



Bodenkultur und Düngung – Grundlagen Düngung

AT3 – Wintersemester 2025/26

Prof. Dr. Carl-Philipp Federolf

15.10.2025

Essentielle Pflanzennährstoffe

- Kernelemente der organischen Substanz:
 - C, O, H, N und P
- Des weiteren:
 - K, S, Ca, Mg, Mo, Cu, Zn, Fe, B, Mn, Cl, (Co, Ni)
- Auch gruppiert als natürliche, makro-, meso-, und mikro- Nährstoffe
- **Ein Nährelement muss vier wichtige Eigenschaften aufweisen:**
 - normales Wachstum ohne dieses Element unmöglich
 - Mangel verschwindet bei Zugabe dieses NE
 - Das NE darf durch kein anderes ersetzbar sein
 - Einfluss auf den Stoffwechsel muss direkt sein

Was sind Nährstoffe?

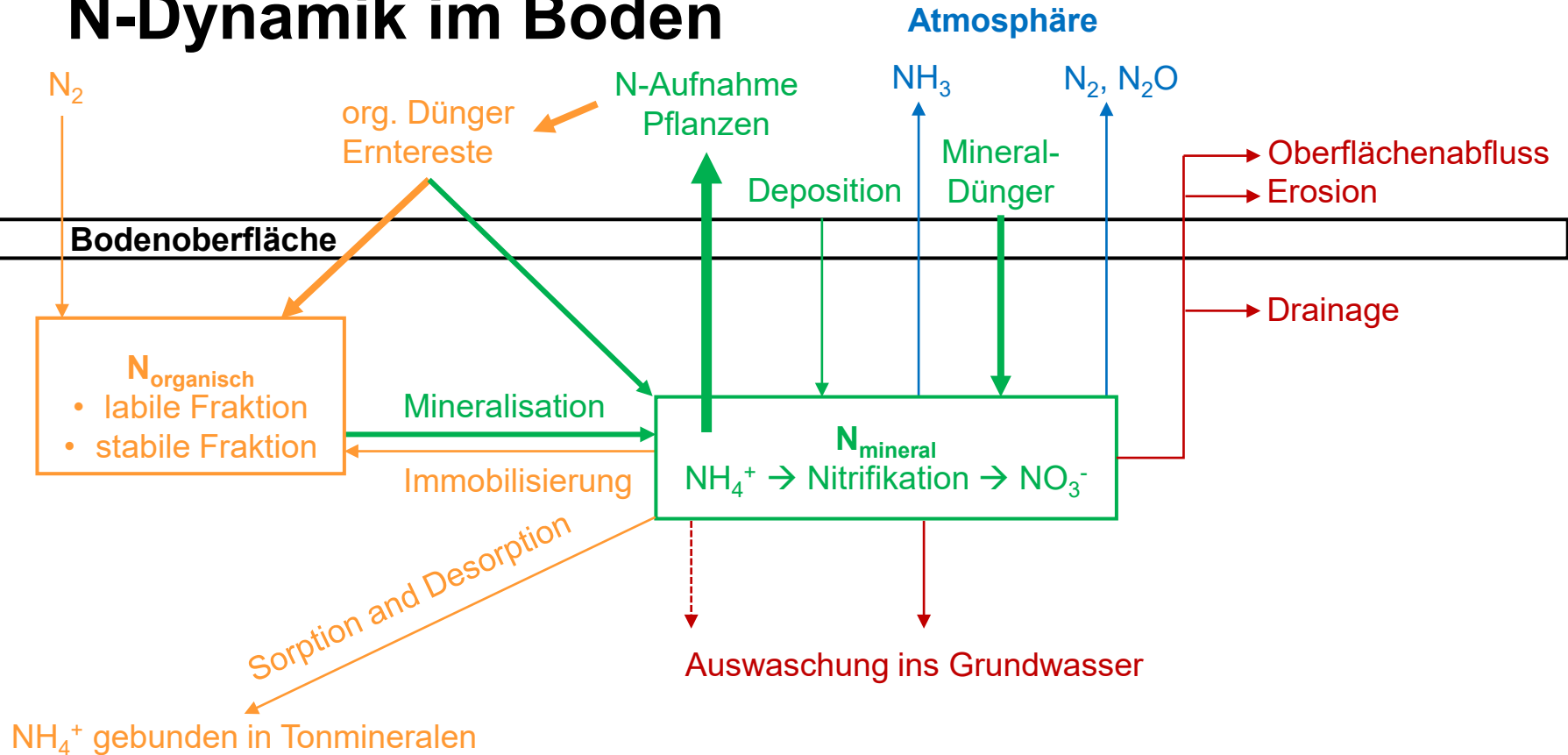
- Nährstoff(NS) nennt man die Aufnahmeform eines Elementes durch die Pflanzen
- Nutzelemente wirken günstig auf Wachstum und Entwicklung bestimmter Pflanzen ohne NE im eigentlichen Sinne zu sein
 - z.B. Na: für salzliebende Pflanzen (z.B. Rüben) positiv
 - z.B. Si: verbessert Phosphoraufnahme, Gewebefestigung
 - z.B. Co: wichtig für Luftstickstoffbindung durch Mikroben (für Mikroben essentiell)
- Problemelemente sind Spurenelemente, die schon bei niedrigen Konzentrationen Schäden an den Pflanzen auslösen (z.B. Hg, Cd, Pb)

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

N-Dynamik im Boden



Nitrogen cycle in the soil with major fractions, flows and turnover processes. Adapted from (Blume et al. 2010)

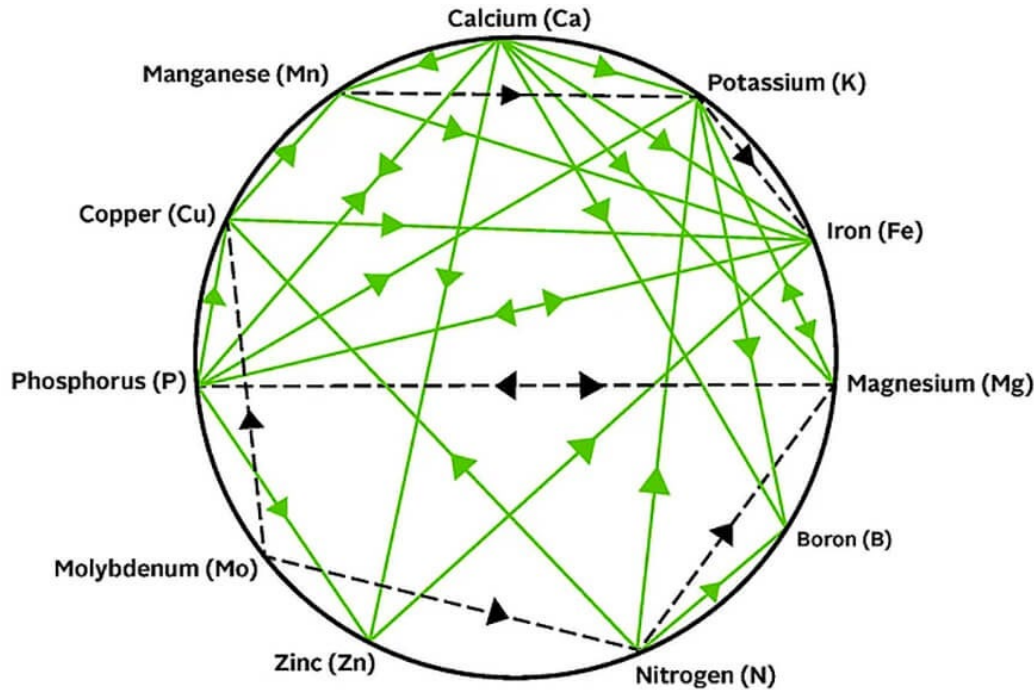
Der organische Stickstoff-Pool – wie groß ist der denn?

Kleine Rechenaufgabe!

- Beprobungstiefe im Acker 30 cm → 3000 m³ Boden pro ha
- Rohdichte 1,5 t / m³ → 4500 t Boden pro ha
- 1% organischer Kohlenstoff → 45 t Kohlenstoff pro ha
- Humus C/N: 15 → 3 t Stickstoff pro ha

Nährstoffinteraktionen – Mulders chart

oif



ANTAGONISM



Decreased availability of a nutrient to a plant due to the action of another nutrient

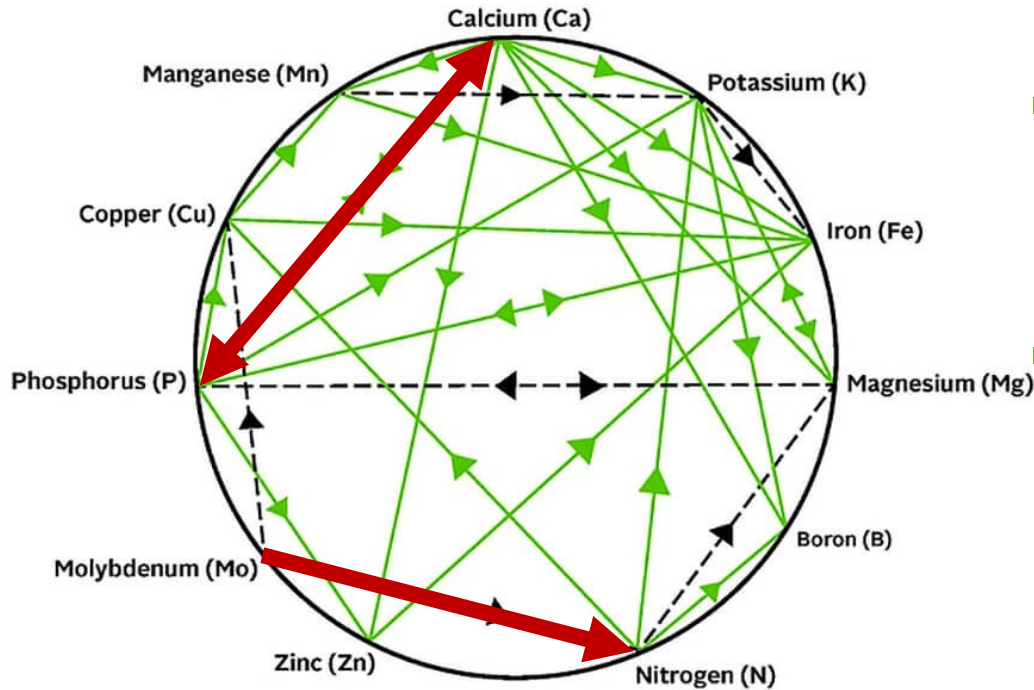
STIMULATION



High level of a nutrient increases the demand by the plant for another nutrient

Nährstoffinteraktionen – Mulders chart

olf



ANTAGONISM



Decreased availability of a nutrient to a plant due to the action of another nutrient

STIMULATION

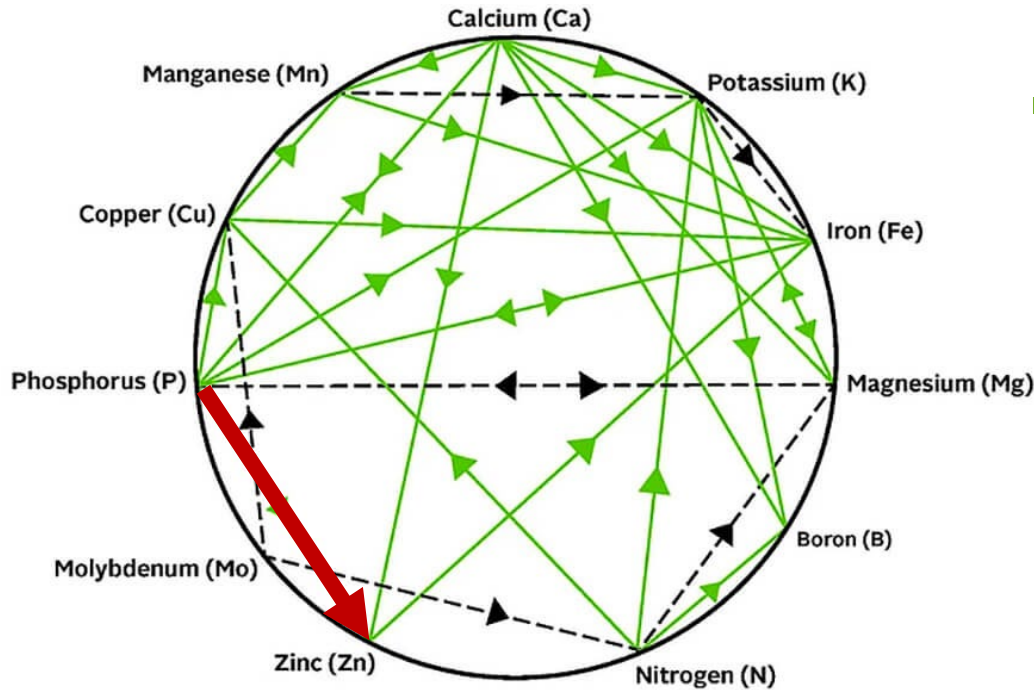


High level of a nutrient increases the demand by the plant for another nutrient

- Mangan aktiviert die Nitrat-Reduktase → steigert die N-Effizienz
- Ca und P gehen starke Bindung ein → schlechte Pflanzenverfügbarkeit

Nährstoffinteraktionen – Mulders chart

olf



ANTAGONISM



Decreased availability of a nutrient to a plant due to the action of another nutrient

STIMULATION



High level of a nutrient increases the demand by the plant for another nutrient

- P und Zn müssen über die selben Aufnahmekanäle. P kann Zn verdrängen – Beispiel Mais Unterfußdüngung mit DAP > 100 kg/ha

Düngebedarf

Methoden zur Bestimmung des Düngebedarfs

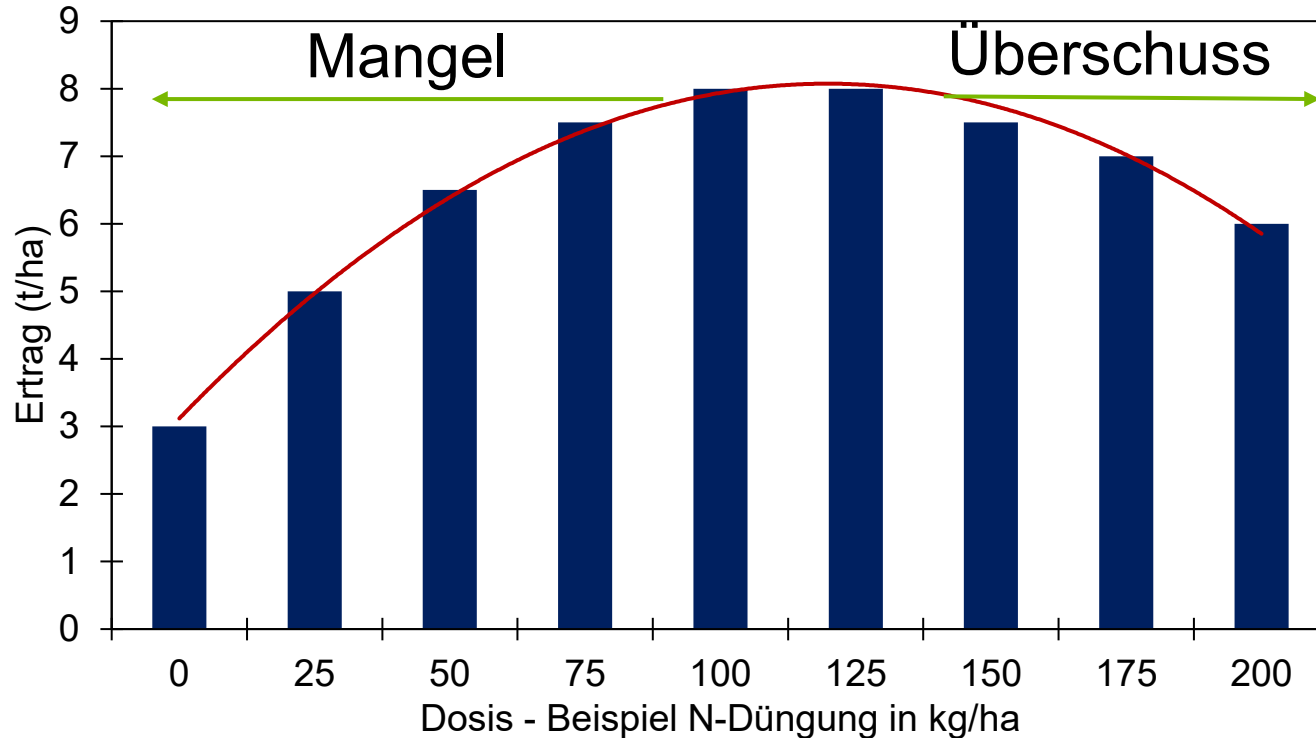
- Berechnungsverfahren
 - Faustzahlen/Bilanzen/Empfehlungen
 - Simulationsrechnungen
- Bodenuntersuchung
- Pflanzenanalyse

- Ziel: ausgewogenes Nährstoffverhältnis für optimales Wachstum

Wie entstehen Düngeempfehlungen?

- Mehrere Feldversuche
- Dosis-Wirkungskurven

Typische Ertragskurve basierend auf einem Dosis-Wirkungs-Versuch



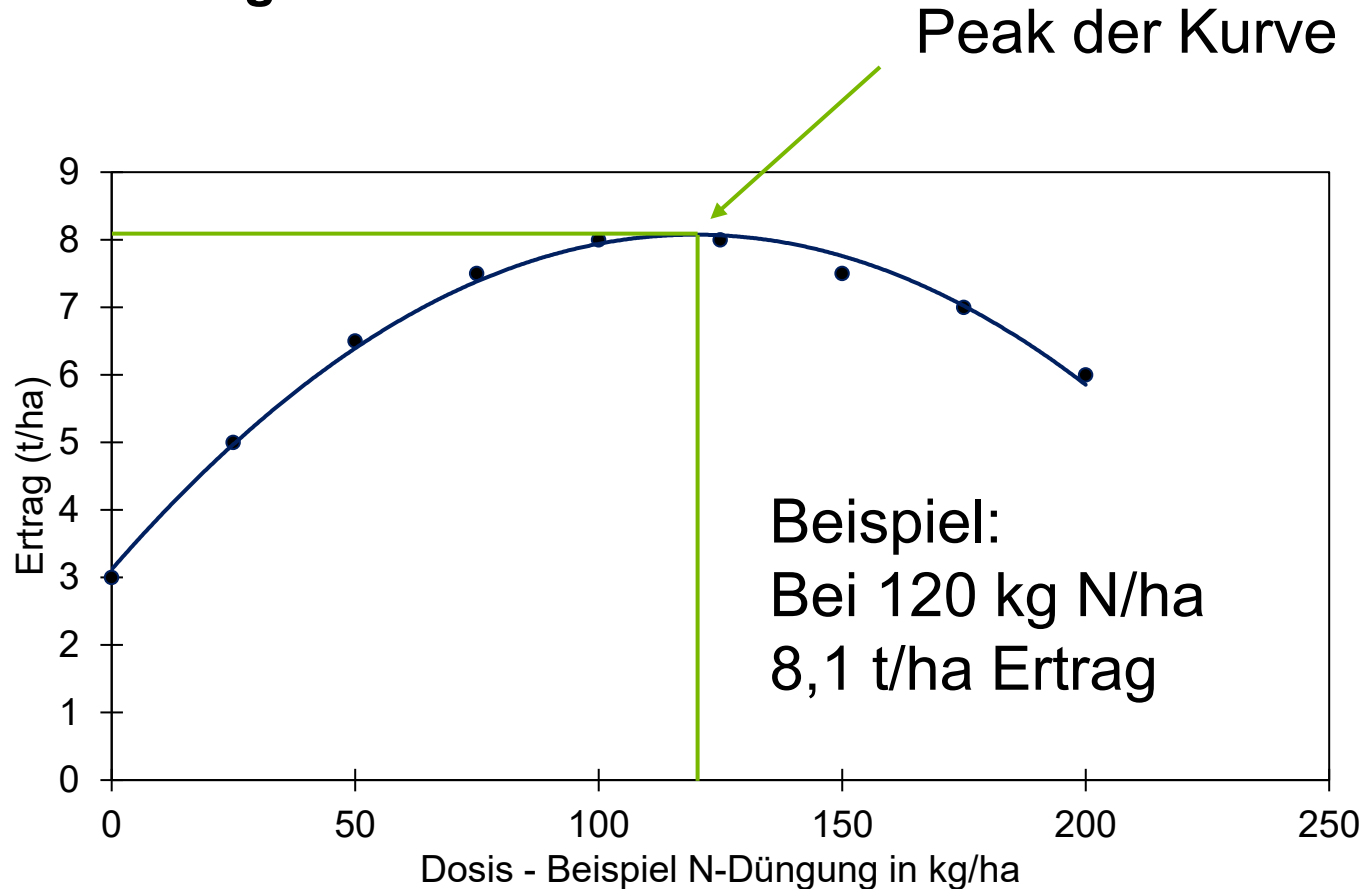
Wie entstehen Mängel?

- nährstoffarme Böden
- nährstofffixierende Böden
- witterungsbedingt (z.B. Mn-Mangel auf sandigen Böden in Trockenphasen)
- induzierter Mangel (Aufnahmeantagonismus)

Wie entstehen Düngeempfehlungen?

- Mehrere Feldversuche
- Dosis-Wirkungskurven
- Optimum-Bestimmung

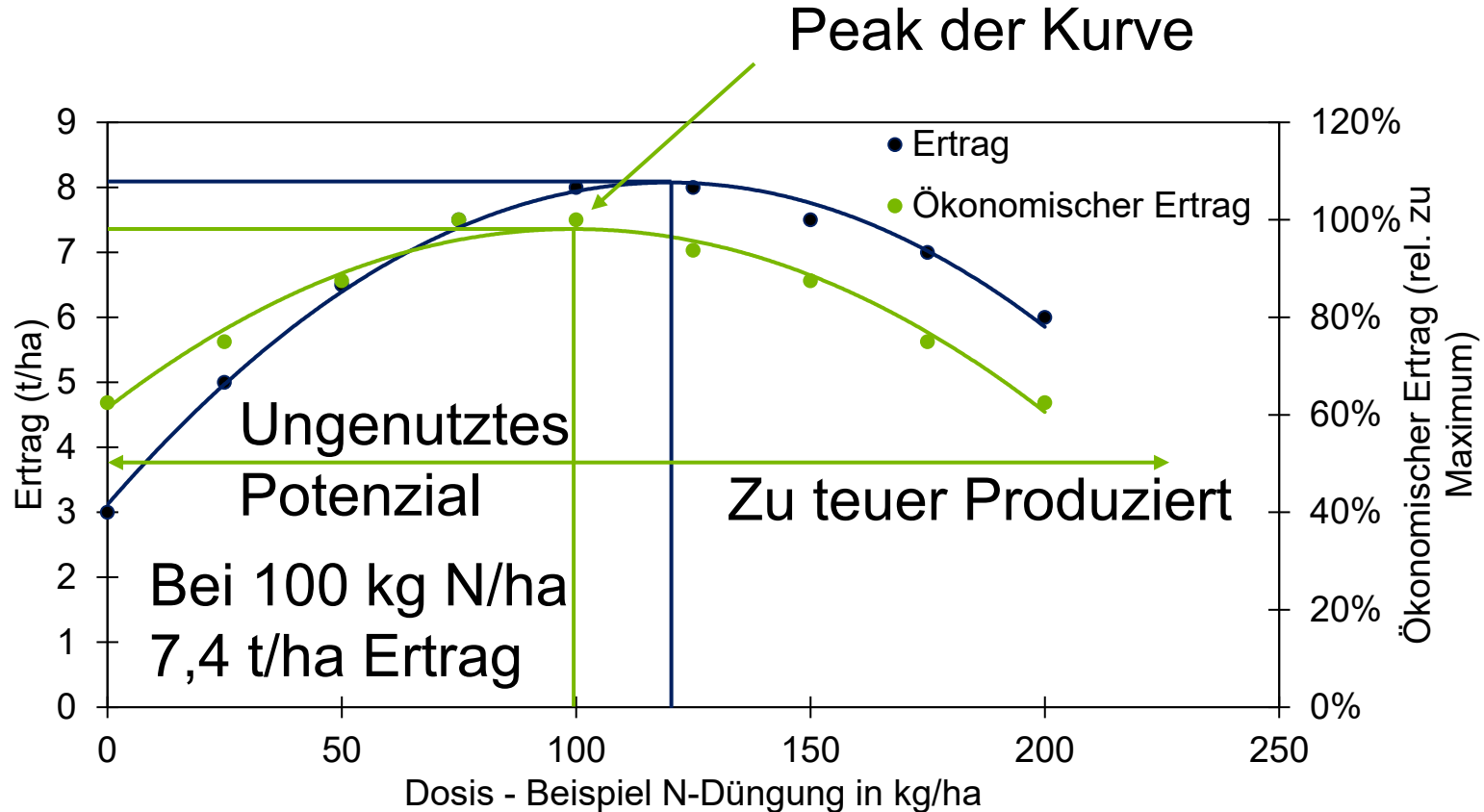
Typische Ertragskurve



Wie entstehen Düngeempfehlungen?

- Mehrere Feldversuche
- Dosis-Wirkungskurven
- Optimum-Bestimmung
- Ökonomische Berechnung
 - Bsp. Getreidepreis und Düngerpreis

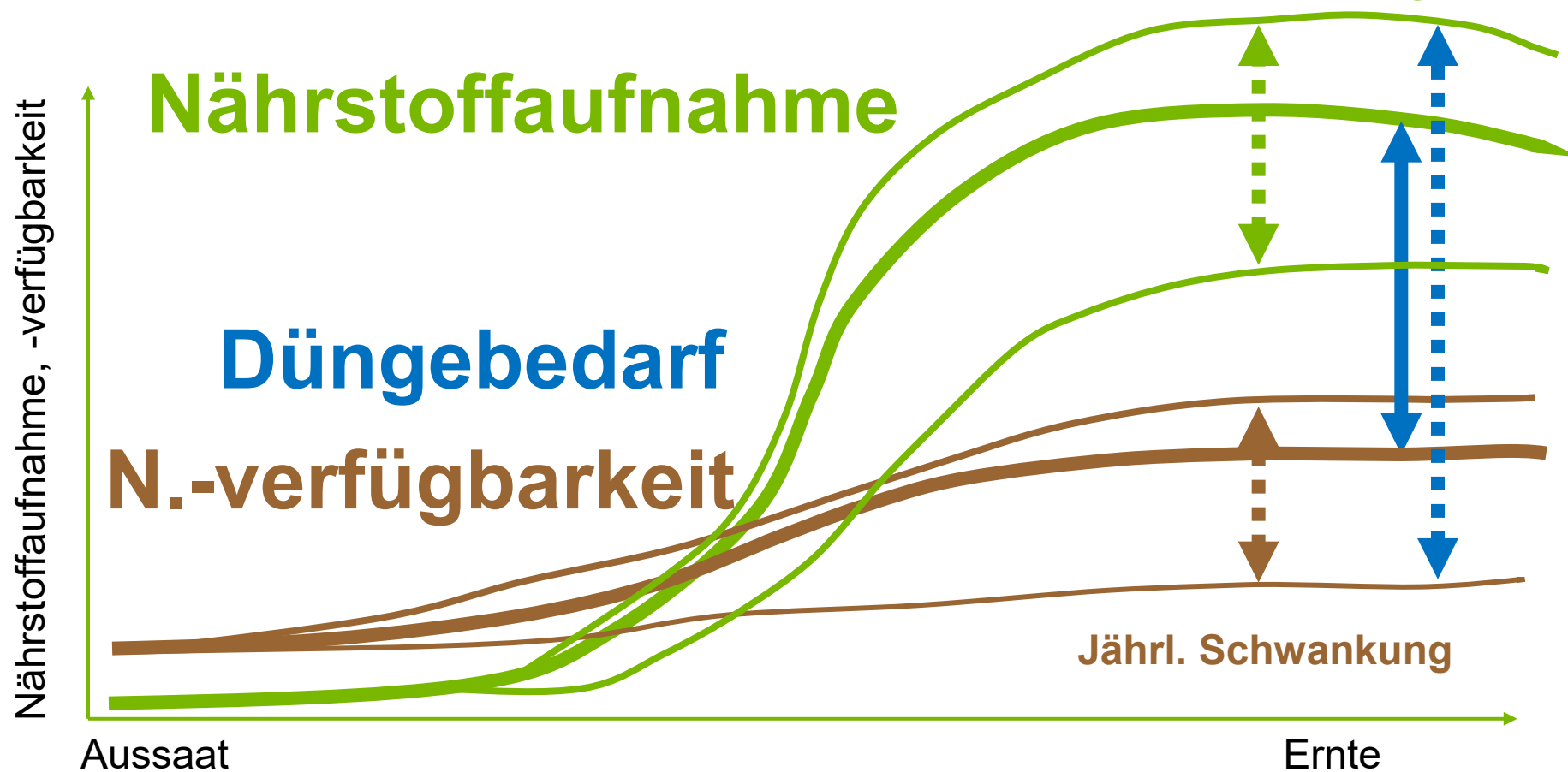
Typische Ertragskurve



Düngeempfehlung

- Man macht an vielen Standorten Versuche über mehrere Jahre und kommt so auf relativ solide Empfehlungen.
- **ABER: In der jeweiligen Saison, sind Wachstum (und damit Nährstoffbedarf), sowie die Nährstoffverfügbarkeit, stark schwankend.**

Typische Kurve für die Nährstoffaufnahme



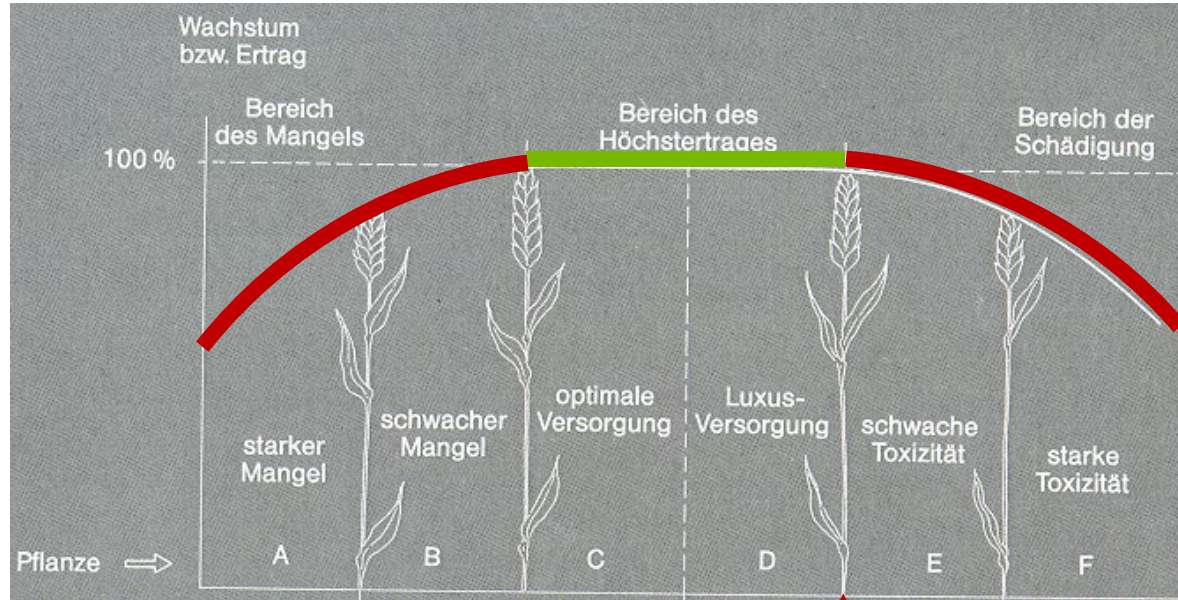
Kennzeichnung des Ernährungszustandes

- Kennwerte über den Ernährungszustand der Pflanzen erforderlich
- Mineralstoffe werden hauptsächlich über die Pflanzenwurzel aus dem Boden aufgenommen
 - Nährstoffzustand des Bodens wird als gängigstes Kriterium für den Düngbedarf herangezogen
 - **Bodenanalyse**

Kennzeichnung des Ernährungszustandes

- Kennwerte über den Ernährungszustand der Pflanzen erforderlich
- Problem: komplizierte Wechselwirkungen zwischen Pflanze, Rhizosphäre und Boden
 - Bestimmung des pflanzenverfügbaren Anteils ist schwierig
 - nur die Pflanze selbst kann Auskunft über ihren Ernährungszustand geben
 - **Pflanzenanalyse**

Die Dosis macht das Gift



Symptomgrenzwert

Toxizitätsgrenzwert

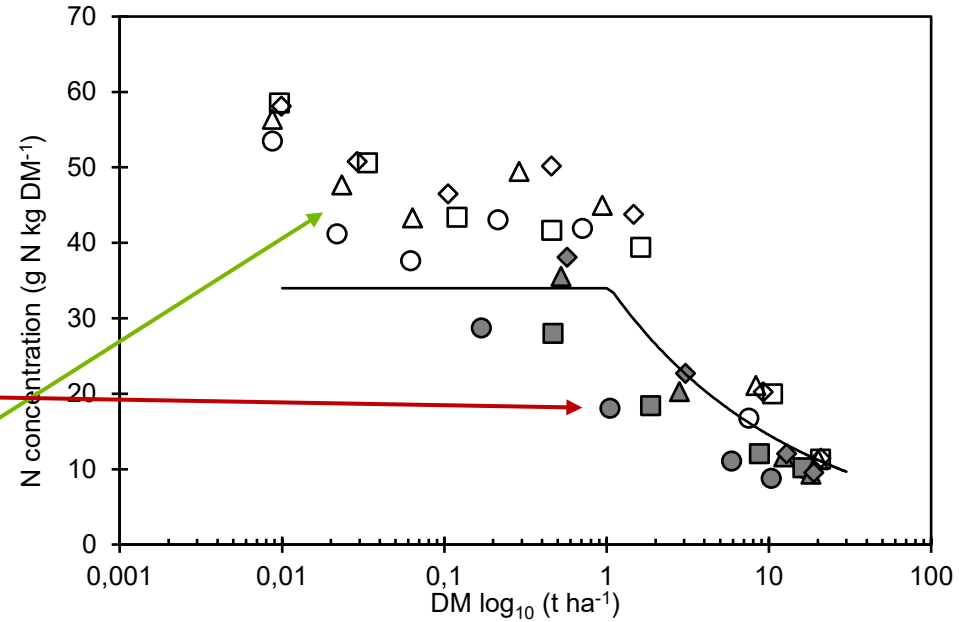
Ertragsgrenzwert = kritische Konzentration

Kritische Nährstoffkonzentrationen

- Junges Gewebe hat höhere Nährstoffkonzentrationen als älteres
→ Kritische Konzentration abhängig vom Alter der Pflanzen

Beispiel:
Kritische N-Konzentration
Mais

Versuchsergebnisse 2014
und 2015



Versuchsergebnisse 2014
und 2015

Optische Mangelerscheinungen

- Stickstoffmangel: gelbe Blätter – besonders an den älteren Blättern, da Stickstoff umverlagert wird.
- Schwefelmangel: gelbe Blätter – an den jungen Blättern, da Schwefel nicht umverlagert wird.



Brokkoli-Schwefelmangel-TLL-Marks

G. Marks, TLL

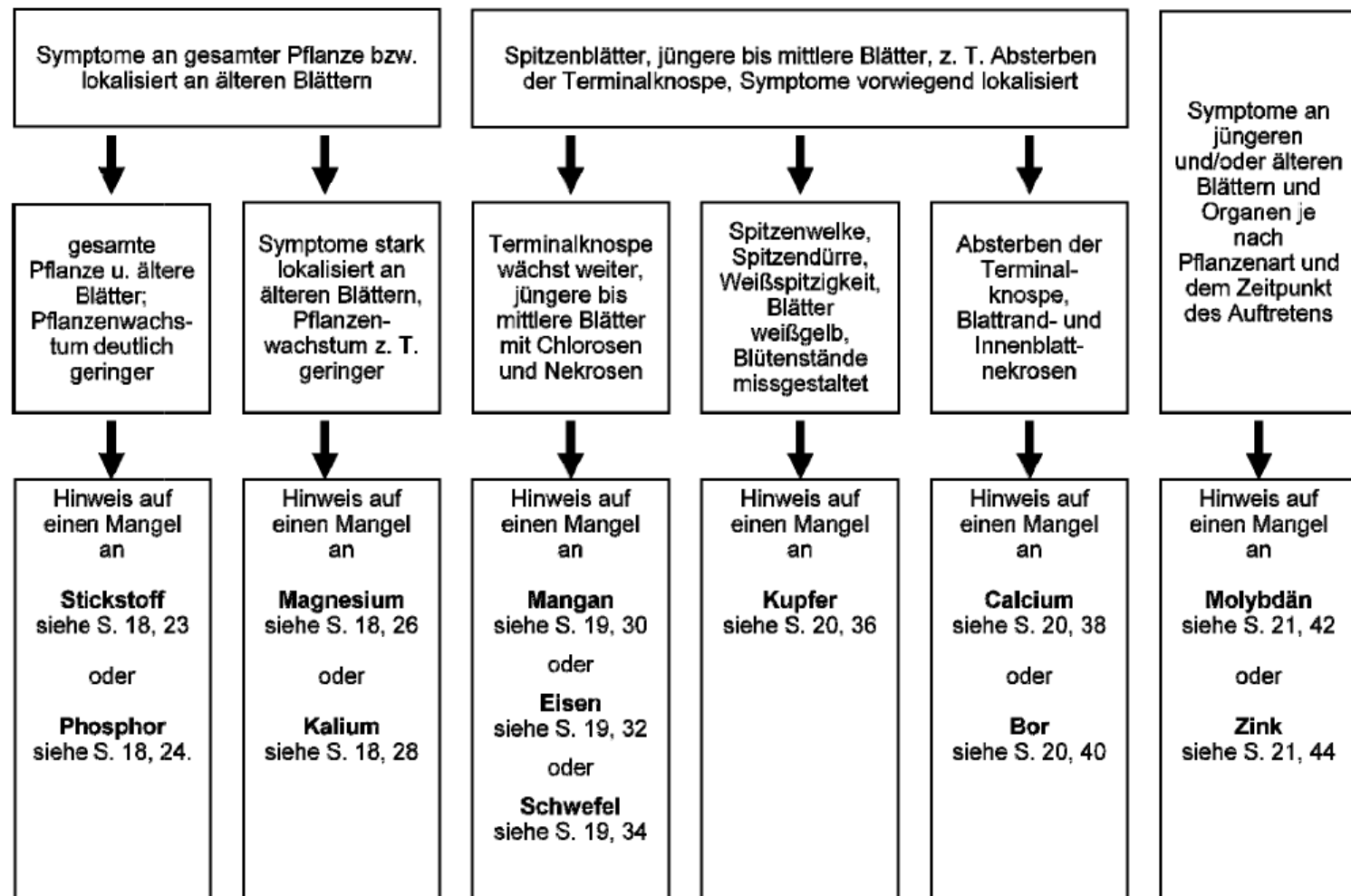
P-Mangel: Anthocyanbildung



Sammlung von Mangelsymptomen

- Bergmann - Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen – 3. Auflage als [eBook](#)
- www.yara.de oder [CheckIT App](#)
- hortipendium.de

Orientierendes Diagnoseschema zum Erkennen der Ursachen von Nährstoffmangel



...wenn Sie es genau wissen wollen: Pflanzenanalyse

■ Vorteile

- exakte Bestimmung kritischer Gehalte in wichtigen Organen
- direkte Bestimmung!
- bisherige Wachstumsbedingungen werden mit bewertet

■ Nachteile

- hoher Aufwand (Kosten/Zeit)
 - Ergebnisse kommen ggf. zu spät!
- wenig lokale Eichdaten (Ertragsgrenzwerte) aus Feldversuchen vorhanden
- Sorteneffekte werden nicht mitberücksichtigt

Wie funktioniert eine Pflanzenanalyse?

- Schließen Sie einige Bereiche von der Beprobung aus:
 - Vorgewende
 - Feldränder
 - Einzugsbereiche von Bäumen und Hecken
 - Bereiche in der Nähe von Strommasten
 - Stellen, die in der Vergangenheit als Lagerplatz für Stroh, Stallmist oder Silage verwendet wurden.

Quelle:

Yara Megalab®

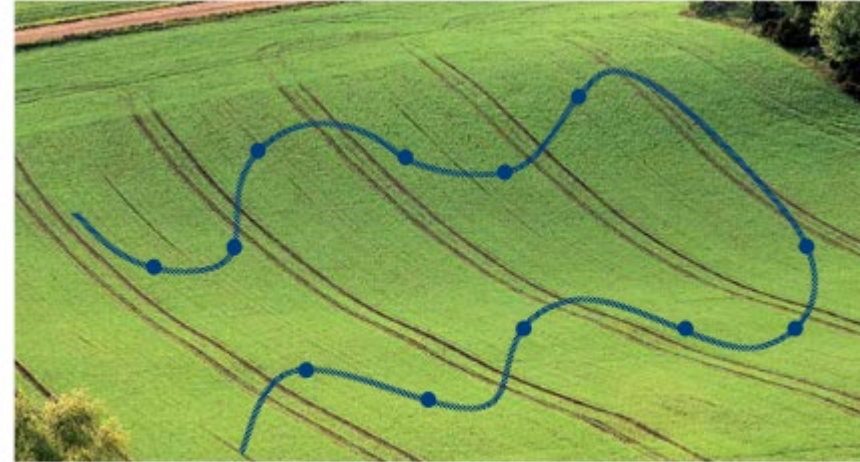
Anleitung zur Probenahme

Wie funktioniert eine Pflanzenanalyse?

- Grundsätzliches zur Probenahme:
 - Fügen Sie der Probe keine verletzten, absterbenden oder bereits abgestorbenen Pflanzenteile zu.
 - Ziehen Sie die Pflanzen nicht mit der Wurzel aus dem Boden.
 - Die Pflanzenproben dürfen nicht mit Boden verschmutzt sein.
 - Für die Aufbereitung und Analyse sind circa 150 – 200 Gramm Frischsubstanz erforderlich.

Wie funktioniert eine Pflanzenanalyse?

- Bei akuten Entwicklungs- oder Wachstumsstörungen sollten Sie zwei Proben von einem Schlag nehmen. Ziehen Sie Teilproben gezielt von Stellen mit einem guten und schlechten Wuchs, beziehungsweise mit und ohne Auffälligkeit.



Mögliche Ganglinie: Die Probenahme soll repräsentativ über den Schlag erfolgen.

Kultur	BBCH-Code	Beschreibung	Probeorgan
Rüben	bis 39	Ab Juni bis zum Reihenschluss: über 90 % der Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich	Gerade voll entwickelte Blätter
Getreide (außer Weizen)	28 bis 45	8 Bestockungstriebe sichtbar bis Blattscheide des Fahnenblattes geschwollen	Gesamte oberirdische Pflanze
Weizen	24 bis 45	4 Bestockungstriebe sichtbar bis Blattscheide des Fahnenblattes geschwollen	Gesamte oberirdische Pflanze
Kartoffeln	31 bis 39 51 bis 79	Beginn Reihenschluss: 10 % der benachbarten Reihen berühren sich bis Reihenschluss: über 90 % der benachbarten Reihen berühren sich Knospen der 1. Blütenanlage (Hauptspieß) sichtbar (1-2 mm) bis 90 % der Beeren des 1. Fruchtstandes haben nahezu endgültige Größe erreicht (oder sind bereits abgefallen)	Jüngste, vollentwickelte Blätter
Mais	33 bis 36 51 bis 59 61 bis 69	3. Stengelknoten wahrnehmbar bis 6. Stengelknoten wahrnehmbar Beginn des Rispenchiebens (Rispe in Tüte gut fühlbar) bis Ende des Rispenchiebens (untere Rispenmitteläste sind voll entfaltet) Männliche Infloreszenz*: Beginn der Blüte; Mitte des Rispenmittelastes blüht Weibliche Infloreszenz*: Spitze der Kolbenanlage schiebt aus der Blattscheide bis Ende der Blüte	Mittlere Blätter Kolbenblätter
Raps	30 bis 53 55 57 bis 59 62 bis 65	Beginn des Längewachstums bis Hauptinfloreszenz* überragt die obersten Blätter Einzelblüten der Hauptinfloreszenz* sichtbar (geschlossen) Einzelblüten der sekundären Infloreszenzen* sichtbar (geschlossen) bis erste Blütenblätter sichtbar, Blüten noch geschlossen Ca. 20 % der Blüten am Haupttrieb offen, Infloreszenzachse verlängert bis Vollblüte: ca. 50 % der Blüten am Haupttrieb offen	Jüngste, vollentwickelte Blätter

Blattanalyse bessere Rüben Triesdorf, Juni 2025

Nährstoffe

Parameter	Einheit	Ergebnis	Klasse						Optimum Min. - Max.	Median (n=106)
				A	B	C	D	E		
				-100 %	-10 %	Optimum	+10 %	+100 %		
Stickstoff (N)	Ma.-% TS	6,07	D						4,3 - 5,9	4,9
Phosphor (P)	Ma.-% TS	0,50	C						0,32 - 0,62	0,36
Kalium (K)	Ma.-% TS	4,90	C						3,5 - 6,6	4,6
Magnesium (Mg)	Ma.-% TS	0,29	B						0,3 - 1,1	0,41
Calcium (Ca)	Ma.-% TS	0,36	A						0,7 - 2	1,2
Schwefel (S)	Ma.-% TS	0,40	C						0,3 - 0,6	0,36
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	22,8	E						5,5 - 17	15
Mangan (Mn)	mg/kg TS	69,2	C						40 - 200	110
Zink (Zn)	mg/kg TS	55,4	C						25 - 80	57
Bor (B)	mg/kg TS	28,2	B						31 - 100	51
Molybdän (Mo)	mg/kg TS	0,44	C						0,25 - 1	0,54
Eisen (Fe)	mg/kg TS	98,4	C						70 - 200	185

Die Bodenuntersuchung

- Wachstum und Entwicklung der Pflanzen stellen einen Spiegel der jeweiligen Nährstoffsituation des Bodens dar
 - aus der Bodenanalyse muß der Grad der Nährstoffversorgung ableitbar sein
 - gelingt nur dann, wenn der gemessene Nährstoffgehalt in möglichst enger Beziehung zum pflanzenverfügbaren Nährstoffanteil steht
- Welcher Gehalt ist Pflanzenverfügbar?
 - Gesamtgehalt?
 - Wasserlöslicher Anteil?
 - Extraktionsmittellöslicher Anteil?

Gesamtgehalt, austauschbarer und wasserlöslicher Anteil im Boden von Zn, Cu, Ni ($\mu\text{mol/kg}$ trockener Boden)

	Gesamtgehalt			austauschbar			wasserlöslich		
	Zn	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni
Bodentyp									
Podsol	3200	400	190	76	30	7	0,2	0,1	2
Rendzina	2600	300	66	153	28	7	1,5	0,1	2

Für die Pflanze steht zur unmittelbaren Aufnahme nur der wasserlösliche Anteil und mittelbar ein Teil des austauschbaren Nährstoffs zur Verfügung obwohl der Gesamtgehalt hoch ist.

Bodenanalyse zur Düngebedarfsanalyse

■ Vorteile

- durch regelmäßige Untersuchung kann Veränderung frühzeitig erfasst werden
- Kosten geringer (i. Vgl. zu Pflanzenanalyse)
- eventl. kann auch Nachlieferung/Pufferung erfasst werden

■ Nachteile

- Kalibrierung schwierig(er)
- Nährstoffverfügbarkeit und –aufnahme abhängig von externen Faktoren (Vorfrucht, Feuchtigkeit, pH-Wert, Nährstoffverhältnisse etc.)
- räumliche Variabilität wird (meist) nicht berücksichtigt

Bohrstock:

- Anleitung: [Auf Moodle](#)
- Mischprobe aus 15 Einstichen
- Eine Probe auf max. 3 ha
- Einheitliche Teilflächen
 - „schweren“ und „leichten Böden“
 - Hanglagen mit Erosionserscheinungen („oben“, „Mitte“ und „unten“)
 - unterschiedlicher Vorfrucht eines Schlages



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit