

Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und
Lebensmittelwissenschaften
Fachgebiet Pflanzenernährung und Bodenkunde
Prof. Dr. Bernhard Seggewiss

**Studienarbeit zur Erlangung des
akademischen Grades
Bachelor of Science**

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2012 – 0305 – 4

**„Boden – und Pflanzenverfügbarkeit von Zink
in der Landwirtschaft“**

*Von
Tino Kerber*

Oktober 2012

Inhaltsverzeichnis

I. Abbildungsverzeichnis	4
II. Tabellenverzeichnis	6
III. Abkürzungsverzeichnis	8
Einleitung	10
1 Definitionen	11
1.1 Definition von Mikronährstoffen	11
1.2 Definition von Spurenelementen	11
1.2 Definition von Zink	11
2 Zink im Boden	12
2.1 Zinkgehalte im Boden	12
2.2 Zinkminerale in Böden	12
3 Geologische Herkunft und Zink-Gehalte der Böden	14
3.1 Richtwerte für Zink-Gehalte in Böden und Pflanzen	15
4 Die CAT-Methode	18
4.1 Herstellung der Extraktionslösung	18
4.2 Herstellung der Bodenextrakte	19
4.3 Endbestimmungsverfahren	19
4.4 Angaben der Ergebnisse	20
5 Zink in der Pflanze	20
5.1 Zink-Mangelsymptome bei Pflanzen	21
5.2 Mangelsymptome bei Kulturpflanzen	24
5.3 Mikronährstoffbedarf von Ackerkulturen	27
5.4 Zinküberschuss	28
5.5 Zink als Schadstoff	30

6	Düngung	34
6.1	Schlussfolgerungen	37
7	Versuchsergebnisse	38
7.1	Erster Versuch	38
7.2	Schlussfolgerungen	42
7.3	Zweiter Versuch	43
8	Diskussion	46
9	Zusammenfassung	47
10	Abstract	49
11	Literaturverzeichnis	50
11.1	Bücher	50
11.2	Internetquellen	50
12	Eidesstattliche Erklärung	51

I Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1** *Anteil des austauschbaren Zinks (Zn-CaCl₂) in Prozent des austauschbaren plus nachlieferbaren Zinks (Zn-EDTA) in Abhängigkeit vom pH-Wert norddeutscher Ackerböden*
Seite 13
- Abbildung 2** *Maispflanzen mit Zn- Mangelsymptomen*
Seite 23
- Abbildung 3** *Verschiedene Stadien der „Farnblättrigkeit“ an den Blättern von Kartoffeln (*Solanum tuberosum*) infolge von Zn-Mangel in Hydrokultur*
Seite 26
- Abbildung 4** *Zu niedrige Konzentrationen essentieller Spurenelemente führen zu Mangel-, zu hohe Konzentrationen dagegen zu Toxizitätserscheinungen bei der Pflanze (A). Nicht essentielle Spurenelemente können bis zu einer bestimmten Konzentration von der Pflanze toleriert werden, bevor Merkmale von Toxizität auftreten (B).*
Seite 31

Abbildung 5

Verlauf der Zinkaufnahme bei Winterweizen

Seite 36

Abbildung 6

Zinkentzug verschiedener Kulturen

Seite 36

Abbildung 7

*Mehrertrag durch Zn- Blattdüngung zu Getreide in
Abhängigkeit vom Zn-Gehalt im Spross (BBCH 31 –
32)“*

Seite 45

II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	<i>Zn - Gehalte ostdeutscher Mineralböden in Abhängigkeit von der geologischen Herkunft. Angabe als Prozentverteilung in Gehaltsklassen A (niedrig), C (mittel) und E (hoch)</i> Seite 14
Tabelle 2	<i>Definition der Gehaltsklassen pflanzenverfügbarer Mikronährstoffgehalte (Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink) im Boden</i> Seite 15
Tabelle 3	<i>Richtwerte zur Bewertung des Zn - Gehaltes nach der CAT-Methode (CaCl₂/DTPA-Methode) in Abhängigkeit von der Bodengruppe; Angaben in mg/kg Boden</i> Seite 16
Tabelle 4	<i>Richtwerte zur Bewertung des Zn - Gehaltes nach der CAT-Methode (CaCl₂/DTPA-Methode) in Abhängigkeit von der Bodengruppe; Angaben in mg/kg Boden</i> Seite 17
Tabelle 5	<i>Endbestimmungsverfahren der CAT-Methode</i> Seite 19
Tabelle 6	<i>Mikronährstoffbedürftigkeit der Kulturen</i> Seite 27
Tabelle 7	<i>Zn-Bedarf ausgewählter Kulturen</i> Seite 28
Tabelle 8	<i>Herkünfte anthropogener Schwermetallbelastungen von Böden</i> Seite 32

Tabelle 9	<i>Schwermetalleinträge in ($g\ ha^{-1}\ a^{-1}$) verschiedener Quellen</i> Seite 32
Tabelle 10	<i>Optimaler Zeitpunkt für die Zn- Blattapplikation</i> Seite 35
Tabelle 11	<i>Zn-Gehalte von Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen</i> Seite 35
Tabelle 12	<i>Wirkung von Zink auf die Pflanzenerträge</i> Seite 39
Tabelle 13	<i>Einfluß verschiedener Zinkgaben auf Gerste (Sorte „Wiener“)</i> Seite 40
Tabelle 14	<i>Wirkung von Zink auf den Ertrag von Gerste und Hafer</i> Seite 41
Tabelle 15	<i>Standorte und Mikronährstoffversorgung des Bodens statischer Feldversuche (Fruchtfolge) in Thüringen mit jährlicher Blattdüngung von B, Cu, Mn, Mo, Zn ab 2000.</i> Seite 44
Tabelle 16	<i>Standorte und Mikronährstoffversorgung des Bodens einjähriger Feldversuche mit Mikronährstoffblattdüngung (B, Cu, Mn, Zn) zu Winterweizen auf 4 Standorten ab 2005</i> Seite 44
Tabelle 17	<i>Angaben zur Durchführung der Blattdüngung zu Getreide</i> Seite 44

III Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
B	Bor
Cu	Kupfer
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
Zn	Zink
mg	Milligramm
kg	Kilogramm
ca.	Zirka
bzw.	beziehungsweise
Mg	Magnesium
Fe	Eisen
P	Phosphor
L	Liter
u.a.	unter anderem
ppm	parts per million
TM	Pflanzentrockemasse
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
mm	Millimeter
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
Na	Natrium
ha	Hektar
g	Gramm
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
N	Stickstoff
cm	Zentimeter
z.T.	zum Teil

vgl.	Vergleich
Cd	Cadmium
Cr	Chrom
dt	Dezitonne
BBCH	Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie
i. d. Tr. M.	in der Trockenmasse
%	Prozent

Einleitung

Viele Kulturpflanzen weisen einen geringen Bedarf an Nährelementen auf. Dazu gehören die Mikronährstoffe auch Spurenelemente genannt. Auch wenn diese Pflanzen nur einen geringen Bedarf an Mikronährstoffen haben, die Folgen einer unzureichenden Versorgung sind dafür schwerwiegend. Es kommt in den häufigsten Fällen zu erheblichen Wachstumsdepressionen und somit in der Folge zu Ernteaussfällen. Die essenziellen Mikronährstoffe wie Bor (B), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo) und Zink (Zn) haben in der Pflanzenernährung eine besondere Bedeutung.

In meiner Bachelorarbeit setze ich mich mit dem Mikronährstoff Zink auseinander und gehe dabei auf die verschiedensten Themen ein, z.B.: Wie verhält sich Zink im Boden? Wie und wo wirkt Zink in der Pflanze? Oder auch über entsprechende Düngeempfehlungen und Mangelsymptome an den Pflanzen bis hin zu toxischen Wirkungen bei einer zu hohen Dosierung.

Da die Mikronährstoffe schon in kleinsten Mengen hocheffizient wirksam sind, können sie im Pflanzenbau schnell zum Minimumfaktor, d.h. ertragsbegrenzend werden.

In der Vergangenheit wurde oft nur auf Mangelstandorten oder in anspruchsvollen Kulturen gedüngt. Dies wirkte sich meist sehr negativ aus, denn die Bedeutung von Mikronährstoffen nimmt immer mehr zu. Diese Bedeutung wird durch folgende Gründe immer stärker: Entzug von Mikronährstoffen durch steigende Pflanzenerträge, Anhäufung von Trockenperioden durch den Klimawandel, welche die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen im Boden hemmen, der Einsatz von Makronährstoffen wurde erhöht, die aber arm bzw. frei von Mikronährstoffen sind, weiterhin durch den Rückstand der Viehbestände sinkt auch die Ausbringung von organischem Dünger und zuletzt hat die Erforschung von der Bedeutung der Mikronährstoffgehalte noch nicht ihren Höhepunkt erreicht. In Anbetracht dieser Erkenntnisse habe ich mir die Frage gestellt ob Mikronährstoffe, allen voran Zink wirklich eine bedeutende Rolle einnehmen? Diese Frage möchte ich in meiner hier vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit beantworten und durch weitere wissenschaftliche Versuche und Erfahrungen belegen.

1 Definitionen

1.1 Definition von Mikronährstoffen

„Bei Mikronährstoffen handelt es sich um essentielle Kofaktoren zur Aufrechterhaltung von Stoffwechselfunktionen, die aber selbst keine Energie liefern. Dies sind in erster Linie Vitamine (z. B. die Vitamine A, B, C, D, E und K), Mineralstoffe (wie Kalzium oder Magnesium) sowie Spurenelemente (z. B. Eisen, Zink, Selen und Mangan). Obwohl Mikronährstoffe nur in sehr kleinen Mengen benötigt werden, gehören sie zu den wesentlichen Nahrungsbestandteilen. Ohne sie könnten zahlreiche Normalfunktionen wie Wachstum oder Energieproduktion nicht stattfinden.“

(Quelle: URL 1)

1.2 Definition von Spurenelementen

„Spurenelemente sind chemische Elemente, die die Pflanzen (und oft auch Mensch und Tier) in nur kleinsten Mengen aufnehmen, die aber gleichwohl für den Organismus unverzichtbar sind. In größeren Mengen können diese Elemente gleichwohl giftig wirken. Manche Handelsdünger enthalten diese Elemente, teils in Kombination mit anderen Pflanzennährstoffen. Die wichtigsten dieser Elemente sind: Bor (B), Chlor (Cl), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Kobalt (Co), Silicium (Si), Zink (Zn), Eisen (Fe), Jod (J).“

(Quelle: URL 2)

1.2 Definition von Zink

„Zink ist ein unentbehrliches Spurenelement für Pflanze, Tier und Mensch. Es wird von den Pflanzen vor allem als Zn^{2+} und wahrscheinlich auch als $Zn(OH)^+$ sowie in Form gelöster organischer Zn-Komplexe aus der Bodenlösung aufgenommen. Es aktiviert verschiedene Enzyme u.a. der Chlorophyllbildung und ist an der Wuchsstoffsynthese beteiligt. Mangelsymptome sind hellgelbe Interkostalchlorosen vor allem der jüngeren Blätter sowie verringertes Pflanzenwachstum und Kleinblättrigkeit. Bei sehr hohen Gehalten in Böden kann Zink jedoch toxisch auf Pflanzen und Mikroorganismen wirken.“

(Scheffer/ Schachtschabel et. al 2010, S. 437)

2 Zink im Boden

2.1 Zinkgehalte im Boden

„Die mittleren Zink – Gehalte verschiedener Gesteine liegen im Bereich von 15.....100 mg kg⁻¹; der durchschnittliche Gehalt der kontinentalen Kruste beträgt ca. 70 mg kg⁻¹. Sandstein enthält in der Regel wenig, Tonstein dagegen viel Zink. Manche Tonschiefer können bis 300 mg Zn kg⁻¹ und mehr aufweisen. In Magmatiten, Metamorphiten und in Erzlagerstätten liegt Zink als Sulfid (ZnS) sowie zum Teil mit anderen Schwermetallen zusammen als Mischsulfid vor. Als Verwitterungsprodukt der Sulfide kann ZnCO₃ gebildet werden. Daneben ist Zink zu beträchtlichen Anteilen in Silicaten gebunden, meistens als Nebenbestandteil und Ersatz von Mg²⁺ und Fe²⁺. Der Zn – Gesamtgehalt wenig oder nicht belasteter Böden schwankt häufig zwischen 10 und 80 mg kg⁻¹. Die mittleren Hintergrundgehalte von Oberböden aus Sand, Geschiebelehm und Löss betragen ca. 15, 50 bzw. 55 mg kg⁻¹. In belasteten Böden können Gehalte bis 5000 mg kg⁻¹ erreicht werden.“

(Scheffer/ Schachtschabel et. al 2010, S. 437)

2.2 Zinkminerale in Böden

„In solchen stark belasteten Böden können auch Zn- Minerale wie ZnFe₂O₄ (Franklinit) und Zn-Phosphate [z.B.: Zn₃(PO₄)₂*4 H₂O] sowie bei pH- Werten ≥ 7 auch Zn- Silicate wie Zn₂SiO₄ (Willemit) und Zn- Carbonate [ZnCO₃, Zn₅(OH)₆(CO₃)₂] gebildet werden. Unter reduzierenden Bedingungen – wie z.B.: in Reisböden- kann außerdem sehr schwerlösliches Zn-Sulfid (ZnS) ausgefällt werden, durch das Zink in eine Form überführt wird, die für Pflanzen nicht verfügbar ist.“

(Scheffer/ Schachtschabel et al. 2010, S. 437)

In nicht oder kaum belasteten A – Horizonten gemäßigt humider Klimabereiche liegen bei saurer Bodenreaktion 40 bis 60% des Gesamt – Zn in organischer Bindung vor. Wenn der pH-Wert auf ≥ 7 ansteigt, nimmt die Zn – Affinität gegenüber Mn- und Fe-Oxiden stark zu. Der mit Oxide gebundene Anteil erreicht dann einen Wert von 40 bis 70% des Gesamt-Zn, in belasteten Böden sogar bis 85%. Durch Diffusionsvorgänge kann Zink wie auch andere Schwermetalle in das Innere von Oxidpartikeln gelangen und dort so stark gebunden werden, sodass die Mobilisierung erst nach Auflösung der Oxide wieder möglich ist. Die Zn-Diffusion findet in schlecht kristallinen Oxiden, in gut kristallinen Oxiden und auch in verschiedenen Tonmineralen statt. Bei pH-Werten unter ≥ 5 nimmt die Zn- Affinität gegenüber Huminstoffen und Mn-, Fe- Oxiden stark ab, aber gegenüber

Tonmineralen bleibt sie hoch. Durch Tonminerale und andere Silicate gebundene Anteile am Gesamt- Zn, erreicht vor allem in Zn-armen versauerten Oberböden, sowie in Unterböden hohe Anteile (30....85%). Der Gehalt an austauschbarem Zink ist bei pH-Werten ≥ 6 sehr gering. Mit abnehmenden pH-Wert steigt der Anteil an austauschbaren und nachlieferbaren Zn stark an- bei pH 5 auf 10...30% (Abb.1) und bei pH 3 (Waldstandorte) zum Teil bis auf über 50%. Die Zn- Gehalte der Bodenlösung steigen mit abnehmenden pH-Wert und zunehmenden Gehalten an austauschbaren und nachlieferbarem Zink an.

(vgl. Scheffer/ Schachtschabel et. al 2010, S. 437)

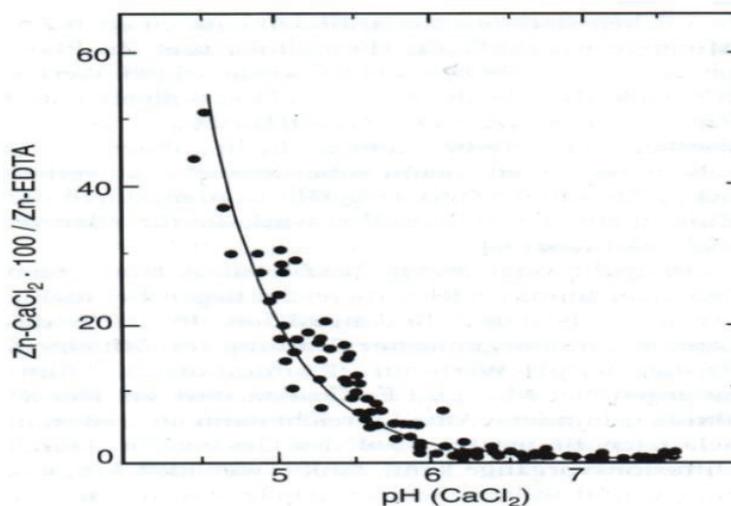
„Sie betragen in nicht und wenig belasteten landwirtschaftlichen genutzten Böden (pH 5...7,5) 0,001...0,8 mg l⁻¹, in extrem sauren Waldböden bis 4 mg l⁻¹ und in stark belasteten Böden bis 15 mg l⁻¹. Der größte Teil des Zinks liegt in humosen Oberböden als metallorganische Komplexe in der Bodenlösung vor (Zn_{org.}: 50...90%). Bei pH-Werten $\geq 6,5$ sind außerdem Zn²⁺-, Zn(OH)⁺-, ZnCO₃⁰- u.a. Zn-Spezies vorhanden. Vor allem Zn(OH)⁺-Ionen, deren Anteil mit steigendem pH zunimmt, können in starkem Maße durch Oxide adsorbiert und fixiert werden (spezifische Adsorption). Bei geringen Gehalten an organischen Komplexbildnern (z.B.: im Unterboden) und pH-Werten ≤ 5 besteht der größte Teil des gelösten Zinks aus Zn²⁺-Ionen. Bei höheren Gehalten an Sulfat und Phosphat in der Bodenlösung können außerdem ZnSO₄⁰ und ZnHPO₄⁰ vorhanden sein.“

(Scheffer/ Schachtschabel et. al 2010, S. 437-438)

Abbildung 1

Anteil des austauschbaren Zinks (Zn-CaCl₂) in Prozent des austauschbaren plus nachlieferbaren Zinks (Zn-EDTA) in Abhängigkeit vom pH-Wert norddeutscher Ackerböden

(Hornburg & Brümmer 1993, S.438)



3 Geologische Herkunft und Zn-Gehalte der Böden

Der Zink-Gehalt im Boden wird hauptsächlich vom Ausgangsmaterial bestimmt. Dazu braucht man Kenntnisse über die Zink-Vorräte der verschiedenen Böden und deren Bedeutung. Ende der 1980iger Jahre wurden dazu Untersuchungen durchgeführt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse einmal zusammengefasst.

(vgl. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2008, S. 2)

Tabelle 1

Zn – Gehalte ostdeutscher Mineralböden in Abhängigkeit von der geologischen Herkunft. Angabe als Prozentverteilung in Gehaltsklassen A (niedrig), C (mittel) und E (hoch)

geologische Herkunft	natürliche Stand- ortseinheit	vorwiegender Bodentyp	vorwiegende Bo- denartengruppe-	Anzahl unter- suchter Schläge	Anteil (%) in Gehaltsklassen		
					A	C	E
Alluvium	1	Auensande	leicht	¹⁾			
Alluvium	2	Auenlehme	schwer	30	3	27	70
Alluvium	3	Auentone	schwer	40	3	35	62
Diluvium	1 + 2	Sande	leicht	511	1	41	58
	3 + 4	Lehme	leicht mittel	656	2	61	37
			mittel	110	15	61	24
	5 + 6	Tone	mittel	281	11	59	30
Löss	1 + 2	Schwarzerde- braune Löss- lehme	schwer mittel schwer	531 103 154	0 0 0	11 10 7	89 90 93
	5+6	braune Löss- lehme ²⁾	mittel schwer	76 95	0 0	17 16	83 84
Röt	V1 bis V7	---	mittel schwer	¹⁾			
Buntsand- stein	V1 bis V7	---	leicht	23	0	17	83
Muschelkalk	V1 bis V3	----	schwer	93	0	44	56
Keuper	V1, V2	---	schwer	40	15	45	40
Gneis	7 bis V9	---	mittel	¹⁾			
Schiefer	V4 bis V9	---	mittel	57	2	18	80
Moor	---	---	---	¹⁾			

¹⁾ Es liegen keine Untersuchungsergebnisse vor.

²⁾ mit Anteilen diluvialer Sande und Verwitterungsböden

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2005, S. 3)

Ergebnis der Untersuchung waren die diluviale mittelschweren Böden, sowie Keuperböden die einen Zink-Mangel aufwiesen.

3.1 Richtwerte für Zink-Gehalte in Böden und Pflanzen

Aus den Untersuchungen lassen sich folgende Richtwerte zusammenfassen. Zur Ermittlung der Richtwerte für den Zink-Bedarf in Böden und Pflanzen gibt es zwei gegenseitig ergänzende Boden- und Pflanzenanalysen. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden Richtwerte zur Einstufung von Zink-Gehalten in Böden gegeben. Die Bodenuntersuchungen geben Aufschluss über die Mikronährstoffversorgung des Bodens und eine Grundlage für den Düngebedarf. Im Gegensatz zur Makronährstoffgehaltsbewertung der Böden erfolgt die Einteilung der Untersuchung in drei Gehaltsklassen. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. (vgl. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2008, S. 12)

Tabelle 2

Definition der Gehaltsklassen pflanzenverfügbarer Mikronährstoffgehalte (Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink) im Boden

Gehaltsklasse	Düngungsempfehlung
A sehr niedriger/niedriger Gehalt im Boden	Beim Anbau mikronährstoffintensiver Kulturen wird durch Mikronährstoffdüngung ein deutlicher, z. T. signifikanter Mehrertrag erzielt. Weniger anspruchsvolle Kulturen erfordern keine Düngung.
C mittlerer/optimaler Gehalt im Boden	Eine Mikronährstoffdüngung wird nur dann zu mikronährstoffintensiven Kulturen empfohlen, wenn nicht bereits durch andere Faktoren die Mikronährstoff-Versorgung gewährleistet wird (z. B. organische Düngung, Veränderung des pH-Wertes im Boden durch Kalk oder physiologisch saure Düngemittel).
E hoher/sehr hoher Gehalt im Boden	Für alle Kulturen reichen die Mikronährstoffgehalte im Boden für hohe Erträge aus. Düngung ist nicht erforderlich.

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2008, S. 12)

In der landwirtschaftlichen Praxis war Zink Mangel in der Vergangenheit nur selten. „Wie aus den Untersuchungen vorgeht sind bei Zink in der Gehaltsklasse A nur 9 % der untersuchten Fläche und folglich in den Gehaltsklassen C und E zusammen 9 % eingestuft.“

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2008, S. 4)

Seit Anfang 2000 werden die Bodenuntersuchungen auf Zink mit der CAT-Methode durchgeführt. Die Richtwerte dieser Methode sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten. (vgl. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2008, S. 4)

Tabelle 3

Richtwerte zur Bewertung des Zn – Gehaltes nach der CAT-Methode (CaCl₂/DTPA-Methode) in Abhängigkeit von der Bodengruppe; Angaben in mg/kg Boden

Zink (mg/kg Boden, CAT-Methode)

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2	IS, sL/uL u. t'L/T BG 3 - 5
A	< 1,0	< 1,5
C	1,0 - 2,5	1,5 - 3,0
E	> 2,5	> 3,0

(Quelle: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.13)

Als Ergänzung zur Bodenuntersuchung geben die Werte der Pflanzenanalyse und den Versorgungszustand von Zink wieder. Diese sind vom Bodengehalt, Witterungsverlauf (Bodenfeuchtegehalt), Düngemaßnahmen (Kalkung, P-Düngung) und dem pH-Wert u.a. abhängig. So kann man mit der Pflanzenanalyse den Zink-Ernährungszustand der Pflanzen in ertragsentscheidenden Vegetationsstadien analysieren und gegebenenfalls die Düngbedarf ableiten. In der nachfolgenden Tabelle sind zur Anschauung der Pflanzenanalyseergebnisse die ausreichend für die optimale Pflanzenernährung eingestuft Zink Gehalte mit Probenahmetermin angegeben.

(vgl. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.12)

Tabelle 4

Richtwerte für ausreichende Zn – Gehalte in mg/kg (ppm) in der Pflanzentrockenmasse TM

Kultur:	Probenahmeorgan	Vegetationszeit bzw. Entwicklungsstadium (ES)	Zn-Gehalt mg/kg (ppm)
Zucker- rübe	Blattspreiten	Mitte Juni	27 bis 80
		Ende Juni	25 bis 80
		Ende Juli	22 bis 70
		Ende August	18 bis 60
Futter- rübe	Blattspreiten	Ende Juni	20 bis 80
		Ende Juli	18 bis 70
Weizen, Gerste, Roggen, Hafer	ganze Pflanze	ES 28 8 Seitentriebe	25 bis 80
		ES 29 9 Seitentriebe	22 bis 80
		ES 31 1-Knotenstadium	19 bis 70
		ES 32-36 2 Knoten, Erscheinen des letzten Blattes	17 bis 70
		ES 37-38 Erscheinen Fahnenblatt, Fahnenblatt entwickelt	18 bis 65
ES 39-45 Fahnenblatt entwickelt, Blattscheide am Fahnenblatt geschwollen	14 bis 65		
Mais	mittlere Blätter; zur Blüte Kolbenblätter	40 bis 60 cm	22 bis 70
		Rispschieben	22 bis 70
		Blüte (weibl.)	22 bis 60
Kartoffeln	voll entwickelte Blätter	Knospenstadium	23 bis 80
		Blühbeginn	20 bis 80
		Blühende	18 bis 70
		Knollenbildung	15 bis 70
Luzerne Rotklee	ganze Pflanze	Knospenstadium	25 bis 70
		Blühbeginn	20 bis 70
Lein	ganze Pflanze	vor der Blüte	40 bis 60

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005, S.5)

4 Die CAT-Methode

„Die Anwendung der CAT-Methode ermöglicht die Bestimmung der Elemente B, Cu, Mn, Mo und Zn in einem Extrakt und führt bei vergleichbarer Aussagekraft zu erheblichen Rationalisierungseffekten im Bodenuntersuchungslabor. Zur Einstufung der Befunde in Gehaltsklassen sind spezielle Richtwerte anzuwenden, die für B, Cu, Mn und Zn im Merkblatt Richtwerte zur Einstufung der Mikronährstoffgehalte in Böden bei Anwendung der CAT-Methode der TLL veröffentlicht sind. Für Mo sind die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen.

Prinzip der Methode ist die Extraktion von auf < 2 mm gesiebt Boden mit einer 0,01 M CaCl₂ + 0,002 M DTPA-Lösung (CAT) und Bestimmung der Elemente vorzugsweise mittels Atomabsorption oder ICP-Spektroskopie.

Die Methode wurde von der Fachgruppe Bodenuntersuchung des VDLUFA im September 2000 in zweiter Lesung verabschiedet und wird mit der Neuauflage des Methodenbuches veröffentlicht. Sie ist bezüglich der Herstellung der Extraktionslösung und der Endbestimmungsverfahren identisch mit der Methode „Bestimmung von Haupt- und Spurennährstoffen in Kultursubstraten im Calciumchlorid/DTPA-Auszug.

Das Verfahren ist gleichzeitig zur Bestimmung von pflanzenverfügbarem Natrium und Magnesium geeignet. Die Extraktion erfolgt im Unterschied zu Kultursubstraten im Verhältnis 1:10 (5 g Boden auf 50 ml CAT-Lösung). Bei landwirtschaftlich genutzten Böden werden Extrakt Konzentrationen erhalten, die mit den angeführten Analyseverfahren problemlos bestimmt werden können. Im Folgenden wird eine kurze Arbeitsanleitung gegeben, die die sehr detaillierte und mit vielen für die praktische Durchführung wichtigen Hinweisen versehene Methodenbeschreibung aber nicht ersetzen kann.

4.1 Herstellung der Extraktionslösung

14,7 g CaCl₂ * 2H₂O und 7,88 g DTPA (Diethylentriaminpentaessigsäure, Titriplex V) mit ca. 800 ml Wasser von etwa 80 °C übergießen und unter weiteren Erwärmen und Rühren vollständig auflösen. Lösung nach Abkühlen auf 1 000 ml auffüllen. Diese Vorratslösung ist bei Raumtemperatur mindestens 4 Wochen haltbar. Kommt es währenddessen zu geringfügigen Ausfällungen, können diese durch Erwärmen und Rühren wieder aufgelöst werden. Die Extraktionslösung wird durch Verdünnen im Verhältnis 1:9 (V + V) erhalten.

4.2 Herstellung der Bodenextrakte

5 g (bei Böden mit einer Rohdichte < 0,5 g/cm³ Einwaage von 2,5 g) werden mit 50 ml Extraktionslösung versetzt, eine Stunde maschinell geschüttelt und über quantitative, auf ihre Blindwerte geprüfte, Papierfilter filtriert. Die ersten ca. 10 ml Filtrat sind zu verwerfen. Alternativ kann zentrifugiert werden. Die Extrakte sind im Kühlschrank mehrere Tage stabil. Bei Konservierung durch Einfrieren müssen sie nach dem Auftauen gründlich homogenisiert werden.

4.3 Endbestimmungsverfahren

Die folgenden Endbestimmungsverfahren sind festgelegt. Bei Anwendung anderer Verfahren muss der Anwender die Vergleichbarkeit der Ergebnisse absichern.

Tabelle 5

Endbestimmungsverfahren der CAT-Methode

Element	Endbestimmungsverfahren			
	ICP-Spektroskopie	Atomabsorptions- spektroskopie	Flammenphotometri e	Photometri e
	Bezeichnung/Messparameter			
Na	588,995 nm	-	589 nm	-
Mg	279,079 nm 285,213 nm 383,826 nm	285,2 nm 202,6 nm	-	-
B	182,580 nm 208,959 nm 249,678 nm	-	-	Dianthrimid bei 623 nm
Cu	324,754 nm 327,369 nm	324,8 nm 327,4 nm	-	-
Zn	206,191 nm 213,856 nm	213,9 nm	-	-
Mn	257,61 nm	279,5 nm	-	-

4.4 Die Angabe der Ergebnisse

Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in mg Nährstoff/kg Boden für Magnesium, Mangan und Natrium in ganzen Zahlen, für Kupfer und Zink mit einer und für Bor mit zwei Nachkommastellen.“

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2000, S.1-2)

5 Zink in der Pflanze

„Von den Pflanzen wird Zink vorwiegend als Zn^{2+} -Ion aufgenommen, wobei aufgrund der geringeren Zn^{2+} -Gehalte in der Bodenlösung und der geringeren Beweglichkeit der Zn^{2+} -Ionen im Boden, wie bei der Cu^{2+} - Aufnahme, der unmittelbare Kontakt zwischen Wurzeln und Bodenpartikeln eine wesentliche Rolle spielt. Inwieweit die Pflanzen auch an Ton sorbierte $ZnCl^+$ - und $Zn(OH)^+$ -Ionen aufnehmen ist noch unklar. Das Zn-Aufnahmevermögen der einzelnen Pflanzenarten ist sehr unterschiedlich. Unter gleichen Kulturbedingungen nahmen z.B.: Mais 60%, Tomaten dagegen nur 30% des angebotenen Zinks auf. Zn-Chelate in Böden und Nährlösungen werden nach *Halvorson und Lindsay (1977)* nicht als solche aufgenommen, sondern nur das Metall Ion.

Die Zn-Gehalte der Pflanzen betragen ein Mehrfaches der Gehalte an Mo und Cu; sie liegen etwa in der Größenordnung der B-Gehalte. Zn-Gehalte der Pflanzen zwischen 20 bis 100 ppm werden im Allgemeinen als normal angesehen, wobei 20 ppm als „kritischer Zn-Gehalt“ bzw. 15...20 ppm als „kritischer Zn-Bereich“ angesehen werden. Bei hohen Pflanzen P-Gehalten liegt dieser Grenzwert jedoch höher. In den generativen Organen von Weizen, Gerste und Hafer fand *Sommer (1984)* generell höhere Zn-Gehalte als in vegetativen Organen. Mit latentem und akutem Mangel der Pflanzen kann man bei Zn-Gehalten von 10...20 ppm in Blättern bzw. im Sproß von Getreide rechnen; Werte ≤ 10 ppm Zn i. d. Tr. M. sind mit Sicherheit mit visuell erkennbaren Symptomausbildungen verbunden. Für Hafer und Weizen ermittelten *Franck und Fink (1980)* zur Erzielung von Höchstserträgen bei Schoßbeginn einen erforderlichen Zinkgehalt von 25 ppm i. d. Tr. M. Bei Mais in Hydrokultur liegt nach *Rahimi und Bussler (1975)* der Ertragsgrenzbereich bei 15 bis 22 ppm Zn i. d. Tr. M. in jüngeren Blättern. Im Allgemeinen rechnet man mit einem durchschnittlichen Zn-Entzug pro ha von 100 bis 300g. Durch eine gute Rübenernte werden je nach Standort etwa 200 bis 400 g/ha Zn entzogen.“

(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.297-298)

5.1 Zink-Mangelsymptome bei Pflanzen

Die physiologische Bedeutung des Zinks liegt in seiner Funktion. Die Funktionen sind Bestandteil zahlreicher Enzyme bzw. seinem Einfluss auf Enzymreaktionen vergleichbar zu anderen Mikronährstoffen. Zink ist Baustein eines Enzyms im Atmungsstoffwechsel der Pflanzen und trägt zur Vermeidung unerwünschter Anreicherungen von Stoffwechselzwischenprodukten bei. Besonders wichtig ist die Funktion des Zinks innerhalb der Fotosynthese, bei der Kohlendioxidanhydrase, die die CO₂ Assimilation ermöglicht. Auch bei der Eiweißsynthese ist Zink Bestandteil von Enzymen. In seinen Funktionen im Eiweißstoffwechsel der Pflanzen werden bei Zn-Mangel ähnliche Symptome wie bei Stickstoffmangel festgestellt. Zn-Mangel führt zu Anreicherung von Nitrat in der Pflanze dadurch, dass der Eiweißgehalt sinkt.

(vgl. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.1)

„Entscheidend beteiligt ist Zink bei der Produktion von Wuchsstoffen in der Pflanze (β-Indolyllessigsäure, Auxin). Durch Zn-Mangel verursacht treten Störungen des Teilungs- und Differenzierungswachstums ein. Es folgen Hemmung bzw. Stillstand der Zellteilung in Wurzel- und Sprossspitzen. Das Streckungs- und Dickenwachstum ist verringert, es kommt zu den für Zn-Mangel auffälligsten morphologischen Veränderungen von Zwergwachstum und Rosettenbildung. Niedrige Zn-Gehalte in der Pflanze begünstigen Pilz- und Viruskrankheiten.“

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.1)

Die Zn- Aufnahme der Pflanzen ist vom Zn – Gehalt im Boden, vom pH-Wert und Phosphatgehalt im Boden abhängig. Zu hohe Phosphorgehalte gefährden die ausreichende Zn-Versorgung bei zu niedrigen Zn-Gehalten im Boden. Zn-Mangel durch hohe P-Gehalte bzw. hoher P-Düngung resultiert nicht aus der Zn-Fixierung im Boden, sondern aus der Bestimmung in der Wurzel. Bei einem hohen P-Gehalt im Boden ist somit ein ausreichendes Zn-Angebot und die Absenkung des P-Gehaltes bis zur Gehaltsklasse C nötig.

(vgl. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.2)

„Als Maß für die Zn-Ernährung der Pflanzen wird folglich neben dem Zn-Gehalt im Boden auch das P/Zn-Verhältnis in der Pflanze verwendet, das bei optimaler Zn-Ernährung 50 bis 200:1 beträgt.“

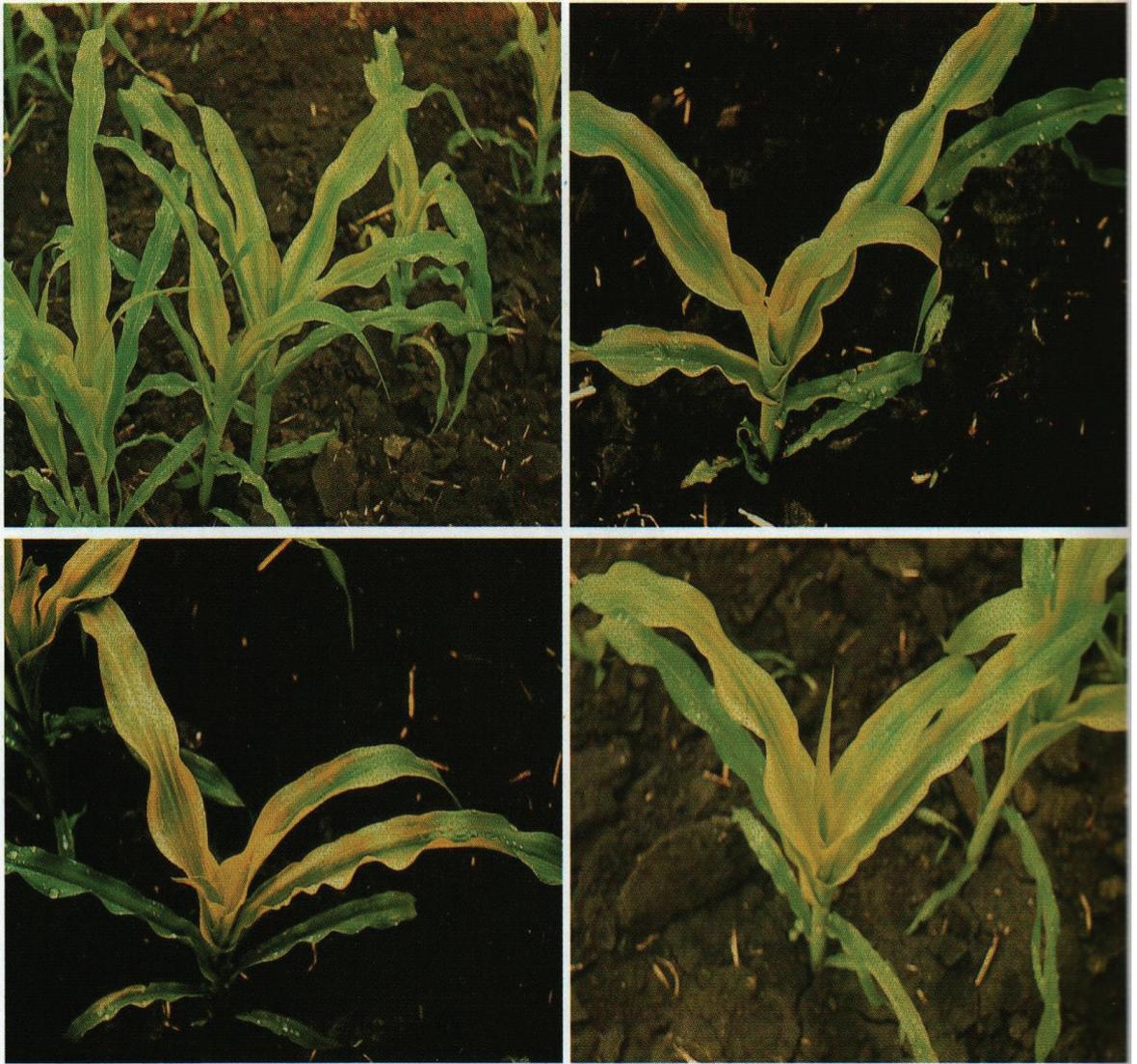
(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.2)

Besonders betroffen von Zn-Mangel sind sehr leichte Böden mit einem hohem pH-Wert sowie Kalkböden. Die steigenden pH-Werte des Bodens verstärken den Effekt der sorptiven Bindung an Ton und Humus. Mangel kann aber auch auftreten bei Böden wo ein hoher Anteil unzersetzter organischer Substanz, nach Aufkalkung und nach hohem Zn-Entzug zum Beispiel durch hohe Maiserträge zu erkennen ist. Jährlich werden ca. 100 bis 300 g Zn/ha entzogen. Durch die minimale Beweglichkeit des Zinks im Boden, besonders bei hohen pH-Werten ist die Gefahr von Zn-Mangel sehr groß. Dies ist besonders in der Jugendentwicklung der Pflanzen zu beobachten weil das Wurzelsystem noch schwach ausgebildet ist. Weiterhin kann die Zn-Aufnahme auch durch zu hohe Eisen –und Kupfergehalte im Boden eingeschränkt werden.
(vgl. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.2)

Bei Zink Mangel sinkt der Chlorophyllgehalt in den Pflanzen ab. Dadurch können Chlorosen bis zur Weißfärbung der Blätter eintreten (besonders im Mais). Die Beweglichkeit von Zink in den Pflanzen ist gering, dadurch treten die Chlorosen zuerst in den jungen, wachsenden Pflanzenteilen auf. Das Erkennen von Zink- Mangel ist schwierig, weil die Symptome sehr differenziert sind. Mangelsymptome bilden sich abhängig vom physiologischen Entwicklungsstadium der Pflanzen aus. Bei Zn- Mangel lassen sich typische sowie untypische Symptome feststellen. So kann zum Beispiel die fleckenartigen Interkostalchlorosen leicht mit Mn- oder Fe- Mangel verwechselt werden. An älteren Blättern treten Chlorosen an abgestorbenen Blattzonen auf. Die bekanntest gewordene Krankheit ist die „Kräuselkrankheit“ beim Hopfen. Besonders charakteristische Symptome sind nach BERGMANN (1993) die durch Auxin Mangel bedingten Symptome wie zum Beispiel die „Kleinblättrigkeit“ in Verbindung mit mehr oder weniger ausgeprägten Blattdeformationen und der gestauchte Wuchs mit „Rosettenbildung“ aufgrund verkürzter Internodien:
(vgl. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.2)

Abbildung 2

Maispflanzen mit Zn- Mangelsymptomen



(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.630)

Abbildung 2: Maispflanzen (*Zea mays*) im Jugendstadium mit verschiedenen stark ausgeprägten Zn- Mangelsymptomen in einem Feldversuch auf einem Schwarzerde Boden in Rumänien mit pH-Wert 6,9 nach 10jährigen hohen P-Düngergaben von 160 kg/ha P jedes Jahr. Man beachte die für Zn- Mangel charakteristischen weißen bis weißgelben Streifen beiderseits der Mittelrippe, die Gelb- bis Weißfärbung der jüngsten Blätter (Weißknospigkeit“) sowie den gestauchten Wuchs der Pflanzen.

5.2 Mangelsymptome bei Kulturpflanzen

Bei **Getreide** wurden bisher nur in Versuchen Mangelsymptome von Zink festgestellt. Bei Hafer der noch am ehesten auf Zn-Mangel reagieren soll erscheinen folgende Symptome. „Auf der grau- bis bronzegrün getönten Blattspreite erscheinen gelblichweiße Flecken, die von bronzefarbenen, rötlichen oder braunen Rändern umgeben sind. Das an der Mittelrippe angrenzende Gewebe bleibt grün. Mit anhaltendem Mangel sterben die Blätter ab. Die jüngeren Blätter der stark verzweigten Pflanzen sind schlaff und fahl grün. Nach *Rahimi und Bussler (1975)* ist die ausgeprägte Purpurfärbung Kennzeichnung der älteren Blätter.

Gerstenpflanzen stellen das Wachstum ein und bleiben klein. Die Blätter sind chlorotisch verfärbt wie bei N-Mangel und sterben unter Vertrocknungserscheinungen ab.

Bei **Weizen** beobachtet man unregelmäßig verteilte, netzförmig chlorotisch erscheinende Flächen auf der Blattoberseite der älteren Blätter. Die Flächen werden dann weiß, braun, fließen zusammen und die gesamte Blattfläche stirbt ab. Die jüngeren Blätter erscheinen normal, aber kleiner.“

(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.308)

„Bei den jüngeren Blättern von **Mais** entwickeln sich beiderseits der Mittelrippe nahe der Blattbasis im sonst blaßgrün bleibenden Blatt fahl- bis weißgelbe, 2...3 cm breite chlorotische Streifen, die sich manchmal nach der Blattspitze zu in mehrere kleine Streifen auflösen. Sie treten besonders bei naßkalter Witterung deutlich hervor. Das Wachstum der Pflanzen ist auf Grund verkürzter Internodien gestaucht und gedrunken. Die jüngsten Blätter entfalten sich gelb, fahlgelb bis fast weiß, was zu der Bezeichnung „Weißknospigkeit“ geführt hat.

In den chlorotischen Streifen entwickeln sich hellgraue, schieferfarbene bis braune, z.T. rötlich bronzefarbene nekrotische Zonen, die sich immer mehr ausbreiten, vergrößern und zusammenfließen, bis schließlich das ganze Blatt bei starkem Mangel unter rötlich-dunkelbrauner Verfärbung abstirbt. Die Blütenbildung, wenn es überhaupt dazu kommt, ist verzögert; die Befruchtungsvorgänge sind gestört, sodass sich im Kolben nur wenige deformierte Körner entwickeln. Blattränder und Stengel können mehr oder weniger ausgeprägte purpurne Farbtöne annehmen.

Eine völlig andere und von ihnen als typisch bezeichnete Symptomenentwicklung beschreiben *Rahimi und Bussler (1975)*: Im 5-Blatt-Stadium blieben in ihren Zn-Mangelversuchen die Maispflanzen im Wachstum stehen, und die ganze Pflanze verfärbte sich dunkelgrün. Danach wurden die Adern der mittleren Blätter von der Blattbasis ausgehend violett bis rot. Später verfärbte sich die Blattspreite in gleicher

Weise, sodass nach 18 Tagen Versuchsdauer fast alle Blätter rot gefärbt waren, mit Ausnahme der jüngsten sich entfaltenden Blätter („Anthozyanfleckigkeit“). Anschließend begannen die Blätter von Spitze und Rand her abzusterben. Die abgestorbenen Blätter waren gelb bis braun verfärbt, die jüngsten noch nicht entfaltenen Blätter waren hellgelb bis weißlich-chlorotisch („white bud“). Die Mangelblätter schieden zuerst weiße und später hell- bis dunkelbraun gefärbte, süßlich schmeckende Substanzen aus. Auch bei einer sonst anthocyanfreien Maissorte wurden die die gleichen Symptome induziert. Die Zn-Mangelsymptome traten immer zuerst an den jüngeren, schon ausgewachsenen Blättern auf. Bei extremen Mangel und sehr jungen Pflanzen wurden gleichzeitig alle Blätter geschädigt. In den Epidermiszellen auf der Oberseite der Maisblätter bildete sich ein rotvioletter Farbstoff. Desgleichen zeigten die Sklerenchymwände um die Gefäße im Blatt eine Rotfärbung.

Pissarek (1980) beschreibt dagegen breitbändige Chlorosen im Basisbereich der jüngeren Blätter und vertritt die Meinung, daß die „Weißknospigkeit“ nicht typisch für Zn-Mangel sein soll. Nach seinen Beobachtungen werden bei anhaltendem Zn-Mangel stark verkleinerte, dunkelgrüne Blätter mit und ohne Chlorosen ausgebildet bei gestauchten Internodien. Selbst bei extremem Zn-Mangel sollen die Spitzen der sich jeweils aus den Blattscheiden schiebenden Blätter grün bleiben. Bei starkem Zn-Mangel treten Phloemschäden im Bereich der Nodien auf, die zu einer Beeinträchtigung der Assimilatverlagerung innerhalb der Pflanze und damit zur verstärkten Anthozyanbildung in den Blättern führen sollen.“

(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S. 308-309)

„**Kartoffeln**, die sortenmäßig sehr unterschiedlich auf Zn-Mangel reagieren, zeigen eine starke Wachstumshemmung (Zwergwuchs) mit typischen Blattmißbildungen, die zu der Bezeichnung „**Farnblättrigkeit**“ („fern leaf of potatoes“) Anlaß gaben. Auf den mittleren, später auf allen, am ausgeprägtesten auf den jüngeren Blättern zeigen sich graubraune, bronzefarbene Flecken. Die reduzierten Blattspreiten rollen sich tütenförmig ein (Abbildung 3), so daß die Blätter das Aussehen von unentfalteten Farnwedeln erhalten. Wegen des sich vor allem auf der Blattunterseite bemerkbar machenden gehemmten Streckungswachstums kommt es zu epinastischen Abkrümmungen der Blattstiele, Fältelung der Gefäßstreifen und z.T. aufgewölbtem Interkostalgewebe. Die Blattspreiten erscheinen verdickt und brüchig. Die Blätter werden schließlich abgeworfen; die Pflanze stirbt bei starkem Mangel ab.“

(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.309)

Abbildung 3

Verschiedene Stadien der „Farnblättrigkeit“ an den Blättern von Kartoffeln (*Solanum tuberosum*) infolge von Zn-Mangel in Hydrokultur



(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.632)

„Die gerade ausgetriebenen, aufrecht stehenden Blätter von **Zuckerrüben** verfärben sich licht- bis gelbgrün. Zwischen den Adern entstehen narbenähnliche weiße Flecken auf der Blattoberfläche, die zusammenfließen und sich zu unregelmäßigen Mustern vergrößern, bis schließlich nur noch entlang der Blattnerven ein schmaler grüner Saum verbleibt. Die Blätter vertrocknen bei länger grün bleibenden Adern und Blattstielen unter weißer bis weißbrauner Verfärbung. Schließlich sterben die Blätter unter Braunwerden ab. Diese als „**Weißfleckigkeit der Zuckerrüben**“ bezeichnete Symptomausbildung wird besonders durch warmes und sonniges Wetter begünstigt.“

(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.309-310)

5.3 Mikronährstoffbedarf von Ackerkulturen

„Der aktuelle Mikronährstoffdüngbedarf wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst. Besondere Bedeutung kommt der Mikronährstoffbedürftigkeit der Pflanzenart zu. Die Kulturpflanzen, z. T. aber auch deren Sorten, besitzen unterschiedliche Ansprüche an die Mikronährstoffversorgung. Hierfür sind sowohl der allgemeine Nährelementbedarf als auch die Effizienz der verschiedenen Kulturen hinsichtlich Aufnahmevermögen aus dem Boden und Verwertung im Stoffwechsel entscheidend. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Mikronährstoffbedürftigkeit von Ackerkulturen.“

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.11)

Tabelle 6

Mikronährstoffbedürftigkeit der Kulturen

	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Getreide und Mais					
Winter- und Sommerweizen	0	2	2	0	0
Winter- und Sommerroggen	0	1	1	0	0
Winter- und Sommergerste, Getreidegemenge	0	2	2	0	0
Hafer	0	2	2	1	0
Körnermais, Silomais, Grünmais	1	1	1	0	2
Erbse, Trockenspeisebohne, Wicke	0	0	2	1	0
Ackerbohne	1	1	0	1	1
Lupine	2	0	0	1	0
Öl- und Faserpflanzen					
Raps, Rübsen	2	0	1	1	0
Senf	1	0	0	1	0
Mohn	2	0	0	0	0
Lein	1	2	0	0	2
Sonnenblume	2	2	1	0	0
Hanf	1	0	0	1	0
Hackfrüchte					
Kartoffel	1	0	1	0	1
Rübe (auch Stecklinge und Vermehrung)	2	1	2	1	1
Stoppel-, Kohlrübe	2	0	1	1	0
Futtermöhre	1	2	1	0	0
Futterpflanzen					
Rotklee, Rotklee gras	1	1	1	2	1
Luzernegras, Futtergräser, Wiese, Weide	0	1	1	0	0
Luzerne	2	2	1	2	1
Futter-, Markstammkohl	2	0	1	2	0

0 = Kultur mit niedrigem Bedarf 1 = Kultur mit mittlerem Bedarf 2 = Kultur mit hohem Bedarf

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008, S.11)

Tabelle 7

Zn-Bedarf ausgewählter Kulturen

Kultur	niedrig	mittel ¹⁾	hoch ¹⁾
Getreide, Mais			
Winter-, Sommerweizen; Winter-, Sommergerste	----->		
Winter-, Sommerroggen; Hafer	----->		
Mais			----->
Hülsenfrüchte			
Erbse, Trockenspeisebohne, Lupine	----->		
Ackerbohne			----->
Öl- und Faserpflanzen, Hopfen			
Raps, Rübsen, Senf, Mohn, Sonnenblume, Hanf	----->		
Lein, Hopfen			----->
Hackfrüchte			
Rübe, Kartoffeln			----->
Stoppel- und Kohlrübe, Futtermöhre	----->		
Futterpflanzen			
Rotklee, Rotklee gras			----->
Futtergräser, Wiese, Weide			----->
Luzerne, Futter- und Markstammkohl	----->		
Gemüse			
Bohne			----->
Tomate, Zwiebel			----->
Salat, Spinat	----->		

¹⁾ Düngewirkung ist u. a. abhängig vom Zn-Gehalt des Bodens

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005, S.6)

5.4 Zinküberschuss

Zinküberschuss kommt in der Praxis sehr selten vor. Doch wenn Zinküberschuss auftaucht ist er sehr problematisch. Im Stadium des Schossens oder Ährenschiebens findet man z.B.: im Roggen dann Werte von 300....320 ppm Zn i.d. Tr. M. bei 10 %iger Abnahme der Wuchshöhe. Diese Werte findet man auf Böden z.B.: in Tälern von Flüssen oder auf Böden wo Bergbau betrieben wurde und sich mit der Zeit erhebliche Schwermetallgehalte angereichert haben. Auf den genannten Böden haben sich Pflanzen angesiedelt, die gegenüber hohen Zn-Gehalten resistent sind oder sich an hohe Zn-Gehalte anpassen. Solche Pflanzen werden als „Galmeiflora“ oder auch Zeigerpflanzen für Zinkvorkommen bezeichnet. In solchen Pflanzen konnten Zinkgehalte von 20 000 ppm festgestellt werden. Die Wuchsform der Galmeipflanze ist niederlegend, mit Ausbildung kleinerer Blätter.

Hohe Zinkgehalte in Böden kommen durch wiederholte Anwendung von Klärschlamm und Anwendung hoher Schweinegülle-Gaben. Pflanzen die dann auf sauren Böden wachsen

können stärker geschädigt werden als Pflanzen auf neutralen Lehmböden. Durch Kalkgaben auf sauren Böden und P-Düngung können überhöhte Zinkgehalte vermieden werden.

„ Wurde z.B.: ein mit Zn angereicherter Boden von pH 5,3 auf 6,0 und darüber aufgekalkt, konnte das Auftreten von Zn – Toxizität bei Pflanzen verhindert werden (*Kamprath und Foy 1971*)“

In den meisten Fällen werden Zn – Gehalte in Pflanzen von 300...500 ppm i.d. Tr. M. noch toleriert, darüber liegende Werte sind aber mit Ertragsausfällen verbunden. Gerste ist besonders empfindlich gegenüber Zn – Überschuss.

(vgl. Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.312-314)

„Zn – Überschusssymptome sind nicht nur auf die jüngsten Blätter begrenzt. Es kommt meistens zu rötlich-braunen Flecken – und Randnekrosen wie bei anderen Schwermetall – Intoxikationen. Auch gestauchtes Wachstum und blaugrüne Verfärbungen, ähnlich wie bei P – Mangel, können beobachtet werden, vor allem auf Sandböden mit erleichterter Zn – Aufnahme. Im allgemeinen bleiben die Pflanzen vor allem im Wachstum zurück und gehen bei starkem Zn-Überschuss ein.“

(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.314-315)

„Von den Blattspitzen aus beginnend „vertrocknet“ **So-Roggen** im 2...5-Blatt-Stadium auf Zn-reichen Böden. **Gerste** reagiert mit rotbraunen Blattflecken und geht bald ein. **Mais** zeigt gedrungenes Wachstum und Fe-Mangel-ähnliche Chlorosen. Bei **Kartoffeln** wird die gesamte Pflanze chlorotisch. An den Spitzen und Rändern der älteren Blätter entwickeln sich Nekrosen. Die Pflanzen gehen bald ein.“

(Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 1993, S.315)

5.5 Zink als Schadstoff

Auf stark belasteten Böden können toxische Zink-Wirkungen auftreten.

Ab etwa 200...400 mg Zn kg⁻¹ Tr. S. wirkt Zink toxisch. Im Grasaufwuchs wurden sogar bis 400 mg Zn kg⁻¹ Tr. S gemessen.

(vgl. Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010, S.438)

„In Gefäßversuchen mit Zusätzen an löslichen Zn-Salzen stieg der Zn-Gehalt verschiedener Pflanzen bis auf ≥ 1000 mg kg⁻¹ Tr. S. Die Grenzkonzentration in Nährlösungen für beginnende Zn-Toxizität beträgt bei verschiedenen Pflanzen etwa 2mg l⁻¹. Eine vorübergehende Schädigung der Mikroorganismenaktivität findet ab etwa 1mg l⁻¹ statt.“

(Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010,S.438-439)

Zink wird am häufigsten in der industriellen Produktion verwendet. In vielen Gebieten wo jahrhundertlang Erz abgebaut wurde wie zum Beispiel im Harz sind die Böden stark mit Zink belastet (bis 5000 mg kg⁻¹). In Hütten,- und Industriegebieten wo viel Zink verarbeitet wurde findet man ebenfalls starke Zn-Belastungen im Boden. Doch es gibt weitaus mehr Quellen für Zn-Belastungen. Zur Melioration stark belasteter Zn-Böden muss man den Boden auf pH-Werte ≥ 7 aufkalken. Denn bei diesem pH- Wert ist der Anteil des gelösten und austauschbaren Zinks gering. Des Weiteren kann die Ausbringung von Eisenoxiden eine folgewidrige Zn-Festlegung erreichen. Die Zn-Aufnahme kann auch durch eine hohe Phosphatdüngung erniedrigt werden.

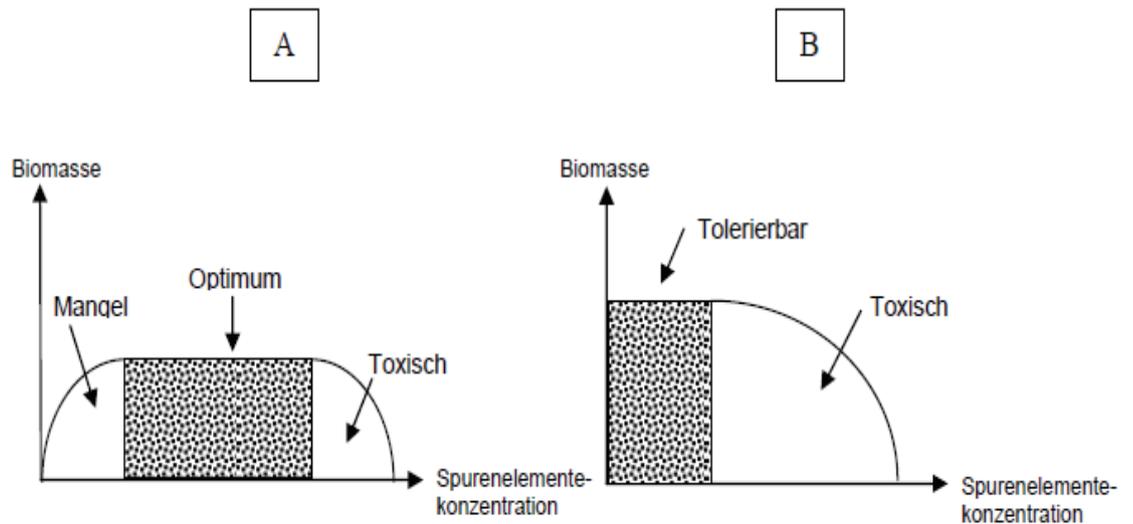
(vgl. Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010, S.439)

„Als Zn- Grenzwert für Böden wurde im Rahmen der Klärschlammverordnung ein Gesamtgehalt von 200 mg Zn kg⁻¹ Boden festgesetzt. Bei pH-Werten ≥ 6 ist bis zu diesem Zn-Gehalt keine Phytotoxizität zu erwarten. Für sandige Böden (> 5% Ton) und/oder Böden mit pH 5...6 wurden 150 mg kg⁻¹ als Grenzwert für den Zn- Gesamtgehalt festgelegt. Dieser Wert ist jedoch für Böden mit pH 5,0.....5,5 zu hoch angesetzt. Da die Zn-Verfügbarkeit in diesem pH-Bereich stark ansteigt ist eine Absenkung dieses Grenzwerts, insbesondere für saure tonarme Böden (<10% Ton) auf <100 mg kg⁻¹ erforderlich. Zur Prüfung auf Zn-Phytotoxizität wird ein Prüfwert für das wasserlösliche und gleichzeitig austauschbare Zn [Zn(NH₄(NO₃))] von 4 mg kg⁻¹ Zn(NH₄(NO₃)) vorgeschlagen.“

(Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010, S.439)

Abbildung 4

Zu niedrige Konzentrationen essentieller Spurenelemente führen zu Mangel-, zu hohe Konzentrationen dagegen zu Toxizitätserscheinungen bei der Pflanze (A). Nicht essentielle Spurenelemente können bis zu einer bestimmten Konzentration von der Pflanze toleriert werden, bevor Merkmale von Toxizität auftreten (B).



(Paines und Jones, 1997)

„Anthropogene Quellen von Schwermetallen sind Emissionen aus Industrie- und Verbrennungsanlagen und Kraftfahrzeugen. Durch Verwertung metallhafter Abfälle, Abwasserverrieselung, Verwendung von Düngern und Pestiziden werden Schwermetalle direkt in Böden eingetragen. Insbesondere atmosphärische Einträge aus Industrie und Verbrennungsanlagen haben dazu geführt, dass Metallkonzentrationen in der Umwelt weltweit drastisch zugenommen haben.

Schwermetalle werden partikelgebunden sowie dampf- und gasförmig transportiert. Die anfängliche Partikelgröße bei der Emission wird durch Prozesstemperaturen, bei denen die Schwermetalle freigesetzt werden, bestimmt.

Herkünfte anthropogener Schwermetallbelastungen sind in der Tabelle 8

zusammengestellt. Eintragsraten in Böden aus verschiedenen Quellen zeigt Tabelle 9.“

(Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010, S.459)

Tabelle 8

Herkünfte anthropogener Schwermetallbelastungen von Böden

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn
Kraftwerksemission	+	X	+	+	+	+	X		+
Hausbrandemission	+	+	+	+	+	+	+		+
Industrieemission	+	X	+	X	X	+	X	X	X
Kfz.-Emission		+					X		+
Klärschlämme	+	X	X	X	X	X	X		X
Bioabfälle	+	X	X	X	X	X	X		X
Baggerschlämme	X	X	+	X	X	X	X		X
Abwasserverrieselung		X	X	X	+		X		X
Pestizide	*			+	+				
Wirtschaftsdünger				X					+
Mineraldünger	+	X		+					

* = nur sehr geringe Mengen; + = messbare aber nur ausnahmsweise bedeutsame Mengen; X = wesentliche zu kontrollierende Mengen

Tabelle 9

Schwermetalleinträge in (g ha⁻¹ a⁻¹) verschiedener Quellen

Element	Atmosphärische Einträge		Direkteinträge				
	Ländl. Gebiete/ Waldstandorte	Industrie-/ Ballungsgebiete	Verwitterung	Klär- schlamm ¹	Kompost ¹	Wirtschafts- dünger ^{2,3}	Mineralischer Dünger ^{2,4}
As	3	k.A.	k.A.	0,12	k.A.	k.A.	k.A.
Cd	1,5...3	≤ 35	0,1	2,21	4,7	0,33...0,61	0,15...2,98
Cr	3	k.A.	2,0	61	253	6,11...33,8	15,3...464
Cu	11...13	1526	3,5	520	577	73,1...454	2,89...9,5
Ni	5...35	k.A.	0,8	43,5	163	8,93...13,6	1,50...6,63
Hg	0,2...0,8	2	k.A.	1,17	1,6	0,02...0,13	0,00...0,3
Pb	31...310	270...14.000	0,8	76	464	5,14...16,7	0,24...4,93
Zn	70...618	bis 4000	2,3	1253	2037	467...1077	36,9...54,3

¹ Berechnete Werte aus maximalen Frachtraten nach Klärschlamm- und Bioabfallverordnung (1,5 t ha⁻¹a⁻¹ bzw. 10 t ha⁻¹a⁻¹) und durchschnittlichen Gehalten nach Tabelle 10.4-2

² Schwermetalleinträge durch Düngung von 50 kg P₂O₅ ha⁻¹a⁻¹;

³ Wirtschaftsdünger = Rinder-, Schweinegülle, Geflügelkot, Festmist Schwein und Rind;

⁴ Mineraldünger = Triplesuperphosphat, Rohphosphate, min. NPK-, NP-, PK-Dünger, Thomaskali.

⁵ wet only Daten von 2000; k.A. = keine Angabe

(Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010, S.461)

Klärschlämme, Bioabfälle und Baggerschlämme sind mögliche Quellen von Schwermetalleinträgen. Zur Eingrenzung wurden für Klärschlämme und Bioabfälle Verordnungen erlassen. Sie kontrollieren die Ausbringung von Schlämmen und Bioabfällen in der Land-, Forst- und Gartenwirtschaft. Auf die gesamte landwirtschaftliche genutzte Fläche Deutschlands sind die Metalleinträge durch Komposte und Schlämme gegenüber anderen Quellen wie Wirtschaftsdüngern einflusslos.
(vgl. Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010, S.460)

Mit **Wirtschaftsdüngern** (Gülle, Mist, Geflügelkot) werden hauptsächlich Kupfer und Zink in die Böden eingetragen.

„Extrem hohe Gehalte weisen Schweinegülle (268 mg Cu kg⁻¹ m_T, 744 mg Zn kg⁻¹ m_T) und Schweinemist (454 mg Cu kg⁻¹ m_T, 1077 mg Zn kg⁻¹ m_T) auf.“

(Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010, S.460)

Durch **Mineraldünger** gelangen Cadmium und Chrom in den Boden. Hohe Cadmiumgehalte sind ein Zeichen für Rohphosphate. Der Cd-Gehalt beträgt 2...80 mg kg⁻¹. Gegenwärtig werden Phosphate zur Herstellung von Düngern verwendet, deren Gehalte deutlich unter 40 mg kg⁻¹ liegen.

„Düngungsbedingte Cd-Einträge liegen je nach Bewirtschaftungssystem zwischen 1...11 g ha⁻¹ a⁻¹. Extrem hohe Cr-Gehalte weisen Thomasmehl (2500 mg kg⁻¹) und NPK-Dünger (bis 6100 mg kg⁻¹) auf.“

(Scheffer/ Schachtschabel et. al, 2010, S.460)

6 Düngung

„Gemäß Düngeverordnung § 4 ist der Einsatz von reinen Spurennährstoffdüngern nur auf der Basis eines nachgewiesenen Bedarfes durch Boden- und/oder Pflanzenanalysen oder auf der Grundlage von Erfahrungswerten der Beratung vorzunehmen. Dagegen ist bei Anwendung von Düngemitteln, welche nur geringe Mengen an Spurennährstoffen, d. h. in diesem Fall an Zink zugesetzt wurden, der Düngebedarf nicht durch vorherige Boden- bzw. Pflanzenuntersuchung nachzuweisen. Der Einsatz solcher Düngemittel mit geringfügigen Mikronährstoffgehalten wird sich generell nach dem Bedarf an dem jeweiligen Hauptnährstoff richten, die zugeführten Spurennährstoffe decken in der Regel lediglich den Entzug der Pflanzen. Wenn auch Zn-Mangel in der Pflanzenproduktion bisher nur selten in akuter Form angetroffen wurde, kann bereits latenter Mangel (keine bzw. kaum sichtbare Symptome), der häufiger und insbesondere auf intensiv bewirtschafteten Ackerflächen auftreten kann, zu Wachstums- und Ertragsminderungen sowie zu Qualitätseinbußen führen.

Deshalb ist beim Anbau Zn – intensiver Kulturen, auf potenziellen Zn bedürftigen Standorten eine regelmäßige visuelle Bestandüberwachung zu empfehlen.

Ständige Beobachtungen signalisieren dem Landwirt die Notwendigkeit einer Pflanzen- bzw. Bodenanalyse, welche dann Aussagen über den Versorgungszustand gibt. Bei Vorliegen von Bodenuntersuchungsergebnissen erfolgt für die Gehaltsklasse A und teilweise für die Gehaltsklasse C eine Empfehlung zur Düngung. Die Zn- Düngermenge beträgt beim Anbau Zn-intensiver Kulturen auf leichteren Böden (S, 1'S) 5 kg Zn/ha und auf mittleren und schweren Böden (1S, L, T) 10 kg Zn/ha. Im Falle der Blattdüngung werden 0,4 kg Zn/ha eingesetzt. Für den Erfolg einer Zn-Blattapplikation ist

Voraussetzung, dass die jungen Pflanzen über ausreichend Blattmasse verfügen, und der Zn-Mangel noch nicht zu irreversiblen Schäden geführt hat.

Vorteilhaft lässt sich eine Blattapplikation mit einer Pflanzenschutzmaßnahme oder einer anderen Flüssigdüngung verbinden. Bei der Anwendung der Blattapplikation sind bestimmte Termine der Pflanzenentwicklung für eine hohe Zn-Wirkung zu berücksichtigen (Tab. 10).“

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005, S.6-7)

Tabelle 10*Optimaler Zeitpunkt für die Zn- Blattapplikation*

Kultur	Entwicklungsstadium bzw. Vegetationszeitpunkt
Mais	Volle Entwicklung des 4. Blattes, Wuchshöhe von etwa 30 bis 40 cm
Rübe, Kartoffel	Schließen der Reihen, Ende Juni
Ackerbohne	6- bis 8-Blattstadium
Lein	Wuchshöhe etwa 20 cm
Luzerne, Rotklee	Kurz vor der Blüte
Grünland, Feldgras	Wuchshöhe 10 bis 15 cm

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005, S.7)

„Außer der gezielten Zufuhr Zn-haltiger Makronährstoffdünger oder von Zn-Spezialdüngern sind die mit organischen Düngestoffen verabreichten Mengen an Zink von Bedeutung. Nach der Mineralisierung der organischen Düngestoffe im Boden trägt das freigesetzte Zink, je nach zugeführter Menge, zur Versorgung der Pflanzen bei bzw. es deckt den Entzug von 100 bis 300 g/Jahr vollkommen ab. Einige Angaben über Zn-Gehalte von Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen enthält die Tabelle 11.“

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005, S.7)

Tabelle 11*Zn-Gehalte von Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen*

Düngestoff	Trockensubstanzgehalt (%)	Zinkgehalt
Rindergülle	4 bis 8	10 bis 20 g/m ³
Schweinegülle	4 bis 8	15 bis 70 g/m ³
Hühnergülle	8 bis 12	15 bis 50 g/m ³
Stalldung	25	50 bis 300 g/t
Klärschlamm	40	180 bis 2000 g/t

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005, S.7)

Abbildung 5

Verlauf der Zinkaufnahme bei Winterweizen

Verlauf der Zinkaufnahme bei Winterweizen

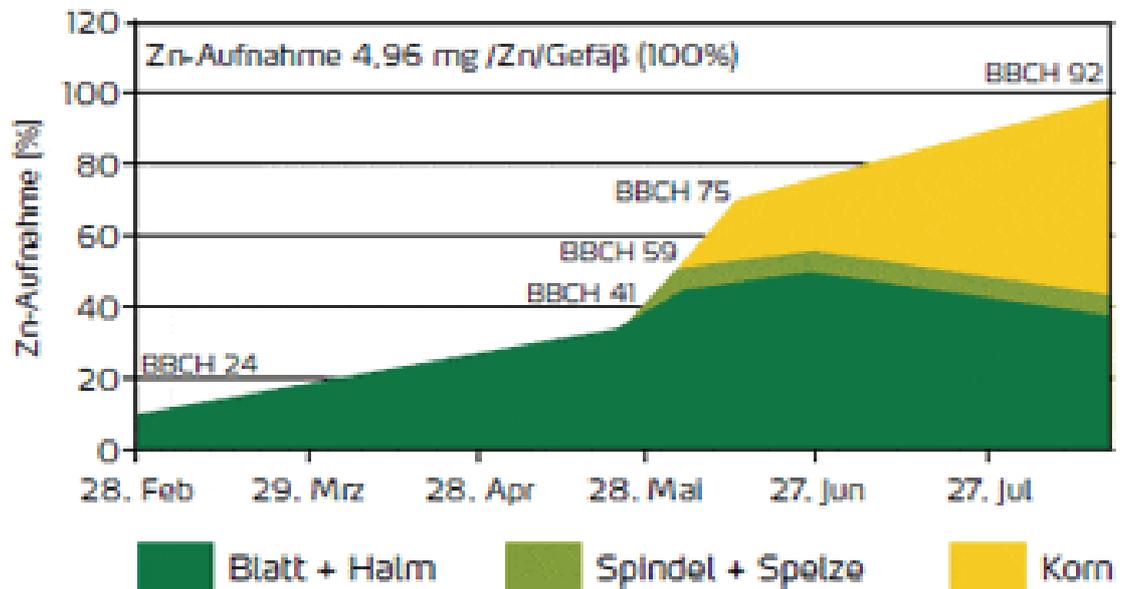


Abbildung 6

Zinkentzug verschiedener Kulturen

Zinkentzug verschiedener Kulturen (g/ha)	
Kultur (Ertrag)	Zink
Getreide (80 dt/ha)	400
Raps (35 dt/ha)	600
Z-Rüben (600 dt/ha)	300
Mais (140 dt TM/ha)	350

(Quelle: URL 3)

6.1 Schlussfolgerungen

„Die Zn-Gehalte im Boden werden vorrangig durch das Ausgangsgestein bestimmt. Niedrige Zn-Gehalte kommen fast nur auf Muschelkalk- und Keuperböden, d. h. bei hohen pH-Werten im Boden vor. Allerdings wurden selbst auf solchen Böden Zn-Mangelpflanzen bisher kaum vorgefunden. Der Zn- Versorgungszustand sollte zumindest auf mangelgefährdeten Standorten sporadisch durch Boden- und/oder Pflanzenanalysen, insbesondere beim Anbau Zn intensiver Kulturen (Mais, Lein, Bohnen, Rüben, Kartoffeln) kontrolliert werden, um im Fall von Zn-Bedarf durch gezielte Düngungsmaßnahmen Ertrags- und Qualitätseinbußen zu vermeiden.

Wird im Boden ein niedriger Gehalt festgestellt, ist beim Anbau von Zn-intensiven Kulturen eine Bodendüngung von 5 bis 10 kg Zn/ha (Vorratsdüngung für vier Jahre) bzw. eine jährliche Blattapplikation mit 0,4 kg Zn/ha zu empfehlen. Zn –Blattapplikationen können in Verbindung mit einer Pflanzenschutzmaßnahme oder anderen Flüssigdüngung vorgenommen werden. Durch Wirtschaftsdünger und Einsatz von Sekundärrohstoffdüngern werden dem Boden bedeutende Zn-Mengen zugeführt, die bereits allein den Bedarf decken können.“

(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005, S.7-8)

Alle Kulturpflanzen haben einen unterschiedlich hohen Bedarf an Zink. (Abbildung 6). Die Zinkdüngung kann bei geringen Gehalten über den Boden vorgenommen werden, aber Blattdüngungen sind effektiver und für die Pflanze gleich verfügbar. Für eine Blattdüngung kommen einfache Salze wie Zinksulfat, Zinkchelate oder Zinkoxid zum Einsatz.

7 Versuchsergebnisse

7.1 Erster Versuch

„Obwohl Zink als für ein normales Pflanzenwachstum notwendiges Element gilt, ist über seine landwirtschaftliche Bedeutung jedoch noch wenig bekannt. In der Literatur wird über die günstige Wirkung von Zink auf Mais, Citrusfrüchte, Obstbäume und andere Pflanzen berichtet. Der Zinkbedarf dieser Kulturen ist oft so groß, dass in der landwirtschaftlichen Praxis Zinkmangelsymptome auftreten.“

Der in der Literatur beschriebene Zinkmangel wird auf verschiedenen Böden beobachtet. Am häufigsten tritt er auf sandigen Kalk- und Moorböden auf.

Um die Düngerwirkung von Zink zu untersuchen, führten wir Vegetationsversuche auf dem schweren, mittelpodsolierten Lehmboden der landwirtschaftlichen Versuchsstation Dolgoprud, unterhalb von Moskau, durch. Die Versuchsbedingungen waren folgende. Glasgefäße mit 5,5 g trockener Erde erhielten als NPK- Grunddüngung je 0,5 g Natriumnitrat, Kaliummonophosphat und Kaliumsulfat. Die Zinkwirkung wurde auf ungekalktem und gekalktem Boden geprüft. Die Kalkgabe wurde aus der „einfachen hydrolytischen Acidität“ (gleich 4,0 Milliäquivalent in 100g Boden) berechnet. Zink wurde als Sulfat, 2,5 mg je 1 kg Erde, verabreicht. Folgende schon als zinkbedürftige Pflanzen bekannte Pflanzen wurden für den Versuch ausgewählt: Knoblauch (Sorte unbekannt), Erbsen (Sorte „Kapital“) und Bohnen (Sorte „Triumph“). Erbse und Bohne wurden gesät, Knoblauch als kleine einjährige Zwiebel, drei Stück je Gefäß, gesetzt. Die Pflanzen wurden im Gewächshaus aufgezogen, täglich mit destilliertem Wasser bis zu 60% der Wasserkapazität des Bodens begossen und im September bei voller Reife geerntet. Die Erträge sind in Tabelle 12 angeführt.

Zink wirkte auf alle drei Kulturen positiv ein. Auf ungekalktem Boden wurden die Knoblaucherträge durch Zinkgaben verdoppelt, blieben aber in Folge der hohen Empfindlichkeit dieser Kultur gegen Bodensäure im Ganzen sehr niedrig. Kalkgaben steigerten den Knoblauchertrag stark; durch Gaben von Zink und Kalk wurde der Ertrag um weitere 66% erhöht. Der Erbsenertrag stieg durch Zink auf ungekalktem Boden um 26% und auf gekalktem Boden auf 29%. Auf die Bohnenerträge wirkte Zink nur bei Kalkung positiv, auf ungekalktem Boden blieb Zink ohne Wirkung (Tab. 12).

Tabelle 12*Wirkung von Zink auf die Pflanzenerträge*

Wirkung von Zink auf die Pflanzenerträge				
Versuchsschema	Ohne Kalk		Auf gekalktem Boden	
	NPK	NPK u. Zn	NPK	NPK u. Zn
	Ertrag g/Gefäß			
Erbsen:				
Gesamtertrag (Trockengewicht)	26,7	30,2	55,8	66,8
Samenertrag	9,2	11,6	26,7	34,5
Bohnen:				
Gesamtertrag	30,2	31,1	53,5	66,5
Samenertrag	8,7	8,8	12,5	19,2
Knoblauch:				
Gesamtertrag (Gewicht der Trockensubstanz)	1,9	4,0	29,5	49,1
Ertrag der Köpfchen (Gewicht der Rohsubstanz)	3,6	7,0	41,2	67,3

Im Jahr 1946 wurde ein Vegetationsversuch mit Gerste angesetzt, um die Wirkung verschieden großer Zinkgaben zu untersuchen. Für den Versuch wurden drei Bodenarten benutzt: 1. Schwerer, mittelpodsolierter Lehmboden der Versuchsstation Dolgoprud, 2. Podsolierter Sandboden des Versuchsfeldes Ljuberenzk und 3. Grauerde aus Kagan. Die Zinkwirkung auf Podsol wurde sowohl auf ungekalktem als auch auf gekalktem Podsol, mit einer aus der einfachen „hydrolytischen Acidität“ berechneten Kalkgabe, untersucht. Zink wurde in drei verschiedenen Gaben als Sulfat gegeben: 2,5, 5 und 10mg auf 1 kg Boden bei podsolierem Lehm und Grauerde; 2,4 und 8 mg auf 1 kg sandigen Podsol. Alle Bedingungen dieses Versuchs entsprachen denen des vorher beschriebenen Versuchs.

Ferner wurde die „AZ-Lösung“ von Hoagland aus 12 Elementen (Bor, Mangan, Kupfer, Zink, Titan, Aluminium, Kobalt, Nickel, Lithium, Zinn, Jod und Brom) geprüft.

Die Erträge zeigt Tabelle 13.

Tabelle 13

Einfluß verschiedener Zinkgaben auf Gerste (Sorte „Wiener“)

Einfluß verschiedener Zinkgaben auf Gerste (Sorte „Wiener“)						
Boden	Ertrag	NPK ohne Zn	NPK u. Zn 2,5 mg/kg	NPK u. Zn 5 mg/kg	NPK u. Zn 10 mg/kg	NPK u. Hoagland-gemisch
		Ertrag g/Gefäß				
Ungekalkter podsoliger Lehm Boden	Gesamtertrag	34,6	36,4	37,1	36,1	25,3
	Korn	16,7	17,3	18,3	17,9	12,7
Derselbe Boden, gekalkt	Gesamtertrag	48,5	50,1	55,2	51,0	52,2
	Korn	21,6	23,1	25,2	22,6	22,8
Ungekalkter podsoliger Sandboden	Gesamtertrag	42,9	41,2	41,3	44,7	41,9
	Korn	18,9	17,9	18,4	20,7	18,8
Derselbe Boden, gekalkt	Gesamtertrag	42,4	43,8	47,0	50,9	51,6
	Korn	19,0	19,9	21,8	24,6	24,8
Grauerde	Gesamtertrag	32,0	30,9	37,2	38,4	34,4
	Korn	14,7	17,6	17,6	17,8	15,1

Zink erwies sich zu Gerste auf allen untersuchten Böden als wirksam. Auf gekalktem Podsol war die Zinkwirkung größer, auf podsoliertem Lehm Boden ergab eine Zinkgabe von 5 mg/kg Erde die höchste Wirkung. Am wirksamsten erwies sich auf Sandböden die dritte Düngergabe von 8 mg Zink auf 1 kg Erde; bei Kalkung zeigten die ersten beiden Gaben keine positive Wirkung. Auf Grauerde hatten alle Gaben fast die gleiche Wirkung. Das Hoaglandsche Gemisch steigerte nur auf gekalktem podsoliertem Sandboden den Ertrag.

Die dritte Gruppe der Vegetationsversuche wurde auf dem podsolierten Sandboden des Versuchsfeldes Ljuberenzk, unterhalb von Moskau, von 1947 bis 1950 durchgeführt. Die Wirkung von Zink wurde in zwei Reihen untersucht:

1. auf ungekalktem saurem Boden, 2. Mit Kalkgaben, die der einfachen „hydrolytischen Acidität“ entsprechen. Als Grunddüngung wurde NPK, Magnesium und Bor verwendet. Zu dem vierfach wiederholten Versuch wurden Glasgefäße von 15X30 cm mit einem Fassungsvermögen von 6 kg Erde benutzt. Die NPK- Düngung bestand aus je 0,4 g Natriumnitrat, Natriumdihydrogenphosphat und Kaliumsulfat, 1 mg Bor in Form von Borsäure, 0,2 mg MgO als Magnesiumsulfat und 2,5 mg Zinksulfat auf 1 kg Erde.

1948 und in allen folgenden Jahren wurde der Boden in den Gefäßen erneuert. Alle Nährstoffe einschließlich Zink wurden in gleichen Mengen und in der gleichen Form wie im Jahre 1947 gegeben, jedoch ohne Kalk. 1947 und 1949 wurde Gerste der Sorte

„Wiener“ ausgesät, 1948 und 1950 Hafer der Sorte „Dippe“. Die Pflanzen befanden sich im Gewächshaus, sie wurden täglich bis zu 60% der vollen Wasserkapazität des Bodens mit destilliertem Wasser begossen. Geerntet wurde bei Vollreife. Die Erträge sind in Tabelle 14 angegeben.

Tabelle 14

Wirkung von Zink auf den Ertrag von Gerste und Hafer

Versuchsschema	Wirkung von Zink auf den Ertrag von Gerste und Hafer							
	Gerste 1947		Hafer 1948		Gerste 1949		Hafer 1950	
	Ertrag g/Gefäß							
	Gesamt- ertrag	Korn	Gesamt- ertrag	Korn	Gesamt- ertrag	Korn	Gesamt- ertrag	Korn
NPK	27,8	14,1	35,4	15,0	35,1	15,8	29,7	7,9
NPK u. B u. Mg	27,7	13,2	35,3	14,3	32,8	14,6	28,8	8,7
NPK u. B u. Zn	29,0	14,4	39,0	15,5	30,6	14,2	30,7	9,2
NPK u. B u. CaCO ₃ der einfachen hydr. A.	31,8	16,7	36,6	15,2	37,6	18,1	31,3	10,5
NPK u. B u. Mg u. Zn u. CaCO ₃	31,2	15,5	41,4	17,8	36,4	17,3	38,9	13,3
NPK u. B u. Mg u. CaCO ₃ der vier- fachen hydr. A.	36,3	19,0	37,3	15,9	38,7	18,5	31,3	10,5
NPK u. B u. Mg u. Zn u. CaCO ₃ der vierfachenhydr. A.	38,8	19,7	40,6	18,2	39,6	19,2	39,0	13,6

Magnesium und Borgaben zur Grunddüngung waren in diesem Falle ohne positive Wirkung.

Zink wirkte auf den Gerstenertrag weder 1947 noch 1949 positiv, dagegen auf Hafer in beiden Versuchsjahren positiv.

Auf dem sauren, ungekalkten Boden war die Wirkung erheblich schwächer als auf gekalktem Boden. Eine unterschiedliche Zinkwirkung bei verschiedenen Kalkgaben wurde diesmal nicht beobachtet.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass Hafer empfindlicher gegen Zinkmangel ist als Gerste. Der Zinkbedarf des Hafers ist auf gekalktem Boden größer, wahrscheinlich deswegen, weil durch Kalkung Zink weniger löslich wird.

7.2 Schlussfolgerungen

1. Zink wirkt auf die Erträge vieler Pflanzen positiv, so bei Knoblauch, Erbsen, Bohnen und Hafer auf Podsol und bei Gerste auf Grauerde.
2. Auf ungekalktem, saurem Boden war die Wirkung wesentlich schwächer als auf gekalktem, und blieb manchmal ganz aus. Auf podsolierten Böden erhöhte die Kalkung die Wirkung des Zinks zu allen untersuchten Kulturen.
3. Folgende Zinkgaben zeigten bei Gerste optimale Wirkung: auf podsoliertem Lehmboden 5 mg, auf podsolierten Sandboden 8mg und auf Grauerde 2,5 mg je 1kg Boden.
Auf Grauerde steigerten höhere Zinkgaben den Mehrertrag nicht weiter.“

(Spurenelemente in der Landwirtschaft, Prof. Dr. Trenel, 1958, S.477-480)

7.3 Zweiter Versuch

Ablauf:

1. Problemstellung

„Die Notwendigkeit der Mikronährstoffblattdüngung und deren sachgerechte Durchführung sind Gegenstand vieler Diskussionen unter Landwirten und Beratern. Die Grundlagen für die heutigen Beratungskonzepte zur Düngung der Mikronährstoffe Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän und Zink wurden in den 1970er und 1980er Jahren erarbeitet. Insbesondere das gestiegene Ertragsniveau, der Zuchtfortschritt mit möglicherweise veränderter Mikronährstoffaufnahmeeffizienz neuer Sorten und häufigere Trockenphasen während der Vegetationsperiode erfordern eine Überprüfung und gegebenenfalls Präzisierung der Richtwerte für die Mikronährstoffdüngung.

Bei der Ableitung einer Mikronährstoffdüngungsempfehlung für die Landwirte sind nach den üblichen Beratungskonzepten in erster Linie die Mikronährstoffversorgung des Bodens, die Aufnahmebedingungen und der Mikronährstoffbedarf der angebauten Kultur zu berücksichtigen.

Die Thüringer Ackerböden weisen entsprechend einer repräsentativen Untersuchung in den Jahren 2004 und 2005 eine überwiegend hohe bis mittlere Mikronährstoffversorgung auf (Zorn et al., 2008) und lassen einen in der Regel geringen Mikronährstoffdüngbedarf erwarten. Nach den Ergebnissen von Pflanzenanalysen auf diesen Flächen nimmt jedoch der Umfang unzureichender Zn-Ernährung bei Winterweizen zu, obwohl dessen Zn-Bedarf nach gegenwärtigem Kenntnisstand nur als mittel beurteilt wird. Im Mittelpunkt der Untersuchungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena zum Mikronährstoffdüngbedarf steht neben Winterraps insbesondere Getreide.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung werden seit dem Jahr 2000 Feldversuche zur Wirkung einer Mikronährstoffblattdüngung zu verschiedenen Kulturen durchgeführt. Ausgewählte Ergebnisse zum Schwerpunkt Getreide werden nachfolgend mitgeteilt.

2. Material und Methoden

Zur Überprüfung der Beratungsempfehlungen werden gegenwärtig 2 Versuchsserien auf typischen Thüringer Ackerbaustandorten zur Mikronährstoffblattdüngung durchgeführt. In Thüringen selten vorkommende Mikronährstoffmangelstandorte wurden nicht in die Untersuchungen mit einbezogen.

Einen Überblick über die Versuchsstandorte geben die Tabellen 15 und 16.

Tabelle 15

Standorte und Mikronährstoffversorgung des Bodens statischer Feldversuche (Fruchtfolge) in Thüringen mit jährlicher Blattdüngung von B, Cu, Mn, Mo, Zn ab 2000.

Standort	Gehaltsklasse				
	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Bad Salzungen (Braunerde)	C/A	E	E	E	E
Großenstein (Lößparabraunerde)	E	C/E	E	E	E
Burkersdorf (Braunerde-Staugley)	E	C/E	E	¹⁾	¹⁾

11) = keine Mo- und Zn-Düngung

Tabelle 16

Standorte und Mikronährstoffversorgung des Bodens einjähriger Feldversuche mit Mikronährstoffblattdüngung (B, Cu, Mn, Zn) zu Winterweizen auf 4 Standorten ab 2005

Standort	Gehaltsklasse			
	B	Cu	Mn	Zn
Dornburg (Lößparabraunerde)	E	E	E	C
Friemar (Lößschwarzerde)	C/E	E	E	C/E
Haufeld (Muschelkalkrendzina)	E	C/E	E	E
Heßberg (Alluvialer Ton)	E	E	E	E

Tabelle 17

Angaben zur Durchführung der Blattdüngung zu Getreide

Mikronährstoff	Düngungszeitpunkt BBCH	Aufwandmenge kg/ha	Düngerform bis 2005*)
B	31	0,4	Na-Borat
Cu	31	0,5	Cu-Sulfat
Mn	31, 34-37	2 * 1	Mn-Sulfat
Mo	31	0,3	NH ₄ -Molybdat
Zn	31	0,5	Zn-Sulfat

*) = ab 2006 Einsatz handelsüblicher formulierter Blattdünger, Aufwandmengen nach Herstellerangaben

Die Mikronährstoffdüngung erfolgte als einmalige Blattapplikation zu Schossbeginn des Getreides. Eine Ausnahme bildet die zweimalige Blattdüngung zu Schossbeginn und Schossmitte. Bis 2005 wurden Mikronährstoffsalze mit Aufwandmengen in Anlehnung an die Angaben von Breuer, et al. (2003) eingesetzt. Ab 2006 kommen handelsübliche Mikronährstoffdünger verschiedener Hersteller zu Einsatz (Tabelle 17).

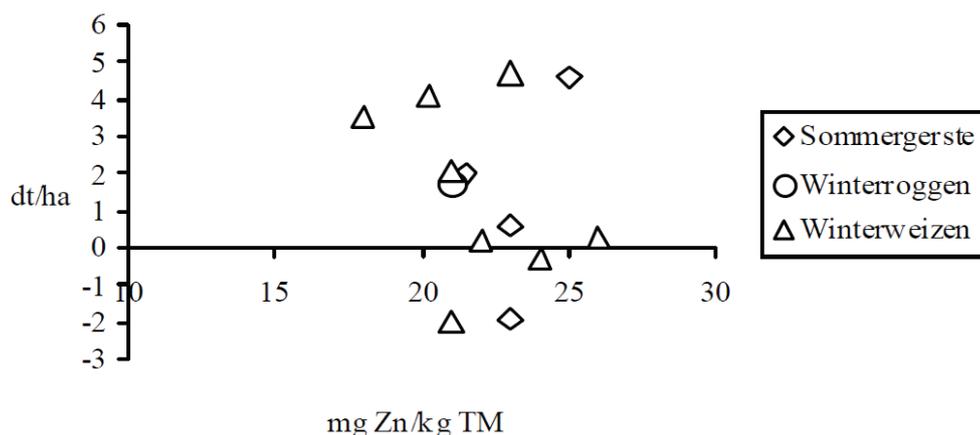
Versuchsbegleitend erfolgen Bodenanalysen nach der CAT- und konventionellen Methoden sowie Pflanzenanalysen zur Charakterisierung des Ernährungszustandes.

3. Ergebnisse

In vier Versuchen bewirkte die Zn-Düngung Mehrerträge von 4 bis 5 dt/ha bei Zn-Gehalten in der Pflanze zu Schossbeginn von 16 bis 25 mg/kg TM (Abbildung 5). In weiteren Versuchen mit Zn-Gehalten >20 mg/kg Sprosstrockenmasse ist keine Düngewirkung eingetreten. Ergebnisse eines parallel durchgeführten mehrjährigen Monitorings zum Ernährungszustand von Winterweizen auf Praxisschlägen (Zorn, et al., 2008) belegen eine zunehmende Häufigkeit von unzureichender Zinkernährung der Pflanzen und die Notwendigkeit einer verstärkten Beachtung einer bedarfsgerechten Zn-Düngung zu Getreide.“

Abbildung 7

Mehrertrag durch Zn- Blattdüngung zu Getreide in Abhängigkeit vom Zn-Gehalt im Spross (BBCH 31 – 32)“



(Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten; W. Zorn, H. Schröter, 2008, S.441-445)

8 Diskussion

In meiner Literaturarbeit ging es um das Thema „Boden- und Pflanzenverfügbarkeit von Zink“. Hier habe ich mir die Frage gestellt, ob Mikronährstoffe allen voran Zink wirklich eine bedeutende Rolle einnehmen?

Ich bin zu dem Ergebnis gekommen, dass Zink eine bedeutende Rolle in der heutigen Landwirtschaft einnimmt.

In der Vergangenheit wurde Zink nur auf Mangelstandorten oder in anspruchsvollen Kulturen gedüngt, dies wirkte sich meist sehr negativ aus. Für das Wachstum der Pflanze sind Mikronährstoffe lebenswichtig, denn sie regen den Wachstumsprozess an. Eine optimale Applikation von Zink ist ein wichtiges Kriterium bei der Düngung. Fehlt Zink oder ist es zu stark angereichert, kommt es bei den Pflanzen zu Wachstums- und Entwicklungsstörungen. Deshalb ist es wichtig, dass Zink in einer für die Pflanze optimalen Menge appliziert wird.

Eine wichtige Bedeutung nimmt bei der Düngung der Boden ein. Zink wird je nach Bodenart unterschiedlich stark ausgewaschen und steht der Pflanze deshalb auf jedem Standort in einer unterschiedlichen Konzentration zur Verfügung. Der Landwirt muss deshalb in Sachen Zinkdüngung mit viel Fingerspitzengefühl arbeiten. Denn schon kleinste Mengen an Mikronährstoffen wirken hocheffizient, somit können sie auch ertragsbegrenzend im Pflanzenbau sein.

Durch die Missachtung der Zinkdüngung in der Vergangenheit und durch steigende Pflanzenerträge wurden dem Boden immer mehr Mikronährstoffe entzogen die jetzt fehlen. Nur wenige Landwirte setzen sich mit der Zinkdüngung auseinander, da die Forschung noch nicht den Höhepunkt erreicht hat.

Eine nicht zu verachtende Rolle sollte die organische Düngung spielen. Mit Hilfe von organischen Nährstoffen, wie z.B. Klärschlamm, Hühnertrockenkot, Gülle und Kompost, sind große Einsparpotenziale erreichbar. Insbesondere in Kombination von organischen Nährstoffen und Handelsnährstoffen in einer Düngestrategie.

9 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema Boden- und Pflanzenverfügbarkeit von Zink. Speziell wurde hier die Frage, ob Mikronährstoffe – besonders Zink eine bedeutende Rolle in der Landwirtschaft einnimmt, beantwortet.

Nicht nur ein fundiertes Wissen über Begrifflichkeiten gehören zum Thema, darüber hinaus wurden pflanzenphysiologische Betrachtungsweisen und auch ökologische und ökonomische Faktoren mit einbezogen. Die Auseinandersetzung mit dem Zinkgehalt im Boden und in der Pflanze, Bestimmungen der Richtwerte, sowie die Auswertung der Versuchsergebnisse, lassen den Schluss zu, dass Zink lebenswichtig für Pflanzen ist. Ein wichtiges Kriterium ist jedoch dabei auch – die Düngung. Nur eine optimale Zinkdüngung führt zu optimalen Ernteergebnissen. Eine ständige Beobachtung und Analyse der Pflanzen und des Bodens signalisiert dem Landwirt den Versorgungszustand mit Zink. Eine hohe Wirkung wurde bei einer Blattapplikation festgestellt. Auch einer besonderen Beachtung bedarf es der Düngung mit organischen Düngestoffen wie Gülle, Stallmist oder Klärschlamm um eine bestmögliche Zinkzufuhr zu gewährleisten.

Mangelhaftes Wissen über Zinkkonzentrationen im Boden und in der Pflanze, sowie die Zusammensetzung von Düngemittel bringen unwiderruflich Schäden, wie z.B. folgende Mangelsymptome: Wachstumsstörungen, Stillstände bei der Zellteilung, Verfärbung der Blätter, Kleinblättrigkeit (Blattdeformation) und die Begünstigung von Krankheiten (Pilze, Viren) hervor.

Eine Zinküberdüngung kann sogar auch toxische Wirkungen haben. Symptome sind ein gestauchtes Wachstum, Blattverfärbungen, Flecken – und Randnekrosen, Wachstumsrückgang bis zum Absterben der Pflanze.

Eine Erkenntnis die man auch gewinnt, dass die Aufnahme von Zink abhängig ist vom Zinkgehalt im Boden, dem pH-Wert und dem Phosphatwert des Bodens.

Eine bedeutende Methode, um die Nährstoffkonzentration zu bestimmen, ist die CAT-Methode. Sie ist dabei ein wichtiges Hilfsmittel und wurde in der Arbeit näher beschrieben.

Ebenfalls ein maßgebendes Kennzeichen ist die Konfrontation der Landwirte mit der Zinkdüngung. Was nützen alle Versuche, Experimente, wissenschaftliche Arbeiten und Theorien über den wichtigen Mikronährstoff Zink, wenn die Landwirte nicht genügend Kenntnis über den Einsatz haben, um zu optimalen Ernteergebnisse zu gelangen.

Die vorliegende Arbeit soll aufzeigen, wie wichtig der Mikronährstoff Zink für das Wachstum der Pflanzen ist, aber nur wenn er in richtiger Konzentration eingesetzt wird, d.h. durch Analysen, ständige Beobachtung von Pflanze und Boden und die Kenntnisse für eine optimale Pflanzendüngung vorhanden sind. Mit diesem Wissen kann Zink großen Nutzen hervorbringen, aber bei Nichtachtung auch Schäden.

10 Abstract

This paper deals with the topic of zinc disposability of plants and soils respectively. An answer to the question of the significant role of micronutrients in agriculture – especially of zinc- could be successfully given.

Additional to the fundamental knowledge of terms, plant physiological approaches as well as ecological and economical factors are represented. With the help of research on zinc concentrations within soils and plants, the determination of indicative values and the analysis of the test results, the conclusion was made that zinc is most vital to plants. The issue of fertilization is another important feature affecting this relation. Only an optimal fertilization of zinc can yield to an optimal harvest. The amount of the actual zinc supply can be evaluated by the farmer by constant measuring of the plants and their soil. An especially notable effect could be seen during fertilizing directly to the leaves. However, fertilizing with organic fertilizers such as liquid manure, stable manure and sewage sludge should be considered as another way of optimizing the zinc supply.

The poor knowledge about zinc concentrations of soils and plants as well as about the composition of different fertilizers are causing irrevocably damages as seen by the following symptoms: disturbances in growth and cell division, discoloured leaves, reduced leaf sizes and easily occurring illnesses (as through fungi and viruses).

An overfertilization of zinc can even cause toxic effects. Symptoms are a slower growth, discolouring leaves, spotted and edging necroses and growth decreases resulting in the death of the plants. Further knowledge that could be gained is that the absorption of zinc is dependent on the zinc concentration of the soil, the pH-value as well as on the phosphate value of the soil.

One prominent method to analyse the nutrient concentration is the CAT-method which is described in this paper. Another decisive characteristic can be seen in the confrontation of the farmer with the issues of zinc fertilization. But how can all that research, that experiments, scientific analyses and theories about this crucial micronutrient zinc do any good when farmers lack the needed practical experience to achieve optimal yields?!

This paper is trying to demonstrate how crucial the micronutrient zinc is for the growth of plants, as long as an optimal concentration is provided- by making analyses, permanent observations and given a knowledge of optimal plant fertilizers. With the help of this knowledge a lot of benefits could be made out of zinc, but due to unawareness damages as well.

11 Literaturverzeichnis

11.1 Bücher

- H.-P. Blume, G.W. Brümmer, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, K. Stahr, B.-M. Wilke
Scheffer/Schachtschabel, Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage, 2010
- Professor Dr. phil. Max Trenel, Spurenelemente in der Landwirtschaft, 1958
- Werner Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 3. Auflage, 1993
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Dr. Wilfried Zorn, Dr. Gerhard Marks, Mai 2008, Mikronährstoffdüngung im Ackerbau Thüringens
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Merkblatt zur Zinkdüngung in der Pflanzenproduktion, November 2005, Jena
- Pais, I. und Jones, J.B. (1997): The Handbook of Trace Elements. St. Lucie Press, Boca Raton (Florida).

11.2 Internet

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Kongressband 2008, Jena
Redaktionskomitee: Dr. R. Gutser, Prof. Dr. M. Kruse, Prof. Dr. H. Schenkel, Prof. Dr. J. F. Schwarz, Prof. Dr. F. Wiesler
- URL 1: <http://www.eufic.org/article/de/artid/ernahrung-2/>
- URL 2: <http://www.bauernhof.net/lexikon/pfl.htm>
- URL 3: http://www.effizientduengen.de/files/sonder_newsletter.php?id=370

12 Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Gedanken und Ausführungen aus fremden Quellen sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht weiter veröffentlicht. Ich bin damit einverstanden, dass meine Bachelorarbeit in der Hochschulbibliothek eingestellt und damit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Wittstock Dosse, den 24. Oktober 2012

Tino Kerber