

## Bestimmung von Zink in Pflanzen

VON KARIN TRIER, P. NEUBERT und R. EBELING

### Inhaltsübersicht

Für die Bestimmung von Zink in Pflanzensubstanzen eignen sich absorptionsflammenphotometrische und polarographische Methoden.

Mit den zur Verfügung stehenden Gerätekombinationen konnten Messungen im Bereich von 1–5 µg Zn/ml bzw. 1–25 µg Zn/ml Meßlösung vorgenommen werden. Die Streubereiche betragen  $\pm 3,17$  ppm bzw.  $\pm 3,25$  ppm. Für die polarographische Bestimmung müssen störendes Phosphat und Sulfat durch Passage einer Kationenaustauschersäule abgetrennt werden. Die absorptionsflammenphotometrische Bestimmung wird durch die in Pflanzenproben vorliegenden Anionen und Kationen nicht gestört, sofern die Messung in 0,1 n HCl erfolgt. Für serienmäßige Arbeiten eignet sich das letztgenannte Verfahren besser, da mit dem polarographischen Verfahren bei gleicher Aufschlußprozedur nur die Hälfte an Bestimmungen geschafft wird. Dagegen ergibt sich bei diesem die Möglichkeit, in geringen Meßlösungsmengen von 0,5 ml zu messen. Die atomabsorptionsphotometrische Methode benötigt mindestens 3 ml Meßlösung.

### 1. Einleitung

In zunehmendem Maße werden Untersuchungen bekannt, die sich mit dem Stoffwechsel des Zinks in der Pflanze befassen. Hierfür dürften die vielerorts, vor allem bei Verabfolgung hoher P-Gaben, auftretenden Mangelerscheinungen<sup>1) 2) 3)</sup> und die Fortschritte der pflanzlichen Biochemie verantwortlich sein<sup>4–8)</sup>.

Am Beginn unserer Arbeiten über die Aufnahme, die Verteilung und den Stoffwechsel des Zinks standen methodische Untersuchungen zur Bestimmung in Pflanzen.

Der Gehalt an Zink beträgt in den verschiedenen Pflanzen etwa 5 bis 100 ppm in der Trockensubstanz. Für die Bestimmung dieser geringen Men-

<sup>1)</sup> A. J. BEDROSIAN u. W. J. HANNA, *Soil Science* **101**, 50 (1966).

<sup>2)</sup> P. E. PEDERSEN, *Agric. Chemicals*, Januar 1966, S. 26.

<sup>3)</sup> E. R. HOLDEN u. J. W. BROWN, *J. Agric. Food Chem.* **13**, 180 (1965).

<sup>4)</sup> M. J. SHKOLNIK, A. V. KOSICYN, T. A. PARIBOK u. V. N. DAVIDOVA, *X. International Congress of Botany, Edinburgh, 1964*, S. 468.

<sup>5)</sup> J. DANCER, *Nature* **183**, 901 (1959).

<sup>6)</sup> N. MAŠEV u. M. KUTACEK, *Biologia Plantarum (Praha)* **8**, 142 (1966).

<sup>7)</sup> D. J. D. NICHOLAS u. T. GOODMAN, *J. exp. Botany* **9**, 97 (1958).

<sup>8)</sup> E. VRACHNOU, C. DASSIOU u. A. POMONI, *Naturwiss.* **51**, 468 (1964).

gen eignen sich prinzipiell spektrophotometrische, polarographische und neuerdings absorptionsflammenphotometrische Methoden. Die spektrophotometrischen Methoden erfordern jedoch eine zeitraubende Abtrennung störender Schwermetalle, die mit den verwendeten Farbkomplexbildnern gleichermaßen reagieren<sup>9)</sup>. Auch die Verwendung von Anionenaustauschern mit stufenweiser Elution bringt keine Vorteile, da nach der zeitraubenden Trennung der Metalle nur Zink bestimmt wird. Sollen alle vorhandenen Schwermetalle erfaßt werden, ist eine derartige Trennung mit nachfolgender spektrophotometrischer Einzelbestimmung vertretbar<sup>10)</sup>. Für die polarographische Bestimmung müssen störende Anionen, wie Phosphat und Sulfat durch Passage einer Kationenaustauschersäule entfernt werden. Eine zeitraubende Trennung der Metalle ist nicht notwendig. Am einfachsten gestaltet sich die absorptionsflammenphotometrische Bestimmung, da die Messung unmittelbar in der Aschelösung erfolgen kann. Die letztgenannten beiden Methoden wurden von uns eingehender geprüft und verglichen. Im folgenden wird darüber berichtet.

## 2. Absorptionsflammenphotometrische Bestimmung

Die physikalischen Grundlagen der Absorptionsflammenphotometrie werden von einer Reihe von Autoren eingehend beschrieben. Es soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden<sup>11-17)</sup>.

Die von der Fa. Hillger u. Watts, London, aus dem UVISPEK und dem Zusatzgerät zur Atom-Absorption gefertigte Meßanordnung arbeitet mit kontinuierlichem Hohlkathoden-Lampenstrom und kontinuierlicher Probenzufuhr zur Flamme. Eine Modulation des von der Hohlkathodenlampe abgegebenen Lichtes wird vielfach empfohlen, um den Einfluß von Netzschwankungen auf das von der Hohlkathode abgegebene Licht auszuschalten<sup>18-20)</sup>.

<sup>9)</sup> E. B. SANDELL, *Colorimetric Determination of Traces of Metals*, 2. Aufl., New York, 1965.

<sup>10)</sup> H. DIETRICH, *Z. Landw. Versuchs-Untersuchsw.* **9**, 549 (1963).

<sup>11)</sup> D. J. DAVID, *Analyt.* **85**, 779 (1960).

<sup>12)</sup> J. D. DAVID, *Spectrochim. Acta* **20**, 1185 (1964).

<sup>13)</sup> W. LEITHE, *Angew. Chemie* **73**, 488 (1961).

<sup>14)</sup> H. H. SEIDEL u. W. THIELE, *Jenaer Rdsch.* **2**, 122 (1965).

<sup>15)</sup> A. C. MENZIES, *Z. Instrumentenkde.* **68**, 242 (1960).

<sup>16)</sup> J. W. ROBINSON, *Atomic Absorption Spectroscopy*, New York, 1965.

<sup>17)</sup> W. T. ELWELL u. J. A. F. GIDLEY, *Atomic-Absorption-Spectrophotometry*, London, 1966, 2. Aufl.

<sup>18)</sup> R. GERBATSCH, *Emissionsspektroskopie*, Akademie-Verlag, 1964, S. 181.

<sup>19)</sup> Anonym 1965, *Instrument News* **16**, 16 (1965). The Perkin-Elmer Corp.

<sup>20)</sup> Anonym 1966, *Firmenschrift Unicam SP 90 atomic absorption spectrophotometer*, Unicam Instruments Limited Cambridge.

Mit der Differenzmethode ( $AI_0$ -Methode) können durch periodisch auftretende Absorption durch alternierende Probenzufuhr zur Flamme oder periodische Auslenkung oder Umlenkung der Flamme bei kontinuierlicher Probenzufuhr zur Flamme die Störanfälligkeit sowie der apparative Aufwand vermindert werden<sup>21)</sup>.

Das benutzte Gerät von Hilger u. Watts besitzt einen Gleichstromverstärker und läßt eine Modulation der Lichtquelle nicht zu. Durch Vorschalten eines leistungsfähigen magnetischen Netzspannungskonstanthalters wird der Lichtstrom konstant gehalten. Die vorgeschlagenen apparativen Anordnungen verdienen Beachtung, konnten jedoch bei unseren Untersuchungen zunächst nicht berücksichtigt werden.

Das aus der Emissionsflammenphotometrie übernommene Zerstäuber-Flammen-Prinzip bringt zwei Störmöglichkeiten mit, die Gaszufuhr und die Zerstäubung. Bei sorgfältiger Kontrolle einer konstanten Gaszufuhr und einer gleichmäßigen Zerstäubung ergeben sich jedoch zufriedenstellende Werte.

Ein Vergleich der Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit der eigenen Messungen mit Werten, die mit anderen Gerätetypen erhalten wurden, ist ohne weiteres nicht möglich, da insbesondere die unterschiedlichen Brenner und Zerstäuber einen großen Einfluß haben<sup>22)</sup>.

## 2.1. Arbeitsvorschrift

Gerät:

Uvispek-Spektralphotometer von Hilger und Watts, London  
mit Zusatz für Atomabsorption H 700/H 1100,  
Wechselspannungskonstanthalter Typ 220/7,  
PGH Statron, Fürstenwalde,  
Zink-Hohlkathodenlampe, hergestellt vom Institut für Optik und Spektroskopie  
der DAdW Berlin-Adlershof.

Meßbedingungen:

Lampenstrom	34 mA,
Spektrallinie	213,8 nm,
Spaltbreite	0,25 mm,
Empfindlichkeit	9
Propan	0,45 l/min,
Preßluft	7,5 l/min.

Mindestens  $\frac{1}{2}$  Stunde vor Beginn der Messung muß das Gerät eingeschaltet werden. Die Probenlösungen werden in einem Ringspalt-Vorkammerzerstäuber zerstäubt und einem Spaltbrenner von 120 mm Länge zugeführt. Mit bidestilliertem Wasser wird der Nullpunkt abgeglichen und die zu den Standard- und Analysenlösungen gehörigen Absorptionswerte

<sup>21)</sup> W. LANG, Z. analyt. Chem. **217**, 161 (1966).

<sup>22)</sup> K. EBERT u. E. THALMANN, Thaeer-Archiv **10**, 167 (1966).

als Extinktion abgelesen. Die Berechnung der Konzentration erfolgt an Hand einer Standardkurve.

Standard: Entsprechende Mengen  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , p. a. werden für den Meßbereich von 0,5–5 ppm Zink in 0,1 n HCl gelöst.

Arbeitsgang: 2,0 g lufttrockene Pflanzensubstanz werden im Quarztiegel eingewogen und im Muffelofen bei 500 °C 3 h verascht. Die Temperatur muß möglichst genau eingehalten werden, um Zn-Verluste zu vermeiden. Falls die Asche noch einen grauen Farbton (Kohlenstoff) besitzt, wird mit wenigen Tropfen einer 1proz.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Lösung angefeuchtet und nochmals 2–3 h bei 500 °C verascht. Anschließend wird die Asche mit 5 ml halbkonzentrierter Salzsäure versetzt und die Lösung auf dem Wasserbad zur Trockene eingedampft. Nach dem Zusatz von wenigen Tropfen halbkonzentrierter Salzsäure wird erneut zur Trockene gebracht. Mit 0,1 n Salzsäure nimmt man den Rückstand auf, zentrifugiert die Lösung und spült in einen 50-ml-Meßkolben über (2–3mal wird der Tiegel mit 0,1 n HCl ausgespült). Diese Lösung wird zur Messung verwendet.

## 2.2. Prüfung auf störende Einflüsse

### 2.2.1. Säuren

Bis zu einer Konzentration von 0,1 n erhöht Salzsäure die Extinktion nicht. Es ist deshalb notwendig, daß die Standard- und Probenlösungen, wie unter 2.1. beschrieben, genau 0,1 n HCl enthalten. Höhere HCl-Konzentrationen erhöhen die Extinktion beträchtlich.

Bei nasser Veraschung der Pflanzensubstanz mit Salpeter- oder Schwefelsäure ist zu beachten, daß in der Meßlösung die Konzentrationen nicht höher als 0,2 n bzw. 0,1 n sein dürfen, da sonst eine Erniedrigung der Extinktion eintritt.

Folgende Konzentrationen, bis zu denen keine Störung auftritt, wurden in anderen Versuchen gefunden<sup>23)</sup>:

0,1 n HCl, 2% (Vol.)  $\text{HNO}_3$  und 1% (Vol.)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Entsprechend dem Gehalt der Pflanzen an Phosphaten wurden Zusätze von 120, 240 und 600 ppm P (als  $\text{H}_3\text{PO}_4$  und  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) zu Standardlösungen von 0,5–5 ppm Zn gemacht. Es ergab sich keine Beeinflussung der Meßwerte.

### 2.2.2. Kalzium, Magnesium, Aluminium

Zusätze von Kalzium und Magnesium als wesentliche in Frage kommende Störelemente in pflanzlichen Proben ergaben unterschiedliche Extinktionserniedrigungen.

In wäßriger Lösung hatten Kalziumnitrat [40–800 ppm Ca als  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ] und Magnesiumsulfat (40–240 ppm Mg als  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) einen großen Einfluß. Die gleiche Menge Kalzium als Kalziumacetat erniedrigte die Extinktion nicht. Beim Zusatz der o. a. Mengen an Kalzium und Magnesium zu einer Maisaschelösung (nach Vorschrift unter 2.1.), die 0,1 n HCl enthielt, blieben die beobachteten Wirkungen aus. Die gleiche Aufhebung der Störung der Kalzium- und Magnesiumzusätze wird bei der Verwendung von Modell-Pflanzenaschelösungen festgestellt<sup>23)</sup>.

Aluminium hatte in Mengen von 4, 8 und 16 ppm als  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  keinen Einfluß auf die Messung.

Für die Bestimmung des Zinks in Pflanzenaschen ist demnach in den obengenannten Konzentrationsbereichen mit keiner Störung durch Kalzium, Magnesium und Aluminium zu rechnen, sofern eine Lösung in 0,1 n Salzsäure vorliegt.

<sup>23)</sup> H. GERSTENFELDT, Landw. Forschung 15, 64 (1962).

### 2.3. Reproduzierbarkeit und Empfindlichkeit

In Tab. 1 sind die mit zeitlichem Abstand gemessenen Werte der Standardkurve angegeben.

Der von der Fa. Hilger u. Watts empfohlene Bereich von 1–5  $\mu\text{g Zn/ml}$  erwies sich als günstig. Im Bereich von 6–10  $\mu\text{g Zn/ml}$  ist entgegen den Angaben aus anderen Untersuchungen<sup>23)</sup> die Standardkurve stark gekrümmt und die Ablesung und die Auswertung ungenau. Die festgestellten Streuungen sind gering, der Streubereich entspricht  $\pm 0,049 \mu\text{g/ml}$ .

**Tabelle 1**  
Streuung der Werte der Standardkurve

$\mu\text{g Zn/ml}$	0,5	1	2	3	4	5
Skalenteile	48	98	193	282	363	433
	48	97	193	283	361	432
	48	97	196	283	362	432
	49	98	191	284	361	430
	50	102	197	284	363	433

Streuung  $s = \pm 1,54$  Skalenteile,

Streubereich ( $P = 95\%$ ) =  $\pm 3,17$  Skalenteile.

Die Wahl der Probenmenge hat einen großen Einfluß auf die Streuung der Werte. Für die späteren Versuche bemühten wir uns um möglichst geringe Einwaagen, mußten jedoch feststellen, daß mindestens 2 g einer gut homogenisierten, luftgetrockneten Pflanzensubstanz notwendig sind. In Versuchen mit Maisblättern ergab sich bei 12facher Wiederholung bei der Einwaage von 1 g eine Streuung  $s = \pm 0,269 \mu\text{g/ml}$  und ein Variationskoeffizient von 15%. Wurden 2 g Substanz verwendet, sanken die Werte auf  $\pm 0,098 \mu\text{g/ml}$  bzw. 6%.

**Tabelle 2**  
Einfluß des Meßtermines auf die absorptionsflammenphotometrische Zinkbestimmung (Zinkgehalt in ppm Trockenmasse)

Probe	Bohnen- sprosse	Bohnen- sprosse	Tomaten- blätter	Tomaten- sprosse	Bohnen- blätter	Tomaten- sprosse
1. Termin	14,0	24,5	68,0	66,0	80,0	26,8
	15,5	25,5	67,5	70,5	80,0	26,8
	18,0	28,3	66,0	68,5	82,0	26,8
2. Termin	16,5	24,5	66,0	65,5	80,0	25,0
	13,5	25,5	66,5	71,5	81,5	25,0
	14,5	26,5	65,0	70,0	80,3	24,5
3. Termin	14,5	26,0	66,0	70,0	80,0	26,0
	13,0	25,0	66,0	65,0	80,0	26,0
	14,5	24,0	64,5	68,5	82,0	24,5
4. Termin	17,5	23,5	64,5	69,0	77,0	26,0
	13,0	26,0	64,5	65,5	79,5	24,8
	14,5	24,8	65,0	70,5	84,0	24,8

Die zunächst auftretenden Schwierigkeiten bei der Konstanthaltung der Netzspannung und der Gas- und Luftzufuhr veranlaßten uns nach der erfolgten Stabilisierung an verschiedenen Tagen, eine Reihe von Pflanzensubstanzen zu untersuchen (Tab. 2). Die angestellte Varianzanalyse ergab keinen Einfluß der Termine auf den gefundenen Zinkgehalt ( $P = 95\%$ ). Der ermittelte Streubereich von  $\pm 3,17$  ppm entspricht den Forderungen an ein agrikulturnchemisches Verfahren.

#### Varianzanalyse

		FG	MQ
SQ <sub>Total</sub>	46883,97	71	
SQ <sub>Proben (P)</sub>	46722,02	5	
SQ <sub>Termin (T)</sub>	14,56	3	4,8533
WW <sub>P/T</sub>	12,71	15	0,8473
Streuung	$s = \pm 1,58$ ppm		
Streubereich	$x = \pm 3,17$ ppm		

In Tab. 3 sind im oberen Teil wiedergefundenen Zinkzusätze zu Maisproben angegeben. Die Werte sind zufriedenstellend.

Tabelle 3

#### Wiedergewinnung von Zinkzusätzen in Maisproben (Zusatz vor dem Veraschen)

Gehalt in der Probenlösung $\mu\text{g Zn/ml}$	Zn-Zusatz		%	$s^{24)}$ $\mu\text{g/ml}$
	gegeben $\mu\text{g Zn/ml}$	gefunden $\mu\text{g Zn/ml}$		
Absorptionsflammenphotometrische Bestimmung				
1,60	0,90	0,92	102	$\pm 0,07$
1,60	1,80	1,85	103	$\pm 0,13$
Polarographische Bestimmung				
1,60	2,50	2,42	97	$\pm 0,21$
1,60	5,00	4,95	99	$\pm 0,30$

### 3. Polarographische Bestimmung

Polarographische Zink-Bestimmungen werden im allgemeinen durch fremde, in der Pflanzenaschelösung vorhandene Metalle nicht gestört. Als weiterer Vorteil muß die mögliche Reduzierung des Meßvolumens bis auf 0,04 ml genannt werden<sup>25)</sup>.

Für die Abtrennung störender Anionen (z. B. Phosphat) oder Kationen (z. B. großer Überschuß von Eisen (III) und Aluminium) können Ionenaustauscher oder die Extraktion der Metalle mit Komplexbildnern (z. B. Dithizon in Chloroform) verwendet werden<sup>26)</sup>. Wir halten, wie nachfolgend

<sup>24)</sup> Mittelwerte aus 5 Bestimmungen.

<sup>25)</sup> P. BERSIER u. J. BERSIER, Z. analyt. Chem. **192**, 351 (1963).

<sup>26)</sup> M. BREZINA u. P. ZUMAN, Die Polarographie in der Medizin, Biochemie und Pharmazie, Leipzig, 1956, S. 77 ff.

beschrieben, die Verwendung von Kationenaustauschern für günstiger, da die in der Pflanzenasche vorhandenen Mengen an Phosphat und Sulfat rascher abgetrennt werden.

Eine alkalische Reaktion des Grundelektrolyten ( $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_3$ , pH-Wert = 8), der in einem Schnellverfahren gleich der Aschelösung zugesetzt wird, bringt Störungen durch Phosphat und Eisenhydroxidniederschläge, die wahrscheinlich Zink absorbieren, mit sich<sup>27)</sup>. In den eigenen Versuchen erwies sich eine schwach saure Reaktion des Grundelektrolyten als vorteilhafter, da Fällungen von Eisen (III) und Aluminium ausbleiben.

### 3.1. Arbeitsvorschrift

Gerät:

Polarograph Typ OH 102, Radelkis, VR Ungarn.

Meßbedingungen:

Empfindlichkeit:  $10^{-8}$  bis  $10^{-9}$  A/mm,

E = 0,8–1,3 V gegen gesättigte Kalomelektrode,

Zn-Stufe bei –1,1 V,

Tropfzeit: 3 sec,

Grundelektrolyt: 15proz. Ammoniumacetatlösung.

Arbeitsgang: 1,0 g lufttrockene Pflanzensubstanz wird in einen Quarztiegel eingewogen und wie unter 2.1. angegeben bei 500 °C verascht. Die Asche wird mit wenig Wasser aufgeschlämmt und mit Salzsäure (1:1) tropfenweise neutralisiert. Es darf kein Säureüberschuß vorhanden sein, da anschließend eine Ionenaustauschersäule benutzt wird (das Zink würde bei Überlastung vorzeitig eluiert). Die Lösung im Tiegel wird in ein Zentrifugenglas überführt (2mal nachspülen), abzentrifugiert und die überstehende Lösung zusammen mit den Waschlösungen (2–3mal wird der Rückstand mit wenig Wasser gewaschen) auf die Kationenaustauschersäule gegeben (insgesamt etwa 10 ml). Mit wenig Wasser wird nun die Austauschersäule neutral gewaschen. Zink und die anderen Metalle eluiert man anschließend mit 15proz. Ammoniumacetatlösung in einen 10-ml-Maßkolben und füllt mit der gleichen Lösung auf. Dabei werden Phosphat und Sulfat sowie geringe Eisen(III)-hydroxydniederschläge (verbleiben in der auf der Säule befindlichen Schicht feiner Glaswolle oder Watte) abgetrennt. 1 ml Lösung wird zur Messung in die auf 20 °C temperierte polarographische Zelle gegeben. Den Luftsauerstoff vertreibt man durch Einleiten (2 Minuten) von Reinststickstoff. Die Auswertung der Stufen erfolgt an Hand einer Eichkurve oder nach dem Verfahren des Standardzusatzes<sup>28)</sup>.

Bereitung der Kationenaustauschersäule: In ein ausgezogenes Glasrohr (200 mm Länge, 4 mm innerer Durchmesser) mit Schliffhahn wird ein geeignetes Kationenaustauscherharz, z. B. Wofatit KPS 200, in der H-Form gegeben. Die Regeneration erfolgt mit HCl (1:1) und nachfolgendem Waschen mit bidestilliertem Wasser bis zur neutralen Reaktion. Zum Abtrennen von Kieselsäure und anderen Niederschlägen empfiehlt sich eine Lage feinsten Glaswolle oder Watte von etwa 5 mm auf der Säule.

<sup>27)</sup> H. L. BARROWS, M. DROSDORF u. A. H. GROPP, J. Agric. Food. Chem. 4, 850 (1956).

<sup>28)</sup> M. STACKELBERG, Polarographische Arbeitsmethoden, Berlin, 1950, S. 97 u. 125.

### 3.2. Reproduzierbarkeit und Empfindlichkeit

Der Meßbereich kann entsprechend dem verwendeten Polarographen durch Potentiometer verändert werden. Die mit Sicherheit noch meßbare Stufe muß 8–10 mm Höhe besitzen. Der verwendete Gerätetyp besitzt eine Registrierpapierbreite von 250 mm, so daß z. B. der Bereich von 1–25  $\mu\text{g}$  mit gleicher Einstellung erfaßbar ist. Die geringste meßbare Menge beträgt 0,5  $\mu\text{g}$  Zn/ml.

Tabelle 4  
Bestimmung von Zink in Mais

	ppm in der Trockenmasse			s	Streubereich (P = 95%)
1. Termin	38,0	38,0	38,5		
2. Termin	42,0	38,0	39,5		
3. Termin	39,5	38,5	39,5	$\pm 1,7$	$\pm 3,25$

An verschiedenen Tagen wurden in Maisblättern die Zinkgehalte bestimmt. Die Werte und der Streubereich sind in Tab. 4 angegeben. Aus Tab. 3 ist die befriedigende Wiedergewinnung von Zinkzusätzen zu Maisproben vor der Veraschung ersichtlich.

### 4. Vergleich der absorptionsflammenphotometrischen und polarographischen Methode

An einer Reihe von Pflanzensubstanzen wurden nach beiden Methoden die Zinkgehalte bestimmt. Wie die Werte in Tab. 5 zeigen, liegen die Differenzen innerhalb der etwa gleich großen Streubereiche (siehe hierzu auch

Tabelle 5  
Vergleich der absorptionsflammenphotometrischen (AF) und der polarographischen (P) Zinkbestimmung in Pflanzen

Probe	AF [ppm Zn]	P [ppm Zn]	Differenz
Bohnenblätter	49,2	51,0	1,8
Bohnenblätter	51,1	49,1	2,0
Maiswurzeln	45,0	47,0	2,0
Maisblätter	25,1	26,8	1,7
Maisblätter	39,3	39,0	0,3
Streueung s	$\pm 1,30$	$\pm 1,16$	
Streubereich (P = 95%)	$\pm 2,75$	$\pm 2,52$	

Tab. 3). Unterschiede in dieser Hinsicht bestehen demnach nicht. Die absorptionsflammenphotometrische Methode ist mit 0,3  $\mu\text{g}/\text{ml}$  etwas empfindlicher als die polarographische Methode mit 0,5  $\mu\text{g}/\text{ml}$ . Die verwendeten



Probenmengen betragen 2 g und 1 g. Der Zeitaufwand ist für die absorptionsflammenphotometrische Bestimmung geringer. Nach gleichlaufender Aufschlußprozedur werden mit der polarographischen Methode nur etwa die Hälfte an Proben bewältigt. Demnach ist der absorptionsflammenphotometrischen Methode der Vorzug zu geben, falls nicht sehr geringe Probenmengen mit geringen Zn-Gehalten vorliegen und sich eine Anreicherung in geringen Meßlösungsvolumen erforderlich macht. In diesem Falle kann die polarographische Methode bessere Dienste leisten, da für die Zerstäubung in der Flamme bei der Atom-Absorptions-Methode mindestens 3 ml Meßlösung notwendig sind. Polarographische Aufnahmen können noch mit 0,5 ml, in Spezialzellen mit 0,04 ml Meßlösung gemacht werden.

Für wertvolle Hilfe bei der Durchführung der Messungen danken wir Frau U. EBERT und Herrn B. HOFFMANN vielmals.

Jena, Institut für Pflanzenernährung der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin.

Bei der Redaktion eingegangen am 1. August 1967.