

Studiengang Agrartechnik

Modul Bodenkultur und Düngung

WS 2024/2025

Kapitel 12:

Spurenelementdüngung



Gliederung des Moduls (Vorlesung)

5. Bodenchemie

6 . Bodenschutz

- Bodenerosion
- Bodenverdichtung

7. Bodenschätzung

Teil Düngung

8. Wasser- und Nährstoffaufnahme

9. Stickstoffdüngung

10. Phosphor- und Kaliumdüngung

11. Schwefel-, Magnesium-, Kalzium-Düngung

12. Spurennährstoffdüngung

13. Organische Düngung

Nährelemente

Massennährstoffe (Makronährstoffe) (%- Bereich)									
Bezeichnung	Substantielle Elemente						vorwiegend Hydroregulatoren		
NE	C	O	H	N	S	P	K	Ca	Mg
NS	CO ₂	O ₂	H ₂ O	NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻ HPO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺ +	Mg ²⁺

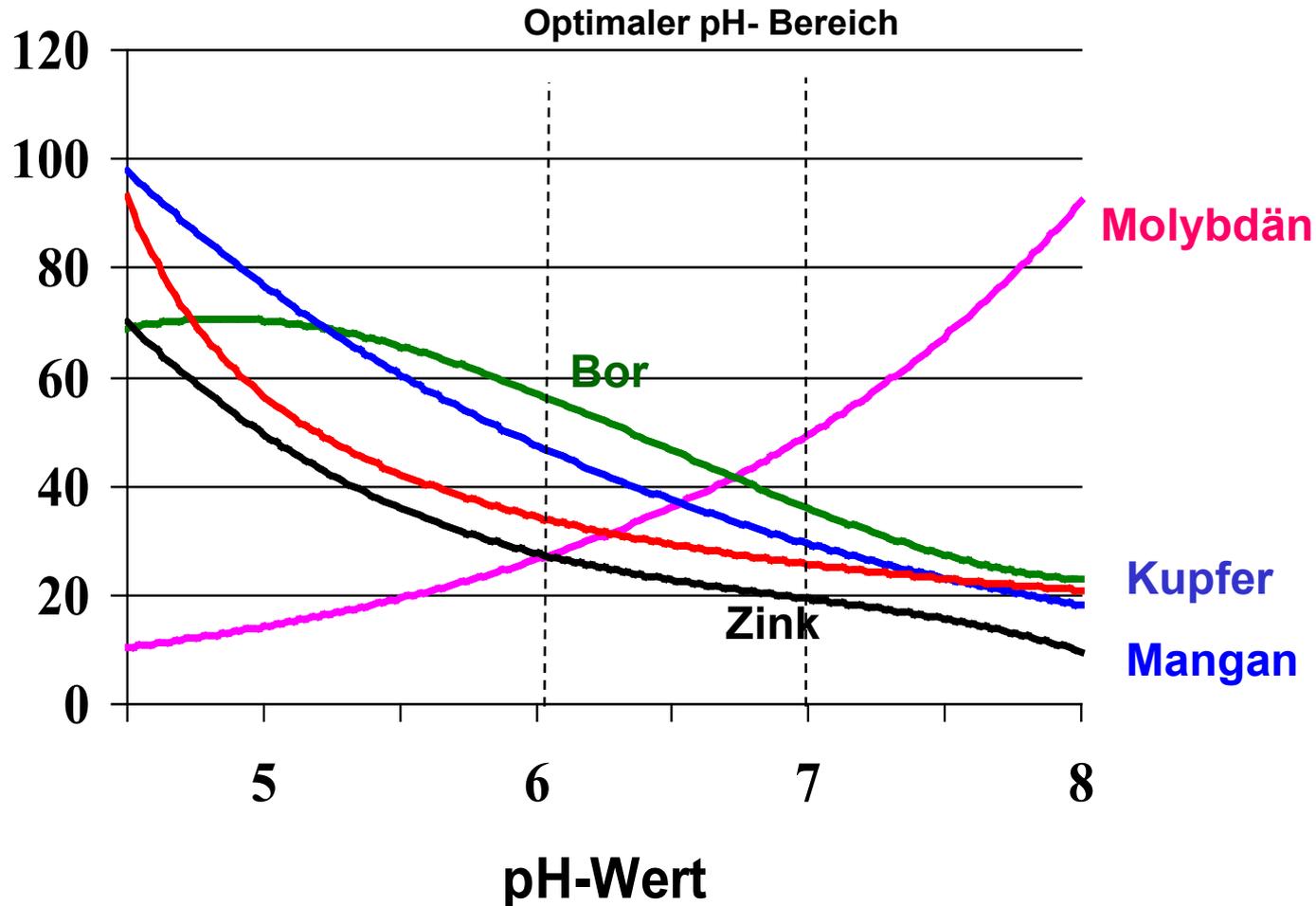
Spurenelemente (Mikronährstoffe) ppm-Bereich							
Bezeichnung	vorwiegend Biokatalysatoren						
NE	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo	Cl
NS	Fe ²⁺ Fe ³⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	H ₂ BO ₃ ⁻	MoO ₄ ²⁻	Cl ⁻

Charakter nicht eindeutig: Ni

Ursachen für steigenden Spurennährstoffmangel

- Höhere Erträge > höhere Entzüge
- geringes Aneignungsvermögen bei Hochleistungssorten
- verringerte Zufuhr
 - Anwendung von Dünger ohne Nebenbestandteile
 - neue PS- Mittel > ohne Cu, ohne Mn
 - Weniger Rückfluß v. Spurenelementen aus der Tierhaltung
- Kulturmaßnahmen
 - Kalkung
 - Bodenverdichtung
 - Entwässerung

Spurennährstoffe: Pflanzenverfügbarkeit im Boden



Kupfer (Cu)

Mangel:

- ✍ häufig bei Sand-Moorkulturen
- ✍ Mangelstandorte: frisch kultivierte Moore
(„Urbarmachungskrankheit“ oder „Heidemoorkrankheit“
bei Hafer)
- ✍ Cu-Löslichkeit geht mit zunehmendem pH stark zurück

Düngung:

- ✍ Boden: Cu-Sulfat als Beimischung bei
Mehrnährstoffdüngern
- ✍ Blatt: Cu-Sulfat oder Cu-Chelate



Tabelle 33: Richtwerte für Kupfergehalte (mg/kg Boden) in Ackerböden (CAT-Methode) und Düngeempfehlung in kg Cu/ha (Bodendüngung)

Gehaltsstufe	leichte Böden und stark humose Böden (S - I'S)	mittlere und schwere Böden (IS - T)	empfohlene Düngegaben kg Cu/ha
A	< 0,8	< 1,2	5 - 10
C	0,8 - 2,0	1,2 - 4,0	1 - 3
E	> 2,0	> 4,0	0



Eisen (Fe)

Mangel:

- ✍ absoluter M. selten unter Freilandbedingungen (nur bei organischen Böden)
- ✍ physiologischer M. auf alkalischen carbonathaltigen Böden
- ✍ Obst, Wein, Mais und Soja neigen am ersten zu Mangelsymptomen

Düngung:

- ✍ Blattdüngung mit Fe-Chelaten (metallorganischer Komplex, der das Metall vor einer Festlegung im Boden schützt und von der Pflanze durch die Blätter aufgenommen werden kann)

Mangan (Mn)

Mangel:

- ✍ Kalkböden mit schlechter Dränung und hohem OS-Gehalt
- ✍ Sandige und saure Mineralböden
- ✍ leichte sandige Böden mit $\text{pH} > 6,5$

Düngung:

- ✍ Boden: Mn-SO_4 in Mehrnährstoffdüngern bei nicht zu hohem pH ; Besonders bei tiefwurzelnden Kulturen ist Mn bei oberflächiger Anwendung kaum in den Wurzelraum zu bekommen
- ✍ Blatt: MnSO_4 , Mn-Chelate, MnO

Mangan (Mn)

Tabelle 34: Richtwerte für Mangangehalte (mg/kg Boden) in Ackerböden (CAT-Methode)

Gehalts- stufe	leichte Böden (S - I'S) pH-Wert					mittlere und schwere Böden (IS - T)
	< 5,0	5,0 - 5,5	5,6 - 6,0	6,1 - 6,5	> 6,5	ohne pH-Begrenzung
A	< 3	< 6	< 10	< 25	< 30	< 30
C	3 - 8	6 - 15	10 - 30	25 - 50	30 - 60	30 - 60
E	> 8	> 15	> 30	> 50	> 60	> 60

Zink (Zn)

Mangel:

- ✍ schwere Böden i.d.R. reich an Zink; leichte Böden arm
- ✍ Verfügbarkeit geht bei steigendem pH zurück

Düngung:

- ✍ Boden: Beimischung von Zn-Sulfat als Nebenbestandteil von Mehrnährstoffdüngern (auch Kalken)
- ✍ Blatt: ZnSO₄, Zn-Chelate

Zink (Zn)

Tabelle 35: Richtwerte für Zinkgehalte (mg/kg Boden) in Ackerböden (CAT-Methode) und Düngempfehlung in kg Zn/ha

Gehaltsstufe	mg Zn/kg (alle Bodenarten)	Bodendüngung kg Zn/ha für 3 - 4 Jahre	Blattdüngung kg Zn/ha
A	< 1,1	7 - 10 ¹⁾	0,3
C	1,1 - 3,0	5 - 7	0,3
E	> 3,0	0	0

1) Die geringere Menge für leichte Böden, die höhere Menge für mittlere und schwere Böden

Molybdän (Mo)

Mangel:

- ✍ meiste Böden enthalten genügend Mo in verfügbarer Form
- ✍ schlechte Verfügbarkeit auf sauren Böden (Unterschied zu anderen Spurenelementen!)
- ✍ hoher Bedarf: Gemüse, Salat, Leguminosen; gering: Gräser

Düngung:

- ✍ Aufkalkung des Bodens behebt meist den Mangel
- ✍ Blattdüngung, Saatgutumhüllung und Bodendüngung als Na- oder NH_4 -Molybdat in Mischung mit anderen Düngern um eine gleichmäßige Verbreitung der geringen Mengen zu gewährleisten
- ✍ Aufwandmengen zwischen 50 und 2000g/ha Mo
- ✍ Bei Futterpflanzen kann Mo-Übersorgung zu Toxizität (Molybdänose bei Wiederkäuern)

Bor (B)

Mangel:

- ✍ pH-Wert entscheidend für die Mobilität (max. Absorption zwischen 7 und 8)
- ✍ Trockenheit fördert Mangel (ZR)
- ✍ B ist stark auswaschungsgefährdet (v.a. in sauren, sorptionsschwachen Sanden)
- ✍ besonders B-bedürftige Kulturen: ZR (Herz- und Trockenfäule), Leguminosen, Kohl, Gemüse

Düngung:

- ✍ Boden: B-haltige Dünger (z.B. ASS + Bor)
- ✍ Blatt: Bor- oder Borsäurehaltige Präparate (z.B. Bittersalz microtop)
- ✍ Optimum und Toxizität liegen rel. eng beieinander; Konzentrationen die bei ZR optimal sind können bei **Gräsern/Getreide schon toxisch sein!**

Bor (B)

Tabelle 31: Richtwerte für Borgehalte (mg/kg Boden) in Mineralböden auf Ackerland (CAT-Methode)

Gehaltsstufe	Bodenart			
	S	PS	IS	sL - T
pH-Wert \leq 6,0 ^{*)}				
A	< 0,10	< 0,12	< 0,15	< 0,20
C	0,10 bis 0,30	0,12 bis 0,40	0,15 bis 0,50	0,20 bis 0,60
E	> 0,30	> 0,40	> 0,50	> 0,60
pH-Wert > 6,0				
A	< 0,15	< 0,20	< 0,25	< 0,35
C	0,15 bis 0,40	0,20 bis 0,60	0,25 bis 0,80	0,35 bis 1,0
E	> 0,40	> 0,60	> 0,80	> 1,0

*) Die CAT-Methode ist für die Untersuchung von Böden mit einem pH-Wert < 5 auf den Borgehalt nicht geeignet. Es wird daher auf diesen Böden empfohlen, erst ein Jahr nach erfolgter Ausbringung des Düngers die CAT-Methode anzuwenden.

Empfohlene Bohrdüngung

Tabelle 32: Empfohlene Bordüngung in Abhängigkeit vom Borgehalt des Bodens (Bodendüngung)

Gehaltsstufe	empfohlene Bordüngemenge (kg B/ha) für			
	leichte Böden		mittlere und schwere Böden	
	Mais, Raps, Kohl	Rüben, Luzerne	Mais, Raps, Kohl	Rüben, Luzerne
A	0,4 - 0,8	1,0 - 1,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,5
C	0,5	0,5	0,5 - 1,0	0,5 - 1,0
E	0	0	0	0

Bormangel bei Zuckerrüben



- ⇒ Bildung von Rissen an den Blattstielen
- ⇒ Braun- und Schwarzwerden der Herzblätter
- ⇒ Vergilben der älteren Blätter
- ⇒ Absterben der jüngeren Blätter
- ⇒ Neuaustrieb an verschiedenen Stellen der Rübe
- ⇒ Faulen des Rübenkopfes

Herz- und Trockenfäule

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.

Die Mikronährelemente

Spurenelement	Symbol	Chem. Zuordnung	Aufnahme als Nährstoff
Eisen	Fe	Schwermetall	Kation Fe^{2+} (Fe^{3+})
Mangan	Mn	Schwermetall	Kation Mn^{2+}
Zink	Zn	Schwermetall	Kation Zn^{2+}
Kupfer	Cu	Schwermetall	Kation Cu^{2+}
Molybdän	Mo	Schwermetall	Anion MoO_4^{2-}
Chlor	Cl	Halogen	Anion Cl^-
Bor	B	Halbmetall	Anion H_2BO_3^- HBO_3^{2-}

} oder Metallchelate

	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Nährstoffentzug [kg/ha und Jahr]						
Weizen						
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
Zuckerrübe						
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
Gesamte Nährstoffmenge [kg/ha in 20 cm Krumentiefe]						
	20.000 - 120.000	300 - 1.500	20 - 200	10 - 100	3 - 100	1 - 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 Rübenertrag pro ha) sowie Größenordnungen der Gesamtmengen in 0-20 cm Bodentiefe (Zusammenstellung nach verschiedenen Quellen).

Kulturspezifische Blattdünger für den Ackerbau

Nährstoff	YaraVita® Getreide (g/l)	YaraVita® Raps FL (g/l)	YaraVita® Kartoffel (g/l)	YaraVita® Mais (g/l)	YaraVita® KombiPhos (g/l)
N	61	69	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	440	440	440
K ₂ O	—	—	75	75	75
MgO	250	133	67	67	67
CaO	—	103	—	—	—
B	—	50	—	—	—
Cu	50	—	—	—	—
Mn	150	70	10	—	10
Zn	80	—	5	46	5
Mo	—	4	—	—	—

Formulierung	Suspension, inkl. Formulierungshilfsstoffen	Suspension, inkl. Formulierungshilfsstoffen	Lösung, inkl. Formulierungshilfsstoffen	Lösung, inkl. Formulierungshilfsstoffen	Lösung, inkl. Formulierungshilfsstoffen
--------------	---	---	---	---	---

Übersicht Spurennährstoff-Chelatdünger (Yara)

Produktname	Nährstoff	Ca	B	Co	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	MgO	Chelator	Chelatstabilität pH-Bereich	Bemerkungen
Rexolin Ca 10	Calciumchelät 10	9,70%									EDTA	5 - 10	
Rexolin D 12	Eisenchelät 12					11,60%					DTPA	1,5 - 7,5	
Rexolin D 7	Eisenchelät 7					6,90%					DTPA	1,5 - 7,5	
Rexolin E 13	Eisenchelät 13					13,30%					EDTA	1,5 - 6,5	
Rexolin H 13	Eisenchelät 13					12,80%					HEDTA	1,5 - 7,0	
Rexolin H 9	Eisenchelät 9					9%					HEDTA	1,5 - 7,0	
Rexolin M35	Eisenchelät 6					6,50%					EDDH(M)A	3,5 - 9,5	3,5% ortho-ortho
Rexolin M48	Eisenchelät 6					6,50%					EDDH(M)A	3,5 - 12	4,8% ortho-ortho
Rexolin Q40	Eisenchelät 6					6,00%					EDDHA	3,5 - 10	4,0% ortho-ortho
Rexolin Q15	Eisenchelät 7					7,00%					EDDHA	3,5 - 7,5	
Rexolin ABC	Spurennährstoffmischdünger		0,50%	0,03%	1,50%	4,00%	4,00%	0,10%	1,50%	9,00%	EDTA	3,5 - 6,5	
Rexolin Cu 15	Kupferchelät 15				14,80%						EDTA	1,5 - 10	
Rexolin Mg6	Magnesiumchelät 6									6,20%	EDTA	6,0 - 10	
Rexolin Mn13	Manganchelät 13						12,80%				EDTA	3,0 - 10	
Rexolin Zn15	Zinkchelät 15								14,80%		EDTA	2,0 - 10	

Spurenelementdüngung wird nur empfohlen...

- ...bei sehr hohem Ertragsniveau
- ...wenn die Pflanze mit Massennährelementen optimal versorgt ist
- ...zur Erhöhung der Streßtoleranz der Pflanzen