



Standpunkt

zum

Mikronährstoff-Düngebedarf (B, Cu, Mn, Mo, Zn)
in der Pflanzenproduktion

Besuchen Sie uns auch im Internet:

www.tll.de/ainfo

Impressum

Herausgeber: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Naumburger Str. 98, 07743 Jena
Tel.: (03641) 683-0, Fax: (03641) 683 390
eMail: Pressestelle@Jena.TLL.de

Autoren: **Dr. sc. Manfred Kerschberger**
Prof. Dr. sc. Ortwin Krause
Dr. Gerhard Marks
Dr. Wilfried Zorn

1. Auflage im November 2001

Nachdruck – auch auszugsweise - nur mit Quellenangabe gestattet.

1 Problematik und Zielstellung

Für eine Reihe von Nährelementen weisen die Kulturpflanzen nur einen geringen Bedarf auf. Dazu zählen die sogenannten Mikronährstoffe (Spurenelemente). Mangelt es jedoch an diesen bzw. ist deren ausreichende Aufnahme behindert, kann das zu erheblichen Wachstumsdepressionen führen.

Als essentielle Mikronährstoffe haben Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän und Zink in der Pflanzenernährung besondere Bedeutung. Sie sind bereits in kleinsten Mengen hocheffizient wirksam und können im ertragreichen Pflanzenbau zum Minimumfaktor, d. h. ertragsbegrenzend werden. Das mitunter erwähnte Eisen ist in der allgemeinen Feldwirtschaft von untergeordneter Bedeutung.

Ziel des Standpunktes ist es, das sachgerechte Ableiten von Mikronährstoffdüngempfehlungen, welche die differenzierte Mikronährstoffversorgung der Böden und den unterschiedlichen Bedarf der Pflanzen berücksichtigen, aufzuzeigen.

Die Mehrheit der Böden verfügt geogen bedingt über ausreichende pflanzenverfügbare Mikronährstoffgehalte und ermöglicht mittel- bis langfristig auch ohne Düngung dieser Nährelemente hohe Erträge. Die Düngung mit diesen Nährstoffen war deshalb in der Vergangenheit nur auf bestimmten Standorten, z. B. Kupfer und Mangan auf Niedermoor, und beim Anbau besonders anspruchsvoller Kulturen zu beachten. Unterdessen sind auch auf anderen Standorten infolge jährlich hoher Erträge, d. h. entsprechender Entzüge an diesen Nährstoffen, die Reserven im Boden beansprucht worden und die Gehalte im Boden für ein optimales Pflanzenwachstum mitunter nicht mehr ausreichend.

Eine Mikronährstoffzufuhr könnte insbesondere aus nachstehend genannten Ursachen verstärkte praktische Bedeutung erhalten:

- Steigende Pflanzenerträge bedingen erhöhte Mikronährstoffentzüge und somit optimale Pflanzenverfügbarkeit (Mobilität) dieser Nährstoffe im Boden.
- Erhöhte Makronährstoff- und auch Kalkdüngergaben können Ionenkonkurrenzen zu Mikronährstoffen bewirken und deren Pflanzenverfügbarkeit beeinflussen.
- Es werden zunehmend hochprozentige Makronährstoffdünger eingesetzt.
- Rückgang und auch Konzentration der Viehbestände auf weniger Standorte führten zu geringerer bzw. nur punktförmiger Ausbringung organischer Dünger und zur Abnahme der Flächen mit kontinuierlichem Rückfluss von Mikronährstoffen aus Wirtschaftsdüngern.
- Es erfolgt zunehmende Erforschung zur Bedeutung ausreichender Mikronährstoffgehalte der Pflanzen für die Ernährung von Tier und Mensch.

In der Anlage wird der Standpunkt ergänzt durch:

- Richtwerte zur Bewertung der Mikronährstoffgehalte des Bodens,
- Richtwerte für ausreichende Mikronährstoffgehalte in der Pflanze,
- Mikronährstoffbedarf der Kulturen,
- Praktische Hinweise zur Düngung.

2 Funktionen der Mikronährstoffe in der Pflanze und Mikronährstoffmangelsymptome

2.1 Allgemeine Funktionen der Mikronährstoffe

Der Wirkungsmechanismus der Mikronährstoffe beruht in erster Linie auf der Aktivierung und Regulation verschiedener Pflanzenenzyme, z. T. sind sie auch integrierte Bestandteile im Stoff- und Energiestoffwechsel der Pflanzen.

In vielfältiger Form sind Mikronährstoffe am Gesamtprozess der Photosynthese beteiligt. Die Konkurrenz der Mikronährstoffe um Einbaustellen in organische Moleküle ist die grundlegende Ursache dafür, dass sie bei niedrigen Konzentrationen auf Stoffwechselforgänge fördernd (katalytisch), bei höheren Konzentrationen hemmend (inhibierend) wirken können.

Ein weiterer entscheidender Gesichtspunkt für die zunehmende Beachtung der Mikronährstoffgehalte ist der Zusammenhang zwischen der Mikronährstoffversorgung und der Krankheitsresistenz der Kulturpflanzen. Diese Wirkung erklärt sich aus der Funktion der Mikronährstoffe als Katalysator oder als Baustein bei der Synthese von Abwehrfermenten.

Für die praktische Pflanzenernährung ist es entscheidend, dass das Mikronährstoffangebot dem Bedarf der Pflanze folgt.

Die Versorgung der Pflanzen mit Mikronährstoffen ist häufig dadurch gestört, dass pflanzenaufnehmbare Verbindungen im Boden in eine Form überführt werden, in der sie für die Pflanzen nicht oder nur schwer verfügbar sind. In der Folge können mannigfaltige Mangelerscheinungen auftreten. Je nach Grad der Unterversorgung unterscheidet man zwischen akutem Mangel mit teils typischen Schadsymptomen und latentem Mangel mit geringer Wachstumsminderung, die visuell nicht zu erkennen ist.

Durch Änderung von Bodenbedingungen (Verdichtung, Vernässung, Trockenheit u. a.) oder einseitige Düngungsmaßnahmen, wie zu hohe Aufkalkung leichter Böden oder wiederholte Anwendung alkalisch bzw. sauer wirkender Düngemittel kann es einerseits zu Mangel und andererseits zu Überschuss an einzelnen Mikronährstoffen kommen. Im sauren Bereich steigt die Pflanzenverfügbarkeit (mit Ausnahme von Molybdän) an, so dass phytotoxische Wirkungen eintreten können. Im alkalischen Milieu sinkt die Pflanzenverfügbarkeit von Bor, Kupfer, Mangan und Zink, weil sie als schwer lösliche Hydroxide oder Karbonate festgelegt werden.

Ein zeitweiser Mangel an Mikronährstoffen ist auch bei relativ „guter“ Versorgung der Böden möglich, wenn ungünstige Bedingungen, z. B. Trockenheit, mit wachstumsintensiven Phasen zusammentreffen.

2.2 Spezielle Funktionen der Mikronährstoffe und typische Mangelsymptome

Bor: Die Wirkungen des Bors in der Pflanze beziehen sich insbesondere auf die Prozesse der Zell- und Gewebeentwicklung. Bor hat außerdem Bedeutung für: Nukleinsäurestoffwechsel, Eiweißsynthese, Energiestoffwechsel, Zucker- und Stärkebildung sowie Frostresistenz. Auch die Regulation von Wasserhaushalt, Stofftransport, Blütenbildung und Befruchtung sowie die Resistenz gegenüber Krankheiten, z. B. Getreidemehltau, Weizenrost und Kartoffelschorf sind an das Vorhandensein von Bor gebunden.

Typische B-Mangelsymptome sind z. B.: gehemmtes Wachstum der Sprossspitze (nach kurzer Zeit unter schwarzbrauner Verfärbung absterbend), verstärktes Austreiben von Achselknospen, verminderte Internodienstreckung (Rosettenbildung), Verdickung und Aufplatzen des Stängels.

Bekannte B-Mangelkrankheiten: Herz- und Trockenfäule bei Rüben, Glasigkeit und Braunherzigkeit bei Brassica-Arten.

Kupfer: Wesentliche Aufgabe des Kupfers im pflanzlichen Stoffwechsel ist seine enzymatische Wirksamkeit bei Oxydationsvorgängen. Etwa 70 % des Kupfers der Pflanze befinden sich in den stoffwechselaktiven jungen Blättern (Beteiligung an der Photosynthese). Da Kupfer in der Pflanze kaum verlagert wird, äußert sich eine Unterversorgung stets zuerst an jungen Blättern. 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 ist insbesondere entscheidend für die Pollenfertilität von Weizen, fördert die Ausbildung von Früchten und Samen. Es beeinflusst auch den Eiweißgehalt von Backweizen und somit dessen Backqualität positiv. Kupfer fördert des Weiteren die Bildung des Wachstumsstoffes Phytoalexin, der das pathogene Pilzwachstum hemmt und beeinflusst somit die Krankheitsresistenz.

Typische Cu-Mangelsymptome sind z. B.: bei Gramineen frühzeitige Welke der jüngsten Blätter mit Chlorose und Weißverfärbung („Weißspitzigkeit“), Blätter knicken ab („Wegweiserstellung“), Hemmung des Ährenschiebens, ungenügende Ausbildung bzw. Taubheit der Ähren und Rispen („Weißährigkeit“), bei Dikotylen Einrollen der Blätter und Welke unter Aufhellung sowie Nekrotisierung der Interkostalfelder („Spitzendürre“ bei Obstbäumen).

Mangan: Die physiologische Bedeutung des Mangans im Stoffwechsel der Pflanze liegt vor allem in seiner Fähigkeit zum Wertigkeitswechsel, wodurch Oxydations- und Reduktionsvorgänge sowie der Kohlehydrat- und Eiweißstoffwechsel gesteuert werden. Mangan ist an zahlreichen Enzymreaktionen beteiligt, wobei Mangan und Magnesium sich z. T. vertreten können. Chloroplastenbildung, Chlorophyllsynthese und die HILL-Reaktion der Photosynthese, also auch der Kohlehydratstoffwechsel, sind an das Vorhandensein von Mangan gebunden. Mn-Mangel führt vor allem zum Rückgang der Kohlehydrat-, Fett- und Vitamin-C-Gehalte. Bei Gramineen wurde bei ausreichender Mn-Versorgung gegenüber Mn-Mangelpflanzen eine erhöhte Resistenz gegenüber Frost und Krankheiten festgestellt.

Typische Mn-Mangelsymptome sind z. B.: gelb gescheckte Blätter (Tüpfelchlorose), graue bis graubraune, z. T. rötlich umrandete Streifen- oder Fleckennekrosen im unteren Blattteil bei Gramineen; das Blatt knickt ab

und hängt mit anfangs noch grüner Spitze schlaff herab („Dörrfleckenkrankheit“). Bei dikotylen Pflanzen an mittleren Blättern netzartige Interkostalchlorosen, in deren Zentrum gelbweiße bis braune Nekrosen entstehen, die zu größeren Flecken zusammenfließen; die Adern der Blätter mit angrenzendem Saum bleiben grün.

Molybdän: Die grundsätzliche Bedeutung von Molybdän für den Stoffwechsel der Pflanze besteht in seiner Fähigkeit zur Wertigkeitsänderung und damit verbundenen Funktionen im Enzymstoffwechsel. Molybdän ist Bestandteil einer Reihe von Enzymen, u. a. der Nitrogenase (N-Bindung der Knöllchenbakterien) und der Nitratreduktase. Letztere besitzt essentielle Bedeutung für die Pflanze bei der N-Ernährung und somit im Eiweißstoffwechsel. Sie katalysiert die Reduktion von Nitrat zu Nitrit und weiter zu Ammoniak. Diese Prozesse sind im Fall von Mo-Mangel gestört. Die Folgen sind Nitratanreicherung und beeinträchtigte Chlorophyll- sowie Aminosäuresynthese. Der eintretende Assimilatstau verursacht die Bildung von Anthocyaninen mit anormaler Rotverfärbung der Pflanzen.

Typische Mo-Mangelsymptome sind z.B.: Chlorosen (beginnend an älteren Blättern) und nekrotisierende Blattränder (Nitratanreicherung). Bei Leguminosen erfolgt Aufhellung der älteren Blätter, verursacht durch direkten N-Mangel, da die N_2 -Fixierung durch Rhizobien gehemmt ist. Bei anderen dikotylen Pflanzen sind an jüngeren Blättern reduzierte Blattspreiten, z. T. mit Blattrandaufwölbungen bis zur allein weiterwachsenden Mittelrippe (Whiptailsymptome) und hakenförmig missgebildete Blätter (Klemmherzigkeit), beispielsweise bei Blumenkohl zu erkennen.

Zink: Die physiologische Bedeutung des Zinks liegt in seiner Funktion als Bestandteil zahlreicher Enzyme bzw. seinem Einfluss auf Enzymreaktionen (Atmungsstoffwechsel, Photosynthese). Als Bestandteil von Enzymen für die Eiweißsynthese werden bei Zn-Mangel dem N-Mangel ähnliche Symptome sichtbar (Verminderung des Chlorophyll- und Eiweißgehaltes, Anreicherung von Nitrat in der Pflanze). Beteiligt ist Zink bei der Bildung von Wuchsstoffen (β -Indolyllessigsäure, Auxin). So bewirkt Zn-Mangel Störungen des Teilungs- und Differenzierungswachstums (Hemmung bzw. Stillstand der Zellteilung in Wurzel- und Sprossspitzen, gehäuftes Auftreten von Mykosen und Virose).

Typisches Zn-Mangelsymptom ist z. B.: gestauchter Spross (Zwergwuchs, Rosettenbildung). Bevorzugt an älteren Blättern erfolgt chlorotische Fleckenbildung mit hellen, nekrotischen Läsionen (bei Mais neben nekrotischen Flecken hellgelbe bis weiße Längsstreifen zwischen den Adern).

3 Richtwerte für Mikronährstoffgehalte in Böden und Pflanzen

Zur Ermittlung des Mikronährstoffbedarfes der Pflanzen sind - wie auch bei Makronährstoffen - die Boden- und Pflanzenanalyse zwei sich ergänzende Methoden.

3.1 Bodenuntersuchung

Sie ermöglicht Aussagen über die Nährstoffreserven im Boden und ist eine wesentliche Grundlage zur Düngebedarfsermittlung. Da die Beziehungen zwischen dem Mikronährstoffgehalt des Bodens und der Versorgung der Pflanze infolge anderweitiger Einflussfaktoren weniger eng sind als bei Makronährstoffen, werden für die Gruppierung des Mikronährstoffversorgungsniveaus im Boden nur drei Gehaltsklassen (A, C, E) als ausreichend angesehen (Übersicht).

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

Gehaltsklasse	Düngungsempfehlung
A sehr niedriger / 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 / optimaler Gehalt im Boden	Eine Mikronährstoffdüngung wird nur dann zu mikronährstoffintensiven Kulturen empfohlen, wenn nicht bereits durch andere Faktoren die laufende Mikronährstoffversorgung gewährleistet wird (z. B. organische Düngung, Veränderung des pH-Wertes im Boden durch Kalkzufuhr oder physiologisch saure Düngemittel).
E hoher / sehr hoher Gehalt im Boden	Bei allen Kulturen reichen die Mikronährstoffgehalte im Boden für hohe Erträge aus. Düngung ist nicht erforderlich.

Die Mikronährstoffuntersuchung der Böden erfolgt bis heute in den einzelnen Bundesländern überwiegend mit Hilfe verschiedener elementspezifischer Labormethoden. Für Ostdeutschland sind dies:

- Bor: Heißwassermethode nach BERGER und TRUOG
- Kupfer: Salpetersäureextraktion nach WESTERHOFF, für carbonatreiche Böden in der Modifikation nach KRÄHMER und WITTER
- Mangan: Sulfit-pH 8-Methode nach SCHACHTSCHABEL
- Molybdän: Ammoniumoxalat/Oxalsäure-Methode nach GRIGG
- Zink: EDTA-Methode nach TRIERWEILER und LINDSAY

Die Anwendung verschiedener Analysenverfahren zur Extraktion der einzelnen Nährelemente setzt auch spezielle Richtwerte für die elementspezifischen Labormethoden voraus. Die Richtwerte sind in Tabelle 1 der Anlage enthalten. Diese Bestimmung der Mikronährstoffgehalte ist mit einem hohen analytischen Aufwand im Labor und relativ hohen Kosten verbunden, weshalb ein Multiextraktionsverfahren, mit dem mehrere Mikronährstoffe gemeinsam zu extrahieren sind, große Vorteile bietet. Von ALT und Mitarbeitern wurde 1992 die sogenannte CAT-Methode (Extraktionsmittel: 0,01 M CaCl_2 + 0,002 M DTPA) zur Untersuchung gärtnerischer Erden und Substrate vorgeschlagen, bei der im gleichen Lösungsmittel eine Vielzahl von Nährelementen, darunter auch Mikronährstoffe analysiert werden können. Die Fachgruppe Bodenuntersuchung des VDLUFA hat die Einsatzmöglichkeit des Verfahrens für landwirtschaftlich genutzte Böden geprüft und seine Eignung bestätigt.

Für die landwirtschaftliche Praxis ergibt sich durch die Anwendung der neuen Untersuchungsmethode ein erheblicher Kostenvorteil, da nun in einem Extrakt die Bestimmung der vier Mikronährstoffe Bor, Kupfer, Mangan und Zink möglich ist. Die Endbestimmung erfolgt für die angegebenen Elemente mittels ICP bzw. alternativ für Bor photometrisch (Azomethin-Verfahren) sowie für Kupfer, Mangan und Zink mittels AAS. Zur Einstufung der Gehalte an Bor, Kupfer, Mangan und Zink im Boden für die bereits in mehreren Bundesländern eingeführte CAT-Methode sind Richtwerte in der Tabelle 2 der Anlage angegeben. Die Richtwerte zur Bewertung des Mo-Gehaltes im Boden lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor, sodass zunächst nach der bisherigen Standardmethode von GRIGG zu verfahren ist.

3.2 Pflanzenanalyse

Ergänzend zu den Ergebnissen der Bodenuntersuchung geben die Werte der Pflanzenanalyse den tatsächlichen Versorgungszustand der Pflanze an Mikronährstoffen wieder. So lassen sich mit Pflanzenanalysen zusätzliche Schlussfolgerungen zum Mikronährstoffdüngbedarf ableiten. Das ist vor allem bei den Nährelementen der Fall, deren Pflanzenverfügbarkeit im Boden durch bestimmte Faktoren (z.B. pH-Wert, Bodenfeuchte) erheblich beeinflusst wird. Zur Erfassung des Mn-Versorgungszustandes der Kulturen sollte daher vorrangig die Pflanzenanalyse verwendet werden, weil sich aus dem Mn-Bodengehalt häufig keine verlässlichen Aussagen über die pflanzenverfügbare Menge ableiten lassen. Für die Bewertung der Pflanzenanalyseergebnisse sind Angaben zu ausreichenden Mikronährstoffgehalten in verschiedenen Kulturpflanzen zu wichtigen Probenahmetermi- nen in Tabelle 3 der Anlage zusammengestellt.

4 Mikronährstoffgehalte der Böden

Wie auch bei anderen Nährstoffen wird der Mikronährstoffgehalt der Böden durch deren geologische Herkunft beeinflusst. Aus den über Jahrzehnte sporadisch und systematisch (u. a. in den 80er Jahren in Ostdeutschland) durchgeführten Bodenuntersuchungen lassen sich für die Düngungspraxis orientierende Aussagen über sogenannte „Mangelstandorte“ ableiten. Diese sind nicht in jedem Fall düngedürftig, geben aber Anlass für eine orientierende Bodenuntersuchung in der betreffenden Region. Diesbezüglich sind für die einzelnen Mikronährstoffe folgende Standorte zu nennen:

- Bor: leichte alluviale und diluviale sandige Böden in Regionen mit hohen Niederschlagsmengen; gekalkte leichte und humusarme, ursprünglich saure Böden; Böden des unteren und mittleren Buntsandsteins
- Kupfer: Anmoor- und Moorböden, humose Sandböden, Keuper- und Muschelkalkböden
- Mangan: kalkhaltige anmoorige und humose Sandböden sowie spezielle Moorböden mit pH-Werten > 6,5; überkalkte leichte bis mittlere Böden; humusreiche und gut durchlüftete Böden in Verbindung mit Trockenheit

- Molybdän: diluviale Böden, leichte und mittlere Buntsandsteinböden, versauerte Lössböden und auch Schwarzerde
- Zink: diluviale mittelschwere Böden, Keuperböden, Böden mit sehr hohen P- und Humusgehalten in Verbindung mit hohen pH-Werten.

5 Mikronährstoffbedarf und Düngung der Kulturen

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 zugesetzten Mikronährstoffe in der Regel nur den Entzug der Pflanzen decken.

Die Kulturpflanzen, aber auch deren Sorten, besitzen unterschiedliche Ansprüche an die Mikronährstoffversorgung. Hierfür sind sowohl der allgemeine Nährelementbedarf als auch die Effizienz bei den verschiedenen Kulturen entscheidend. Deshalb gilt folgende Gruppierung bezüglich der Mikronährstoffbedürftigkeit:

- Kulturen mit niedrigem Düngebedarf,
- Mikronährstoffintensive Kulturen mit mittlerer Düngewirkung bzw. mittlerem Düngebedarf,
- Mikronährstoffintensive Kulturen mit hoher Düngewirkung bzw. hohem Düngebedarf, wobei die Düngewirkung in jedem Fall vom Nährelementgehalt des Bodens abhängig ist.

Zusammenfassend kann aus zahlreichen Feldversuchen folgende grobe Abschätzung für Kulturen mit hohem Bedarf an den einzelnen Nährelementen vorgenommen werden:

Bor: Winterraps, Zucker- und Futterrüben, Luzerne, Kohlarten, Sonnenblumen

Kupfer: Weizen, Gerste, Hafer, Lein, Sonnenblume, Luzerne

Mangan: Weizen, Hafer, Zucker- und Futterrüben, Erbsen, Bohnen

Molybdän: Luzerne, Rotklee, Kohlarten

Zink: Mais, Lein, Hopfen

Mikronährstoffintensive Kulturen sollten bei niedrigen Gehalten im Boden (GK A) eine gezielte Bodendüngung, Ausnahme Mangan, mit speziellen Mikronährstoffdüngern vor der Aussaat erhalten. Blattdüngung wird generell für Mangan und für die Nährelemente Bor, Kupfer, Molybdän und Zink bei beobachtetem Mangel während der Vegetation bzw. auch unter ungünstigen Wachstumsbedingungen zur Absicherung der Versorgung mikronährstoffintensiver Kulturen auf GK C empfohlen. Insbesondere bei Molybdän aber auch Zink kommt der Mikronährstoffanlagerung an das Saatgut Bedeutung zu.

Einen detaillierten Überblick zum elementbezogenen Mikronährstoffbedarf und der gegebenenfalls erforderlichen Düngung der verschiedenen Kulturen gibt Tabelle 4 der Anlage.

Die folgenden Tabellen informieren über den mittleren Mikronährstoffentzug von Ackerkulturen bei hohem Ertragsniveau (Tab. 5), die Mikronährstoffgehalte wichtiger organischer Düngestoffe (Tab. 6), die elementspezifischen Empfehlungen zur Boden- oder Blattdüngung (Tab. 7) sowie den optimalen Zeitpunkt für Pflanzenanalyse und Blattapplikation (Tab. 8).

Anlagen

Tabelle 1: Richtwerte zur Bewertung der Mikronährstoffgehalte des Bodens

Gehaltsklassen zur Einstufung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Ackerland, Gemüse, Obst, Hopfen Angaben für Bodenartengruppe (BG) 1 bis 5 in mg/kg Boden, für BG 6 in mg/l Boden in natürlicher Lagerung										
Bor										
Gehaltsklasse	S Sand BG 1	I'S schwach lehmiger Sand BG 2	IS stark lehmiger Sand BG 3	sL/uL und tL/T sandiger schluff. Lehm, toniger Lehm bis Ton BG 4 und BG 5	Mo Anmoor und Moor BG 6					
A	<0,15	<0,20	<0,25	<0,35	<0,15					
C	0,15 bis 0,25	0,20 bis 0,30	0,25 bis 0,40	0,35 bis 0,60	0,15 bis 0,25					
E	>0,25	>0,30	>0,40	>0,60	>0,25					
Kupfer, abhängig vom Humusgehalt										
Gehaltsklasse	<4% Humus		\$4% Humus		Humusgehalt wird nicht berücksichtigt					
	S und I'S BG 1 und BG 2		S und I'S BG 1 und BG 2		IS BG 3	sL/uL und tL/T BG 4 und BG 5	Mo BG 6			
A	<1,5		<2,0		<2,0	<4,0	<2,0			
C	1,5 bis 3,5		2,0 bis 4,5		2,0 bis 4,5	4,0 bis 8,0	2,0 bis 4,0			
E	>3,5		>4,5		>4,5	>8,0	>4,0			
Mangan, abhängig vom pH-Wert										
Gehalts- klasse	S und I'S BG 1 und 2		IS BG 3			sL/uL; tL/T BG 4 und 5	Mo BG 6			
	<i>pH-Werte</i>									
	< 5,0	5,0 bis 5,8	> 5,8	< 5,5	5,5 bis 6,4	> 6,4	pH unbegrenzt	# 5,5	> 5,5	
A	< 2	< 5	< 10	< 5	< 10	< 15	< 20	< 5	< 10	
C	2 bis 4	5 bis 10	10 bis 20	5 bis 10	10 bis 15	15 bis 25	20 bis 30	5 bis 15	10 bis 20	
E	> 4	> 10	> 20	> 10	> 15	> 25	> 30	> 15	> 20	
Molybdän, als Mo-Bodenzahl = pH-Wert + (10 x Mo/kg Boden)										
Gehalts- klasse	Molybdän, als Mo-Bodenzahl = pH-Wert + (10 x Mo/kg Boden)				Zink					
	S und I'S BG 1 und 2		IS BG 3	sL/uL;tL/T BG 4 u. 5	Mo BG 6	S und I'S BG 1 u. 2	IS; sL/uL; tL/T BG 3 bis 5	Mo BG 6		
A	< 6,4		< 6,8	< 7,2	< 5,0	< 1,0	< 1,5	< 0,6		
C	6,4 bis 7,0		6,8 bis 7,8	7,2 bis 8,2	5,0 bis 6,0	1,0 bis 2,5	1,5 bis 3,0	0,6 bis 1,5		
E	> 7,0		> 7,8	> 8,2	> 6,0	> 2,5	> 3,0	> 1,5		
Gehaltsklassen zur Einstufung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Grünland Angaben für Bodenartengruppe (BG) 1 bis 5 in mg/kg Boden, für BG 6 in mg/l Boden in natürlicher Lagerung										
Kupfer, abhängig vom Humusgehalt										
Gehalts- klasse	< 4% Humus		\$ 4% Humus		Humusgehalt wird nicht berücksichtigt					
	S und I'S, BG 1 und BG 2		S und I'S, BG 1 und BG 2		IS, BG 3	sL/uL, BG 4	tL/T, BG 5	Mo, BG 6		
A	< 1,5		< 2,0		< 2,0	< 4,0	< 4,0	< 2,0		
C	1,5 bis 3,5		2,0 bis 4,5		2,0 bis 4,5	4,0 bis 8,0	4,0 bis 8,0	2,0 bis 4,0		
E	> 3,5		> 4,5		> 4,5	> 8,0	> 8,0	> 4,0		
Mangan, abhängig vom pH-Wert										
Gehalts- klasse	S und I'S, BG 1 und 2			IS, BG 3			sL/uL; tL/T, BG 4 und 5	Mo, BG 6		
	<i>pH-Werte</i>									
	< 5,0	5,0 bis 5,8	> 5,8	# 5,5	5,6 bis 6,4	> 6,4	nicht begrenzt	# 5,5	> 5,5	
A	< 2	< 5	< 10	< 5	< 10	< 15	< 20	< 5	< 10	
C	2 bis 4	5 bis 10	10 bis 20	5 bis 10	10 bis 15	15 bis 25	20 bis 30	5 bis 15	10 bis 20	
F	> 4	> 10	> 20	> 10	> 15	> 25	> 30	> 15	> 20	
Untersuchungsmethode:										
B: Heißwasserextraktion nach BERGER und TRUOG										
Cu: HNO ₃ -Methode nach WESTERHOFF										
Mn: Sulfit-pH 8-Methode nach SCHACHTSCHABEL										
Mo: Methode nach GRIGG										
Zn: EDTA-Methode nach TRIERWEILER und LINDSAY										
Für B, Mo und Zn existieren keine Richtwerte für Grünland!										

Tabelle 2: Richtwerte für Mikronährstoffgehalte in Ackerböden - CAT-Methode; Angaben für Bodenartengruppen (BG)

Bor (mg/kg Boden)

Gehaltsklasse	S BG 1	I'S BG 2	IS BG 3	sL/uL und t'L/T BG 4 und 5
pH-Wert # 6,0 ^{*)}				
A	< 0,10	< 0,12	< 0,15	< 0,20
C	0,10 bis 0,15	0,12 bis 0,18	0,15 bis 0,25	0,20 bis 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 bis 0,25	0,20 bis 0,30	0,25 bis 0,40	0,35 bis 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 Aufkalkung die B-Analyse nach der CAT-Methode durchzuführen.

Kupfer (mg/kg Boden) Böden der BG 1 bis 3 < 4 % Humus; BG 4 und 5 ohne Begrenzung des Humusgehaltes

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2	IS BG 3	sL/uL und t'L/T BG 4 und 5	
	ohne pH-Wert-Begrenzung		pH < 7,0	pH ≥ 7,0
A	< 1,0	< 1,2	< 2,0	< 1,2
C	1,0 bis 2,0	1,2 bis 2,5	2,0 bis 4,0	1,2 bis 2,5
E	> 2,0	> 2,5	> 4,0	> 2,5

Mangan (mg/kg Boden)

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2			IS BG 3			sL/uL u. t'L/T BG 4 und 5
	pH-Wert						ohne pH-Begrenzung
	< 5,0	5,0 bis 5,8	> 5,8	< 5,5	5,5 bis 6,4	> 6,4	
A	< 3	< 10	< 25	< 8	< 20	< 30	< 30
C	3 bis 6	10 bis 20	25 bis 50	8 bis 15	20 bis 30	30 bis 50	30 bis 60
E	> 6	> 20	> 50	> 15	> 30	> 50	> 60

Zink (mg/kg Boden)

Gehaltsklasse	S und I'S BG 1 und 2	IS, sL/uL u. t'L/T BG 3 bis 5
A	< 1,0	< 1,5
C	1,0 bis 2,5	1,5 bis 3,0
E	> 2,5	> 3,0

Tabelle 3: Pflanzenanalyse - Richtwerte für ausreichende Nährstoffgehalte in der Pflanze zur Kontrolle des Ernährungszustandes während der Vegetation

MIKRONÄHRSTOFFE (für die Richtwerte existieren)				
Probenahme-Organ: ganze Pflanze (Angaben in mg/kg Trockenmasse)				
WINTERWEIZEN				
Entwicklungsstadium (ES) nach BBCH	Cu	Mn	Zn	Cu/N- Quotient (Cu ppm/N %)
ES 28	5,5 bis 17,0	35 bis 160	28 bis 80	> 1,1
ES 29	5,2 bis 16,5	32 bis 155	25 bis 80	> 1,2
ES 31	5,0 bis 16,0	30 bis 150	22 bis 70	> 1,2
ES 32 bis 36	4,6 bis 15,0	27 bis 150	19 bis 70	> 1,3
ES 37 bis 38	4,3 bis 14,0	25 bis 150	18 bis 65	> 1,3
ES 39 bis 41	4,0 bis 13,5	23 bis 140	17 bis 65	> 1,4
ES 42 bis 45	3,8 bis 13,0	20 bis 140	16 bis 65	> 1,4
SOMMERWEIZEN				
Entwicklungsstadium nach BBCH	Cu	Mn	Zn	-
ES 28	5,5 bis 17,0	40 bis 160	28 bis 80	
ES 29	5,2 bis 16,5	35 bis 155	25 bis 80	
ES 31	5,0 bis 16,0	30 bis 150	22 bis 70	
ES 32 bis 36	4,6 bis 15,0	28 bis 150	19 bis 70	-
ES 37 bis 38	4,3 bis 14,0	25 bis 150	18 bis 65	
ES 39 bis 41	4,0 bis 13,5	20 bis 140	17 bis 65	
ES 42 bis 45	3,8 bis 13,0	20 bis 140	16 bis 65	
WINTERGERSTE und SOMMERGERSTE				
Entwicklungsstadium nach BBCH	Cu	Mn	Zn	-
ES 28	5,0 bis 16,5	28 bis 150	25 bis 75	
ES 29	4,7 bis 16,0	27 bis 145	22 bis 75	
ES 31	4,5 bis 15,5	26 bis 140	19 bis 65	
ES 32 bis 36	4,3 bis 15,0	25 bis 140	17 bis 65	-
ES 37 bis 38	4,0 bis 14,5	24 bis 135	16 bis 60	
ES 39 bis 41	3,7 bis 14,0	23 bis 130	15 bis 60	
ES 42 bis 45	3,7 bis 13,0	22 bis 130	14 bis 60	
WINTERROGGEN				
Entwicklungsstadium nach BBCH	Mn		Zn	
ES 28	35 bis 150		25 bis 75	
ES 29	32 bis 145		22 bis 75	
ES 31	29 bis 140		19 bis 65	
ES 32 bis 36	26 bis 140		17 bis 65	
ES 37 bis 38	23 bis 135		16 bis 60	
ES 39 bis 41	20 bis 130		15 bis 60	
ES 42 bis 45	18 bis 130		14 bis 60	
HAFER				
Entwicklungsstadium nach BBCH	Cu	Mn	Zn	-
ES 28	5,0 bis 16,5	35 bis 150	25 bis 75	
ES 29	4,7 bis 16,0	32 bis 145	22 bis 75	
ES 31	4,5 bis 15,5	29 bis 140	19 bis 65	
ES 32 bis 36	4,3 bis 15,0	26 bis 140	17 bis 65	-
ES 37 bis 38	4,0 bis 14,5	23 bis 135	16 bis 60	
ES 39 bis 41	3,7 bis 14,0	20 bis 130	15 bis 60	
ES 42 bis 45	3,7 bis 13,0	18 bis 130	14 bis 60	
TRITICALE				
Entwicklungsstadium nach BBCH	Cu	Mn	Zn	-
ES 28	5,5 bis 17,0	35 bis 155	27 bis 80	
ES 29	5,2 bis 16,5	32 bis 150	24 bis 80	
ES 31	5,0 bis 16,0	30 bis 145	21 bis 70	
ES 32 bis 36	4,6 bis 15,0	27 bis 145	18 bis 70	-
ES 37 bis 38	4,3 bis 14,0	24 bis 140	17 bis 65	
ES 39 bis 41	4,0 bis 13,5	22 bis 135	16 bis 65	
ES 42 bis 45	3,8 bis 13,0	19 bis 135	15 bis 65	

Tabelle 3: Pflanzenanalyse - Richtwerte für ausreichende Nährstoffgehalte in der Pflanze zur Kontrolle des Ernährungszustandes während der Vegetation

MIKRONÄHRSTOFFE (für die Richtwerte existieren)					
Probenahme-Organ: ganze Pflanze (Angaben in mg/kg Trockenmasse)					
WINTERRAPS					
Entwicklungsstadium	B	Mn	Mo	-	
Knospe klein	15 bis 50	30 bis 150	0,38 bis 1,00	-	
Knospe mittel	16 bis 60	28 bis 150	0,36 bis 1,00		
Knospe groß	18 bis 60	25 bis 150	0,34 bis 1,00		
Blühbeginn	19 bis 60	22 bis 150	0,32 bis 0,90		
Blüte	20 bis 50	20 bis 150	0,30 bis 0,90		
KARTOFFELN					
Probenahme-Organ: voll entwickelte Blätter					
Entwicklungsstadium	B	Mn	Zn	-	
Knospentadium	20 bis 60	40 bis 200	23 bis 80	-	
Blühbeginn	25 bis 70	35 bis 200	20 bis 80		
Blühende	21 bis 50	35 bis 200	18 bis 70		
Knollenbildung	21 bis 50	30 bis 200	15 bis 70		
SILOMAIS					
Probenahme-Organ: mittlere Blätter (zur Blüte), Kolbenblätter					
Entwicklungsstadium	B	Cu	Mn	Zn	
40 bis 60 cm	7 bis 30	5,5 bis 17,0	40 bis 160	22 bis 70,00	
Rispenstadien	15 bis 90	5,2 bis 16,5	35 bis 150	22 bis 70,00	
Blüte (weiblich)	6 bis 60	5,0 bis 16,0	30 bis 150	22 bis 60,00	
GRÄSER					
Ausdauerndes Weidelgras, Welsches Weidelgras, Einjähriges Weidelgras, Knaulgras, Wiesenlieschgras, Wiesenschwingel					
Probenahme-Organ: ganze Pflanze					
	Cu		Mn		
Blühbeginn	5,0 bis 15,0		28 bis 140		
ZUCKERRÜBE					
Probenahme-Organ: Blatt-Spreiten					
Termin	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Mitte Juni	28 bis 90	5,7 bis 17,5	42 bis 200	0,17 bis 1,50	27 bis 80
Ende Juni	31 bis 100	5,5 bis 17,0	40 bis 200	0,15 bis 1,50	25 bis 80
Ende Juli	35 bis 120	5,2 bis 16,5	35 bis 200	0,15 bis 1,50	22 bis 70
Ende August	31 bis 100	5,0 bis 16,0	30 bis 200	0,15 bis 1,40	18 bis 60
FUTTERRÜBE (Gehaltrübe, Massenrübe)					
Termin	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Ende Juni	28 bis 200	5,0 bis 15,0	40 bis 200	0,20 bis 1,50	20 bis 80
Ende Juli	33 bis 200	4,8 bis 12,0	35 bis 200	0,18 bis 1,50	18 bis 70
LUZERNE					
Probenahme-Organ: ganze Pflanze					
Entwicklungsstadium	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Knospentadium	30 bis 80	7,0 bis 20,0	35 bis 150	0,35 bis 1,40	25 bis 70
Blühbeginn	33 bis 80	6,0 bis 18,0	30 bis 150	0,30 bis 1,40	22 bis 70
Blüte	30 bis 80	6,0 bis 18,0	28 bis 140	0,28 bis 1,40	20 bis 70
ROTKLEE					
Entwicklungsstadium	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Knospentadium	20 bis 60	7,0 bis 20,0	35 bis 150	0,35 bis 1,40	25 bis 70
Blühbeginn	24 bis 60	6,0 bis 18,0	30 bis 150	0,30 bis 1,40	22 bis 70
Blüte	20 bis 60	6,0 bis 18,0	28 bis 140	0,28 bis 1,40	20 bis 70

Tabelle 4: Mikronährstoffbedarf der Kulturen

	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Getreide und Mais					
Winter- und Sommerweizen	0	2	2	0	0
Winter- und Sommerroggen	0	1	1	0	0
Winter- und Sommergerste, Getreidegemenge	0	2	1	0	0
Hafer	0	2	2	1	0
Körnermais, Silomais, Grünmais	1	1	1	0	2
Hülsenfrüchte					
Erbse, Trockenspeisebohne, Wicke	0	0	2	1	0
Ackerbohne	1	1	0	1	1
Lupine	2	0	0	1	0
Öl- und Faserpflanzen					
Raps, Rübsen	2	0	1	1	0
Senf	1	0	0	1	0
Mohn	2	0	0	0	0
Lein	1	2	0	0	2
Sonnenblume	2	2	1	0	0
Hanf	1	0	0	1	0
Gemüsearten					
Blumenkohl	2	1	1	2	0
Bohne	0	0	2	1	2
Grünkohl	2	1	1	1	0
Gurke	0	1	2	0	0
Kohlrabi	2	0	0	1	0
Speisekohlrübe	2	0	1	1	0
Möhre	1	2	1	0	0
Radies, Rettich	1	1	2	1	0
Rot-, Weißkohl	2	1	1	1	0
Rote Rübe	2	2	2	1	1
Kopfsalat, Spinat	1	2	2	2	0
Sellerie	2	1	1	0	0
Schnittpetersilie	0	1	0	0	0
Tomate	1	1	1	1	1
Zwiebel	0	2	2	0	1
Hackfrüchte					
Kartoffel	1	0	1	0	1
Rübe	2	1	2	1	1
Stoppel-, Kohlrübe	2	0	1	1	0
Futtermöhre	1	2	1	0	0
Futterrübe Stecklinge	2	1	2	1	1
Kohlrübe Vermehrung	2	0	1	1	0
Futterpflanzen					
Rotklee, Rotklee gras	1	1	1	2	1
Luzerne gras, Futtergräser, Wiese, Weide	0	1	1	0	0
Luzerne	2	2	1	2	1
Futter-, Markstammkohl	2	0	1	2	0

0 = niedriger Bedarf an diesem Mikronährstoff

1 = Mikronährstoffintensive Kultur mit mittlerer Düngewirkung bzw. mittlerem Düngebedarf

2 = Mikronährstoffintensive Kultur mit hoher Düngewirkung bzw. hohem Düngebedarf

Tabelle 5: Mittlere Mikronährstoffentzüge bei einem Ertragsniveau von 50 bis 70 dt GE/ha

Mikronährstoff	Entzug in g/ha
Bor	150 bis 200
Kupfer	70 bis 120
Mangan	400 bis 800
Molybdän	5 bis 12
Zink	250 bis 350
Eisen	500 bis 1500

Tabelle 6: Mikronährstoffgehalte organischer Düngestoffe

Element	Rindergülle 4 bis 8 % TS	Schweinegülle 4 bis 8 % TS	Hühnergülle 8 bis 12 % TS	Stallung FS	Klärschlamm TS
	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/t	g/t
Bor	1 bis 3	2 bis 4	2 bis 4	3 bis 6	10 bis 100
Kupfer	2 bis 6	4 bis 20	2 bis 5	2 bis 5	12 bis 6800
Mangan	8 bis 25	10 bis 30	30 bis 50	30 bis 60	60 bis 4300
Molybdän	50 bis 120 ¹⁾	130 bis 200 ¹⁾	60 bis 150 ¹⁾	400 ²⁾	10 bis 100 ²⁾
Zink	10 bis 20	15 bis 70	15 bis 50	50 bis 300	180 bis 2000

¹⁾ mg/m³

²⁾ mg/t

Tabelle 7: Empfehlung zur Mikronährstoffdüngung

Mikronährstoff	Bodenarten- gruppe (BG)	Bodenart	Blattdüngung	Bodendüngung
Bor	1	Sand	0,4 kg / ha	1,5 kg B / ha (Wirkung für 3 Jahre)
	2 bis 5	schwach lehmiger Sand bis Ton		2,3 kg B / ha (Wirkung für 3 Jahre)
Kupfer	1 bis 6	Sand, Lehm, Ton, Moor	1,0 kg Cu / ha	5,0 kg Cu / ha (Wirkung für 4 Jahre)
Mangan	1 bis 6	Sand, Lehm, Ton, Moor	1 bis 3 mal 1,0 kg Mn / ha	bei pH ≤ 6 10,0 kg Mn / ha ¹⁾
Molybdän	1 bis 5	Sand, Lehm, Ton	0,3 kg Mo / ha	1,0 kg Mo / ha (Wirkung für 3 Jahre)
Zink	1 plus 2	Sand plus schwach lehmiger Sand	0,3 kg Zn / ha	6,0 kg Zn / ha (Wirkung für 3 Jahre)
	3 bis 5	stark lehmiger Sand bis Ton		16,0 kg Zn / ha (Wirkung für 3 Jahre)

¹⁾ Es liegen keine Angaben über Vorratsdüngung vor.

Tabelle 8: Optimaler Zeitpunkt der Pflanzenanalyse bzw. der Mikronährstoffblattapplikation

Kultur	Entwicklungsstadium bzw. Vegetationszeitpunkt
Getreide	Schösserstadium, Wuchshöhe 10 bis 15 cm
Mais	Volle Entwicklung des 4. Blattes, Wuchshöhe 30 bis 40 cm
Rübe	Schließen der Reihen, Ende Juni bis Anfang Juli
Kartoffel	Schließen der Reihen, Anfang Juni
Raps, Rübsen	Knospenstadium
Ackerbohne, Erbse	6- bis 8-Blattstadium
Sonnenblume	Ausbildung 6. bis 8. Blatt
Lein	Wuchshöhe etwa 20 cm
Luzerne, Rotklee	Kurz vor der Blüte
Grünland, Feldgras	Wuchshöhe 10 bis 15 cm
Blumenkohl, Futterkohl	Ausbildung 4. bis 7. Blatt
Spinat	Herbst bzw. Frühjahr bei voll entwickelten Blättern