



Bodenkultur und Düngung – Grundlagen Düngung

AT3 – Wintersemester 2025/26

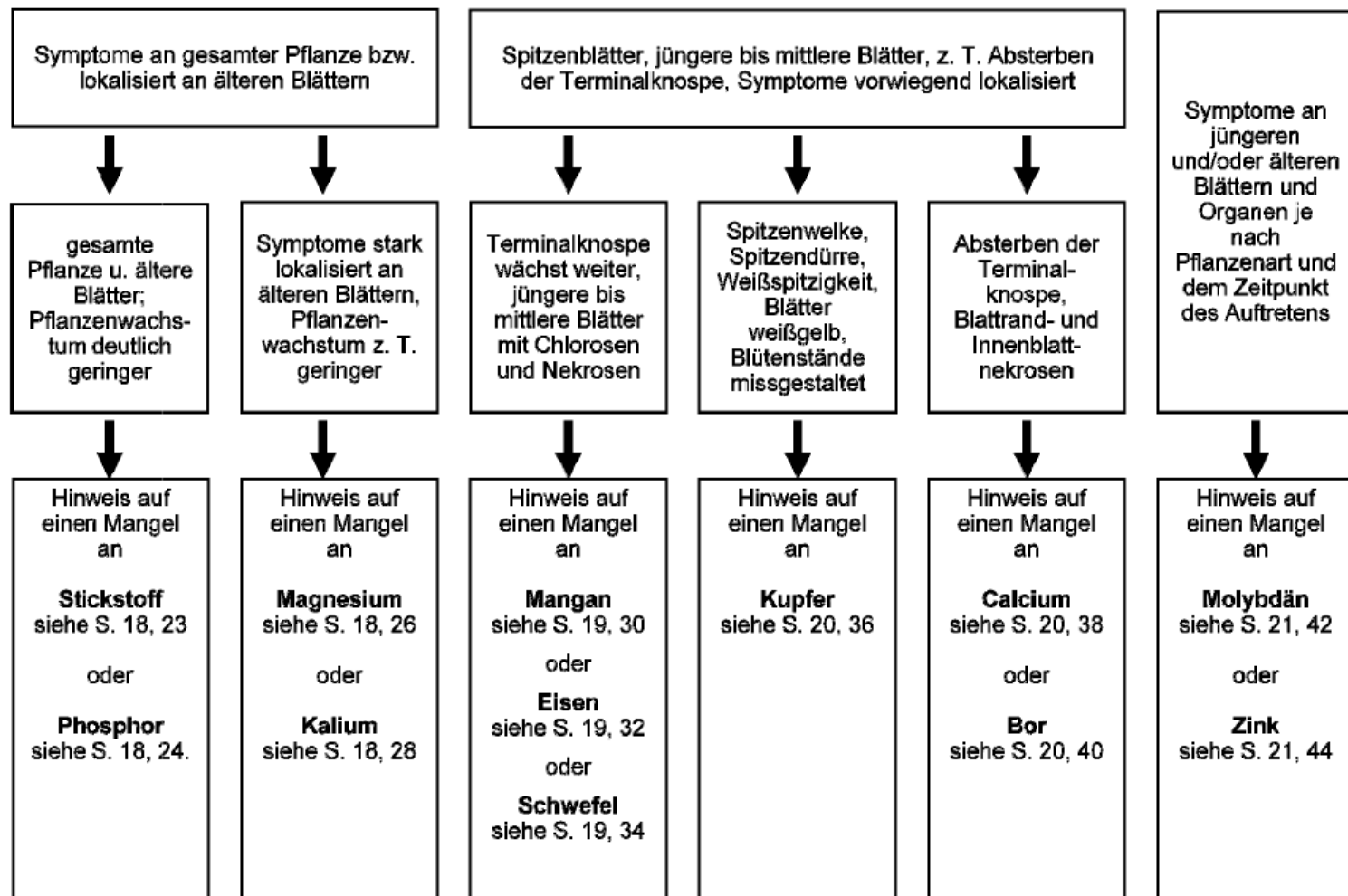
Prof. Dr. Carl-Philipp Federolf

29.10.2025

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

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?

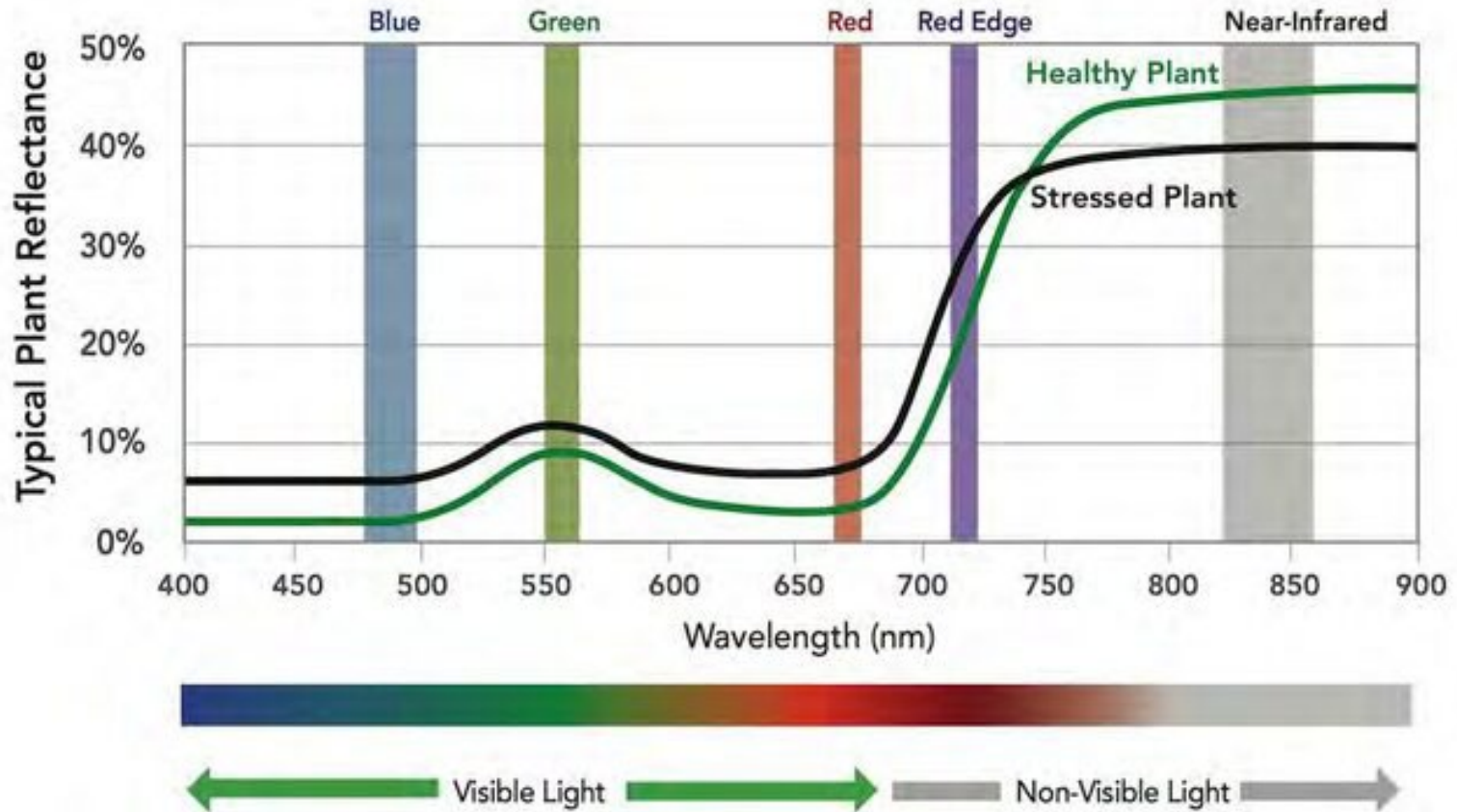
- Grundsätzliches zur Probenahme:
 - Fügen Sie der Probe keine verletzten, absterbenden oder bereits abgestorbenen Pflanzenteile zu.
 - Ziehen Sie die Pflanzen nicht mit der Wurzel aus dem Boden.
 - Die Pflanzenproben dürfen nicht mit Boden verschmutzt sein.
 - Besonders wenn Sie Mikronährstoffe analysieren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

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

Warum sind Pflanzen grün?



Warum sind Pflanzen grün?



Aktuelles Satellitenbild zur Auswahl von Probennahme- punkten



Satellitenkarte-Typ
Optimierte Karte



Datum der Satellitenkarte
10.05.2025



Das Datum liegt mehr als 5 Tage zurück.

- ① Wählen Sie für zuverlässigere Karten das aktuellste Datum aus.

Transparenz der Karte



0 25 50 75 100



Geringes Wachstum

Hohes Wachstum



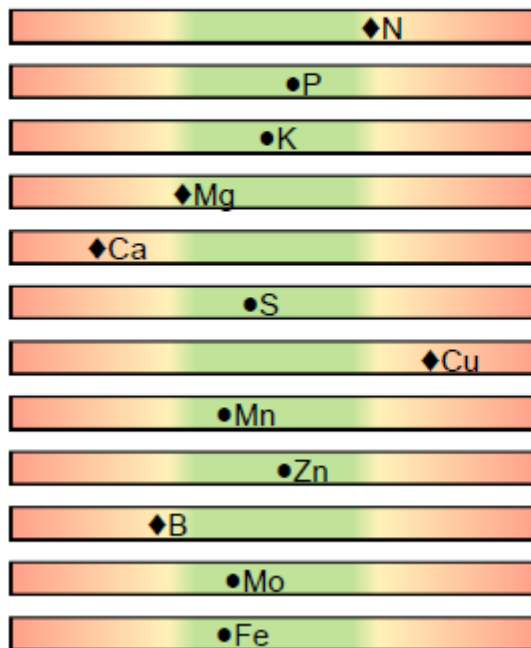
Kultur	BBCH-Code	Beschreibung	Probeorgan
Rüben	bis 39	Ab Juni bis zum Reihenschluss: über 90 % der Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich	Gerade voll entwickelte Blätter
Getreide (außer Weizen)	28 bis 45	8 Bestockungstriebe sichtbar bis Blattscheide des Fahnenblattes geschwollen	Gesamte oberirdische 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 (Hauptsproß) 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. Stängelknoten wahrnehmbar bis 6. Stängelknoten 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
Stickstoff (N)	Ma.-% TS	6,07	D
Phosphor (P)	Ma.-% TS	0,50	C
Kalium (K)	Ma.-% TS	4,90	C
Magnesium (Mg)	Ma.-% TS	0,29	B
Calcium (Ca)	Ma.-% TS	0,36	A
Schwefel (S)	Ma.-% TS	0,40	C
Kupfer (Cu)	mg/kg TS	22,8	E
Mangan (Mn)	mg/kg TS	69,2	C
Zink (Zn)	mg/kg TS	55,4	C
Bor (B)	mg/kg TS	28,2	B
Molybdän (Mo)	mg/kg TS	0,44	C
Eisen (Fe)	mg/kg TS	98,4	C

A	B	C	D	E
-100 %	-10 %	Optimum	+10 %	+100 %



Optimum Min. - Max.	Median (n=106)
4,3 - 5,9	4,9
0,32 - 0,62	0,36
3,5 - 6,6	4,6
0,3 - 1,1	0,41
0,7 - 2	1,2
0,3 - 0,6	0,36
5,5 - 17	15
40 - 200	110
25 - 80	57
31 - 100	51
0,25 - 1	0,54
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



Bodenkarte – BK 50

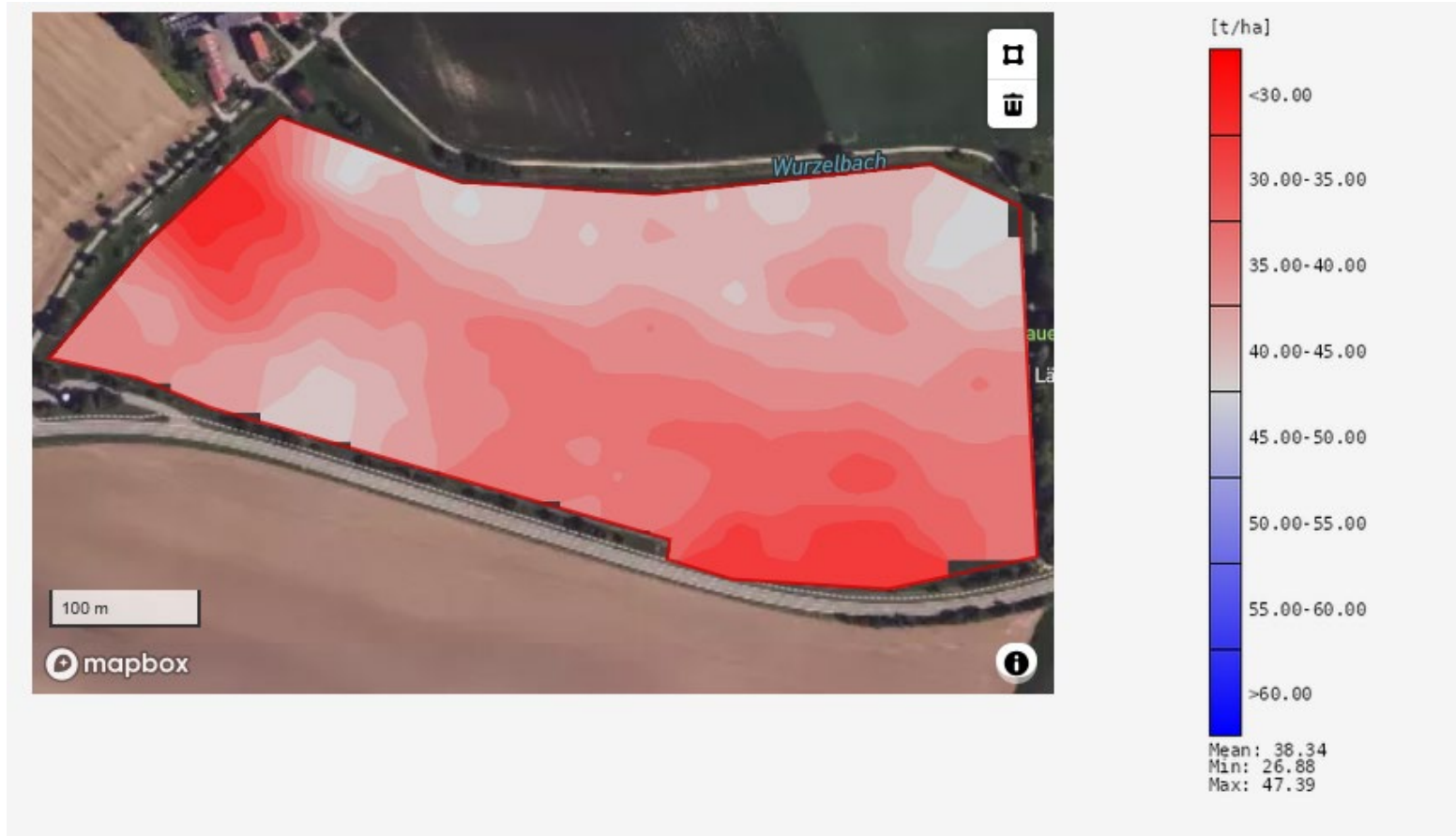
- Problem: Auflösung – Beispiel: 14 ha Schlag – annähernd einheitlich



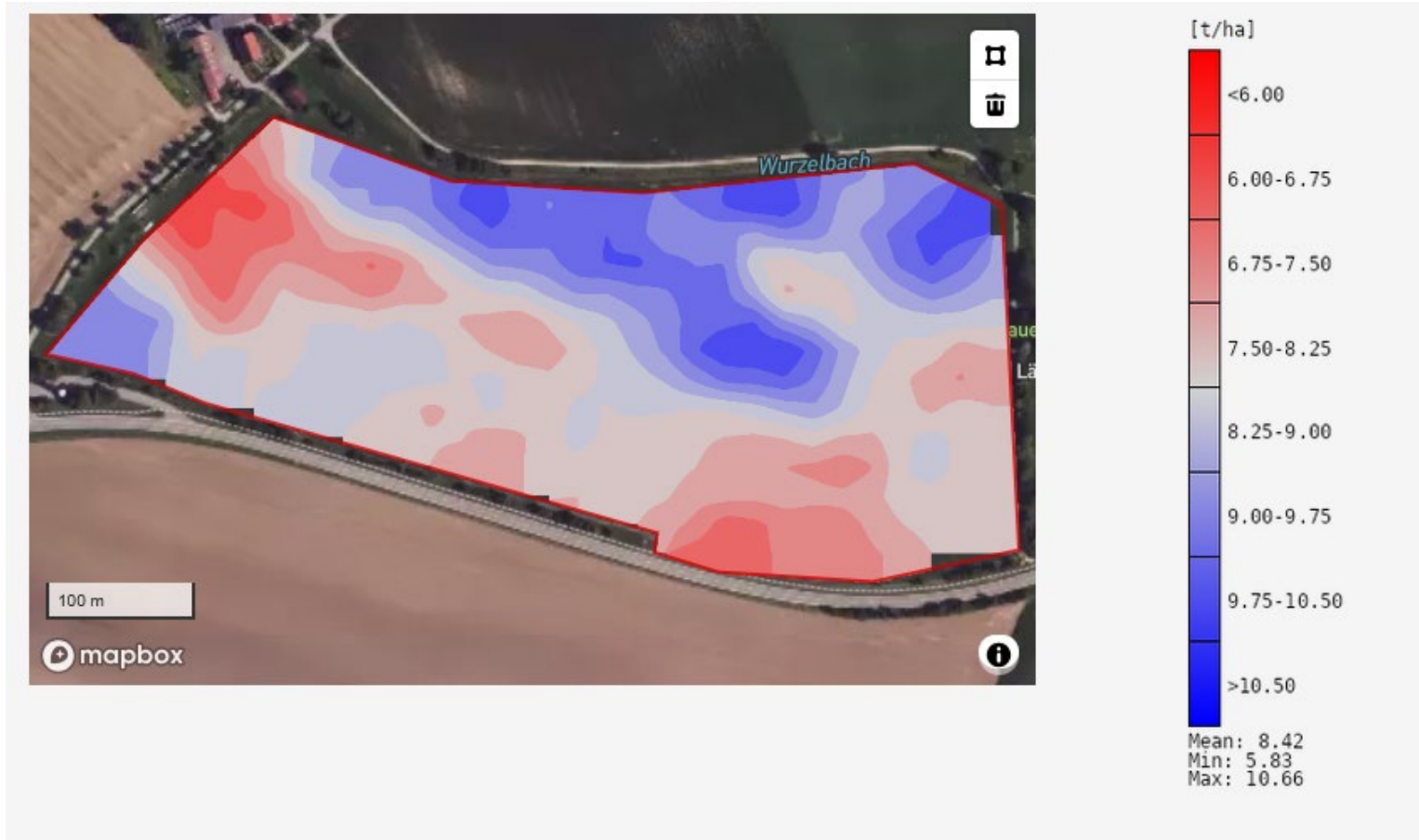
Selber Schlag: Ertragskarten heranziehen – Winterweizen 2024



Ertragskarten heranziehen – Silomais 2023



Ertragskarten heranziehen – Winterweizen 2022



Düngebedarf - Berechnung

Typische Kurve für die Nährstoffaufnahme

Jährl. Schwankung



Nährstoffbedarfsberechnung

■ Grundformeln:

- Nährstoffentzug = Ertrag (-serwartung) * kulturspez. Ns.konzentration

Tabelle 2: Nährstoffgehalte und Düngbedarf von Grünland in Abhängigkeit der Nutzung
(Stand: November 2024, unverändert seit Dezember 2021)

Kultur	TM in %	Nährstoffgehalt kg/dt Trockenmasse					Roh- protein % in TM	Ø Ertrag dt/ha TM	Stickstoff- bedarfs- wert in kg N/ha	Ertrags- differenz in dt/ha	je Ertragsdifferenz	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S					Zuschlag in kg N/ha	Abschlag in kg N/ha
Grünland												
Streuweise	100	1,28	0,46	1,81	0,33	0,13	8,0	35	45	1	1,28	1,28
Almen/Alpen	100	2,24	0,73	2,77	0,40	0,22	14,0	40	90	1	2,24	2,24
Grünland extensiv ¹⁾	100	1,82	0,65	2,50	0,40	0,18	11,4	40	73	1	1,82	1,82
Grünland ²⁾	100	2,56	0,81	3,28	0,45	0,26	16,0	80	205	1	2,56	2,56
sonstiges												
Stilllegung Grünland (Nicht-LF nach DüV)	100							0	0	1	0	0

¹⁾ **Grünland extensiv:** 1-2 Schnittnutzungen pro Jahr, extensive Weiden und Mähweiden

²⁾ **Grünland:** mindestens 3 Schnittnutzungen pro Jahr, mittel bis intensiv genutzte Weiden und Mähweiden

Nährstoffbedarfsberechnung

- Grundformeln:

- Nährstoffentzug = Ertrag (-serwartung) * kulturspez. Ns.konzentration
- Nährstoffaufnahme = Nährstoffentzug + Ernte- & Wurzelreste

Nährstoffaufnahme Soja – Stickstoff – Ertragserwartung: 4 t / ha

- Ertrag (t) x Protein (%) → Proteinertrag
 - 4 t x 0,4 → 1,6 t
- N im Protein → 6,25 %
- Proteinertrag / 6,25 → kg N Korn
 - 1,6 t / 6,25 → 256 kg N Korn
- 80 bis 100 kg N in Wurzel + Stroh
- 100 kg N (Wu/St) + 256 kg N Korn → 356 kg N / ha
- Pro Tonne Ertrag braucht die Sojabohne 80 – 90 kg N

Nährstoffbedarfsberechnung

■ Grundformeln:

- Nährstoffentzug = Ertrag (-serwartung) * kulturspez. Ns.konzentration
- Nährstoffaufnahme = Nährstoffentzug + Ernte- & Wurzelreste (EWR)
- Düngbedarf = Nährstoffentzug – Nährstoffnachlieferung Boden
 - Nährstoffnachlieferung Boden:
 - Standorteinfluss: Humusgehalt, Grünlandumbruch
 - Vorfrucht / Leguminosenanteil: N-Nachlieferung aus EWR, bzw aus N-Fixierung
 - N-Nachlieferung aus organischer Düngung im Vorjahr – pauschal 10% des ausgebrachten Stickstoffs

Kultur- und standortbezogene N-Obergrenze (n. DüV)

=

N-Sollwert [kg N/ha]

Summe aus

- **N-Bedarfswert** [kg N/ha] - Gesamtpflanze (Tab. 1) und
- **Zu- oder Abschlag** (Tab. 2) aus der Differenz „5-jähriges Ertragsmittel“ und „mittlerer Ertrag“ (Tab. 1) [kg N/ha]

abzüglich:

- **im Boden verfügbare Stickstoffmenge** ($N_{\min}$ /Nitrat-N, NID) und
Gleiche Anrechnung beider Größen, da NH_4 -N in Ackerböden zum Zeitpunkt der Düngbedarfsermittlung in der Regel in vernachlässigbarer Menge vorliegt.
- **pflanzennutzbare N-Lieferung aus:**
 - Ernteresten der **Vorfrucht** (Tab. 3)
 - Zwischenfrucht** (Tab. 3)
 - organischer Düngung** der letzten Jahre (Tab. 4) und
 - Bodenvorrat** (Humusgehalt) (Tab. 5)

Hinweis: Wenn im Herbst bereits eine Andüngung von Winterraps oder Wintergerste erfolgt ist, sind diese Düngungsmaßnahmen auf die im Frühjahr ermittelte Obergrenze anzurechnen. Angerechnet werden muss der ausnutzbare Stickstoff bei organischen Düngern: $N_{\text{ausnutzbar}} = N_{\text{gesamt}} \cdot \text{Mindestwirksamkeit (Anlage 3 DüV)}$ oder Ammoniumgehalt bzw. $N_{\text{verfügbar}}$ (wenn dieser größer ist). Mineralische Dünger werden zu 100 % angerechnet.



Düngebedarfsermittlung Dauergrünland

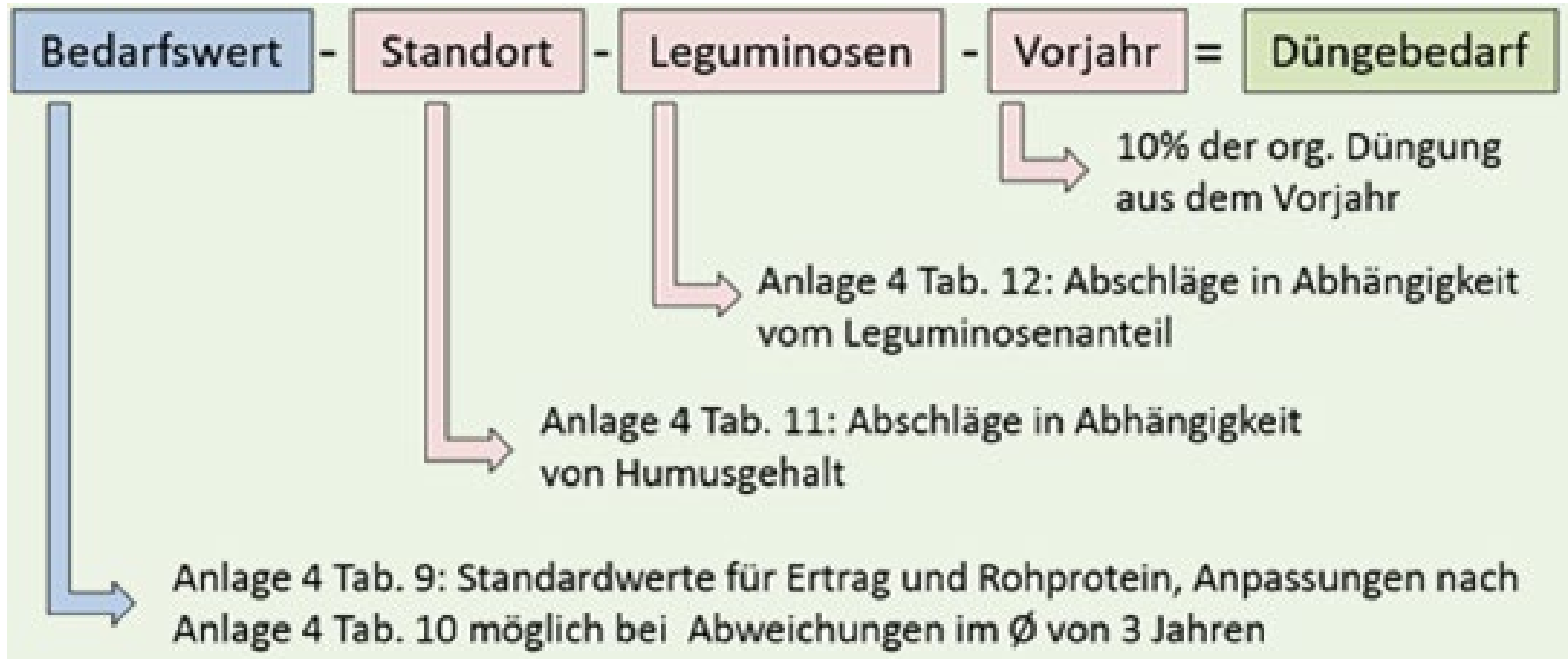
Kenngrößen bei Düngeplanung Dauergrünland			Mindestabschlag in kg N/ha
N-Nachlieferung aus N-Bindung der Leguminosen	Ertragsanteil von Leguminosen unter 5 %		10
	Ertragsanteil von Leguminosen 5 bis 10 %		20
	Ertragsanteil von Leguminosen größer 10 bis 20 %		40
	Ertragsanteil von Leguminosen größer 20 %		60
Bodenvorrat (Humus)		Anteil org. Substanz	
	sehr schwach bis stark humose Böden	< 8 %	10
	stark bis sehr stark humose Böden	8 bis < 15 %	30
	anmoorige Böden	15 bis < 30 %	50
	Hochmoor	≥ 30 %	50
	Niedermoor	≥ 30 %	80

DÜV: Tabellen für den Stickstoffbedarfswert

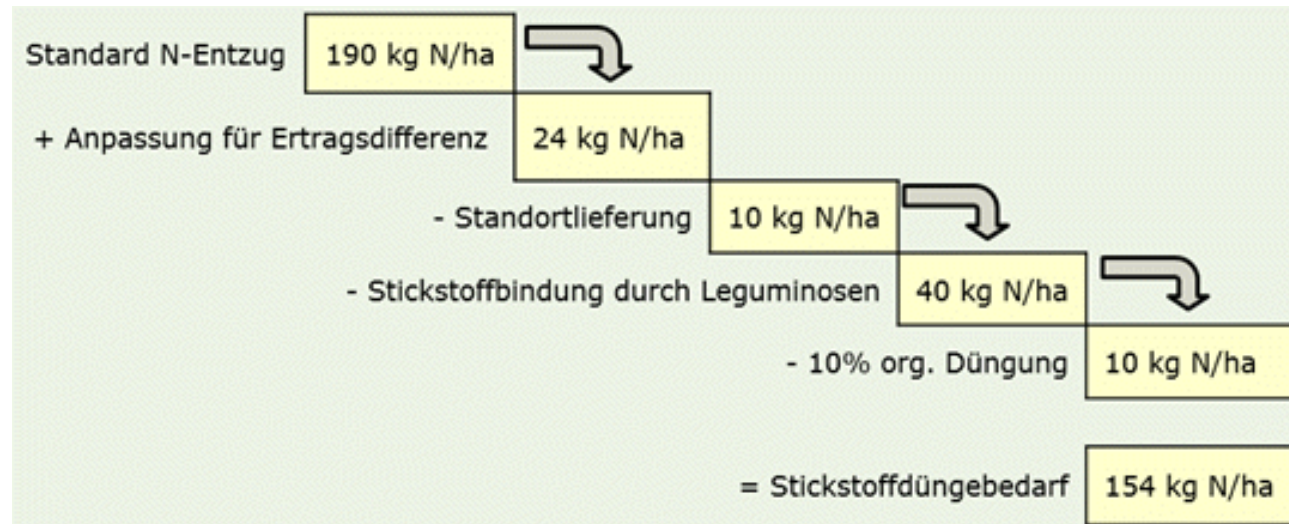
Tabelle 9a: Stickstoffbedarfswerte von Hauptfrüchten in Abhängigkeit des Ertragsniveaus
(Stand: November 2024)

Kultur	Ø	N _{min} -Probe- nahmetiefe mindestens in cm	Berech- nung N _{min} bis 90 cm	Stickstoff- bedarfs wert in kg N/ha	Ertrags- differenz in dt/ha	je Ertragsdifferenz		Abschlag wenn Vorfrucht in kg N/ha
	Ertrag dt/ha FM					Zuschlag in kg N/ha	Abschlag in kg N/ha	
Getreide								
Winterweizen C-Sorte	80	60	ja	210	10	10	15	0
Winterweizen A/B-Sorte	80	60	ja	230	10	10	15	0
Winterweizen E-Sorte	80	60	ja	260	10	10	15	0
Winterbrauweizen	80	60	ja	180	10	10	15	0
Sommerweizen	70	60	ja	220	10	10	15	0
Wintergerste mehrzeilig	70	60	ja	180	10	10	15	0
Wintergerste zweizeilig	70	60	ja	180	10	10	15	0

Berechnungsschema Stickstoffbedarf Grünland

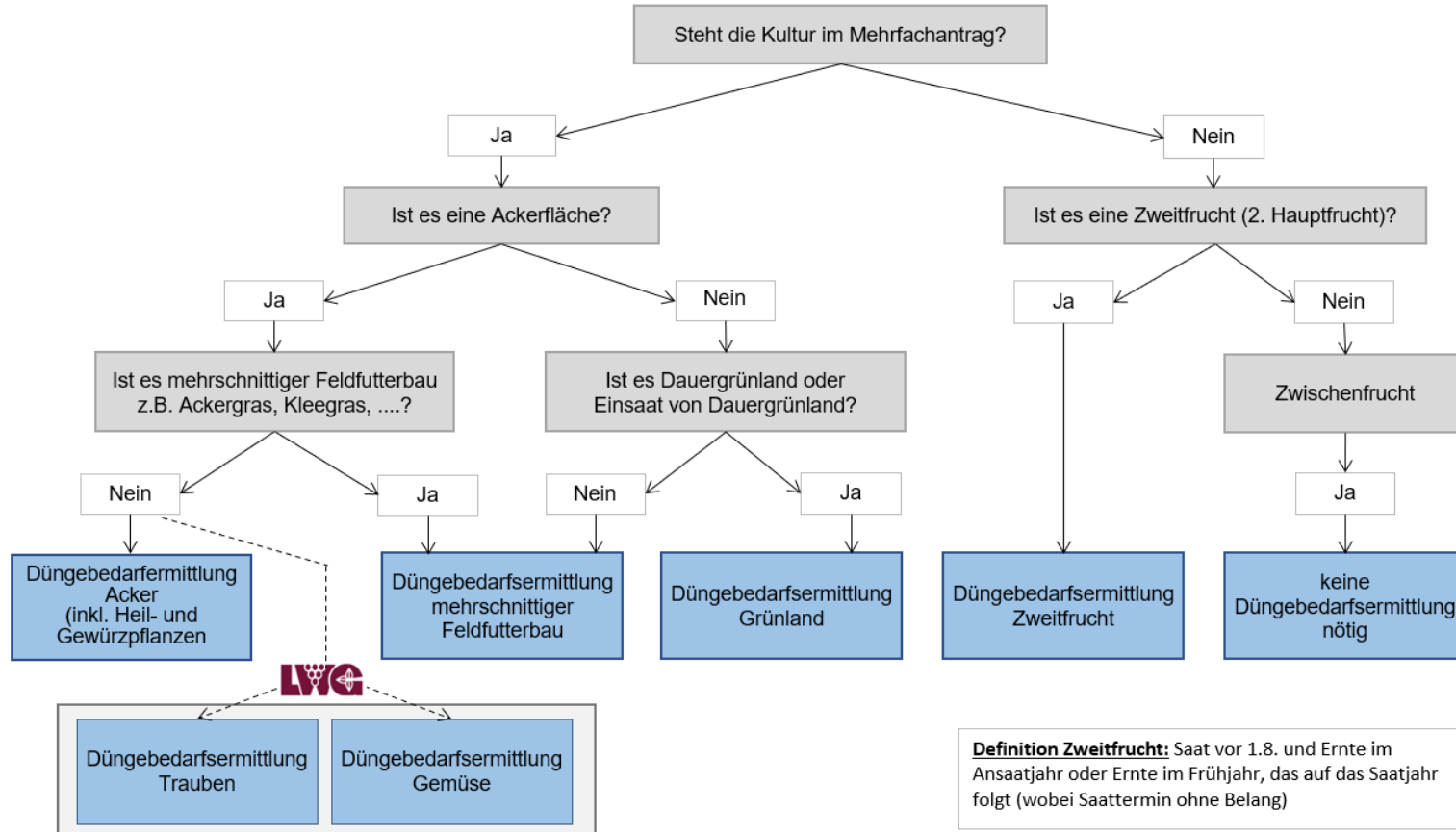


- Anzahl der Schnitte: 3
- Standardertrag: 80 dt TM/ha
- Tatsächlicher Ertrag: 90 dt TM/ha
- org. Substanz 4%
- Leguminosenanteil 13%
- Org. Vorjahresdüngung 100 kg Norg/ha



(Luib, 2017)

Düngebedarfsermittlung - welche ist zu wählen?



Düngebedarfsermittlung Trauben

Düngebedarfsermittlung Gemüse

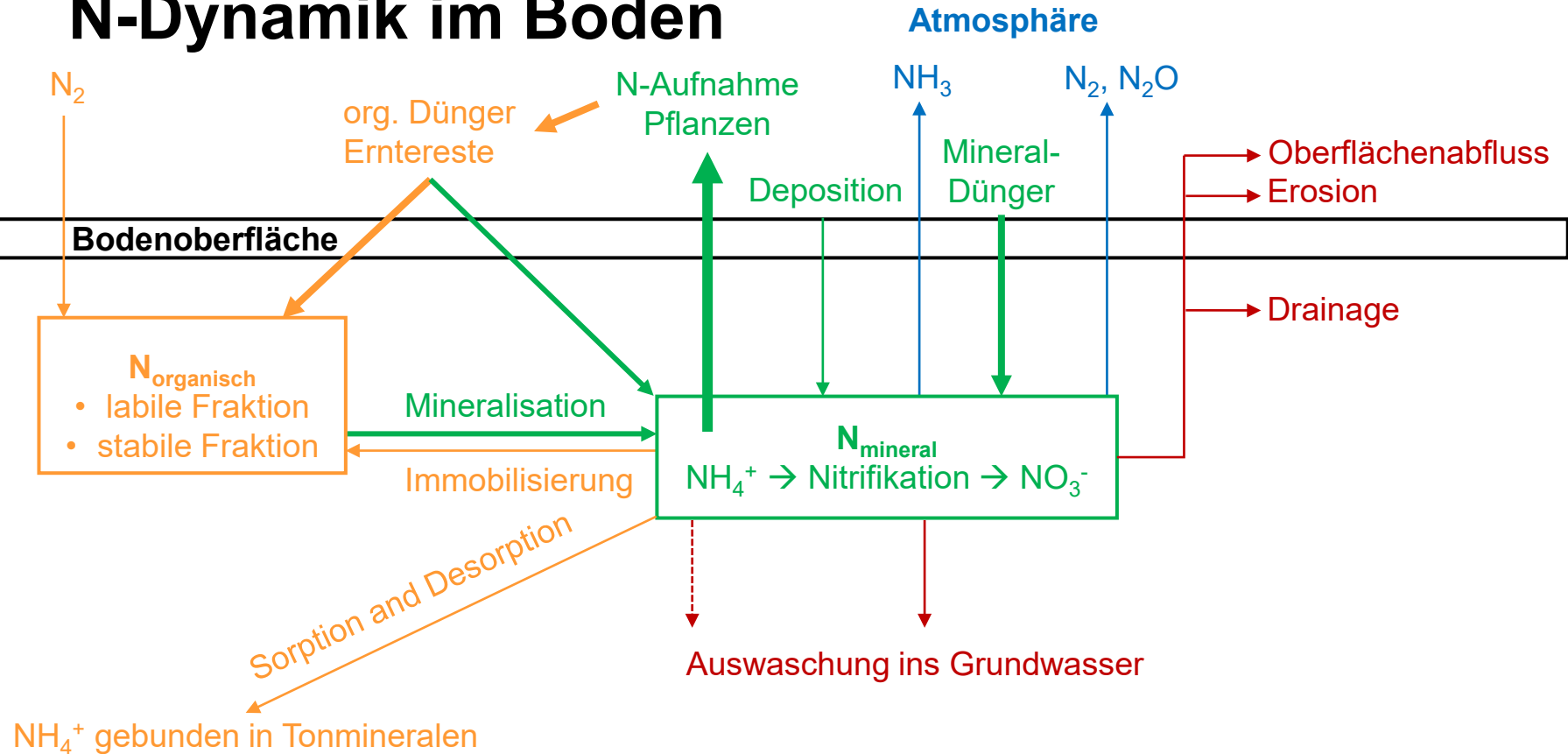
Definition Zweitfrucht: Saat vor 1.8. und Ernte im Ansaatjahr oder Ernte im Frühjahr, das auf das Saatjahr folgt (wobei Saattermin ohne Belang)

Zusammenfassung 2

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

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?

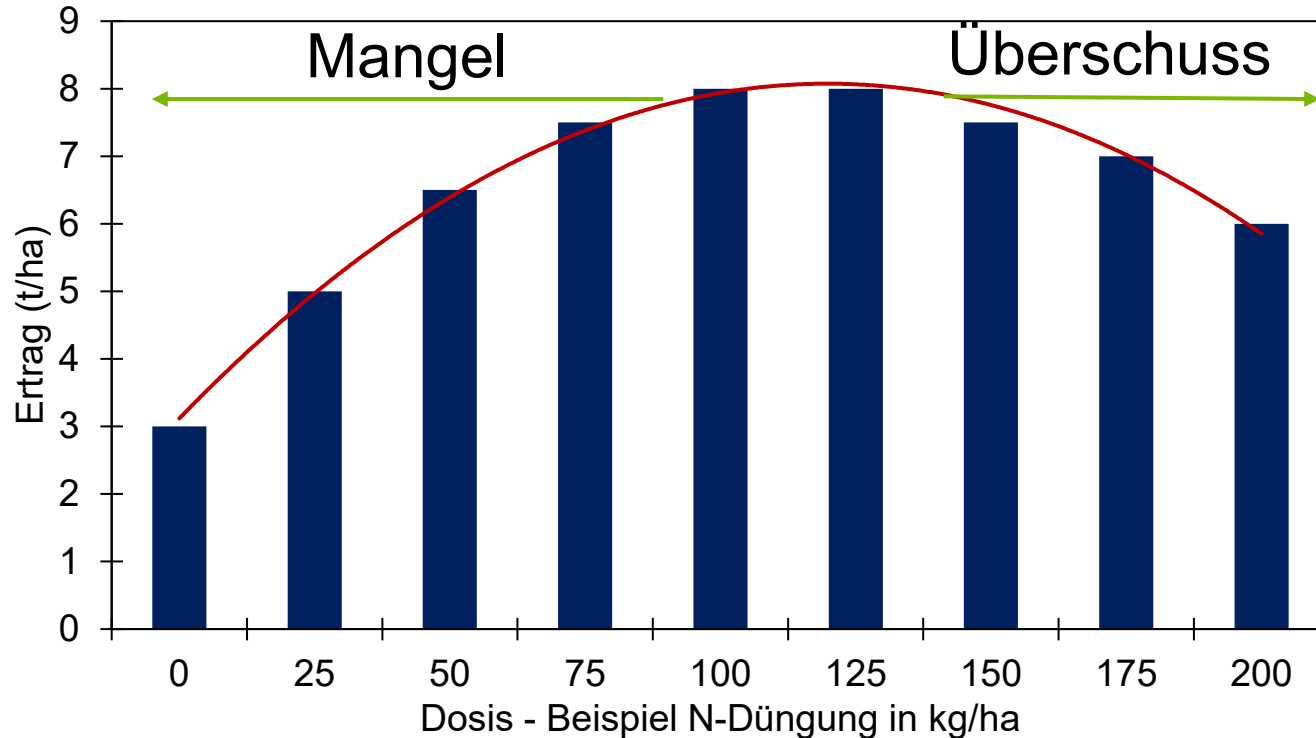
Kleine Rechenaufgabe!

- 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

Methoden zur Bestimmung des Düngebedarfs

- Berechnungsverfahren
 - Faustzahlen/Bilanzen/Empfehlungen
 - Simulationsrechnungen
- Bodenuntersuchung
- Pflanzenanalyse
- Ziel: ausgewogenes Nährstoffverhältnis für optimales Wachstum

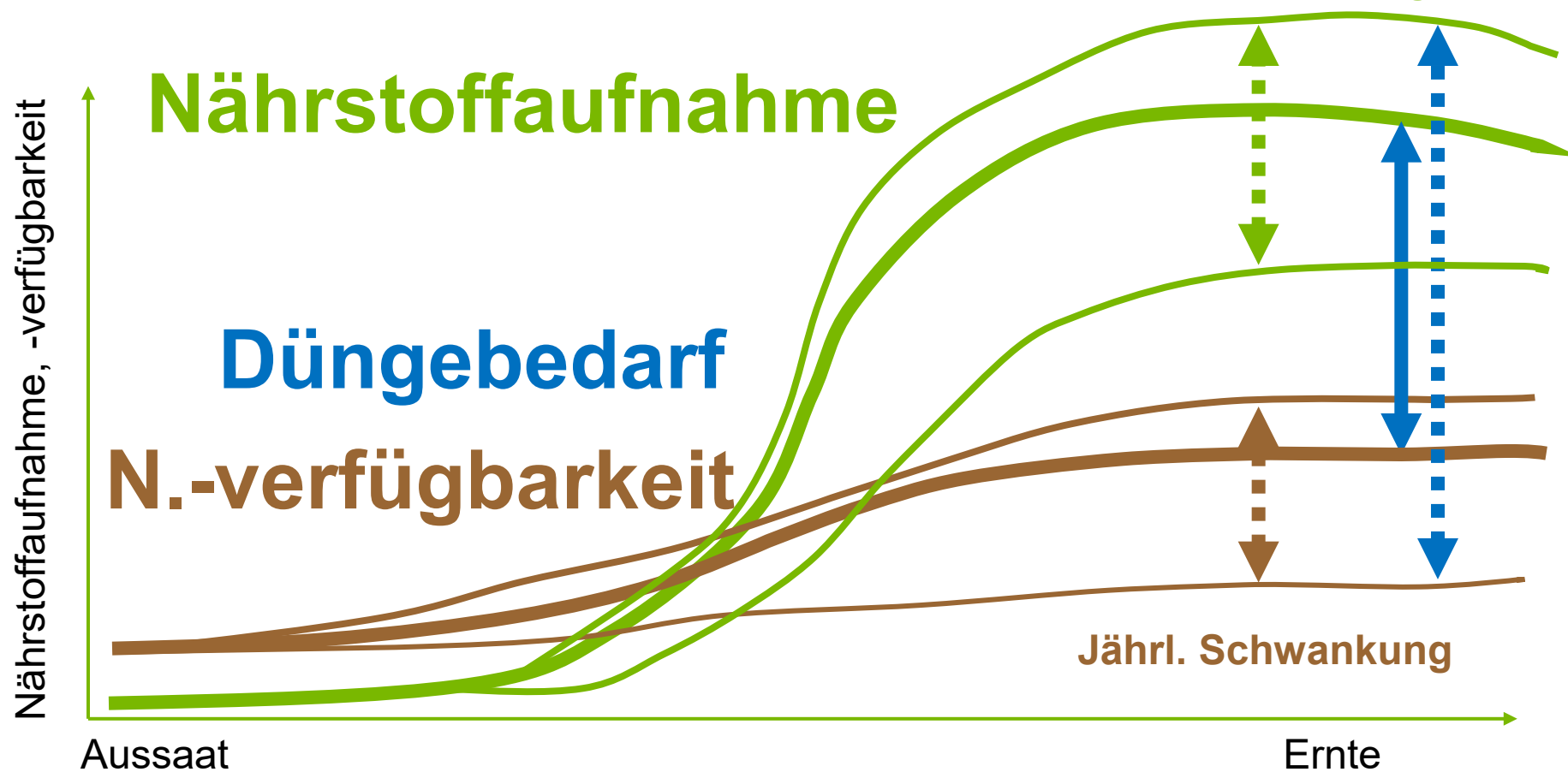
Typische Ertragskurve basierend auf einem Dosis-Wirkungs-Versuch



Wie entstehen Mängel?

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

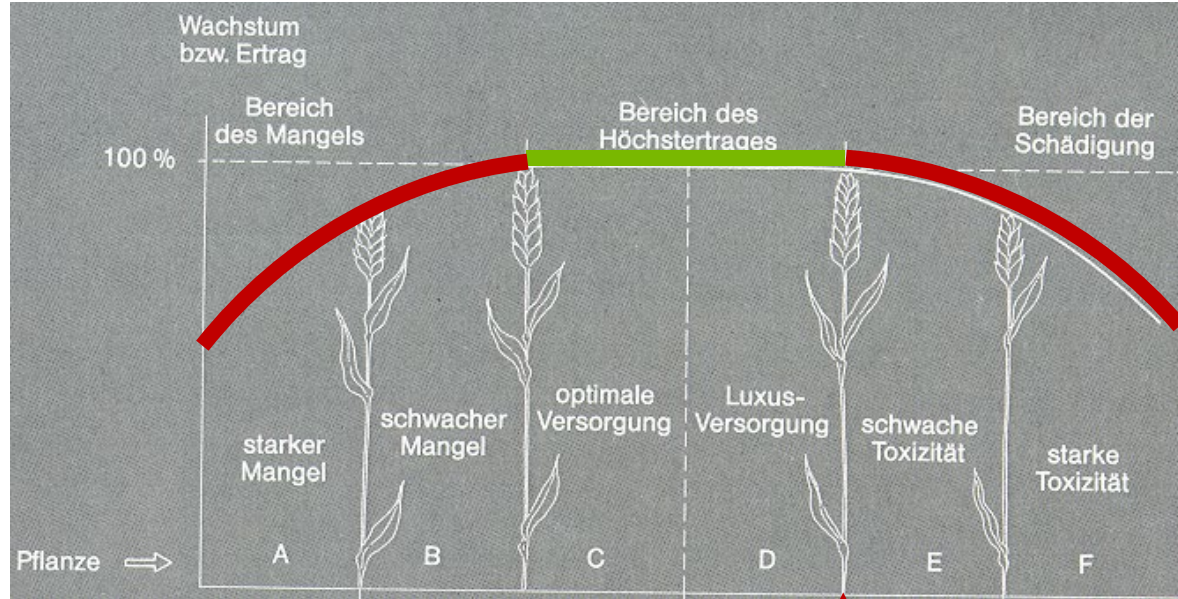
Typische Kurve für die Nährstoffaufnahme



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**
- 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

...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

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

Nährstoffbedarfsberechnung

■ Grundformeln:

- Nährstoffentzug = Ertrag (-serwartung) * kulturspez. Ns.konzentration
- Nährstoffaufnahme = Nährstoffentzug + Ernte- & Wurzelreste (EWR)
- Düngbedarf = Nährstoffentzug – Nährstoffnachlieferung Boden
 - Nährstoffnachlieferung Boden:
 - Standorteinfluss: Humusgehalt, Grünlandumbruch
 - Vorfrucht / Leguminosenanteil: N-Nachlieferung aus EWR, bzw aus N-Fixierung
 - N-Nachlieferung aus organischer Düngung im Vorjahr – pauschal 10% des ausgebrachten Stickstoffs

Kultur- und standortbezogene N-Obergrenze (n. DüV)

=

N-Sollwert [kg N/ha]

Summe aus

- **N-Bedarfswert** [kg N/ha] - Gesamtpflanze (Tab. 1) und
- **Zu- oder Abschlag** (Tab. 2) aus der Differenz „5-jähriges Ertragsmittel“ und „mittlerer Ertrag“ (Tab. 1) [kg N/ha]

abzüglich:

- **im Boden verfügbare Stickstoffmenge** ($N_{\min}$ /Nitrat-N, NID) und
Gleiche Anrechnung beider Größen, da NH_4 -N in Ackerböden zum Zeitpunkt der Düngbedarfsermittlung in der Regel in vernachlässigbarer Menge vorliegt.
- **pflanzennutzbare N-Lieferung aus:**
 - Ernteresten der **Vorfrucht** (Tab. 3)
 - Zwischenfrucht** (Tab. 3)
 - organischer Düngung** der letzten Jahre (Tab. 4) und
 - Bodenvorrat** (Humusgehalt) (Tab. 5)

Hinweis: Wenn im Herbst bereits eine Andüngung von Winterraps oder Wintergerste erfolgt ist, sind diese Düngungsmaßnahmen auf die im Frühjahr ermittelte Obergrenze anzurechnen. Angerechnet werden muss der ausnutzbare Stickstoff bei organischen Düngern: $N_{\text{ausnutzbar}} = N_{\text{gesamt}} \cdot \text{Mindestwirksamkeit (Anlage 3 DüV)}$ oder Ammoniumgehalt bzw. $N_{\text{verfügbar}}$ (wenn dieser größer ist). Mineralische Dünger werden zu 100 % angerechnet.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit