

Die Wurzelbleiaufnahme von Weizen, deren Herabsetzung durch besondere Düngemaßnahmen und Einfluß auf den Ertrag (im Hinblick auf den Umweltschutz)

Von *Robert Schwankner* in Traunstein

Die Wurzelbleiaufnahme von Weizen, deren Herabsetzung durch besondere Düngemaßnahmen und Einfluß auf den Ertrag (im Hinblick auf den Umweltschutz) *)

Von Robert Schwankner in Traunstein

1. Einleitung

Die größte allgemeine Bleiverseuchung geht von den Antiklopfmitteln aus, die den Motorkraftstoffen zugesetzt werden, um unerwünschte Frühzündungen im Zylinder eines Ottomotors zu verhindern, die zu erhöhtem Druck- und Temperaturanstieg im Brennraum führen. Dieses macht sich nicht nur durch Leistungsminderung sondern auch durch erhöhten Verschleiß der dadurch unmäßig beanspruchten Teile bemerkbar. Damit sich das Blei des zerfallenen Bleitetraäthyls nicht im Motor als störendes Oxid niederschlägt, werden dem Benzin bestimmte Alkylhalogenide (z.B. Äthylchlorid) beigemischt, die das Blei in bei diesen Temperaturen flüchtige Salze überführen und so mit den Abgasen austreten. Auf diese Weise werden auf der nördlichen Erdhalbkugel jährlich 500000 t Blei an die Atmosphäre abgegeben [1]. Nun ist seit längerem bekannt, daß Antiklopfmittel eine erhebliche Steigerung des Pflanzen- und Bodenbleigehalts nach sich ziehen.

Das neue Benzinbleigesetz, das nur eine Herabsetzung des Bleigehalts im Benzin regelt, schafft das Übel nicht aus der Welt. Seit 1923 wird in Deutschland Bleitetraäthyl verwendet; in der letzten Zeit verließen pro Jahr 20000—40000 t Blei bundesdeutsche Auspuffe! Dieses Blei lagert sich hauptsächlich im Boden neben Autostraßen in Form schwerlöslicher Verbindungen ab, die dort lange verbleiben und unsere Nahrung mit Blei durch Aufnahme über die Wurzeln und Abtransport in oberirdische Pflanzenteile anreichern (Abb. 1). Da heute schon täglich ca. 2,2 mg Blei mit der Nahrung aufgenommen und 1,5 mg vom Bundesgesundheitsamt (und der WHO) gerade noch als vertretbar angesehen werden, müssen die Bestrebungen dahingehen, den Bleigehalt der Nahrung herabzusetzen, insbesondere weil Chromosomenmutationen und Entwicklungsstörungen

durch lange Bleiaufnahme für möglich gehalten werden.

Jedoch gibt es in der vorhandenen Literatur sehr widersprüchliche Ansichten über die Wurzelbleiaufnahme von Pflanzen entlang stark befahrener Straßen (siehe Abb. 1).

Von einigen Autoren wird angenommen, daß der hohe Bleigehalt von Pflanzen entlang stark befahrener Straßen von direkter Kontamination aus der Luft herrührt [2]. Dem widerspricht aber, daß bis zu 2/3 dieses Bleis sich nicht ohne weiteres von der Pflanze abwaschen lassen, man stärkere Reagenzien braucht, um sie vollständig bleifrei zu machen und eine starke Bleiadsorption an Pflanzenblättern nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte [3]. Andere Autoren nehmen an, daß im Boden genügend freie Bleiionen durch die Abgasverschmutzung vorhanden sind und von der Pflanze aufgenommen, dort aber nur in den

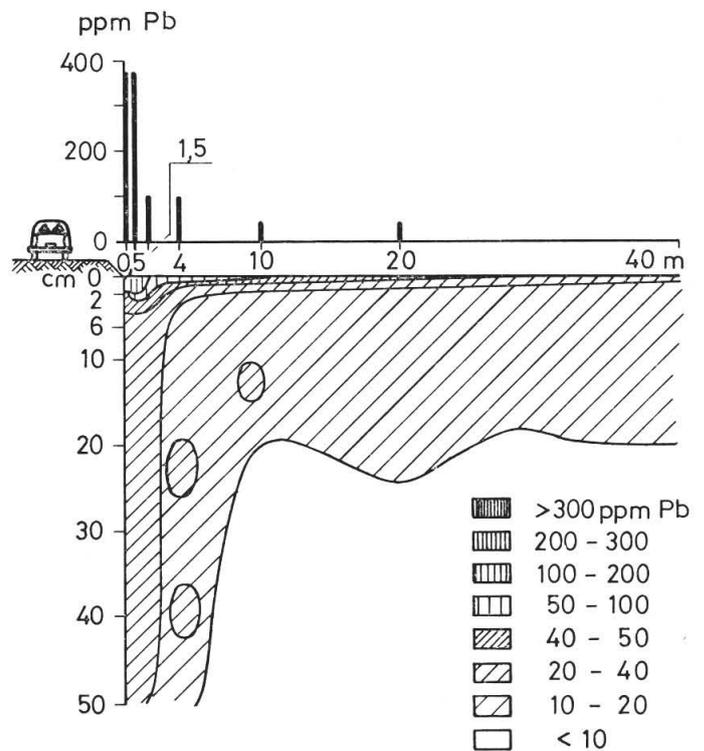


Abb. 1. Bleigehalt im Boden am Rande einer Bundesstraße (Kreisel Unterschweinstiege bei Frankfurt/M.). Aus: Geowissenschaften und Umweltsicherung. Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover 1974, S. 24

*) „Jugend-forscht“-Arbeit; Bundessieg Biologie 1975

Wurzeln eingelagert werden [4]. Es gibt auch radiographische Arbeiten, die eine Abwanderung des Bleis in andere Pflanzenteile feststellen, wenn auch der Hauptteil in den Wurzeln verbleibt. Wieder andere nehmen an, daß das Blei nicht unbedingt in freien Ionen zur Aufnahme vorliegen muß [5].

Mich interessierte die Frage der Bleiaufnahme hauptsächlich physiologisch. Ich zog daher Weizenpflanzen in „bleiverseuchter Nährlösung“. Nach langwierigen Kulturversuchen gelang es, eine relativ hohe Wurzelbleiaufnahme und Abwanderung in obere Pflanzenteile festzustellen. Der weitere Teil meiner Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluß des Bleiangebots der Nährlösung auf oberirdische Pflanzenteile und den Ertrag. Schließlich gelang es mir noch, durch erhöhte „Sulfatdüngung“ die *wenigen* in der Nährlösung vorhandenen *freien* Bleiionen zu fällen, somit das Angebot an Pb^{2+} -Ionen zu verringern und eine Verminderung der Bleiaufnahme zu verzeichnen und damit wenigstens *eine* Möglichkeit zur Verhinderung der Bleiaufnahme und deren Folgen zu finden.

2. Praktischer Teil

3% deutscher Anbaugelände liegen im „100-m-Streifen“ neben stark befahrenen Straßen (Abb. 1). Für meine Untersuchungen verwendete ich den oft angebauten Weizen. Dieser wurde in selbstgefertigten Plastikkulturgefäßen von ca. 110 cm³ Fassungsvermögen großgezogen, welche ursprünglich Schutzverpackungen von Arzneimitteln waren, die ich vor dem Versuch mehrmals mit Säuren und dest. Wasser ausgewaschen habe. Der Druckdeckel wurde durchbohrt und die transparente Wandung der ca. 11 cm hohen Zylinder mit schwarzem Tonpapier zur Vermeidung von Algenwachstum in der Nährlösung beklebt. Jeweils 3 Pflanzen wurden von einem Gummiring so gehalten, daß die Wurzeln gänzlich in die Nährlösung eintauchten. Es handelte sich dabei um die bekannte *van de Crone*-Nährlösung (1,0 g KNO_3 ; 0,5 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; 0,5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 0,5 g $Ca_5(PO_4)_3OH$; 0,1 g Eisenchelate auf 1 l Nährlösung), der auch folgende Spurenelemente in günstigen Konzentrationen beigemischt waren: Mn; Cu; Zn; Mo.

Um reproduzierbare, eindeutige Werte zu erlangen, waren konstante Bedingungen notwendig, wie sie nur ein Gewächshaus bieten kann. Dieses wurde quaderförmig mit Hilfe von Stativstangen und Plastikfolie auf dem Tisch aufgebaut. Um die Luftfeuchtigkeit, die ständig mit einem Hygrometer überwacht wurde, genau auf 70% zu halten, wurde der Boden mit feinem Sand bedeckt. Durch entsprechendes Anfeuchten konnte so die Luftfeuchtigkeit geregelt werden. Die Temperatur betrug konstant 22 °C. Um das „Umkippen“ der Pflanzen ab einer gewissen Höhe zu vermeiden, wurde parallel zum Boden ein Drahtnetz eingebaut. Für ausreichende Luftzirkulation sorgte ein schwenkbar angebrachter Ventilator an einer Breitseite. Die Beleuchtung erfolgte durch über dem Gewächshaus angebrachte Neonröhren (2 × 65 Watt), die mittels einer Schaltuhr einen Tag-Nachtrhythmus von 12 Std simulierten.

Wie schon eingangs erwähnt, stellte die einwandfreie Identifizierung und quantitative Bestimmung kleinster Bleimengen ein beinahe unüberwindbares Hindernis dar.

Beim klassischen Analysengang stören die vorhandenen Eisenionen und bei der Sulfidfällung bleiben die kleinen Bleimengen kolloidal in Lösung. Komplexometrische Bestimmungsmethoden scheiterten nach langen Vorversuchen an dem Vorhandensein von Erdalkalien in der Trockensubstanz. Die Methode der Bleiabtrennung mittels Ionenaustauschern schied nicht nur wegen der hohen Kosten aus, sondern diese Methode ist nicht unbedingt für quantitative Bestimmungen geeignet.

Nach langem Suchen fand sich eine geeignete Arbeit in der mir zugänglichen Literatur, die ich nach einigen geringfügigen Änderungen und Rücksprache mit einem der Autoren übernehmen konnte [7].

Diese Methode bedient sich der kolorimetrischen Messung des Bleidithizonats. Im Prinzip wird in Tetrachlorkohlenstoff gelöstes Dithizon (grün) so lange der Analysenlösung zugesetzt und geschüttelt, bis keine Rotfärbung durch neugebildetes Bleidithizonat mehr eintritt. Dieses wird dann definiert verdünnt und kolorimetrisch gemessen. Im folgenden möchte ich den Arbeitsgang kurz umreißen, Details können in der Originalarbeit eingesehen werden [7].

Die Pflanzen wurden zu gegebener Zeit (nach 5, 10, 20, 30 Tagen) abgeerntet, gewaschen, damit kein Blei an ihrer Oberfläche haftet, 24 Std. bei 80 °C im Trockenschrank getrocknet und in Plastikgefäßen zur Weiterverarbeitung aufbewahrt. Je 0,1 g dieser Trockensubstanz wurde in Quarzaufschlußkölbchen eingewogen, die erforderliche Menge an Salpeter-Schwefelsäure zugesetzt und erhitzt. Nach fast vollständiger Auflösung des organischen Materials wurde Perchlorsäure zugegeben und die Lösung beinahe bis zur Trockene eingedampft. Da das verwendete Reagenz (Dithizon-Diphenylthiocarbazon) nicht bleispezifisch ist und mit vielen Schwermetallen unter Bildung farbiger Komplexe reagiert, mußte ich das Blei von allen anderen Kationen abtrennen bzw. diese maskieren. Das Aufschlußkölbchen wurde gut mit dest. Wasser ausgewaschen und die so erhaltene Lösung mit Natronlauge neutralisiert. Bei pH 2 wurde Ascorbinsäure zugesetzt, die später unerwünschte Oxidationen am Reagenz verhindern sollte. Zur Komplexbildung wurde eine berechnete Menge Weinsäure zugesetzt, die gleichzeitig mit der anschließend zugegebenen Ammoniaklösung ein Puffersystem von ca. pH 9,6 bildete, durch das die Extraktion des Bleidithizonats begünstigt wird. Um alle noch nicht erfaßten störenden Kationen zu maskieren, wurde noch Kaliumcyanidlösung zugesetzt und im Meßkolben genau auf 50 cm³ aufgefüllt.

Meine ganze Methode, also vor allem die Konzentration der Dithizonlösung, war auf eine Bleimenge von 1–15 µg eingestellt, da ich nicht mit hohen Bleigehalten gerechnet hatte ... Es lagen jedoch in diesen 50 ml Analysenlösung bis zu 1000 µg Blei vor. Daher mußte ich bei jeder Probe vorher herausfinden, wieviel ich von den 50 cm³ weiter verarbeiten konnte, damit die Bleimenge noch in meinen Analysenbereich fiel. Bei dieser Vorprobe nahm ich gewöhnlich 5 ml und schüttelte mit 4 ml Dithizon aus. Wurde die organische Phase nicht rot (kein Bleidithizonat!), so mußte ich mehr Analysenlösung nehmen, weniger dagegen, wenn das Bleidithizonat schon ausfiel. Hatte ich somit den Bleigehalt größenordnungsmäßig festgelegt, konnte ich weiterarbeiten. Die entsprechende Menge Analysenlösung wurde in einen Schütteltrichter gegeben und mit Wasser auf 20 ml aufgefüllt. Die erste Extraktion wurde mit je 4 ml, jede weitere mit 1 ml der Dithizonlösung bei je

30 Sekunden Schütteln vorgenommen. Die Extrakte wurden in einem Meßkolben abgelassen, so lange sich noch rotes Bleidithizonat bildete, dann wurde mit Tetrachlorkohlenstoff auf 25 ml verdünnt. Natürlich war immer etwas störendes, nicht umgesetztes Dithizon in diesen 25 ml, weshalb diese einer 2maligen Waschung mit Kaliumcyanid unterzogen wurde. Schließlich lag nur noch der reine Bleikomplex in der organischen Phase vor.

Bis zur Messung ließ ich die Kölben noch ca. 3 Min. stehen, damit sich noch evtl. vorhandene Flüssigkeitströpfchen absetzen konnten. Danach wurde bei 535 nm, also Absorptionsmaximum des roten Bleidithizonats, mit einem Medico-Photometer der Fa. LANGE gemessen. Gleichzeitig mit der Analysenextinktion E_A (=Strahlungsabschwächung) wurde ein Blindwert E_B gemessen. Dieser ergab sich z.B. aus dem Bleigehalt der Reagenzien. Ich ließ bei jeder Analyse von Anfang bis Ende neben der Probe einen Blindwert mitlaufen, der in allem gleich und zur gleichen Zeit behandelt wurde (auch mit gleicher Menge Dithizon wie Probe extrahiert). Somit konnte ich den immer leicht wechselnden Blindwert bestimmen und diesen Fehler also ausscheiden. Die Werte, mit denen ich weiterrechnete, ergaben sich aus:

$$E = E_A - E_B$$

Um nun genaue Aussagen über den Bleigehalt der jeweilig zur Extraktion gelangten Flüssigkeitsmenge zu machen, hatte ich zuvor eine Eichreihe von 0–20 µg Bleivorgabe angesetzt und festgestellt, daß die Extinktions-Bleivorgabekurve im Bereich von 0–15 µg eine Gerade war. Daraus wurde eine Konstante aus zahlreich gemittelten Meßwerten für 5 und 15 µg festgestellt

$$(c = 0,0314 \frac{1}{\mu\text{g}} \text{Pb}).$$

Der Bleigehalt der zur Bestimmung gelangten Flüssigkeitsmenge ergab sich also aus

$$m_{\text{Pb}} = \frac{E}{C}$$

Daraus ließ sich nun leicht der Gehalt der anfänglich eingewogenen Trockensubstanz in ppm errechnen. Der Fehler bei dieser von mir verwendeten Analysenmethode ist laut Prof. Dr. Gottschalk, der ein ähnliches Verfahren ausgearbeitet hat [7] nicht größer als 10%, also im Hinblick auf

lie Mittel, die mir zur Verfügung standen, befriedigend (Privatmitteilung).

Als ich nach einigen Vorversuchen die optimalsten Wachstumsbedingungen ermittelt hatte, konnte mit dem eigentlichen Versuch begonnen werden. Durch die Arbeit nach [1] hatte ich einen ungefähren Anhaltspunkt über den Bleigehalt neben einer Autostraße (Bundesstraße).

Ich setzte also 20, 200 und 2000 ppm Blei der Nährlösung zu, was 2, 20, und 200 mg Bleizusatz je Kulturgefäß mit dem Inhalt 100 ml bedeutete. Das in der Nährlösung sowieso vorhandene Sulfat (MgSO_4 , CaSO_4) reicht aus um *stöchiometrisch* 88 mg Blei als PbSO_4 zu fällen! Jedoch liegen *immer* einige freie Bleiionen trotz des geringen Löslichkeitsprodukts von Bleisulfat vor. Da ich durch die Blei(II)-nitratgabe auch verschieden viel Nitrat gegeben hatte, mußte ich einen konstanten Nitrat Spiegel von 124 mg zusätzlich zum Nährlösungsnitrat (*gesamt*: 194 mg) herstellen, damit alle Pflanzen unter gleichen Bedingungen aufwuchsen. Den nun unterschiedlichen Kaliumgehalt brauchte ich nicht mehr auszugleichen, da dieses keinen so großen physiologischen Einfluß wie etwa Stickstoff (Nitrat) hat.

Um die Aufnahme von Blei zu vermindern, wurde einigen Proben mehr Sulfat zugesetzt, um auch noch die wenigen freien Bleiionen zu fällen, somit das Angebot zu verringern und eine Verminderung des Bleigehalts zu verzeichnen. Ich setzte Sulfat in verschiedenen Konzentrationen, (9,6; 48; 96 mg/Kulturgefäß) in Form von Natriumsulfat zu.

Ich hatte also folgende verschiedene Zusätze (jeweils pro Kulturgefäß = 100 ml Nährlösung)

- a) 0 mg Bleigabe 0 mg Sulfatgabe
- b) 2 mg Bleigabe 0 mg Sulfatgabe
- c) 20 mg Bleigabe 0 mg Sulfatgabe
- d) 200 mg Bleigabe 0 mg Sulfatgabe

- e) 20 mg Bleigabe, 9,6 mg Sulfatgabe
 - f) 20 mg Bleigabe, 48 mg Sulfatgabe
 - g) 20 mg Bleigabe, 96 mg Sulfatgabe
- } zusätz-
- liches SO_4^{2-} als Na_2SO_4 (vgl. Abb. 1).

Die Weizenkörner ließ ich einen Tag in Leitungswasser quellen und dann in feuchtem Quarzsand 10 Tage keimen (Keimlinge ca. 15 cm). Je 3 Keimlinge wurden in ein Kulturgefäß gesetzt. Einen Meßwert erhielt ich aus 5 Gefäßen à 3 Pflanzen und konnte so Zufallswerte umgehen.

Nach 30 Tagen Anwachszeit in *reiner* Nährlösung war diese ziemlich verbraucht. Mit der neuen Nährlösung setzte ich das Blei, Sulfat und Nitrat in den notwendigen Mengen zu (Tag, „×“ in den Kurven). Nach 5, 10, 20 und 30 Tagen wurde die betreffende Probe (alle 5 Gefäße) gänzlich abgeerntet und diese wie oben beschrieben weiterverarbeitet.

3. Ergebnisse

Im folgenden will ich kurz die mir eindeutig erscheinenden Ergebnisse mit jeweiliger kurzer Diskussion behandeln (Abb. 2 und 3).

Es ist ersichtlich, daß der Weizen verhältnismäßig große Bleimengen aufnimmt und daß der Bleigehalt direkt von der Zeit und der Konzentration des Angebotes abhängt. Als Mittelwerte aus 4 Stichtagen ergibt sich für die jeweiligen Konzentrationen (Tab. 1):

Tabelle 1

Bleiangebot/Kulturgefäß	Mittelwert der Bleiaufnahme aus 4 Zeiten (5, 10, 20, 30 Tage)
2 mg	150 ppm
20 mg	840 ppm
200 mg	12.000 ppm

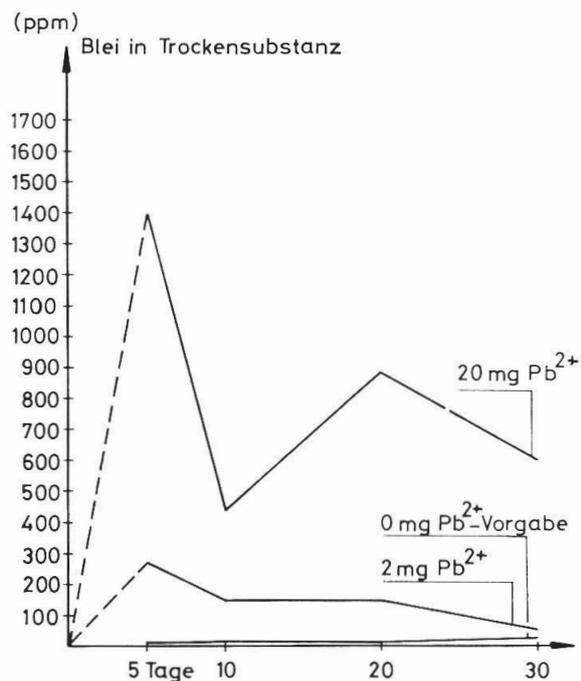


Abb. 2. Bleiaufnahme von Weizen

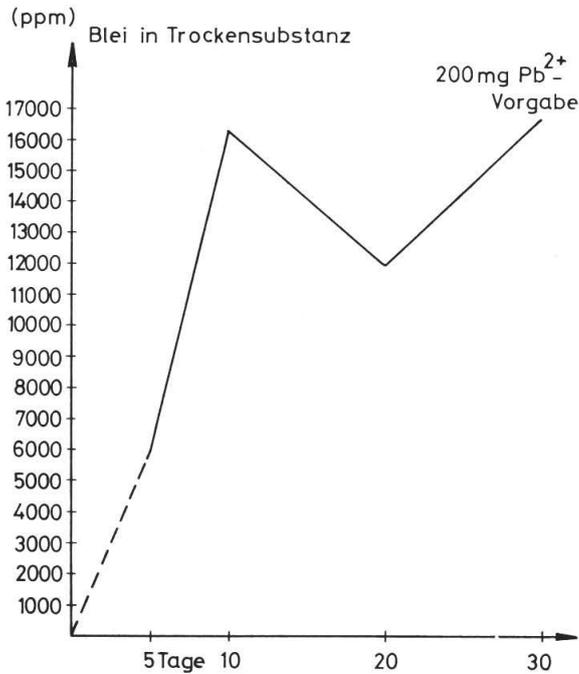


Abb. 3. Bleiaufnahme von Weizen

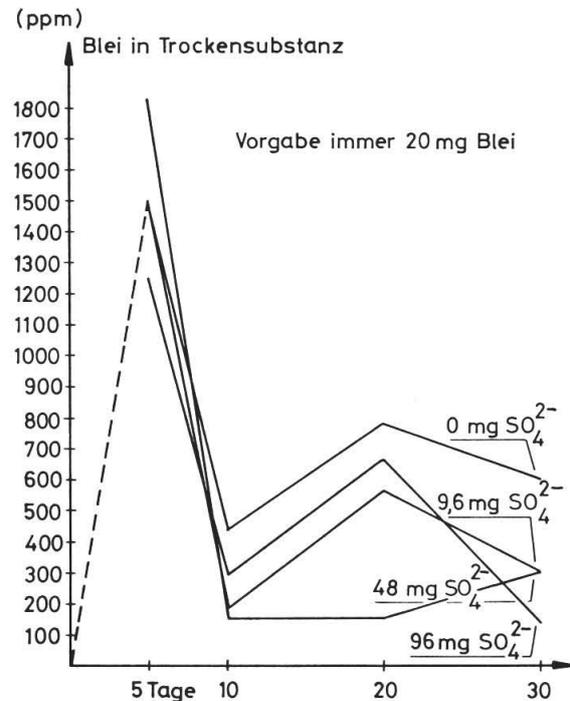


Abb. 4. Bleiaufnahme von Weizen in Gegenwart von erhöhten Sulfatgaben (Vorgabe immer 20 mg Blei)

Daß diese Abhängigkeit der Bleiaufnahme von der Angebotskonzentration nicht linear erfolgt (1:10:100), liegt meiner Meinung nach daran, daß die Nährlösung schon sehr viel Sulfat enthält, also bei den niederen Bleikonzentrationen (2, 20 mg) praktisch das ganze Blei stöchiometrisch gefällt wird (PbSO_4). Auch ist ersichtlich, daß die Pflanzen ihrem Wachstum entsprechend Blei aufnehmen und zumindestens in der von mir beobachteten Zeitdauer es ständig anreichern. Die Konstanz des Bleigehalts ab einem gewissen Wachstumsstadium, wie sie in älterer Literatur beschrieben wird, konnte ich nicht feststellen. Allgemein läßt sich sagen, Weizen nimmt trotz des hohen SO_4 -Gehalts der Nährlösung Blei in großen Mengen auf. Diese Aufnahme ist vom Angebot abhängig.

Abb. 4: Die Nährlösung enthält schon so viel Sulfat pro Kulturgefäß, um ca. 88 mg Blei zu fällen (Angebot: 2 mg, 20 mg, 200 mg Pb /Kulturgefäß). Trotzdem stehen aus Bleisulfat *genügend* Ionen zur Aufnahme zur Verfügung, wie I beweist. Um nun noch die wenigen freien Blei-Ionen auszufällen, also das Angebot zu verringern, wurde eine Versuchsreihe mit konstanter Bleigabe von 20 mg und variabler zusätzlicher Sulfatkonzentration (9,6; 48; 96 mg SO_4^{2-})-Gefäß angesetzt. Abb. 4 zeigt deutlich, daß die Pflanzen mit erhöhter Sulfatgabe der Nährlösung *wesentlich weniger* Blei aufgenommen haben als diejenigen ohne Sulfat-

gaben. Allgemein kann man sagen: Je *höher* die Sulfatkonzentration, desto *geringer* das Angebot an Pb^{2+} , desto *geringer* die Bleiaufnahme.

Da Sulfat keinen schädigenden Einfluß auf die Pflanzen auszuüben schien, könnte man vielleicht neben verkehrsreichen Straßen, bzw. Autobahnen u.a. sulfatreichen Dünger verwenden und somit die Bleiaufnahme der Pflanzen und die damit verbundene Gefahr für den Menschen herabsetzen. Weiterhin untersuchte ich die Wirkung, die das Bleiangebot auf den Ertrag ausübt.

Abb. 5: Bei 200 mg Bleiverunreinigung der Nährlösung ist ein eindeutiger Ertragsabfall ersichtlich, was sicher auf eine starke Giftwirkung dieser hohen Bleikonzentration zurückzuführen ist. Die Pflanzen sind nach 10–15 Tagen teilweise leicht bräunlich verfärbt, einige sterben nach 20 Tagen ab, die Turgorspannung läßt ständig nach.

Bei 20 mg Bleiangebot tritt die Giftwirkung im Vergleich zu 200 mg erst verzögert auf. Es kommt zu keinen Ausfällen mehr. Chlorose ist selten festzustellen, im allgemeinen unterscheiden sie sich kaum von den Kontrollpflanzen. Bis zu 20 Tagen erkennt man eine Reizwirkung, die das Blei auf das Pflanzenwachstum ausübt. Diese Reizwirkung ist schon seit langem bekannt und man hat sogar einmal ernsthaft mit dem Gedanken gespielt, Blei wegen seiner in günstigen Konzentrationen

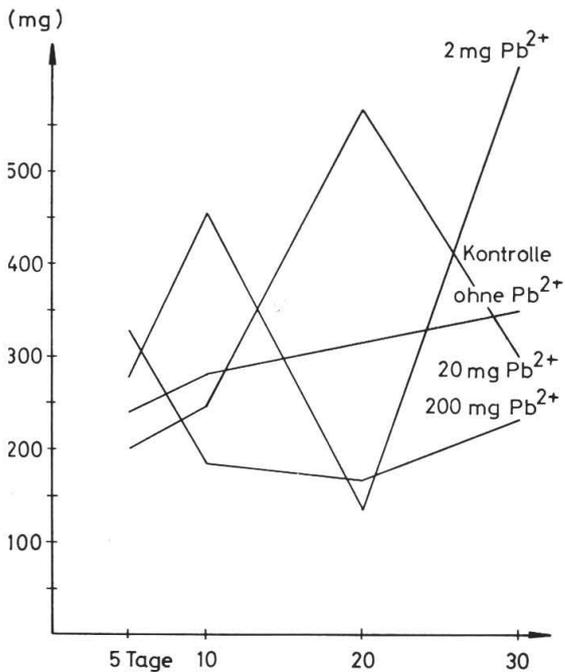


Abb. 5. Ertrag in Gegenwart von Bleiionen (Trockensubstanz von 5 Gefäßen à 3 Pflanzen)

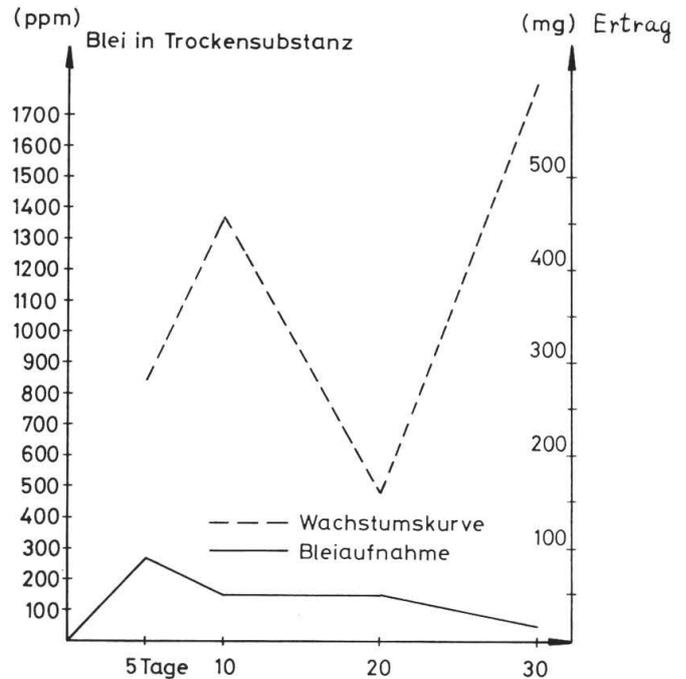


Abb. 6. Wachstum in Abhängigkeit der Bleiaufnahme (Nährlösungsangebot: 2 mg Pb²⁺)

wachstumsfördernden Reizwirkung, als Dünger zu verwenden [6](!)

Bei 2 mg tritt merkwürdigerweise die Giftwirkung früher ein, jedoch erholt sich die Pflanze rasch aufgrund der Reizwirkung, die das aufgenommene Blei ausübt. Nach 30 Tagen liegt der Ertrag etwa doppelt so hoch als der Kontrollwert. Makroskopisch kann man abgesehen von dem größeren Wachstum keine schädigende Wirkung des Bleis feststellen. Die Pflanzen, die bei konstanter Bleikonzentration variable Sulfatgaben erhielten, waren eindeutig die gesündesten Pflanzen. Die Turgorspannung war die ganze Versuchsdauer ungeschwächt, ja die Pflanzen waren teilweise größer als die Kontrollpflanzen. Die erhöhten Sulfatgaben schaden dem Wachstum also auf gar keinen Fall, was für die Verwendung als Hemmer der Bleiaufnahme in der *praktischen* Anwendung sprechen würde!

Da sowohl die Kurven der Bleiaufnahme (Abb. 2, 3, 4) als auch die Ertragskurven ziemlich viele Maxima und Minima aufwiesen, stellte ich die jeweiligen Ertragskurven dem Graphen der Bleiaufnahme entgegen.

Allgemein läßt sich feststellen, daß die Pflanzen einen mittleren, dem jeweiligen Wachstumsstand angepaßten Bleigehalt anstreben, der ein Maximum an wachstumsfördernder Reizwir-

kung und ein Minimum an ertragserniedrigender Giftwirkung gewährleistet.

Dies wird bei den einzelnen Konzentrationen verschiedentlich erreicht:

2 mg Nährlösungsangebot an Blei|Kulturgefäß (Abb. 6)

Nach der anfänglichen starken Bleizufuhr (0 bis 5 Tage), die von einem starken Wachstum begleitet wird, tritt nach 5 Tagen die Giftwirkung des Bleis hervor. Die Ertragskurve fällt rapide ab, Blei wird ausgeschieden und der Bleigehalt bleibt schließlich konstant (10–20 Tage).

Die Giftwirkung ist vorüber. Es nimmt nun die Reizwirkung überhand. Die Ertragskurve steigt rapide an, während die Bleikurve langsam bis zum angestrebten Optimum absinkt.

20 mg Nährlösungsangebot an Blei|Kulturgefäß (Abb. 7)

Hier übt der anfänglich sehr hohe Bleigehalt nur einen wachstumsmindernden Einfluß auf die Pflanze aus. Nach 5 Tagen tritt jedoch wieder der „Abwehrmechanismus“ in Kraft, es wird Blei wahrscheinlich ausgeschieden und gleichzeitig nimmt die Reizwirkung zu, die Ertragskurve steigt sehr steil an. Die Bleikurve macht diesen Anstieg mit, jedoch zeigt sich nach 20 Tagen er-

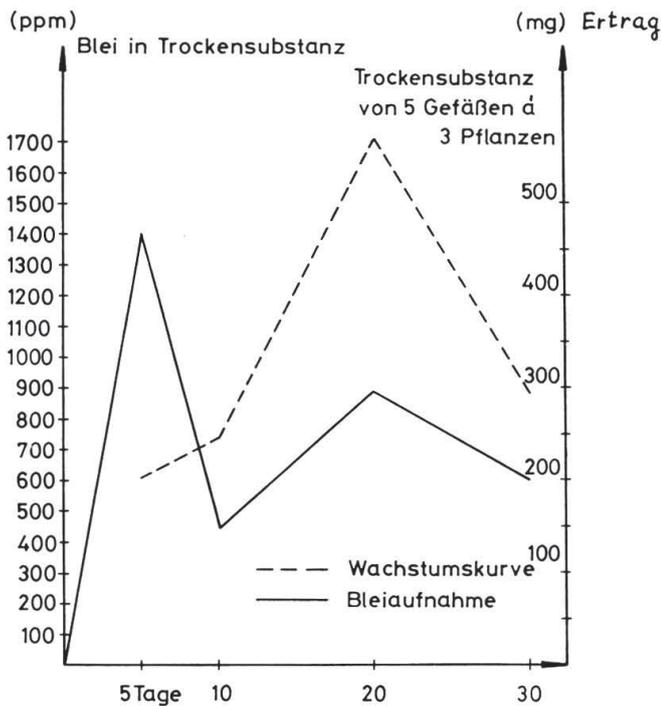


Abb. 7. Wachstum in Abhängigkeit der Bleiaufnahme (Nährlösungsangebot: 20 mg Pb²⁺)

neut Giftwirkung; sofort tritt der Abwehrmechanismus in Kraft, Blei wird ausgeschieden, jedoch ist die Giftwirkung anscheinend so groß, daß trotz der Ausscheidung die Ertragskurve weiter fällt.

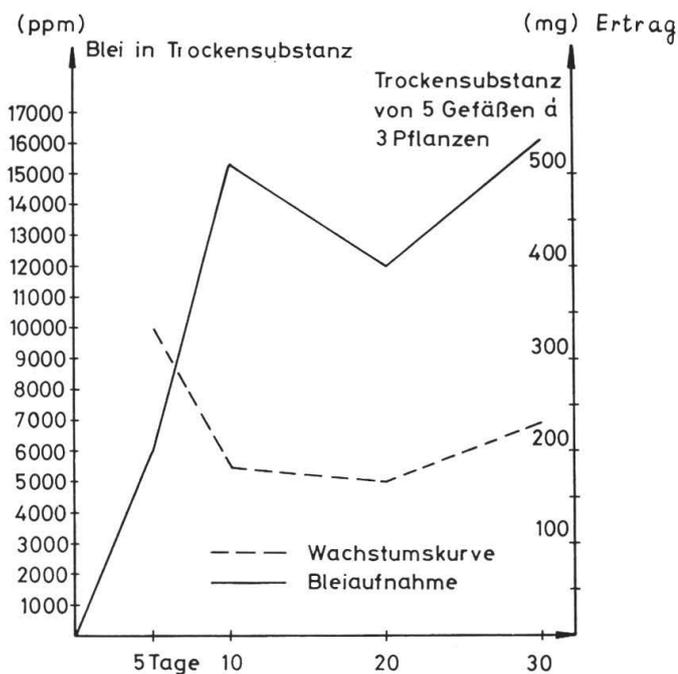


Abb. 8. Wachstum in Abhängigkeit der Bleiaufnahme (Nährlösungsangebot: 200 mg Pb²⁺)

200 mg Nährlösungsangebot an Blei/Kulturgefäß (Abb. 8)

Es sind so viele freie Bleiionen in der Nährlösung vorhanden, daß die Bleiaufnahmekurve äußerst steil ansteigt. Gleichzeitig macht sich natürlich die Giftwirkung bemerkbar (0—10 Tage). Ein leichtes Absinken des Bleigehalts vermindert die Giftwirkung, die Ertragskurve fällt nicht mehr wesentlich ab (10—20 Tage). Dies scheint zu veranlassen, daß etwas Blei aufgenommen wird und somit eine leichte wachstumsfördernde Wirkung in der Ertragskurve erkenntlich wird.

4. Zusammenfassung

Meine Arbeit weist eindeutig nach, daß Weizen trotz der hohen Sulfatkonzentration der Nährlösung sehr viel Blei aufnimmt. Man kann sicher von den Kulturversuchen nicht quantitativ auf die tatsächlichen Verhältnisse im Boden schließen. Da jedoch 3% der bundesdeutschen Anbauflächen in bis zu 100 m Distanz einer stark befahrenen Straße liegen, jährlich in der Bundesrepublik 20000 bis 40000 t Blei an die Atmosphäre abgegeben und größtenteils im Boden eingelagert werden, die international festgelegte Bleihöchstaufnahme mit der täglichen Nahrung heute schon *ständig* um das Doppelte überschritten wird [1] empfiehlt es sich, die Wurzelbleiaufnahme der Pflanzen im Hinblick auf den Umweltschutz mehr in Betracht zu ziehen.

Sicher vermindert das neue Benzinbleigesetz, das eine Herabsetzung des Antiklopfmittelgehalts im Benzin fordert, den Bleiausstoß der Automobile, aber die schwer löslichen Verbindungen im Boden, die in nicht zu vernachlässigender Konzentration vorliegen, können nicht mehr entfernt werden und weiterhin wird Blei von den Pflanzen über die Wurzel aufgenommen.

Welche Wirkungen ein ständig überhöhter Bleigehalt der Nahrung nach sich ziehen wird, ist vorläufig nicht abzusehen [1]. Auf alle Fälle muß nach Düngezusätzen gesucht werden, die die Bleiaufnahme vermindern. Ob das von mir untersuchte Sulfat dazu geeignet ist, kann ich natürlich aufgrund solch verhältnismäßig kurzer Versuchsreihen nicht sagen. Außerdem spielen im Boden noch Sekundärreaktionen mit freien Ionen eine Rolle, die ich trotz des hohen Sulfatgehalts *nicht* simulieren konnte.

Literatur

- [1] Blei und Umwelt, Kommission für Umweltgefahren des Bundesgesundheitsamtes. Arbeitsgruppe Blei
[2] Naturw. Rdsch. **11**, 472 (1966)
[3] *A. Suchodoller*, Ber. Schweiz. Bot. Ges. (1967)
[4] *Sorauer*, Handbuch für Pflanzenkrankheiten I, 4. Lfg. (1970) 136—138
[5] *R. Zuber*, *E. Bovay*, *W. Tschannen* und *J.-P. Quinche*, Schweiz. landw. Forschung **9**, 83—96 (1970)
[6] *K. Scharrer* und *W. Schropp*, Z. pflanzl. Ernähr. Düng. **43** (1922)

[7] *K. Riebartsch* und *G. Gottschalk*, Z. analyt. Chemie **214**, 179—185 (1965)

Mein herzlicher Dank gilt den Firmen JANKE und KUNKEL KG, Stauffen; LANGE-Photometer, Düsseldorf. Herrn Prof. Dr. *G. Gottschalk* in Fa. OSRAM-Forschungsinstitut München, der „Jugend-forscht“-Wettbewerbsleitung und nicht zuletzt der Schulleitung, der Chemiefachleitung (*OSTR. Graf*, Frau *Müller*) und dem Elternbeirat des Chiemgau-Gymnasiums in Traunstein für ihre freundliche Unterstützung.