

Sie sollten sich die Antworten zu den Fragen eigentlich selbst erarbeiten. Nur dann ist ein gewisser Lernerfolg gesichert und Sie verstehen die Antworten auch.

Ich habe falsche oder völlig unpassende Antworten gestrichen (manchmal mit Kommentar) und andere nur ergänzt, die unvollständig waren. Bis auf eine Bemerkung habe ich den Teil Schulze nicht durchgesehen. Guten Lernerfolg.
B. Steingrobe

Teil Schulze

1. **Nennen sie 6 Makro- und 6 Mikronährstoffe für Pflanzen. Nach welchen Kriterien kann man ein Element den Pflanzennährstoffen zuordnen?**

Makronährstoffe	Mikronährstoffe
C Kohlenstoff	Fe Eisen
H Wasserstoff	Mn Mangan
O Sauerstoff	Cu Kupfer
N Stickstoff	Zn Zink
P Phosphor	Mo Molybdän
K Kalium	B Bor
S Schwefel	Cl Chlor
Ca Calcium	Ni Nickel
Mg Magnesium	

Angabe der Konzentration

- Für die Makronährstoffe in
 - g kg^{-1}
 - $> 0,5 \text{ g/kg TM}$
- Für die Mikronährstoffe in
 - mg kg^{-1}
 - $< 0,5 \text{ g/kg TM}$

Kriterien (kurz):

- 1) Bei Fehlen des Elements kommt es zu Wachstumsstörungen
- 2) Das Element ist durch kein anderes ersetzbar
- 3) Es muss zumindest ein Stoffwechselprozess bekannt sein, an dem das Element beteiligt ist.

2. Nennen Sie je 2 Pflanzennährstoffe, die als Kation bzw. als Anion von Pflanzen aufgenommen werden. Erläutern Sie einige Grundzüge der Umsatzdynamik und Pflanzenverfügbarkeit dieser Pflanzennährstoffe.

Einteilung nach Mengen – bedarf der Pflanzen	Nährstoffaufnahme durch die Pflanze stets oder meist durch	
Hauptnährelemente Spurennährelemente	Anion	Kation
	N, P, S Cl, B, Mo	K, Ca, Mg Fe, Mn, Zn, Cu

ANION		
	Phosphor	Chlor
Grundzüge der Umsatz – dynamik	<p>Mobilisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aufschluss anorg. bzw. Abbau org. Reserven vor allem durch biotische Aktivität Anorg. P – Verbindungen um so leichter gelöst, je feinkristalliner und feinkörniger <p>Fixierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Umwandlung in schwermobilisierbare Verbindungen besonders schnell in Fe – und Al – reichen sauren Böden 	<ul style="list-style-type: none"> Mobilisierung in Anbetracht der großen mobilen Fraktion unwichtig Fixierung praktisch nicht vorhanden
Pflanzenverf. der Pflanzen–nährstoffe	$H_2PO_4^-$ HPO_4^{2-} H_3PO_4	Cl^-

KATION		
	Magnesium	Kupfer
Grundzüge der Umsatz – dynamik	<p>Mobilisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> Stark aus sek. Mineralen, schwach aus primären <p>Fixierung</p> <ul style="list-style-type: none"> kaum Ausfällung schwerlöslicher Verbindungen im sauren Bereich Ausfällung im alkalische Bereich für Pflanzen vorteilhaft Da Überschüsse beseitigt 	<p>Mobilisierung</p> <ul style="list-style-type: none"> Stärker auf sauren als auf alkalischen Böden, Aber pH – Abhängigkeit weniger scharf Pflanze mobilisiert vor allem durch Komplexbildner <p>Fixierung</p> <ul style="list-style-type: none"> Vor allem durch bestimmte Humusstoffe
Pflanzenverf. der Pflanzen–nährstoffe	Mg^{2+}	Cu^{2+} Cu – Chelat

3. In welchen organischen Substanzklassen kommt P in der Pflanze vor? Erläutern Sie kurz die wesentliche(n) Funktion(en) dieser Substanzklassen. Beschreiben Sie kurz einige P-Mangelsymptome an Pflanzen.

Organische Substanzklasse	Funktion der Substanzklasse
(Zucker)ester	Säure und Alkohol wird unter Wasserabspaltung zu einem Ester
Nukleotiden	Ein Nukleotid ist ein Molekül, das als Grundbaustein von Nukleinsäuren (DNA und RNA) fungiert und auch im genetischen Code verwendet wird. Außerdem haben viele Arten von Nukleotiden lebensnotwendige regulatorische Funktionen in Zellen, beispielsweise das ATP, das cAMP und das GTP.
Nukleinsäuren	Die Nukleinsäuren bilden neben Proteinen, Kohlenhydraten und Fetten die vierte große Gruppe der Biomoleküle. Ihr bekanntester Vertreter ist die Desoxyribonukleinsäure (DNA), der Speicher der Erbinformation. Neben ihrer Aufgabe als Informationsspeicher können Nukleinsäuren auch als Signalüberträger dienen oder biochemische Reaktionen katalysieren.
Phospholipiden	Phospholipide sind phosphorhaltige, amphiphile Lipide. Sie sind im Organismus als Membranlipide am Aufbau der Doppellipidschicht einer Biomembran beteiligt. Sie setzen sich aus einem hydrophilen Kopf und zwei hydrophoben Kohlenwasserstoffschwänzen zusammen. Sie sind somit amphiphil.
Phytat	Phytat ist eine bioaktive Substanz, die in Pflanzen (u. a. Getreiden und Hülsenfrüchten) vorkommt und diesen als Speicher für Phosphat dient. Phytat ist das Anion (negativ geladenes Ion) der Phytinsäure.

Mangelsymptome:

- Dunkelgrün – und Rotfärbung der Blätter älterer Blätter
- Pflanzen kleiner
- Startracht der Blätter
- Z.T auch Chlorosen
- Schließlich Absterben der Blätter

**4. Welche Funktionen erfüllt K im pflanzlichen Stoffwechsel?
Beschreiben Sie kurz einige K-Mangelsymptome.**

Aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften drei physiologische Aufgaben

- Osmotische Funktionen
- Enzymaktivierung
- Elektrostatistischer Ausgleich

Mangelsymptome:

- Chlorose und sehr bald Nekrose der älteren Blätter vom Rand her
- Raum für Zusätze (Randnekrose)
- Pflanze schlaff
- „Welketracht“

**5. In welchen Formen wird N von Pflanzen aufgenommen?
Welche Blätter sind bei einsetzendem N- oder Mg-Mangel
zuerst betroffen und wodurch erklärt sich dies?**

Über die Wurzel:

- $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- N_2 (b. N_2 – Bindern)

In reduzierter Form:

- NH_4^+
- NH_3
- In reduzierter Form kann N in geringen Mengen gasförmig als Ammoniak aus der Atmosphäre über die Stomata aufgenommen werden, wenn die Konzentration relativ hoch ist

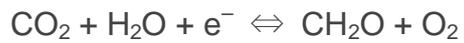
Oder oxidierter Form:

- NO_3^- (von der Wurzel)

Da Stickstoff am Aufbau von Chlorophyll beteiligt ist, äußert sich N – Mangel als Aufhellung oder sogar Gelbfärbung (Chlorose) der Pflanze. Gelbe Farbpigmente werden dann nicht mehr durch die grünen Chlorophyllpigmente überdeckt.

Bei N – Mangel ist die Pflanze bestrebt, zunächst die jungen, wachsenden Organe mit Stickstoff zu versorgen. Aufgrund der guten Verlagerbarkeit von N – Verbindungen sowohl basipetaler als auch in akropetaler Richtung tritt N – Mangel daher zuerst an den alten Blättern auf.

6. Welche Pflanzennährstoffe unterliegen im Boden Redoxvorgängen mit Einfluss auf ihre Pflanzenverfügbarkeit?



Das Redoxpotenzial ist pH – Wert abhängig

Teil Steingrobe

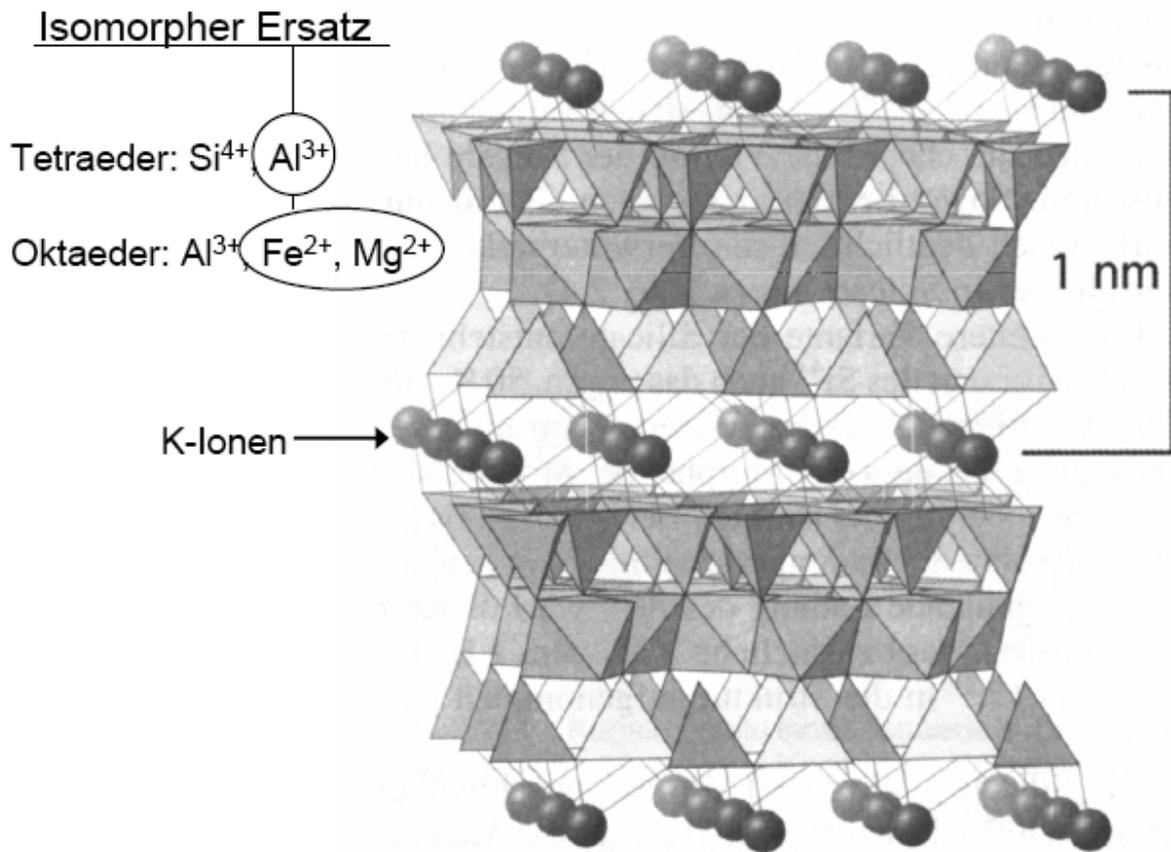
A: Nährstoffverfügbarkeit

1. **In welcher/welchen Form(en) werden Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Schwefel, Bor und Molybdän von der Wurzel aufgenommen?**

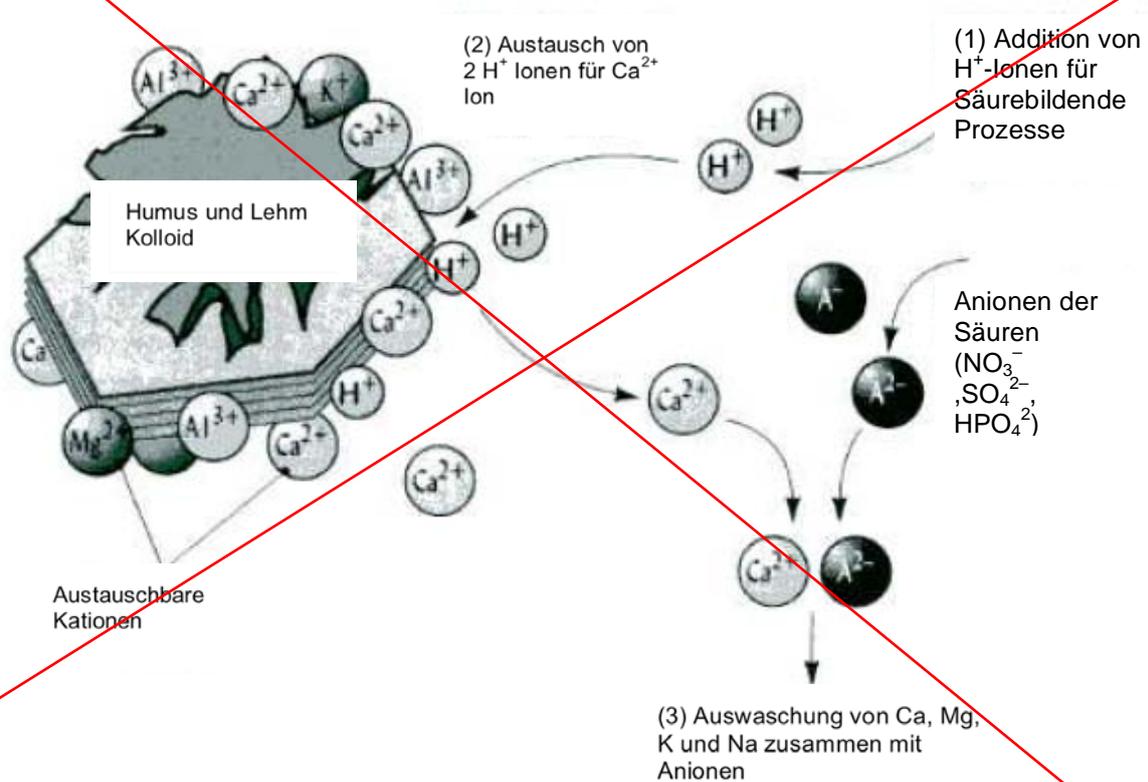
<i>Element</i>	<i>Von der Wurzel aufgenommen als:</i>
Stickstoff	NO_3^- NH_4^+
Phosphor	H_2PO_4^- HPO_4^{2-}
Kalium	K^+
Calcium	Ca^{2+}
Magnesium	Mg^{2+}
Eisen	Fe^{2+} oder Fe – Chelat
Schwefel	Überwiegend SO_4^{2-}
Bor	Bei pH < 6 ausschliesslich H_3BO_3 Bei pH > 6 zunehmend H_2BO_3^- HBO_3^{2-}
Molybdän	MoO_4^{2-}

Bor liegt bei pH-Werten > 7 zunehmend als B(OH)_4^- vor und kann in dieser Form auch aufgenommen werden

2. **Wie ist ein Dreischichttonmineral aufgebaut?**



3. Tonminerale im Boden sind wichtig für Austauschprozesse. Welche permanente Ladung tragen sie in der Regel und wie entsteht diese Ladung?



Die permanente Ladung von Tonmineralen ist negativ. Sie entsteht durch isomorphen Ersatz. Hierbei werden die Zentralatome der Siliziumtetraeder bzw. Aluminiumoktaeder ersetzt (Si^{4+} durch Al^{3+} und Al^{3+} durch Fe^{2+} oder Mg^{2+}), so dass eine positive Ladung fehlt. Es ergibt sich dadurch eine negative Nettoladung.

4. Fe/Al-Oxide können variable Ladungen tragen. Diese werden positiv bei:

- O hohem pH-Wert
- X O niedrigem pH-Wert
- O hohem Salzgehalt im Boden
- O niedrigem Salzgehalt im Boden
- O hohem Redoxpotential
- O niedrigem Redoxpotential

5. **Wodurch unterscheiden sich potentielle und effektive Kationenaustauschkapazität?**

- ~~Menge der an Bodenkolloide austauschbar gebundenen Kationen eines Bodens~~
- potenzielle KAK (KAKpot): die bei einem definierten pH-Wert von 8,2 vorliegende KAK
- effektive KAK (KAKeff): die bei einem gegebenen pH-Wert bestehende KAK
- ~~KAKeff = S-Wert - H-Wert~~

KAKpot ist die Summe der negativen Ladungen im Boden, die Kationen sorbieren können.
Bei einer nennenswerten Konzentration von H⁺ (also einem niedrigen pH) sind Teile der negativen Ladungen durch H⁺ abgesättigt und stehen für einen Austausch nicht mehr zur Verfügung. Die verbliebene KAK ist die KAKeff.
KAKpot wird bei einem hohen pH-Wert (8,2) gemessen.
KAKeff ist die bei gegebenen Boden-pH wirksame KAK.

6. *Unter welchen Bedingungen nähert sich die effektive KAK der potentiellen KAK an?*

- wenn der pH – Wert des Bodens einen tatsächlichen pH – Wert von etwa 7 hat
- abhängig vom Anteil pH – variabler Ladung und von der Ionenstärke der Bodenlösung

7. Was versteht man unter austauschbar gebundenen Nährstoffen im Boden? Woran sind sie gebunden? Was tauscht sie aus? Welche Bedeutung hat dieser Prozess für die Nährstoffversorgung der Pflanzen?

- Nähr – Ionen von elektrischen Oberflächenladungen der Austauscher angezogen und locker gebunden (sorbiert)
- Vor allem Kationen, da in den meisten Böden negative Ladungen überwiegen
- An Austauscher sorbierte Ionen, die in bestimmter kurzer Zeit mit konventionell festgelegten Salzlösungen ausgetauscht werden können
- Bindung nur locker, daher Speicherung in (für Pflanze) leicht verwertbare Form, Schutz gegen Auswaschung und in gewissem Maße gegen Ausfällung.

Was tauscht sie aus? Ionen mit gleicher Ladungsart (+ oder -) und insgesamt gleicher Ladungszahl.

8. Was bedeutet 'Basensättigung'?

Der Basensättigungsgrad (Abkürzung: BS-Wert, V-Wert) gibt den Prozentanteil der Austauschplätze gemäß Kationen-Austausch-Kapazität (KAK) an, die mit den Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) belegt sind.

9. Was beeinflusst die 'Austauschkraft' von Ionen?

Austauschkraft hängt ab von der Ladungsdichte an der Ionenoberfläche:

- Ladung des Ions
- Größe der Hydrathülle und damit der Oberfläche

10. Was beschreibt die Pufferung und wie ist sie definiert? Ist die Pufferkapazität von Sand- oder Tonböden höher? Begründung.

Ein Puffer ist ein System, das innerhalb gewisser Grenzen trotz Zu- oder Abfuhr in der Lage ist, einen Kennwert konstant zu halten. In einer Bodenlösung gilt dies sowohl für den Nährstoff- als auch den Protonengehalt.

$$\text{Pufferung } b = \frac{\Delta C}{\Delta C_L} = \frac{\text{Veränderung der Gesamtkonzentration}}{\text{Veränderung der Lösungskonzentration}}$$

Die Pufferkapazität in einem Tonboden ist höher, da der Sandboden kaum Bindungsstellen hat. Er besitzt also ein geringes Pufferungsvermögen. Dagegen bleibt der Gehalt in der Bodenlösung eines Tonbodens lange annähernd konstant Ionen in die Zwischenschichten der reichlich vorhandenen Tonminerale eingelagert werden.

Die Pufferung beschreibt (quantifiziert) das Gleichgewicht zwischen gelösten und sorbierten Ionen

Es sind nicht nur die Zwischenschichten der Tonminerale, die puffern. Für eine schnelle Gleichgewichtseinstellung sind besonders die Sorptionsstellen an den Oberflächen der Tonminerale verantwortlich.

11. In der Regel ist in Böden die Pufferung von

- Kalium > Phosphat
- Nitrat > Kalium
- Phosphat > Nitrat
- Nitrat = Magnesium
- Phosphat > Kalium
- Nitrat < Phosphat

12. Welche Mechanismen des Nährstofftransportes im Boden zur Wurzel hin gibt es, welche 'treibende Kraft' liegt ihnen zu Grunde und welche Bedeutung haben sie für die Gesamtaufnahme?

1. Interzeption
 - Hinwachsen der Wurzel zu den Nährstoffen
 - Meist geringe Bedeutung

2. Massenfluss
 - Passiver Transport von Nährstoffe mit dem Wasserstrom
 - Treibende Kraft ist die Transpiration der Pflanze
 - Nährstoffe werden mit dem Massenfluss zur Wurzel transportiert, aber **nicht** hinein

3. Diffusion
 - „aktiver“ Transport von Nährstoffen durch Eigenbewegung der Teilchen
 - Treibende Kraft ist die Erniedrigung der Nährstoffkonzentration an der Wurzeloberfläche
 - Diffusion ist der wichtigste Transportprozess für Nährstoffe im Boden, da sie den Massenfluss vollständig ersetzen kann

13. Was ist der Massenfluss von Nährstoffen im Boden und wie kann man ihn berechnen?

- konvektiver Transport von Nährstoffen mit dem Bodenwasser
- treibende Kraft ist die pflanzliche Transpiration
- Nährstoffe werden mit dem Massenfluss zur Wurzel transportiert, aber **nicht** hinein

$$F_M = v_0 \cdot C_L$$

F_M Massenfluss [$\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]

v_0 Wasserfluss [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]

C_L Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung [mol cm^{-3}]

**14. Ist die Bedeutung des Massenflusses für den gesamten Nährstofftransport im Boden höher für P oder für K?
Begründung**

- für K ist höher als für P
- ~~Für K⁺ gibt es spezifische Ionenkanäle, die eine hohe Transportrate über das Plasmalemma ermöglichen. Aufgrund des Membranpotenzials wird K⁺ passiv in die Phloemzellen aufgenommen.~~

Die Kaliumkonzentration in der Bodenlösung ist deutlich höher als für Phosphat. Dadurch ergibt sich ein höherer Massenfluss (siehe Formel in Frage 13).

15. Von welchen Bodeneigenschaften hängt die Diffusion im Boden ab?

Diffusionsfluss = - Diffusionskoeffizient * Konzentrationsgradient

$$F_D = - D_e \cdot \frac{dc}{dx}$$

D_e beschreibt die Diffusionsbedingungen im Boden

$$D_e = D_L \Theta f b^{-1}$$

er hängt ab von:

- D_L - der Diffusionsfähigkeit des Ions in Wasser
- Θ - dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens
- f - der Tortuosität (Windung der Diffusionswege)
- b^{-1} - dem Kehrwert der Pufferung

De ist der effektive Diffusionskoeffizient.

16. Kreuzen Sie an, bei welchem pH-Wert die aufgeführten Nährelemente besonders gut verfügbar sind.

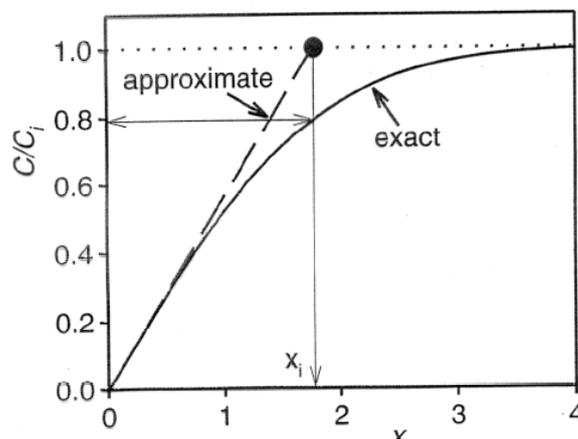
Element	pH < 5	pH um 6	pH > 7	pH unabhängig
P		X	X	
K		X		X
Fe	X			
Mo		X	X	

**17. Was ist eine Verarmungszone um die Wurzel herum?
Skizzieren Sie graphisch ein Verarmungsprofil.**

Nährstoffe, die in geringer Konzentration in der Bodenlösung vorliegen, gelangen über Diffusion an die Wurzeloberfläche. Ob ein Nährstoff überwiegend über Diffusion an die Wurzel gelangt, lässt sich daran erkennen, dass es in der Rhizosphäre zur Ausbildung eines Verarmungsprofils kommt. Die Aufnahme des Nährstoffs lässt an der Wurzeloberfläche der Konzentration auf sehr niedrige Werte zurückgehen.

$$\Delta x = \sqrt{\pi D_e t}$$

Δx Ausdehnung der Verarmungszone [cm]
 D_e effektiver Diffusionskoeffizient [$\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$]
 t Zeit [d]



Obige Aussage ist nicht falsch, beantwortet aber nicht direkt die Frage. Wenn die Aufnahmerate eines Nährstoffes größer ist als der Antransport über Massenfluss kommt es zu einer Absenkung der Nährstoffkonzentration an der Wurzeloberfläche. Diese Konzentrationsabsenkung weitet sich mit der Zeit in den Bodenraum um die Wurzel aus. Dies nennt man Verarmungszone. Die graphische Skizze entspricht ungefähr der Kurve 'exact' in der Grafik.

18. Wovon hängt die Ausdehnung der Verarmungszone um die Wurzel herum ab? Wie groß ist sie ungefähr für P, K und Nitrat?

~~Je höher die Aktivität des Nährstoffs, desto größer ist der Diffusionsgradient und damit das Produkt das durch Multiplikation mit dem Diffusionskoeffizienten resultiert.~~

$$\Delta X = \sqrt{\pi D_e t}$$

$$D_e = D_L \Theta f b^{-1}$$

	NO ₃	P	K
D _L (cm ² s ⁻¹)	1,9 * 10 ⁻⁵	0,89 * 10 ⁻⁵	1,98 * 10 ⁻⁵
Θ (cm ³ cm ⁻³)	0,29	0,29	0,29
f (= 1,57Θ-0,17)	0,29	0,29	0,29
b (-)	0,29	1000	100
Δx (cm)	5,5	0,06	0,3

Die Formel besagt, dass (neben der Zeit) die Ausdehnung der Verarmungszone ausschließlich von De abhängt (und nicht von der Aktivität, sprich Konzentration eines Nährstoffes, wie obige Antwort nahelegt). De errechnet sich aus vier Parametern. Theta und f sind Bodenparameter, die nur in geringen Ausmaß variieren. DL unterscheidet sich ebenfalls nur wenig zwischen den Nährstoffen. Den größten Einfluss auf De und damit die Ausdehnung der Verarmungszone hat die Pufferung b.

B: Stickstoff

19. Skizzieren Sie kurz die drei möglichen Systeme der N₂-Fixierung und geben Sie die ungefähre Bindeleistung an.

System der N ₂ – Fixierung (N ₂ -----> NH ₃)	<u>Symbiose</u> (z.b. Rhizobium, Actinomycetes)	<u>Assoziation</u> (z.b. Azospirillum, Azotobacter)	<u>Frei lebend</u> (z.b. Azobacter, Klebsiella, Rhodospirillum)	
			heterotroph	autotroph
Bindungsleistung (kg N ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)	Leguminosen: 50 – 400 Keine Leguminosen: 20 - 300	10 - 200	1 – 2	10 – 80

20. Interpretieren Sie folgende Versuchsergebnisse mit Bohnen:

N-Düngung (kg/ha)	Nitrogenaseaktivität ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{h}$)
0	1,13
25	2,26
50	0,60
100	0,14

- ~~• Mit steigender Düngungsmasse sinkt die Nitrogenaseaktivität~~
- ~~• Mit sinkender Nitrogenaseaktivität steigt das Gewicht der Trockenmasse~~

Beobachtung: Die Nitrogenaseaktivität folgt einer Optimumsbeziehung zur N-Düngung, wobei das Optimum bei einer relativ geringen Düngehöhe liegt.
Interpretation: Eine gute N-Versorgung aus dem Boden senkt die Nitrogenaseaktivität, da die Pflanze den Stickstoff nun aus dem Boden aufnehmen kann, was energetisch günstiger ist (keine Energieaufwendung für Knöllchenbildung und -erhalt).
Bei knapper N-Versorgung wird die Symbiose gefördert, da sie die wichtige N-Quelle für die Pflanze darstellt. Allerdings bleibt bei starkem N-Mangel die Pflanze klein und es fehlen Assimilate, um genügend Knöllchen auszubilden und mit Energie zu versorgen.

21. Was versteht man unter den folgenden Prozessen des N-Kreislaufes?

1. N₂-Fixierung

~~Obwohl 78% der Erdatmosphäre aus Stickstoff bestehen, ist N in dieser Form nicht Pflanze verfügbar, sondern muss erst fixiert werden.~~

2. Ammoniumfixierung

Einbau (~~Immobilisierung~~) von NH₄⁺ in Zwischenschichten der Illite

3. Mineralisation

Umwandlung von organischem Reservestickstoff in Pflanzenverfügbaren Mineralstickstoff durch mikrobiellen Abbau der organischen Bodensubstanz

4. Immobilisation

Umwandlung von pflanzenverfügbaren Mineralstickstoff in organischen Reservestickstoff durch Einbau in die Körpersubstanz von Mikroorganismen (N – Sperre)

5. Nitrifikation

Oxidation des NH₄⁺ durch nitrifizierende Bakterien über NO₂⁻ zu NO₃⁻

6. Denitrifikation

Mikrobielle Reduktion des Nitrat unter anaeroben Bedingungen zu Stickoxiden oder elementarem N₂

zu 1.: Überführung von molekularem N₂ der Atmosphäre in andere N-Bindungsformen. Dabei gibt es die physikalische N₂-Fixierung (Blitz, Verbrennung) mit dem Ergebnis Stickoxide und die biologische N₂-Fixierung mit dem Ergebnis NH₃ und sofortiger Umbau in organischen gebundenen Stickstoff.
zu 2.: Immobilisierung ist nicht wirklich falsch, kann aber zu Missverständnissen führen, da der Begriff eher wie unter 4. beschrieben benutzt wird.

22. Was versteht man unter Nitrifikation? Wo findet sie statt? Welche Einflussgrößen hierauf gibt es?

Mikrobielle Oxidation von NH_4 in 2 Teilschritten: über Nitrit (NO_2^-) zu Nitrat (NO_3^-)

- unter günstigen Bedingungen vollständige Nitrifikation innerhalb weniger Tage
- 2. Schritt meist schneller als 1. Schritt.
- Dadurch keine Anreicherung des toxischen Nitrit

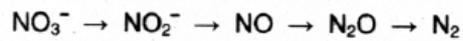
Einflussgrößen auf die Nitrifikation

- NH_4 -Angebot (NH_4 ist Ausgangssubstrat)
- Temperatur
- Bodenfeuchte } günstige Lebensbedingungen
- O_2 -Angebot
bei Überstauung keine Nitrifikation
- pH-Wert
bei $\text{pH} < 4,3$ keine Nitrifikation
- Nitrifikationshemmer (Didin, DMPP etc.)

→ findet im Boden statt

**23. Was versteht man unter Denitrifikation? Wo findet sie statt?
Welche Einflussgrößen hierauf gibt es?**

Umwandlung (Reduktion) von Nitrat durch anaerobe Bakterien in gasförmige N-Verbindungen, die in die Luft entweichen



Größenordnung:

unter normalen Kulturbedingungen 15-30 % des gedüngten Stickstoffs

Findet im Boden statt.

Einflussgrößen:

günstige Lebensbedingungen für Mikroorganismen (Temperatur, pH)

gute Energieversorgung (organische Substanz, Kohlenhydrate)

Sauerstoffmangel

Nitrat muss vorhanden sein

24. Warum spricht man auch von 'Nettomineralisation'. Was ist das C/N-Verhältnis organischer Substanz und wie beeinflusst es die Nettomineralisation?

Im Hinblick auf Stickstoff: Stickstoffmineralisation abzüglich des durch Immobilisierung wieder gebundenen Stickstoffs.

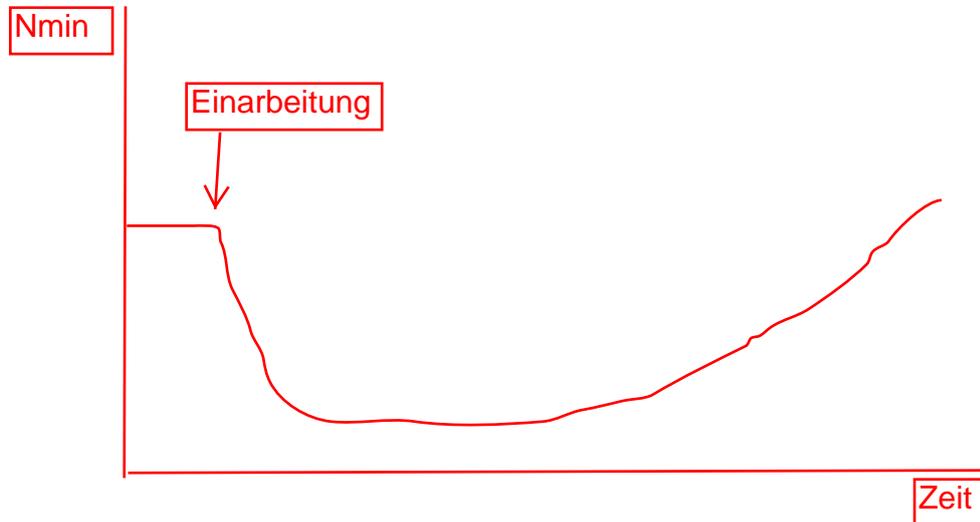
C/N ist das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff in der organischen Substanz

Je kleiner die Zahl, desto enger ist das C/N-Verhältnis und umso besser ist die Stickstoffverfügbarkeit.

C:N < ca. 25-30: gut abbaubar, Nettomineralisation

C:N > ca. 30-40: schlecht abbaubar, Nettoimmobilisation

25. Wie verändert sich der Gehalt an mineralischem N im Boden nach Einarbeitung von Stroh mit der Zeit (über Monate)? Skizze und Begründung



Stroh hat ein sehr hohes C/N-Verhältnis (ca. 100), deshalb kommt es nach der Einarbeitung zu einer schnellen Immobilisierung des Stickstoffes. Die Mikroorganismen haben durch das Stroh viel Kohlenstoff zur Verfügung, vermehren sich und nehmen den Stickstoff (der nicht aus dem Stroh kommen kann) aus dem Boden auf.

Nach einer gewissen Zeit ist der Kohlenstoff des Strohs aufgebraucht, die erhöhte mikrobieller Masse stirbt ab und wird mineralisiert, dadurch wird der vorher immobilisierte Stickstoff wieder frei.

Diese Effekt kann als N-Sperre eingesetzt werden, um die Konzentration von mineralischem N (besonders Nitrat) über Winter in Boden gering zu halten und die Auswaschungsgefahr zu senken.

26. *Unter welchen Bedingungen bildet sich Ammoniak aus Ammonium?*

Ammonium bildet ein Dissoziationsgleichgewicht mit Ammoniak. Wegen der Beteiligung eines Oxonium-Ions ist dieses Gleichgewicht vom pH-Wert abhängig. Der Anteil des Ammoniaks steigt mit zunehmendem pH-Wert und steigender Temperatur.

27. Welcher Prozess oder welche Prozesse sind nur in Gegenwart von O₂ möglich?

- Mineralisation**
- Nitrifikation**
- Ammonifikation**
- Denitrifikation**

C: Phosphat

28. Beschreiben und begründen Sie den Zusammenhang zwischen Boden-pH und Phosphatverfügbarkeit.

Phosphat in der Bodenlösung

➤ H_2PO_4^-
Dihydrogenphosphat = primäres Phosphat

➤ HPO_4^{2-}
Hydrogenphosphat = sekundäres Phosphat

} Aufnahmeformen der Pflanzen

Verhältnis von H_2PO_4^- und HPO_4^{2-} in Abhängigkeit vom pH-Wert

pH-Wert	% H_2PO_4^-	% HPO_4^{2-}
4,5	100	0
6,0	90	10
7,0	50	50
8,0	10	90

starke oder schwächere Dissoziation von Phosphaten bzw. Phosphorsäureestern:

$$\text{H}_2\text{PO}_4^- \leftrightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+ \quad (\text{pH} - \text{Senkung bzw. -Steigerung})$$

Dies ist nicht sachlich falsch, da aber beide P-Formen von der Pflanze aufgenommen werden können, ist es keine Antwort auf die Frage.

Die Phosphatverfügbarkeit im Boden steht in einer Optimumsbeziehung zum pH-Wert, wobei das Optimum ungefähr bei pH 5,5 - 6,5 liegt. Ist der pH-Wert höher, fallen die Phosphate mit Ca als Ca-Phosphate aus. Deren Löslichkeit steigt mit niedrigem und sinkt mit hohen pH-Werten. Ist der pH-Wert niedriger, wird Phosphat spezifisch an Fe-/Al-Oxide/Hydroxide sorbiert oder es fällt als Fe-/Al-Phosphat aus. Deren Löslichkeit steigt mit hohem pH-Wert und sinkt mit niedrigem pH-Wert. Wird der pH-Wert im Boden verändert, bspw. durch Kalkung erhöht, werden zwar Fe-/Al-Phosphate frei, die aber wieder als Ca-P ausgefällt werden können. Aus diesen beiden gegenläufigen Beziehungen zum pH ergibt sich ein Optimum, das je nach Boden im oben genannten Bereich liegt.

**29. Woran wird Phosphat spezifisch und unspezifisch sorbiert?
Welche Sorptionsform hat die größere Bedeutung?**

Unspezifische Sorption

- erhöht unter sauren Bedingungen
- locker adsorbiert an positiv geladene Austauscher durch elektrostatische Anziehung
- steht in Konkurrenz zu anderen Anionen
- **mengenmäßig geringe Bedeutung**

spezifische Sorption

- fest adsorbiert an Fe- und Al-Oxide/Hydroxide durch Austausch von Liganden (OH⁻, H₂O, Citrat)
- unter sauren Bedingungen
- Konkurrenz zu Silikat, Molybdat und organischen Anionen
- **große Bedeutung**

30. Warum ist der Massenfluss für Phosphat von niedriger Bedeutung?

~~Nährstoffe zur Wurzel gelangen können.~~

~~Phosphor wird z. B. überwiegend durch Ausscheiden von organischen Säuren durch die Wurzeln aus Phosphat verfügbar gemacht.~~

~~Die Haarwurzeln müssen somit in der Lage sein, den Boden leicht zu durchdringen, d.h. der Boden muss ausreichend locker und porös sein.~~

~~Kalium hingegen erfordert einen hohen Massenfluss, d.h. Wassertransport in nur mit Wasser gesättigtem Boden, da Kalium zusammen mit Wasser aufgenommen wird.~~

Der Massenfluss errechnet sich aus dem Wasserfluss zur Wurzel und der Konzentration des betroffenen Nährstoffs in der Bodenlösung (siehe oben). Da die P-Konzentration in der Bodenlösung sehr niedrig ist, findet kaum Massenfluss statt.

31. Warum werden im Jahr der Anwendung nur 5 bis 20 % eines wasserlöslichen P – Düngers von den Pflanzen genutzt, langfristig ist die Ausnutzung jedoch 100 %.

~~Eine P-Düngung zielt eher auf den Boden, als direkt auf die Pflanze.~~

~~Dies ermöglicht eine Fruchtfolgedüngung.~~

Aussage ist richtig, aber keine Antwort auf die Frage.

Wie bereits oben gesehen, ist die Ausdehnung der Verarmungszone für P sehr gering, nämlich im Bereich von 1-2 mm. Nur dieses Bodenvolumen (1-2 mm um die einzelne Wurzel herum) kann von der Pflanze ausgeschöpft werden, weiter entfernt liegendes Phosphat ist räumlich nicht zugänglich (obwohl es chemisch pflanzenverfügbar wäre, da in der Frage von wasserlöslichem Phosphat ausgegangen wurde). Summiert man die Verarmungszonen über das gesamte Wurzelsystem, kommt man für viele Pflanzenarten auf ca. 5-20% des gesamten Bodenvolumens, d.h. nur ca. 5-20% des Phosphates ist in einem Jahr räumlich zugänglich.

Da P nicht ausgewaschen wird, verbleibt es im Boden. Im Folgejahr wachsen die Wurzeln in andere Bodenbereiche und können sich somit das dort vorhandene P räumlich verfügbar machen. Über mehrere Vegetationsperioden kann deswegen alles (chemisch verfügbare) P genutzt werden.

32. Für optimales Wachstum muss der chemisch verfügbare P-Vorrat im Boden viel höher als der Bedarf der Pflanzen sein, dagegen reicht bei N ein Vorrat in Höhe des Bedarfs aus. Warum ist das so?

Vergleich der Verfügbarkeit von Nitrat und Phosphat

chemische Verfügbarkeit:

- Alles Nitrat (N_{\min}) ist gelöst und damit chemisch verfügbar
- nur ein sehr kleiner Teil des P ist gelöst, wenig ist sorbiert, das meiste in nicht bekannten Bindungsformen
 - chemische Verfügbarkeit für die Pflanze ist nicht exakt quantifizierbar

räumliche Verfügbarkeit

- Diffusionsstrecken von Nitrat liegen im cm-Bereich
 - alles Nitrat im Wurzelbereich ist räumlich verfügbar
- Die Diffusionsstrecken von Phosphat liegen im mm-Bereich
 - nur ein geringer Teil des P im Wurzelbereich ist räumlich verfügbar

→ Eine P_{\min} -Methode würde nicht funktionieren

auch hier stimmt die Aussage, passt aber nicht wirklich zur Frage.

Die Antwort ist die logische Konsequenz aus der vorherigen Antwort. Wenn nur 5-20% des P räumlich verfügbar sind, muss der gesamte chemisch verfügbare P-Vorrat im Boden deutlich höher sein als der pflanzliche Bedarf, denn sie kann ja nur Teile davon wirklich nutzen.

Nitrat hat weite Diffusionsstrecken (cm-Bereich), d.h. es ist vollständig chemisch und räumlich verfügbar. Deshalb reicht ein Angebot in der Größenordnung des Bedarfs.

D: Kalium etc.

33. Kalium im Boden: Nennen Sie drei K-Fractionen im Boden und charakterisieren Sie deren Zugänglichkeit für die Pflanzen.

Fraktionen: Austauschbares Kalium
Geht schnell in die Bodenlösung

Spezifisch gebundenes Kalium
Kann erst nach Aufweitung der Zwischenschichten freigesetzt werden

K – Fixierung
Spezifisch gebundenes K wird gebunden

gelöstes K - direkt von der Pflanze aufnehmbar
austauschbar gebundenes K = an Tonmineraloberflächen
sorbirtes K - geht schnell in die Bodenlösung, d.h schnell
verfügbar
nicht austauschbar gebundenes K = fixiertes K = Zwischenschicht
K - kann bei Aufweiten der Zwischenschichten in die Bodenlösung
gelangen und ist deswegen langsam pflanzenverfügbar
Gitter-Kalium = in Kristallgittern von bspw. Feldspäten festgelegt -
wird erst bei Verwitterung der Kristalle frei, nicht verfügbar

34. Was ist austauschbares Kalium und was ist nicht austauschbares Kalium? Wie ist ihre Nutzung durch die Pflanze?

Austauschbares Kalium geht sehr schnell in die Bodenlösung
Menge des austauschbaren K steigt mit der K – Konzentration der Bodenlösung an

Der K – Vorrat für die Pflanze beschränkt sich nicht auf die geringen Mengen in der Bodenlösung und das austauschbare Kalium. Erniedrigt die Pflanzenwurzel die K – Konzentration in der Rhizosphäre – so baut sie Konzentrationsgradienten auf, der den K – Fluss aus dem austauschbaren und aus dem nicht austauschbaren Vorrat im Schichtzwischenraum von Glimmern und Illiten erhöht.

austauschbares K (per Definition NH_4 -Acetat austauschbares K) ist das an Ober- und Seitenflächen von Tonmineralen sorbierte K.

nichtaustauschbares K ist größtenteils das in Zwischenschichten der Tonminerale 'gefangene' K.

Beide Formen sind pflanzenverfügbar, das austauschbare sehr schnell und direkt, das nichtaustauschbare wird bei geringen K-Konzentrationen, wie sie durch die pflanzliche Aufnahme entstehen können, freigesetzt.

35. Diskutieren Sie die Ursachen einer geringeren K-Aufnahme in einem trockenen gegenüber einem feuchten Jahr.

Die K-Aufnahme, besonders die Aufnahme aus der nicht austauschbaren K-Fraktion, wird durch das trockene Bodenmedium behindert. In einem feuchten Jahr ist die Lösung im Boden weit aus höher und das K kann besser aufgenommen werden.

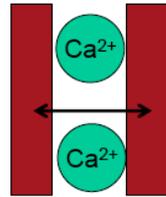
Trockenheit vermindert K-Transport zur Pflanze. Siehe Diffusionsgleichung: $F_D = D_e \frac{dc}{dx}$ und $D_e = D_L \cdot f(\theta)$ (θ ist Bodenfeuchte). Dies hat zur Folge, dass bei Trockenheit D_e kleiner wird, also der Konzentrationsgradient (dC/dx) größer werden muss um F_D möglichst hoch zu halten. Der Konz.gradient kann aber nur erhöht werden, wenn die Konzentration an der Wurzeloberfläche stärker absinkt. Eine niedrige Konzentrationen der Wurzeloberfläche führt zu geringeren Aufnahmeraten.

Ein zweiter Effekt liegt in der Ausdehnung der Verarmungszonen ($x = \sqrt{D_e \cdot t}$), die bei Trockenheit ebenfalls kleiner ist. Damit kann die Wurzel nur noch ein kleineres Bodenvolumen ausschöpfen.

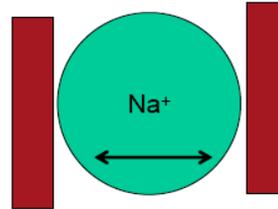
Darüber hinaus (wie oben beschrieben) ist die Quellung der Zwischenschichten vermindert und die Freisetzung nichtaustauschbaren Kaliums behindert.

36. Erklären Sie die Bedeutung von Ca für das Bodengefüge.

Flockung durch
Van der Waals Kräfte
Anziehung nur über kurze Distanz



geflockt
geringer Radius des
hydratisierten Ions



dispergiert
großer Radius des
hydratisierten Ions

37. Was beeinflusst die Fe-Verfügbarkeit im Boden?

Unter aeroben Bedingungen meist Fe(III)-Oxide und Fe-Silicate
z.B. Goethit, Haematit - sehr stabile Verbindungen
amorphe, sekundäre Minerale sind etwas besser löslich

Organomineralische Komplexe können Fe(III) in Lösung halten
Unter anaeroben Bedingungen meist Fe(II)
Fe(II) ist relativ gut löslich
Aufnahme in die Pflanze als Fe(II) oder Fe(III)-Komplex (Gräser)

auch der pH-Wert hat einen Effekt. Unter sauren Bedingungen ist die Löslichkeit von Fe erhöht.

38. In welcher/welchen Form(en) wird Fe von den Pflanzen aufgenommen?

Aufnahme in die Pflanze als Fe(II) oder

Fe(III)-Komplex (Gräser)

E: Düngbedarfsermittlung

39. Was bedeuten die Begriffe

1. **Nährstoffbedarf**
2. **Nährstoffentzug**
3. **Nährstoffabfuhr**

Erklären Sie, an welcher dieser Größen sich die Düngbedarfsermittlung für N und P orientiert.

1. **Nährstoffbedarf**

- Nährstoffbedarf der Kultur ist diejenige Menge an Nährstoff, die zur Erreichung des Produktionsziels nötig ist
- Nährstoffmenge im Aufwuchs (Wurzeln und Sproß)

2. **Nährstoffentzug**

- Der Nährstoffentzug gibt an, wie viel eines Nährstoffes sich zu einem Zeitpunkt im Aufwuchs befindet

3. **Nährstoffabfuhr**

- Nährstoffabfuhr ist die mit dem Erntegut vom Feld abgefahrene Nährstoffmenge.

~~Die zur Deckung des Nährstoffbedarfes einer Kultur notwendige Düngemenge.~~

~~Einflussgrößen:~~

- ~~• Nährstoffbedarf der Kultur~~
- ~~• verfügbarer Nährstoffgehalt im Boden~~
- ~~• Freisetzung und Festlegung von Nährstoffen im Boden~~
- ~~• Einträge und nicht vermeidbare Verluste~~
- ~~• notwendiger Nährstoffrest im Boden zur Ernte~~

nicht falsch, aber keine Antwort.

N-Düngung orientiert sich Bedarf. Alles mineralische N im Boden ist pflanzenverfügbar, aber auch verlustgefährdet (Auswaschung, Denitrifikation). Deswegen sollte nicht mehr gedüngt werden als zur Bedarfsdeckung nötig. P-Düngung orientiert sich an der Abfuhr. Die Pflanze nimmt hauptsächlich bodeneigenes P auf, die Düngung hat i.d.R. das Ziel dieses zu ersetzen.

40. In der Stickstoffdüngedbedarfsermittlung mit der N_{min} -Methode kann der gesamte gemessene mineralische Bodenstickstoff auf die Düngung angerechnet werden. Bei der Ermittlung der P-Düngehöhe funktioniert ein entsprechendes Verfahren nicht. Erklären Sie kurz warum.

räumliche Verfügbarkeit

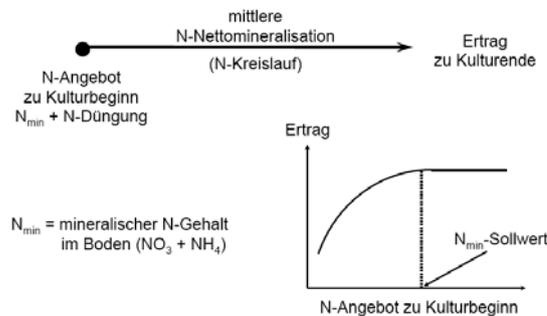
- Diffusionsstrecken von Nitrat liegen im cm-Bereich
- alles Nitrat im Wurzelbereich ist räumlich verfügbar
- Die Diffusionsstrecken von Phosphat liegen im mm-Bereich
- nur ein geringer Teil des P im Wurzelbereich ist räumlich verfügbar

→ Eine P_{min} -Methode würde nicht funktionieren

neben der räumlichen unterscheidet sich auch die chemische Verfügbarkeit. Das gesamte N_{min} ist chemisch verfügbar. Phosphat ist in vielfachen Bindungsformen im Boden, deren chemische Verfügbarkeit (Löslichkeit) nicht analysiert und quantifiziert werden kann.

41. Das N_{min} -Sollwertsystem dient zur Bestimmung des N-Düngebedarfs. Bitte erklären Sie:

1. was genau stellt der N_{min} -Sollwert dar und wie wird er ermittelt



Der N_{min} -Sollwert ist das N-Angebot, das zu Vegetationsbeginn eingestellt werden muss, damit zu Kulturende das Produktionsziel erreicht wird. Ermittelt wird er in zahlreichen Feldversuchen nach nebenstehendem Schema.

2. wie wird der Düngebedarf im N_{min} -Sollwertsystem ermittelt

- Probenahme
- Extraktion
- Analyse von NO_3^- und NH_4^+ im Filtrat
- Ergebnis: kg N_{min} /ha je untersuchter Schicht (N_{min} = mineralischer Stickstoff = $NO_3^- + NH_4^+$)

Düngebedarf = N_{min} -Sollwert - N_{min} -Gehalt im Boden (ermittelt wie nebenstehend)

3. was ist der N-Bedarf einer Kultur, was ist der Düngebedarf

- Die zur Deckung des Stickstoffbedarfs einer Kultur notwendige Menge.
- Die zur Deckung des Nährstoffbedarfes einer Kultur notwendige Düngemenge.

4. warum entspricht der N_{min} -Sollwert selten dem N-Bedarf

~~N -Düngebedarf = Sollwert (kg/ha) - N_{min} (kg/ha)~~

gehört als Antwort zu 2.

- ~~Der Sollwert wurde in Feld-Düngungsversuchen ermittelt. Diese Versuche dauern an, um Veränderungen im Produktionsverfahren zu erfassen.~~
- Der Sollwert berücksichtigt eine mittlere Nettomineralisation während der Vegetation.
- Je nach Bedingungen muss der Sollwert etwas nach unten oder nach oben korrigiert werden.

Teilantwort zu 1.

zu 3. Der N-Bedarf einer Kultur ist die N-Menge, die eine Kultur aufnehmen muss, um ihr Produktionsziel zu erreichen.

Der Düngebedarf ist die N-Menge, die gedüngt werden muss, um das Produktionsziel zu erreichen.

zu 4. Der Sollwert ist das empfohlene N-Angebot zu Vegetationsbeginn. Bis zur Ernte findet im Boden ein Stickstoffumsatz statt, meist eine Nettomineralisation, die ebenfalls zur Bedarfsdeckung dient (Sollwert < Bedarf).

Bei sehr kurzen Gemüsekulturen wird häufig ein hoher N_{min} -Rest im Boden zur Ernte gefordert. Dieser N_{min} -Rest ist nicht Teil des N-Bedarfes, wird aber im Sollwert berücksichtigt (Sollwert > Bedarf)

42. Was ist der N_{min} -Restwert und warum ist er höher bei Spinat als bei Weizen?

Der N_{min} -Restwert, ist der Gehalt an mineralischem Stickstoff, der nach der Ernte im Boden verbleibt. Er sollte möglichst gering sein. Spinat wird zur Zeit des stärksten Wachstums (kurz vor dem Schossen) geerntet und hat zu diesem Zeitpunkt den höchsten täglichen N-Bedarf. Wird dieser nicht gedeckt, neigt Spinat sehr schnell zu N-Mangelsymptomen und ist nicht mehr vermarktungsfähig. Deshalb ist zum Zeitpunkt der Ernte meist noch ein hoher N_{min} -Gehalt im Boden, um dies zu vermeiden. Weizen schließt vor der Ernte vollständig mit seiner Nährstoffaufnahme ab. Es muss also kein 'N-Reservoir' im Boden vorgehalten werden.

43. Wonach richtet sich die Probenahmetiefe bei der N_{min} -Bestimmung?

Aus 0 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm Tiefe je nach Wurzeltiefe der Pflanzenart

44. Warum kann der N_{min} -Vorrat eines Bodens auch im Unterboden nahezu voll ausgeschöpft werden?

~~Synthetisch herstellbar und daher unendlich verfügbar.~~

Nitrat wird über weite Strecken zur Wurzel transportiert, d.h. es reichen schon wenige Wurzeln aus, wie sie im Unterboden noch vorhanden sind, um den Boden vollständig zu entleeren.

45. Was kann zu einer betriebseigenen Anpassung des N_{min} -Sollwertes führen?

Der Sollwert wird in vielen Feldversuchen ermittelt (s.o.), d.h. er basiert auf mittleren Ertragserwartungen und Mineralisationsbedingungen. Eine Anpassung muss vorgenommen werden, wenn von diesen mittleren Bedingungen abgewichen wird, also bspw:

- deutlich geringere oder höhere Ertragserwartungen
- langjährige Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (erhöhtes Mineralisationspotential)
- keine Wirtschaftsdünger (geringeres Mineralisationspotential)
- schnelle oder langsame Bodenerwärmung (frühe bzw. späte Mineralisation)
- Viele Ernterückstände durch Vorfrucht (erhöhte Mineralisation)

46. Welche Möglichkeiten gibt es den S-Düngebedarf zu ermitteln? Bitte nur Stichworte.

Schätzrahmen der BASF
Standorteigenschaften

Witterung

Bewirtschaftung

Düngung

theoretisch auch das Smin-Sollwertsystem. Funktioniert aber nicht so gut wie bei Stickstoff.

47. Worauf basiert der Schätzrahmen für die Notwendigkeit einer S-Düngung? Geben Sie einige Faktoren an und geben Sie auch eine Begründung dafür an.

Standorteigenschaften

- Bodenart
- Humusgehalt
- Verfügbarer Wurzelraum
- Strukturschäden
- Nmin – Gehalt zu Vegetationsbeginn im Vergleich

Witterung

Bewirtschaftung

- Schwefelzehrende Kulturen in der Fruchtfolge
- In diesem Jahr angebaute Kulturen
- Schwefelmangel bereits aufgetreten
- Ertragsniveau (dt/ha)
- Zwischenfruchtbau im letzten Herbst/Winter

Düngung

- Einsatz organischer Dünger aus Tierhaltung
- In den letzten 3 Jahren Einsatz nennenswerter Schwefel – Mengen aus Mineraldüngern

48. Welches Prinzip liegt der P-Extraktion mit der CAL-Lösung zu Grunde?

Mit der CAL-Methode bestimmt man die P-Versorgung durch Nachahmung der Phosphoraufnahme von Wurzeln.

Es werden daher die pflanzenverfügbaren Ionen in die Lösung freigesetzt. Mit Hilfe einer mit Essigsäure angesäuerten Lactat-Acetat-Lösung (pH 3,5) werden Phosphationen aus den Austauschern freigesetzt. Das geschieht beim Phosphat durch Austausch mit Lactationen oder H^+ .

und durch den niedrigen pH-Wert werden auch Ca-Phosphate in Lösung gebracht.

49. Was bedeutet 'Gehaltsklasse A' eines Bodens für die P-Düngung? (5 Punkte)

- Die Gehaltsklasse hat keine Bedeutung für
Düngebedarfsermittlung
der Boden hat einen optimalen P-Gehalt. Ich düngte nur
die abgefahrene P – Menge (Erhaltungsdüngung)***
- X *der P-Gehalt ist zu niedrig. Ich düngte die doppelte
abgefahrene P-Menge, um ihn zu erhöhen.
der P-Gehalt ist sehr hoch. Ich brauche nicht zu düngen.***

50. Versuchen Sie die „Gehaltsklasse C“ inhaltlich zu beschreiben oder zu definieren!

- der Boden hat einen optimalen P-Gehalt.
- Ich düngte nur die abgefahrene P – Menge
 - (Erhaltungsdüngung)

optimal heißt, dass der Boden genug verfügbares P enthält, damit sich die Pflanze ausschließlich aus bodeneigenem P versorgen kann.

51. Wie begründen Sie, dass die Erhaltungsdüngung für P gleich der P-Abfuhr vom Feld ist?

nur ein sehr kleiner Teil des P ist gelöst, wenig ist sorbiert, das meiste in nicht bekannten Bindungsformen

Einstellen eines guten Versorgungszustandes des Bodens, so dass sich die Pflanzen ausschließlich vom Boden – P ernähren können.

Erhalten dieses Versorgungszustandes. Eine P-Düngung zielt eher auf den Boden,
als direkt auf die Pflanze.
Dies ermöglicht eine Fruchtfolgedüngung.

Erhaltungsdüngung heißt, dass der Versorgungszustand des Bodens erhalten werden soll, d.h. alle Verluste müssen ersetzt werden. Da P fest gebunden ist findet keine Auswaschung statt. Es gibt auch keine Gasphase, also sind gasförmige Verluste ebenfalls nicht möglich. Bei Böden in Gehaltsklasse C findet auch keine nennenswerte P-Alterung statt, d.h. Überführung von P in sehr feste, nicht mehr verfügbare Bindungsformen. Der einzige nennenswerte Verlust ist die P-Menge, die mit dem Erntegut abgefahren wird.

52. Warum wäre eine Erhaltungsdüngung auf einem Boden in Gehaltsklasse A niedriger als in Gehaltsklasse C? (Bitte die Erhaltungsdüngung nicht mit der empfohlenen Düngung verwechseln.)

Erhaltungsdüngung umfasst die Nährstoffmenge, die erforderlich ist, um den Bodennährstoffgehalt in der Gehaltsklasse C zu erhalten. Sie entspricht bei Phosphat in der Regel dem Nettoentzug,

Die Versorgungsstufe ist in der Gehaltsklasse viel geringer als in der Gehaltsklasse C.

Gehaltsklasse	mg P ₂ O ₅ /100 g Boden	
	Bodenart für Acker und Grünland	
	S, IS, sU, ssL, IU, sL, uL, L	utL, tL, T, flachgründiger Sand
A (sehr niedrig)	bis 3	bis 5
B (niedrig)	4 – 9	6 – 13
C (anzustreben)	10 – 18	14 – 24
D (hoch)	19 – 32	25 – 38
E (sehr hoch)	ab 33	ab 39

Erhaltungsdüngung bei P heißt, es wird die P-Abfuhr ersetzt, um den Versorgungszustand des Bodens zu erhalten. Da in Gehaltsklasse A mit geringeren Erträgen und damit auch mit geringeren Abfuhr zu rechnen ist, wäre die Erhaltungsdüngung niedriger als in GK C.

53. Was beeinflusst maßgeblich die Höhe der P-Abfuhr vom Feld?

- die Menge der Ernterückständen*
- x der Ertrag*
- ~~*x*~~ *Der P – Gehalt in der Pflanze*
- die P-Düngung*
- die P-Abfuhr ist in der Düngeverordnung festgelegt.*

Der maßgebliche Einflussfaktor ist der Ertrag, da sich die P.Gehalte zwischen den Pflanzenarten nur wenig unterscheidet.

54. Warum ist der K-Gehalt des Bodens in Gehaltsklasse C unterschiedlich, je nach Bodenart?

Nur bei guter Kaliversorgung des Bodens ist ein für die Pflanze ausreichender Gehalt in der Bodenlösung sichergestellt.

Diese austauschbare Kalimenge wird durch die Bodenuntersuchung festgestellt und nach Versorgungsstufen (A bis E) bewertet.

~~Der anzustrebende Bodenvorrat an Kalium richtet sich nach der Kulturart, die innerhalb der Fruchtfolge die höchsten Nährstoffansprüche hat, z.B. Zuckerrüben, Kartoffeln, Körnererbsen, Feldgemüse und Mais.~~

Das Sorptionsgleichgewicht von K hängt stark von der Anzahl der Bindungsplätze, d.h. Art und Menge der Tonminerale, ab. Die Pflanzen brauchen eine gewisse K-Konzentration in der Bodenlösung, die bei hohem Tonmineralanteil nur durch eine hohe Menge an sorbiertem K aufrecht gehalten werden kann. Die Extraktionsmethoden zur Bodenuntersuchung erfassen Teile des sorbierten K mit. Deshalb sind die notwendigen K-Gehalte im Boden vom Tonmineralanteil des Bodens abhängig.

55. Warum ist die Düngebedarfsermittlung mittels der Bodenuntersuchung nicht sehr treffsicher?

Düngebedarf ist die Nährstoffmenge, die ergänzend zu den verfügbaren Nährstoffen

aus dem Bodenvorrat und den Ernterückständen gedüngt werden muss.

Der Düngebedarf ist u.a. von

- Standortfaktoren,
- Witterung,
- Bewirtschaftungsintensität
- und genetischer Veranlagung der Sorte abhängig.
- Verluste durch Ausgasung,
- Auswaschung und
- Festlegung müssen berücksichtigt werden.

Aus diesem Grund kann der Düngebedarf bei Stickstoff, Kalium und Magnesium mehr oder weniger deutlich über dem Entzug liegen. Bei Phosphat, Kali und Magnesium ist bei der Bestimmung des Düngebedarfs die Gehaltsklasse C anzustreben bzw. sicherzustellen.

Die Nährstoffe liegen im Boden in sehr unterschiedlichen Bindungsformen vor, die eine große Variationsbreite an Löslichkeit besitzen. Die Pflanzen können hierauf Einfluss nehmen und in unterschiedlichem Maße Nährstoffe verfügbar machen. Dies lässt sich durch eine chemische Extraktionsmethode nicht simulieren. Die Bodenuntersuchungen geben also nur einen sehr groben Hinweis auf die verfügbare Nährstoffmenge.

56. **Gehaltsangaben zu Phosphat und Kalium werden teilweise in Elementform und teilweise in Oxidform gemacht. Leiten Sie die Faktoren her, um von der Oxidform auf die Elementform umzurechnen (O=16, P=31, K=39).**

(O=16, P=31, K=39) relative Atommasse der jeweiligen Elemente

Elementarform:

Sauerstoff (2 • 8) O₂

Phosphor (2 • 15) P₂

Kalium (2 • 19) K₂

|→ Protonenanzahl

Hierfür brauchen wir das Verhältnis der Molekulargewichte:

Oxidform für P ist P₂O₅ Molekulargewicht 2•31 + 5•16 = 142

Im Oxid ist P zweimal enthalten, also das Verhältnis ist

$P_2/P_2O_5 = 62/142 = 0,44$.

Der Umrechnungsfaktor von der Oxidform auf die Elementform ist 0,44.

Für Kalium entsprechend:

K₂O Gewicht: 2•39+16 = 94

Verhältnis: $K_2/K_2O = 78/94 = 0,83$

57. Vor- und Nachteile der Pflanzenanalyse zur Düngebedarfsermittlung.

Vorteile

- gibt den tatsächlichen Ernährungszustand der Pflanze wieder

Probleme / Nachteile

- keine Information über Nährstoffvorrat im Boden
- kein konkreter Düngebedarf ableitbar
- Laboranalysen dauern zu lange
- häufige Wiederholung notwendig

Fazit

- kann Bodenanalyse ergänzen, aber nicht ersetzen

F: Dünger

58. Nennen Sie je zwei Dünger und die entsprechende Summenformel der Nährstoffverbindung für:

Nährstoff	Dünger	Dünger
Stickstoff	Ammoniakgas NH_3	Natronsalpeter NaNO_3
Phosphor	Thomasphosphat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}_2\text{SiO}_4$	Rhenianphosphat $\text{CaNaPO}_4 \cdot \text{Ca}_2\text{SiO}_4$
Kalium	Kaliumsulfat 93% K_2SO_4	Kalimagnesia $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$
Calcium	Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Calciumchlorid CaCl_2
Schwefel	Ammonsulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Kaliumsulfat K_2SO_4

Die genannten Stickstoffdünger sind nicht falsch aber ungebräuchlich. Besser wären bspw. das unter Schwefel stehende Ammonsulfat (schwefelsaurer Ammoniak) und Kalksalpeter ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$).
Auch Rhenianphosphat gibt es derzeit nicht, besser Tripelsuperphosphat ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$).

59. Schreiben Sie folgende Summenformeln auf:

Ammoniumnitrat	NH_4NO_3
Ammoniumsulfat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Borsäure	H_3BO_3
Branntkalk	CaO
Calciumchlorid	CaCl_2
Calciumnitrat	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Calciumdihydrogenphosphat	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
Calciumhydrogenphosphat	CaHPO_4
Dolomit	$\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$
Eisen-III-oxid	Fe_2O_3
Eisen-3- Phosphat	$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Harnstoff	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
Kaliumsulfat	K_2SO_4
Kohlensaurer Kalk	CaCO_3
Kupfersulfat	CuSO_4
Löschkalk	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Magnesiumsulfat	MgSO_4
Orthophosphorsäure	H_3PO_4
Phosphorsäure	H_3PO_4
Phosphorverbindung im Superphosphat	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
Salpetersäure	HNO_3
schwefelsaurer Ammoniak	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
schwefelsaures Kali	K_2SO_4
Schwefelsäure	H_2SO_4
Schwefelwasserstoff	H_2S
Zinksulfat	ZnSO_4

60. **Warum wirkt Ammoniumdünger versauernd?**

Weil es ein Salz von Ammoniak und Schwefelsäure und beim einlassen in Wasser schwach sauer reagiert.

wichtiger ist:

- 1.) Ladungsgleichgewicht bei der Nährstoffaufnahme muss gewahrt bleiben. Wenn Pflanzen Stickstoff als Kation (NH_4^+) aufnehmen, übersteigt die gesamte Kationenaufnahme die Anionenaufnahme. Um einen Ladungsausgleich zu schaffen scheiden die Wurzeln H^+ -Ionen aus, die den Boden versauern.
- 2.) Ammonium wird im Boden normalerweise schnell nitrifiziert. Hierbei werden pro Molekül Ammonium 2 Protonen frei.

61. Warum wird $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ als ein physiologisch saures Düngemittel bezeichnet?

Der Dünger beeinflusst den Ph – Wert des Bodens in Richtung sauer.

siehe Frage 60.

Die Ausschüttung von Protonen durch die Wurzel als Reaktion auf die NH_4 -Aufnahme ist eine physiologische Reaktion.

62. Welche chemische P-Verbindung enthält Superphosphat?

- X $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
- $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
- P_2O_5
- H_3PO_4
- $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

63. Woraus besteht Rohphosphatdünger und wie wird er hergestellt?

~~Ca(H₂PO₄)₂, CaHPO₄~~, Apatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3[\text{OH}, \text{F}, \text{Cl}]$

Rohphosphatdünger ist nicht chemisch oder thermisch aufgeschlossen und verfügt somit über schwermobilisierbare Phosphatverbindungen, die langfristig wirken. Feuchte, saure oder warme Böden sind am besten in der Lage, diesen Dünger zu nutzen, d.h. aufzuschließen.

Apatit wird bergmännisch abgebaut.
Herstellung durch physikalischen Aufschluss, d.h. feines Vermahlen.

64. Die Wirksamkeit von Rohphosphat ist optimal ...

im alkalischen Bereich

im neutralen Bereich

X *im sauren Bereich*

unabhängig vom pH-Wert

65. Was enthält das Düngemittel „Kalk-Ammon-Salpeter“ (KAS)?
Bitte ankreuzen:

- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- X CaCO_3
- X NH_4NO_3
- N_2O
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
- $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- $\text{HNO}_3 + \text{CaO}$

66. **Die Nutzung von Rohphosphat durch Leguminosen ist**

Optimal bei NO_3 -Ernährung weil sie keine Energie für die N_2 -Bindung aufwenden müssen.

Optimal bei N_2 -Bindung aus der Luft, weil dann die Rhizosphäre versauert wird und dadurch Rohphosphat gelöst wird.

Optimal bei N_2 -Bindung aus der Luft, weil die Rhizobien bei der N_2 -Fixierung H^+ abgeben, die das Rohphosphat lösen.

Optimal bei NH_4 -Ernährung, weil die Leguminose keine Energie für die N_2 -Bindung aufwenden muss.

Die Nutzung von Rohphosphat wäre bei NH_4 -Ernährung optimal, aber die Begründung ist falsch. Es liegt nicht am Energiehaushalt, sondern daran, dass die Bodenversauerung bei NH_4 noch stärker ist als bei N_2 -Bindung. Das heißt, richtige Antwort und richtige Begründung nur bei Antwort 2

67. Welche unterschiedlichen Aufschlussverfahren gibt es bei der P – Düngemittelherstellung? Nennen Sie jeweils auch einen Dünger.

Verfahren	Dünger
Mechanischer Aufschluss	Apatit
Chemischer Aufschluss	Superphosphat

Rohphosphat (Apatit ist der Mineralname)

thermischer Aufschluss - Thomasphosphat oder Rhenaniaphosphat

68. Wie könnte man erklären, dass unter gewissen Bedingungen, z.B. niedriger pH-Wert und niedrige P-Verfügbarkeit, Rohphosphate wirksamer sind als wasserlösliche Phosphate?

Wie beim Thomasphosphat liegt der Begleitstoffanteil von CaO bei 45 %. Darum ist die Verwendung, wie beim Thomasphosphat, auf sauren Böden besonders günstig. Die Mobilisierungsbedingungen des Düngers sind umso besser, je niedriger der pH-Wert, je besser die Durchfeuchtung und je höher die Temperatur ist.

Die Antwort zielt auf positive Effekte des Rohphosphat auf den pH-Wert unter sauren Bedingungen. Dies ist zwar richtig, beantwortet aber nicht die bessere Wirksamkeit als P-Dünger.

Niedriger pH-Wert und niedrige P-Verfügbarkeit deuten auf einem Boden mit starker P-Fixierungsleistung hin. Bei Ausbringung eines wasserlöslichen P-Düngers geht dieser zwar schnell in Lösung, das Phosphat wird aber schnell in wenig bis nichtverfügbare Bindungsformen festgelegt. Die Düngewirkung ist also nur sehr kurzfristig.

Rohphosphat löst sich bei niedrigen pH-Werten langsam. Auch dieses P wird schnell festgelegt, aber wegen der langsamen Freisetzung aus dem Dünger wird die P-Konzentration in der Bodenlösung zwar nur ein wenig, dafür aber über einen langen Zeitraum angehoben. Die Pflanze kann also über einen längeren Zeitraum von der Düngung profitieren.

69. Welches Kaliumsalz enthält 60er Kali? Wie hoch ist der K_2O - bzw. K-Gehalt in 60er Kali?

KCl und NaCl

NaCl ist kein Kaliumsalz

K_2O – Gehalt: 60%

K – Gehalt: 50%

70. Warum gibt es kein 70er Kali?

Das Produkt hat eine Reinheit von etwa 93 Prozent KCl. Dieses wird als sogenannter 60er Kali als Dünger verwendet; darin ist der Kaliumanteil gleich groß wie in einem 60 Prozent K_2O enthaltenden Düngemittel. Das hochreine 99er Kaliumchlorid oder Industriekali findet in der chemischen Industrie und Medizin Verwendung.

71. Nennen Sie einige Kriterien zur Auswahl mineralischer Dünger.

Kriterien für die Auswahl mineralischer N-Dünger

- Beeinflussung des pH-Wertes
- Wirkung der N-Form auf Ertrag und Qualität
- ~~Wirkungsgeschwindigkeit~~ ist bei N-Düngern nicht sehr unterschiedlich
- Nebenwirkungen
- Preis und arbeitswirtschaftliche Gesichtspunkte

weitere Kriterien - auch für andere Dünger:

Löslichkeit

Nebenbestandteile bspw. noch weitere Nährstoffe

Wirkungsgeschwindigkeit (kann bei anderen als N-Düngern bedeutsam sein)

72. Sie wollen eine Ca-Düngung ausbringen, ohne den pH-Wert zu beeinflussen. Welche(s) Düngesalz(e) können Sie nutzen?

- CaCO₃**
- CaO**
- CaSO₄**
- CaCl₂**
- Ca(OH)₂**