

Bordüngung in der Pflanzenproduktion

Funktion des Mikronährstoffes Bor (B) in der Pflanze

Wichtige Funktionen hat Bor bei der **Zellteilung, Zelldifferenzierung, -streckung, Stabilisierung der Zellwände** und **Gewebebildung** der Pflanzen.

Damit ist Bor vergleichbar den Makronährstoffen ein Bauelement der Pflanze. Außerdem hat es Bedeutung im Nukleinsäurestoffwechsel, in der Eiweißsynthese und im **Energiestoffwechsel**. Es ist bei der Zucker- und Stärkebildung beteiligt und hat somit Einfluss auf eine verbesserte Frostresistenz. Die Regulation des **Wasserhaushaltes** und des Stofftransportes, die **Blütenbildung** sowie der **Be-fruchtungs-vorgang** sind ebenso an das Vorhandensein von Bor gebunden, wie die **Resistenz** gegenüber verschiedenen Krankheiten. So wurde im Fall von B-Unterversorgung bei Gerste verstärkt Getreidemehltau, bei Weizen Rostbefall, Phomainfektion bei Rüben und Mehltau bei Sonnenblumen festgestellt. Schorfbefall der Kartoffeln wird durch Bordüngung reduziert, allerdings mehr über eine verbesserte Schalenfestigkeit.

Obwohl bekannt ist, dass die genannten pflanzenphysiologischen Funktionen an die ausreichende Versorgung mit Bor gebunden sind, weiß man relativ wenig über seinen spezifischen Wirkungsmechanismus. So wird in der Literatur die Funktion des Bors in der Pflanze vorwiegend anhand von Störungen des Wachstums beschrieben, die bei B-Mangel auftreten.

Unzureichende Borversorgung tritt jedoch meistens als latenter also "verborgener" Mangel auf und kann nur durch Pflanzenanalyse oder Düngungsversuche erkannt werden. In der Regel geht der latente dem akuten sichtbaren Mangel voraus und hat mehr oder weniger hohe Ertrags- sowie Qualitätseinbußen (z. B. Zuckergehalt der Rübe) zur Folge.

Die einzelnen Pflanzenarten haben einen unterschiedlichen B-Bedarf und reagieren daher auch verschieden auf nicht ausreichende Borversorgung.

B-Mangelsymptome der Pflanzen

Bormangel macht sich stets an den jüngsten Blättern und Vegetationspunkten von Spross und Wurzel bemerkbar, weil eine Umverteilung dieses Nährstoffes in der Pflanze nicht stattfindet.

Besonders in Trockenperioden auf Sandböden aber auch auf tonreicheren Böden, dort insbesondere bei hohem pH-Wert oder nach Kalkung, kann B-Mangel verstärkt werden. Anfällig sind vor allem **Kulturen mit hohem B-Bedarf, wie Rüben, Kartoffeln, Raps, Leguminosen aber auch Mais**. Getreide stellt geringe Anforderungen an die B-Versorgung.

Akuter B-Mangel äußert sich durch Wachstumshemmung der Sprossspitze mit anschließender schwarzbrauner Verfärbung. Die Blattspreiten sind verdickt mit unsymmetrischen Verformungen. Verstärkt kommt es zur Bildung von Achselknospen. Weiterhin werden Rosettenbildung, Stängelverdickung und Aufplatzen des Stängels beobachtet. Die Wurzeln sind kurz, mit nekrotischen Verdickungen an den Wurzelspitzen.

Am bekanntesten ist die als B-Mangelkrankheit erkannte "Herz- und Trockenfäule" der Beta-Rüben, die sich in einer gestörten Entwicklung des Vegetationskegels äußert. Die Herzblätter werden braun oder schwarz, die älteren Blätter vergilben und schließlich beginnt der Rübenkörper zu faulen.

Raps reagiert auf B-Mangel mit gestauchtem Wuchs. Bei fortschreitendem Mangel sind neu gebildete Blätter verformt und haben rissige Blattstiele. Die Blattspreitenbildung ist erheblich reduziert. An älteren Blättern sind rötliche bis rot-violette Verfärbungen zu beobachten. Die Blütenbildung ist reduziert bzw. bleibt aus.

Geologische Herkunft und B-Gehalte der Böden

Die Borgehalte der Böden werden wesentlich vom geologischen Ausgangsgestein bestimmt. Kenntnisse über den natürlichen B-Vorrat der Böden sind deshalb wichtig. Im Zeitraum 1985 bis 1990 wurden hierzu umfangreiche Untersuchungen durchgeführt (Tab. 1).

B-Mangel wird häufiger auf leichten alluvialen und diluvialen, grob texturierten Böden in Regionen mit relativ hohen Niederschlagsmengen festgestellt.

In Thüringen weisen Standorte wie Röt sowie unterer und mittlerer Buntsandstein die höchsten Flächenanteile in der Gehaltsklasse A auf (Tab. 1).

Weiterhin muss auf gekalkten leichten, humusarmen sowie B-armen ursprünglich sauren Böden mit B-Mangel gerechnet werden.

Dagegen ist nach BERGMANN auf Böden mit hohen Tongehalten und natürlich bedingten hohen pH-Werten kaum B-Mangel zu erwarten. So zeigen die Untersuchungsergebnisse in Tabelle 1 für Muschelkalk-, Keuper-, Gneis- und Schieferböden fast ausschließlich mittlere und hohe B-Gehalte an. Auch Böden über Meeressedimentgesteinen besitzen zumeist hohe pflanzenverfügbare B-Gehalte.

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

Geologische Herkunft	Natürliche Standorteinheit	Vorwiegender Bodentyp	Vorwiegende Bodenarten-gruppe	Anzahl untersuchter Schläge	Anteil (%) in Gehaltsklassen		
					A	C	E
Alluvium	1	Auensande	leicht	85	21	22	57
		Auenlehme	leicht	63	54	24	22
	3	Auentone	mittel	148	21	22	57
			schwer	246	8	21	71
		Auentone	mittel	43	5	2	93
			schwer	176	3	26	71
Diluvium	1 + 2	Sande	leicht	3219	17	38	45
	3 + 4	Lehme	leicht	6298	17	29	54
			mittel	808	18	33	49
	5 + 6	Tone	mittel	1602	19	28	53
			schwer	131	10	24	66
	Löss	1 + 2	Schwarzerde	schwer	1334	0	3
3 + 4		braune Lösslehme	mittel	489	4	13	83
			schwer	441	1	8	91
5 + 6		braune Lösslehme ¹⁾	mittel	307	3	7	90
Löss	braune Lösslehme ¹⁾	schwer	177	1	20	79	
		Röt	V1 bis V7	-	mittel	69	16
Röt	V1 bis V7	-	schwer	45	20	44	36
			Buntsandstein	V1 bis V7	-	leicht	187
mittel	349	15				22	63
schwer	184	16				17	67
Muschelkalk	V1 bis V3	-	schwer	428	3	26	71
Keuper	V1, V2	-	schwer	173	1	16	83
Gneis	V7 bis V9	-	mittel	72	0	14	86
Schiefer	V4 bis V9	-	mittel	234	2	7	91
			schwer	24	0	33	67
Moor	-	-	-	37	8	14	78

¹⁾ mit Anteilen diluvialer Sande und Verwitterungsböden

Richtwerte für B-Gehalte in Böden und Pflanzen

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

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 B 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 B-Gehaltes (CaCl₂/DTPA-Methode) nach der **CAT-Methode** in Abhängigkeit von der Bodengruppe (BG) und pH-Wert (mg B/kg Boden)

Gehalts-klasse	S BG 1	I'S BG 2	IS (SL) BG3	sL/uL und t'L/T BG4 und 5
pH-Wert ≤ 6,0 ^{*)}				
A	< 0,10	< 0,12	< 0,15	< 0,20
C	0,10 - 0,15	0,12 - 0,18	0,15 - 0,25	0,20 - 0,35
E	> 0,15	> 0,18	> 0,25	> 0,35
pH-Wert > 6,0				
A	< 0,15	< 0,20	< 0,25	< 0,35
C	0,15 - 0,25	0,20 - 0,30	0,25 - 0,40	0,35 - 0,60
E	> 0,25	> 0,30	> 0,40	> 0,60

^{*)} Die CAT-Methode ist für die Untersuchung von Böden mit einem pH-Wert < 5 auf den Borgehalt nicht geeignet. Es wird daher empfohlen, in diesem Fall die herkömmliche Heißwassermethode anzuwenden bzw. erst ein Jahr nach erfolgter Kalkung die B-Analyse nach der CAT-Methode durchzuführen.

Aus den in Thüringen gezielt durchgeführten Untersuchungen in den 1980er Jahren geht hervor, dass in Gehaltsklasse A mit 10 % nur geringe Anteile und demzufolge in den Gehaltsklassen C und E zusammen 90 % der untersuchten Flächen vorliegen.

Ergänzend zu den Ergebnissen der Bodenuntersuchung geben die Werte der Pflanzenanalyse den Versorgungszustand an Bor wieder, der zunächst vom Gehalt im Boden abhängt, aber dann vor allem durch Witterungsverlauf (Bodenfeuchtegehalt), Düngungsmaßnahmen (Kalkung), pH-Wert u. a. beeinflusst wird. So lassen sich mit Pflanzenanalysen zusätzliche Schlussfolgerungen zum B-Düngebedarf ableiten.

Für die Bewertung der Pflanzenanalysergebnisse sind Angaben zu ausreichenden B-Gehalten in ausgewählten B-intensiven Kulturpflanzen zu wichtigen Probenahmeterminen in Tabelle 4 angegeben.

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

Kultur	Probenahmeorgan	Entwicklungsstadium/ Vegetationszeit	mg/kg (ppm) TM
Zuckerrübe	Blattspreiten	Mitte Juni	28 bis 90
		Ende Juni	31 bis 100
		Ende Juli	35 bis 120
		Ende August	31 bis 100
Futterrübe	Blattspreiten	Ende Juni	28 bis 200
		Ende Juli	33 bis 200
Kartoffel	voll entwickelte Blätter	Knospenstadium	20 bis 60
		Blühbeginn	25 bis 70
		Blühende	21 bis 50
		Knollenbildung	21 bis 50
Winterraps	gerade voll entwickelte Blätter	Knospe klein	15 bis 50
		Knospe mittel	16 bis 60
		Knospe groß	18 bis 60
		Blühbeginn	19 bis 60
		Blüte	20 bis 50
Silomais	mittlere Blätter zur Blüte Kolbenblätter	40 bis 60 cm	7 bis 30
		Rispenschieben	7 bis 20
		Blüte weiblich	8 bis 20
Luzerne	ganze Pflanze	Knospenstadium	30 bis 80
		Blühbeginn	33 bis 80
		Blüte	30 bis 80
Rotklee	ganze Pflanze	Knospenstadium	20 bis 60
		Blühbeginn	24 bis 60
		Blüte	20 bis 60

B-Bedarf der Kulturen

Einen Überblick über den B-Bedarf ausgewählter Kulturen gibt Tabelle 5.

In zahlreichen durchgeführten B-Düngungsversuchen der Jahre 1985 bis 1990 auf Thüringer Ackerstandorten zu Zuckerrüben und Raps wurde die Ertragswirksamkeit von Bodendüngung und Blattapplikation untersucht (Tab. 6).

Tabelle 5: B-Bedarf der Kulturen

Kultur	niedrig	mittel ¹⁾	hoch ¹⁾
Getreide und Mais			
Winter-, Sommerweizen	----->		
Winter-, Sommerroggen	----->		
Winter-, Sommergerste	----->		
Hafer	----->		
Mais	----->		
Hülsenfrüchte			
Erbse	----->		
Ackerbohne	----->		
Trockenspeisebohne	----->		
Lupine	----->		
Öl- und Faserpflanzen			
Raps, Rübsen	----->		
Mohn, Sonnenblume	----->		
Senf, Lein	----->		
Hanf	----->		
Hackfrüchte			
Rübe	----->		
Kartoffel	----->		
Stoppel- und Kohlrübe	----->		
Futtermöhre	----->		
Futterpflanzen			
Rotklee, Weißklee	----->		
Luzerne	----->		
Wiese, Weide	----->		
Futter- und Markstammkohl	----->		

¹⁾ Düngewirkung ist abhängig vom B-Gehalt des Bodens

Tabelle 6: Effektivität der B-Düngung zu Zuckerrübe und Raps im Düngungsjahr

Kultur	Düngungsverfahren	Anzahl Versuche	Mehrertrag (dt/ha)
Zuckerrübe	Bodendüngung 1,5 kg B/ha	25	15
	Blattapplikation 0,4 kg B/ha	32	20
Raps	Bodendüngung 1,5 kg B/ha	27	2,2
	Blattapplikation 0,4 kg B/ha	30	2,0

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.

Bei Düngemitteln, denen nur geringe Mengen an Spurennährstoffen zugesetzt werden, ist das nicht notwendig. Ihr Einsatz wird sich generell nach dem Bedarf an den jeweiligen Hauptnährstoffen richten, die zugesetzten Spurennährstoffe decken in der Regel lediglich den Entzug der Pflanzen. Eine Überkalkung des Bodens ist unbedingt zu vermeiden, weil das zu einer Reduzierung der B-Verfügbarkeit führen kann.

B-Mangel wurde in der Pflanzenproduktion bisher nur wenig in akuter Form sichtbar. Allerdings kann auch latenter Mangel (kaum sichtbare Symptome) zu Wachstums- und Ertragsminderungen sowie Qualitätseinbußen (Zucker- und Stärkegehalt) führen. Daher ist eine regelmäßige visuelle Bestandesüberwachung, insbesondere auf potenziell B-bedürftigen Standorten (vgl. Tab. 1) vorzunehmen. Sie signalisieren dem Landwirt die Notwendigkeit einer Pflanzen- bzw. Bodenanalyse, welche dann Aussagen über den Versorgungszustand gibt.

Nach Einstufung des Bodenuntersuchungsergebnisses in die entsprechende Gehaltsklasse (Tab. 3) folgt im Fall der Gehaltsklasse A und teilweise Gehaltsklasse C die Empfehlung zur Düngung. Die B-Düngermenge beim Anbau von B-intensiven Kulturen beträgt in kg/ha Reinnährstoff:

Bodenartengruppe	Bodenart	Bodendüngung (Wirkung für 3 Jahre)	Blattdüngung (jährliche Wirkung)
1 bis 5	Sand, Lehm, Ton	1,5 kg B/ha	0,4 kg B/ha

Tabelle 7: Optimaler Zeitpunkt für eine B-Blattdüngung

Kultur	Entwicklungsstadium bzw. Vegetationszeitpunkt
Rübe	Schließen der Reihen, Ende Juni
Kartoffel	Schließen der Reihen, Ende Juni
Raps, Rübsen	Knospenstadium
Luzerne, Klee	Kurz vor der Blüte
Mais	Vollendete Entwicklung des 4. Blattes, Wuchshöhe 30 bis 40 cm
Blumenkohl, Futterkohl	Ausbildung des 4. bis 7. Blattes
Sonnenblume	Ausbildung des 6. bis 8. Blattes
Getreide	Schosserstadium, Wuchshöhe 10 bis 25 cm

Dabei ist zu beachten, dass die B-Düngung innerhalb der Fruchtfolge nur zu B-intensiven Kulturen (vgl. Tab. 5) verabfolgt werden sollte, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen. Bei rechtzeitigem Erkennen der B-Unterversorgung des Bodens wird im Bedarfsfall die Bodendüngung bevorzugt. Die empfohlene B-Düngermenge sollte in keinem Fall überschritten werden, da die Spanne zwischen optimaler Düngermenge und toxisch wirkender Überdüngung bei Bor sehr gering ist.

Die Entscheidung über die Notwendigkeit einer Blattdüngung wird allgemein während der Vegetation getroffen. Vorteilhaft lässt sich eine Blattapplikation mit einer Pflanzenschutzmaßnahme oder Flüssigdüngung verbinden. Bei der Anwendung der Blattapplikation sind bestimmte Termine der Pflanzenentwicklung für eine hohe B-Wirkung zu berücksichtigen (Tab. 7).

Außer der gezielten Zufuhr B-haltiger Makronährstoffdünger oder von B-Spezialdüngern sind die mit organischen Düngestoffen und auch Aschen (rechtlich Abfall) zugeführten Mengen an Bor von Bedeutung. Nach der Mineralisation der organischen Düngestoffe im Boden trägt das freigesetzte Bor, je nach zugeführter Menge, zur Versorgung der Pflanzen bei. Nachfolgend werden Angaben zu B-haltigen Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen aufgeführt:

- | | | |
|-----------------|-----------------|----------------------------|
| • Rindergülle | (4 bis 8 % TS) | 1 bis 3 g B/m ³ |
| • Schweinegülle | (4 bis 8 % TS) | 2 bis 4 g B/m ³ |
| • Hühnergülle | (8 bis 12 % TS) | 2 bis 4 g B/m ³ |
| • Stalldung | (25 % TS) | 3 bis 6 g B/t |
| • Klärschlamm | (40 % TS) | 10 bis 100 g B/t |

Schlussfolgerungen

Niedrige B-Gehalte im Boden sind überwiegend geogen bedingt. In Thüringen sind vorrangig schwere Buntsandsteinböden (Röt) betroffen. Weiterhin muss auf leichten, humusarmen, B-armen, gekalkten und ursprünglich sauren Böden sowie auf Moorböden mit B-Mangel gerechnet werden. Der B-Versorgungszustand sollte zumindest sporadisch durch Boden- und/oder Pflanzenanalysen, insbesondere beim Anbau B-intensiver Kulturen (Rüben, Raps, Kartoffel, Luzerne, Futterkohl) kontrolliert werden, um im Fall von B-Bedarf durch gezielte Düngungsmaßnahmen Ertrags- und Qualitätseinbußen vorzubeugen.

Wird ein niedriger B-Gehalt im Boden gefunden, ist beim Anbau von B-intensiven Kulturen eine Bodendüngung von 1,5 kg B/ha (Vorratsdüngung für drei Jahre) bzw. eine jährliche Blattapplikation mit 0,4 kg B/ha zu empfehlen. Im Fall der B-Blattapplikation kann diese in Verbindung mit einer Pflanzenschutzmaßnahme oder einer Flüssigdüngung erfolgen.

Durch Wirtschaftsdünger und Klärschlammeneinsatz werden dem Boden bedeutende Mengen an Bor zugeführt.

Der B-Versorgungszustand auf potenziell durch Mangel gefährdeten Böden sollte im Abstand von sechs bis acht Jahren durch eine Untersuchung 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.