



Merkblatt

zur **Mangandüngung in der Pflanzenproduktion**

Funktion des Mikronährstoffes Mangan (Mn) in der Pflanze

Die **physiologische Bedeutung** des Mangans im Stoffwechsel der Pflanze liegt vor allem in der Fähigkeit zum Wertigkeitswechsel, in der Steuerung von Oxydations- und Reduktionsvorgängen sowie des Kohlehydrat- und Eiweißstoffwechsels. Es ist an zahlreichen **Enzymreaktionen** beteiligt, wobei die Funktionen des Mangans teilweise durch Magnesium übernommen werden können.

Chloroplastenbildung, **Chlorophyllsynthese** und der fundamentale Prozess der **Photosynthese**, also auch der Kohlehydratstoffwechsel, sind an das Vorhandensein von Mangan gebunden (Funktion bei der Wasserspaltung innerhalb der Photosynthese). So führt **Mn-Mangel** zum **Rückgang des Zucker- und Zellulosegehaltes** in der Pflanze, z. B. bei Zuckerrübe, Erdbeere, zur Verminderung des **Kohlehydratgehaltes** im Maiskorn, des **Stärkegehaltes** bei Kartoffeln, der **Fettprozent**e bei Raps, zur Reduzierung des Gehaltes an **Vitamin C** und ungesättigter Fettsäuren.

Gegenüber Mangelpflanzen besitzen ausreichend mit Mangan versorgte Pflanzen infolge ungestörter **Nitrat-** bzw. **Nitritreduktion** einen höheren **Eiweißgehalt**. Bei ausreichender Mn-Versorgung ist der **Wasserverbrauch** der Pflanzen durch funktionierende Steuermechanismen niedriger. Weiterhin besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der **Entgiftung der im Zellstoffwechsel** entstehenden toxischen Stoffwechselzwischenprodukte wie Wasserstoffperoxid u. a. und dem Mn-Angebot. Die fehlende Inaktivierung solcher Zwischenprodukte führt besonders bei hoher Lichtintensität zu den bekannten **"Dörrflecken"**.

Bei Weizen, Hafer und Mais wurde durch ausreichende Mn-Versorgung im Vergleich mit Mangelpflanzen eine erhöhte **Kälteresistenz** festgestellt. Mangan verbessert die **Resistenz** gegenüber bakteriellen Infektionen vor allem der Wurzeln sowie bei Getreide der **Halmbasis gegenüber der Halbruchkrankheit und Schwarzbeinigkeit**.

Häufig wurde nach Mn-Düngung ein verringerter **Schorfbefall** bei Kartoffeln beobachtet. Ebenso konnte nach eigenen Untersuchungen die Ausprägung von Schadsymptomen der **Milden Rübenvergilbung** bei Betarüben deutlich reduziert werden.

Die **Pflanzenverfügbarkeit des Mangans** wird durch zahlreiche Bodenfaktoren bestimmt, vor allem durch das **Redoxpotenzial**, den **Gehalt des Bodens an organischer Substanz** und ganz entscheidend durch den **pH-Wert**. Bei keinem anderen Nährstoff ist die Pflanzenverfügbarkeit in Abhängigkeit von der Bodenreaktion so deutlich ausgeprägt. So ist die Mn-Verfügbarkeit bei pH-Werten zwischen 6,5 und 7,5 infolge der in diesem Bereich hohen Bakterientätigkeit und der damit verbundenen Aufoxidation (Wertigkeitswechsel) von Mn^{2+} zu schwer verfügbaren Mn^{4+} -Oxiden am geringsten. Die Absenkung des pH-Wertes um eine Einheit erhöht z. B. die Mn-Konzentration in der Bodenlösung um das Hundertfache! Daher ist bei niedrigem pH-Wert im Boden ($< 6,0$) auch nur in Verbindung mit einem niedrigen Gesamt-Mn-Gehalt des Bodens mit Mn-Mangel zu rechnen. Insbesondere auch Trockenheit führt zur Verringerung der Pflanzenverfügbarkeit durch Aufoxidation. Bei Wiederbefeuchtung wird Mn^{4+} in die pflanzenverfügbare Form Mn^{2+} rücküberführt (Reduktion). Auch bei geringer Durchlüftung des Bodens, z. B. infolge Verdichtung und Staunässe erfolgt in starkem Maße eine Reduktion von höherwertigen Mn-Oxiden zu löslichen Mn^{2+} -Oxiden.

Mn-Mangelsymptome der Pflanzen

Mn-Mangel äußert sich zunächst in **tüpfelförmigen, blattaderfernen Chlorosen** der Blattspreiten und verursacht im Gegensatz zu Stickstoffmangel flächenhafte Blattaufhellungen. Die Blattadern bleiben, vergleichbar dem Mg-Mangel, bei Mn-Mangel noch grün, wodurch ein **nadelbaumartiges Adernmuster** entsteht.

Chlorosen und folgende Nekrosen treten überwiegend an jüngeren bis mittleren Blättern auf. Bei Gramineen knickt das Blatt im unteren Teil um und hängt schlaff mit anfangs noch grüner Spitze herab. Am bekanntesten sind die bei akutem Mn-Mangel eintretenden Nekrosen, z. B. bei Hafer, die als **"Dörrfleckenkrankheit"** bezeichnet werden. Vor allem auch auf Moorböden kann es infolge der Mn-Festlegung durch die organische Substanz zur Nekrosenbildung kommen.

Geologische Herkunft und Mn-Gehalte der Böden

Der pflanzenverfügbare Mangangehalt der Böden wird u. a. wesentlich vom geologischen Ausgangsgestein bestimmt. Daher sind Kenntnisse über den Mn-Vorrat der Böden von Bedeutung. Im Zeitraum von 1985 bis 1990 wurden hierzu umfangreiche Untersuchungen durchgeführt (Tab. 1).

Manganmangel gefährdet sind kalkhaltige, anmoorige und humose Sandböden sowie Niedermoor mit hohem pH-Wert (etwa ab pH 6,5). Mn-Mangel kann vor allem durch hohe Kalkgaben infolge Aufoxidation des Mangans in die nur schwer pflanzenverfügbare Form verursacht werden. Insbesondere tritt Mn-Mangel auch bei gut durchlüfteten humusreichen Böden in Verbindung mit Trockenheit auf.

Die Untersuchungsergebnisse lassen typische Mn-Mangelstandorte nicht erkennen. Allerdings sind alluviale und diluviale Böden weniger hoch mit Mangan versorgt als Verwitterungsböden.

Tabelle 1: Mn-Gehalte ostdeutscher Mineral- und Moorböden in Abhängigkeit von der geologischen Herkunft

Angabe als Prozentverteilung in Gehaltsklasse A (niedrig), C (mittel), E (hoch); Gehaltsklasse B und D, die bei Makronährstoffen Anwendung finden, entfallen bei der Einstufung von Mikronährstoffuntersuchungen

geologische Herkunft	natürliche Standorteinheit	vorwiegender Bodentyp	Bodenartengruppe	Anzahl untersuchter Schläge	Anteil (%) in Gehaltsklassen		
					A	C	E
Alluvium	1	Auensande	leicht	22	9	18	73
	2	Auenlehme	mittel	43	2	5	93
	3	Auentone	schwer	121	10	11	79
Diluvium	1 + 2	Sande	leicht	992	2	13	85
		Lehme	leicht	1661	1	8	91
	3 + 4	Tone	mittel	223	1	5	94
			schwer	597	2	9	89
5 + 6			47	0	13	87	
Löss	1 + 2	Schwarzerde	schwer	855	4	10	86
	3 + 4	braune Lösslehme	mittel	206	1	8	91
		schwer	299	3	17	80	
	5 + 6	braune Lösslehme ¹⁾	mittel	148	0	1	99
			schwer	121	1	1	98
Röt	V1 bis V7	-	mittel	36	0	0	100
			schwer	22	0	14	86
Buntsandstein	V 1 bis V7	-	leicht	59	0	2	98
			mittel	41	0	5	95
			schwer	43	0	5	95
Muschelkalk	V1 bis V3	-	schwer	147	0	4	96
Keuper	V 1, V2	-	schwer	59	3	14	83
Gneis	V7 bis V9	-	mittel	38	0	0	100
Schiefer	V4...V9	-	mittel	100	0	0	100
			schwer	24	5	19	76
Moor	Es liegen keine Untersuchungswerte vor.						

¹⁾ mit Anteilen diluvialer Sande und Verwitterungsböden

Richtwerte für Mn-Gehalte in Böden und Pflanzen

Zur Ermittlung des Mn-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 Mn-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 Mn 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 Mn-Gehaltes nach der **CAT-Methode** (CaCl₂/DTPA-Methode) in Abhängigkeit von der Bodengruppe und pH-Wert; Angaben in 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-Wert ohne pH- Begrenzung
	pH-Wert				pH-Wert				
	≤ 5,0	5,1 - 5,5	5,6 - 6,0	≤ 6,1	≤ 5,5	5,6 - 6,0	6,1 - 6,5	≥ 6,6	
A	< 3	< 6	< 10	< 25	< 8	< 15	< 20	< 30	< 30
C	3 - 6	6 - 10	10 - 20	25 - 50	8 - 15	15 - 25	20 - 30	30 - 50	30 - 60
E	> 6	> 10	> 20	> 50	> 15	> 25	> 30	> 50	> 60

Aus Untersuchungen der 80er Jahre geht hervor, dass in Thüringen in der Gehaltsklasse A lediglich 1 % und demzufolge in den Gehaltsklassen C und E zusammen 99 % der untersuchten Fläche vorliegen. Allerdings sind die Bodenuntersuchungsergebnisse aus den eingangs genannten Gründen der Abhängigkeit der Mn-Pflanzenverfügbarkeit von bestimmten Faktoren (pH-Wert, Humusgehalt, Feuchtegehalt des Bodens u. a.) weniger aussagefähig. Deshalb geben im Fall von Mangan die Werte der Pflanzenanalyse den Versorgungszustand der Pflanzen besser wieder und lassen fundierte Rückschlüsse bzw. Entscheidungen für Düngungsmaßnahmen zu.

Zur Wichtung der Pflanzenanalysewerte sind die als ausreichend für die optimale Pflanzenernährung betrachteten Mn-Gehalte ausgewählter Kulturen zu verschiedenen Probenahmeterminen in Tabelle 4 angegeben.

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

Kultur	Probenahmeorgan	Entwicklungsstadium (ES) bzw. Vegetationszeit		Mn-Gehalt mg/kg (ppm) i. d. TM
Zucker- rübe	Blattspreiten	Mitte Juni		42 bis 200
		Ende Juni		40 bis 200
		Ende Juli		35 bis 200
		Ende August		30 bis 200
Futter- rübe	Blattspreiten	Ende Juni		40 bis 200
		Ende Juli		35 bis 200
Wei- zen	ganze Pflanze	ES 28	8 Seitentriebe	35 bis 160
		ES 29	9 Seitentriebe	32 bis 155
		ES 31	1-Knotenstadium	30 bis 150
		ES 32-36	2 Knoten, Erscheinen des letzten Blattes	27 bis 150
		ES 37-38	Erscheinen Fahnenblatt, Fahnenblatt voll entwickelt	25 bis 150
		ES 39-45	Fahnenblatt voll entwickelt, Blattscheide am Fahnenblatt geschwollen	23 bis 140
Hafer	ganze Pflanze	ES 28	8 Seitentriebe	35 bis 150
		ES 29	9 Seitentriebe	32 bis 145
		ES 31	1-Knotenstadium	29 bis 140
		ES 32-36	2 Knoten, Erscheinen des letzten Blattes	26 bis 140
		ES 37-38	Erscheinen Fahnenblatt, Fahnenblatt voll entwickelt	23 bis 135
		ES 39-45	Fahnenblatt voll entwickelt, Blattscheide am Fahnenblatt geschwollen	20 bis 130
Feld- erbse	jüngere voll entwickelte Blätter	Blühbeginn		22 bis 54
Busch- bohne	obere voll entwickelte Blätter	Blühbeginn		32 bis 68

Mn-Bedarf der Kulturen

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

Tabelle 5: Mn-Bedarf ausgewählter Kulturen

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

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

Über Mehrerträge durch die Mn-Düngung liegen in der Literatur nur wenige Ergebnisse vor. In Feldversuchen des ehemaligen Institutes für Pflanzenernährung Jena-Zwätzen wurde die Mn-Düngewirkung zu Winterweizen geprüft. Die Mn-Blattapplikationsversuche der Jahre 1985 bis 1990 auf Thüringer Standorten zu Winterweizen ergaben Mehrerträge von 2,7 dt Korn/ha (Tab. 6).

Tabelle 6: Effektivität der Mn-Blattapplikation zu Winterweizen

Kultur	Düngungsverfahren	Anzahl Feldversuche	Mehrertrag Korn dt/ha
Winterweizen	Blattapplikation 1 kg Mn/ha	25	2.7

Hinweise zur praktischen Düngung

Gemäß Düngeverordnung (§ 4) ist der Bedarf für den Einsatz von speziellen Spurennährstoffdüngern auf der Grundlage von Boden- und/oder Pflanzenanalysen oder auf der Basis von Erfahrungswerten der Beratung zu ermitteln.

Bei Düngemitteln, in denen nur geringe Mengen an Mikronährstoffen enthalten sind, ist das nicht notwendig. Ihr Einsatz kann sich an dem Bedarf der jeweiligen Hauptnährstoffmenge orientieren, da die zugesetzte Mikronährstoffmenge in der Regel nur den Entzug der Pflanzen deckt.

Akuter Mn-Mangel wurde in der Pflanzenproduktion Thüringens ab Mitte der 1990er Jahre häufiger als zuvor beobachtet. Betroffen waren insbesondere Gerste, Weizen und Hafer, auf sehr lockeren Böden nach anhaltender Trockenheit. Jedoch kann auch latenter Mangel (keine bzw. kaum sichtbare Symptome) zu Wachstums- und Ertragsminderungen sowie Qualitätseinbußen (Absinken Zucker-, Stärke-, Fett- und Eiweißgehalt; Anstieg Nitrat-, Nitritgehalt) führen. Daher ist eine regelmäßige visuelle Bestandesüberwachung in Verbindung mit einer Pflanzenanalyse ratsam.

Mn-Mangel sollte fast ausschließlich durch Mn-Blattdüngung behoben werden. Außer auf Niedermoorböden kann auf allen anderen Böden mit pH-Werten $\leq 6,0$ auch eine Bodendüngung erfolgen, deren Ertragswirkung grundsätzlich unsicher und außerdem als kostenintensiv zu beurteilen ist.

Im Fall des Vorliegens von Bodenuntersuchungsergebnissen erfolgt bei Gehaltsklasse A und teilweise bei Gehaltsklasse C eine Empfehlung zur Düngung.

Für die jährlich erforderliche Düngung beim Anbau manganintensiver Kulturen gilt folgende Empfehlung:

Bodenartengruppe	Blattdünger	Bodendünger ¹⁾
1 bis 5	1 bis 3 mal 1 kg Mn/ha	bei pH ≤ 6 10 kg Mn/ha (Literaturangaben 7 bis 14 kg Mn/ha)

¹⁾ Zur Vorratsdüngewirkung liegen keine Angaben vor.

Voraussetzung für den Erfolg einer Mn-Düngung ist, dass die jungen Pflanzen über ausreichend Blattmasse verfügen und der Mn-Mangel noch nicht zu irreversiblen Schäden geführt hat. Vorteilhaft lässt sich eine Blattapplikation mit einer Pflanzenschutzmaßnahme oder Flüssigdüngung verbinden.

Bei der Anwendung der Blattapplikation sind bestimmte Termine der Pflanzenentwicklung für eine hohe Mn-Wirkung zu berücksichtigen (Tab. 7).

Tabelle 7: Optimaler Zeitpunkt für Pflanzenanalyse und Mn-Blattapplikation

Kultur	Entwicklungsstadium bzw. Vegetationszeitpunkt
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
Kartoffel	Schließen der Reihen, Ende Juni
Luzerne, Rotklee	Kurz vor der Blüte
Sonnenblume	6. bis 8. Blatt
Grünland, Feldgras	Wuchshöhe 10 bis 15 cm
Blumenkohl, Futterkohl	Ausbildung des 4. bis 7. Blattes

Außer der gezielten Zufuhr von Mn-Spezialdüngern oder Mn-haltiger Makronährstoffdünger sind die mit Pflanzenschutzmitteln verabreichten Mengen an Mangan häufig zur Vermeidung oder Beseitigung von schwachem Mangel ausreichend.

Auf kalkhaltigen Böden bzw. bei hohen pH-Werten des Bodens sollten physiologisch sauer wirkende (kalkzehrende) Düngemittel, wie Ammoniumsulfat, Ammoniumnitrat, Harnstoff, Superphosphat u. a. zur Anwendung kommen, wodurch einem Mangankmangel vorgebeugt oder dieser zumindest abgeschwächt wird.

Schlussfolgerungen

Niedrige Mangangehalte der Böden sind weitgehend geogen, also durch das Ausgangsgestein bedingt. In Thüringen werden Flächenanteile mit niedrigen Mn-Gehalten kaum angetroffen.

Der Versorgungszustand von Mn-intensiven Kulturen (Hafer, Weizen, Gerste, Zuckerrübe, Kartoffel, Bohne, Erbse) sollte auf potenziell gefährdeten Standorten bei ungünstigen Wachstumsbedingungen, z. B. Trockenperioden, pH-Wert > 7 durch Pflanzenanalyse kontrolliert werden, um im Fall von Mn-Bedarf durch Blattapplikationen Ertrags- und Qualitätseinbußen zu verhindern.

Bei Werten unterhalb des ausreichenden Mn-Gehaltes in der Pflanze wird die Blattapplikation (1 bis 3 Spritzungen) empfohlen. Die Aufwandmenge beträgt je Spritzung 1 kg Mn/ha. Die Blattapplikation lässt sich vorteilhaft mit einer Pflanzenschutzmaßnahme oder einer Flüssigdüngung verbinden. Mn-haltige Fungizide unterstützen die Wirkung der Mn-Blattapplikation.

Liegt ein niedriger Mn-Gehalt im Boden vor (Gehaltsklasse A), kann beim Anbau von Mn-intensiven Kulturen ausschließlich bei pH-Werten ≤ 6 auch eine Bodendüngung von 10 kg Mn/ha erfolgen. Bei höheren pH-Werten wird das gedüngte Mangan innerhalb kurzer Zeit in eine schwer pflanzenverfügbare Form festgelegt.

Auf kalkreichen Böden bzw. bei hohen pH-Werten des Bodens sollten physiologisch sauer wirkende Düngemittel, wie Ammoniumsulfat, Ammoniumnitrat, Harnstoff u. a. zum Einsatz kommen.

Jena, im November 2005

Abteilung Agrarökologie, Ackerbau und Grünland