

Mikronährstoffe - Symptomatik

■ Fleckenbildung → Nekrosen

■ Chlorosen

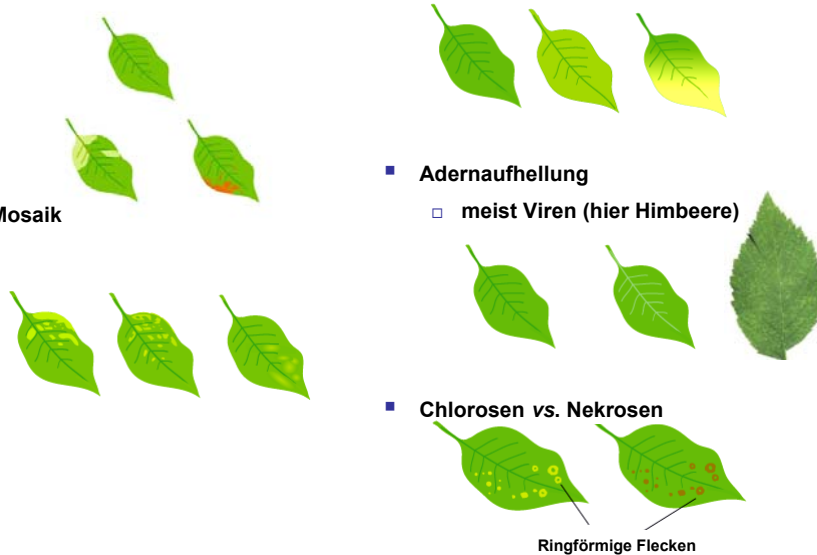
■ Mosaik

■ Adernaufhellung

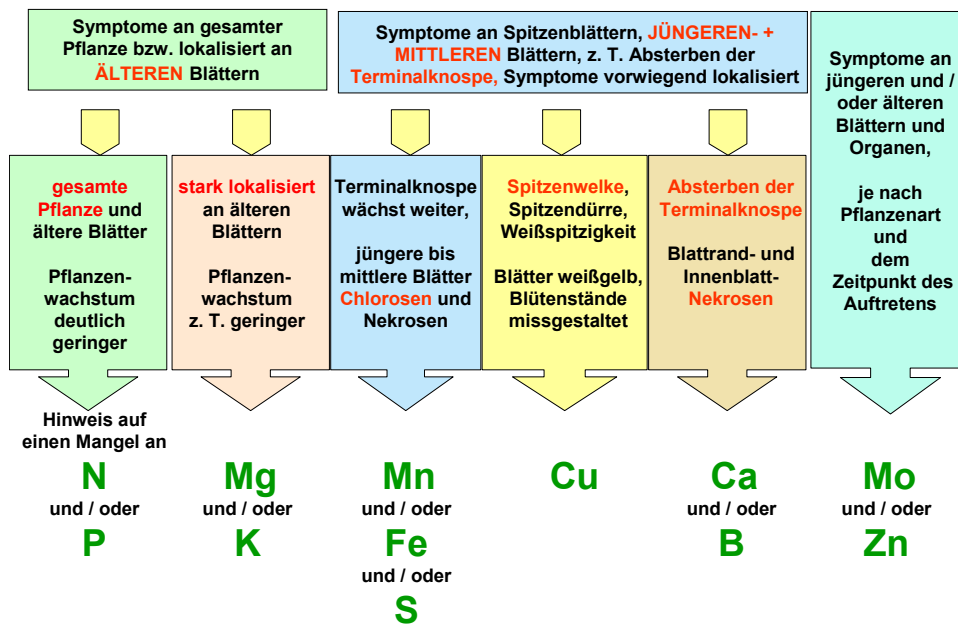
□ meist Viren (hier Himbeere)

■ Chlorosen vs. Nekrosen

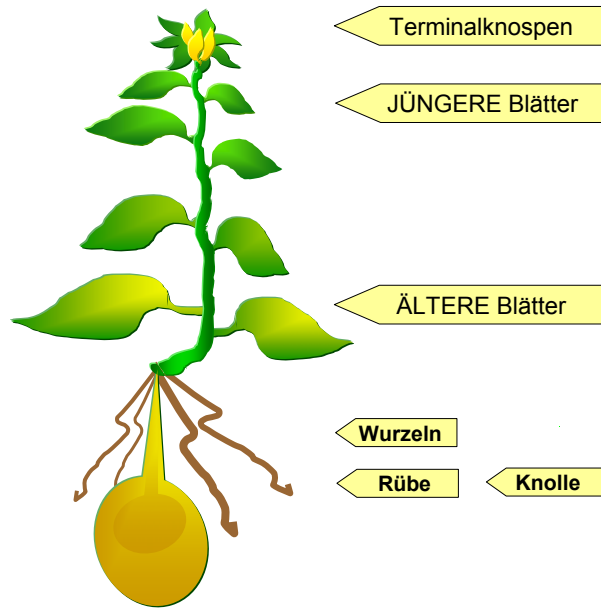
Ringförmige Flecken



Bestimmung von Mangelsymptomen



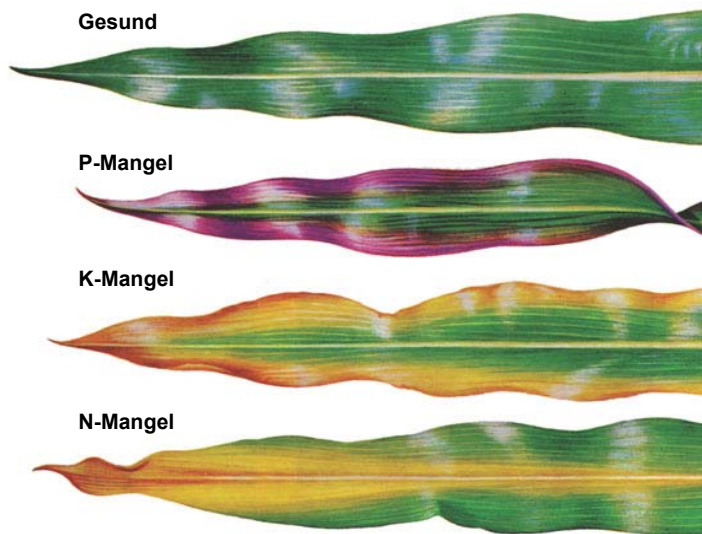
Differenzierung nach betroffenen Pflanzenteilen



■ Grund:

Verlagerbarkeit der Nährstoffe

Typische Mangel-Symptome



■

Ansprüche an die Spurennährstoffversorgung

	Mg	S	Mn	B	Cu	Zn	Fe	Mo	Na
Weizen	+	+	+	-	+	(+)	+	-	
Gerste	+	m	m	-	+	(+)	+	-	
Roggen	+	m	m	-	m	(+)	m	-	
Hafer	+	m	+	-	+	(+)	+	m	
Mais	+	m	m	m	m	+	+	-	
Raps	+	+	m	+	-	-		m	
Zuckerrübe	+	+	+	+	m	m		m	+
Kartoffeln	+	-	m	m	-	m		-	
Erbsen	+	+	+	-	-	-		m	
Ackerbohne	+	+	-	m	m	m	+	m	

+ = hoch

m = mittel

- = niedrig

(+) hoher Bedarf bei höherem Ertragsniveau (>70 dt/ha)

Mikronährstoffe in Böden und Erntegut

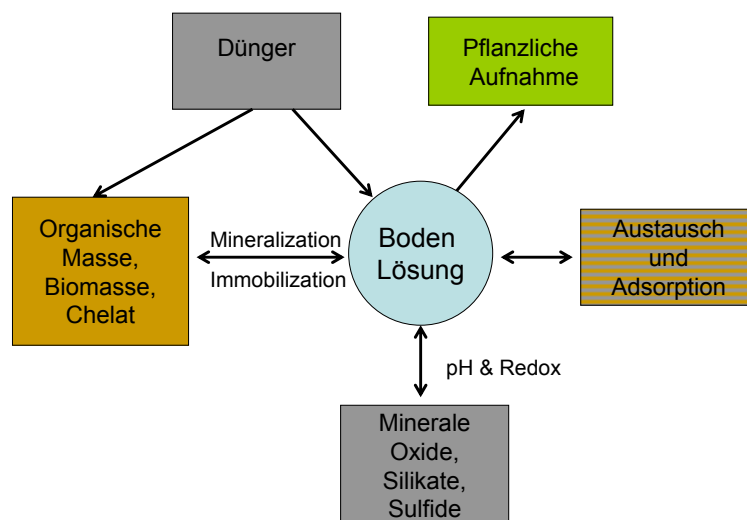
■ Mikronährstoffe in Böden und Erntegut

Nährstoff	Gehalte in Boden (kg/ha)	Entzug durch Getreide (kg/ha)
Bor (B)	20-200	0,06
Kupfer (Cu)	2-400	0,05
Eisen (Fe)	10,000-200,000	0,10
Mangan (Mn)	100-10,000	0,08
Molybdän (Mo)	1-7	0,03
Zink (Zn)	20-600	0,15

Mikronährstoffe

- **Verfügbare Formen**
 - Kationen
 - Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} ,
 - Anionen
 - MoO_4^{2-} , Cl^-
 - Neutral
 - B
- **Funktion – Enzysysteme**
 - Redoxreaktionen
 - Photosynthese
 - N Fixierung
 - Proteinsynthese

Mikronährstoffe



Mikronährstoffe im Boden

- Einflußfaktoren auf die Verfügbarkeit
 - **Löslichkeitsprodukt**
 - Oxide und Hydroxide
 - pH
 - Z.B.: $\text{Fe(OH)}_3 \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + 3 \text{OH}^-$
 - Redox
 - Z.B.: $\text{Fe(OH)}_2 \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{OH}^-$
 - **Kationen-Austausch**
 - Ähnlich wie Makronährstoffe K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc.
 - Makronährstoffe haben geringen Anteil an den austauschbaren Kationen
 - **Adsorption**
 - Mineralische Oberflächen
 - Organische Masse
 - **Organische Masse**
 - Mineralisierung
 - Immobilisierung
 - Chelatisierung

Reihung der Mikronährstoffe

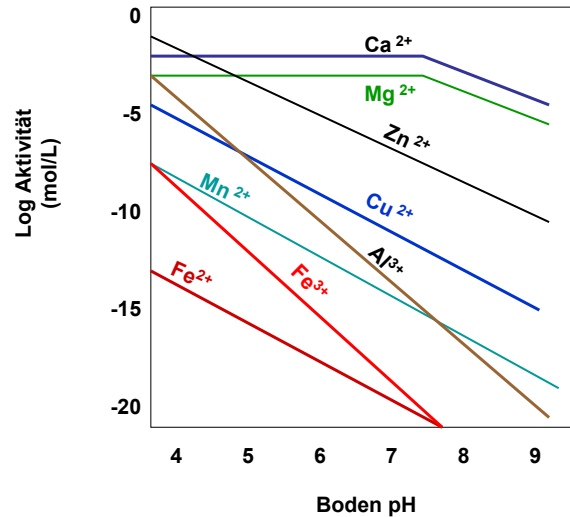
- **nach zunehmender Bedeutung der Diffusion**
 - für ihren Antransport an die Wurzeloberfläche **und**
 - von biologischen Aktivitäten zu deren Mobilisierung:

- **B ≤ Mo < Cu ≤ Zn ~ Mn < Fe**

- → Daraus ergibt sich umgekehrt von links nach rechts (B → Fe) eine Reihung: in der die Aussagekraft der Boden-Gehalte zur Bestimmung der Mikronährstoff-Versorgung abnimmt
 - → z.B. ist ein hoher Fe-Gehalt im Boden bei ungünstigen Bedingungen nicht nutzbar

Mikronährstoffe: Vergleich nach Boden pH

- Vergleich Fe und Zn Löslichkeit
 - Fe 10,000 – 200,000 kg/ha → 0.10 kg/ha Aufnahme
 - Zn 20 - 600 kg/ha → 0.15 kg/ha Aufnahme

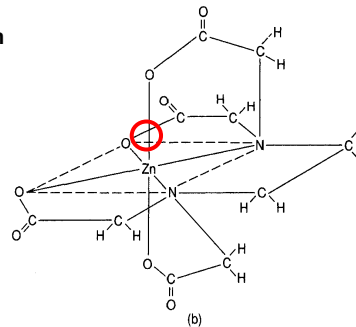
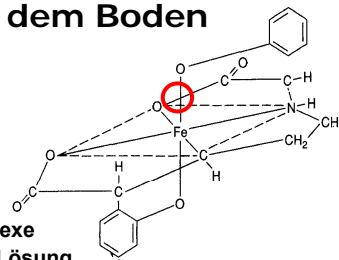
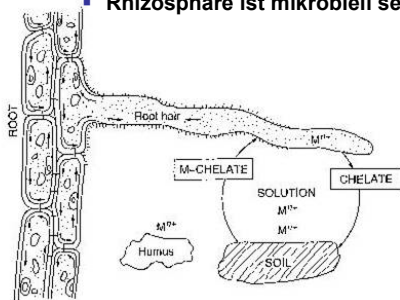


Mikronährstoffe Aufnahme aus dem Boden

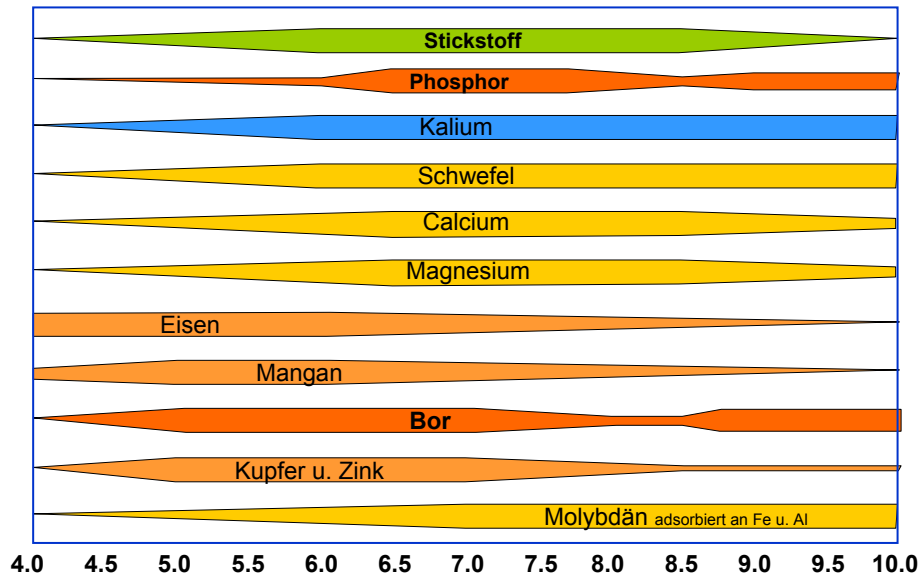
- Einflussfaktoren auf die Verfügbarkeit

- **Chelate:**

- diffundieren
- bilden mit Mikronährstoffen lösliche Komplexe
- halten Mikronährstoffe in höherer Konz. in Lösung
- Massenfluß und Diffusion zu den Wurzeln in Chelat-Form
- Abbau des Komplex an der Wurzel
 - Aufnahme des Nährstoffes als Kation
- Rhizosphäre ist mikrobiell sehr aktiv



Verfügbarkeit d. Nährstoffe nach pH-Wert



Mikronährstoff - Analyse im Boden

- Tests auf Mikronährstoff mit Chelatoren
 - DTPA Test (Diethylen Triamin Pentaacetic Acid)
 - Mehlich 3 Test (Ausschütteln mit EDTA)
- Säuretests
 - 0.1N HCl
 - Mehlich 1 (HCl + H₂SO₄)
- Wichtig: Kalibrierte Daten zur Interpretation
- Zur Interpretation:
 - pH Wert und
 - Redoxpotential des Bodens
- Pflanzenanalyse meist effektiver (AAS)

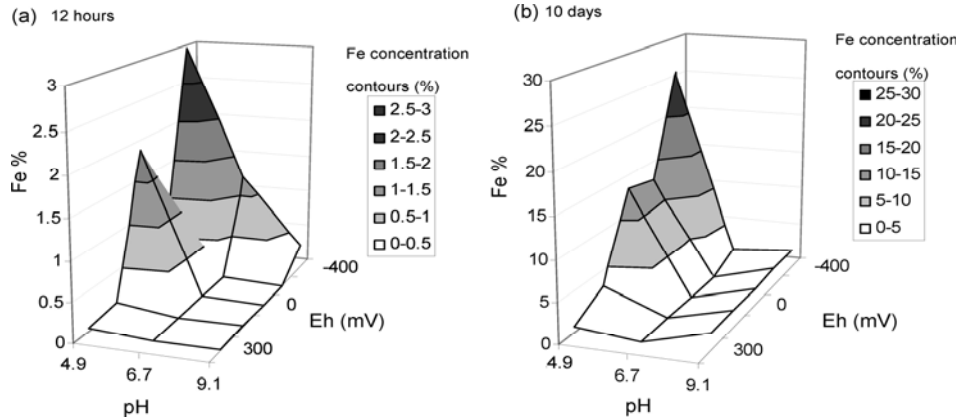
Eisen Fe im Boden

- Viert-häufigstes Element der Lithosphäre
- Verfügbare Formen:
 - Fe^{3+} in belüfteten Böden
 - Fe^{2+} in vernässten Böden
 - Hohe Menge mit organischer Masse komplexiert
 - Eisen liegt in den meisten Böden als Fe^{3+} vor, aber Pflanzen nehmen v.a. Fe^{2+} auf (Reduktion erfolgt in der Rhizosphäre)
 - Sehr geringe Löslichkeit - 10^{-15} to 10^{-20} M
 - zu gering, um Pflanzenbedarf zu decken
 - Fe Bedarf gedeckt durch:
lösliche organische Komplexe - **Chelate**
 - Fe-Aktivität ist pH abhängig

Eisen Fe Verfügbarkeit im Boden

- Handhabung Fe
 - Problem bei hohem pH, kalkreiche Böden
 - Org. Masse erhöht Verfügbarkeit: Chelate ↑
 - Problem unter nass-kalten Bedingungen auf **Ca-Böden** (CO_2 ↑)
 - $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^- \rightarrow$ nicht sauer
 - Nasskalte Bedingungen in *kalkarmen* Böden können Fe Verfügbarkeit erhöhen
 - $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ besser löslich
 - $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow$ sauer
 - Wechselwirkungen
 - Hoher Cu, Mn, Zn, P Gehalt kann Fe Verfügbarkeit reduzieren
 - NO_3^- Aufnahme \rightarrow pH ↑ \rightarrow Fe Verfügbarkeit ↓

Experimentelle Ermittlung der Fe-Bindung



Fe release from exhausted melter slag under varying Eh and pH after (a) 12 h, and (b) 10 days. The values represent aqueous Fe levels, expressed as percentages of the total Fe content of the slag.

- Published in: C. Pratt; A. Shilton; S. Pratt; R. G. Haverkamp; I. Elmetri; *Environ. Sci. Technol.* **2007**, 41, 6585-6590. Copyright © 2007 American Chemical Society

Fe: Eisen-Düngung

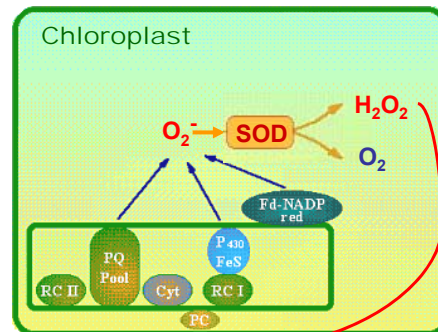
Handhabung Fe

- **Anorganische Fe Salze**
 - Kaum wirksam
 - Schnelle Präzipitation als unlösliche Verbindungen im Boden
- **Fe Dünger**
 - Chelate sehr teuer
 - Polyphosphate chelatisieren etwas Fe
 - Düngung meist als Blattdünger → kein Bodenkontakt
 - 2% FeSO_4 Lösung: 150-300 liter / ha
 - Wiederholt etwa 1x pro Woche
- **Organ. Dünger beinhaltet Fe und Chelate**

SuperOxidDismutasen (SOD) und Catalase

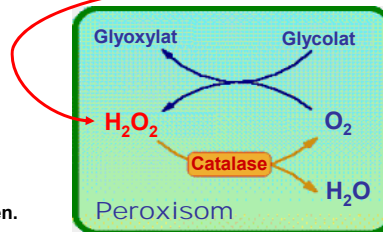
Superoxid-Anionen bilden sich, wenn Elektronen aus der e- Transportkette auf O_2 übertragen werden.

SuperOxidDismutasen katalysieren die Bildung von H_2O_2 . Das Enzym Catalase entgiftet das entstehende H_2O_2



▪ O_2 kann toxisch sein, wenn sich giftige O_2 Spezies bilden:

- Singulett-Sauerstoff,
- Wasserstoffperoxid,
- Superoxidanionen
- oder die besonders toxischen Hydroxyl-Radikale bilden.



SuperOxidDismutasen (SOD)

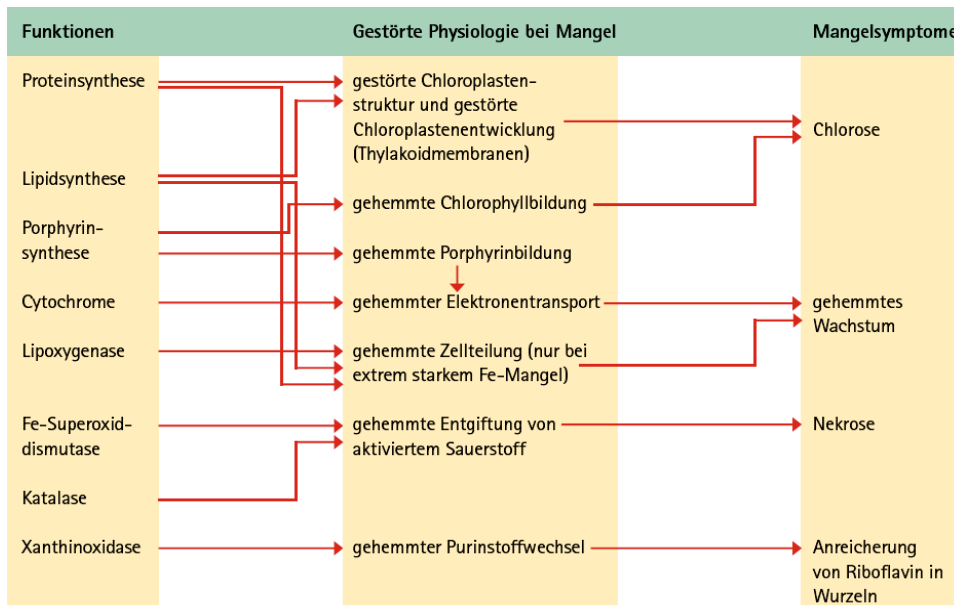
▪ Es gibt 3 leicht unterscheidbare Gruppen von SuperOxidDismutasen:

- **Kupfer-, Zink- enthaltende SOD:**
 - eine Form im Cytoplasma aller Eukaryoten; eine weitere Form in Chloroplasten.
- **Mn oder Fe haltige SOD**
 - in allen Lebewesen
 - Die Fe haltigen sind in Pflanzen in den Chloroplasten lokalisiert,
 - die manganhaltigen in Mitochondrien und Peroxisomen.
- **Superoxiddismutasen aus der Germin-Familie**
 - in der extrazellulären Matrix vieler Pflanzen.

▪ **Katalysierte Reaktionen**

- Die oxidierte Form des Enzyms reagiert mit einem Superoxidion unter Bildung von O_2 und der reduzierten Form des Enzyms. Diese Form reagiert weiter mit einem zweiten Superoxidion und zwei Protonen, dabei entsteht H_2O_2 und die oxidierte Form des Enzyms.
- Zwei Moleküle des dabei gebildeten H_2O_2 reagieren weiter zu einem Molekül Sauerstoff und zwei Molekülen Wasser. Diese Reaktion wird von dem Enzym Catalase katalysiert.

Fe Mangelsymptome

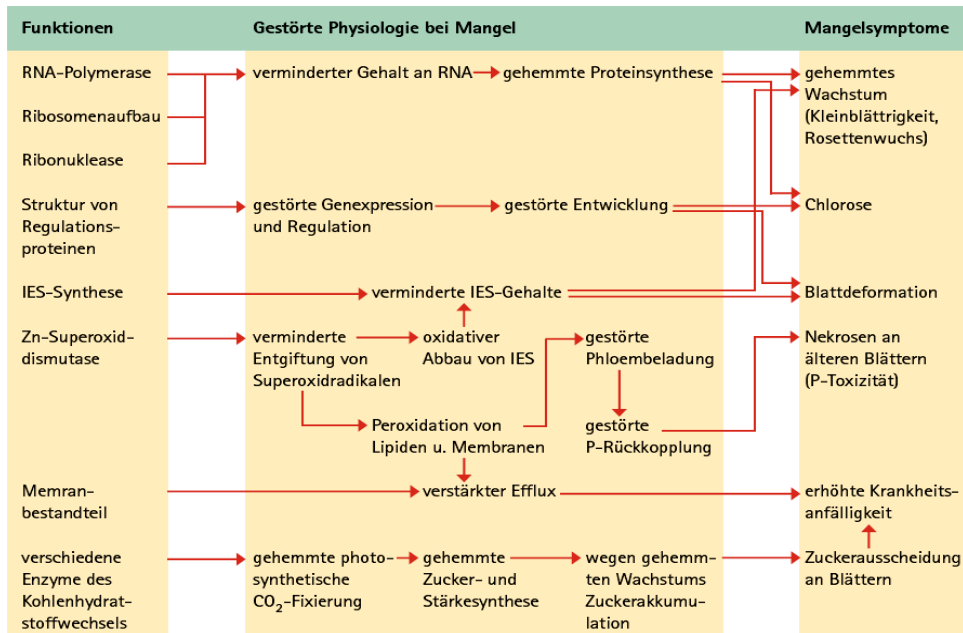


- Beziehungen zwischen Fe-Funktionen und Fe-Mangel-Symptomen (Wissemann)

Zink (Zn)

- Allg. Durchschnitt: 50 ppm im Boden
- Pflanzen nehmen Zn^{2+} auf
- Verfügbare Formen von Zn im Boden
 - Zn^{2+} in Lösung
 - Hohe Menge Zn^{2+} mit organischer Masse komplexiert
 - Relative geringe Löslichkeit: 10^{-5} to 10^{-7} M
 - Aktivität ist pH abhängig
 - Starke Adsorption an Oxide
 - Haftung an Kationen-Austauschern
 - Chelate erhöhen:
 - Zn Versorgung
 - Mobilität
 - Wechselwirkungen:
 - Hoher Gehalt an **Cu, Fe, Mn, P** kann Zn Verfügbarkeit reduzieren

Zn Mangelsymptome



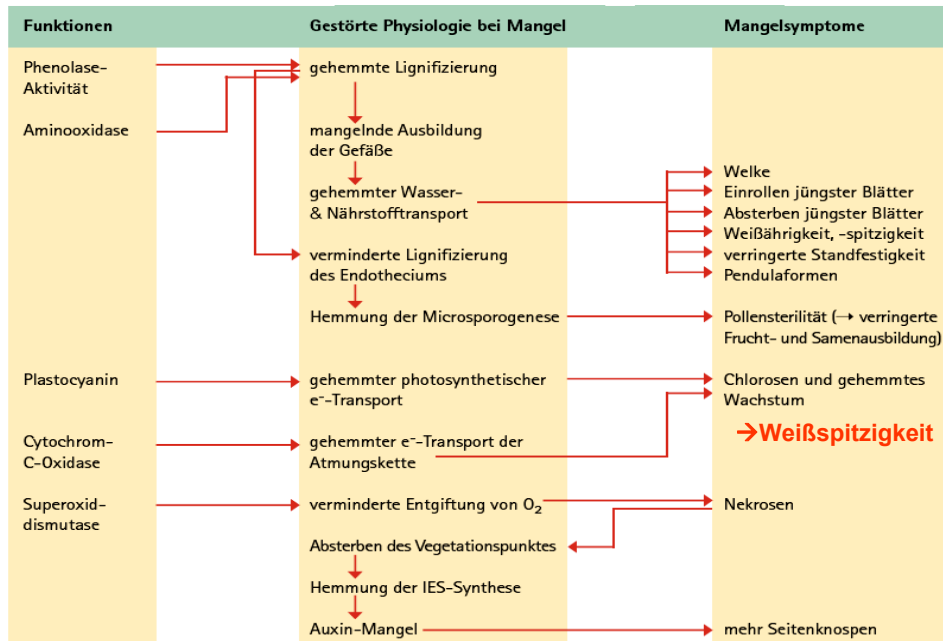
Zink Zn

- Handhabung Zn
 - Pflanzen sind unterschiedlich tolerant vs. Zn Mangel
 - V.a. Problem bei
 - hohem pH,
 - Kalkreichen Böden
 - Zn-Dünger:
 - ZnSO₄ - 35 % Zn häufiger Dünger
 - Andere: ZnO, Zink-Chelate
 - Org. Dünger enthält Zn und Chelate
 - Alle 3-5 Jahre: 3 - 11 kg/ha
 - Weniger mit Zn-Chelaten
 - **breitflächige vs. streifenförmige Ausbringung?**
 - Streifen effizienter
 - Wenn mit P, breitflächige Ausbringung
 - Sonst: Zink als Blattdünger bei Böden mit hohem pH



Zn-Mangel

Cu Mangelsymptome



■ Beziehungen zwischen Cu-Funktionen und Cu-Mangelsymptomen (Wisemann)

Kupfer Cu

- Allg. Ca. 9 ppm im Boden
 - Aufnahme durch Pflanzen als Cu²⁺
- Formen im Boden:
 - Cu²⁺ in Lösung
 - Hohe Mengen des Cu²⁺ komplexiert mit organischer Masse – mehr als andere Mikronährstoffe
 - Relativ hohe Löslichkeit: 10⁻⁶ to 10⁻⁸ M
 - Aktivität ist pH abhängig
 - Starke Adsorption an Oxide
 - Haftung an Kationenaustauschern
 - Cu-Chelate bedeutsam für Mobilität, um Pflanzenbedarf zu decken
 - Wechselwirkungen:
 - Hoher Gehalt an N, P, Fe, Zn kann Cu Vefügbarekeit herabsetzen



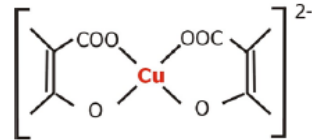
Cu: Mangel → Weißspitzigkeit

Handhabung Cu

- **Starke Genotyp-Unterschiede in Toleranz gg. Cu Mangel**

- **V.a. Problematisch auf stark humosen Böden**

- Huminstoffe immobilisieren Schwermetalle im Boden.
- Starke Adsorption an Org. Masse (Abb.)
- → Heidemoorkrankheit



- Problem bei Marktfrüchten v.a. auf Torf und Moorböden (Norden)

- **Hohe Cu Gehalte:**

- Kupfer v.a. im Klärschlamm – (Kupferrohr-Leitungen)
- Kupfer v.a. in Fußbädern von Geflügelfarmen

Handhabung Cu

- **Kupfer-Dünger**

- $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 25 % Cu handelsüblicher Dünger
- Andere: CuO und $\text{Cu}(\text{OH})_2$ chelatisiertes Kupfer
- Org. Dünger beinhaltet Cu und Chelate

- **Applikation: 1 - 20 kg/ha**

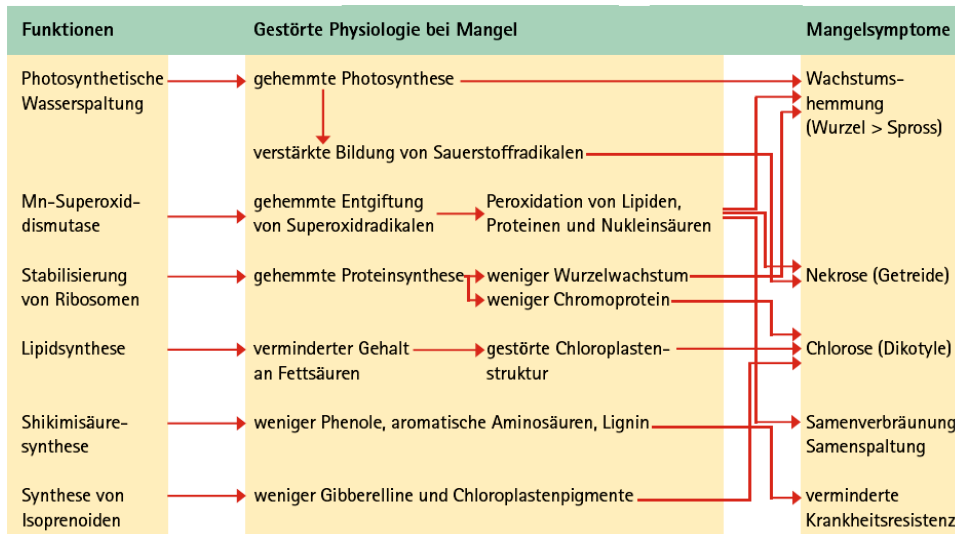
- Hohe Mengen Cu in Fungiziden
- Da oft im Tierfutter enthalten → Dünger reich an Cu
- Nutzung des Inhalts von Fußbädern (aus Tierhaltung)

- **Ausbringung** breitflächig oder Streifen?

- Breitflächig und mit Boden gemischt in der Wurzelzone
- Streifenausbringung: Mögliche Cu Toxizität bei hohen Gehalten

- **Cu** kann auch als Blattdünger ausgebracht werden

Mn Mangelsymptome



- Beziehungen zwischen Mn-Funktionen und Mn-Mangelsymptomen (Wissemann)

Mangan Mn

- Allg. Gehalt ca. 600 ppm im Boden
- Pflanzen nehmen auf: Mn^{2+}
- Formen im Boden:
 - Mn^{2+} in Lösung
 - Hohe Mengen Mn^{2+} komplexiert mit organischer Masse
 - Mn Oxide
 - Sehr geringe Löslichkeit - 10^{-12} to 10^{-15} M
 - Aktivität pH abhängig
 - Abhängig von Redox – unterschieden in nassen bzw. trockenen Böden
 - Höher Löslichkeit in vernässten Böden
 - Gefahr der Auswaschung
 - Bei geringem pH → Gefahr der Toxizität
 - Chelate bedeutsam bei Mn Versorgung und Mobilität um Pflanzenbedarf zu decken
 - Wechselwirkungen:
 - Hoher Gehalt Cu, Fe, Zn kann Mn Verfügbarkeit herabsetzen



Mn-Mangel, Getreide

Handhabung Mn

- **Handhabung Mn**
 - V.a problematisch bei hohem pH, kalkreichen Böden
 - Genotyp-Unterschiede bei Toleranz gg. Mn-Mangel
- **Mn Dünger**
 - $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - 26-28 % Mn = handelsüblicher Dünger
 - Andere: MnO relativ unlöslich aber +/- wirksam
 - Mn-Chelat Dünger
 - Wirtschaftsdünger liefert Mn und Chelate
- **Applikation:** 1 - 27 kg / ha
- **Ausbringung** breitflächig oder Streifen?
 - Streifen normalerweise wirkungsvoller
 - Kombinieren mit N-P-K

Handhabung B

- **Handhabung B**
 - Genotyp-Abhängigkeit der Toleranz gg. B Mangel
 - Mangel auf Böden mit hohem pH
 - organische Masse erhöht B Verfügbarkeit
 - Problematisch v.a. in grobkörnigen, stark verwitterten Böden:
 - Kann in Unterboden auswaschen, wie S
 - B Mangel schlimmer bei Trockenheit
- **Boden-Test auf B**
 - Heiß-Wasser-Extraktion des löslichen Bors:
 - Üblicher Bodentest
 - 1:2 Suspension Boden:Wasser wird 5 min gekocht
 - extrahiert lösliches B und teils adsorbiertes B



Bor-Mangel: → Hohlherzigkeit

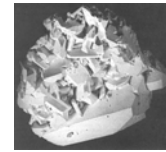
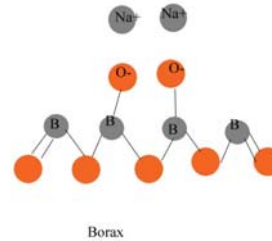
Bor B

- **Einziger nicht-metallischer Mikronährstoff**

- Allg. Konz. 7-80 ppm in Boden
- Aufnahme durch Pflanzen als H_3BO_3

- **Formen im Boden:**

- H_3BO_3 in Lösung
- Mineralische Form: Tourmalin
 - Aktivität ist pH abhängig
- Aride Regionen hohe Mengen alkalischer Borate (Na-Borat, z.B.: Borax)
 - → Gefahr der Toxizität v.a. bei Bewässerung mit hoch B haltigem Wasser!
- Adsorption an Oxide
 - Frisches Aufkalken reduziert die B-Aktivität durch Schaffung neuer Oxide-Oberflächen → Adsorption
- Komplextiert an organische Masse
- Wechselwirkungen
 - Hohe Gehalte an Ca und K können B Vefügbarkheit herabsetzen



Handhabung B

- **B Dünger**

- Na-Tetraborat $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ - 14-15 % B handelsüblicher Dünger
- Borax $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ 11 % B
- Na-Tetraborat + Na-Pentaborat

- **Ausbringung: 0.5 - 3 kg / ha**

- **Ausbringung breitflächig oder Streifen?**

- **Beide, normalerweise breitflächig mit N-P-K**
 - Enger Bereich zw. Mangel and Toxizität
 - → bei streifenförmiger Ausbringung nur ½ ausbringen
 - Auch Sprühnebel-Ausbringung aufs Blatt

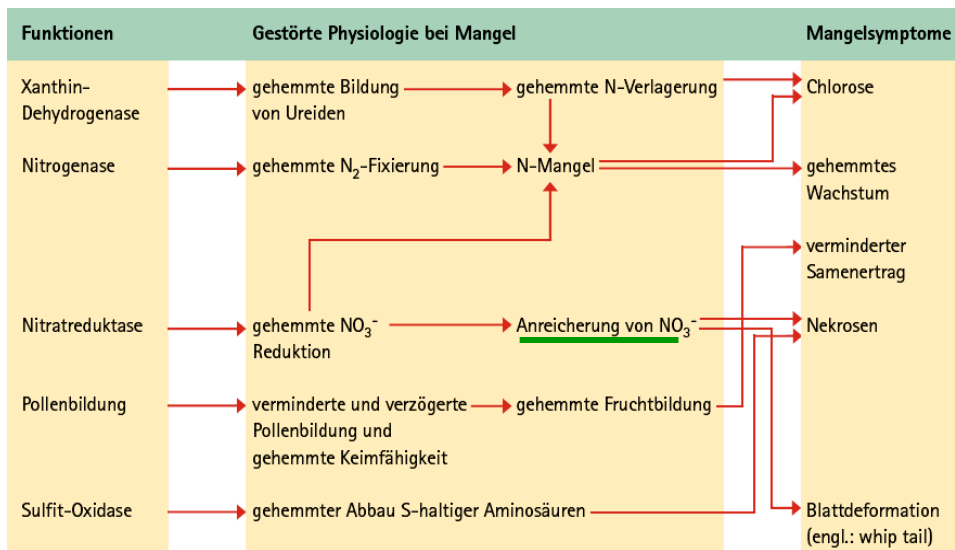
- **Heiß-Wasser-Extraktion des löslichen Bors:**

- **Üblicher Bodentest**
 - 1:2 Suspension Boden:Wasser wird 5 min gekocht
 - extrahiert lösliches B und teils adsorbiertes B

Bor: Hohlherzigkeit



Mo Mangelsymptome



- **Beziehungen zwischen Molybdän-Funktionen und Molybdän-Mangelsymptomen (Wissemann)**

Molybdän Mo

- **Bedeutung**
 - 2 ppm in Boden
 - Aufnahme durch Pflanzen als MoO₄²⁻
 - Essentiell für Nitrogenase und Nitrat-Reduktase (**NR**)
- **Verfügbare Formen im Boden:**
 - PbMoO₄, CaMoO₄ Minerale
 - MoO₄²⁻, HMoO₄⁻, H₂MoO₄ in Bodenlösung – sehr geringe Konzentration
 - Adsorbiert an Fe und Al Oxide
 - Verfügbarkeit erhöht mit steigendem pH
- **Handhabung**
 - Selten im Mangel
 - Genotypische Unterschiede in Sensitivität
 - Kann toxisch sein
 - Quellen:
 - NH₄⁺- Molybdat 54% Mo
 - Na-Molybdat 39% Mo
 - Mo-Trioxid 66% Mo
 - Ummantelung von Leguminosen-Saatgut mit Mo

Whiptail -Syndrom



Chlor Cl

- **Chlor Cl**
 - 0.02 - 0.05% im Boden
 - Aufnahme durch Pflanzen als Cl⁻
 - Cl⁻-Bedarf: ca. 4-10 kg/ha
- **Verfügbare Form im Boden:**
 - Cl⁻ in Bodenlösung
 - lösliche Salze: NaCl, CaCl₂, MgCl₂, etc.
 - Hohe Mobilität – ähnlich NO₃⁻
- **Handhabung**
 - Selten im Mangel
 - Krankheitsresistenz
 - Quellen
 - KCl
 - Chloridsalze
 - Geringe Mengen im org. Dünger
- **Aride Gegenden:**
 - Bewässerungswasser kann hohe Mengen Cl⁻ enthalten



Cl-Mangel in Weizen

Selbsttest: Ordnen Sie bitte..

- folgende Schadsymptome den entsprechenden Nährstoff-Mängeln zu:
 - Mehrfach-Nennung ist möglich.

Nährstoff- Mangel:

Schadbild:	N	P	K	Mg	Fe	Mn	Cu	B
a) Perlschnurartig angereicherte Chlorosen (Interkostalfelder)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Verstärkte Anthocyanfärbung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Dörrflecken an Getreideblättern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f) Vertrocknung der Blattränder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g) Deformiert wachsende Meristeme, Herz- und Trockenfäule	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h) Chlorosen nur an <i>jungen</i> Blättern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i) Weißährigkeit in Getreiden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>