1940, 384 - 422
- STRUGGER, S. und W. BAUMEISTER Zur Anwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers für CO₂-Assimilationsmessungen im Laboratorium. Ber. Dtsch.Bot.Ges. 64, 1951, 5 - 22