



## ***Merkblatt***

### **zur** **Molybdändüngung in der Pflanzenproduktion**

---

#### **Funktion des Mikronährstoffes Molybdän (Mo) in der Pflanze**

Die grundsätzliche Bedeutung von Molybdän für den Stoffwechsel der Pflanze besteht in der Fähigkeit seines Wertigkeitswechsels und der hiermit verbundenen Funktionen im Enzymstoffwechsel.

Molybdän ist Bestandteil einer Reihe von Enzymen, u. a. der Nitrogenase (N-Bindung der Knöllchenbakterien) und wohl am Bekanntesten, der Nitratreduktase. Letztere besitzt essenzielle Bedeutung für die Pflanze bei der N-Ernährung und somit, im Eiweißstoffwechsel und katalysiert die Reduktion von Nitrat zu Nitrit und weiter zu Ammoniak. Im Falle von Nitraternährung der Pflanzen liegt daher ein höherer Mo-Bedarf als bei der Ammoniumernährung vor.

Bei Mo-Mangel kommt es als Folge gestörter Eiweißsynthese (Nitratanreicherung) zur Anhäufung von Zucker und Stärke, da aufgenommenes Nitrat nicht zu  $\text{NH}_3$  reduziert werden kann, das für die Bildung von Aminosäuren Voraussetzung ist. Schließlich ist bei gestörtem Eiweißstoffwechsel auch die Chlorophyllsynthese beeinträchtigt. Durch Assimilatstau verursacht kommt es also auch bei Mo-Mangel zur Bildung von Anthocyaninen mit anormaler Rotverfärbung der Pflanzen. Nitratanreicherung in Futter- und Nahrungspflanzen kann bei Mensch und Tier zu gesundheitlichen Schäden führen.

Molybdän greift als Bestandteil von Enzymen auch unmittelbar in lebenswichtige energetische Stoffwechselprozesse ein. Besonders negative Auswirkungen hat Mo-Mangel für spezielle Stoffwechselprozesse, z. B. den Phosphatstoffwechsel. Hinsichtlich der Pflanzenqualität wurde bei ausreichend mit Molybdän ernährten Pflanzen ein höherer Ascorbinsäuregehalt (Vitamin-C-Gehalt) als bei Mo-Mangelpflanzen gefunden.

Die verschiedenen Kulturen besitzen einen unterschiedlichen Mo-Bedarf und reagieren damit auch verschieden stark auf nicht ausreichende Mo-Versorgung.

## **Mo-Mangelsymptome der Pflanzen**

Allgemein treten Schadsymptome infolge Mo-Mangels im Pflanzenbau äußerst **selten** und in Abhängigkeit von den begleitenden Wachstumsbedingungen in sehr unterschiedlicher Ausprägung auf, was die visuelle Diagnose erschwert.

Da die wichtigste Funktion des Molybdäns für die Pflanze in der Nitratreduktion besteht, zeigt sich der Mo-Mangel, ähnlich dem N-Mangel, durch verminderten Wuchs und Chlorosenbildung zuerst an den älteren Blättern. Die Blattränder sterben (nekrotisieren) infolge Nitratanreicherung schnell ab, wie es mitunter bei Raps deutlich zu beobachten ist.

Mo-Mangel der Leguminosen äußert sich durch Aufhellung der älteren Blätter, verursacht durch direkten N-Mangel, da die  $N_2$ -Fixierung (symbiotische N-Bindung) durch die Rhizobien gehemmt wird. In Luzerne- und Rotkleebeständen tritt Mo-Mangel meist nur an einzelnen Stellen auf, wodurch das Feld ein scheckiges Aussehen erhält.

Bekannt sind bei akutem Mo-Mangel dikotyle Pflanzen reduzierte Blattspreiten mit oder ohne Blattrandaufwölbungen bis zur allein weiterwachsenden Blattmittelrippe (Whiptail bzw. Peitschenstielsymptome), wie sie beispielsweise an Blumenkohl beobachtet werden können. Diese Symptome entstehen zunächst an den jüngsten Blättern, was auf die geringe Beweglichkeit des Molybdäns in der Pflanze zurückzuführen ist. Bei den Kohlarten verdrehen sich häufig die Herzblätter infolge mangelnder Mo-Versorgung. Man spricht dann von der Klemmherzigkeit.

## **Geologische Herkunft und Mo-Gehalte der Böden**

Der Gehalt der Bodenlösung an Molybdationen aber auch die Mo-Gesamtgehalte der Böden sind sehr niedrig. Weitgehend geogen bedingt schwanken sie zwischen 0,3 und 5,0 ppm. Deshalb haben Kenntnisse über den natürlichen Mo-Vorrat der Böden besondere Bedeutung. Im Zeitraum 1985 bis 1990 erfolgten hierzu umfangreiche Untersuchungen (Tab. 1).

Flächen mit niedrigen Mo-Gehalten werden nahezu bei allen geologischen Herkünften vorgefunden, allerdings mit unterschiedlichen Anteilen. Sie sind vorwiegend bei leichten aber auch mittleren und schweren diluvialen Böden, Böden aus Gneisverwitterung, leichten und mittleren Buntsandsteinböden sowie bei Lösslehm und auch bei Schwarzerde, insbesondere bei Trockenheit, anzutreffen.

## **Richtwerte für Mo-Gehalte in Böden und Pflanzen**

Für die Beurteilung des Mo-Bedarfes der Pflanzen sind Boden- und Pflanzenanalyse zwei sich gegenseitig ergänzende Methoden.

Die Pflanzenverfügbarkeit des Molybdäns wird in besonders starkem Maß durch den pH-Wert des Bodens beeinflusst. Im Gegensatz zu den anderen Mikronährstoffen, wie Bor, Kupfer, Mangan und Zink, deren Verfügbarkeit mit sinkendem pH-Wert steigt, tritt Mo-Mangel fast ausschließlich nur auf Böden mit niedrigem pH-Wert auf, da die Pflanzenverfügbarkeit durch eine starke Bindung im Boden reduziert wird. Für die Beurteilung des Mo-Versorgungszustandes von Böden findet daher die so genannte Mo-Bodenzahl Verwendung (Mo-Bodenzahl ist gleich pH-Wert plus 10 mal extrahierter Mo-Gehalt). Auf der Basis der in Tabelle 2 definierten Gehaltsklassen werden die entsprechenden Richtwerte für die Bewertung der Pflanzenverfügbarkeit des Molybdäns in Tabelle 3 angegeben.

Aus den in Thüringen gezielt durchgeführten Untersuchungen in den 80er Jahren geht hervor, dass in Gehaltsklasse A mit 5 % nur geringe Anteile und demzufolge in den Gehaltsklassen C und E zusammen 95 % der untersuchten Räche vorliegen.

**Tabelle 1:** Mo-Gehalte ostdeutscher Mineralböden 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 der Mikronährstoffuntersuchungen

geologische Herkunft	natürliche Standorteinheit <sup>1)</sup>	vorwiegender Bodentyp	vorwiegende Bodenartengruppe	Anzahl untersuchter Schläge	Anteil (%) in Gehaltsklassen		
					A	C	E
Alluvium	1	Auensande	leicht	23	4	4	92
	2	Auenlehme	mittel, schwer	50 88	0 0	34 22	66 78
	3	Auentone	schwer	65	0	28	72
Diluvium	1 + 2	Sande	leicht	526	18	38	44
	3 + 4	Lehme	leicht mittel	1080 174	9 5	24 41	67 54
	5 + 6	Tone	mittel	443	5	32	63
			schwer	40	5	30	65
Löss	1 + 2	Schwarzerde	schwer	731	6	56	38
	3 + 4	braune Lösslehme	mittel schwer	203 250	1 3	21 50	78 47
		braune Lösslehme <sup>2)</sup>	mittel schwer	106 28	0 11	41 39	59 50
	5 + 6						
Röt	V1 bis V7	-	mittel	39	5	13	82
			schwer	23	0	30	70
Buntsandstein	V 1 bis V7	-	leicht	51	10	24	66
			mittel	71	5	37	58
			schwer	72	1	48	51
Muschelkalk	V1 bis V3	-	schwer	174	2	62	36
Keuper	V 1, V2	-	schwer	70	4	41	55
Gneis	V7 bis V9	-	mittel	24	10	40	50
Schiefer	V4 bis V9	-	mittel	51	2	16	82

<sup>1)</sup> SCHILLING, G.; BANNROTH, H., SCHLICHT, H.: Natürliche Standorteinheiten der landwirtschaftlichen Produktion in der DDR, 1965

<sup>2)</sup> mit Anteilen diluvialer Sande und Verwitterungsböden

**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.

**Tabelle 3:** Richtwerte (Mo-Bodenzahl) zur Bewertung des Mo-Gehaltes<sup>1)</sup> im Boden in Abhängigkeit von der Bodenartengruppe (BG) und dem pH-Wert [Angaben für BG 1 (Sand) bis 5 (Ton) in mg/kg Boden für BG 6 (Moor) in mg/l Boden natürlicher Lagerung.]

Gehaltsklasse	Molybdänbodenzahl			
	S und I'S BG 1 und 2	IS (SL) BG 3	sL/uL; tL/T BG 4 und 5	Mo BG 6
A	< 6,4	< 6,8	< 7,2	< 5,0
C	6,4 bis 7,0	6,8 bis 7,8	7,2 bis 8,2	5,0 bis 6,0
E	> 7,0	> 7,8	> 8,2	> 6,0

<sup>1)</sup> Die Bodenuntersuchung auf den Mo-Gehalt erfolgt auch weiterhin nach der Methode nach GRIGG. Die Einführung der CAT-Methode zur Mo-Bestimmung ist zurzeit nicht vorgesehen.

Ergänzend zu den Ergebnissen der Bodenuntersuchung gibt die Pflanzenanalyse den Versorgungszustand mit Molybdän wieder, der außer durch den Mo-Bodengehalt vor allem durch den Witterungsverlauf (Bodenfeuchtegehalt), Düngungsmaßnahmen (Kalkung) sowie den pH-Wert beeinflusst wird. So lassen sich mit der Pflanzenanalyse zusätzliche Informationen zum aktuellen Mo-Versorgungszustand der Pflanzen und somit zum Düngebedarf erhalten.

Für die Wichtung der Pflanzenanalyseergebnisse sind die als ausreichend für die optimale Pflanzenernährung eingestufteten Mo-Gehalte ausgewählter Kulturen zu verschiedenen Probenahmeterminen in Tabelle 4 angegeben.

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

Kultur <sup>1)</sup>	Probenahmeorgan	Entwicklungsstadium (ES) bzw. Vegetationszeit	Mo-Gehalt in mg/kg (ppm) i. d. TM
Zuckerrübe	Blattspreiten vom mittleren Blattkranz	Mitte Juni Ende Juni bis Ende Juli Ende August	0,17 bis 1,50 0,15 bis 1,50 0,15 bis 1,40
Futterrübe	Blattspreiten vom mittleren Blattkranz	Ende Juni Ende Juli	0,20 bis 1,50 0,18 bis 1,50
Winterraps	gerade voll entwickelte Blätter	Knospe klein Knospe mittel Knospe groß Blühbeginn Blüte	0,38 bis 1,00 0,36 bis 1,00 0,34 bis 1,00 0,32 bis 0,90 0,30 bis 0,90
Luzerne	ganze Pflanze	Knospenstadium Blühbeginn Blüte	0,35 bis 1,40 0,30 bis 1,40 0,28 bis 1,40
Rotklee	ganze Pflanze	Knospenstadium Blühbeginn Blüte	0,35 bis 1,40 0,30 bis 1,40 0,28 bis 1,40
Blumenkohl	mittlere Blätter ohne Stiel	Zeitpunkt Blumenbildung	0,50 bis 1,00
Kopfkohl	mittlere Blätter ohne Stiel	Zeitpunkt Kopfbildung	0,40 bis 0,70
Ackerbohne	voll entwickelte Blätter	Blühbeginn	0,40 bis 1,00

<sup>1)</sup> Richtwerte für Getreide und Mais liegen nicht vor.

### Mo-Bedarf der Kulturen

Über den Mo-Bedarf ausgewählter Kulturen informiert Tabelle 5.

In zahlreichen durchgeführten Mo-Düngungsversuchen der Jahre 1985 bis 1990 zu Blumenkohl, Futterkohl, Luzerne und Winterraps erfolgten Untersuchungen zur Ertragswirksamkeit der Boden- bzw. Blattdüngung. Bei niedriger Mo-Versorgung der Böden konnten die in Tabelle 6 genannten Mehrerträge erzielt werden.

**Tabelle 5:** Mo-Bedarf ausgewählter Kulturen

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

<sup>1)</sup> Düngewirkung ist u. a. abhängig von der Mo-Bodenzahl

**Tabelle 6:** Effektivität der Mo- Düngung zu Luzerne, Futterkohl, Blumenkohl und Raps im Düngungsjahr

Kultur	Düngungsverfahren	Anzahl der Versuche	Mehrertrag dt GE/ha
Luzerne Futterkohl Blumenkohl	Bodendüngung 0,5 kg Mo/ha	30	3,5 bis 8,1
Winterraps	Blattdüngung 40 g Mo/ha	30	1,0

### 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.

Bei Düngemitteln, welchen nur geringe Mengen an Molybdän zugesetzt wurden, ist der Düngebedarf nicht durch Boden- bzw. Pflanzenuntersuchung nachzuweisen. Der Einsatz solcher Düngemittel richtet sich generell nach dem Bedarf an dem jeweiligen Hauptnährstoff, die zugeführten Spurennährstoffe decken in der Regel lediglich den Entzug der Pflanzen. Mo-Mangel wurde in der Pflanzenproduktion bisher nur selten in akuter Form angetroffen. Allerdings kann auch latenter Mangel (keine bzw. kaum sichtbare Symptome) der häufiger auftritt, zu verminderter symbiontischer N-Bindung, eingeschränkter N-Versorgung und damit zu Wachstums- und Ertragsminderungen sowie zu Qualitätseinbußen führen. Deshalb ist eine regelmäßige Bestandesüberwachung Mo-intensiver Kulturen (vgl. Tab. 5), insbesondere auf potenziell Mo-bedürftigen Standorten (vgl. Tab. 1) vorzunehmen.

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. Sie beträgt auf allen Böden beim Anbau Mo-intensiver Kulturen für Bodendüngung 1 kg Mo/ha (dabei Boden-pH nicht unter 5,5) und für Blattdüngung 0,3 kg/ha.

Es ist zu beachten, dass die Mo-Bodendüngung zu Mo-intensiven Kulturen verabreicht wird, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen.

Noch wirkungsvoller als eine Mo-Düngung ist nach BERGMANN oftmals eine Aufkalkung, da Mo-Mangel fast ausschließlich auf Böden mit niedrigem pH-Wert auftritt. Auch eine gute Phosphatversorgung der Böden fördert die Mo-Verfügbarkeit. Der mengenmäßig sehr geringe Anspruch der Pflanzen an Molybdän (jährlicher Mo-Entzug 5 bis 12 g/ha) eröffnet zur Deckung des Bedarfes auf mangelgefährdeten Standorten die Möglichkeit der Mo-Saatgutinkrustierung.

Als wirtschaftlich sinnvolle Maßnahme wird ebenfalls die Blattdüngung mit sehr niedrigen Aufwandmengen empfohlen. In Kombination mit anderen Blattdüngungs- bzw. Pflanzenschutzmaßnahmen bietet diese weiterhin arbeitswirtschaftliche Vorteile. Bei Anwendung der Blattdüngung sind bestimmte Termine der Pflanzenentwicklung für eine hohe Mo-Wirkung zu berücksichtigen (Tab. 7).

**Tabelle 7:** Optimaler Zeitpunkt der Pflanzenanalyse bzw. Mo-Blattdüngung

Kultur	Entwicklungsstadium bzw. Vegetationszeitpunkt
Getreide	Schossenstadium, Wuchshöhe 10 bis 25 cm
Mais	Volle Entwicklung des 4. Blattes, Wuchshöhe 30 bis 40 cm
Rübe	Schließen der Reihen, Ende Juni
Kartoffel	Schließen der Reihen, Ende Juni
Raps, Rübsen	Knospenstadium
Luzerne, Klee	kurz vor der Blüte
Sonnenblume	Ausbildung des 6. bis 8. Blattes
Ackerbohne, Erbse	Ausbildung des 6. bis 8. Blattes
Grünland, Feldgras	Wuchshöhe 10 bis 15 cm
Blumenkohl, Futterkohl	Ausbildung des 4. bis 7. Blattes
Spinat	Herbst bzw. Frühjahr bei vollentwickelten Blättern

Außer der gezielten Zufuhr Mo-haltiger Makronährstoffdünger oder von Mo-Spezialdüngern sind die mit organischen Düngestoffen verabreichten Mengen an Molybdän von Bedeutung. Nach der Mineralisation der organischen Düngestoffe im Boden trägt das freigesetzte Molybdän, je nach zugeführter Menge, zur Versorgung der Pflanzen bei. Nachfolgend werden Angaben zu mittleren Mo-Gehalten von Wirtschaftsdüngern gemacht.

Rindergülle	(4 bis 8 % TS)	0,05 bis 0,12 g Mo/m <sup>3</sup>
Schweinegülle	(4 bis 8 % TS)	0,13 bis 0,20 g Mo/m <sup>3</sup>
Hühnergülle	(8 bis 12 % TS)	0,06 bis 0,15 g Mo/m <sup>3</sup>
Stalldung	(25 % TS)	0,40 Mo/t
Klärschlamm	(Trockenmasse)	0,01 bis 0,10 g Mo/t

## Schlussfolgerungen

Die Mo-Gehalte der Böden sind überwiegend durch deren geologische Herkunft, also durch das Ausgangsgestein bestimmt. In Thüringen wurden bisher nur geringe Flächenanteile mit niedrigen Mo-Gehalten durch Analysen ausgewiesen. Sie sind vorwiegend auf leichten aber auch mittleren und schweren diluvialen Böden, Böden aus Gneisverwitterung, leichten und mittleren Buntsandsteinböden, vereinzelt auch auf Lösslehm und Schwarzerde anzutreffen.

Der Mo-Versorgungszustand der Pflanze sollte zumindest sporadisch durch Boden- und/oder Pflanzenanalyse, insbesondere beim Anbau von Mo-intensiven Kulturen (Leguminosen, Raps, Kohlarten, Salat, Spinat, Tomaten) auf mangelgefährdeten Standorten mit niedrigen pH-Werten kontrolliert werden, um im Fall von Mo-Bedarf durch gezielte Düngungsmaßnahmen Ertrags- und Qualitätseinbußen entgegenzuwirken.

Liegt eine niedrige Mo-Bodenzahl vor, ist vor dem Anbau von Mo-intensiven Kulturen eine Bodendüngung von 1,0 kg Mo/ha (Vorratsdüngung für vier Jahre) bzw. eine jährliche Blattapplikation von 0,3 kg Mo/ha zu empfehlen. Im Fall der Mo-Blattapplikation kann diese in Verbindung mit einer Pflanzenschutzmaßnahme oder einer anderen Flüssigdüngung erfolgen.

Noch wirkungsvoller als eine Mo-Düngung ist im Falle unzureichender Kalkversorgung des Bodens eine Aufkalkung, da Mo-Mangel fast nur auf Böden mit niedrigem pH-Wert auftritt. Eine optimale Phosphatversorgung der Böden fördert die Mo-Verfügbarkeit. Zur Deckung des Mo-Bedarfes auf mangelgefährdeten Standorten ist auch die Methode der Mo-Saatgutinkrustierung geeignet. Durch Wirtschaftsdünger zugeführtes Molybdän deckt einen Teil des Bedarfes (in 300 dt Stalldung sind durchschnittlich 12 g Molybdän enthalten). Der Mo-Versorgungszustand auf mangelgefährdeten Standorten sollte im Abstand von sechs bis zehn Jahren durch Bodenuntersuchung überprüft werden.

Jena, im November 2005

Abteilung Agrarökologie, Ackerbau und Grünland