

Kupferdüngung in der Pflanzenproduktion

Funktion des Mikronährstoffes Kupfer (Cu) in der Pflanze

Die wesentliche Aufgabe des Kupfers im pflanzlichen Stoffwechsel ist durch seine **enzymatische Wirksamkeit** bei verschiedenen Oxydationsvorgängen gegeben (ähnliche Funktionen wie Eisen). Etwa 70 % des Gesamt-Cu in der Pflanze befinden sich in stoffwechselaktiven jungen Blättern. Daher vermutet man eine Beteiligung an der **Photosynthese**. Da Kupfer in der Pflanze kaum verlagert wird, äußert sich eine Unterversorgung stets zuerst in jungen Blättern. Cu-Mangel senkt den Gehalt an **Stärke** sowie **anderer Kohlenhydrate** und ist somit u. a. auch Hauptursache für niedrige **Trocken-substanzbildung**.

Unzureichende Cu-Versorgung erhöht z. B. die N-Verunreinigung im Zuckerrübensaft. Auch der Eiweißgehalt von Backweizen und somit dessen Backqualität werden negativ beeinflusst.

Als Bestandteil von Enzymen im **Ligninstoffwechsel** besitzt Kupfer entscheidende Bedeutung für die Stabilisierung (Verholzung) der Zellwände. Großlumige und dünnwandige Zellen sind die Folge von Cu-Mangel, wodurch z. B. die **Standfestigkeit** bei Getreide beeinträchtigt wird. Kupfer fördert des Weiteren die Bildung des Wachstoffs Phytoalexin, der das pathogene Pilzwachstum hemmt und somit Einfluss auf die **Krankheitsresistenz** hat. Kupfer ist insbesondere entscheidend für die Pollenfertilität von Weizen und fördert die Ausbildung von Früchten und Samen.

Für die Beurteilung der Cu-Versorgung, insbesondere von Winterweizen, ist zusätzlich der N-Gehalt der Pflanzen bzw. der **Cu:N-Quotient (ppm Cu/% N)** geeigneter als der Cu-Gehalt allein. Bei Winterweizen ist ein ungestörter Stoffwechsel erst bei einem Cu:N-Quotient von > 1 in der Pflanze möglich. So führt hohe N-Düngung bei niedriger Cu-Versorgung des Bodens zu Cu-Mangel in der Pflanze. Hohe Bewirtschaftungsintensität setzt daher eine ausreichende Cu-Versorgung des Bodens voraus.

Cu-Mangelsymptome der Pflanzen

Bei Gramineen sind schon frühzeitig an jüngsten Blättern neben Welkeerscheinungen chloroseähnliche Farbveränderungen und Weißverfärbung festzustellen. Die jüngsten Blätter rollen sich von der Spitze her um die Längsachse ein, vertrocknen („Weißspitzigkeit“) und knicken ab („Wegweiserstellung“). Die Streckung der Internodien ist deutlich vermindert. Es kommt zu einer übermäßigen Nachschosserbildung. Die Entwicklung der generativen Organe ist in Mitleidenschaft gezogen, das Ährenschieben gehemmt. Ähren und Rispen sind ungenügend ausgebildet bzw. völlig taub („Weißährigkeit“). Ähnliches trifft auch für dikotyle Pflanzen zu. Jüngere Blätter rollen sich tütenförmig ein und welken unter hellgelber Verfärbung der Blattflächen (Interkostalfelder) mit nachfolgender Bildung von gelbweißen bis braungelben Nekrosen. Die Blütenstände sind deformiert oder die Blütenbildung ist mangelhaft, junge Triebe verkahlen („Spitzendürre“ bei Obstbäumen) und sterben ab.

Geologische Herkunft und Cu-Gehalt der Böden

Der Cu-Gehalt der Böden ist weitgehend geogen bedingt und wird durch die Abfuhr von Kupfer mit der Ernte kaum beeinflusst. In diesem Zusammenhang sind Kenntnisse über den natürlichen Vorrat der Böden von besonderem Interesse. Im Zeitraum 1985 bis 1990 wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt (Tab. 1).

Cu-Mangel beschränkt sich zumeist auf sandige, vorrangig diluviale und vor allem moorige Böden. Die Cu-Löslichkeit geht aber auch mit steigendem pH-Wert zurück. So weisen typische Thüringer Standorte mit hohen Karbonatgehalten und pH-Werten wie Röt-, Muschelkalk- und Keuperböden, bezüglich der Cu-Versorgung, Flächenanteile von bis zu 30 % in der Gehaltsklasse A auf (Tab. 1).

Tabelle 1: Cu-Gehalte ostdeutscher Böden in Abhängigkeit von der geologischen Herkunft, Angabe als Prozentverteilung in Gehaltsklasse E (hoch), C (mittel), A (niedrig). Gehaltsklasse B und D, die bei Makronährstoffen Anwendung finden, entfallen bei der Einstufung von Mikronährstoffuntersuchungen

Geologische Herkunft	Natürliche Standorteinheit	Bodenartengruppe	Anzahl Schläge	Gehaltsklassen (%)		
				A	C	E
Alluvium	1	leicht	85	5	42	53
		leicht	63	10	71	19
	3	mittel	148	2	38	60
		schwer	246	5	51	44
		mittel	43	0	16	84
		schwer	176	9	50	41
Diluvium	1 + 2	leicht	3 219	14	73	13
	3 + 4	leicht	6 306	7	75	18
	5 + 6	mittel	808	9	80	11
		mittel	1 602	8	76	16
		schwer	131	43	52	5
Löss	1 + 2	schwer	1 334	12	78	10
	3 + 4	mittel	489	1	49	50
		schwer	441	11	61	28
	5 + 6	mittel	307	0	38	62
		schwer	177	10	74	16
	Röt	V 1 bis V 7	mittel	69	0	44
schwer			45	33	47	20
Buntsandstein	V 1 bis V 7	leicht	187	5	63	32
		mittel	349	3	50	47
		schwer	184	21	64	15
Muschelkalk	V 1 bis V 3	schwer	428	11	75	14
Keuper	V 1, V 2	schwer	173	15	71	14
Gneis	V 7 bis V 9	mittel	72	0	49	51
Schiefer	V 4 bis V 9	mittel	234	0	19	81
		schwer	24	13	83	4
Moor	-	mittel	37	54	38	8

Richtwerte für Cu-Gehalte in Böden und Pflanzen

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

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

Gehalts-klasse	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.

Die seit dem Jahr 2000 in Thüringen für die Bodenuntersuchung auf Cu 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 Cu-Gehaltes (CaCl₂/DTPA-Methode) nach der **CAT-Methode** in Abhängigkeit von Bodengruppe und pH-Wert; Böden < 4 % Organische Substanz (mg/kg Boden)

Gehalts-klasse	S und I'S BG 1 und 2	IS (SL) BG 3	sL/uL und t'L/T BG4 und 5	
			pH < 7,0	pH ≤ 7,0
A	< 1,0	< 1,2	< 2,0	< 1,2
C	1,0 - 2,0	1,2 - 2,5	2,0 - 4,0	1,2 - 2,5
E	> 2,0	> 2,5	> 4,0	> 2,5

Aus Untersuchungen in den 1980er Jahren geht hervor, dass in Thüringen in der Gehaltsklasse A mit 6 % nur geringe Anteile und demzufolge in den Gehaltsklassen C und E zusammen 94 % der untersuchten Flächen vorliegen.

Neben den Ergebnissen der Bodenuntersuchung geben die Werte der Pflanzenanalyse den Versorgungszustand an Kupfer wieder, der außer durch den Cu-Bodengehalt vor allem durch solche Faktoren, wie Witterungsverlauf, Düngungsmaßnahmen, pH-Wert u. a. beeinflusst wird. So lassen sich mit Hilfe von Pflanzenuntersuchungen zusätzliche Schlussfolgerungen zum Düngebedarf ableiten.

Zur Wichtung der Pflanzenanalysenwerte sind Angaben über ausreichende Cu-Gehalte in ausgewählten Kulturpflanzen, sowie Cu:N-Quotienten für Weizen und Triticale zu verschiedenen Probenahmeterminen in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Richtwerte für ausreichende Cu-Gehalte (mg/kg o. ppm) in der Pflanzentrockenmasse

Kultur	Probenahmeorgan	Entwicklungsstadium (ES)		mg/kg (ppm)	Cu:N-Quotient (ppm Cu/% N)
Weizen, Triticale	ganze Pflanze	28	8 Seitentriebe	5,5 bis 17,0	1,1
		29	9 Seitentriebe	5,2 bis 16,5	1,2
		31	1-Knotenstadium	5,0 bis 16,0	1,2
		32 bis 36	2 Knoten, Erscheinen des letzten Blattes	4,6 bis 15,0	1,3
		37 bis 38	Erscheinen Fahnenblatt, Fahnenblatt voll entwickelt	4,3 bis 14,0	1,3
		39 bis 41	Fahnenblatt voll entwickelt, Blattscheide am Fahnenblatt verlängert sich	4,0 bis 13,5	1,4
		42 bis 45	Blattscheide am Fahnenblatt verlängert sich, Blattscheide am Fahnenblatt geschwollen	3,8 bis 13,0	1,4
Hafer, Gerste	ganze Pflanze	28	8 Seitentriebe	5,0 bis 16,5	-2)
		29	9 Seitentriebe	4,7 bis 16,0	-2)
		31	1-Knotenstadium	4,5 bis 15,5	-2)
		32 bis 36	2 Knoten, Erscheinen des letzten Blattes	4,3 bis 15,0	-2)
		37 bis 38	Erscheinen Fahnenblatt, Fahnenblatt voll entwickelt		
		39 bis 41	Fahnenblatt voll entwickelt, Blattscheide am Fahnenblatt verlängert sich	4,0 bis 14,5	-2)
		42 bis 45	Blattscheide am Fahnenblatt verlängert sich, Blattscheide am Fahnenblatt geschwollen	3,7 bis 14,0	-2)
			3,7 bis 13,0	-2)	
Mais	mittlere Blätter; zur Blüte Kolbenblätter		40 bis 60 cm	5,5 bis 17,0	-2)
			Rispenschieben	5,2 bis 16,5	-2)
			weibliche Blüte	5,0 bis 16,0	-2)
Gräser ¹⁾	ganze Pflanze	Blühbeginn		5,0 bis 15,0	-2)
Zucker- rübe	Blatt- spreiten		Mitte Juni	5,7 bis 17,5	-2)
			Ende Juni	5,5 bis 17,0	-2)
			Ende Juli	5,2 bis 16,5	-2)
			Ende August	5,0 bis 16,0	-2)
Futter- rübe	Blatt- spreiten		Mitte Juni	-2)	-2)
			Ende Juni	5,0 bis 15,0	-2)
			Ende Juli	4,8 bis 12,0	-2)
			Ende August	-2)	-2)
Luzerne Rotklee	ganze Pflanze		Knospentadium	7,0 bis 20,0	-2)
			Blühbeginn	6,0 bis 18,0	-2)
			Blüte	6,0 bis 18,0	-2)

¹⁾ Ausdauerndes Weidelgras, Welsches Weidelgras, Einjähriges Weidelgras, Knaulgras, Wiesenlieschgras, Wiesenschwingel

²⁾ keine Angaben

Cu-Bedarf der Kulturen

Einen Überblick über den Cu-Bedarf der Kulturen gibt Tabelle 5. In zahlreichen durchgeführten Cu-Düngungsversuchen der Jahre 1985 bis 1990 auf Thüringer Ackerstandorten zu Winterweizen und Wintergerste wurde die Ertragswirksamkeit von Bodendüngung und Blattapplikation untersucht (Tab. 6).

Aus den Ergebnissen folgt: Cu-Bodendüngung zu Kulturen mit hohem Cu-Bedarf, wie Winterweizen und Wintergerste, bewirkte Mehrerträge im Düngungsjahr von rund 3,0 dt/ha und eine jährliche Nachwirkung von jeweils 0,9 dt/ha über vier Jahre. Fast gleich hohe Ertragseffekte werden durch eine Blattdüngung im Düngungsjahr erzielt.

Tabelle 5: Kupferbedarf der Kulturen

Kultur	Niedriger Cu-Bedarf	Mittlerer Cu-Bedarf ¹⁾	Hoher Cu-Bedarf ¹⁾
Getreide, Mais			
Winter-, Sommerweizen	----->		
Winter-, Sommerroggen	----->		
Winter-, Sommergerste	----->		
Hafer	----->		
Mais	----->		
Hülsenfrüchte			
Ackerbohne	----->		
Erbse, Trockenspeisebohne, Wicke	----->		
Öl- und Faserpflanzen, Hopfen			
Raps, Rübsen	----->		
Lein, Sonnenblume	----->		
Senf, Mohn	----->		
Hanf	----->		
Hackfrüchte			
Kartoffel	----->		
Rübe	----->		
Stoppel- und Kohlrübe	----->		
Futtermöhre	----->		
Futterpflanzen			
Rotklee, Rotklee gras	----->		
Luzernegras, Futtergräser, Wiese, Weide	----->		
Luzerne	----->		
Futter- und Markstammkohl	----->		

¹⁾ Düngewirkung ist abhängig vom Cu-Gehalt des Bodens

Tabelle 6: Effektivität der Cu-Düngung zu Winterweizen und Wintergerste

Kultur	Düngungsverfahren	Anzahl Feldversuche	Düngewirkung	Mehrertrag dt/ha
Winterweizen	Bodendüngung 5 kg/ha	25	Düngungsjahr	3,0
			Nachwirkung (4 Jahre)	3,6
			Summe	6,6
Wintergerste	Bodendüngung 5 kg/ha	40	Düngungsjahr	3,3
			Nachwirkung (4 Jahre)	3,6
			Summe	6,9
	Blattapplikation 0,5 kg/ha	18	Düngungsjahr	2,4

Hinweise zur praktischen Düngung

Der Einsatz von reinen Spurennährstoffdüngern ist nur auf der Basis eines nachgewiesenen Bedarfes durch Boden- und/oder Pflanzenanalysen oder auf der Grundlage von Erfahrungswerten der Beratung vorzunehmen.

Cu-Mangel in der Pflanzenproduktion wurde bisher nur äußerst selten in akuter Form sichtbar. Allerdings kann auch latenter Mangel (kaum sichtbare Symptome) zu Wachstums- und Ertragsminderungen führen. Daher ist eine regelmäßige visuelle Bestandesüberwachung, insbesondere auf potenziell Cu-bedürftigen Standorten (vgl. Tab. 1) vorzunehmen, denn sie signalisieren dem Landwirt die Notwendigkeit einer Bodenuntersuchung, welche dann Aussagen über den Versorgungszustand gibt.

Nach Einstufung der Bodenuntersuchungsergebnisse in die entsprechende Gehaltsklasse (Tab. 3) folgt im Fall der Gehaltsklasse A und teilweise noch Gehaltsklasse C die Empfehlung zur Düngung. Die Cu-Düngermenge beim Anbau kupferintensiver Kulturarten beträgt in kg Reinnährstoff:

Bodengruppe	Bodendüngung (Wirkung über 4 Jahre)	Blattdüngung (jährliche Wirkung)
1 bis 6 Sand, Lehm, Ton, Moor	5,0 kg/ha	0,5 kg/ha

Bei optimaler Bodenreaktion und rechtzeitigem Erkennen der Cu-Unterversorgung des Bodens wird im Bedarfsfall die Bodendüngung vorgezogen. Der Grund hierfür ist der Wirkungsgrad der Düngung über einen Zeitraum bis zu vier Vegetationsperioden.

Meistens wird die Entscheidung über die Notwendigkeit einer Blattdüngung während der Vegetation getroffen. Vorteilhaft lässt sich eine Blattapplikation mit einer Pflanzenschutzmaßnahme oder auch N-Flüssigdüngung verbinden. Bei der Anwendung der Blattapplikation sind bestimmte Termine der Pflanzenentwicklung für eine hohe Cu-Wirkung am günstigsten (Tab. 7).

Tabelle 7: Optimaler Zeitpunkt für eine Cu-Blattdüngung

Kultur	Entwicklungsstadium bzw. Zeitpunkt
Getreide	Schossenstadium, Wuchshöhe von etwa 10 bis 25 cm
Mais	Volle Entwicklung des 4. Blattes, Wuchshöhe von etwa 30 bis 40 cm
Rübe	Schließen der Reihen, Ende Juni bis Anfang Juli
Kartoffel	Schließen der Reihen, Ende Juni
Luzerne, Rotklee	Kurz vor der Blüte
Grünland, Feldgras	Wuchshöhe 10 bis 15 cm
Spinat	Herbst bzw. Frühjahr bei vollentwickelten Blättern
Blumenkohl, Futterkohl	Ausbildung des 4. bis 7. Blattes

Außer der gezielten Zufuhr Cu-haltiger Mineraldünger oder von Cu-Spezialdüngern sind die mit organischen Düngestoffen zugeführten Mengen an Kupfer von Bedeutung. Nach der Mineralisation der organischen Düngestoffe im Boden trägt das freigesetzte Kupfer, je nach zugeführter Menge, z. T. wesentlich zur Versorgung der Pflanzen bei.

Nachfolgend werden Angaben zu Cu-Gehalten in Wirtschaftsdüngern und Klärschlamm aufgeführt:

- Rindergülle (4 bis 8 % TS) 2 bis 6 g/m³
- Schweinegülle (4 bis 8 % TS) 4 bis 20 g/m³
- Hühnergülle (8 bis 12 % TS) 2 bis 5 g/m³
- Stalldung (25 % TS) 2 bis 5 g/t
- Klärschlamm (40 % TS) 12 bis 6 800 g/t

Schlussfolgerungen

Niedrige Cu-Gehalte im Boden sind überwiegend geogen bedingt. In Thüringen sind vorrangig Röt, d. h. schwerere Buntsandsteinböden, Muschelkalk- und Keuperböden betroffen.

Der Cu-Versorgungszustand sollte zumindest sporadisch durch Boden- und/oder Pflanzenanalysen, insbesondere beim Anbau Cu-intensiver Kulturen (Weizen, Gerste und Hafer), kontrolliert werden, um im Fall des Cu-Bedarfes durch gezielte Düngungsmaßnahmen Ertrags- und Qualitätseinbußen zu vermeiden.

Wird ein niedriger Cu-Gehalt im Boden gefunden (Gehaltsklasse A), ist beim Anbau Cu-intensiver Kulturen eine Bodendüngung mit 5 kg/ha Kupfer (Vorratsdüngung für 4 Jahre) bzw. eine jährliche Blattapplikation mit 0,5 kg/ha Kupfer zu empfehlen.

Im Fall der Cu-Blattapplikation kann diese in Verbindung mit einer notwendigen Pflanzenschutzmaßnahme oder N-Flüssigdüngung erfolgen.

Eine wichtige Quelle für die Reproduktion der Cu-Versorgung des Bodens ist die Zufuhr organischer Düngestoffe.

Der Cu-Versorgungszustand auf potenziell durch Cu-Mangel gefährdeten Böden sollte im Abstand von vier bis sechs Jahren durch eine Bodenuntersuchung überprüft werden.

Impressum

Herausgeber: Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum
Naumburger Str. 98, 07743 Jena
Mail: postmaster@tlllr.thueringen.de

Autoren: Arbeitsgruppe Düngung

Juli 2021

Copyright: Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe sind dem Herausgeber vorbehalten.