



# Mikronährstoffe

in der Landwirtschaft und im Gartenbau

Bedeutung – Mangelsymptome – Düngung



Bestellungen der Broschüre  
richten Sie bitte an:



Bundesarbeitskreis Düngung (BAD)  
Mainzer Landstr. 55  
60329 Frankfurt/Main  
Telefon (069) 2556-1265/-1598  
Telefax (069) 2556-1298  
service.iva@vci.de  
[www.duengung.net](http://www.duengung.net)

## MIKRONÄHRSTOFFE IN DER LANDWIRTSCHAFT UND IM GARTENBAU BEDEUTUNG – MANGELSYMPTOME – DÜNGUNG

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Einleitung (Trott) .....                                                                                       | 3  |
| 2. Die Mikronährstoffe (Wissemeier) .....                                                                         | 4  |
| 3. Funktionen der Mikronährstoffe (Wissemeier) .....                                                              | 8  |
| 4. Die Pflanzenverfügbarkeit der Mikronährstoffe im Boden (Wissemeier) .....                                      | 15 |
| 5. Diagnose der Mikronährstoffversorgung von Kulturpflanzen (Gondolf) .....                                       | 18 |
| 6. Applikation von Mikronährstoffen (Gondolf) .....                                                               | 20 |
| Nährstoffversorgung über den Boden .....                                                                          | 21 |
| Nährstoffversorgung über das Blatt .....                                                                          | 22 |
| Fertigation .....                                                                                                 | 23 |
| Saatgutbehandlung .....                                                                                           | 23 |
| 7. Mikronährstoffmangel und Düngung landwirtschaftlicher Kulturen (Orlovius) .....                                | 24 |
| Getreide .....                                                                                                    | 25 |
| Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer .....                                                                    | 25 |
| Mais .....                                                                                                        | 29 |
| Hackfrüchte .....                                                                                                 | 31 |
| Kartoffeln .....                                                                                                  | 31 |
| Zuckerrüben .....                                                                                                 | 33 |
| Blattfrüchte .....                                                                                                | 35 |
| Winterraps .....                                                                                                  | 35 |
| Leguminosen .....                                                                                                 | 37 |
| Grünland .....                                                                                                    | 39 |
| 8. Mikronährstoffmangel und Düngung bei Sonderkulturen (Alexander) .....                                          | 40 |
| Obstkulturen .....                                                                                                | 40 |
| Kern-, Stein-, Beerenobst .....                                                                                   | 40 |
| Gemüsekulturen .....                                                                                              | 47 |
| Blatt-, Kohl-, Wurzel- und Fruchtgemüse .....                                                                     | 47 |
| Weinbau .....                                                                                                     | 50 |
| Hopfen .....                                                                                                      | 51 |
| Zierpflanzen – Baumschule – Rasen (Alexander und Wissemeier) .....                                                | 52 |
| Zierpflanzenbau .....                                                                                             | 52 |
| Baumschule .....                                                                                                  | 53 |
| Rasen .....                                                                                                       | 53 |
| 9. Mikronährstoffe in der Nahrungskette als Spurenelemente für Mensch und Tier<br>(Paeffgen und Wissemeier) ..... | 54 |
| 10. Glossar und Abkürzungsverzeichnis .....                                                                       | 60 |
| 11. Literatur und Bildnachweis .....                                                                              | 62 |

**Herausgeber:**

Bundesarbeitskreis Düngung (BAD)  
Mainzer Landstr. 55  
60329 Frankfurt am Main

2. Auflage 2013

**Geschrieben von:**

Dr. A. Alexander, Aglukon Spezialdünger GmbH & Co. KG, Düsseldorf  
Dr. N. Gondolf, YARA GmbH & Co. KG, Dülmen  
Dr. K. Orlovius, K+S Kali GmbH, Kassel  
Dr. S. Paeffgen, Kemira GrowHow S.A./N.V., Wavre (Belgien)  
Dr. H. Trott, BAD, Frankfurt/M.  
Prof. Dr. A. H. Wissemeier, BASF AG, Agrarzentrum Limburgerhof

**Redaktion und Koordination:**

Dr. H. Trott, BAD, Frankfurt/M.

# 1 Einleitung

Die alten Griechen gingen davon aus, dass Pflanzen sich von der organischen Substanz des Bodens, dem Humus, ernähren (Aristoteles). Erst im Laufe des 19. Jahrhunderts setzte sich die Erkenntnis durch, dass es sich bei den Nährstoffen der Pflanzen um Mineralstoffe handelt. Das Wissen, welche Mineralstoffe für das Gedeihen der Pflanzen lebensnotwendig sind, konnte allerdings erst im 20. Jahrhundert abgeschlossen werden. Neben den so genannten Haupt- bzw. Makronährstoffen Stickstoff (N), Phosphat (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Schwefel (S) gehören dazu auch die Mikronährstoffe Bor (B), Chlor (Cl), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Nickel (Ni) und Zink (Zn). Die so genannten Mikronährstoffe, auch Spurennährstoffe genannt, werden von Pflanzen nur in äußerst geringen Mengen benötigt. Sie kommen nur in „Spuren“ in der pflanzlichen Biomasse vor. Entsprechend gering ist die Nährstoffmenge, die dem Boden von Kulturpflanzen entzogen wird. Es handelt sich nur um Größenordnungen von wenigen Gramm pro ha.

Im Zuge steigender Ertrags- und/oder Qualitätsanforderungen bei Kulturpflanzen, insbesondere bei Obst, Gemüse und Ackerkulturen, kann latenter sowie akuter Mangel an Mikronährstoffen schnell zum begrenzenden Faktor eines lohnenden Pflanzenbaus werden. Unter anderem führt der Mangel eines Nährstoffes dazu, dass die Pflanze auch die in ausreichender Menge vorhandenen anderen Nährstoffe nicht optimal für Wachstum und Entwicklung nutzen kann. Ziel der Düngung sollte daher die ausgewogene Versorgung der Pflanzen mit Makro- und Mikronährstoffen sein, was heißt, dass die Nährstoffe je nach Pflanzenbedarf in ausreichender Menge und im richtigen Verhältnis zueinander gedüngt werden.

Zur Versorgung der Pflanze mit Mikronährstoffen steht heute eine Vielzahl von Spezialdüngern zur Verfügung. Durch ihre Anwendung ist es möglich, akuten Nährstoffmangel auch während der Vegetationszeit zu beheben oder gezielt die Qualität des Erntegutes zu verbessern. Was Mikronährstoffe anbelangt, sind besonders Blattdünger hervorzuheben, bei denen die Nährstoffe über das Blatt aufgenommen werden und damit direkt wirksam sind.

Der sachgerechte Einsatz von Mikronährstoffen erfordert grundlegende Kenntnisse über die Nährstoffdynamik im System Boden – Pflanze. Diese Kenntnisse sind notwendig, um auf Basis von Pflanzen- und Bodenanalysen Empfehlungen für die Düngung abzuleiten. An dieser Stelle sei auf die besondere Bedeutung der Pflanzenanalyse hingewiesen, da sie bei Mikronährstoffen oftmals indikativer ist als die Bodenuntersuchung.

Die vorliegende Broschüre richtet sich an Beratung und Praxis, aber auch an Auszubildende, Studierende und Ausbilder.

Sie enthält grundlegende Informationen über die Bedeutung der Mikronährstoffe vom Acker- bis zum Zierpflanzenbau. Ausgehend von der Dynamik der Nährstoffe im System Boden – Pflanze und dem Nährstoffbedarf wichtiger Kulturen werden Auswirkung von Mangel beschrieben und Hinweise zur praktischen Düngung gegeben. Der fachlich fundierte Überblick, den die Broschüre zum Thema Mikronährstoffe vermitteln will, schließt mit einem Kapitel über Aspekte der Ernährung von Tier und Mensch mit essenziellen Mineralstoffen ab.

## 2 Die Mikronährstoffe

Höhere Pflanzen benötigen für ungestörtes Wachstum und die Vollendung ihres Lebenszyklus die 14 Mineralstoffe, die in Tabelle 1 aufgelistet sind. Dies sind die Pflanzennährstoffe. Nicht als Pflanzennährstoffe im engeren Sinn werden Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bezeichnet, die die Pflanzen in Form von Wasser und CO<sub>2</sub> aufnehmen. Jeder der 14 Nährstoffe ist spezifisch in seiner Funktion und kann durch keinen anderen Mineralstoff ersetzt werden. Daher ist jeder Pflanzennährstoff „gleich wichtig“, da unverzichtbar. Ein Begriff wie „essenzieller Pflanzennährstoff“ ist deshalb nicht besser als der Ausdruck „runder Kreis“. Deutlich unterschiedlich sind die Mengen und Gehalte einzelner Mineralstoffe, die die Pflanzen zum Wachstum benötigen. Die Bezeichnung Makronährstoffe für N, P, K, Ca, Mg, und S sowie Mikronährstoffe für B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni und Zn trägt diesem Umstand Rechnung.

Die Mikronährstoffe Mo und Ni könnten dabei auch als „Ultramikronährstoffe“ bezeichnet werden, da sie sich von den anderen Mikronährstoffen hinsichtlich der notwendigen Gehalte in der Pflanze nochmals um Größenordnungen unterscheiden. Synonym zu Mikronährstoffen wird zuweilen auch von Spurennährstoffen gesprochen.

Worin sich einzelne Nährstoffe stark unterscheiden, ist deren Düngebedürftigkeit. Diese ist für die Makronährstoffe der Menge nach deutlich größer als für Mikronährstoffe. Für einzelne Mikronährstoffe wie Cl oder Ni fehlt bislang auch jede Düngebedürftigkeit in Mitteleuropa. Die in der Natur vorkommende Verbreitung dieser beiden Nährstoffe in Böden deckt den Bedarf der Pflanzen. Zudem wird Cl zumeist mit K-haltigen Düngemitteln ausgebracht, wie Düngemittel auch Spuren von Ni enthalten können. Die im Allgemeinen fehlende Düngebedürftigkeit von Cl und Ni trifft selbst für erdelose Kulturverfahren zu, bei denen die Pflanzen mit Nährlösungen ernährt werden. Größenordnungen der Entzüge von Mikronährstoffen pro ha mit der Ernte sind in Tabelle 2 für Weizen und Zuckerrübe zusammengestellt. Die dem Entzug gegenüberstehenden Gesamtvorräte an Mikronährstoffen im Boden sind demgegenüber vergleichsweise hoch. Entscheidend für die Ernährung der Pflanze ist allerdings nur der jeweils lösliche und daher aufnehmbare Anteil an Nährstoff, der um Dimensionen niedriger liegt. Die wesentlichen Stoffflüsse von Mikronährstoffen in einem Agrarökosystem gibt Abbildung 1 wieder. Die Komplexbildung und Chelatisierung spielt dabei im Boden für die Mobilisierung, Beweglichkeit und Aufnahme kationischer Mikronährstoffe (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni) eine besondere Rolle.

| Element                 |    | Gehalt<br>[mg/kg TM] | Gehalt als relative<br>Anzahl an Atomen |
|-------------------------|----|----------------------|-----------------------------------------|
| <b>Makronährstoffe:</b> |    |                      |                                         |
| Stickstoff              | N  | 15.000               | 1.000.000                               |
| Kalium                  | K  | 10.000               | 250.000                                 |
| Calcium                 | Ca | 5.000                | 125.000                                 |
| Magnesium               | Mg | 2.000                | 80.000                                  |
| Phosphor                | P  | 2.000                | 60.000                                  |
| Schwefel                | S  | 1.000                | 30.000                                  |
| <b>Mikronährstoffe:</b> |    |                      |                                         |
| Chlor                   | Cl | 100                  | 3.000                                   |
| Eisen                   | Fe | 100                  | 2.000                                   |
| Mangan                  | Mn | 50                   | 1.000                                   |
| Bor                     | B  | 20                   | 2.000                                   |
| Zink                    | Zn | 20                   | 300                                     |
| Kupfer                  | Cu | 6                    | 100                                     |
| Molybdän                | Mo | 0,1                  | 1                                       |
| Nickel                  | Ni | < 0,1                | <1                                      |

Tab. 1: Die Pflanzennährstoffe, deren chemische Symbole und die durchschnittlichen Gehalte in der pflanzlichen Trockenmasse des Sprosses, die für das Wachstum notwendig sind (Marschner 1995).

|                                                            | Fe                  | Mn             | Zn          | Cu          | B          | Mo        |
|------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|-------------|-------------|------------|-----------|
| <b>Nährstoffentzug [kg/ha und Jahr]</b>                    |                     |                |             |             |            |           |
| <b>Weizen</b>                                              |                     |                |             |             |            |           |
| Korn + Stroh                                               | 0,96                | 0,60           | 0,39        | 0,066       | 0,054      | 0,004     |
| Korn                                                       | 0,42                | 0,24           | 0,30        | 0,030       | 0,024      | 0,002     |
| <b>Zuckerrübe</b>                                          |                     |                |             |             |            |           |
| Rüben + Blatt                                              | 0,80                | 0,60           | 0,30        | 0,075       | 0,48       | 0,005     |
| Rüben                                                      | 0,50                | 0,35           | 0,18        | 0,045       | 0,30       | 0,003     |
| <b>Gesamte Nährstoffmenge [kg/ha in 20 cm Krumentiefe]</b> |                     |                |             |             |            |           |
|                                                            | 20.000 -<br>120.000 | 300 -<br>1.500 | 20 -<br>200 | 10 -<br>100 | 3 -<br>100 | 1 -<br>10 |
|                                                            | Fe                  | Mn             | Zn          | Cu          | B          | Mo        |

Tab. 2: Mittlere Entzüge ausgewählter Mikronährstoffe mit dem Erntegut durch Weizen (65 dt Kornertrag pro ha) und Zuckerrübe (600 dt Rüben-ertrag pro ha) sowie Größenordnungen der Gesamtmengen in 0-20 cm Bodentiefe (Zusammenstellung nach verschiedenen Quellen).

Die pflanzenbauliche Bedeutung von Mikronährstoffen, und im Einzelfall deren Notwendigkeit einer gezielten Düngung, ist in den letzten Jahren gestiegen. Hierfür gibt es eine Reihe von Gründen:

1. Höhere Erträge bedingen höhere Entzüge von Mikronährstoffen.
2. Verringerte Zufuhr von Mikronährstoffen durch:
  - Anwendung reinerer, hochkonzentrierter Mineraldünger.
  - Lokalen Rückgang der Viehhaltung, was zu einem verminderten Rückfluss von Mikronährstoffen aus der Tierhaltung mit Wirtschaftsdüngern führt.
  - Geringere Einträge an Mikronährstoffen über Immissionen durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung.
  - Veränderungen bei Pflanzenschutzmitteln (Verbot bestimmter metallorganischer Verbindungen sowie Zn-, Mn- oder Cu-haltiger Fungizide).
3. Höheres Düngungsniveau mit Makronährstoffen (N, P, K):
  - Gefahr geringerer Durchwurzelung des Bodens: dadurch vermindertes Aneignungsvermögen der Pflanzen für Mikronährstoffe.
  - Erhöhte Ionenkonkurrenz zu Mikronährstoffen bei der Nährstoffaufnahme.
4. Ungünstige Beeinflussung der Verfügbarkeit von Mikronährstoffen im Boden durch Kulturmaßnahmen wie Kalkung, Entwässerung, oder Bodenlockerung.

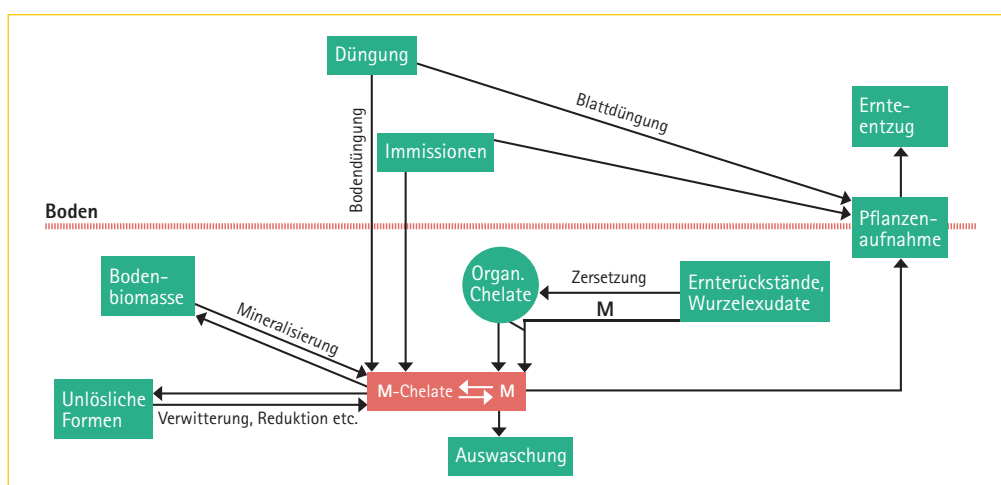


Abb. 1: Stoffflüsse von Mikronährstoffen (M) in Agrarökosystemen (Stevenson 1986, modifiziert).

5. Gegebenenfalls ein geringeres Aneignungsvermögen neu gezüchteter Sorten für Mikronährstoffe.
6. Die Bedeutung von Mikronährstoffen, wie z. B. Mn, Zn, Cu oder Mo für die Resistenz von Pflanzen gegenüber biotischen oder abiotischen Stressfaktoren.
7. Der Beitrag von Mikronährstoffen für die äußere und innere Qualität pflanzlicher Produkte (z. B. B, Fe, Zn).

Die beiden letztgenannten Aspekte „Stresstoleranz“ von Pflanzen und „Qualität pflanzlicher Produkte“ wird zunehmend erkannt und ist Gegenstand aktueller Forschung. Beispielhaft sei die Bedeutung von Mn bei der Abwehr bestimmter pilzlicher Erkrankungen, die Bedeutung von B für die Lagerfähigkeit von Obst oder die Bedeutung des Zn-Status von Samen für deren Vitalität und Keimfähigkeit genannt.

Wird ein Mikronährstoffmangel nicht behoben, verschlechtert sich im Allgemeinen auch die Ausnutzung von Makronährstoffen durch die Pflanze, was insbesondere für Stickstoff von erheblicher ökologischer und ökonomischer Relevanz sein kann.

Im globalen Maßstab ergibt sich zudem eine steigende Bedeutung der Ernährung von Kulturpflanzen mit Mikronährstoffen, da in Regionen mit hohem Bevölkerungsdruck verstärkt die Tendenz besteht, die landwirtschaftliche Nutzfläche auf extreme Standorte mit geringem Angebot oder geringer Verfügbarkeit von Mikronährstoffen auszudehnen.

Im Zusammenhang mit agrarischer Produktion auf extremen Standorten ist auch darauf hinzuweisen, dass es bei Mikronährstoffen – im Gegensatz zu Makronährstoffen – in Einzelfällen auch zu Situationen von Überversorgung bis hin zur Toxizität kommen kann. Mn-Toxizität bei Pflanzen auf extrem sauren Standorten und/oder in Verbindung mit Wasserüberstau sowie B-Toxizität in einzelnen Regionen der Welt sind hierfür Beispiele. Zn-Toxizität kann ein Problem sein, wenn Nährlösungen mit verzinkten Metallteilen in Kontakt kommen oder Regenwasser von verzinkten Metallteilen undichter Gewächshausdächer auf Pflanzen tropft.

Neben den Mikronährstoffen sei auch noch kurz auf die sogenannten „nützlichen“ Mineralstoffe für die Pflanze hingewiesen und „wertgebende“ Mineralstoffe für den Menschen erwähnt, die keine Pflanzennährstoffe sind.

#### Nützliche Mineralstoffe

„Nützliche“ Mineralstoffe für die Pflanze sind solche, die (i) wachstumsfördernd unter bestimmten Umständen sind, ohne essenziell zu sein, oder (ii) nur für ganz bestimmte Pflanzenarten essenziell sind, oder (iii) nur in bestimmten Ernährungssituationen der Pflanze essenziell sind. Beispiele für den ersten Fall (i) sind Natrium (Na) bei natrophilen (Na-liebenden) Pflanzen, Silizium (Si), das bei sehr hohem Mn-Angebot Mn-Toxizität einschränkt oder besondere Fälle, in denen das ansonsten wurzelgiftige Aluminium (Al) bei einem niedrigem Ca-Angebot dessen Funktion teilweise ersetzt und so förderlich auf das Wachstum wirken kann. Der zweite Fall (ii) trifft z. B. auf Si zu, das für Reis Nährstoffcharakter besitzt. (iii) Kobalt (Co) ist essenziell für Rhizobien. Für Leguminosen, die in ihrer N-Ernährung ausschließlich auf die  $N_2$ -Fixierung aus der Luft angewiesen sind, wäre demnach dann auch Co essenziell.

### Wertgebende Mineralstoffe

Pflanzen nehmen nicht nur die Pflanzennährstoffe und „nützlichen“ Mineralstoffe auf, sondern in Abhängigkeit vom Angebot im Boden oder Substrat ein darüber hinausgehendes Spektrum an Mineralstoffen. Für die Human- und Tierernährung ist das von Vorteil, ja geradezu die Voraussetzung für die gemeinsame Entwicklungsgeschichte von Pflanzen und Tieren, da eine größere Anzahl an Mineralstoffen für Menschen und Säugetiere essenziell ist. Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang Jod, Selen, Lithium, Silizium, Chrom, Fluor und Kobalt, die für den Menschen allein oder in ihren Verbindungen als essenziell ausgewiesen sind (Tab. 3). Umgekehrt wird B, das für Pflanzen ein Nährstoff, also essenziell ist, für Mensch und Tier allenfalls als nützlich klassifiziert (Nielsen 2000).

Wertgebend für die Human- und Tierernährung sind insbesondere die pflanzlichen Mikronährstoffe Zn und Fe, die regional und in Abhängigkeit der Verzehrgeohnheiten und -möglichkeiten insbesondere auch für den Menschen im Mangel sein können (Frossard et al. 2000). Am Ende der Broschüre werden im 8. Kapitel diese Aspekte behandelt und dabei auch auf J und Se eingegangen. Gerade was Se anbelangt, wird dessen Bedeutung für das menschliche Immunsystem und die Krebsprophylaxe zunehmend erkannt.

| Nährstoff  |    | Bakterien,<br>Algen, Pilze,<br>niedere Pflanzen | höhere Pflanzen | Mensch |
|------------|----|-------------------------------------------------|-----------------|--------|
| Stickstoff | N  | x                                               | x               | x      |
| Phosphor   | P  | x                                               | x               | x      |
| Schwefel   | S  | x                                               | x               | x      |
| Kalium     | K  | x                                               | x               | x      |
| Magnesium  | Mg | x                                               | x               | x      |
| Eisen      | Fe | x                                               | x               | x      |
| Mangan     | Mn | x                                               | x               | x      |
| Zink       | Zn | x                                               | x               | x      |
| Kupfer     | Cu | x                                               | x               | x      |
| Chlor      | Cl | x                                               | x               | x      |
| Nickel     | Ni | ?                                               | x               | x      |
| Calcium    | Ca | x (nicht Pilze)                                 | x               | x      |
| Molybdän   | Mo | -                                               | x               | x      |
| Bor        | B  | -                                               | x               | ((x))  |
| Chrom      | Cr | -                                               | -               | x      |
| Selen      | Se | -                                               | -               | x      |
| Lithium    | Li | -                                               | -               | x      |
| Kobalt     | Co | -                                               | -               | x      |
| Jod        | J  | -                                               | -               | x      |
| Fluor      | F  | -                                               | -               | x      |
| Silizium   | Si | -                                               | -               | x      |
| Natrium    | Na | -                                               | -               | x      |

Tab. 3: Die mineralischen Nährstoffe verschiedener Organismen (McClendon 1976; Pfannhauser 1988, modifiziert).

### 3 Funktionen der Mikronährstoffe

Alle Mikronährstoffe sind, abgesehen von B, das als strukturelle Komponente von Zellwänden eine Sonderstellung einnimmt, Bestandteile von Enzymen oder an enzymatischen Reaktionen direkt beteiligt (Tab. 4). Die Anzahl an Enzymen, an denen der einzelne Mikronährstoff struktureller Bestandteil ist oder deren Aktivität vom Mikronährstoff beeinflusst wird, ist zwischen Mikronährstoffen unterschiedlich. So ist für Ni die Urease das einzige zur Zeit bekannte pflanzliche Enzym, dessen Bestandteil Ni ist. Eine ganze Reihe von Enzymen besitzt dagegen Fe im katalytischen Zentrum. Von mindestens 35 Enzymen ist bekannt, dass sie von Mn in ihrer Aktivität beeinflusst werden. Es ist davon auszugehen, dass das Wissen um die Funktionen einzelner Mikronährstoffe bei weitem noch nicht vollständig ist. Die erst in jüngster Zeit erzielten Fortschritte bei B als strukturbildendem Bestandteil der Pektinsubstanz der Zellwände sind ein Beleg hierfür. Einen anderen mittelbaren Hinweis liefert Ni. Dessen Funktion könnte komplexer sein als nur Bestandteil des Enzyms Urease, da zumindest bei Tieren Ni essenziell ist, ohne dass diese eine Urease besitzen. In diesem Sinn ist auch die Zusammenstellung wichtigster Funktionen von Mikronährstoffen im Stoffwechsel der Pflanze in Tabelle 4 nicht als abgeschlossen zu verstehen.

| Mikronährstoff                                      | B    | Cl   | Cu   | Fe   | Mn   | Mo   | Ni   | Zn   |
|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Entdeckungsjahr der Essenzialität                   | 1923 | 1954 | 1931 | 1860 | 1922 | 1938 | 1987 | 1926 |
| Bestandteil von Enzymen                             |      |      | x    | x    | x    | x    | x    | x    |
| Aktivator von Enzymen                               |      | x    |      |      | x    |      |      | x    |
| Valenzwechsel als Teil der physiologischen Funktion |      |      | x    | x    | x    | x    |      |      |
| Beteiligung an der Photosynthese                    |      | x    | x    | x    | x    |      |      |      |
| Bestandteil der Zellwand oder der Zellmembran       | x    |      |      |      |      |      |      | x    |
| Funktion bei Samenbildung und Keimfähigkeit         | x    |      | x    |      | x    |      |      | x    |

Tab. 4: Funktionen der Mikronährstoffe im Stoffwechsel höherer Pflanzen und Entdeckungsjahr deren Essenzialität.

Da eine erschöpfende Behandlung der physiologischen Funktionen der einzelnen Mikronährstoffe nicht Anliegen und Aufgabe dieser Broschüre sein kann, wird im Weiteren für die einzelnen Mikronährstoffe nur stichwortartig auf deren Besonderheiten hingewiesen. In zusammenfassenden Schemata wird versucht, für die Mikronährstoffe wesentliche physiologische Funktionen mit den damit beeinflussten physiologischen Prozessen und den sich daraus ergebenden Mangelsymptomen miteinander in Beziehungen zu setzen. Die Schemata sind dabei so zu lesen, dass unter dem Stichwort „Funktionen“ Enzyme oder Prozesse, an denen der Mikronährstoff beteiligt ist, genannt werden, deren physiologische Störungen sich dann davon ableiten und sich als Mangelsymptome manifestieren, wie es die dritte Spalte ausweist.

### Eisen (Fe)

Etwa um Faktor 2000 liegt der Fe-Gehalt eines Mineralbodens höher als der notwendige Gehalt an Fe für Pflanzen. Für keinen anderen Mikronährstoff ist das Verhältnis zwischen Gesamtangebot und Bedarf derart vorteilhaft. Und dennoch lässt sich kein anderer Mikronährstoffmangel in unseren Breiten so häufig beobachten wie Fe-Mangel, schließt man Zierpflanzen in die Betrachtungen mit ein. Ursächlich hierfür ist, dass die chemische Löslichkeit von Fe in durchlüfteten Böden so gering ist, dass sich ein ausreichendes Fe-Angebot an der Wurzeloberfläche nicht einstellt. Alle Pflanzenarten haben daher Strategien zur Fe-Mobilisierung entwickelt, um Fe verfügbar zu machen. Ist diese energieabhängige, pflanzeneigene Fe-Mobilisierung nicht ausreichend möglich, kommt es zu Fe-Mangel. Umweltbedingungen können hierbei eine wesentliche Rolle spielen. So werden unter dem Sammelbegriff „Schlechtwetterchlorosen“ oftmals die im Weinbau beobachteten Fe-Mangelsymptome mit gelben Blättern an der Triebspitze der Reben bezeichnet.

Physiologisch zentral ist die Beteiligung von Fe an der Biosynthese der Chloroplasten, an der Bildung der Chloroplasten-Proteine und der Chloroplasten-Struktur, was die Chlorose (gelb werden der Blätter) bei Fe-Mangel erklärt (Abb. 2). Die Fähigkeit zum Redoxwechsel ( $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ ) erklärt die Beteiligung von Fe an Enzymen des Elektronentransports.

### Mangan (Mn)

Ähnlich wie Fe ist auch Mn zum Wechsel des Redoxzustands befähigt ( $\text{Mn}^{2+} \leftrightarrow \text{Mn}^{3+} \leftrightarrow \text{Mn}^{4+}$ ), woraus sich ein Teil seiner physiologischen Funktionen ableitet. Mn ist als einziger Nährstoff in der Lage, über sein Redoxpaar  $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{3+}$  ein genügend hohes Oxidationspotenzial aufzubauen, um selbst Wasser im Zuge der Photosynthese zu oxidieren. Dabei entsteht Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ). Diese Fähigkeit von Mn ist für das Leben auf der Erde fundamental.

Im Verlauf der Evolution war das ein einschneidender Schritt zur Höherentwicklung, der die Kompartimentierung des reaktiven  $\text{Mn}^{3+}$  voraussetzte. In der primitiven Form der bakteriellen Photosynthese war das noch nicht möglich. Löslich und pflanzenaufnehmbar ist reduziertes  $\text{Mn}^{2+}$ , das im Boden im Gleichgewicht mit oxidiertem, unlöslichem  $\text{Mn}^{4+}$  steht. Der pH-Wert und Sauerstoffgehalt des Bodens sind daher wesentliche Faktoren, die die Mn-Verfügbarkeit bestimmen. Auf Getreidefeldern – vorzugsweise im Frühjahr – kann sich das darin ausdrücken, dass ein Bestand im Bereich der Fahrspuren sich intensiver grün präsentiert als außerhalb der Fahrspuren. Das weist mit großer Sicherheit auf Mn-Mangel im Feld hin, da im Bereich der Bodenverdichtung der Fahrspur Mn verfügbarer wurde im Gegensatz zum ansonsten besser durchlüfteten Boden. Intensivierung der Landwirtschaft mit verstärkter Bodenlockerung, verbesserter Entwässerung der Böden oder einer fallweise überhöhten Kalkung sind daher Faktoren, die das Auftreten von Mn-Mangel begünstigen. Mn-Mangelsymptome äußern sich auch häufig als Chlorosen, die – im Gegensatz zu Fe-Mangel – aber nicht an den allerjüngsten Blättern auftreten, sondern an den jüngeren, gerade expandierenden Blättern. Schneller als bei Fe-Mangel kommt es bei Mn-Mangel auch zur Bildung von Nekrosen, was mit der Funktion von Mn als Bestandteil der Mn-Superoxid-dismutase zusammenhängen dürfte, die an der Entgiftung reaktiver Sauerstoffspezies beteiligt ist. Stärker als das Sprosswachstum ist bei Mn-Mangel das Wurzelwachstum gehemmt. Herauszustellen bei Mn ist auch dessen Beteiligung am Phenolstoffwechsel bis hin zur Beteiligung an einzelnen Schritten der Ligninsynthese. Hierin dürfte eine wesentliche Rolle von Mn bei der Abwehr von Pathogenen begründet liegen (Abb. 3).

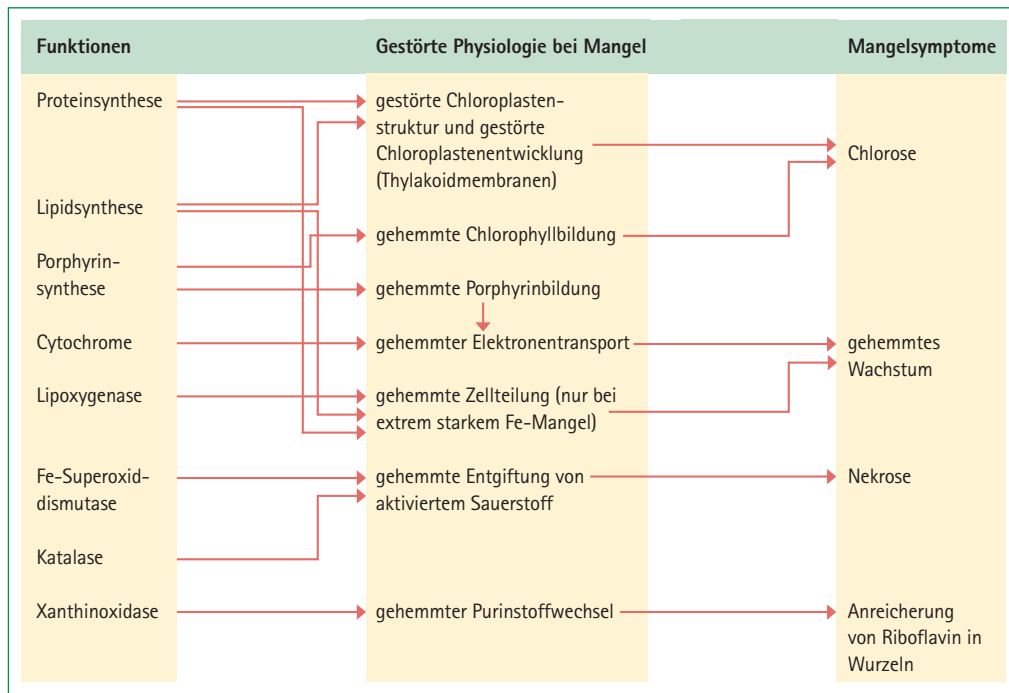


Abb. 2: Beziehungen zwischen Fe-Funktionen und Fe-Mangelsymptomen.

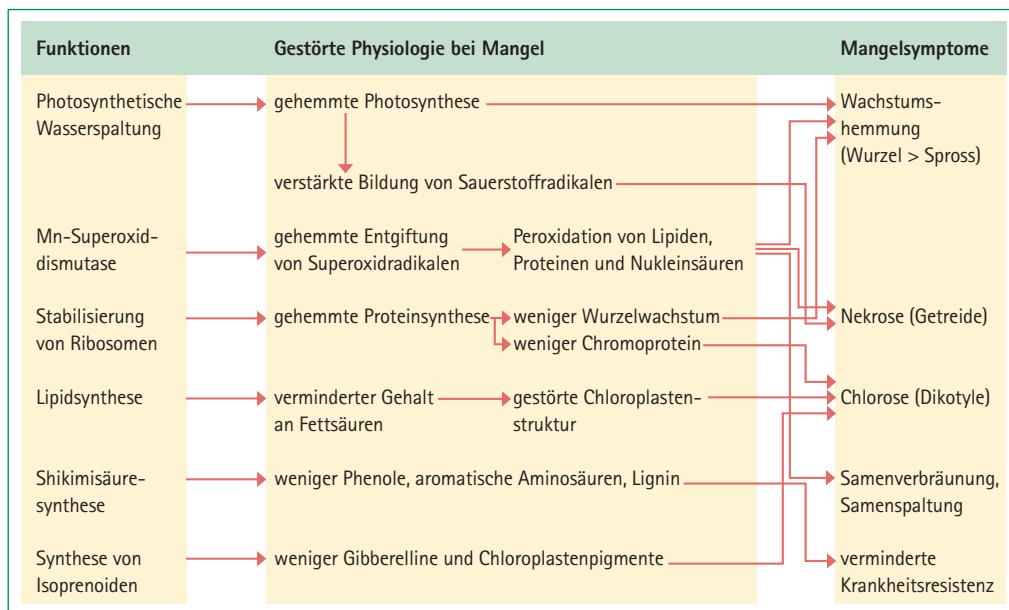


Abb. 3: Beziehungen zwischen Mn-Funktionen und Mn-Mangelsymptomen.

### Kupfer (Cu)

Wie Fe und Mn ist auch Cu zum Valenzwechsel ( $\text{Cu}^{1+} \leftrightarrow \text{Cu}^{2+}$ ) befähigt. Cu ist daher an Redoxsystemen der Elektronentransportketten der Photosynthese und der Zellatmung beteiligt. Zentral ist weiterhin die Rolle von Cu bei der Ligninbiosynthese der Pflanzen über Cu-haltige Phenolasen. Einer im Zellwandbereich lokalisierten Cu-haltigen Diaminoxidase wird darüber hinaus über deren Fähigkeit zur  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Bildung eine Rolle bei der Ligninsynthese zugewiesen. Cu-Mangel lässt sich daher unter dem Mikroskop durch eine weitgehend fehlende Ausstattung von Zellwänden mit Lignin nachweisen. Die Folgen für die Pflanzen hinsichtlich deren Stabilität und der Ausbildung der Leitungsbahnen können weitreichend sein. Stärker gehemmt als das vegetative Wachstum ist bei Cu-Mangel zumeist die generative Entwicklung infolge von Pollensterilität. Bei Getreide kann das im Extremfall zu tauben Ähren führen.

Eine hohe Bindungsaffinität besitzt Cu zur organischen Substanz des Bodens. Zufuhr von organischer Substanz zum Boden, wie zum Beispiel durch Strohdüngung, schränkt die Cu-Verfügbarkeit dadurch ein. Innerhalb der Pflanze sind für den Cu-Status Wechselwirkungen mit der Höhe der Stickstoff-Düngung zu beachten. Die interne Verlagerung von Cu innerhalb der Pflanze wird durch eine hohe Stickstoffversorgung behindert. Neben einem ausreichenden Niveau an Cu im Pflanzengewebe ist daher gut untersucht, dass z. B. bei Getreide ein kritischer Cu/N-Quotient überschritten sein sollte, um Cu-Mangel ausschließen zu können (Abb. 4).

### Zink (Zn)

Zn liegt in der Pflanze und der Bodenlösung ohne Valenzwechsel als zweiwertiges Kation vor. Seine physiologischen Funktionen beruhen wesentlich auf der Bindung von Enzymen mit ihren Substraten und der Ausbildung tetra-etrischer Komplexe. Zn stabilisiert tertiäre Proteinstrukturen und die Bindung von Regulationsproteinen an DNA und RNA. Für die typische Kleinblättrigkeit bei Zn-Mangel werden ursächlich Störungen im Phytohormonhaushalt verantwortlich gemacht (Abb. 5).

Zn-Mangel führt zu einer verstärkten Bildung von toxischen Superoxidradikalen. Als Bestandteil der Cu/Zn-Superoxiddismutase ist Zn an der Entgiftung von Superoxidradikalen beteiligt. Da diese Radikale vermehrt bei Belichtung gebildet werden lässt sich erklären, dass die Zn-Bedürftigkeit von Gewebe auch eine Funktion der Lichtintensität ist. Ein verstärktes Auftreten von Chlorosen und Nekrosen an den lichtexponierten Organen einer Pflanze (beispielsweise der Südseite eines Baumes im Vergleich zur Nordseite) ist daher ein Hinweis auf Zn-Mangel. Erhöhte Krankheitsresistenz von Pflanzen sowie verbesserte Pollen- und Samen-Vitalität sind weitere Leistungen einer optimierten Zn-Versorgung, wie neuere Untersuchungen belegen.

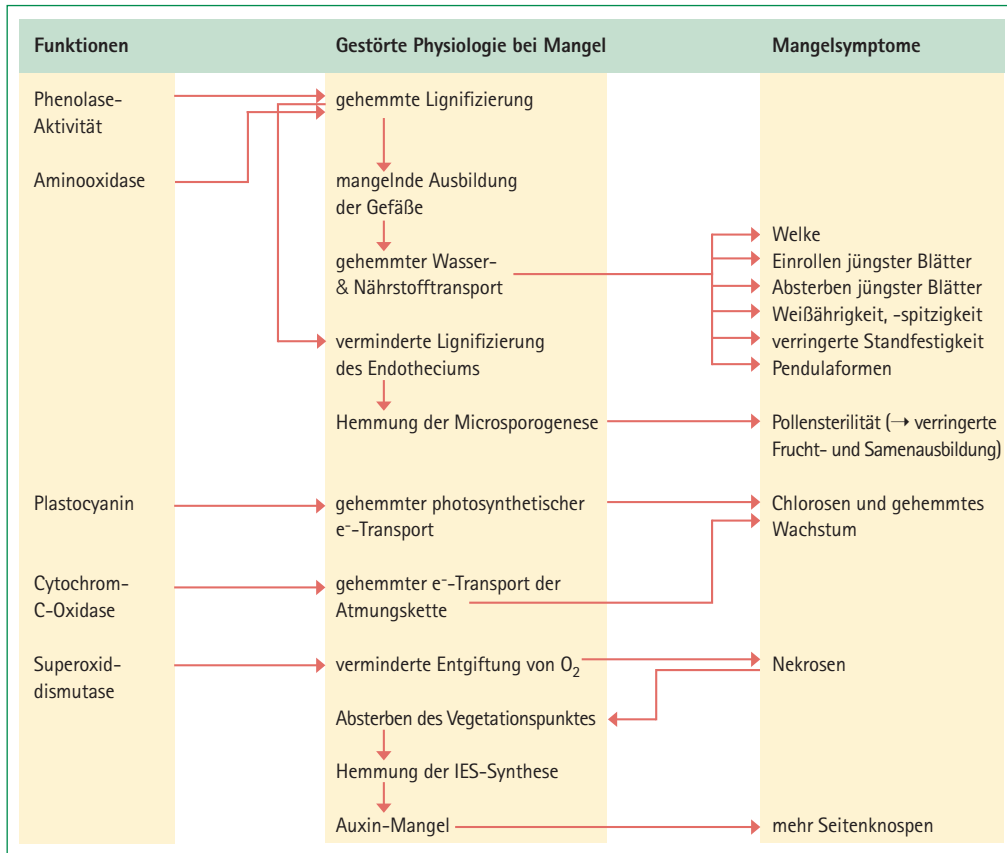


Abb. 4: Beziehungen zwischen Cu-Funktionen und Cu-Mangelsymptomen.

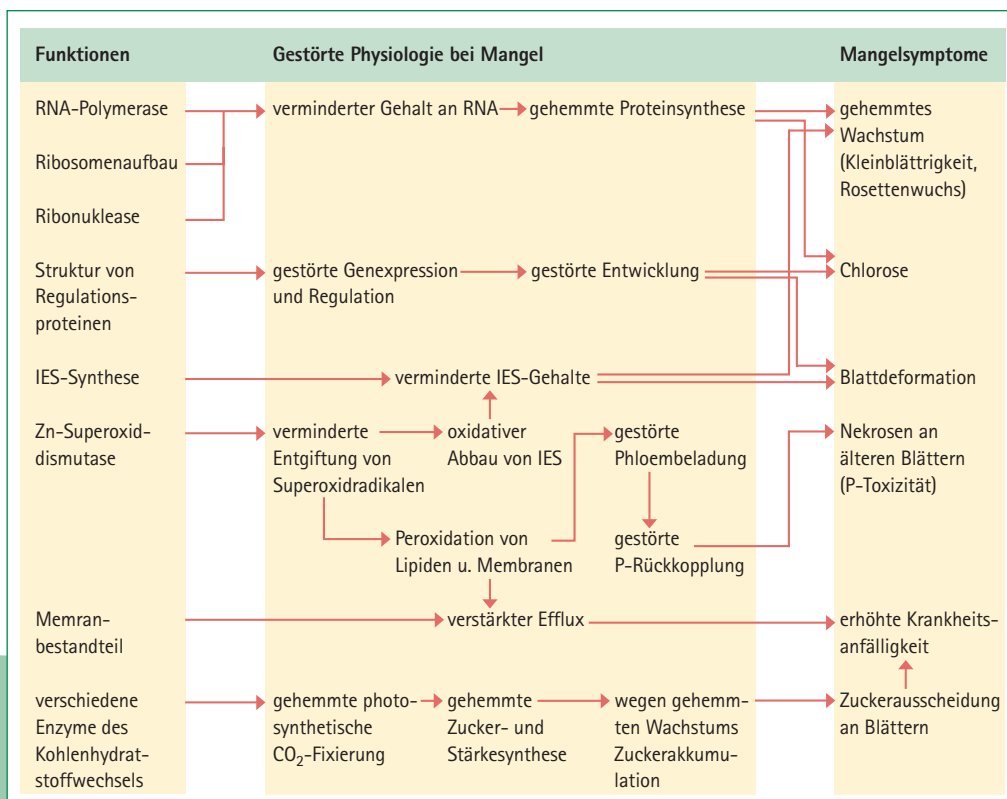


Abb. 5: Beziehungen zwischen Zn-Funktionen und Zn-Mangelsymptomen.

### Molybdän (Mo)

Mo ist Bestandteil von vier Enzymen höherer Pflanzen. Die Aldehyd-Oxidase ist an der Biosynthese des Phytohormons ABA beteiligt, die Xanthin-Dehydrogenase am Purinabbau und Stressreaktionen und eine Mo-haltige Sulfat-Oxidase spielt wahrscheinlich eine Rolle bei Entgiftungen von Sulfat im Stoffwechsel. Die Mo-haltige Nitratreduktase ist in zentraler Stellung am Stickstoffstoffwechsel beteiligt. Als Eingangsenzym der Stickstoffassimilation sorgt sie dafür, dass aufgenommenes Nitrat letztlich über Nitrit und Ammonium in pflanzliche Aminosäuren und Proteine überführt werden kann. Eine Anreicherung von Nitrat in Pflanzen ist daher eine Folge von Mo-Mangel. Die Bestimmung der Aktivität der Nitratreduktase an Blattscheiben ohne und mit exogenem zugeführtem Mo kann auch dazu genutzt werden, innerhalb weniger Stunden Mo-Mangel nachzuweisen.

Von besonderer Bedeutung ist Mo für Leguminosen, da deren Luftstickstoff-reduzierendes Enzym Nitrogenase Mo-haltig ist. Bei Pflanzen, die in ihrer N-Versorgung auf biologische  $N_2$ -Fixierung angewiesen sind, führt Mo-Mangel daher zu Minderwuchs durch N-Mangel.

Warum es bei Mo-Mangel zu einer gehemmten Pollenbildung und einem verminderten Samenertrag kommt, ist physiologisch noch nicht voll aufgeklärt. Das Gleiche gilt auch für die bei Mo-Mangel beobachteten Blattdeformationen (Abb. 6).

### Bor (B)

B ist der „pflanzlichste“ aller Nährstoffe, da B nahezu exklusiv nur von höheren Pflanzen benötigt wird. Es ist auch der Mikronährstoff, dessen primäre Funktionen bis vor kurzem noch die größten Fragezeichen aufgaben. Mittlerweile ist zumindest klar, dass B strukturbildender Bestandteil der Pektine der Zellwand ist und Bestandteil funktionaler

Biomembranen. Wegen seiner vornehmlichen Funktionen im Zellwandbereich außerhalb der das Cytoplasma umschließenden Plasmamembran wurde B zuweilen auch als „Exoelement“ bezeichnet. Beeindruckend ist, wie ein Fehlen von B im Wurzelraummedium innerhalb von kürzester Zeit zu einer Verminderung des Wurzelwachstums und zu einem verstärkten K-Verlust der Wurzelzellen führen kann. Essenziell ist B auch für das Pollenschlauchwachstum auf der Narbe einer Blüte. B-Mangel äußert sich deshalb oftmals stärker in einer gehemmten generativen Entwicklung (vermindertem Samenertrag) als in einer gehemmten vegetativen Entwicklung (verminderter Sprossmasse) der Pflanzen. Ähnlich wie bei Zn ist auch bei B ein steigender Bedarf mit höherer Lichtexposition der Pflanzen zu beobachten. Das weist auf die Rolle von B zur Einschränkung toxischer Sauerstoffspezies hin, die verstärkt unter Lichteinfluss im Stoffwechsel entstehen.

### Chlor (Cl)

Die Essenzialität von Cl wird wesentlich in der Beteiligung am wasserspaltenden Enzym der Photosynthese gesehen. Daneben besitzt Cl eine Reihe „nützlicher“ Funktionen, die die osmotische Regulation in der Pflanze und die Regulation des Wasserhaushaltes einschließlich der Regulation der Spaltöffnungen (Stomata) der Blätter betreffen. Wo Symptome von Cl-Mangel beschrieben wurden, umfassen diese dann zumeist auch Welkeerscheinungen.

### Nickel (Ni)

Die Darstellung von Ni-Mangel sowie der Nachweis als Pflanzennährstoff gelang erst Ende der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts. Damit ist Ni der „jüngste“ Pflanzennährstoff. Grund hierfür ist, dass selbst geringste Ni-Mengen den Bedarf von Pflanzen decken können. Ni ist Bestandteil des Enzyms Urease in Pflanzen.

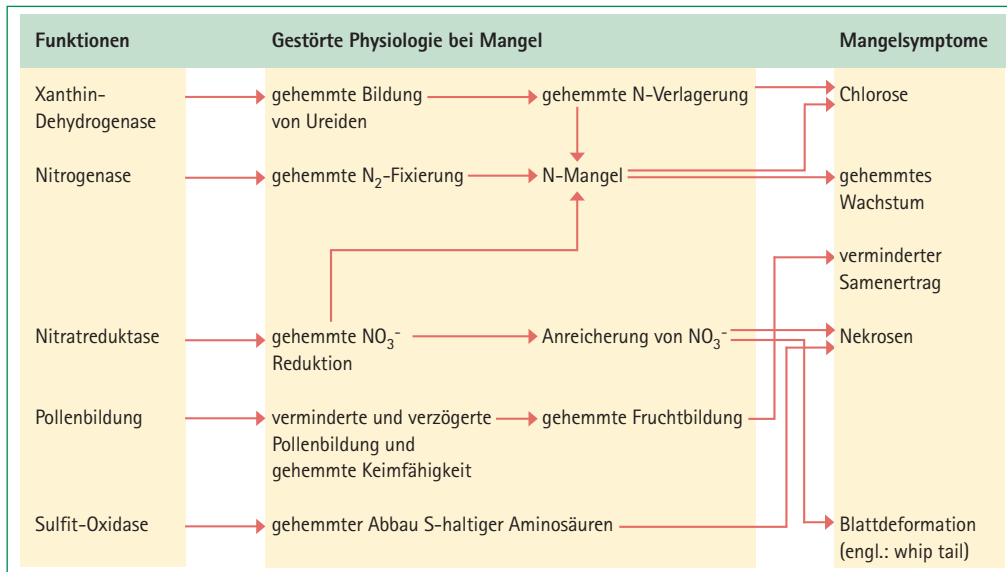


Abb. 6: Beziehungen zwischen Mo-Funktionen und Mo-Mangelsymptomen.

## 4 Die Pflanzenverfügbarkeit der Mikronährstoffe im Boden

In Mineralien und sonstigen schwerlöslichen Verbindungen festgelegte Mikronährstoffe leisten kurzfristig keinen Beitrag zur Ernährung einer Pflanze. Unlösliche Verbindungen bilden nur einen Vorrat an Nährstoffen. In Mineralböden ist dieser Vorrat an Mikronährstoffen im Vergleich zum Bedarf bzw. Entzug einer Pflanze meist sehr hoch (Tab. 2). Sehr niedrige Gesamtgehalte liegen meist nur bei rein organischen Böden wie Moorböden oder über geologische Zeiträume hinweg stark verwitterten Mineralböden vor. Hier kann es ohne entsprechende Düngung zu einem „absoluten Mangel“ an Mikronährstoffen kommen. Bei den meisten Mineralböden Mitteleuropas ist somit die jeweilige Verfügbarkeit eines Mikronährstoffs entscheidend. Darunter ist die gelöste und leicht austauschbare Fraktion des Nährstoffs in der Rhizosphäre unmittelbar entlang der Wurzeloberfläche zu verstehen. Es spielt dabei neben einer rein chemischen Verfügbarkeit für viele Mikronährstoffe auch die biologische Verfügbarkeit eine ganz wesentliche Rolle. In Abbildung 7 sind die Zusammenhänge schematisch dargestellt.

Eine wesentliche Einflussgröße bei den Bodenfaktoren, die die chemische Verfügbarkeit beeinflusst, ist der pH-Wert des Bodens. Abbildung 8 zeigt die Tendenzen für die düngungsrelevanten Mikronährstoffe in einer populären Darstellung. Ohne maßstabsgerecht zu sein, gibt eine zunehmende Breite eines Streifens die zunehmende Verfügbarkeit wieder.

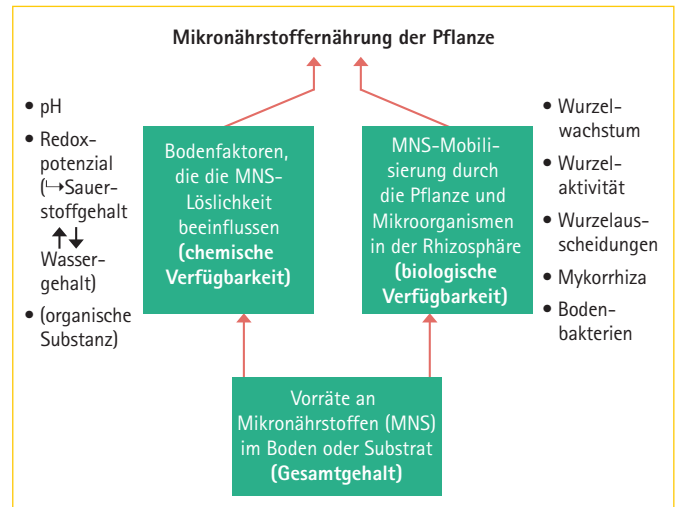


Abb. 7: Einflussgrößen auf die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen (MNS) im Boden.

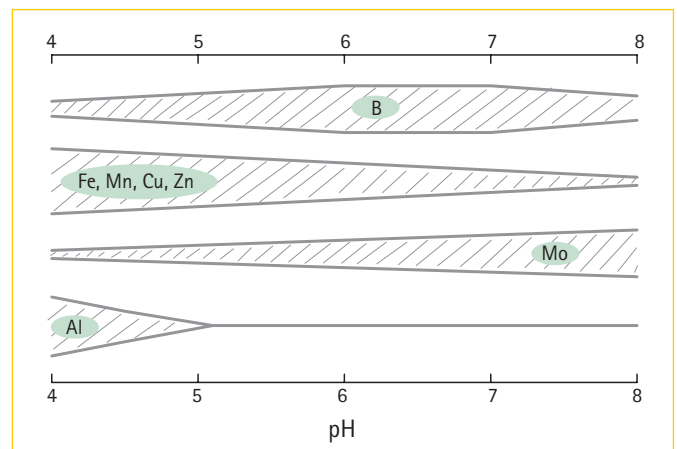


Abb. 8: Schematische Beziehung zwischen dem pH-Wert des Bodens und der Verfügbarkeit von Mikronährstoffen und wurzeltoxischem Aluminium (Finck 1976).

Für die Kationen Fe, Mn, Cu und Zn nimmt deren Verfügbarkeit mit abnehmendem pH-Wert zu. Die verstärkte Desorption dieser kationischen Mikronährstoffe durch  $H^+$  von den negativ geladenen Bodenpartikeln ist hierfür eine Erklärung. Insbesondere bei Fe und Mn kommt hinzu, dass mit sinkendem pH deren Reduktion in leichter lösliche Formen gefördert wird. Die praktischen Grenzen einer verbesserten Verfügbarkeit durch Absenkung des Boden-pH ergibt sich, da die Verfügbarkeit des wurzeltoxischen Al im sauren Bereich ab ca. pH 4,5 ebenfalls stark ansteigt, was dann ein wesentlicher Grund für sogenannte „Säureschäden“ an Pflanzen ist.

Mo liegt in der Bodenlösung als Molybdatanion ( $MoO_4^{2-}$ ) vor und wird so aufgenommen. Sorbiert wird es spezifisch an Eisenoxiden und -hydroxiden. Mit steigendem pH des Bodens, d. h. höheren Konzentrationen an  $OH^-$ -Ionen, wird das Molybdat verstärkt desorbiert und geht in die Bodenlösung über.

Im Vergleich zu den anderen Mikronährstoffen spielt für B eine pH-abhängige Sorption und Desorption an Bodenpartikel eine geringere Rolle. B wird von der Pflanze am leichtesten als ungeladene Borsäure ( $B(OH)_3$ ) aufgenommen, weshalb pH-Werte unter 7 anzustreben sind. Bei pH über 7 liegt vermehrt das negativ geladene Boratanion ( $B(OH)_4^-$ ) vor, das durch Anionensorption der Bodenlösung entzogen werden kann. Der sich verjüngende Streifen der Verfügbarkeit unter pH 6 soll andeuten, dass die ungeladene Borsäure leicht ausgewaschen werden kann, womit B dann für die pflanzliche Aufnahme auch vermehrt absolut verloren geht.

Ein niedriges Redoxpotenzial des Bodens, d. h. stärker reduktive Bedingungen durch niedrige Sauerstoffgehalte infolge von Wasserüberstau, führt zu einer verstärkten Freisetzung von Mn und Fe durch Reduktion deren unlöslicher Oxide. Damit einher kann auch die Verfügbarkeit von Cu und Zn steigen, da dann die Sorption von Cu und Zn an Mn- und Fe-Oxide abnimmt.

Kurzzeitiger Wasserüberstau kann somit die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen erhöhen. Eine langfristige Wasserüberstauung ist allerdings negativ. Erstens kann dann, vor allem bei Mn, eine Erhöhung der Verfügbarkeit bis hin zur Toxizität erfolgen. Zweitens werden Faktoren, die eine biologisch bedingte Erhöhung der Verfügbarkeit bewirken (Wurzelwachstum, Wurzelaktivität) bei Sauerstoffmangel der Wurzeln gehemmt (Abb. 7).

In den meisten Fällen spielen Wurzelwachstum und Wurzeloberfläche eine entscheidende Rolle für die Aufnahme der Mikronährstoffe. Das ist wesentlich dadurch bedingt, dass die Konzentration an Mikronährstoffen in der Bodenlösung im Vergleich zum Bedarf sehr gering ist und der Antransport der Mikronährstoffe an die Wurzel mit der Wasserbewegung im Boden kaum eine Rolle spielt. Dominierend ist der Prozess der Diffusion zur Wurzel über sehr kurze Wege. Für die Diffusion ist neben der Bodenfeuchte die Oberfläche des Wurzelsystems eine entscheidende Größe. Abbildung 9 versucht die Bedeutung der Diffusion für den Antransport einzelner Mikronährstoffe grob zu bewerten, ohne dabei dem Einzelfall gerecht werden zu können. Die Reihung der Mikronährstoffe in Abbildung 9 gibt auch in etwa wieder, wie sehr deren Mobilisierung von biologischen Aktivitäten der Wurzeln und der Rhizosphäre abhängen. Aktive pH-Absenkung, Ausscheidung von Komplexbildnern, organischen Säuren, Reduktanzen und eine vermehrte Bildung von Wurzelhaaren gehören zu Leistungen der Pflanzenwurzeln. Die Bedeutung der Mykorrhiza nicht nur für die Phosphaternährung, sondern auch für die Ernährung mit Mikronährstoffen (insbesondere Cu und Zn) ist ein anderer biotischer Aspekt.

Nur kurz erwähnt sei, dass die Verfügbarkeit einzelner Mikronährstoffe sich auch auf die Mobilisierung anderer Mikronährstoffe auswirken kann. Gegenseitige Abhängigkeiten bei Fe und Mn sind bekannt. Aber auch, dass eine sehr hohe P-Verfügbarkeit die Zn-Verfügbarkeit einschränkt oder ein einseitig hohes Cu- oder Zn-Angebot im Boden z. B. Fe-Mangel induzieren kann.

Aus den angesprochenen, im Einzelfall komplexen Beziehungen ergeben sich zwei wesentliche Folgerungen: Zum einen wird deutlich, dass bei einzelnen Mikronährstoffen (insbesondere Mn und Fe, Abb. 9) die Aussagekraft der chemischen Bodenuntersuchung sehr begrenzt ist. Einflussfaktoren wie die Bodenfeuchte, die wesentlich bestimmt in welchem Ausmaß Nährstoffe über den Prozess der Diffusion zur Wurzeloberfläche gelangen, oder die biotische Beeinflussung der Rhizosphäre können mit einer chemischen Bodenuntersuchung nicht hinreichend erfasst werden. Die Pflanzenanalyse ist hier vorzuziehen (Kapitel 5).

Der Hinweis auf die Bedeutung der Pflanze selbst für die Erschließung einzelner Mikronährstoffe findet seinen Ausdruck in Effizienzen unterschieden zwischen Pflanzenarten. Das erklärt zu einem großen Teil die Unterschiede in der Düngungsbedürftigkeit von Kulturpflanzen mit Mikronährstoffen, wie sie in Kapitel 7 und 8 behandelt werden.



Abb. 9: Reihung von Mikronährstoffen nach zunehmender Bedeutung der Diffusion für ihren Antransport an die Wurzeloberfläche und von biologischen Aktivitäten zu deren Mobilisierung. Daraus ergibt sich umgekehrt von links nach rechts ( $B \rightarrow Fe$ ) eine Reihung, in der die Aussagekraft einer chemischen Bodenuntersuchung zur Bestimmung der Mikronährstoffversorgung abnimmt.

## 5 Diagnose der Mikronährstoffversorgung von Kulturpflanzen

Verschiedene Diagnoseverfahren können als Entscheidungshilfen zum Einsatz von Mikronährstoffen in landwirtschaftlichen Kulturen herangezogen werden. Neben der Boden- und Pflanzenanalyse liefert die visuelle Diagnose Hinweise auf Ernährungsstörungen.

Bei der **visuellen Diagnose** werden Mangelsymptome wie z. B. Blattaufhellungen, Nekrosen, Verfärbungen, teilweise Veränderungen an Blättern oder Abweichungen des Habitus zur Beschreibung von Mangelerscheinungen zu Rate gezogen. Entscheidungshilfen zur visuellen Diagnose (Bildmaterial etc.) werden inzwischen auch online im Internet von amtlichen und privaten Beratungsinstitutionen angeboten (z. B. Nährstoff-Check unter [www.duengung.net](http://www.duengung.net)). Vorteil des visuellen Verfahrens ist die schnelle Diagnose ohne Geräteeinsatz. Nachteile können Verwechslungen des Nährstoffmangels sowie die unzureichende Beurteilung latenter Mangelsymptome darstellen.

Zweifelsfrei gehört die **Bodenanalyse** zu den Routinenachweisen der Mikronährstoffversorgung. Zu den Vorteilen dieser Analysemethode zählt zunächst der arbeitswirtschaftliche Aspekt bei der Probenahme, d. h. die Mikronährstoffgehalte werden zusammen mit den Hauptnährstoffen untersucht. Die Bodenanalyse gibt einen Hinweis auf den Vorrat des jeweiligen Nährstoffs im Boden. Hinsichtlich der aktuellen Verfügbarkeit des Bodenvorrats wie auch der Prognosemöglichkeiten der Aufnahme im weiteren zeitlichen Verlauf der Vegetationsperiode sind der Bodenanalyse jedoch – insbesondere bei Mikronährstoffen – Grenzen gesetzt. Dabei wirken sich die teilweise hohen Wechsel-

wirkungen zwischen z. B. der organischen Substanz im Boden, dem pH-Wert, dem Redoxpotenzial oder auch dem Wasserhaushalt und der Aktivität der Wurzel auf die Verfügbarkeit des Bodenvorrates aus (Abb. 7).

Aufgrund der nicht sehr umfangreichen Eichversuche ist die Ableitung von Bodengrenzwerten nur bedingt möglich. Die Untersuchungsmethoden selbst sind in Deutschland noch nicht ausreichend harmonisiert. Die CAT-Methode wird für B, Cu, Fe, Mn und Zn als Verbandsmethode des VDLUFA bundesweit angewendet. Die Böden werden gemäß ihrer Mikronährstoffgehalte in die Gehaltsklassen bzw. Versorgungsstufen A, C, E und F eingeteilt (Tab. 5). Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung liefern Hinweise darüber, ob das Risiko einer Mangelsituation besteht und ob eine Mikronährstoffzufuhr empfehlenswert ist.

| Gehaltsklasse                                             | Düngungsempfehlung                                                                   |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b><br>Sehr niedriger / niedriger<br>Gehalt im Boden | Düngung zur Mangelbeseitigung,<br>kulturabhängig                                     |
| <b>C</b><br>Mittlerer / optimaler<br>Gehalt im Boden      | Erhaltungs- bzw. Risikoausgleichsdüngung<br>kulturabhängig                           |
| <b>E</b><br>Hoher / sehr hoher<br>Gehalt im Boden         | Keine Düngung                                                                        |
| <b>F</b><br>extrem hoch                                   | Nähere Prüfung, ob Schäden möglich.<br>Maßnahmen gegen Überversorgung<br>und Schäden |

Tab. 5: Definition der Gehaltsklassen für B, Cu, Mn und Zn (VDLUFA 2002, verändert).

Bodenprobe-Entnahme ➡ Trocknung ➡ Siebung ➡ Extraktion (CAT-Lösung) ➡ Messung mit ICP/OES

Abb. 10: Analysenschritte für eine Bodenprobe.

Die **Pflanzenanalyse** hat sich als weiteres Instrument zur Beurteilung des Einsatzes von Mikronährstoffen sowohl in landwirtschaftlichen als auch in Sonderkulturen etabliert. Im Obstbau wird die Pflanzenanalyse in Ergänzung zur Bodenanalytik als Entscheidungshilfe zum Einsatz von Mikronährstoffen herangezogen. Der wesentliche Vorteil der Pflanzenanalyse ist die Erfassung des aktuellen Ist-Zustandes zum Zeitpunkt der Probenahme. Weiterhin kann die Pflanzenanalyse zeitlich sehr nahe am Bedarfszeitraum durchgeführt werden. Außerdem können Hinweise auf Verfügbarkeit, Aufnahme und Translokation von Nährstoffen aus dem Boden in den Bestand abgebildet werden. Für die Analyse selbst sind Standardmethoden entwickelt worden. Durch die Harmonisierung der Analysemethoden kann die Interpretation der Ergebnisse als gut abgesichert betrachtet werden. Allerdings stellt die Pflanzenanalyse immer nur eine Momentaufnahme dar.

Die Interpretation der Analysenergebnisse und daraus abzuleitende Empfehlungen für einen Einsatz von Mikronährstoffen setzt zwingend ein exaktes Probenahmeprotokoll voraus. Auf alle Fälle müssen die Pflanzenorgane, die zur Analyse entnommen wurden, und/oder das Entwicklungsstadium beschrieben sein. Die Analysenergebnisse können anhand von Grenzwerten entwicklungspezifisch interpretiert werden (z. B. „gesamte oberirdische Pflanze“ bei Getreide in Stadium BBCH 37 oder „gerade voll entwickelte Blätter“ bei Raps). Ein für die Praxis geschriebenes Handbuch mit den Grundlagen der Pflanzenanalyse einschließlich umfangreicher Tabellen zu auszeichnenden Mikronährstoffgehalten vieler Kulturen liegt vor (Breuer et al. 2003).

**Materialentnahme (z. B. Blätter, Stängel, Knollen oder Früchte)**

➡ **Trocknung** ➡ **Vermahlung** ➡ **Aufschluss bzw. Veraschung**  
➡ **Bestimmung Einzelelemente mittels AAS, ICP/OES, ICP/MS oder RFA**

Abb. 11: Ablauf der Pflanzenanalyse.

In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, dass die Boden- und die Pflanzenanalyse als sich ergänzende Diagnoseverfahren anzusehen sind. Beide Verfahren sollten so eingesetzt werden, dass die beschriebenen Vorteile einer jeden Methode dazu beitragen, eine ökonomisch und ökologisch optimierte Pflanzenproduktion zu unterstützen.

Die **berührungslosen bzw. zerstörungsfreien Analysemethoden** im Bestand sind seit den 80er und 90er Jahren des letzten Jahrhunderts in der Entwicklung. Die Entwicklung detektorischer, berührungsfreier Methoden zur Ableitung der Mikronährstoffversorgung (Mangel bzw. Überschuss) steht noch am Anfang. Es können aus den ersten Erfahrungswerten noch keine allgemeingültigen Empfehlungen und Hinweise abgeleitet werden.

## 6 Applikation von Mikronährstoffen

Für die Ausbringung von Mikronährstoffen gelten prinzipiell die gleichen Grundsätze wie bei der Applikation von Makro- oder Hauptnährstoffen. Im Wesentlichen sollen die Nährstoffe in den Bereich der Wurzel, dem Hauptaufnahmeorgan für Nährstoffe, angeliefert werden.

Allerdings kann gerade bei Mikronährstoffen die Aufnahme über die Wurzel stark eingeschränkt oder sogar total unterbrochen sein. Gründe für mangelnde Nährstoffverfügbarkeit sind u. a. die Festlegung von Mikronährstoffen an die organische Substanz, suboptimale pH-Werte, Trockenheit oder ein unzureichendes Mobilisierungspotenzial durch die Pflanze (vgl. Kap. 4). Es kann also zu Störungen in der Aufnahme von Mikronährstoffen kommen, obwohl die Gehalte im Boden als ausreichend angesehen werden. Folglich können z. B. Verbesserungen der Bodenstruktur und die Anpassung des pH-Wertes die Aufnahme von Mikronährstoffen erhöhen.

Die Mobilität und Verlagerung von Mikronährstoffen in der Pflanze ist im Allgemeinen gering. Mn und Zn werden innerhalb der Pflanze etwas besser verlagert als B, Cu, Fe oder Mo, wobei auch Unterschiede zwischen Pflanzentypen bestehen.

Der Transport von Mikronährstoffen erfolgt im Xylem zu den Wirkorten im pflanzlichen Organismus, z. B. für die Photosynthese. Selten wird für Mikroelemente der Phloem-Transport beschrieben, der Assimilate zu den Orten des Verbrauchs oder der Speicherung bringt. Die eingeschränkte Verlagerung von Mikronährstoffen aus älterem Pflanzengewebe zeigt sich dann im Auftreten von Mangelsymptomen an jüngeren Pflanzenteilen, wie die typischen Bilder von Mangelsymptomen an Mikronährstoffen ausweisen.

Die Versorgung der Kulturen mit Mikronährstoffen kann sowohl über den Boden als auch über das Blatt erfolgen. Die Aufnahme und die ausreichende Versorgung über die Wurzel kann aus den dargelegten Gründen eingeschränkt sein. In diesen Fällen kommt der Blattapplikation eine besondere Bedeutung zu, um temporäre Engpässe in der Versorgung beheben zu können. Eine Aufteilung der Nährstoffgabe kann durchaus sinnvoll sein, um die Ausnutzung zu erhöhen oder Toxizitäten bei B zu vermeiden.

Die aufgezeigten Nachteile einer Bodenapplikation bedeuten nicht, dass eine Blattdüngungsmaßnahme uneingeschränkt bessere Ergebnisse zeigt. Vielmehr können sich in der Praxis die Boden- und Blattapplikation sinnvoll ergänzen, wenn die Vorteile beider Verfahren genutzt werden. Die kombinierte Anwendung trägt dazu bei, die Kulturen hinsichtlich des Ertrages und unter ökonomischen Gesichtspunkten effizienter zu führen.

## Nährstoffversorgung über den Boden

Im Boden vorhandene Nährstoffe entstammen entweder dem geogenen Ausgangsmaterial, den natürlichen atmosphärischen Einträgen oder anthropogenen Quellen (Abb. 1). Mn kann beispielsweise über Schwebstaub in den Boden gelangen. Die Mn-Schwebstaubbelastung hat sich in den letzten Jahren – ähnlich wie bei dem Makronährstoff S – deutlich abgeschwächt (Umweltbundesamt 2000). Inwieweit die natürlich vorhandenen und eingetragenen Mikronährstoffe pflanzenverfügbar sind, hängt vom Verwitterungsgrad der Minerale und den bodenphysikalischen und bodenchemischen Faktoren ab. Einer absoluten Mikronährstoffverarmung des Bodens oder einer unzureichenden Verfügbarkeit kann entgegengewirkt werden, indem Mikronährstoffe als Komponenten mineralischer oder organischer Düngemittel dem Boden zugeführt werden.

Bei der Anwendung mineralischer Düngemittel mit Mikronährstoffen müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- **Gehalte an Mikronährstoffen**

Für die ausgewogene Versorgung mit Mikronährstoffen sind nur wenige hundert Gramm (z. B. B), in manchen Fällen auch wenige Gramm (Mo) je Hektar ausreichend. Daher muss die Konzentration in mineralischen Düngern so bemessen sein, dass die Mindestversorgung gewährleistet ist und toxische Effekte (z. B. bei B) ausgeschlossen werden können. Das erfordert eine hohe Homogenität des Düngers hinsichtlich der Nährstoffkonzentration.

- **Streueigenschaften**

Physikalisch müssen die mineralischen Dünger so beschaffen sein, dass bei breitwürfiger Ausbringung eine gleichmäßige Verteilung auf die gesamte Fläche mit dem Düngestreuer erreicht wird. Kenngrößen sind hier das Korngrößenspektrum, die Oberflächenbeschaffenheit, das Fließverhalten im Düngestreuer sowie die Kornhärte als Kriterium für die Empfindlichkeit bei mechanischer Beanspruchung (z. B. bei Verladevorgängen).

- **Platzierung**

Neben einer breitwürfigen Ausbringung können mineralische Düngemittel auch platziert ausgebracht werden. Beispiele sind die Reihendüngung im Obst- bzw. Weinbau sowie die Unterfußdüngung bei der Maisaussaat bzw. beim Kartoffellegen. Im Allgemeinen wird der Vorteil einer Platzierung darin gesehen, dass die Nährstoffe in unmittelbarer Nähe der Wurzel ausgebracht werden und somit effizienter und zeitlich früher von den Pflanzen aufgenommen werden können. Die Platzierung von Düngemitteln in den durchwurzelbaren Bereich muss allerdings nicht zwingend zu einer Reduzierung der Nährstoffmenge führen.

Unter speziellen Bedingungen kann es auch zu einer Überversorgung mit Mikronährstoffen kommen. Besonders bei B ist der Bereich zwischen ausreichender Versorgung und Überschuss relativ klein. B-Überschuss Symptome zeigen sich bevorzugt durch Nekrosen in Interkostalfeldern, Kräuselungen von Blättern und Blattrandverkrümmungen. Mn-Toxizitäten können auf Böden mit niedrigen pH-Werten oder bei Unterlassen langjähriger Kalkdüngung auftreten. Sichere Hinweise auf den Ernährungsstatus gibt im Zweifelsfall die Pflanzenanalyse.

## Nährstoffversorgung über das Blatt

Die Applikation von Mikronährstoffen auf die Blätter der Pflanze hat in den letzten Jahren stetig an Bedeutung gewonnen. Während es bei der Bodenapplikation aus verschiedenen Gründen zu Versorgungsengpässen kommen kann, ermöglicht die Blattapplikation eine gezielte Mikronährstoffversorgung der Kulturpflanzen. Dadurch werden diese in die Lage versetzt, Stressfaktoren, wie z. B. ungünstige Witterungsverhältnisse und daraus resultierende Mikronährstoffdefizite zu kompensieren.

Im Regelfall werden die Mikronährstoffe zusammen mit Pflanzenschutzmitteln ausgebracht. Daraus ergeben sich folgende Voraussetzungen für Mikronährstoffdünger, die als Blattdünger angewendet werden:

- **Ansetzen der Spritzlösung**

Die Ausbringung mit der Pflanzenschutzspritze erfordert eine sofortige homogene Einmischung in Wasser. Die Lösungsgeschwindigkeit und die Stabilität der Lösung sind in diesem Zusammenhang als wichtige Qualitätskriterien zu nennen.

- **Mischbarkeitsverhalten mit Pflanzenschutzmitteln**

Die Mischbarkeit mit Pflanzenschutzmitteln spielt eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich sind Hinweise der Hersteller zum Mischungsverhalten und den Mischungseigenschaften zu beachten. Das gilt sowohl für die eingesetzten Pflanzenschutzmittel als auch für die zur Anwendung geplanten Blattdünger als Mischpartner. Als Schnelltest vor Ort bietet sich an, 10 Liter der fertigen Spritzbrühe in einem Eimer mit der entsprechenden Menge des Blattdüngers zu verrühren. Kommt es zu keinem erkennbaren Niederschlag, kann von einer physikalischen Mischbarkeit ausgegangen werden. Grundsätzlich sollte die angesetzte Spritzbrühe unter Rühren sofort ausgebracht werden und Spritzreste nicht über Nacht in der Spritze belassen werden.

Auf keinen Fall kann von der physikalischen Mischbarkeit Aussagen zur Verträglichkeit abgeleitet werden. Mischungen liegen im Regelfall im Verantwortungsbereich des Anwenders. Von einigen Anbietern werden im Internet Informationen zum Mischverhalten angeboten.

### Formulierungshilfen

Der Zusatz von Formulierungshilfen kann die Anwendungseigenschaften und Wirkung von Blattdüngern verbessern (Abb. 12).

Formulierungshilfsstoffe können sein:

- Dispergiermittel
- Netzmittel
- Haftmittel
- Absorptionsmittel

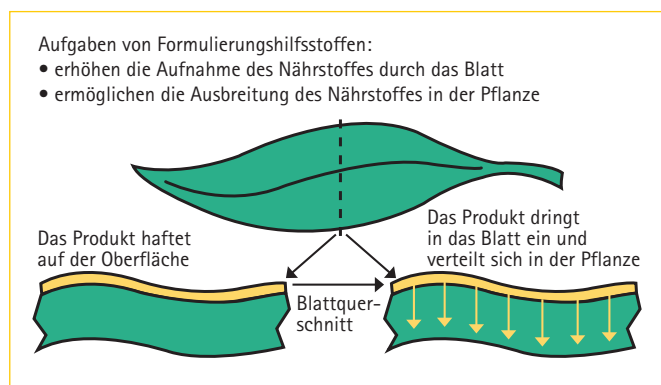


Abb. 12: Wirkung von Formulierungshilfsstoffen.

In kurzer Form sollen im Folgenden die Vorteile der aufgezeigten Formulierungshilfen dargestellt werden:

- **Dispergiermittel**

Dispergiermittel halten die aktiven Wirkstoffe gleichmäßig in Suspension, d. h. Absetzen oder Ausflocken von Nährstoffen im Kanister während der Lagerung oder später als gebrauchsfertige Spritzlösung werden über einen längeren Zeitraum verhindert.

- **Netzmittel**

Die Wirkung eines Netzmittels liegt in der besseren ‚Verteilung‘ des Spritztropfens auf der Blattoberfläche. Wie in Abbildung 13 dargestellt, wird mit steigender Konzentration eines Netzmittels der Spritztropfen auf eine größere Blattoberfläche verteilt. Werden die Tropfen auf der Blattoberfläche zu einem Flüssigkeitsfilm transformiert, wird die Fläche des Nährstoffaustauschs vergrößert, der osmotische Druckgradient reduziert und somit die Gefahr von Blattschädigungen herabgesetzt (Abb. 13).

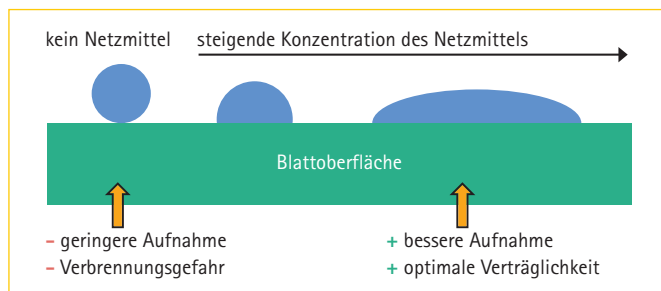


Abb. 13: Spezielle Wirkung der Netzmittel.

- **Haftmittel**

Als weitere wichtige Formulierungszusätze sind Haftmittel zu nennen. Die Wirkung der Haftmittel beruht darauf, dass der Flüssigkeitsfilm mit den darin enthaltenen Nährstoffen nach dem Antrocknen möglichst nicht mehr durch Regenfälle oder Tausalwirkung abgewaschen wird.

- **Absorptionsmittel**

Die Aufnahme des Nährstoffes über das Blatt sowie die Translokation innerhalb der Pflanze wird durch Absorptionsmittel ermöglicht bzw. beschleunigt (Abb. 12). Insbesondere wenn Mikronährstoffe chelatisiert vorliegen, ist ihre Mobilität in der Pflanze erhöht.

## Fertigation

Als Fertigation wird die Zufuhr von Nährstoffen zusammen mit dem Bewässerungswasser verstanden. Im Laufe der letzten Jahre hat sich die Fertigation hinsichtlich der vorhandenen Technik und der Anwendung in verschiedenen Kulturen sehr stark weiter entwickelt. Neben der gezielten Wasserversorgung bietet dieses System den Vorteil einer bedarfsgerechten Nährstoffversorgung.

Die Auswahl der Düngemittel hängt von der grundsätzlichen Ausrichtung der Düngestrategie ab. Es können NPK-Nährsalze oder entsprechende Einzelnährstoffe Anwendung finden. Teilweise sind Mikronährstoffe in entsprechenden Konzentrationen in Nährsalzen oder Einzelkomponenten enthalten. Darüber hinaus werden Mikronährstoffmischungen und Einnährstoffdünger angeboten. Grundvoraussetzung ist bei allen zur Anwendung stehenden Düngemitteln das rückstandsfreie Auflösen, möglichst schwach ausgebildete Korrosionseigenschaften sowie eine hohe Anwendungssicherheit und Pflanzenverträglichkeit.

## Saatgutbehandlung

Die Inkrustierung von Saatgut mit Mikronährstoffen kann zur verbesserten Jugendentwicklung und damit zu höheren Erträgen auf Mangelböden führen. Die Nährstoffe stehen der Pflanze in unmittelbarer Nähe der Wurzel zur Verfügung. Bei Wintergerste kann z. B. durch eine Mn-Applikation an das Saatkorn auf Mangelstandorten die Winterhärte verbessert werden. Dazu verwendete Mikronährstoffzusätze müssen sich mit den Beizmitteln mischen lassen, in einem Arbeitsgang aufgebracht werden können und einen hohen Beizgrad gewährleisten.

## 7 Mikronährstoffmangel und Düngung landwirtschaftlicher Kulturen

In den letzten Jahren werden Mikronährstoffe in landwirtschaftlichen Kulturen wieder verstärkt diskutiert, wobei das Mangelrisiko bei dikotylen Pflanzen häufig größer eingeschätzt wird als in Getreide. Dabei spielen sowohl Standortbedingungen als auch Bewirtschaftungssysteme eine Rolle. Insbesondere bei reinen Ackerbaubetrieben, bei denen der Rücklauf durch wirtschaftseigene Dünger fehlt, tritt Mikronährstoffmangel verstärkt auf. Je nach Standortbedingungen sind Defizite bei Mikronährstoffen, z. T. auch flächig, bereits mit bloßem Auge durch Mangelsymptome zu erkennen. Die Gefahr von Ertragsverlusten

ist damit vorprogrammiert. Selbst latenter Mangel, also Mangel ohne äußerlich sichtbare Symptome, kann zu Mindererträgen und Erlöseinbußen führen. Latenter Mangel kann nur durch Pflanzenanalysen erkannt werden (Tab. 6). Durch eine Risikoabwägung anhand der für die Mikronährstoffverfügbarkeit relevanten Standortfaktoren lassen sich die Erfolgchancen einer Mikronährstoffdüngung abschätzen.

Bei Getreide und Mais werden unter deutschen Bedingungen vor allem Mn-, Cu- und Zn-Mangel beobachtet, während ein Mangel der übrigen Nährstoffe nur unter besonderen Konstellationen auftreten wird. Bei den Hack- und Blattfrüchten sind vor allem B, Mn und Zn von praktischer Bedeutung.

In den folgenden Ausführungen orientiert sich die Reihenfolge der abgehandelten Mikronährstoffe in den einzelnen Kulturen an der Häufigkeit von auftretenden Mangelercheinungen. Dabei kann eine gewisse Willkürlichkeit nicht vermieden werden, da große regionale Unterschiede bestehen. In den Tabellen wird dagegen der besseren Übersicht wegen stets die gleiche Reihenfolge beibehalten.

### Düngeempfehlungen

Die Hinweise zur Düngung beruhen auf durchschnittlichen Empfehlungen aus den verschiedenen Einrichtungen der Officialberatung.

Die Mengenangaben zur Bodendüngung in Ackerkulturen sind als Vorratsdüngung zu betrachten. Die Wirkungsdauer schwankt je nach Nährstoff und Autor zwischen ca. 3 und 5 Jahren. Die Bodendüngung sollte immer zu einer Kultur innerhalb der Fruchtfolge mit hohen Ansprüchen an die Mikronährstoffversorgung gegeben werden (Tab. 7). Als Entscheidungskriterium für die Bodendüngung sollten die Ergebnisse der Bodenuntersuchung herangezogen werden (vgl. Kap. 5).

| Pflanze                                        | Entwicklungsstadium (BBCH)                     | B                       | Cu<br>[mg/kg TM]     | Mn                         | Mo                     | Zn                      |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| W-Weizen<br>(gesamte oberirdische Pflanze)     | BBCH 29/30<br>BBCH 37/38                       |                         | 4,4-11,2<br>3,5-10,1 | 31-100<br>28-70            |                        | 21-34<br>17-31          |
| W-Gerste<br>(gesamte oberirdische Pflanze)     | BBCH 28<br>BBCH 37/38                          |                         | 4,1-10,6<br>3,6-11,1 | 27-84<br>15-71             |                        | 26-43<br>21-47          |
| W-Roggen<br>(gesamte oberirdische Pflanze)     | BBCH 28<br>BBCH 37/38                          |                         | 6,4-10,4<br>4,7-8,8  | 33-107<br>14-86            |                        | 28-40<br>22-38          |
| W-Triticale<br>(gesamte oberirdische Pflanze)  | BBCH 28<br>BBCH 37/38                          |                         | 5,5-17,0<br>4,3-14,0 | 35-155<br>24-140           |                        | 27-80<br>17-65          |
| Hafer<br>(gesamte oberirdische Pflanze)        | BBCH 28<br>BBCH 37/38                          |                         | 5,0-16,5<br>4,0-14,5 | 35-150<br>23-135           |                        | 25-75<br>16-60          |
| W-Raps<br>(gerade vollentwickelte Blätter)     | Knospe klein (BBCH 53)<br>Blühbeginn (BBCH 62) | 15-50<br>19-60          |                      | 30-150<br>22-150           | 0,38-1,00<br>0,32-0,90 |                         |
| Kartoffel<br>(gerade vollentwickelte Blätter)  | Knospenstadium<br>Blühende<br>Knollenbildung   | 20-60<br>21-50<br>21-50 |                      | 40-200<br>35-200<br>30-200 |                        | 23-80<br>18-70<br>15-70 |
| Zuckerrübe<br>(gerade vollentwickelte Blätter) | Mitte Juni<br>Ende Juli                        | 28-90<br>35-120         | 5,7-17,5<br>5,2-16,5 | 42-200<br>35-200           | 0,17-1,50<br>0,15-1,50 | 27-80<br>22-70          |
| Silomais<br>(mittlere Blätter)                 | 40-60 cm                                       | 7-30                    | 6,0-17               | 40-160                     |                        | 22-70                   |

Tab. 6: Ausreichende Mikronährstoffgehalte im Pflanzengewebe ausgewählter Ackerkulturen (Breuer et al. 2003, modifiziert).

Im Gegensatz zur Bodendüngung, die i. d. R. einmal im Rahmen der Fruchtfolge erfolgt, beziehen sich Mengenangaben zur Blattdüngung auf die angebaute Kultur. Die Blattdüngungsmaßnahmen werden zu den kulturartspezifischen Bedarfsphasen, ggf. in mehreren Teilgaben appliziert (zur Diskussion der Vor- und Nachteile von Boden- und Blattdüngung siehe auch Kapitel 6).

|                                           | B  | Cu | Mn | Zn |
|-------------------------------------------|----|----|----|----|
| <b>Getreide und Mais</b>                  |    |    |    |    |
| Winter- und Sommerweizen                  | 0* | 2  | 2  | 0  |
| Winter- und Sommerroggen                  | 0  | 1  | 1  | 0  |
| Winter- und Sommergerste, Getreidegemenge | 0  | 2  | 1  | 0  |
| Hafer                                     | 0  | 2  | 2  | 0  |
| Körnermais, Silomais, Grünmais            | 1  | 1  | 1  | 2  |
| <b>Hülsenfrüchte</b>                      |    |    |    |    |
| Erbse, Trockenspeisebohne, Wicke          | 0  | 0  | 2  | 0  |
| Ackerbohne                                | 1  | 1  | 0  | 1  |
| Lupine                                    | 2  | 0  | 0  | 0  |
| <b>Öl- und Faserpflanzen</b>              |    |    |    |    |
| Raps, Rübsen                              | 2  | 0  | 1  | 0  |
| Senf                                      | 1  | 0  | 0  | 0  |
| Mohn                                      | 2  | 0  | 0  | 0  |
| Lein                                      | 1  | 2  | 0  | 2  |
| Sonnenblume                               | 2  | 2  | 1  | 0  |
| Hanf                                      | 1  | 0  | 0  | 0  |
| <b>Hackfrüchte</b>                        |    |    |    |    |
| Kartoffel                                 | 1  | 0  | 1  | 1  |
| Zucker-, Futterrübe                       | 2  | 1  | 2  | 1  |
| Stoppel-, Kohlrübe                        | 2  | 0  | 1  | 0  |
| Futtermöhre                               | 1  | 2  | 1  | 0  |
| Futterrübe Stecklinge                     | 2  | 1  | 2  | 1  |
| Kohlrübe Vermehrung                       | 2  | 0  | 1  | 0  |
| <b>Futterpflanzen</b>                     |    |    |    |    |
| Rotklee, Rotklee gras                     | 1  | 1  | 1  | 1  |
| Luzernegras, Futtergräser, Wiese, Weide   | 0  | 1  | 1  | 0  |
| Luzerne                                   | 2  | 2  | 1  | 1  |
| Futter-, Markstammkohl                    | 2  | 0  | 1  | 0  |

0 = niedriger Bedarf an diesem Mikronährstoff  
 1 = Mikronährstoffintensive Kultur mit mittlerer Düngewirkung bzw. mittlerem Düngbedarf  
 2 = Mikronährstoffintensive Kultur mit hoher Düngewirkung bzw. hohem Düngbedarf  
 \* = Düngedürftigkeit in Abhängigkeit von der Witterung während der Blüte aber gegeben

Tab. 7: Mikronährstoffbedarf wichtiger Kulturen (VDLUFA 2002, modifiziert).

## Getreide

Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer

### Mangan (Mn)

Die Reihenfolge der Empfindlichkeit gegenüber Mangel nimmt ab in der Reihenfolge: Hafer - Gerste/Weizen - Roggen.

Mangelsymptome treten bei Gramineen häufig mehr an den mittleren, z. T. auch an den älteren Blättern auf. Die Symptomausprägung des Mn-Mangels ist beim Hafer mit dem Begriff „Dörrfleckenkrankheit“ umschrieben. Hierbei treten, wie bei extremer Trockenheit, abgegrenzte „vertrocknende“ Flecken im Bestand auf. Es zeigen sich helle, graue bis graubraune unregelmäßige Flecken meist auf den mittleren Blättern.

Bei der Einzelpflanze knicken typischerweise die Blätter scharf ab und vertrocknen zunächst am Blattgrund. Die Spitze bleibt länger grün. Geringer Mangel führt zum Schieben teilweise tauber Rispen. Bei starkem Mn-Mangel vertrocknet die gesamte Pflanze.

Die gleichen Symptome treten in weniger starker Form auch beim Weizen auf. Gerste reagiert mit Blattaufhellungen. In den Zwischenaderstreifen junger und mittlerer Blätter bilden sich Chlorosen und Nekrosen. Blätter knicken ebenfalls ab. Rhynchosporium (Blattfleckenkrankheit) weist ähnliche Symptome auf!

Roggen zeichnet ebenfalls bei starkem Mangel durch Blattknicken, ist aber insgesamt am wenigsten anfällig gegen Mn-Mangel.

Bei starkem Mn-Mangel weist Getreide eine erhöhte Anfälligkeit gegen Krankheiten auf. Eine ausreichende Mn-Versorgung erhöht die Krankheitsresistenz und verbessert zudem die Winterfestigkeit der Getreidepflanzen.

Bei niedrigen Mn-Gehalten im Boden beträgt die Düngung 10-20 kg Mn/ha, üblicherweise als Mn-Sulfat oder durch nebenstoffreiche Dünger über den Boden verabreicht. Besteht die Gefahr einer Mn-Festlegung im Boden, ist eine Blattdüngung sinnvoll in Höhe von 0,4-4 kg Mn/ha. Die höheren Mengen sollten in mehrere Teilgaben aufgeteilt werden.



Abb. 14: Blätter von Sommerweizen mit Mn-Mangelsymptomen; oben: gesundes Blatt.

#### Kupfer (Cu)

Kupfermangel ist beim Getreide, besonders beim Hafer, unter dem Namen „Heidemoor-krankheit“ bzw. „Urbarmachungskrankheit“ bekannt. Diese Bezeichnungen weisen auch bereits auf die Standorte hin, unter denen Cu-Mangel am ehesten auftreten kann, nämlich auf leichten und humusreichen Böden.

Cu-Mangelsymptome sind: Aufhellen der Blätter von den Rändern und Spitzen her. Blattspitzen hängen oft korkenzieherartig herab. Rispen und Ähren sind oft (teilweise) taub und kommen nicht aus der Blattscheide. Die gesamte Pflanze zeigt Welkeerscheinungen ähnlich wie bei Wassermangel. Der Bestand erhält einen weißen Schimmer (Spitzendürre/Weißährigkeit). Die Bestandsentwicklung ist ungleichmäßig, es kommt zu Nachschossern. Cu-Mangel führt bei Getreide durch Pollensterilität zu verminderter Kornzahl bzw. tauben Ähren. Die Lagergefahr steigt durch mangelnde Halmstabilität.



Abb. 15: Mn-Mangel, Hafer.

Düngungsmaßnahmen erfolgen in Höhe von 2-5 kg Cu/ha über den Boden (die höheren Mengen für 3-4 Jahre im Voraus) bzw. 0,3-1 kg Cu/ha über das Blatt.

### Zink (Zn)

Zn-Mangel ist in der Praxis bei Getreide nur schwer zu erkennen. Eine Pflanzenanalyse wird eine bessere Einschätzung der Versorgungslage erbringen. Starke Mangelsymptome sind lediglich aus Versuchen mit induziertem Mangel bekannt. Allerdings finden sich gerade in den letzten Jahren in reinen Ackerbaubetrieben ohne organische Düngung Zn-Mangelsymptome bei Weizen. Sie äußern sich durch rötlich verfärbte ältere Blätter mit unregelmäßigen hellen Flecken. Allen Getreidearten gemein ist eine Verzweigung bzw. Kleinblättrigkeit.

Beim Hafer verfärben sich die älteren Blätter bronze- bis purpurfarbig und weisen u. U. helle Blattflecken auf. Weizen zeigt zunächst helle, dann bräunliche Blattflecken auf älteren Blättern, die evtl. in eine Verfärbung des gesamten Blattes übergehen können und absterben. Jüngere Blätter zeigen Zwergwuchs. Gerste bleibt klein, zeigt Chlorosen ähnlich wie bei N-Mangel und stirbt bei extremem Mangel ab.



Abb. 16: Cu-Mangel, Gerste. Kennzeichnend sind die vertrockneten weißen und verdrehten bzw. eingerollten Blattspitzen junger Blätter („Weißspitzigkeit“).



Abb. 17: Cu-Mangel, Hafer. „Heidemoorkrankheit“ war schon im vorigen Jahrhundert bekannt und tritt besonders auf leichten Standorten auf.

Eine Zn-Düngung wird i. d. R. als Blattapplikation in Höhe von 0,3-0,5 kg Zn/ha gegeben.

### Bor (B)

B-Mangel kommt in der Praxis meist nicht vor, da Getreide gegenüber niedriger B-Versorgung wenig empfindlich ist. Allerdings sind in den letzten Jahren vor allem auf leichten Böden Getreidebestände mit sehr niedrigen B-Gehalten aufgefallen, die auf B-Mangel hinweisen könnten.

Wenn Mangelsymptome auftreten, zeigen sie sich in einer deutlichen Halmverkürzung. Die Spitzenblätter fehlen. Blütensterilität und daraus resultierende Taubährigkeit sind weitere Symptome. Unter Umständen treiben aus bereits gelben Halmen aus den unteren Halmknoten zusätzliche Halmchen aus.

Bei sehr niedrigen B-Gehalten in der Pflanze kann eine Düngung mit 0,2 kg B/ha über das Blatt erfolgen.

|           |                           |                                                                                                                                                                                  |
|-----------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B*</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 0,7 g/dt Korn + 0,4 g/dt Stroh<br>Halmverkürzung, keine Spitzenblätter,<br>Taubährigkeit                                                                                         |
|           | <b>Düngeempfehlungen</b>  | <b>Boden: 0,5–2 kg B/ha</b><br><b>Blatt: 0,2–0,5 kg B/ha</b>                                                                                                                     |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 0,5–0,6 g/dt Korn + 0,5 g/dt Stroh<br>Chlorosen, Weißährigkeit (Urbarmachungs-<br>krankheit), Nekrosen (Spitzendürre), Blattrollen,<br>Lager, Hafer besonders empfindlich        |
|           | <b>Düngeempfehlungen</b>  | <b>Boden: 2–5 kg Cu/ha,</b><br><b>Blatt: 0,3–1 kg Cu/ha</b>                                                                                                                      |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 5–6 g/dt Korn + 11 g/dt Stroh<br>Chlorosen an jüngeren Blättern                                                                                                                  |
|           | <b>Düngeempfehlungen</b>  | <b>Boden schwierig (Fixierung),</b><br><b>Blatt: 0,5–1,5 kg Fe/ha</b>                                                                                                            |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 2–4 g/dt Korn + 3 g/dt Stroh<br>Graugrüne Flecken an mittleren Blättern,<br>Interkostalchlorosen, Abknicken der Blätter,<br>Dörrfleckenkrankheit,<br>Hafer besonders empfindlich |
|           | <b>Düngeempfehlungen</b>  | <b>Boden: 10–20 kg Mn/ha,</b><br><b>Blatt: 0,5–4 kg Mn/ha</b><br>(ggf. mehrere Teilgaben)                                                                                        |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 0,05 g/dt Korn + 0,03 g/dt Stroh<br>Blattdeformationen,<br>Nekrosen und Chlorosen an den Blättern                                                                                |
|           | <b>Düngeempfehlungen</b>  | <b>Blatt: 0,1 kg Mo/ha</b>                                                                                                                                                       |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 3–4 g/dt Korn + 4 g/dt Stroh<br>Kleinblättrigkeit, Interkostalchlorosen,<br>Nekrosen an älteren Pflanzenteilen,<br>Rotfärbung an Stängel und Blättern,<br>Rosettenbildung        |
|           | <b>Düngeempfehlungen</b>  | <b>Boden: 2–10 kg Zn/ha,</b><br><b>Blatt: 0,3–0,5 kg Zn/ha</b>                                                                                                                   |

\* Bei einer B-Düngung zu B-bedürftigen Kulturen innerhalb der Fruchtfolge ist zu Getreide meist keine B-Düngung erforderlich.

Tab. 8: Getreidekulturen (Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer): Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome (durchschnittliche Düngeempfehlungen der Bundesländer, Entzüge nach v. Fischer 1995).

### Eisen (Fe)

Fe-Mangel in Getreide ist in Deutschland nur relativ selten zu finden.

Die Empfindlichkeit gegenüber Eisenmangel ist unter den Getreidearten beim Hafer am größten und wird in der Reihe Gerste – Weizen – Roggen geringer.

Mangel wird an den jüngsten Blättern zuerst sichtbar und äußert sich in Streifenchlorosen. Hierbei wechseln sich grüne Blattadern mit aufgehellten Bereichen zwischen den Adern ab. Die Chlorosen sind im Gegensatz zum Mn-Mangel oftmals auf den mittleren Teil des Blattes begrenzt.

Im Allgemeinen tragen die bekannten Maßnahmen zur Erhöhung der Fruchtbarkeit eines Bodens (Strukturverbesserung, Förderung der biologischen Aktivität) auch zu einer Erhöhung der Fe-Verfügbarkeit bei.

Tritt dennoch Fe-Mangel auf, liegen die empfohlenen Aufwandmengen bei 0,5–1,5 kg/ha Fe. Wegen der hohen Gefahr der Fixierung bei Bodendüngung wird normalerweise eine Fe-Düngung über das Blatt mit Fe-Chelaten oder Fe-Salzen vorgenommen.

### Molybdän (Mo)

Mo-Mangel tritt bei Getreide ebenfalls nur unter extremen Bedingungen auf.

Hafer zeigt Interkostalchlorosen zunächst an den älteren Blättern. Bei anhaltendem Mangel vertrocknen die Blätter von den Spitzen her. Die Rispen verfärben sich blaugrün.

Roggen zeigt gelbe Verfärbungen an der Blattbasis älterer Blätter. Später vertrocknen die Blätter von der Spitze her. Dabei treten perl-schnur- bis strichförmige Nekrosen zwischen den Blattadern auf.

## Mais

### Bor (B)

B-Mangelsymptome: Verkürztes Internodienwachstum. An jüngeren Blättern schmale, weiße, wasserfleckartige nekrotische Flecken entlang der Mittelrippe. Chlorosen mit z. T. rötlichem Anflug, zuerst in der unteren Hälfte des Blattes. Vertrocknung, Verdrehen und Einrollen der jüngsten Blätter sowie Nekrosen und gekräuselte Blattspitzen.

Gerade auf leichteren Böden tritt B-Mangel oft wegen zu niedriger B-Gehalte im Boden auf. Eine B-Düngung kann als Bodendüngung mit 0,5–2 kg B/ha oder als Blattdüngung in Höhe von 0,2–0,5 kg B/ha bis zum 8–10-Blattstadium erfolgen.

### Zink (Zn)

Mais gilt als besonders empfindlich gegenüber Zn-Mangel.

Zn-Mangelsymptome: An älteren Blättern nahe der Blattbasis fahle bis weißgelbe, 2–3 cm breite chlorotische Streifen, die sich zur Spitze in mehrere Streifen auflösen können. Jüngere Blätter fahlgelb bis fast weiß („Weißknospigkeit“). In chlorotischen Streifen Ausbildung von schieferfarbenen bis braunen z. T. rötlichen nekrotischen Zonen. Gestauchter Wuchs durch verkürzte Internodien.

Unter deutschen Bedingungen wird Zn-Mangel meist durch mangelnde Verfügbarkeit im Boden hervorgerufen. Daher bietet sich eher eine Blattdüngung mit 0,3–0,5 kg Zn/ha an.

### Mangan (Mn)

Mn-Mangelsymptome: An mittleren bis jüngeren Blättern gelbgrüne chlorotische Streifen im mittleren Teil des betroffenen Blattes. Mit zunehmendem Mangel nekrotisieren diese Streifen unter Weißfärbung. Jüngste Blätter blassgrün.



Abb. 18: B-Mangel ab dem 4-Blattstadium verhindert eine optimale Ausbildung des Kolbens und der Kornanlagen.

Auf Standorten mit niedrigen Mn-Gehalten im Boden kann eine Bodendüngung mit 10–20 kg Mn/ha Mangel beseitigen. Auf Standorten mit mangelnder Mn-Pflanzenverfügbarkeit bietet sich eine Blattdüngung mit 0,5–4 kg Mn/ha an.

### Kupfer (Cu)

Cu-Mangelsymptome: Helle, gelbgrüne Verfärbung der jüngsten Blätter. Die Blattspitzen welken unter weißgrauer Verfärbung und trocknen ein. Die Spitzen der sich gerade neu entfaltenden Blätter sind meist schon abgestorben. Korndeformationen.



Abb. 19: Zn-Mangel, Mais. Gelbe Streifen oder Aufhellungen zwischen den Blattadern an älteren Blättern.



Abb. 20: Mn-Mangel, Mais. Steifenförmige Chlorophyllaufhellungen zwischen den Adern mit folgender Entwicklung von meist weißen, streifigen Nekrosen.

|           |                           |                                                                                                                                                                                            |
|-----------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge<br>Mangelsymptome | Ca. 3-4 g/dt TM Gesamtpflanze<br>Verkürztes Internodienwachstum, an jüngeren Blättern schmale, weiße, wasserfleckentartige nekrotische Flecken entlang der Mittelrippe                     |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden: 0,5-2 kg B/ha,<br>Blatt: 0,2-0,5 kg B/ha                                                                                                                                            |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | Ca. 0,8 g/dt TM Gesamtpflanze<br>Helle, gelbgrüne Verfärbung der jüngsten Blätter, die Blattspitzen welken unter weiß-grauer Verfärbung und trocknen ein                                   |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden: 2-5 kg Cu/ha,<br>Blatt: 0,3-1 kg Cu/ha                                                                                                                                              |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | Ca. 21 g/dt TM Gesamtpflanze<br>Chlorosen an jüngeren Blättern                                                                                                                             |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden schwierig (Fixierung),<br>Blatt: 0,5-1,5 kg Fe/ha                                                                                                                                    |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | Ca. 16 g/dt TM Gesamtpflanze<br>An mittleren bis jüngeren Blättern gelbgrüne chlorotische Streifen im mittleren Teil der Blätter                                                           |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden: 10-20 kg Mn/ha,<br>Blatt: 0,5-4 kg Mn/ha<br>(ggf. mehrere Teilgaben)                                                                                                                |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | Ca. 0,04 g/dt TM Gesamtpflanze                                                                                                                                                             |
|           | Düngeempfehlungen         | Blatt: 0,1 kg Mo/ha                                                                                                                                                                        |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | Ca. 3-4 g/dt TM Gesamtpflanze<br>An älteren Blättern nahe der Blattbasis fahle bis weißgelbe, 2-3 cm breite chlorotische Streifen, die sich zur Spitze in mehrere Streifen auflösen können |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden: 2-10 kg Zn/ha,<br>Blatt: 0,3-0,5 kg Zn/ha                                                                                                                                           |

Tab. 9: Mais: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome (durchschnittliche Düngeempfehlungen der Bundesländer; Entzüge nach v. Fischer 1995).

## Hackfrüchte

### Kartoffeln

#### Mangan (Mn)

Insbesondere nach zurückgehendem Einsatz von Mn-haltigen Fungiziden und stark gestiegenem Ertragsniveau werden Mn-Mangelsymptome immer häufiger an Kartoffeln beobachtet. Zuerst hellen die jüngeren Blätter auf, es treten punktförmige braune Nekrosen im Gewebe zwischen den Blattadern auf. Die Fiederblätter der jüngeren Blätter bleiben klein, das Pflanzenwachstum erscheint gestaut. Ein verstärktes Auftreten von Kartoffelschorf wird teilweise auch mit Mn-Mangel in Verbindung gebracht.



Abb. 21: Mn-Mangel, Kartoffeln. Ausbildung von chlorotischen Aufhellungen zwischen den Adern.



Abb. 22: Verstärkter Schorfbefall wird häufig mit Mn-Mangel in Verbindung gebracht.

Bei sehr niedrigen Mn-Gehalten im Boden (meist auf leichten Böden) ist eine Bodendüngung von 10-20 kg Mn/ha sinnvoll. Auf den meisten Flächen ist jedoch nicht die absolute Menge, sondern die Mn-Verfügbarkeit der begrenzende Faktor. Hier lässt sich durch die Blattdüngung in Höhe von 0,5-4 kg/ha Mn die Mn-Versorgung, meist über mehrere Teilgaben, sicherstellen.

#### Kupfer (Cu)

Cu-Mangel zeigt sich durch permanente Welkeerscheinungen insbesondere der jungen Blätter, verbunden mit terminalen Absterbeerscheinungen. Abfallen der Terminalknospen zum Zeitpunkt der Düngung.

Cu-Mangel lässt sich durch eine Blattdüngung mit 0,3-1 kg Cu/ha vermeiden. Auch eine Bodenvorratsdüngung mit 2-5 kg/ha wird durchgeführt.



Abb. 23: B-Mangel bei Kartoffelknollen.

### Bor (B)

Kartoffeln gelten im Allgemeinen zwar nicht als besonders B-bedürftig, die Höhe des als ausreichend gekennzeichneten Pflanzengehaltes liegt jedoch in ähnlicher Größenordnung wie bei Zuckerrüben oder Raps, so dass der Bedarf nicht zu unterschätzen ist.

B-Mangel führt zu verkürzten Stängeln und buschigem Aussehen infolge starker Ausbildung von Seitentrieben. Zunächst hellen sich jüngere Blätter von der Spitze her auf. Bei bleibender Mangelsituation bilden sich größer werdende und ineinander fließende, braune Nekrosen. Bei anhaltendem Mangel vergilben auch die älteren Blätter. Die Schnittflächen der Knollen verfärben sich schnell rot- bis dunkelbraun. Zum Teil lassen sich unregelmäßig verteilte braune Flecken im Knollengewebe beobachten.

Eine Düngung in Höhe von 0,2-0,5 kg B/ha kann einen Mangel verhindern.

|           |                                                |                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge<br>Mangelsymptome<br>Düngeempfehlungen | Ca. 0,25 g/dt Knolle<br>Verkürzte Stängel, buschiges Aussehen<br><b>Boden: 0,5–2 kg B/ha,<br/>Blatt: 0,2–0,5 kg B/ha</b>                                                                                                 |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br>Düngeempfehlungen | Ca. 0,2 g/dt Knolle<br>Junge Blätter permanent welk, Absterbeerscheinungen durch Austrocknen ohne ausgeprägte Chlorosen, Abfallen der Terminalknospen zur Blüte<br><b>Boden: 2–5 kg Cu/ha,<br/>Blatt: 0,3–1 kg Cu/ha</b> |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br>Düngeempfehlungen | Ca. 3 g/dt Knolle<br>Chlorosen an jüngeren Blättern<br><b>Boden schwierig (Fixierung),<br/>Blatt: 0,5–1,5 kg Fe/ha</b>                                                                                                   |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br>Düngeempfehlungen | Ca. 0,4 g/dt Knolle<br>braungüne Flecken an mittleren Blättern, Interkostalchlorosen<br><b>Boden: 10–20 kg Mn/ha,<br/>Blatt: 0,5–4 kg Mn/ha<br/>(ggf. mehrere Teilgaben)</b>                                             |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br>Düngeempfehlungen | Ca. 0,01 g/dt Knolle<br><b>Blatt: 0,1 kg Mo/ha</b>                                                                                                                                                                       |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br>Düngeempfehlungen | Ca. 0,6 g/dt Knolle<br>Blattdeformationen, „Farnblättrigkeit“, Absterben der jüngsten Triebe, Zwergwuchs<br><b>Boden: 2–10 kg Zn/ha,<br/>Blatt: 0,3–0,5 kg Zn/ha</b>                                                     |

Tab. 10: Kartoffeln: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome (durchschnittliche Düngeempfehlungen der Bundesländer; Entzüge nach v. Fischer 1995).

### Zink (Zn)

Kartoffeln reagieren auf Zn-Mangel mit Blattdeformationen („Farnblättrigkeit“) und Zwergwuchs, wobei verschiedene Sorten Zn-Mangel unterschiedlich stark anzeigen. Auf den mittleren und vor allem auf den jüngsten Blättern bilden sich graubraune, bronzene Flecken und Interkostalchlorosen. Bei starkem Mangel sterben die jüngsten Triebe vollständig ab.

## Zuckerrüben

### Bor (B)

Rüben gelten als typische Pflanzen mit hohem B-Bedarf. Mangelsymptome werden in Abhängigkeit von Boden und Witterung häufig beobachtet. Insbesondere nach Trockenperioden bzw. in Trockenjahren wird B-Mangel besonders deutlich. Obwohl einzelne Sorten eher mit Mangelsymptomen auf B-Mangel reagieren als andere, liegen die Ertragsverluste bei allen Sorten in ähnlicher Größenordnung. Bei B-Mangel ergeben sich häufig erniedrigte Zuckergehalte.

Am bekanntesten und als typisch für B-Mangel ist die Herz- und Trockenfäule, die sich meist ab Mitte bis Ende Juli zeigt. Jedoch treten bereits vorher oft Symptome an den jüngeren Blättern auf. Dabei zeigt sich eine Braun-/Rot-Verfärbung der Herzblätter.

Bei B-Mangel ist häufig eine Hälfte der Blattspreite unvollständig oder gar nicht ausgebildet. Die Herzblätter sterben ab, bei starkem B-Mangel sogar der gesamte Vegetationskegel. Später beginnt der Rübenkopf zu faulen, so dass der Rübenkörper allmählich von oben her hohl wird. Die Blattstiele reißen in Querrichtung narbig auf, z. T. unter Austreten einer braunen sirupartigen Flüssigkeit. Nach einer B-Düngung kommt es oft zu einer Neubildung von Blättern, so dass nach einigen Wochen die B-Mangelsymptome noch an den dann älteren Blättern erkennbar sind, die jüngeren Blätter jedoch keine Symptome mehr zeigen.

Insbesondere leichtere Böden weisen durch Auswaschung häufig niedrige B-Gehalte auf, so dass die Vorräte durch eine Bodendüngung ergänzt werden können. Auf vielen Standorten wird jedoch die Pflanzenverfügbarkeit durch verschiedene Faktoren eingeschränkt, obwohl ausreichende Mengen im Boden vorhanden sind. Unter solchen Bedingungen ist eine

Blattdüngung besonders wirkungsvoll, da eine Festlegung im Boden umgangen wird. Sobald ausreichend Blattmasse vorhanden ist, sollte eine erste Applikation erfolgen.

Die B-Versorgung kann durch Boden- oder Blattdüngung sichergestellt werden. Bei Bodendüngung werden ca. 0,5-2 kg B/ha empfohlen. Eine hohe Vorratsdüngung ist nicht sinnvoll, da einerseits Bor ausgewaschen werden kann und andererseits die Spanne zwischen Mangel und Überversorgung als eng gilt. Insbesondere für Standorte mit mangelnder B-Pflanzenverfügbarkeit bietet sich die B-Blattdüngung in Höhe von 0,2-0,5 kg B/ha an, eventuell aufgeteilt in 2 Teilgaben.



Abb. 24: B-Mangel, Zuckerrüben. Führt zum Absterben des Vegetationspunktes; die Fäulnis reicht bis in den Rübenkörper hinein.



Abb. 25: B-Mangelsymptome am Rübenkörper.

### Mangan (Mn)

Charakteristisch sind begrenzte Interkostalchlorosen (Aufhellungen zwischen den Blattadern) mit breitem grünen Saum um die Adern, in deren Zentrum sich schnell Nekrosen (Absterbeerscheinungen) bilden.

Bei sehr niedrigen Mn-Gehalten im Boden bietet sich eine Bodendüngung von 10-20 kg Mn/ha an. Auf Standorten mit begrenzter Pflanzenverfügbarkeit ist i. d. R. eine Blattdüngung in Höhe von 0,5-2 kg Mn/ha, oft aufgeteilt in mehrere Teilgaben, wirkungsvoller.

### Kupfer (Cu)

Cu-Mangelsymptome: An den jüngsten Blättern Einrollen, Welkeerscheinungen, blaugrüne Verfärbung. An den mittleren bis älteren Blättern an den Blattspitzen beginnend hellgelbe Marmorierungen, die sich bei grün bleibenden Adern auf das ganze Blatt ausbreiten. Verminderte Krankheitsresistenz, gestauchtes Wachstum der Hauptwurzel, Ausbildung langer dünner Seitenwurzeln möglich.

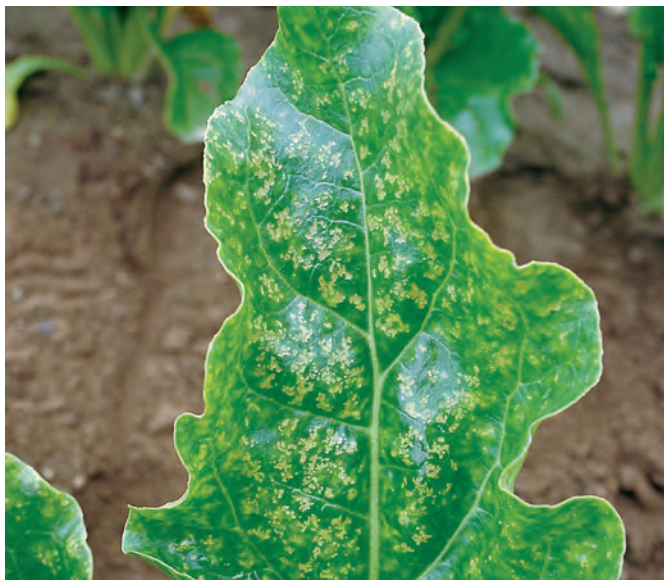


Abb. 26: Mn-Mangel, Zuckerrüben. „Zeichnet“ mit kleinen chlorotischen Flecken auf der gesamten Blattfläche.

### Zink (Zn)

Zn-Mangelsymptome: Aufrecht stehende Blätter, deren Blattspreiten anfänglich eine allgemeine gelbliche Verfärbung, später weiße Flecken in den Interkostalfeldern zeigen. Diese Flecken werden größer und gehen ineinander über, so dass schließlich nur noch entlang den Blattnerven grüne Säume übrig bleiben. Nach einer Verbräunung trocknen die Blattspreiten ein und die Blätter sterben ab.

### Molybdän (Mo)

Mo-Mangelsymptome: Nekrosebildung im Vegetationskegelzentrum, zuvor Blattdeformationen, reduzierte Blattspreite, Randaufwölbung bzw. Kräuselung; Klemmherz.

|           |                                                    |                                                                                                                                                                                                     |
|-----------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 0,4 g/dt Rübe + 0,7-1,2 g/dt Blatt<br>Jüngste Blattspreiten oft unvollständig ausgebildet, braunschwarz verfärbt, Herz- und Trockenfäule<br><b>Boden: 0,5-2 kg B/ha,<br/>Blatt: 0,2-0,5 kg B/ha</b> |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | Ca. 0,13 g/dt Rübe + 0,3 g/dt Blatt<br>Einrollen, Welkeerscheinungen, blaugrüne Verfärbung der jüngsten Blätter<br><b>Boden: 2-5 kg Cu/ha,<br/>Blatt: 0,3-1 kg Cu/ha</b>                            |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br>Düngeempfehlungen     | 2,5-3 g/dt Rübe + 5-6 g/dt Blatt<br>Chlorosen an jüngeren Blättern<br><b>Boden schwierig (Fixierung),<br/>Blatt: 0,5-1,5 kg Fe/ha</b>                                                               |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | Ca. 0,8 g/dt Rübe + 1,6 g/dt Blatt<br>Abgegrenzte Aufhellungen zwischen den Blattadern<br><b>Boden: 10-20 kg Mn/ha,<br/>Blatt: 0,5-4 kg Mn/ha<br/>(ggf. mehrere Teilgaben)</b>                      |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br>Düngeempfehlungen     | 0,01 g/dt Rübe + 0,02 g/dt Blatt<br>Blattdeformationen, reduzierte Blattspreite<br><b>Blatt: 0,1 kg Mo/ha</b>                                                                                       |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | Ca. 0,8 g/dt Knolle Rübe + 1,6 g/dt Blatt<br>Gelbliche Verfärbung, später weiße Flecken in den Interkostalfeldern<br><b>Boden: 2-10 kg Zn/ha,<br/>Blatt: 0,3-0,5 kg Zn/ha</b>                       |

Tab. 11: Zuckerrüben: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome (durchschnittliche Düngeempfehlungen der Bundesländer; Entzüge nach v. Fischer 1995)

## Blattfrüchte

### Winterraps

#### Bor (B)

B-Mangelsymptome: Gestauchtes Wachstum („Sitzenbleiben des Rapses“) mit verdicktem Stängel. Braune nekrotische Narben und Risse an Stängeln. Verkümmerte Blütenbildung, reduzierte Blattspreitenentwicklung.

Da Raps zu den B-sensitiven Kulturarten zählt, ist die ausreichende B-Versorgung besonders zu beachten. Eine Düngung mit 0,5-2 kg B/ha über den Boden oder 0,2-0,5 kg B/ha über das Blatt, auch mehrfach mit mehreren Teilgaben, wird einen Mangel verhindern.

#### Mangan (Mn)

Die Mn-Entzüge mit Mengen bis über 1 kg Mn/ha werden häufig unterschätzt. Bei Mangel ergeben sich an jüngeren Blättern fleckenhafte, über die gesamte Blattspreite verteilte Chlorosen, übergehend in Nekrosen sowie verzögerte Blüte und reduzierter Schootenansatz. An Fahrspurrändern ist oft typisch das bessere Wachstum aufgrund der höheren Mn-Verfügbarkeit in verdichteten Böden mit niedrigerem Redoxpotenzial. Durch eine ausreichende Mn-Versorgung wird die Winterfestigkeit und Krankheitsresistenz gestärkt.

Bei Mangel: Blattdüngung 0,3-4 kg Mn/ha in Salzform (die höheren Mengen in mehreren Teilgaben) oder 0,1-0,2 kg Mn/ha als Chelat.



Abb. 27: B-Mangel, Winterraps. Die Pflanzen zeigen gestauchten Wuchs und bilden auch im Knospenstadium eine Rosette dicht über dem Boden („Sitzenbleiber“).



Abb. 28: B-Mangel führt bei Raps zu Hohlraumbildung unterhalb des Vegetationskegels.

|           |                           |                                                                                                                                                               |
|-----------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge<br>Mangelsymptome | 1–1,5 g/dt Korn + 2–3 g/dt Stroh<br>Gestauchtes Wachstum („Sitzenbleiben des Rapses“) mit verdicktem Stängel, braune nekrotische Narben und Risse an Stängeln |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden: 0,5–2 kg B/ha,<br>Blatt: 0,2–0,5 kg B/ha                                                                                                               |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 0,5–0,6 g/dt Korn + 0,3–0,4 g/dt Stroh                                                                                                                        |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden: 2–5 kg Cu/ha,<br>Blatt: 0,3–1 kg Cu/ha                                                                                                                 |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 5–6 g/dt Korn + 3–4 g/dt Stroh*<br>Chlorosen an jüngeren Blättern                                                                                             |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden schwierig (Fixierung),<br>Blatt: 0,5–1,5 kg Fe/ha                                                                                                       |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 2–4 g/dt Korn + 11–14 g/dt Stroh<br>An jüngeren Blättern fleckenhafte, über die gesamte Blattspreite verteilte Chlorosen, übergehend in Nekrosen              |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden: 10–20 kg Mn/ha,<br>Blatt: 0,5–4 kg Mn/ha<br>(ggf. mehrere Teilgaben)                                                                                   |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 0,04 g/dt Korn + 0,1–0,15 g/dt Stroh<br>Löffelförmige Blätter, dunkelgrüne Blattspreiten mit verbräunten Blatträndern, schmalere Blattspreiten                |
|           | Düngeempfehlungen         | Blatt: 0,1 kg Mo/ha                                                                                                                                           |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 3–4 g/dt Korn + 2–3 g/dt Stroh                                                                                                                                |
|           | Düngeempfehlungen         | Boden: 2–10 kg Zn/ha,<br>Blatt: 0,3–0,5 kg Zn/ha                                                                                                              |

Tab. 12: Raps: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome (durchschnittliche Düngeempfehlungen der Bundesländer, Entzüge über Körner nach v. Fischer 1995; \* Entzüge über Stroh nach Merrien et al. 1988).



Abb. 29: Mn-Mangel, Winterraps. Die älteren Blätter vergilben zuerst.

### Molybdän (Mo)

Mo-Mangelsymptome: Löffelförmige Blätter, dunkelgrüne Blattspreiten mit verbräunten Blatträndern. Schmalere Blattspreiten z. T. bis auf den Blattstiel zurückgehend, Blattadern weiß und kräftig hervortretend. Die Verfügbarkeit von Mo kann durch Kalkung verbessert werden. Bei Mangel werden ca. 0,5 kg Mo/ha über Bodendüngung oder 0,1 kg Mo/ha über Blattdüngung empfohlen. Auch eine Saatgutbehandlung mit Mo ist möglich.

### Zink

Bei Mangel: Blattdüngung mit 0,3–0,5 kg Zn/ha als Sulfat oder 0,05–0,1 kg Zn/ha als Chelat.

## Leguminosen

### Bor (B)

B-Mangelsymptome: Gedrungener, gestauchter Wuchs. Absterben des Vegetationspunktes. Gehemmte Entwicklung der Knöllchenbakterien. Bei Luzerne „Spitzenvergilbung“ der oberen Blätter. Bei Trifolium-Arten Vergilbung der jüngeren Blätter mit roter bis purpurroter Randverfärbung.

### Mangan (Mn)

Mn-Mangelsymptome: An jüngeren Blättern netzwerkähnliche chlorotische Aufhellungen zwischen Blattadern (ähnlich Mg-Mangel) mit braunen punktförmigen Nekrosen. Bei Erbsen mit stärkerem Mn-Mangel Absterben der Sprossspitzen. Bei Luzerne und Rotklee Sprengelung der jüngeren Blattspreiten durch kleine weißbraune Nekrosen.

### Molybdän (Mo)

Mo-Mangelsymptome: Durch Hemmung der Knöllchenbakterien Ausbildung von typischen N-Mangelsymptomen, bei stärkerem Mangel Blattrandverbrennungen. Bei Erbsen und Bohnen Ausbildung großer, glasiger Flecken zwischen den Adern, die später unter Braunwerden absterben. Bei Ackerbohnen Symptome zuerst an älteren Blättern.



Abb. 30: B-Mangel, Ackerbohnen. Die linke Pflanze mit B-Mangel ist deutlich in der Entwicklung zurück. Typisch auch die gelbliche Blutfärbung.

### Kupfer (Cu)

Cu-Mangelsymptome: Bei Ackerbohnen Abbrechen der Sprossspitzen mit Schwarzfärbung der Blätter. Bei Erbsen z. T. Marmorierung der jüngsten Blätter. Bereits Verwelken der Blätter vor dem völligen Entfalten, oft normal entwickelte Hülsen, jedoch nur wenige oder keine Samen. Bei Rotklee geringerer Wuchs; hellgrüne, eingerollte Blätter mit braunen Flecken.

|           |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge<br>Mangelsymptome | Ca. 1,5 g/dt Korn<br>Gedrüngener, gestauchter Wuchs,<br>Absterben des Vegetationspunktes                                                                                                                                                                                                        |
|           | Düngeempfehlungen         | <b>Boden: 0,5–2 kg B/ha,<br/>Blatt: 0,2–0,5 kg B/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 0,8–1,2 g/dt Korn<br>Bei Ackerbohnen Abbrechen der Sprossspitzen<br>mit Schwarzfärbung der Blätter. Bei Erbsen<br>z. T. Marmorierung der jüngsten Blätter.<br>Bereits Verwelken der Blätter vor dem völligen<br>Entfalten, oft normal entwickelte Hülsen,<br>jedoch nur wenige oder keine Samen |
|           | Düngeempfehlungen         | <b>Boden: 2–5 kg Cu/ha,<br/>Blatt: 0,3–1 kg Cu/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 8–9 g/dt Korn<br>Chlorosen an jüngeren Blättern                                                                                                                                                                                                                                                 |
|           | Düngeempfehlungen         | <b>Boden schwierig (Fixierung),<br/>Blatt: 0,5–1,5 kg Fe/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 2,5–4 g/dt Korn<br>An jüngeren Blättern netzwerkähnliche<br>chlorotische Aufhellungen zwischen Blattadern<br>mit braunen punktförmigen Nekrosen                                                                                                                                                 |
|           | Düngeempfehlungen         | <b>Boden: 10–20 kg Mn/ha,<br/>Blatt: 0,5–4 kg Mn/ha<br/>(ggf. mehrere Teilgaben)</b>                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | Ca. 0,1 g/dt Korn<br>Ausbildung großer, glasiger Flecken zwischen<br>den Adern, die später unter Braunwerden<br>absterben. Durch Hemmung der Knöllchen-<br>bakterien Ausbildung von typischen<br>N-Mangelsymptomen, bei stärkerem Mangel<br>Blattrandverbrennungen                              |
|           | Düngeempfehlungen         | <b>Blatt: 0,1 kg Mo/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome | 2–5 g/dt Korn<br>Verkürzte Internodien, hell- bis gelbgrüne<br>Interkostalchlorosen. Asymmetrische Blatt-<br>spreiten. Ältere Blätter werden eher als die<br>jüngeren betroffen                                                                                                                 |
|           | Düngeempfehlungen         | <b>Boden: 2–10 kg Zn/ha,<br/>Blatt: 0,3–0,5 kg Zn/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                        |

Tab. 13: Körnerleguminosen: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome (durchschnittliche Düngeempfehlungen der Bundesländer; Entzüge nach v. Fischer 1995).

### Zink (Zn)

Zn-Mangelsymptome: Bei Luzerne Kleinblättrigkeit der jüngeren Blätter, an den Blattspitzen oft tiefer Blatteinschnitt; bronzefarbene Flecken. Bei Klee jüngere Blätter zunächst schwach chlorotisch, später rötlich purpur mit chlorotischen Flecken. Blattgröße und -stiele stark reduziert („Kleinblättrigkeit“). Bei Busch- und Stangenbohnen verkürzte Internodien, hell- bis gelbgrüne Interkostalchlorosen. Asymmetrische Blattspreiten. Ältere Blätter sind eher als die jüngeren betroffen.

## Grünland

Spezielle Mangelsymptome bei Gräsern werden in der Literatur im allgemeinen nicht gesondert aufgeführt. Sie sind meist mit denen anderer Graminäenarten (Getreide) vergleichbar. Wertvolle Gräser werden bei Mikronährstoffmangel oft durch anspruchslosere, jedoch im Futterwert minderwertige Gräser verdrängt. Leguminosen haben meist höhere Ansprüche, geraten daher auch eher in Mangelsituationen als Gräser.

### Bor (B)

B-Mangelsymptome: Kleearten vergilben mit roter-purpurroter Randverfärbung der Blätter mit Übergreifen auf das gesamte Blatt, besonders auf der Unterseite. Jüngste Blätter mit nur kurzen Stielen, daher gestauchtes Wachstum.

### Kupfer (Cu)

Cu-Mangelsymptome: Selbst bei guter Wasserversorgung neigen Leguminosen zu Welkeerscheinungen. Einrollen und Vertrocknen der Blätter unter Ausbildung brauner Punkte.

### Mangan (Mn)

Wiesenfuchsschwanz und Glatthafer sind anfälliger als Knautgras und Rotschwingel. Bei Kleearten typisch: Chlorosen zwischen Blattadern und punktförmige weißbraune bis braune Nekrosen auf jüngeren, mehr hellgrünen Blättern.

### Molybdän (Mo)

Bei Leguminosen ähneln die Symptome dem Erscheinungsbild bei N-Mangel, sofern die Pflanzen auf die N<sub>2</sub>-Fixierung angewiesen sind (wegen unzureichender Ausbildung der Knöllchenbakterien).

### Zink (Zn)

Zn-Mangelsymptome: Bei Kleearten verkürzte Stängelinternodien und reduzierte Blattgröße und -stiele. An älteren Blättern rötliche purpurne Verfärbung um Mittelrippe und Blattbasis. An jüngeren Blättern zunächst starke Chlorosen.

|           |                                                       |                                                                                                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><b>Düngeempfehlungen</b> | Ca. 0,8 g/dt TM Gesamtpflanze<br><br><b>Boden: 0,5–2 kg B/ha,<br/>Blatt: 0,2–0,5 kg B/ha</b>                                      |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><b>Düngeempfehlungen</b> | Ca. 0,9 g/dt TM Gesamtpflanze<br><br><b>Boden: 2–5 kg Cu/ha,<br/>Blatt: 0,3–1 kg Cu/ha</b>                                        |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><b>Düngeempfehlungen</b> | Ca. 23 g/dt TM Gesamtpflanze<br>Chlorosen an jüngeren Blättern<br><b>Boden schwierig (Fixierung),<br/>Blatt: 0,5–1,5 kg Fe/ha</b> |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><b>Düngeempfehlungen</b> | Ca. 15 g/dt TM Gesamtpflanze<br><br><b>Boden: 10–20 kg Mn/ha,<br/>Blatt: 0,5–4 kg Mn/ha<br/>(ggf. mehrere Teilgaben)</b>          |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><b>Düngeempfehlungen</b> | Ca. 0,09 g/dt TM Gesamtpflanze<br><br><b>Blatt: 0,1 kg Mo/ha</b>                                                                  |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><b>Düngeempfehlungen</b> | Ca. 5 g/dt TM Gesamtpflanze<br><br><b>Boden: 2–10 kg Zn/ha,<br/>Blatt: 0,3–0,5 kg Zn/ha</b>                                       |

Tab. 14: Grünland: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome (durchschnittliche Düngeempfehlungen der Bundesländer; Entzüge nach v. Fischer 1995).

Düngeempfehlungen für Mikronährstoffe müssen, ähnlich wie bei den übrigen Nährstoffen, in Abhängigkeit von den verfügbaren Gehalten im Boden oder analysierten Gehalten in der Pflanze gegeben werden. Spezifische Empfehlungen zu Grünland werden oft nicht ausgesprochen. Auf organischen Böden kann jedoch Cu-Mangel, z. T. auch Mn-Mangel regional zu Problemen führen. Die Düngung sollte so ausgerichtet sein, dass ein Mangel im Boden gar nicht erst eintritt. Über die Blattdüngung können akute Mangelsituationen schnell behoben werden.

## 8 Mikronährstoffmangel und Düngung bei Sonderkulturen

Eine eindeutige Zuordnung von Kulturen zu dem Begriff „Sonderkulturen“ liegt nicht vor. In dieser Broschüre wird neben dem Obst- und Weinbau, Hopfen, Zierpflanzen/Rasen und Baumschulen auch der Gemüseanbau den Sonderkulturen zugeordnet. Zu Gewürzpflanzen und zum Tabakanbau liegen noch keine ausreichenden Erkenntnisse über eine spezielle Mikronährstoffbedürftigkeit unter mitteleuropäischen Verhältnissen vor. Sie sind eher den Kulturen mit geringem Mikronährstoffbedarf zuzuordnen und werden in diesem Kapitel nicht näher behandelt.

In Sonderkulturen, insbesondere im Obst- und Weinbau, hat die Vorbeugung und Bekämpfung von Mikronährstoffmangel immer eine größere Rolle gespielt. Das kommt u. a. daher, dass solche Kulturen häufiger auf problematischen Standorten, z. B. Kalkböden, wachsen oder empfindlich auf ungünstige Witterungsverhältnisse reagieren (z. B. die Schlechtwetter-Chlorose der Rebe). Auch die Eigenschaften bestimmter Unterlagen (z. B. Birne auf Quitte) oder überhöhte Phosphorgehalte im Boden tragen oft zur Ausbildung von Chlorosen bei. Moderne Dichtpflanzungen mit ihrem oft eingeschränkten Wurzelsystem und der Notwendigkeit sehr früher Ertragsbildung haben die Bedeutung der Mikronährstoffdüngung, bevorzugt als Blattdüngung, weiter verstärkt.

### Obstkulturen

#### Kern-, Stein-, Beerenobst

Mikronährstoffmangel (latent, aber auch sichtbar) ist im Obstbau von erheblicher Bedeutung und kann verbreitet zu einer Qualitäts- und Ertragsminderung der Früchte führen. So sind Fe- und Mn-Mangelerkrankungen besonders bei Obstbäumen und Beerensträuchern auf kalkreichen und schweren Böden verbreitet. Anfällig sind Apfelsorten wie „Cox Orange“ und „Golden Delicious“ sowie Birne auf Unterlage Quitte, Pflaumen und Pfirsiche. Apfel, Birne, Kirsche und teilweise Pflaumen und Pfirsiche zeigen sich auch oft anfällig gegenüber Zn-Mangel.

Zu hohe pH-Werte und Phosphatgehalte der Böden sowie niedrige Temperaturen oder Trockenheit sind die häufigsten Ursachen für Mikronährstoffmangel im Obstbau. Auch die an Bedeutung verlierende Verwendung von Industriekalken (Hütten-, Thomas-, und Konverterkalk) trägt zu einer zunehmend geringeren Mikronährstoffzufuhr über den Boden bei. Zusätzlich hat der verringerte oder ganz unterlassene Einsatz von Mn- und Zn-haltigen Fungiziden zu einer deutlich geringeren Zufuhr dieser Mikronährstoffe geführt, was die Risiken von Mn- und Zn-Mangel erhöht. Dank der Blattanalyse ist es möglich, Nährstoffmangel rechtzeitig zu erkennen und diesem bevorzugt durch Blattdüngung gegenzusteuern.

Von besonderer Bedeutung ist im Kernobst die Wirkung von Mn auf die Fruchtqualität. Schon im latenten Mangelbereich (20–60 mg Mn/kg TM im Blatt) können im Kernobst Qualitätsprobleme auftreten (Baab 2004). Vor allem an jungen Blättern bzw. Rosettenblättern wird durch latenten Mn-Mangel die Kohlenhydratversorgung von Blüten- und Jungfrüchten verschlechtert, die Ca-Aufnahme gehemmt und damit das spätere Auftreten von physiologischen Krankheiten wie Stippe und Fleischbräune gefördert (Baab 2004).

Von praktischer Bedeutung ist der schnellere Abbau der grünen Grundfarbe bei Äpfeln durch Mn-Mangel. Mit Mn-Spritzungen ist es daher möglich, das Qualitätskriterium 'grüne Grundfarbe' besser zu erhalten. Neben Kern- und Steinobst treten Probleme mit Mn-, Zn- oder Fe-Mangel auch bei Erdbeeren und Himbeeren auf.

Im Obstbau spielt auch B-Mangel eine Rolle. Dieser kann beim Apfel zu internen Verkorkungen sowie zu Schalenrissigkeit führen. Eine gute B-Versorgung fördert die Ca-Aufnahme, das Pollenschlauchwachstum, den Fruchtansatz. Durch B-Spritzungen kann die Frosttoleranz verbessert werden.

Bei Birne, Sorte 'Conference', auf Quitte A konnten in einzelnen Jahren mit B-Spätspritzungen (6 x 0,25 kg B/ha) kühlagerungsbedingte Fruchtfleischschäden (kontrollierte Atmosphäre) verhindert und damit die Lagerfähigkeit verbessert werden (Streif et al. 2000).

Die Mikronährstoffversorgung lässt sich am besten durch eine Blattanalyse beurteilen. Nach neueren Empfehlungen kann diese bereits frühzeitig zur Blüte erfolgen (LFV 2004). Im Vergleich hierzu bietet die Bodenanalyse nur eine begrenzte Aussagekraft, da eine Aussage über die tatsächliche Pflanzenverfügbarkeit während der Wachstumsperiode nicht möglich ist. Sie ist allerdings eine sinnvolle Ergänzung zur Blattanalyse.

Bei Feststellung eines latenten oder sichtbaren Mikronährstoffmangels wird in der Praxis bevorzugt die Blattdüngung eingesetzt, da diese meist mit notwendigen Pflanzenschutzmaßnahmen kombiniert werden kann. Dabei können die kationischen Mikronährstoffe (Fe, Cu, Mn und Zn) in Salz- oder auch in Chelatform eingesetzt werden. Zumindest beim im Obstbau viel verwendeten Fe wird die Chelatform bevorzugt, da gelöstes Fe in der Sulfatform leicht oxidiert, wasserunlöslich wird und daher auch nicht gelagert werden kann. Dagegen bleiben

| Mikronährstoff<br>mg/kg TM<br>Obstart                                                          | B      | Cu   | Fe      | Mn     | Mo        | Zn     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|---------|--------|-----------|--------|
| <b>Apfel</b><br>50 reife Blätter v.<br>1-jährigen Trieb                                        | 25-50  | 6-25 | 50-300  | 50-200 | 0,10-2,0  | 20-100 |
| <b>Birne</b><br>50 reife Blätter v.<br>1-jährigen Trieb                                        | 20-70  | 5-20 | 60-250  | 30-150 | 0,10-2,0  | 20-150 |
| <b>Süßkirsche</b><br>50 reife Blätter v.<br>diesjährigen Trieb                                 | 20-100 | 5-30 | 100-250 | 40-200 | -         | 20-60  |
| <b>Sauerkirsche</b><br>50 reife Blätter v.<br>diesjährigen Trieb                               | 20-55  | 8-30 | 100-200 | 40-60  | -         | 20-50  |
| <b>Pflaume oder<br/>Zwetschge</b><br>25 mittlere Blätter<br>vom 1-jh. Trieb                    | 25-60  | 6-16 | 100-250 | 40-160 | 0,10-2,0  | 20-100 |
| <b>Pfirsich</b><br>25 mittlere Blätter<br>1-jh. Trieb zum<br>Fruchtansatz                      | 20-60  | 5-20 | 50-250  | 40-230 | 1,6-2,8   | 15-125 |
| <b>Heidelbeere</b><br>75 gerade voll<br>entwickelte<br>Blätter, Sommer                         | 25-75  | 4-20 | 35-200  | 40-250 | -         | 10-100 |
| <b>Johannisbeeren,<br/>schwarze</b><br>50 gerade voll<br>entwickelte Bätter<br>zur Fruchtreife | 15-40  | 4-20 | 60-300  | 50-100 | -         | 20-50  |
| <b>Erdbeere</b><br>25 Blätter<br>zur Blüte                                                     | 25-60  | 6-20 | 50-250  | 30-350 | 0,25-0,50 | 20-50  |

Tab. 15: Ausreichende Blattgehalte von Mikronährstoffen in verschiedenen Obstarten.

Fe-Chelate auch in sehr hartem Wasser stabil. Ferner bleiben Fe-Chelate, die bei Blattdüngung auf einen alkalischen Boden gelangen, noch pflanzenverfügbar, während z. B. Fe-Sulfate schnell im Boden fixiert werden. Es bleibt daher im Einzelfall zu prüfen, welche Form – Salz oder Chelat – zu bevorzugen ist.



Abb. 31: Mn-Mangel, Apfel. Tritt besonders auf schweren, stark gemulchten, kalkhaltigen Böden nach längerer Trockenheit mit anschließend stärkeren Niederschlägen auf. Netz- oder mosaikartige Aufhellungen zwischen den Adern mit grünen gesäumten Hauptadern (nadelbaumähnlich). Ältere Blätter der Endtriebe meist stärker befallen als die jüngeren Blätter.



Abb. 32: Mn-Mangel bei Äpfeln ('Jonagold'). Unzureichende rote Deckfarbe und grüne Grundfarbe bei schlechter Mn-Versorgung (rechter Apfel).

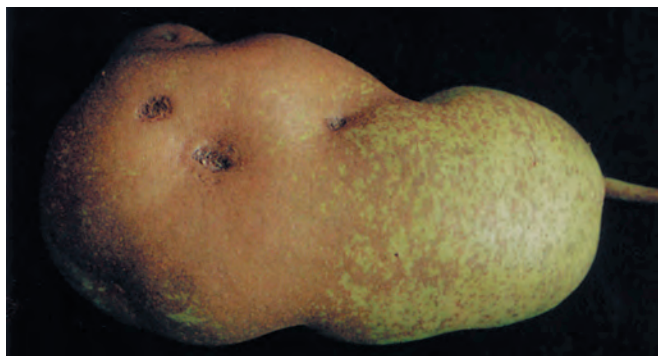


Abb. 33: B-Mangel, Birne. Deformierte Früchte, die nicht verkaufsfähig sind.

|           |                                                    | Apfel, Birne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | <b>Apfel:</b> 20-30 g/10 t Erntegut/ha; <b>Birne:</b> 20-40 g/10 t Erntegut/ha<br>Korkbildung (innen und außen) und Fruchtdeformationen.<br>Blattverkrümmungen und Rosettenbildung. Terminalknospen und ganze Triebe sterben ab.<br><b>Blatt: 0,3-0,5 kg B/ha</b><br><b>Boden: 1-3 kg B/ha</b>                                                                                                                                                                        |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | <b>Apfel:</b> 2-8 g/10 t Erntegut/ha; <b>Birne:</b> 2-8 g/10 t Erntegut/ha<br>Besonders beim Apfel unregelmäßig nekrotische Flecken an den Terminalblättern der wachsenden Triebe. Die Blätter drehen sich und fallen später von der Spitze her ab. Vielfach treiben während des Wachstums Seitenknospen aus, deren Triebe wiederum absterben, so dass die Zweige ein besenartiges Aussehen bekommen.<br><b>Blatt: 0,3-0,5 kg Cu/ha</b><br><b>Boden: 2-5 kg Cu/ha</b> |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | <b>Apfel:</b> 30 g/10 t Erntegut/ha; <b>Birne:</b> 30-50 g/10 t Erntegut/ha<br>Jüngste Blätter verfärben sich gelbgrün bis gelb, nur die Blattadern bleiben bis in ihre feinsten Verästelungen grün (Chlorosen)<br><b>Blatt: 0,25-1,0 kg Fe/ha</b><br><b>Boden: 10-25 g Fe-Chelat/Baum</b>                                                                                                                                                                            |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | <b>Apfel:</b> 4-9 g/10 t Erntegut/ha; <b>Birne:</b> 6-8 g/10 t Erntegut/ha<br>Bei Obstgehölzen große Ähnlichkeit mit Fe-Mangel. Symptome treten jedoch mehr nach den älteren Blättern hin auf, wobei im Gegensatz zu Fe-Mangel die noch grünen Blattadern von einem grünen Saum umgeben sind.<br><b>Blatt: 0,5-1,0 kg Mn/ha</b><br><b>Boden: 2-10 kg Mn/ha</b>                                                                                                        |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | <b>Apfel:</b> 0,02-0,10 g/10 t Erntegut/ha; <b>Birne:</b> 0,02-0,10 g/10 t Erntegut/ha<br>Bei Obstgehölzen kann sich Mo-Mangel durch blassgrüne Flecken auf den Blättern ausdrücken. Tritt im Obstbau unter mitteleuropäischen Bedingungen so gut wie nicht auf.<br><b>Blatt: 0,1-0,3 kg Mo/ha</b><br><b>Boden: 0,6-1,0 kg Mo/ha</b>                                                                                                                                  |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | <b>Apfel:</b> 3-7 g/10 t Erntegut/ha; <b>Birne:</b> 5-12 g/10 t Erntegut/ha<br>Kleinblättrigkeit und Rosettenbildung.<br>Beim Apfel sind die Blätter lanzettförmig und weisen unregelmäßig fleckige Chlorosen auf, die sich allmählich zum Blattrand hin vergrößern. Sich neu entwickelnde Blätter bleiben klein und chlorotisch, teilweise verformen sie sich.<br><b>Blatt: 0,3-0,5 kg Zn/ha</b><br><b>Boden: 5-10 kg Zn/ha</b>                                      |

Tab. 16: Kernobst: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome.

| Süßkirsche, Sauerkirsche, Pflaume, Pfirsich |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>                                    | Entzüge<br>Mangelsymptome | 15–50 g/10 t Erntegut/ha<br>Korkbildung (innen und außen) und Fruchtdeformationen. Blattverkrümmungen und Rosettenbildung. Terminalknospen und ganze Triebe sterben ab.                                                                                                                                          |
|                                             | Düngeempfehlungen         | <b>Blatt: 0,2–0,3 kg B/ha</b><br><b>Boden: 1–3 kg B/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Cu</b>                                   | Entzüge<br>Mangelsymptome | 2–10 g/10 t Erntegut/ha<br>Nekrotische Flecken an den Terminalblättern der wachsenden Triebe. Die Blätter drehen sich und fallen später von der Spitze her ab. Vielfach treiben während des Wachstums Seitenknospen aus, deren Triebe wiederum absterben, so dass die Zweige ein besenartiges Aussehen bekommen. |
|                                             | Düngeempfehlungen         | <b>Blatt: 0,2–0,5 kg Cu/ha</b><br><b>Boden: 2–5 kg Cu/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Fe</b>                                   | Entzüge<br>Mangelsymptome | 60–120 g/10 t Erntegut/ha<br>Jüngste Blätter verfärben sich gelbgrün bis gelb (chlorotisch), nur die Blattadern bleiben bis in ihre feinsten Verästelungen grün.                                                                                                                                                 |
|                                             | Düngeempfehlungen         | <b>Blatt: 0,5–1,0 kg Fe/ha,</b><br><b>Boden: 10–50 g Fe-Chelat/Baum</b>                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Mn</b>                                   | Entzüge<br>Mangelsymptome | 10–20 g/10 t Erntegut/ha<br>Bei Obstgehölzen große Ähnlichkeit mit Fe-Mangel. Symptome treten jedoch mehr nach den älteren Blättern hin auf, wobei im Gegensatz zu Fe-Mangel die noch grünen Blattadern von einem grünen Saum umgeben sind.                                                                      |
|                                             | Düngeempfehlungen         | <b>Blatt: 0,5–1,0 kg Mn/ha</b><br><b>Boden: 2–10 kg Mn/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Mo</b>                                   | Entzüge<br>Mangelsymptome | 0,02–0,10 g/10 t Erntegut/ha<br>Bei Obstgehölzen kann sich Mo-Mangel durch blassgrüne Flecken auf den Blättern ausdrücken. Tritt im Obstbau unter mitteleuropäischen Bedingungen so gut wie nicht auf.                                                                                                           |
|                                             | Düngeempfehlungen         | <b>Blatt: 0,1–0,3 kg Mo/ha</b><br><b>Boden: keine</b>                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Zn</b>                                   | Entzüge<br>Mangelsymptome | 6–20 g/10 t Erntegut/ha<br>Kleinblättrigkeit und Rosettenbildung. Blätter lanzettförmig und weisen unregelmäßig fleckige Chlorosen auf, die sich allmählich zum Blattrand hin vergrößern. Sich neu entwickelnde Blätter bleiben klein und chlorotisch, teilweise verformen sie sich.                             |
|                                             | Düngeempfehlungen         | <b>Blatt: 0,3–0,5 kg Zn/ha,</b><br><b>Boden: 5–15 kg Zn/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |

Tab. 17: Steinobst: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome.

| Beerenobst, Erdbeere |                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>             | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 20-30 g/10 t Erntegut/ha<br>Die jungen Blätter sind klein, schöpfkellenförmig verformt und haben braune abgestorbene Spitzen und Ränder. Teilweise sind die Blattflächen chlorotisch aufgehell.<br><b>Blatt: 0,2-0,3 kg B/ha</b><br><b>Boden: 0,5-1,0 kg B/ha</b>  |
| <b>Cu</b>            | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | Ähnlich wie bei Mn-Mangel, allerdings zuerst bei jüngeren Blättern auftretend.<br><b>Blatt: 0,2-0,5 kg Cu/ha</b><br><b>Boden: 2-5 kg Cu/ha</b>                                                                                                                     |
| <b>Fe</b>            | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 100-120 g/10 t Erntegut/ha<br>Symptome treten meist zunächst an den jüngsten Blättern auf: Interkostalchlorosen mit scharf, dunkelgrün abgegrenzten Blattadern (typische Fe-Chlorose).<br><b>Blatt: 0,5-1,0 kg Fe/ha</b><br><b>Boden: 5-10 g Fe-Chelat/Pflanze</b> |
| <b>Mn</b>            | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 60-80 g/10 t Erntegut/ha<br>Interkostalchlorosen, die sich nicht auf die gezahnten Blattränder ausdehnen. Die Blattadern bleiben dunkelgrün, aber weniger ausgeprägt als bei Fe-Chlorose.<br><b>Blatt: 0,5-1,0 kg Mn/ha</b><br><b>Boden: 3-10 kg Mn/ha</b>         |
| <b>Mo</b>            | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 0,1 g/10 t Erntegut/ha<br>Spezifische Symptome werden in der Literatur nicht beschrieben. Von geringer praktischer Bedeutung.<br><b>Blatt: 0,1-0,3 kg Mo/ha</b><br><b>Boden: keine</b>                                                                             |
| <b>Zn</b>            | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 30-50 g/10 t Erntegut/ha<br>Gestauchtes Wachstum, Interkostalchlorosen und Blattverformungen mit welligen Blättern. Tritt relativ selten bei Erdbeeren auf.<br><b>Blatt: 0,3-0,5 kg Zn/ha</b><br><b>Boden: 5-10 kg Zn/ha</b>                                       |

Tab. 18: Beerenobst/Erdbeere: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome.



Abb. 34: Fe-Mangel, Himbeeren. Jüngste Blätter mit gelbgrünen Inter-costalchlorosen und scharf abgesetzten grünen Hauptadern. Bei stärkerem Mangel auch zitronengelbe bis gelbweiße Chlorosen.



Abb. 35: Mn-Mangel, Erdbeeren. Adern und der gezähnte Rand sind dunkelgrün, während sich zwischen den Adern der mittleren Blätter gelbgrüne Chlorosen entwickeln sowie purpurbraune Tüpfelnekrosen besonders am Rand.



Abb. 36: Fe-Mangel, Erdbeeren. Starker Mangel mit gelblichen Chlorosen.

## Gemüsekulturen

### Blatt-, Kohl-, Wurzel- und Fruchtgemüse

Obwohl auch bei Gemüsekulturen Mikronährstoffe in relativ geringen Mengen benötigt werden, ist die Versorgung häufig nicht ausreichend. Die Folge sind Ertrags- und auch Qualitätseinbußen. Aufgrund der wachsenden Intensivierung, vor allem im Freilandgemüsebau, kommt der Versorgung mit Mikronährstoffen eine große Bedeutung zu.

| Gemüsekultur | B       | Cu      | Fe     | Mn      | Mo      | Zn      |
|--------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| Blumenkohl   | hoch    | mittel  | hoch   | mittel  | hoch    | -       |
| Bohne        | niedrig | niedrig | hoch   | hoch    | mittel  | hoch    |
| Brokkoli     | hoch    | mittel  | hoch   | mittel  | hoch    | -       |
| Erbse        | niedrig | niedrig | -      | hoch    | mittel  | niedrig |
| Gurke        | niedrig | mittel  | -      | hoch    | -       | -       |
| Karotte      | mittel  | mittel  | -      | mittel  | niedrig | niedrig |
| Kohl         | mittel  | mittel  | mittel | mittel  | mittel  | niedrig |
| Radies       | mittel  | mittel  | -      | hoch    | mittel  | mittel  |
| Rote Rübe    | hoch    | hoch    | hoch   | hoch    | hoch    | mittel  |
| Kopfsalat    | mittel  | hoch    | -      | hoch    | hoch    | mittel  |
| Sellerie     | hoch    | mittel  | -      | mittel  | niedrig | -       |
| Spargel      | niedrig | niedrig | mittel | niedrig | niedrig | niedrig |
| Spinat       | mittel  | hoch    | hoch   | hoch    | hoch    | hoch    |
| Tomate       | mittel  | hoch    | hoch   | mittel  | mittel  | mittel  |
| Zwiebel      | niedrig | hoch    | -      | hoch    | hoch    | hoch    |

Tab. 19: Relative Bedeutung von Mikronährstoffen bei verschiedenen Gemüsekulturen (Vitosh et al. 1994).



Abb. 37: Zn-Mangel, Zwiebel. Gestauchte und stark verdrillte Blätter mit gelben Streifen.

Über den Bedarf an Mikronährstoffen der einzelnen Kulturen gibt es nach wie vor nur wenige exakte Untersuchungen. Weitreichende Erfahrungen liegen allerdings bezüglich der unterschiedlichen Anfälligkeit von Gemüsekulturen für Mikronährstoffmangel vor (Tab. 19). Zum Beispiel reagieren Kohlsorten, Rote Bete und Sellerie besonders stark auf B-Mangel, während Blumenkohl empfindlich gegenüber Mo-Mangel ist. Unter ungünstigen Boden- und Klimabedingungen, u. a. hohe pH-Werte, kann es auch bei den restlichen Mikronährstoffen zu latenten und gelegentlich auch zu sichtbaren Mangelercheinungen kommen. Zur raschen Beseitigung latenter und akuter Mangelsituationen ist die Blattdüngung besonders wirksam. Sie kann oft mit ohnehin notwendigen Pflanzenschutzmaßnahmen kombiniert werden.

|           |                                                    | Blattgemüse, Kohlgemüse, Wurzelgemüse, Fruchtgemüse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 0,5 g/dt Pflanzenfrischmasse<br>Symptome vorwiegend an Spitzenblättern, sowie jüngeren bis mittleren Blättern lokalisiert; z. T. Absterben der Terminalknospe. Blattrand- und Innenblattnekrosen.<br><b>Blatt: 0,3–0,5 kg B/ha</b><br><b>Boden: 1–2 kg B/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Cu</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 0,10 g/dt Pflanzenfrischmasse<br>Symptome vorwiegend an Spitzenblättern, sowie jüngeren bis mittleren Blättern lokalisiert; z. T. Absterben der Terminalknospe. Spitzenwelke, Spitzendürre, Weißspitzigkeit: Blätter weißgelb, Blütenstände missgestaltet.<br><b>Blatt: 0,3–0,5 kg Cu/ha</b><br><b>Boden: 3–4 kg Cu/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Fe</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 2 g/dt Pflanzenfrischmasse<br>Beginn grundsätzlich an Spitzenblättern mit gelbgrünen, dann zitronengelben bis gelbweißen Chlorosen mit scharf abgesetzten grünen Hauptadern. Gelegentlich feinste Adern kurze Zeit noch grün. Bei anhaltendem Mangel basale Ausbreitung der Chlorosen bis zu totaler Ausbreitung auf alle Blätter. Stängel dünner und kürzer als normal. Bei starkem Mangel auch Adern chlorotisch und, vom Rand beginnend, braune Nekrosen auf den Blattflächen. Kurze braun verfärbte Wurzeln mit vielen Seitenwurzeln.<br><b>Blatt: 0,3–0,4 kg/ha</b><br><b>Boden: 2–5 g Fe-Chelat/m<sup>2</sup></b>                                                                               |
| <b>Mn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 1 g/dt Pflanzenfrischmasse<br>Entwicklung von grüngelben, teilweise netzwerkartigen (Gurke) Interkostalchlorosen (Blattadern bleiben grün). Chlorosen besonders an Spitzenblättern, auch jüngere bis mittlere Blätter je nach Pflanzenart. Blätter bleiben meist kleiner als normal. Bei fortschreitendem Mangel punktförmige Chlorosen und Nekrosen.<br><b>Blatt: 0,5–1 kg Mn/ha</b><br><b>Boden: 10–15 kg Mn/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Mo</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 0,02 g/dt Pflanzenfrischmasse<br>Symptome an jüngeren und/oder älteren Blättern und Organen je nach Pflanzenart und dem Zeitpunkt des Auftretens, mit Blattdeformationen. N-Mangel-ähnliche Symptome bei Leguminosen. Graugrün- bis Blaugrünfärbung von Blattflächen bei Brassica-Arten. Mittelrippen wachsen oft allein mit stark reduzierten oder ohne Blattspreiten ("Peitschenstiel-" oder "Whiptail"-Erkrankung bei Blumenkohl sowie anderen Kohlarten und Pflanzen). Vegetationspunkt stirbt unter Verdrehen der Herzblätter ab ("Klemmherzigkeit" bei Blumenkohl), Symptome im Allgemeinen an jüngeren Blättern zu beobachten.<br><b>Blatt: 0,2–0,3 kg Mo/ha</b><br><b>Boden: 1–2 kg Mo/ha</b> |
| <b>Zn</b> | Entzüge<br>Mangelsymptome<br><br>Düngeempfehlungen | 0,5 g/dt Pflanzenfrischmasse<br>Symptome an jüngeren und/oder älteren Blättern und Organen je nach Pflanzenart und dem Zeitpunkt des Auftretens, ohne Blattdeformationen. Chlorotische, sich schnell vergrößernde Fleckenbildung mit kleinen oder größeren abgestorbenen Zonen (Aufhellung bis zu Weißfärbung) und grünem Saum um die Adern.<br><b>Blatt: 0,3–0,5 kg Zn/ha</b><br><b>Boden: 10–20 kg Zn/ha</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

Tab. 20: Gemüse: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome  
(Visuplant (TLL); Krug 1986).

| Gemüsekultur | Gehalte in mg je kg Trockenmasse<br>(marktfähiges Gemüse) |    |     |     |     |    |
|--------------|-----------------------------------------------------------|----|-----|-----|-----|----|
|              | B                                                         | Cu | Fe  | Mn  | Mo  | Zn |
| Weißkohl     | 36                                                        | 5  | 57  | 25  | 1,0 | 73 |
| Rotkohl      |                                                           | 7  | 91  | 33  |     | 58 |
| Chinakohl    |                                                           | 3  | 52  | 25  |     |    |
| Blumenkohl   |                                                           | 7  | 60  | 19  | 1,0 | 23 |
| Rosenkohl    |                                                           | 6  | 96  | 27  |     | 55 |
| Möhre        |                                                           | 6  | 60  | 23  | 0,3 | 33 |
| Rote Rübe    |                                                           | 12 | 128 | 66  |     | 38 |
| Sellerie     |                                                           | 6  | 22  | 30  |     | 65 |
| Porree       |                                                           | 7  | 80  | 67  |     | 87 |
| Zwiebeln     | 19                                                        | 4  | 75  | 21  |     | 45 |
| Gurke        |                                                           | 8  |     | 29  |     | 20 |
| Dicke Bohne  | 12                                                        | 7  |     | 24  |     | 20 |
| Buschbohne   | 11                                                        | 7  | 40  | 19  |     | 15 |
| Pflückerbse  | 7                                                         | 10 | 70  | 12  | 1,2 | 50 |
| Spinat       | 10                                                        | 10 | 475 | 104 |     | 53 |
| Kopfsalat    | 13                                                        | 8  | 79  | 47  |     | 48 |

Tab. 21: Typische Mikronährstoffgehalte verschiedener Feldgemüsekulturen (LK Rheinland, 321/313).



Abb. 38: B-Mangel, Sellerie. Die jüngsten Blätter sterben ab; braun verfärbte Hohlräume in der Knolle.



Abb. 39: Mo-Mangel, Blumenkohl. Blattmissbildungen, bevorzugt an jüngeren Blättern. Im Extremfall sind die Blattspreiten stark reduziert.

## Weinbau

Bezüglich der Bedeutung von Spurennährstoffen bei Weinreben liegen zahlreiche Untersuchungen, insbesondere aus Frankreich und Italien, vor. Die durchschnittlichen Entzüge sind gering, da das Blattwerk im Weinberg verbleibt. Dennoch sind Mangelprobleme besonders bei Fe und B von großer Bedeutung, weniger bei

Mn und Zn. Mangelprobleme bei Mo treten vergleichsweise selten auf, außer auf sauren Böden. Durch jahrzehntelangen Einsatz von Cu-haltigen Fungiziden ist Cu im Boden oft reichlich oder exzessiv vorhanden. Daher spielt Cu-Düngung nur eine sehr geringe Rolle.

|           |                   | Weinrebe                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>  | Entzüge           | 80-150 g/ha                                                                                                                                                                                                                           |
|           | Mangelsymptome    | Blattdeformation, Absterben der Blätter vom Blattrand her, Verrieseln (Durchrieseln), viele kleine Beeren neben wenigen großen. Hexenbesen, Bleifarbigkeit der Beeren. Bei starkem Mangel auch Absterben der Triebspitzen und Ranken. |
|           | Düngeempfehlungen | <b>Blatt: 0,15-0,25 kg B/ha</b><br><b>Boden: 1,5-2 kg B/ha</b>                                                                                                                                                                        |
| <b>Cu</b> | Entzüge           | 60-120 g/ha                                                                                                                                                                                                                           |
|           | Mangelsymptome    | Kleinblättrigkeit, verkürzte Internodien. Mosaikförmige Verfärbung der Blätter. Trauben locker und kleinbeerig.                                                                                                                       |
|           | Düngeempfehlungen | <b>Keine. Zufuhr meist durch kupferhaltige Fungizide gesichert.</b>                                                                                                                                                                   |
| <b>Fe</b> | Entzüge           | 430-875 g/ha (Ertrag 100 dt/ha)                                                                                                                                                                                                       |
|           | Mangelsymptome    | Jüngste Blätter: Flächen zwischen den Blattadern gelb bis orange, Blattadern bleiben grün. Starke Chlorose (Gelbsucht): Nekrose, Verrieseln der Gescheine, Rutenwuchsverminderung. Mangelnde Triebentwicklung und Holzreife.          |
|           | Düngeempfehlungen | <b>Blatt: 0,2-0,5 kg Fe/ha als Fe-Chelat oder Fe-Komplex</b><br><b>Boden: Fe-Chelat (z. B. Fe-EDDHA), 10-20 g je Stock</b>                                                                                                            |
| <b>Mn</b> | Entzüge           | 80-160 g/ha                                                                                                                                                                                                                           |
|           | Mangelsymptome    | Blattvergilbungen, zwischen den Hauptadern perlschnurartig. Vergilbung nicht so intensiv wie bei Fe-Mangel. Vergilbungen verstärkt an der Sonnenseite zu erkennen.                                                                    |
|           | Düngeempfehlungen | <b>Blatt: 100-150 g Mn/ha</b><br><b>Boden: Keine</b>                                                                                                                                                                                  |
| <b>Mo</b> | Entzüge           | 50-100 g/ha                                                                                                                                                                                                                           |
|           | Mangelsymptome    | Sichtbarer Mo-Mangel bei Weinrebe ist nicht bekannt. Jedoch könnte latenter Mo-Mangel auf sauren Standorten auftreten.                                                                                                                |
|           | Düngeempfehlungen | <b>Blatt: 10-20 g Mo/ha (vor der Blüte),</b><br><b>Boden: Keine</b>                                                                                                                                                                   |
| <b>Zn</b> | Entzüge           | 300-500 g/ha                                                                                                                                                                                                                          |
|           | Mangelsymptome    | Chlorose, Kleinblättrigkeit, Kleebeerigkeit. Geiztriebwuchsförderung. Kräuselkrankheit, Efeublättrigkeit.                                                                                                                             |
|           | Düngeempfehlungen | <b>Blatt: 150-250 g Zn/ha</b><br><b>Boden: Keine</b>                                                                                                                                                                                  |

Tab. 22: Weinbau: Entzüge, Düngeempfehlungen und Mangelsymptome.

Von größter Bedeutung ist die Eisenchlorose, die vor allem auf Kalkböden auftritt. Darüber hinaus kommt diese Mangelerkrankung in Mitteleuropa auch auf verdichteten oder stau-nassen Böden vor, insbesondere nach ausgiebi-gen Niederschlägen bei gleichzeitig niedrigen Bodentemperaturen im Frühjahr oder nach Wachstumsschüben nach plötzlichem Wet-terumschwung („Schlechtwetter-Chlorose“). Auch Überversorgung mit Phosphat kann zu einer Festlegung von Fe im Boden beitragen. Die Eisenchlorose ist daher in der Regel nicht auf absoluten Fe-Mangel im Boden zurückzu-führen, sondern auf mangelnde Verfügbarkeit. Auch nach Jahren mit hohen Erträgen kann infolge verringerter Reservestoffgehalte im Rebholz und in den Wurzeln Chlorose auftre-ten. Häufig wird durch hohe Erträge und zu späte Traubenernte im folgenden Jahr verstärkt Chlorose beobachtet.

| Spurennährstoff<br>mg/kg TM                                      | B         | Cu       | Fe         | Mn         | Mo            | Zn        |
|------------------------------------------------------------------|-----------|----------|------------|------------|---------------|-----------|
| Weinrebe<br>25-30 Blätter an<br>der Traubenzone<br>zur Vollblüte | 25-<br>40 | 6-<br>20 | 60-<br>300 | 30-<br>300 | 0,15-<br>0,30 | 25-<br>60 |

Tab. 23: Ausreichende Blattgehalte von Mikronährstoffen bei der Rebe (Vanek 1978; Fardossi 2001)



Abb. 40: B-Mangel, Wein. Die Gescheine „rieseln durch“: Ausbildung von einigen großen Beeren inmitten von geschrumpften und kernlosen.



Abb. 41: Fe-Mangel, Wein. Chlorosen und Nekrosen treten vor allem an jüngeren bis mittleren Blättern auf.

## Hopfen

Bei Hopfen können verschiedene Mikronährstoffmangelprobleme auftreten. Wahrscheinlich ist in allen wichtigen Anbaugebieten Europas und den USA Zn-Mangel am weitesten verbreitet. In Mitteleuropa ist das Problem als Kräuselkrankheit bekannt und wurde in der Vergangenheit lange für eine Viruskrankheit gehalten. Sie wird nachweislich verursacht durch Mangel an dem Mikronährstoff Zn. Die Blätter sind gelblich-durchsichtig, schärfer gezähnt und haben einen verlängerten Mittel-lappen. Bei fortschreitendem Befall stirbt die Zahnung der Blätter ab.

Zn-Mangel ist vor allem auf Böden mit hohem pH-Wert und bei Überversorgung mit Phosphat zu finden. Da Zn-haltige Fungizide an Bedeu-tung verloren haben, spielen Zn-haltige Blatt-dünger eine größere Rolle. Eine Minderung der Kräuselkrankheit als Folge von Zn-Mangel kann erreicht werden durch Spritzungen von Zink-sulfat mit einer Konzentration von 0,1-0,2 % oder mit einem Zn-Chelat oder Zn-Komplex mit einer Konzentration von 0,05-0,1 %. Für eine ausreichende Wirkung müssen vom Anleiten bis spätestens zur Blüte 3-5 Sprit-zungen durchgeführt werden. Eine Kombina-tion mit Peronosporaspritzungen (Fungizid) sollte möglich sein.

Ein weiterer kritischer Spurennährstoff bei Hopfen ist B. Die Internodien sind sehr kurz, die Stängel starr und dick. Der Blütenansatz bleibt gering. Die Blätter sind verformt und tief gezähnt.

B-Mangel tritt vor allem bei Trockenheit und hohem pH-Wert (über 7,0) auf. Bekämpfung bzw. Vorbeugung: Blattdüngung bis zur Blüte mit 2-4 Anwendungen eines B-Präparates. Je nach Versorgungsgrad werden maximal 300-500 g B/ha empfohlen.

## Zierpflanzen – Baumschule – Rasen

### Zierpflanzenbau

Die Gruppe der Zierpflanzen zeichnet sich durch große genotypische Vielfalt aus, mit einer Vielzahl an Pflanzenarten und -sorten. Innerhalb dieser botanisch heterogenen Gruppe sind einige Pflanzenarten besonders empfindlich gegenüber einem Mangel an einzelnen Mikronährstoffen. Die besondere Empfindlichkeit einer Art hängt meist mit dem mangelhaften Aneignungsvermögen für einen Mikronährstoff zusammen, da eine besondere Nährstoffeffizienz der Wildpflanzen am Standort ihrer natürlichen, geographischen Verbreitung nicht notwendig war. In Tabelle 24 sind wichtige Beispiele hierfür zusammengestellt.

Kulturfehler wie überhöhte P-Gehalte und/oder zu hohe pH-Werte im Substrat können die Probleme verstärken oder zum aktuellen Auslöser eines Mikronährstoffmangels werden. Eine Blattdüngung als unmittelbar wirksame Maßnahme oder Gießbehandlungen der Substrate mit ihrer längerfristigen Wirkung sind dann gezielt einzuleiten.

| Mikronährstoff | Unterversorgung                                                                                                                                                                                                  | Übersorgung                                                                                  |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B</b>       | Nelken, Tulpen                                                                                                                                                                                                   | Anthurien, Orchideen, Saintpaulia, Bromelien, Cyclamen, Farne, einkeimblättrige Zierpflanzen |
| <b>Cu</b>      | Gerbera, Rosen, Azaleen                                                                                                                                                                                          | Hortensien, Cyclamen                                                                         |
| <b>Fe</b>      | Rosen, Hortensien, Primeln, Azaleen, Eriken, Rhododendren, Brunfelsien, Gerbera, Calceolarien, Cyclamen, Pelargonien, Petunien und Surfinia, Calibrachoa, Impatiens, Hibiskus, Acalypha hispaniolae, Brachyscome |                                                                                              |
| <b>Mn</b>      | Rosen                                                                                                                                                                                                            | alle Fe-bedürftigen Kulturen sowie Gerbera, Sinningien und Chrysanthemen                     |
| <b>Mo</b>      | Poinsettien                                                                                                                                                                                                      |                                                                                              |
| <b>Zn</b>      |                                                                                                                                                                                                                  | Primula, Saintpaulia                                                                         |

Tab. 24: Beispiele für die Empfindlichkeit von Zierpflanzen gegenüber Unter- und Übersorgung mit Mikronährstoffen (LVG Hannover-Ahlem, verändert und ergänzt).

Auf die Bedürfnisse der Zierpflanzen angepasste Düngungslösungen sind auch deshalb notwendig, weil neben der Gefahr von Unterversorgung und Mangel einzelne Zierpflanzen auch wenig tolerant gegenüber einer Übersorgung mit einzelnen Nährstoffen sein können (Tab. 24). Als Regel gilt, dass Überschusssymptome sich zuerst an den ältesten Blättern zeigen, während von einem Mangel an Mikronährstoffen die jüngsten Blätter betroffen sind. Ein Sonderfall, der Übersorgung mit Mangel verbindet liegt vor, wenn durch einen Nährstoffüberschuss ein Mangel induziert wird. Ein Beispiel hierfür ist durch Mn-Überschuss induzierter Fe-Mangel, zu dem es vermehrt kommen kann, wenn Rindenhumus mit sehr hohem Mn-Gehalt in Substrate eingemischt wird.

In Zweifelsfällen ist bei Mikronährstoffen insbesondere die Blattanalyse geeignet, Mangel- oder Überversorgung bei Pflanzen zu diagnostizieren. Bei Mikronährstoffen ist eine sichere Diagnose durch eine Substratanalyse nicht in jedem Fall zuverlässig möglich.

Zur Vorbeugung bzw. Behebung von Mikronährstoffmangel werden in der gärtnerischen Praxis feste Mikronährstoffdünger (Granulate und Pulver) in das Substrat vor Kulturbeginn eingemischt oder gegossen bzw. mikronährstoffhaltige Blattdünger gespritzt.

### Baumschule

Bei Baumschulkulturen, die bis zum Verkauf für längere Zeit in Containern kultiviert werden, ist eine lang anhaltende Versorgung mit Makro- und Mikronährstoffen nötig. Deshalb werden bei den Containerkulturen hauptsächlich umhüllte Dünger mit Mikronährstoffen oder Mikronährstoffe als schwer lösliche Metalloxide im Substrat bevorratet. Besonders empfindliche Containerkulturen sind Tabelle 25 zu entnehmen.

| Mikronährstoff | Unterversorgung                                                                        |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Cu             | Pyracantha, Liguster, Blaufichte                                                       |
| Fe             | Container-Rosen, Garten-Hortensien, Garten-Hibiskus, Lonicera nitida, Lonicera pileata |
| Mn             | Container-Rosen                                                                        |
| Zn             | Lonicera nitida                                                                        |

Tab. 25: Beispiele für die Empfindlichkeit von Baumschulgewächsen gegenüber Unterversorgung mit Mikronährstoffen.

### Rasen

Die Notwendigkeit, Rasen mit Mikronährstoffen zu düngen, ist im Allgemeinen gering. Bei intensiv gepflegtem Sportrasen, wie Golfgreens auf Sandaufbauten, kann allerdings Fe- und/oder Mn-Mangel auftreten. Besonders bei kühlen Bodentemperaturen und geringer Fe-Verfügbarkeit wird zum Teil Fe-Mangel beobachtet. Gleiches kann bei sehr hohen Bodentemperaturen im Sommer als Folge von Wurzelsterben oder verringerter Vitalität des Wurzelsystems auftreten.

Unabhängig von akutem Fe-Mangel bewirkt eine zusätzliche Fe-Düngung bei ausreichender N-Versorgung meist eine Verbesserung des Farbaspekts des Rasens. Es werden auch deshalb eine Reihe von Fe-haltigen Düngern in fester oder flüssiger Form angeboten, um so innerhalb kürzester Zeit, z. B. vor Turnieren, den Aspekt von Rasenflächen aufzuwerten.

Nachgewiesen ist die positive Wirkung einer optimalen Mn-Versorgung zur Förderung der Widerstandsfähigkeit gegen die Rasen-Pilzkrankheit Schwarzbeinigkeit (*Gaeumannomyces graminis*).

| B  | Cu | Fe  | Mn | Mo  | Zn |
|----|----|-----|----|-----|----|
| 10 | 10 | 150 | 50 | < 5 | 30 |

Tab. 26: Mittlere Mikronährstoffentzüge von Golfrasen in mg/m<sup>2</sup> (x 10 = g/ha) und Jahr (Römhild 1994).

Meist werden auch weitere Mikronährstoffe als Zusatz in Mehrnährstoffdüngern oder spezifisch in flüssiger Form appliziert (Blatt- bzw. Flüssigdüngung). Cu-, Zn- oder B-Mangel sind aufgrund des geringen Bedarfes eher selten, können aber auf sandigen und alkalischen Böden eine Rolle spielen.

## 9 Mikronährstoffe in der Nahrungskette als Spurenelemente für Mensch und Tier

Mikronährstoffe in Pflanzen erfüllen als Spurenelemente für Mensch und Tier eine essenzielle Funktion bei der Entwicklung und/oder Aufrechterhaltung des Lebens (Tab. 3). Kennzeichen der Spurenelemente ist ein Körper-Gehalt von maximal 50 mg/kg Körpergewicht (Ausnahme Eisen). Damit beinhaltet die Liste der essenziellen Spurenelemente für Mensch und Tier neben den Mikronährstoffen für Pflanzen weitere Elemente wie F, J, Co und Se. Auch diese Elemente sind in Pflanzen enthalten und für die Nahrungskette relevant.

Durch die Düngung können die Mineralstoffgehalte in Verzehrkulturen und damit die Spurenelementversorgung von Mensch und Tier verbessert werden. Der letztlich nutzbare, bioverfügbare Gehalt an Mineralstoffen pflanzlicher Lebensmittel, der seinen Ausgangspunkt im Gesamtgehalt der Pflanze nimmt, ist dabei von einer Reihe von Einflussfaktoren abhängig, die Abbildung 42 im Überblick darstellt.

Für den gezielten Einsatz von Mineraldüngern zur Korrektur von Spurenelementdefiziten in der Nahrungskette gibt es prägnante Beispiele:

- In der Türkei konnte durch den starken Anstieg der Nutzung Zn-haltiger Mineraldünger in den letzten Jahren einem Zn-Mangel in der Nahrungskette erfolgreich begegnet werden.
- Der finnische Staat veranlasste im Jahr 1984 per Verordnung die Zusetzung von Se zu mineralischen Düngemitteln. Parallel zum dadurch erhöhten Se-Status der finnischen Bevölkerung verbesserten sich auch verschiedene Gesundheitsindikatoren (Eurola 2005).

In beiden Fällen lag der Ursprung des Spurenelementmangels im Boden und setzte sich über die Pflanzen in der Nahrungskette bis zum Menschen fort.

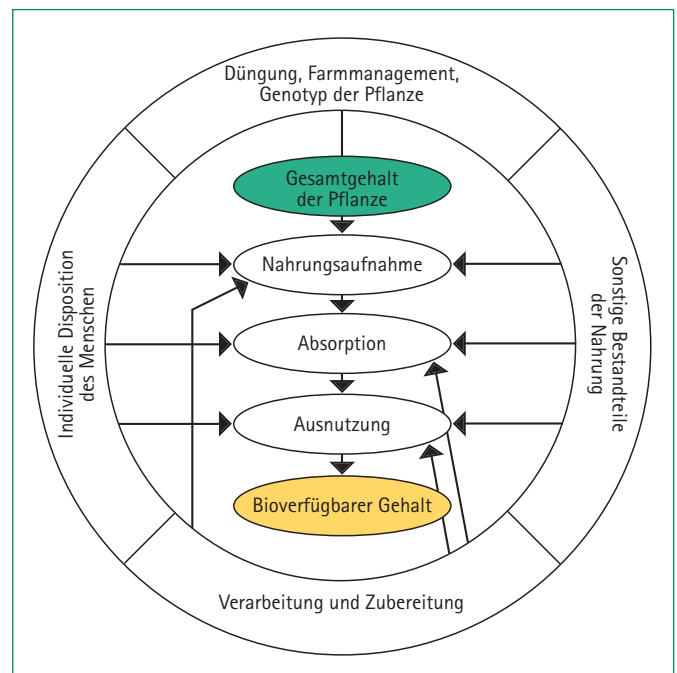


Abb. 42: Einflussfaktoren auf die Bioverfügbarkeit von Mineralstoffen pflanzlicher Nahrungsmittel für den Menschen (Graham et al. 2001).

### Ernährungsphysiologische Aspekte

Die physiologische Aufgabenvielfalt der Mikro-nährstoffe in Pflanzen setzt sich in der Nahrungskette fort. Bei Mensch und Tier sind sie als Bestandteil von Vitaminen, Enzymen, Hormonen etc. an sensiblen und lebenswichtigen Stoffwechselvorgängen beteiligt und deshalb essenziell. Beipielhaft sind in Tabelle 27 einige dieser funktionalen Zusammenhänge zwischen dem Ernährungsstatus mit Spurenelementen und lebenswichtigen Stoffwechselfunktionen aufgeführt.

Spurenelemente sind Bestandteil von Enzymen und anderen Proteinen. Einige davon sind als Radikalfänger aktiv und schützen biologische Strukturen vor oxidativem Stress. Aufgrund dieses Zusammenhanges erfüllen Spurenelemente eine wesentliche Aufgabe für das unspezifische Immunsystem. Überwinden Krankheitserreger die unspezifische Immunabwehr, so kommt es zu Infektionen und die spezifische Immunabwehr (z. B. mit Antikörpern) muss greifen. Darüber hinaus führt unkontrollierter oxidativer Stress zu einer beschleunigten Alterung von Organismen.

Grundsätzlich lassen sich die Wirkungsweisen von Mineralstoffen im Organismus folgendermaßen unterscheiden:

1. Mengenelemente, wie z. B. Cl, Ca, Mg oder Na können in anorganischer/ionischer Form im Körper aktiv sein und Funktionen wie z. B. Regelung des osmotischen Druckes, Erregungsübertragung durch elektrische Ladung oder physikalische Stützfunktion im Skelett erfüllen. Cl ist notwendig zur Produktion von Magensäure und zur Aufrechterhaltung der Osmose im Organismus.
2. Spurenelemente und einige Mengenelemente müssen zunächst in organische Verbindungen überführt, also biologisch aktiviert werden. Erst dann können sie spezifische physiologische Funktionen im Körper erfüllen, die mit den Reaktionsmechanismen ihrer mineralischen Form nichts mehr gemeinsam haben. So wird z. B. Se von den Pflanzen in mineralischer Form aufgenommen und ersetzt zu einem bestimmten Anteil in Aminosäuren das Element S. Anstelle der schwefelhaltigen Aminosäure Methionin wird Se-Methionin mit völlig anderen Funktionen synthetisiert. Die daraus aufgebauten Se-Proteine erfüllen spezifische Aufgaben, die Se als Mineralstoff oder andere Proteine ohne Se-Methionin nicht erfüllen können.

| Spurenelement | Mensch und Tier                                           |                                                                                                                                                                                                | Pflanze                                                                                           |
|---------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | Beispiele für Bestandteil von                             | Bedarf (LG = Lebendgewicht), Aufgaben im Körper von Mensch und Tier                                                                                                                            | Beispiele für Aufgaben in der Pflanze                                                             |
| <b>Co</b>     | Cobalamin (= Vit. B12)                                    | Als Vit. B12: 4-6 µg Co/kg LG, Hämoglobin-Synthese, Erythrozytenbildung, Stimulation der Mikroflora im Verdauungstrakt, Propionsäureverwertung beim Wiederkäuer                                | Nur bei Leguminosen, die auf Fixierung des Luftstickstoffs in den Wurzelknöllchen angewiesen sind |
| <b>Cu</b>     | Tyrosinase                                                | 16-25 µg Cu/kg LG, Sauerstofftransport, Energiestoffwechsel, Keratin-Synthese, Melanin-Synthese, Hämoglobin-Synthese, Knochenbildung,                                                          | Atmungskette, Ligninsynthese                                                                      |
|               | Cu-Superoxid-Dismutase                                    | Radikalfänger                                                                                                                                                                                  | Radikalfänger                                                                                     |
| <b>Fe</b>     | Hämoglobin, Myoglobin                                     | 150-200 µg Fe/kg LG, Sauerstofftransport und -speicher, Atmungskette, DNA Synthese, Cofaktor verschiedener antioxidativer Enzyme                                                               | Chloroplastenproteine, Chlorophyllsynthese                                                        |
| <b>J</b>      | Thioredoxin-Reduktase, Iodothyronine 5'-Deiodinase type 1 | 3-5 µg J/kg LG, Schilddrüsenfunktion, Energiestoffwechsel, Proteinsynthese, Thermoregulation                                                                                                   | nicht bekannt                                                                                     |
| <b>Mn</b>     | Glykosyl-Transferase, Hormonsynthese                      | 30-80 µg Mn/kg LG, Ausbildung des Skeletts, Funktion der Muskulatur, Entwicklung und Funktion der Geschlechtsorgane, Insulinsynthese, Protrombinsynthese, Hormonsynthese, Beziehung zu Vit. B1 | Photosynthetische Wasserspaltung                                                                  |
|               | Mn-Superoxid-Dismutase                                    | Radikalfänger                                                                                                                                                                                  | Radikalfänger                                                                                     |
| <b>Se</b>     | Glutathionin-Peroxidase, ca. 50 Se-Proteine               | 1-2 µg Se/kg LG, Unspezifische Immunabwehr, Radikalfänger, Aktivierung von Thyroxin zu Trijodthyroxin (Jod-Stoffwechsel)                                                                       | nicht bekannt                                                                                     |
| <b>Zn</b>     | Insulin, Phospholipase A2, Phospholipase C                | 120-180 µg Zn/kg LG, Cofaktor zahlreicher Enzyme, unspezifischer Immunschutz, Schutz von Vitamin A und Enzymen, Aktivierung von Catalase, Zusammenhang zur Lactoferrinsynthese                 | Proteinsynthese, Kohlenhydratstoffwechsel, Membranfunktion                                        |
|               | Zn-Superoxid-Dismutase                                    | Radikalfänger                                                                                                                                                                                  | Radikalfänger                                                                                     |

Tab. 27: Spurenelemente bei Mensch und Tier und Mikronährstoffe in Pflanzen (Gröber 2002, Expert Group on Vitamins and Minerals 2003, BfR 2004).

Bei der Ernährung von Mensch und Tier mit Mikronährstoffen bzw. Spurenelementen sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Dosierung (Spurenelementgehalte in Nahrungsmitteln, Tagesbedarf)
- Bindungsform, die den Grad der Aufnahme bzw. Bio-Verfügbarkeit sowie das Wirkspektrum der Spurenelemente (nutritiv bis toxisch) beeinflusst
- Wechselwirkung zwischen Spurenelementen untereinander, sowie mit Mengenelementen und auch organischen Nährstoffen (vom Antagonismus bis zur Synergie)

Hieraus wird klar: Es ist nicht die Dosis alleine, von der die Wirkung abhängt. Die chemische Bindung, in der ein Spurenelement vorliegt, sowie mögliche Wechselwirkungen mit anderen Elementen und Verbindungen sind weitere wichtige Faktoren. Zum Beispiel werden bio-verfügbare Co-Salze wie Co-Sulfat für den Menschen schon bei geringsten Mengen als toxisch bzw. krebserregend eingestuft. Hingegen ist die organische Verbindung Cobalamin (Vit. B12) mit Co als Zentralatom lebensnotwendig.

Beispiele für Wechselwirkungen zwischen Spurenelementen sind:

Synergien: Jod - Selen für den Schilddrüsenstoffwechsel

Antagonismus: Hemmung der Zn-Resorption bei sehr hohen Se-Aufnahmen (> 500 µg Se/Tag) (Schrauzer 2000).

### Relevanz für die Ernährung

Pro Kopf der Weltbevölkerung betrachtet ist heute eine Unterversorgung der Menschheit mit Mikronährstoffen bzw. Spurenelementen von größerer Bedeutung als der Mangel an Eiweiß oder Kalorien (Welch & Graham 1999). Weltweit betrachtet gelten neben Vitamin A die Mikronährstoffe Fe und Zn, sowie J und Se als die defizitärsten Elemente und Nährstoffe.

Etwa 50 % der Weltbevölkerung, so WHO-Schätzungen, leiden unter Fe-Mangel (WHO 2002) und etwa 30 % an Zn-Mangel (Hotz & Brown 2004). Am stärksten betroffen von dieser Mangelernährung, die auch als „verdeckter Hunger“ angesprochen wird, sind vor allem einkommensschwache Familien, insbesondere in Entwicklungsländern und dort vor allem Frauen, Säuglinge und Kinder. Mangelernährung an Fe, J, Zn und Vitamin A können neben einer Schwächung des Immunsystems insbesondere auch die Gehirnentwicklung von Föten und Säuglingen beeinträchtigen. Letztlich ergeben sich aus diesen Zusammenhängen, insbesondere mit Blick auf die Dritte Welt, neben der persönlichen Dimension, langfristig auch gesellschaftliche und entwicklungspolitische Auswirkungen, die die Entwicklungspotenziale ganzer Länder einschränken können (Welch & Graham 1999).

In Europa sind typische Mangelkrankheiten beim Menschen, wie z. B. Rachitis, Kretinismus/Kropf, durch die Verbesserung der Ernährungssituation deutlich zurückgegangen. Trotzdem wird immer wieder ein suboptimaler Versorgungsstatus einzelner Nährelemente in den verschiedenen Stufen der Nahrungskette bis hin zum Menschen festgestellt. So hat fast ein Drittel der Bevölkerung Deutschlands einen Kropf, der nicht immer sichtbar ist und der in engem Zusammenhang mit J- und/oder Se-Mangel steht.

Spurenelementvergiftungen durch zu hohe Gehalte in der Nahrungskette sind in Europa bisher nicht bekannt. Durch Nahrungsergänzungsmittel kommt es hingegen häufiger zu Vergiftungen aufgrund von Fehldosierungen, Anwendungsfehlern und/oder Missbrauch.

Eine ausgewogene Ernährung über natürliche Nahrungsmittel ist völlig ausreichend für eine gesunde Ernährung, sofern in der vorgelagerten Nahrungskette kein Mangel vorliegt. Zur Behebung solcher Mängel in der Nahrungskette stehen die Instrumente der Pflanzenernährung zur Verfügung.

Im Rahmen dieser pflanzenbaulich orientierten Broschüre mögen diese Hinweise genügen um aufzuzeigen, dass die Versorgung von Pflanzen mit Mikronährstoffen eine Relevanz besitzt, die über den eigentlichen pflanzenbaulichen Bereich hinausreicht. Der Bogen spannt sich dabei von der Gesundheitsvorsorge, die uns alle persönlich betrifft bis hin zu Aspekten globaler Gesellschaftsentwicklung und dem Kampf gegen Unterentwicklung. Mit Blickrichtung auf Letzteres, angesichts des Ausmaßes an Mikronährstoffmangel in der Welt, schreiben Welch & Graham (1999) „Economic development depends on good nutrition“. Der Aphorismus des Philosophen Ludwig Feuerbach (1804–1872) „Man ist, was man isst“ lässt sich in diesem Kontext dahingehend umformulieren, dass der Mensch nur werden kann, was er auch an Mikronährstoffen zu sich nimmt.



## 10 Glossar und Abkürzungsverzeichnis

|                                   |                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AAS</b>                        | Atomabsorptionsspektroskopie                                                                                                                                                                                            |
| <b>BBCH-Skala</b>                 | Skala von <b>B</b> iologischer Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, <b>B</b> undessortenamt und <b>C</b> hemischer Industrie zur Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. |
| <b>CAT-Methode</b>                | <b>Ca</b> lciumchlorid und <b>DTPA</b> -Methode (Bodenuntersuchung)                                                                                                                                                     |
| <b>Chelate</b>                    | Organisches Molekül, bei dem das Zentralion, i. d. R. ein Metallion, über mehrere Stellen gebunden ist.                                                                                                                 |
| <b>Chloroplasten</b>              | Photosynthetisch aktive Organellen (Plastide) in Pflanzenzellen.                                                                                                                                                        |
| <b>Chlorose</b>                   | Gelb gefärbte Pflanzenteile aufgrund geringer Chlorophyll-Gehalte.                                                                                                                                                      |
| <b>Endothecium</b>                | Faserschicht, die die Pollen in den Pollensäcken umschließt.                                                                                                                                                            |
| <b>Enzym</b>                      | Eiweißstoff, der biochemische Stoffwechselvorgänge katalysiert, d. h. beschleunigt.                                                                                                                                     |
| <b>ICP</b>                        | Induktiv gekoppeltes Plasma                                                                                                                                                                                             |
| <b>IES</b>                        | Indol-3-Essigsäure (Phytohormon)                                                                                                                                                                                        |
| <b>Interkostalfeld</b>            | Blattgewebe zwischen Blattadern                                                                                                                                                                                         |
| <b>Immunabwehr, spezifische</b>   | „Erworbene“ Immunabwehr, die ganz gezielt gegen einen bestimmten Erreger gerichtet ist. Sie entwickelt sich erst in der direkten Auseinandersetzung mit dem Krankheitserreger.                                          |
| <b>Immunabwehr, unspezifische</b> | „Angeborene“ Immunabwehr, die Fremdkörper und viele allgemein vorkommende Krankheitserreger bereits beim ersten Kontakt unschädlich machen kann.                                                                        |
| <b>MS</b>                         | Massenspektroskopie                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Mykorrhiza</b>                 | Symbiose von Pilzen und Pflanzen, in der ein Pilz mit dem Feinwurzelsystem der Pflanze in Kontakt ist.                                                                                                                  |

|                            |                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nekrose</b>             | Abgestorbene Gewebe- oder Pflanzenteile                                                                                                                                                                                                   |
| <b>OES</b>                 | Optische Emissionsspektroskopie                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Phloem</b>              | Teil des Leitbündelsystems; Assimilattransport                                                                                                                                                                                            |
| <b>Reduktans</b>           | Reduktionsmittel                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Regulationsproteine</b> | Proteine mit regulatorischen Funktionen, wie Rezeptoren, Liganden, Enzyme usw.                                                                                                                                                            |
| <b>RFA</b>                 | Röntgenfluoreszenz-Analyse                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Spurenelemente</b>      | Mineralstoffe, die der menschliche und tierische Organismus nur in „Spuren“ enthält, die aber oftmals lebenswichtige Aufgaben erfüllen.<br>Man unterscheidet essenzielle (lebensnotwendige) und akzidentelle (unwichtige) Spurenelemente. |
| <b>Spurennährstoffe</b>    | Synonym für Mikronährstoffe                                                                                                                                                                                                               |
| <b>TM</b>                  | Trockenmasse (Bezugsbasis bei Mineralstoffanalysen)                                                                                                                                                                                       |
| <b>Unterlage Quitte</b>    | Quitten werden im Obstbau bei Birnen als Veredlungsunterlage verwendet (häufig verwendeter Quittentyp: Quitte A).                                                                                                                         |
| <b>Xylem</b>               | Teil des Leitbündelsystems; Ionen- und Wassertransport                                                                                                                                                                                    |

## 11 Literatur und Bildnachweis

Baab (2004): Das Spurennährelement Mangan. Obstbau 5, 255-261.

Bergmann W. (1983): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Entstehung und Diagnose. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Bergmann W. (ed.) (1992): Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer Verlag, Jena.

Bergmann W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Fischer Verlag, Jena.

BfR (2004): Verwendung von Mineralstoffen in Lebensmitteln.

Breuer J., König V., Merkel D., Olfs H.-W., Steingrobe B., Stimpfl E., Wissemeier A. H. & Zorn W. (2003): Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen. Anwendung in Landwirtschaft, Gemüse- und Obstbau. Agrimedia.

DGE (2000): Eichert T. & Goldbach H. E. (2002): Aufnahme und Verlagerung von B nach Blattapplikation. Vortrag 10. Tagung Arbeitskreis Blattdüngung, Kassel.

Eurola M. (2005): Proceedings Twenty Years of Selenium Fertilisation. Agrifood Research reports 69; MTT Agrifood Research Finland.

Expert Group on Vitamins and Minerals (2003): Safe Upper Levels for Vitamins and Minerals. Published by Food Standards Agency.

Finck A. (1976): Pflanzenernährung in Stichworten, 3., überarbeitete Auflage, Verlag Ferdinand Hirt, Kiel.

Fischer v. D. (1995): Empfehlungen für die Düngung von Acker- und Grünland nach Bodenuntersuchung im integrierten und ökologischen Landbau. Landwirtschaftskammer Rheinland, 7. verbesserte Auflage.

Frossard E., Bucher M., Mächler F., Mozafar A. & Hurrell R. (2000): Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. J. Sci. Food Agric. 80, 861-879.

Graham R. D., Welch R. M. & Bouis H. E. (2001): Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. Adv. Agron. 70, 77-142.

Gröber U. (2002): Mikronährstoffe in der Orthomolekularen Medizin. Stuttgart Wiss. Verl.-Ges.

Hotz C. & Brown K. H. (2004): Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. Food Nutr Bull 25, 94-204.

Krähmer R. & Ruppe J. (2004): Möglichkeiten der Erhöhung der Ertragswirksamkeit der Kupfer- und Manganblattdüngung. Vortrag 12. Tagung Arbeitskreis Blattdüngung, Göttingen.

Krug H. (1986): Gemüseproduktion, Parey Verlag, 1986.

LFV Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg (Hrsg.) (2004): Boden und Pflanzenernährung im Obstbau, Weinbau und Bioanbau.

LK Reinland, 321/313.

LVG Hannover-Ahlem (1989): Düngung im Zierpflanzenbau. Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Hannover-Ahlem. Verlag Bernhard Thalacker, Braunschweig.

Marschner H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition, Academic Press, London (mit Genehmigung von Elsevier).

McClendon J. H. (1976): Element abundance as a factor in the origins of mineral nutrient requirements. J. Mol. Evol. 8, 175-195.

McDowell L. R. (1992): Minerals in Animal and Human Nutrition, Academic Press, Inc., Harcourt Brace Jovanovich, Publishers.

Mengel K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7. überarbeitete Auflage. Gustav Fischer Verlag, Jena.

Merrien A., Palleau J. P. & Maisonneuve C. (1988): Besoins en éléments minéraux du colza cultivé en France. In: Physiologie et élaboration du rendement du colza d'hiver, CETIOM, F-75116 Paris.

Nielsen F. H. (2000): The emergence of boron as nutritionally important throughout the life cycle. Nutrition 16, 512-514.

Pfannhauser W. (1988): Essentielle Spurenelemente in der Nahrung. Springer-Verlag, Berlin.

Pissarek H.-P. (2004): Untersuchungen zur Aufnehmbarkeit und Verlagerbarkeit von Zn-Blattdüngern bei Mais unter besonderer Berücksichtigung von Blattdepotdüngern. Vortrag 12. Tagung Arbeitskreis Blattdüngung, Göttingen.

Römheld V. (1994): Bedeutung der Mikronährstoffe für den Intensivrasen. Rasen-Turf-Gazon 3, 64-68.

Schrauzer G. N. (2000): Selenomethionine: A review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. J. Nutr. 130: 1653-1656.

Stevenson F. J. (1986): Cycles of soil: The micronutrient cycle. John Wiley & Sons, New York.

Streif J., Xuan H. & Bangerth F. (2000): Bor-Spritzungen. Lässt sich damit die Ca-Lagerfähigkeit von Birnen verbessern? Obstbau. 25(9), 497-500.

Umweltbundesamt (2000): Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes. Texte 58/00.

VDLUFA (2002): Bestimmung von Magnesium, Mangan, Kupfer, Zink und Bor aus dem CAT-Auszug. Abschlussbericht der Fachgruppe Bodenuntersuchung.

Visuplant: Visuelle Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Internet-Beratung der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

Vitosh M. L., Warncke D. D. & Lucas R. E. (1994): Secondary and micronutrients for vegetables and field crops. Michigan Extension Bulletin E-486.

Welch R. M. & Graham R. D. (1999): A new paradigm for world agriculture: meeting human needs productive, sustainable, nutritious. Field Crops Res. 60, 1-10.

WHO (2002): The World Health Report (2002): Reducing Risks, Promoting Healthy Life. World Health Organization 2002.

## Bildnachweis

Aglukon Spezialdünger GmbH & Co. KG:  
Abbildungen 19, 33, 34, 35, 36, 37, 40, 41

Bayer CropScience Deutschland GmbH:  
Abbildung 22

K + S Kali GmbH:  
Abbildungen 15, 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

Tom Deckers, Royal Research Station of Gorsem (Belgien):  
Abbildungen 34, 36



Aus dem »Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen« (Hrsg: Zorn W., Marks G., Heß H. & Bugmann W., Spektrum Akademischer Verlag, 2006. ISBN-Nr. 3-8174-1669-8):  
Abbildungen 14, 16, 17, 38, 39