



Merkblatt

zur

Zinkdüngung in der Pflanzenproduktion

Wesentliche Funktionen des Mikronährstoffes Zink (Zn) in der Pflanze

Analog zu anderen Mikronährstoffen liegt die physiologische Bedeutung des Zinks in seiner Funktion als Bestandteil zahlreicher Enzyme bzw. seinem Einfluss auf Enzymreaktionen. So ist Zink Baustein eines Enzyms im Atmungsstoffwechsel der Pflanzen und trägt zur Vermeidung unerwünschter Anreicherungen von Stoffwechselzwischenprodukten z. B. von Sauerstoffradikalen bei.

Besonders hervorzuheben ist die Funktion des Zinks in einem Enzym innerhalb der Photosynthese, der Kohlendensäureanhydrase, die speziell die CO₂-Assimilation ermöglicht.

Zink ist auch Bestandteil von Enzymen für die Eiweißsynthese. Infolge seiner Funktionen im Eiweißstoffwechsel der Pflanzen werden bei Zn-Mangel ähnliche Symptome wie beim Stickstoffmangel festgestellt. Zn-Mangel senkt den Eiweißgehalt und führt zur Anreicherung von Nitrat in der Pflanze.

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.

Die Zn-Aufnahme der Pflanzen ist, außer vom Gehalt im Boden, in erster Linie vom pH-Wert und Phosphatgehalt im Boden abhängig. Hohe P-Gehalte gefährden die ausreichende Zn-Versorgung bei niedrigen Zn-Gehalten im Boden. Zn-Mangel infolge sehr hoher P-Gehalte bzw. hoher P-Düngung resultiert dabei nicht aus der Zn-Fixierung im Boden, sondern aus der Festlegung in der Wurzel. Bei hohem P-Gehalt im Boden ist somit ein ausreichendes Zn-Angebot und parallel hierzu die Absenkung des P-Gehaltes (bis zur Gehaltsklasse C) erforderlich. 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.

Zn-Mangel gefährdet sind in erster Linie sehr leichte Böden mit hohem pH-Wert sowie Kalkböden (steigende pH-Werte des Bodens verstärken die sorptive Bindung an Ton und Humus). Mangel kann aber auch auf Böden mit hohem Anteil unzersetzter organischer Substanz, nach Aufkalkung und nach hohem Zn-Entzug, z. B. durch hohe Maiserträge, beobachtet werden (jährlich werden 100 bis 300 g Zn/ha entzogen). Bedingt durch die geringe Beweglichkeit des Zinks im Boden, insbesondere bei hohen pH-Werten, ist die Gefahr von Zn-Mangel, besonders bei noch schwach ausgebildetem Wurzelsystem, d. h. in der Jugendentwicklung gegeben. Die Zn-Aufnahme kann auch durch hohe Eisen- und Kupfergehalte im Boden behindert werden.

Zn-Mangelsymptome der Pflanzen

Bei Zn-Mangel sinkt der Chlorophyllgehalt der Pflanzen ab, wodurch Chlorosen bis zur Weißverfärbung der Blätter eintreten können (besonders typisch bei Mais). Die Beweglichkeit von Zink in der Pflanze ist gering, deshalb erscheinen die Chlorosen zuerst in den jungen, wachsenden Pflanzenteilen.

Allgemein ist das Erkennen von Zn-Mangel erschwert, da die Symptome sehr differenziert sind. Mangelsymptome prägen sich abhängig vom physiologischen Entwicklungsstadium der Pflanzen aus. Bei Zn-Mangel lassen sich typische als auch untypische Symptome feststellen. So können flecken- und tüpfelartig auftretende Interkostalchlorosen leicht mit Mn- oder Fe-Mangel verwechselt werden und besitzen daher keinen typischen Charakter für Zn-Mangel. Weiterhin treten an älteren Blättern Chlorosen und auch abgestorbene Blattzonen auf. Allgemein bekannt geworden ist die "Kräuselkrankheit" des Hopfens, die auf Zn-Mangel beruht.

Besonders charakteristische Symptome für Zn-Mangel sind nach BERGMANN (1993) in jedem Fall die durch Auxinmangel bedingten Symptome, vor allem die "Kleinblättrigkeit" in Verbindung mit mehr oder weniger ausgeprägten Blattdeformationen und der gestauchte Wuchs mit "Rosettenbildung" aufgrund verkürzter Internodien.

Geologische Herkunft und Zn-Gehalte der Böden

Der Zn-Gehalt der Böden wird wesentlich vom geologischen Ausgangsmaterial bestimmt. Daher sind Kenntnisse über den natürlichen Zn-Vorrat der Böden von Bedeutung. Im Zeitraum 1985 bis 1990 wurden hierzu umfangreiche Untersuchungen durchgeführt (Tab. 1).

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 Bodenartengruppe	Anzahl untersuchter 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	656	2	61	37
			mittel	110	15	61	24
	5 + 6	Tone	mittel	281	11	59	30
Löss	1 + 2	Schwarzerde-	schwer	531	0	11	89
	3 + 4	braune Löss- lehme	mittel	103	0	10	90
			schwer	154	0	7	93
	5+6	braune Löss- lehme ²⁾	mittel	76	0	17	83
		schwer	95	0	16	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

Als Zn-Mangel gefährdet erwiesen sich in erster Linie diluviale mittelschwere Böden, sowie Keuperböden.

Richtwerte für Zn-Gehalte in Böden und Pflanzen

Zur Ermittlung des Zn-Bedarfes der Pflanzen sind, wie bei anderen Nährstoffen auch, Boden- und Pflanzenanalyse zwei sich gegenseitig ergänzende Methoden. Auf der Basis der in der Tabelle 2 definierten Gehaltsklassen werden Richtwerte zur Einstufung von Zn-Gehalten in Böden gegeben (Tab. 3).

Tabelle 2: Definition der Gehaltsklassen pflanzenverfügbarer Mikronährstoffgehalte (B, Cu, Mn, Mo, Zn)

Gehaltsklasse	Kurzdefinition
A	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 Gehalt im Boden Eine Mikronährstoffdüngung wird nur dann zu mikronährstoffintensiven Kulturen empfohlen, wenn nicht bereits durch andere Faktoren die Mikronährstoffversorgung gewährleistet wird (z.B. organische Düngung, Veränderung des pH-Wertes im Boden durch Anwendung physiologisch bzw. chemisch sauer wirkender Düngemittel oder Kalkung).
E	Hoher Gehalt im Boden Für alle Kulturen reichen die Mikronährstoffgehalte im Boden für hohe Erträge aus. Düngung ist nicht erforderlich.

In der landwirtschaftlichen Praxis wurde Zn-Mangel bisher nur selten, dagegen häufiger bei Hopfen und Apfel nachgewiesen. Wie aus Untersuchungen in Thüringen der 80er Jahre hervorgeht, sind bei Zink in der Gehaltsklasse A nur 9 % der untersuchten Fläche und folglich in den Gehaltsklassen C und E zusammen 91 % eingestuft.

Die seit dem Jahr 2000 in Thüringen für die Bodenuntersuchung auf Zn angewendete **CAT-Methode** erforderte eine Anpassung der Richtwerte zur Einstufung der Bodengehalte. Diese Richtwerte sind in der Tabelle 3 enthalten.

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

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2	IS (SL), sL/uL und T'L/TBG 3 bis 5
A	< 1,0	< 1,5
C	1,0 bis 2,5	1,5 bis 3,0
E	> 2,5	> 3,0

In Ergänzung zu den Ergebnissen der Bodenuntersuchung geben die Werte der Pflanzenanalyse den Versorgungszustand an Zink wieder, der zunächst vom Bodengehalt aber auch vom Witterungsverlauf (Bodenfeuchtegehalt), Düngungsmaßnahmen (Kalkung, P-Düngung), pH-Wert u. a. beeinflusst wird. So lässt sich mit der Pflanzenanalyse der Zn-Ernährungszustand der Pflanzen in ertragsentscheidenden Vegetationsstadien charakterisieren, und es können zusätzliche Schlussfolgerungen zum Düngbedarf abgeleitet werden.

Zur Wichtung der Pflanzenanalysergebnisse sind die als ausreichend für die optimale Pflanzenernährung eingestufteten Zn-Gehalte ausgewählter Kulturen zu verschiedenen Probenahmeterminen in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Richtwerte für ausreichende Zn-Gehalte in mg/kg (ppm) in der Pflanzentrockenmasse (TM)

Kultur ¹	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

Zn-Bedarf der Kulturen

Über den Zn-Bedarf ausgewählter Kulturen informiert die Tabelle 5.

Tabelle 5: 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

Über Mehrerträge durch Zn-Düngung liegen in der Literatur nur wenige Ergebnisse vor. Die Zn-Düngewirkung wurde in Feldversuchen des ehemaligen Institutes für Pflanzenernährung Jena-Zwätzen bei Mais und Zuckerrüben geprüft. 10jährige Feldversuche mit Zn-Düngung ergaben auf niedrig mit Zink versorgten Flächen Mehrerträge bei Mais und Zuckerrüben von 4,2 bis 14,2 dt GE/ha.

Hinweise zur praktischen 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, welchen 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 (vgl. Tab. 5), auf potenziell Zn-bedürftigen Standorten (vgl. Tab. 1) eine regelmäßige visuelle Bestandesüberwachung zu empfehlen.

Bestandesbeobachtungen 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. 6).

Tabelle 6: 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

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 7.

Tabelle 7: 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

Schlussfolgerungen

Die Zn-Gehalte im Boden werden vorrangig durch das Ausgangsgestein bestimmt. Niedrige Zn-Gehalte kommen in Thüringen 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.

Jena, im November 2005

Abteilung Agrarökologie, Ackerbau und Grünland