

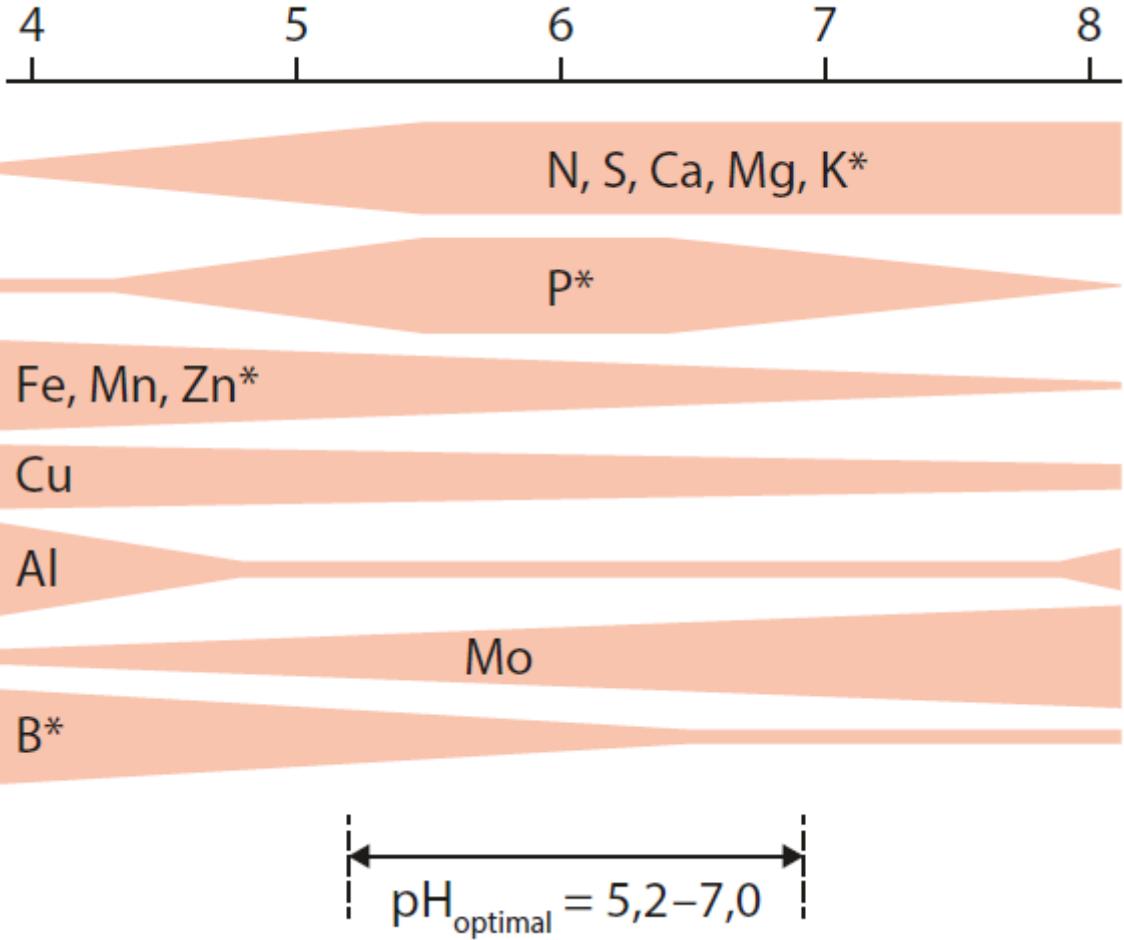
# Bodenkultur und Düngung – Mikronährstoffe

AT3 - Wintersemester 2025/26

Prof. Dr. Carl-Philipp Federolf

10.12.2025

## pH-Wert



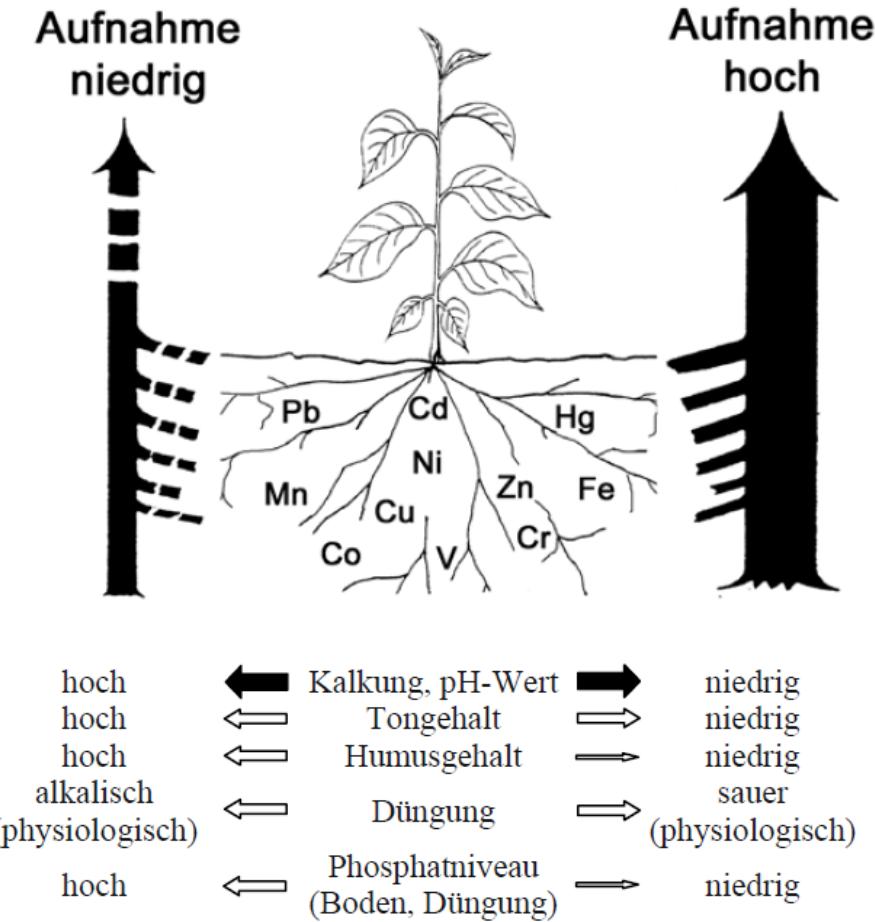
Kostenloses eBook in der Bib – herunterladen und archivieren ☺

Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., & Wilke, B.-M. (2018). Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Berlin Heidelberg.

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3>

# Warum sind Mikronährstoffe zunehmend relevant?

- Höhere Erträge → höhere Entzüge
- Hochleistungssorten haben i.d.R. schwaches Wurzelwachstum und schlechtes Nährstoffaneignungsvermögen
- Reduzierte Zufuhr:
  - aus Tierhaltung durch Spezialisierung
  - kaum Anwendung von „Nebenprodukten mit Nebenbestandteilen“ als Dünger
- Bodenverdichtungen, Kalkung und Drainage



Übersicht 2: Beeinflussung der Schwermetallaufnahme der Pflanzen durch verschiedene Bodenfaktoren und Düngung.

Tabelle 1: Mikronährstoffbedürftigkeit der Kulturen

Getreide und Mais	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Winter- und Sommerweizen	0	2	2	0	0
Winter- und Sommerroggen	0	1	1	0	0
Winter- und Sommergerste, Getreidegemenge	0	2	2	0	0
Hafer	0	2	2	1	0
Körnermais, Silomais, Grünmais	1	1	1	0	2
Erbse, Trockenspeisebohne, Wicke	0	0	2	1	0
Ackerbohne	1	1	0	1	1
Lupine	2	0	0	1	0
Öl- und Faserpflanzen					
Raps, Rübsen	2	0	1	1	0
Senf	1	0	0	1	0
Mohn	2	0	0	0	0
Lein	1	2	0	0	2
Sonnenblume	2	2	1	0	0
Hanf	1	0	0	1	0
Hackfrüchte					
Kartoffel	1	0	1	0	1
Rübe (auch Stecklinge und Vermehrung)	2	1	2	1	1
Stoppel-, Kohlrübe	2	0	1	1	0
Futtermöhre	1	2	1	0	0
Futterpflanzen					
Rotklee, Rotkleegras	1	1	1	2	1
Luzernegras, Futtergräser, Wiese, Weide	0	1	1	0	0
Luzerne	2	2	1	2	1
Futter-, Markstammkohl	2	0	1	2	0

0 = Kultur mit niedrigem Bedarf

1 = Kultur mit mittlerem Bedarf

2 = Kultur mit hohem Bedarf

# Kupfer (Cu)

## Funktionen in der Pflanze:

- enzymatische Wirksamkeit bei Oxidationsvorgängen
- 70% des gesamten Cu in den jungen, stoffwechselaktiven Pflanzenorganen
- schlechte Verlagerung in der Pflanze → Symptome eher an jüngeren Blättern
- Bestandteil von Enzymen im Ligninstoffwechsel → Zellwandstabilität → Standfestigkeit
- wichtig für die Bildung von Phytoalexin → Resistenz gegenüber pathogenen Pilzen

# Kupfer (Cu)

## Mangel - Standorte:

- häufig bei sehr hohen Humusgehalten, da Cu von Humusstoffen komplex gebunden wird
- Cu-Löslichkeit geht mit zunehmendem pH stark zurück
- Mangelstandorte: frisch kultivierte Moore  
("Urbarmachungskrankheit" oder „Heidemoorkrankheit“ bei Hafer)

# Kupfer (Cu)

## Mangelsymptome:

- reduzierte Stärke- und Kohlenhydratgehalte
- unter Cu-Mangel ist das generative Wachstum bzw. die generative Entwicklungsphase der Pflanzen und damit deren Samenproduktion stärker gefährdet als die vegetative Wachstumsphase
- Cu-Mangelsymptome machen sich zuerst an den jüngeren, stoffwechselaktiven Blättern und Organen bemerkbar



# Kupfer (Cu)

- Dünung:
  - Boden: Cu-Sulfat als Beimischung bei Mehrnährstoffdüngern
  - Blatt: Cu-Sulfat oder Cu-Chelate
- wesentlicher als der Cu-Gehalt ist im Getreide der Cu:N-Quotient (ppm Cu / % N). Sollte >1 sein

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

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

# Eisen (Fe)

## Funktionen in der Pflanze:

- 80% des Fe findet sich in Chloroplasten → Chlorophyllaufbau
- Bestandteil des Ferrodoxins, ein Redoxsystem, das u.a. beim Elektronentransport der Photosynthese eine Rolle spielt
- essentielle Rolle bei der Nucleinsäuresynthese und bei der Proteinsynthese
- in Mitochondrien zur Gewinnung von Atmungsenergie

→ wesentlich in vegetativen Pflanzenteilen!

# Eisen (Fe)

- Mangel - Standorte:
  - absoluter M. selten unter Freilandbedingungen (nur bei organischen Böden)
  - Hauptursachen für das Auftreten von Fe-Mangel sind eine Sauerstoffverknappung in der Wurzelzone, Bikarbonatanreicherungen in der Rhizosphäre (Kalkchlorose) und häufig ein zu hohes P/Fe- oder Cu/Fe-Verhältnis in den Blättern;

# Eisen (Fe)

- Mangel - Symptome:
  - Mangel bedeutet immer ein Defizit an Chlorophyll, Eiweiß und Energie
  - Chlorophyllverlust an jungen Blättern „Gelblaubigkeit“
  - Blattadernetz bleibt grün
  - Obst, Wein, Mais und Soja neigen eher zu Mangelsymptomen



# Eisen (Fe)

- 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)
  - Bodendüngung mit Eisen-Sulfat

# Mangan (Mn)

- Mangel:
  - Kalkböden mit schlechter Dränung und hohem OS- Gehalt
  - Sandige und saure Mineralböden
  - leichte sandige Böden mit pH > 6,5
  - lockerer Boden, hohe Boden-K- und Mg-Gehalte sowie anhaltende Trockenheit fördern das Auftreten von Mn-Mangel
- Düngung:
  - Boden: Mn-SO<sub>4</sub> in Mehrnährstoffdüngern bei nicht zu hohem pH; Besonders bei tiefwurzelnden Kulturen ist Mn bei oberflächiger Anwendung kaum in den Wurzelraum zu bekommen
  - Blatt: MnSO<sub>4</sub>, Mn-Chelate, MnO

# Mangan (Mn)

Funktionen in der Pflanze:

- Nitrat- und Nitritreduktion
- Wasserspaltung innerhalb der Photosynthese
- Eiweißsynthese, Kohlenhydratsynthese
  
- Entgiftung toxischer Stoffwechselzwischenprodukte
- bei hoher Lichtintensität „Dörrfleckenkrankheit“



# Dörrfleckenkrankheit



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

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

# Zink (Zn)

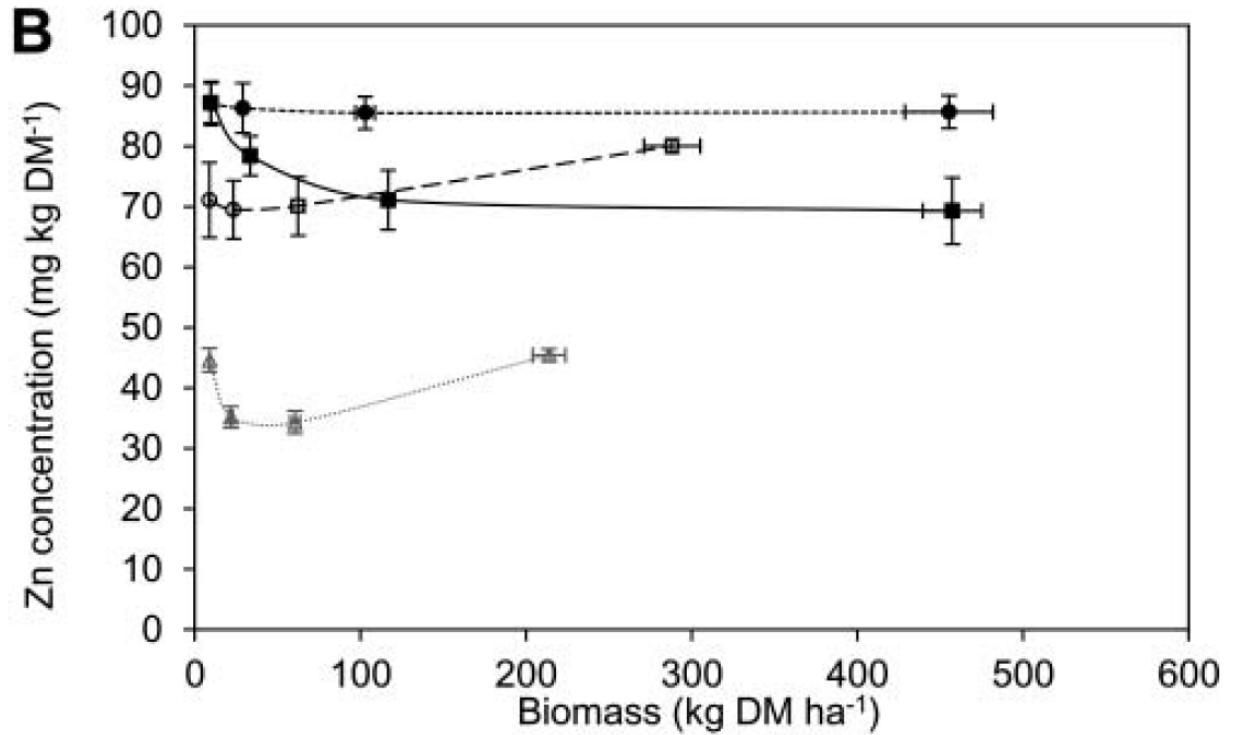
Funktion in der Pflanze:

- Enzymbestandteil und Enzymaktivierung
  - z.B. Kohlensäureanhydrase in der Photosynthese, Eiweißsynthese
- vermeidet unerwünschte Anreicherung von Stoffwechselzwischenprodukten → Stressreduktion
- Wuchsstoffsynthese

# Zink (Zn)

- Mangel - Standort:
  - schwere Böden i.d.R. reich an Zink; leichte Böden arm
  - Verfügbarkeit geht bei steigendem pH zurück – meist Zn und Fe Mangel in Kombination
  - Verdrängung durch P → Mais DAP als UFD
- Symptome:
  - Gelbfärbung, Chlorosen bis zur Weißfärbung an jüngeren Pflanzenteilen
  - gerne zu verwechseln mit Mn und Fe Mangel

# Physiologisch versauernde Dünger (Gülle + NI) steigern die Verfügbarkeit von Zn (auch Mn und P)







# Zink (Zn)

- Dünung:
  - Boden: Beimischung von Zn-Sulfat als Nebenbestandteil von Mehrnährstoffdüngern (auch Kalken), 5 – 10 kg / ha  
Vorratsdüngung NUR nach Empfehlung
  - Blatt:  $\text{ZnSO}_4$ , Zn-Chelate, 0,4 kg / ha

Tabelle 35: Richtwerte für Zinkgehalte (mg/kg Boden) in Ackerböden (CAT-Methode) und Düngeempfehlung 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 <sup>1)</sup>	0,3
C	<b>1,1 - 3,0</b>	<b>5 - 7</b>	<b>0,3</b>
E	> 3,0	0	0

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

# Molybdän (Mo)

- Mangel:
  - Böden enthalten meist genügend Mo in verfügbarer Form
  - schlechte Verfügbarkeit auf sauren Böden, bei Trockenheit verstärkt
  - hoher Bedarf: Gemüse, Salat, Leguminosen <> Knöllchenbakterien
- Düngung:
  - Aufkalkung des Bodens behebt meist den Mangel
  - Blattdüngung, Saatgutumhüllung und Bodendüngung als Na- oder NH<sub>4</sub>-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)

# Molybdän (Mo)

Funktion in der Pflanze:

- bekannt aus der Nitrogenase (Knöllchenbakterien)
- Nitratreduktase

# Molybdän (Mo)

Mangel Symptome:

- Anreicherung von  $\text{NO}_3^-$ , aber N-Mangelsymptome
- Assimilatstau mit Anthozyanfärbung

Mangel Standorte:

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



# Bor (B)

Funktionen in der Pflanze:

- Zellteilung, Zelldifferenzierung, -streckung, Stabilisierung der Zellwände und Gewebebildung
- Nukleinsäurestoffwechsel, Eiweißsynthese, und im Energiestoffwechsel
- Einfluss auf eine verbesserte Frostresistenz
- Wasserhaushaltes und Stofftransportes
- die Blütenbildung sowie der Befruchtungsvorgang
- Resistenz gegenüber verschiedenen Krankheiten

# 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

## ■ Mangel-Symptome:

- jüngste Blätter und Vegetationspunkten von Spross und Wurzel
- Keine Umverteilung dieses Nährstoffes in der Pflanze

# Bor (B)

- 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 schon toxisch sein.

**Tabelle 6:** Effektivität der B-Düngung zu Zuckerrübe und Raps im Düngungsjahr

Kultur	Düngungsverfahren	Anzahl Versuche	Mehrertrag (dt/ha)
Zuckerrübe	Bodendüngung 1,5 kg B/ha	25	15
	Blattapplikation 0,4 kg B/ha	32	20
Raps	Bodendüngung 1,5 kg B/ha	27	2,2
	Blattapplikation 0,4 kg B/ha	30	2,0

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

Gehaltsstufe	Bodenart			
	S	rs	IS	sL - T
<b>pH-Wert <math>\leq 6,0</math> *)</b>				
A	< 0,10	< 0,12	< 0,15	< 0,20
C	<b>0,10 bis 0,30</b>	<b>0,12 bis 0,40</b>	<b>0,15 bis 0,50</b>	<b>0,20 bis 0,60</b>
E	> 0,30	> 0,40	> 0,50	> 0,60
<b>pH-Wert <math>&gt; 6,0</math></b>				
A	< 0,15	< 0,20	< 0,25	< 0,35
C	<b>0,15 bis 0,40</b>	<b>0,20 bis 0,60</b>	<b>0,25 bis 0,80</b>	<b>0,35 bis 1,0</b>
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 Anflutung die Böden zu untersuchen. Die CAT-Methode kann für Böden mit einem pH-Wert  $> 7$  ebenfalls nicht eingesetzt werden.

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

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



# **Vielen Dank für die Aufmerksamkeit**