

# Pflanzenernährung

## Ernährung – Wachstum – Ernte

**Nur wenn die verschiedenen Pflanzennährstoffe alle ausreichend vorhanden sind, können sich die Pflanzen optimal entwickeln und hohe Erträge sowie Ernteprodukte mit guter Qualität hervorbringen. Düngung ist dabei die zentrale Stellgröße, denn sie ersetzt Nährstoffe, die dem Acker durch die Ernte entzogen werden. Dieser Unterrichtsbaustein bietet einen Einblick in das Thema Pflanzenernährung. Er basiert auf der Informationsserie Ernährung – Wachstum – Ernte, die der Fonds der Chemischen Industrie gemeinsam mit dem Industrieverband Agrar e.V. herausgibt.**

### Sachinformation:

#### Wachstumsfaktoren der Pflanzen

Um zu wachsen, benötigen Pflanzen Sonnenlicht, Wärme, Wasser, Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff und mineralische Nährstoffe. Sie erzeugen Biomasse, die uns als Nahrung, Rohstoff oder zur Energiegewinnung dient. Sobald ein Wachstumsfaktor nicht ausreichend vorhanden ist, kommen Wachstum und Entwicklung der Pflanzen zum Stillstand. Jede Pflanzenart stellt ihre eigenen Ansprüche an Lebensraum, Temperatur, Wasser und Nährstoffe. Je besser diese erfüllt werden, desto besser ist die Entwicklung. Der Landwirt versucht, die Wachstumsbedingungen möglichst optimal zu gestalten. Dazu gehören Bodenbearbeitung, bedarfsgerechte Düngung und Schutz vor Unkräutern, Krankheiten und Schädlingen.

#### Bodenfruchtbarkeit

Fruchtbare Böden sind die Lebensgrundlage für Pflanzen und damit auch für Tiere und Menschen. Aber was bedeutet „Bodenfruchtbarkeit“ eigentlich? Ein fruchtbarer Boden muss genügend Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stellen. Gleichzeitig muss er gut durchlüftet und von den Pflanzen durchwurzelbar sein, damit

Nährstoffe und Wasser gut erschlossen werden können. Ohne den Ersatz des Humus (Gesamtheit der toten organischen Substanz eines Bodens) und der mineralischen Nährstoffe, die dem Acker durch die Ernte entzogen werden, geht die Bodenfruchtbarkeit auf Dauer verloren.

#### Nährstoffkreisläufe:

##### Früher und heute

Im Mittelalter lebten rund 90 Prozent der Bevölkerung in landwirtschaftlichen Betrieben oder zumindest in der Nähe. Die Nährstoffe, die dem Boden mit dem Erntegut entzogen wurden, wurden dem Acker über tierische und menschliche Exkremente wieder zugeführt. Heute leben und arbeiten in Deutschland 97 Prozent der Bevölkerung außerhalb der Landwirtschaft. Ein beachtlicher Teil der von den Pflanzen aufgenommenen

Unter **Düngung** versteht man die gezielte Nährstoffzufuhr – richtige Menge zur richtigen Zeit – zur Ernährung einer Pflanze. Dabei spielt es für die Pflanze keine Rolle, ob die Nährstoffe über Mineraldünger oder über organische Dünger verabreicht werden.

### Lernziele und Kompetenzen:

Die Schülerinnen und Schüler

- ➔ erarbeiten, wie wichtig Nährstoffe für Gesundheit, Ertrag und Qualität von Pflanzen sind;
- ➔ planen Experimente zum Nährstoffbedarf von Pflanzen;
- ➔ bestimmen mithilfe eines dreiteiligen Experiments den Stickstoffgehalt von Erde;
- ➔ wissen, warum Düngung im modernen Pflanzenbau wichtig ist.

**Fächer:** Chemie, Biologie zu den Themen Pflanzennährstoffe, Planung von Versuchen, Nachweisreaktionen, Säuren und Laugen; Hinweis: Die genannte Informationsserie bietet auch Ansatzpunkte für den fächerübergreifenden und -verbindenden Unterricht, z.B. in den Gesellschaftswissenschaften und der Geografie.

Nährstoffe wird mit den Erzeugnissen zu den Konsumenten transportiert und so dem landwirtschaftlichen Kreislauf entzogen. Am Nährstoffabtransport hat sich gegenüber früher nichts verändert, doch die Nährstoffrückführung ist heute durch moderne Düngemittel und Technik viel gezielter und verlustärmer möglich.

#### Dünger – warum?

Nur, wenn der Landwirt die Nährstoffexporte und -verluste durch eine angepasste Düngung ersetzt, kann er dauerhaft hohe Erträge und Qualitäten erzielen. Die richtige Pflanzenernährung trägt dazu bei, die Pflanzen widerstandsfähig und gesund zu erhalten. Sie bewahrt und verbessert die Bodenfruchtbarkeit. So kann der Landwirt seinen Betriebserfolg langfristig optimieren und dazu beitragen, dass uns jederzeit ein reichhaltiges, vielfältiges und hochwertiges Angebot an landwirtschaftlichen Produkten zur Verfügung steht.

#### Das Einmaleins der Düngung

Art, Menge und Zeitpunkt der Düngung müssen am Bedarf der Pflanzen und am Nährstoffgehalt des Bodens ausgerichtet werden. Der Düngebedarf ergibt sich vereinfacht wie folgt: Nährstoffbedarf des



Pflanzenbestandes minus Nährstoffangebot des Bodens. Der Nährstoffbedarf des Pflanzenbestandes entspricht der insgesamt bis zur Erntereife aufgenommenen Nährstoffmenge in Spross und Wurzeln bei optimaler Nährstoffversorgung. Beispielsweise liegt der Stickstoffbedarf von Winterweizen je nach Sorte zwischen 190 und 250 Kilogramm Stickstoff (N) pro Hektar. Ein Teil davon stammt aus den Bodenvorräten, der Rest muss durch Düngung bereitgestellt werden. Von der gesamten von der Pflanze aufgenommenen Nährstoffmenge wird bei der Ernte ein Teil vom Acker abgefahren. Bei einem Weizen-Kornertrag von acht Tonnen pro Hektar mit einem durchschnittlichen Stickstoffgehalt von zwei Prozent sind das pro Hektar insgesamt 160 Kilogramm Stickstoff – allein im Korn. Wird auch Stroh vom Feld abgefahren, steigt der Nährstoffexport entsprechend weiter an.

### Mineralische Pflanzennährstoffe

Die Pflanze benötigt 14 mineralische Nährstoffe, die sie aus dem Boden aufnimmt und für den Aufbau von Wurzeln, Stängeln, Blättern, Blüten und Früchten nutzt. Erst wenn die Pflanzen ausreichend mit allen mineralischen Nährstoffen versorgt sind, können sie Licht und Wasser optimal für ihr Wachstum nutzen. Die Nährstoffe werden in unterschiedlichen Mengen benötigt, daher werden sie in Makronährstoffe (Hauptnährstoffe) und Mikronährstoffe (Spurennährstoffe) unterteilt. Zu den Makronährstoffen gehören Stickstoff, Kalium, Phosphor, Magnesium, Schwefel und Calcium. Von diesen benötigen die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen im Laufe ihrer Entwicklung je nach Nährstoff pro Hektar etwa 20 bis 350 Kilogramm. Von den Mikronährstoffen sind es lediglich etwa 5 bis 1000 Gramm pro Hektar. Zu dieser Nährstoffgruppe zählen Bor, Chlor, Kupfer, Eisen, Mangan, Molybdän, Nickel und Zink. Sie übernehmen vielfältige

Funktionen in Pflanzen, so z.B. als Bestandteile von Enzymen, bei Stoffwechselreaktionen und im Hormonhaushalt.

### Formen der Düngung

In der Landwirtschaft werden die Nährstoffe in der Regel über feste oder flüssige Düngemittel auf den Boden aufgebracht. Bei der Blattdüngung werden Nährstoffe in flüssiger Form mit einer Feldspritze auf die oberirdischen Pflanzenteile aufgesprüht. Als Fertigation wird die Zufuhr von

Nährstoffen über ein Bewässerungssystem bezeichnet.

### Beispiel: Stickstoffdünger steigert die Erträge

Als Bestandteil der Proteine ist Stickstoff für alle Organismen lebensnotwendig. Von allen Pflanzennährstoffen beeinflusst er die Ertrags- und Qualitätsbildung am stärksten. Mehr als bei den anderen Nährstoffen kommt es bei Stickstoff auf eine bedarfsgerechte dosierte Düngergabe zur richtigen Zeit an. Eigentlich ist Stickstoff im Überfluss vorhanden, denn die Luft besteht zu 78 Prozent aus elementarem Stickstoff ( $N_2$ ). Allerdings können nur bestimmte Bakterien den Luftstickstoff unmittelbar binden, alle anderen Organismen sind auf die Zufuhr reaktiver Stickstoffverbindungen ( $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ) angewiesen. Mit der Herstellung von Ammoniak durch die Synthese aus (Luft-)Stickstoff und Wasserstoff gelang es dem deutschen Chemiker Fritz Haber 1909, die Stickstoffvorräte der Luft „anzuzapfen“ ( $N_2 + 3 H_2 \rightarrow 2 NH_3$ ). Der deutsche Chemiker Carl Bosch entwickelte das Verfahren für die Ammoniakgewinnung im industriellen Maßstab. 1913 ging die erste großtechnische Ammoniaksyntheseanlage in Ludwigshafen in Betrieb. Ammoniak ist die Grundlage aller mineralischen Stickstoffdünger. Das neue Herstellungsverfahren steigerte die Erträge der deutschen Landwirtschaft um bis zu 90 Prozent. Nachdem das Land im

19. Jahrhundert unter häufigen Hungersnöten litt und fast ein Viertel der Bevölkerung auswanderte, hatten die Deutschen nun endlich ausreichend zu essen. Deshalb erhielten die Erfinder des Haber-Bosch-Verfahrens den Nobelpreis.

### Methodisch-didaktische Anregungen:

Anhand von **Arbeitsblatt 1** und ggf. durch das Lesen der Sachinformation erlangen die Schüler Basiswissen zum Nährstoffbedarf der Pflanzen. Mithilfe von **Arbeitsblatt 2** planen sie verschiedene Langzeitexperimente von etwa zehn bis 14 Tagen Dauer. Als Hilfestellung können Sie eine Liste mit Materialien und Chemikalien zur Verfügung stellen. Hinweise zur Durchführung der Experimente: Handelsübliche Blumenerde ist grundsätzlich gedüngt. Eigentlich sollte ungedüngte „Nullerde“ verwendet werden, die jedoch schwer erhältlich ist. Alternativ eignet sich Vermiculit, den man im Tierfachgeschäft kaufen kann, oder Sand, der täglich gegossen werden muss. Es können Bohnen-, Mais-, Sonnenblumen- oder Kressesamen eingesetzt werden. Der Samen besteht zu großen Teilen aus Nährgewebe, das den Keimling anfangs mit Nährstoffen versorgt, bis er über die Wurzeln Wasser mit Mineralien aufnehmen kann. Daher beginnt der Samen zunächst zu keimen. Bleibt eine Versorgung mit Nährstoffen im Anschluss aus, verkümmert die Pflanze nach etwa sieben Tagen.

Im **Onlineangebot** dieses Heftes finden Sie die Anleitung zu einem **Experiment** zur Bestimmung des Stickstoffgehalts von Erde: Teil 1 muss im Voraus durchgeführt werden. Teil 2 und 3 eignen sich für die Arbeit in mehreren Gruppen. Die Hälfte der Schüler in jeder Gruppe sollte die Bestimmung des Stickstoffs in Ammoniumverbindungen vornehmen (Teil 2). Die andere Hälfte der Gruppe sollte die Gesamtmenge des Stickstoffs bestimmen, der in Form von Ammonium- und Nitrat-Ionen vorliegt (Teil 3). Danach müssen beide Resultate miteinander kombiniert werden, um die Menge des Stickstoffs der Nitratverbindungen zu berechnen.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in diesem Text die männliche Sprachform gewählt.

### Links und Literaturempfehlungen:

- ➔ Informationsserie „Pflanzenernährung“ des Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e.V. (FCI) und des Industrieverbands Agrar e.V. (IVA) :
  - Textheft mit vielen Grafiken und Abbildungen sowie CD-ROM mit Vorschlägen für Experimente und Arbeitsblätter
  - Bestellung und Download unter <http://fonds.vci.de> oder [www.iva.de](http://www.iva.de).
- ➔ lebens.mittel.punkt: Heft 2 „Pflanzenernährung – die Kunst zu Düngen“, Heft 7 „Pflanzenschutz – die Pflanzen schützen, den Menschen nützen“.

# Nährstoffe - wichtig für Pflanzengesundheit, Ertrag und Qualität

## Aufgabe 1:

Setze die Wörter aus dem Kasten in die Lücken des Textes ein.

Kalium	Qualität	Nährstoffmangel	Dünger	Mikroorganismen
Ionen	Umwelt	Gülle	Hauptnährstoffen	Zink

Pflanzen benötigen für eine gute Entwicklung 14 Mineralstoffe. Neben den \_\_\_\_\_ („Makronährstoffen“) Stickstoff, Phosphor, \_\_\_\_\_, Magnesium, Schwefel und Calcium gehören dazu die sogenannten „Mikronährstoffe“, z.B. Bor, Mangan oder \_\_\_\_\_. Die Pflanzen nehmen die Nährstoffe in gelöster Form als \_\_\_\_\_ über die Wurzeln auf. Da die natürlichen Vorkommen im Boden für dauerhaft hohe Erträge nicht ausreichen, ist eine Zufuhr als \_\_\_\_\_ unverzichtbar.

Für die Pflanzen spielt es dabei keine Rolle, ob diese Zufuhr über Mineraldünger oder Wirtschaftsdünger wie etwa Mist oder \_\_\_\_\_ erfolgt. Entscheidend sind die genaue Menge und eine ausreichende Pflanzenverfügbarkeit: Bei \_\_\_\_\_ oder zu geringer Verfügbarkeit – etwa, weil die Nährstoffe noch in organischer Form im Stallmist gebunden sind und erst von den \_\_\_\_\_ im Boden freigesetzt werden müssen – sinken Ertrag und \_\_\_\_\_. Ein Überangebot kann dagegen Ertrag und Qualität beeinträchtigen und die \_\_\_\_\_ belasten.

## Aufgabe 2:

Trage jeweils den Namen der Makronährstoffe und mindestens eine Funktion im Stoffwechsel der Pflanzen in die Tabelle ein. Informationen findest du zum Beispiel unter <http://www.wasserkoooperation.de/9dueng.htm>.

Chemisches Zeichen	Name	Funktion in der Pflanze
N	Stickstoff	Für das vegetative Wachstum verantwortlich, Baustein für Eiweiß
P	Phosphor	Energieträger beim Aufbau von Zucker, Stärke, Zellulose und Eiweiß
K	Kalium	Wichtig für den osmotischen Druck des Zellsaftes in der Pflanzenzelle, Frostresistenz
Mg	Magnesium	Teil des Chlorophylls, transportiert Phosphate in die Leitungsbahnen der Pflanzen
Ca	Calcium	Baustein der Zellwände



# Planung von Experimenten!

## Was Pflanzen zum Leben brauchen

### Aufgabe 1:

Plane ein Experiment, mit dem man nachweisen kann, welche Nährstoffe Pflanzen zum Leben brauchen.

**Vergleich zwischen dem Einsatz einer Vollnährlösung mit gezielten Variationen, bei denen je ein Nährstoff nicht zugeführt wird.**

### Aufgabe 2:

Jede Pflanze braucht Nährstoffe in einem bestimmten Verhältnis zueinander für ein optimales Wachsen und Gedeihen. Justus von Liebig (1803–1873) erkannte dies und formulierte in diesem Zusammenhang das Minimumgesetz:

So wie die niedrigste Daube das Fassungsvermögen der Tonne begrenzt, so bestimmt der am geringsten verfügbare Nährstoff den Ertrag der Pflanzen.



Formuliere das Minimumgesetz von Liebig mit eigenen Worten.

Wie könnte das Experiment ausgesehen haben, mit dessen Hilfe Justus von Liebig das Minimumgesetz bewiesen hat?

**Ansatz analog zu Aufgabe 1**

### Aufgabe 3:

Um dauerhaft hohe Ernteerträge zu sichern, werden dem Boden die entzogenen Nährstoffe durch Düngemittel zugeführt. Plane ein Experiment, mit dessen Hilfe man die Wirkung von Düngemitteln zeigen kann.

**Für den Vergleich des Pflanzenwachstums mit/ohne Düngung können gleiche Samen in zwei verschiedene Blumentöpfe gesät werden, die mit der gleichen ungedüngten Erde gefüllt sind. Im ersten Gefäß wird lediglich mit destilliertem Wasser gegossen. Im zweiten Gefäß wird mit destilliertem Wasser gegossen, dem handelsüblicher Flüssigdünger zugesetzt wird.**

# Bestimmung des Stickstoffgehalts von Erde

Schülerversuch, ca. 25 Minuten

## Material und Chemikalien:

- Ofentrockene Erde
- Kaliumchloridlösung ( $c = 2 \text{ mol/l}$ )
- Flasche (250 ml)
- Trichter
- Filterpapier
- Erlenmeyerkolben (250 ml) mit Stopfen

## Versuchsdurchführung:

- Fülle 200 ml Kaliumchloridlösung in eine Flasche.
- Gib 30 g trockene Erde dazu.
- Verschließe die Flasche und schüttele sie 10 Minuten.
- Filtriere das Gemisch in einen Erlenmeyerkolben ab, es kann verschlossen so lange im Kühlschrank aufbewahrt werden, bis es gebraucht wird.

## Hinweis:

Stickstoff steht den Pflanzen in Form von Ammonium-Ionen und Nitrat-Ionen im Boden zur Verfügung. Die Methode, die für die Bestimmung des Stickstoffgehalts in der Erdprobe verwendet wird, wird auch in der Praxis für eine exakte Analyse benutzt. Schnellere und einfachere Methoden sind weniger genau.

Die in einer Bodenprobe vorhandenen Ammonium-Ionen gehen durch Ionenaustausch in Lösung, wenn man die Erde mit einer Lösung schüttelt, in der Kalium-Ionen im Überschuss vorhanden sind.

# Bestimmung des Stickstoffgehalts von Erde! Ammonium-Stickstoff

Schülerversuch, ca. 60 Minuten

## Material und Chemikalien:

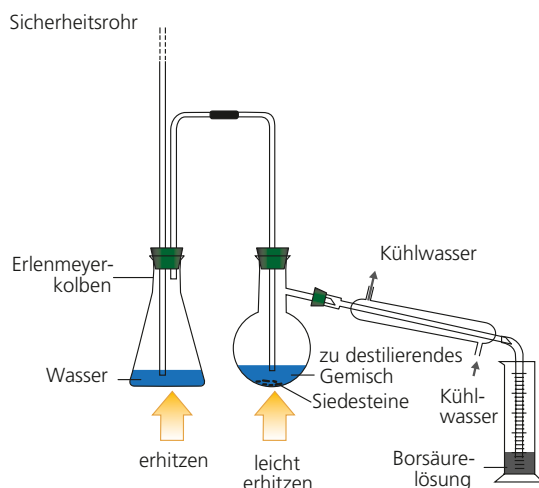
- Filtrat aus Experiment 2.1
- destilliertes Wasser
- Magnesiumoxid
- Borsäurelösung (w = 1 %) (H360FD | P201 P308+P313)
- Schwefelsäure (c = 0,005 mol/l) (H314 H290 | P280 P301+P330+P331 P309 P310 P305+P351+P338)
- Indikatorlösung für den pH-Bereich 5-6: Mischung von Methylrot (H411 | P273) und Bromcresolgrün (H225 | P210 P241 P280 P240 P303+P361+P353) im Verhältnis 1:1; 100 mg in 100 ml Ethanol (H225 | P210) lösen
- 2 Erlenmeyerkolben (250 ml)
- Stopfen mit 2 Bohrungen
- Sicherheitsrohr
- 2 Glasrohre (90° gebogen)
- Rundkolben (250 ml)
- Liebig-Kühler
- Glasrohr, gebogen mit Schliff
- Messzylinder (100 ml)
- Bürette
- Messkolben (100 ml)
- Messpipetten (10 ml)

## Sicherheitshinweise



## Versuchsdurchführung

Die Apparatur der Wasserdampfdestillation wird gemäß der Abbildung aufgebaut:



# Bestimmung des Stickstoffgehalts von Erde!

## Ammonium-Stickstoff

### Versuchsdurchführung:

- Füllt 50 ml des Filtrats aus Experiment 2.1 in den Rundkolben und gebt 0,5 g Magnesiumoxid dazu.
- Füllt 5 ml Borsäure in den Messzylinder, in dem die Ammoniaklösung nach der Destillation aufgefangen wird.
- Erhitzt jetzt das Wasser im Erlenmeyerkolben. Wenn es Wasser siedet, strömt der Dampf durch die Mischung im Rundkolben. Erhitze diesen Kolben ebenfalls vorsichtig, damit der Dampf dort nicht kondensiert.
- Destilliert so lange, bis ungefähr 40 ml des Destillats aufgefangen wurden. Das Destillat sollte dann das gesamte Ammoniak, das in der Erde gebunden war, enthalten.
- Um einen Rückfluss aufgrund eines Unterdrucks in der Apparatur zu vermeiden, solltet ihr die Vorlage entfernen, bevor ihr das Erhitzen der Kolben beendet. Trennt danach den Erlenmeyerkolben von der Apparatur.
- Ein von euch baut während der Destillation eine Bürette auf, in die die Schwefelsäure gefüllt wird.
- Überführt das Destillat in einen 100-ml-Messkolben und füllt ihn bis zur Markierung mit destilliertem Wasser. Verschließt den Kolben und schüttelt ihn gut.
- Überführt mit einer Pipette 10 ml der Lösung in einen 250-ml-Erlenmeyerkolben und gebt zwei bis drei Tropfen der Indikatorlösung hinzu.
- Eine grobe Titration informiert euch über den zu erwartenden Verbrauch von Schwefelsäure. Vermerkt das Ergebnis zur Orientierung.
- Nun führt die exakte Titration dreimal durch. Notiert jeweils das Volumen der dabei verbrauchten Schwefelsäure und bildet einen Mittelwert.

### Aufgaben zur Auswertung

- Nutzt die Werte des Experiments (Teil 2 und 3), um die Masse  $m_1$  des Stickstoffs zu berechnen, der in folgenden Formen in der Erde enthalten ist: Ammonium-Ionen, gesamter Stickstoffgehalt, Nitrat-Ionen.
- Ein ha Erde mit einer Tiefe von 20 cm hat eine Masse  $m_2$  von etwa 2500 t. Berechnen Sie die gesamte Masse  $m_3$  des Stickstoffs, der von Pflanzen in den obersten 20 cm der Erde genutzt werden kann.
- Stellt die Reaktionsgleichung der Reaktion zwischen Ammonium-Ionen und Magnesiumoxid auf.
- Formuliert abschließend die Reaktionsgleichung für die Reaktion des Destillats mit Schwefelsäure.

### Hinweise

Ammonium-Ionen einer Bodenprobe gehen durch Ionenaustausch in Lösung, wenn man die Erde mit einer Lösung schüttelt, in der Kalium-Ionen im Überschuss vorhanden sind (Experiment 2.1). Wird diese Lösung alkalisch gemacht, so bildet sich Ammoniak, das abdestilliert werden kann. Bei der Wasserdampfdestillation entsteht eine wässrige Ammoniaklösung. Das entstandene Ammoniak wird in 1%iger Borsäurelösung absorbiert. Bei dieser Reaktion bildet sich Borat, das mit einer starken Säure, wie z. B. Schwefelsäure, titriert werden kann. Als Indikator wird eine Mischung aus Methylrot und Bromcresolgrün gewählt, die beim Umschlagspunkt ihre Farbe von Blau-Grün nach Pink wechselt.

# Bestimmung des Stickstoffgehalts von Erde! Gesamtstickstoffgehalt

Schülerversuch, ca. 60 Minuten

## Material und Chemikalien:

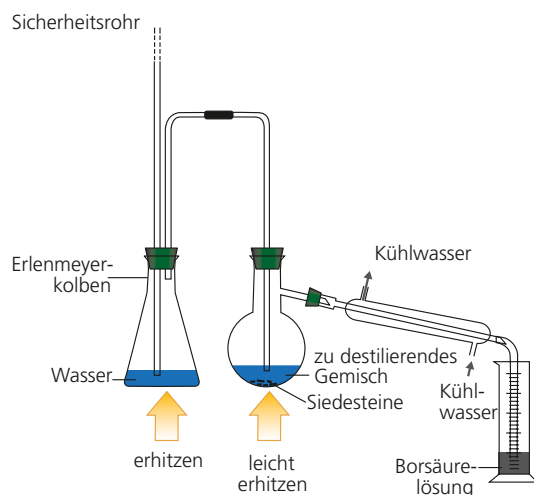
- Filtrat aus Teil 1
- destilliertes Wasser
- Magnesiumoxid
- Borsäurelösung (w = 1 %) (H360FD | P201 P308+P313)
- Devard'sche Legierung (50 % Cu, 45 % Al, 5 % Zn)
- Schwefelsäure (c = 0,005 mol/l) (H314 H290 | P280 P301+P330+P331 P309 P310 P305+P351+P338)
- Indikatorlösung für den pH-Bereich 5–6: Mischung von Methylrot (H411 | P273) und Bromcresolgrün (H225 | P210 P241 P280 P240 P303+P361+P353) im Verhältnis 1:1; 100 mg in 100 ml Ethanol (H225 | P210) lösen
- 2 Erlenmeyerkolben (250 ml)
- Stopfen mit 2 Bohrungen
- Sicherheitsrohr
- 2 Glasrohre (90 ° gebogen)
- Rundkolben (500 ml)
- Liebig-Kühler
- Glasrohr, gebogen mit Schliff
- Messzylinder (250 ml)
- Bürette
- Messkolben (100 ml)
- Messpipetten (10 ml)

## Sicherheitshinweise



## Versuchsdurchführung

Die Apparatur der Wasserdampfdestillation wird gemäß der Abbildung aufgebaut:





# Bestimmung des Stickstoffgehalts von Erde!

## Gesamtstickstoffgehalt

### Versuchsdurchführung:

- Füllt 50 ml des Filtrats aus Experiment 2.1 in den Rundkolben und gebt 0,5 g Devard'sche Legierung und 0,5 g Magnesiumoxid dazugegeben.
- Füllt 5 ml Borsäure in den Messzylinder, in dem die Ammoniaklösung nach der Destillation aufgefangen wird.
- Erhitzt jetzt das Wasser im Erlenmeyerkolben. Wenn das Wasser siedet, strömt der Dampf durch die Mischung im Rundkolben. Dieser Kolben sollte ebenfalls vorsichtig erhitzt werden, damit der Dampf dort nicht kondensiert.
- Destilliert so lange, bis ungefähr 40 ml des Destillats aufgefangen wurden. Das Destillat sollte dann das gesamte Ammoniak, das in der Erde gebunden war, enthalten.
- Um einen Rückfluss aufgrund eines Unterdrucks in der Apparatur zu vermeiden, solltet ihr die Vorlage entfernen, bevor ihr das Erhitzen der Kolben beendet. Trennt danach den Erlenmeyerkolben von der Apparatur.
- Während der Destillation sollte einer von euch eine Bürette aufbauen, in die die Schwefelsäure gefüllt wird.
- Überführt das Destillat in einen 100-ml-Messkolben und füllt ihn bis zur Markierung mit destilliertem Wasser. Verschließt den Kolben und schüttelt ihn gut.
- Überführt mit einer Pipette 10 ml der Lösung in einen 250-ml-Erlenmeyerkolben und gebt zwei bis drei Tropfen der Indikatorlösung hinzu.
- Eine grobe Titration informiert euch über den zu erwartenden Verbrauch von Schwefelsäure. Vermerkt das Ergebnis zur Orientierung.
- Nun führt die exakte Titration dreimal durch. Notiert dabei jeweils das Volumen der dabei verbrauchten Schwefelsäure und bildet einen Mittelwert.

### Aufgaben zur Auswertung

- Nutzt die Werte des Experiments (Teile 2 und 3), um die Masse  $m_1$  des Stickstoffs zu berechnen, der in folgenden Formen in der Erde enthalten ist: Ammonium-Ionen, gesamter Stickstoffgehalt, Nitrat-Ionen.
- 1 ha Erde mit einer Tiefe von 20 cm hat eine Masse  $m_2$  von etwa 2500 t. Berechnen Sie die gesamte Masse  $m_3$  des Stickstoffs, der von Pflanzen in den obersten 20 cm der Erde genutzt werden kann.
- Formuliert die Reaktionsgleichung für die Reduktion der Nitrat-Ionen zu Ammoniak-Ionen.
- Stellt die Reaktionsgleichung der Reaktion zwischen Ammonium-Ionen und Magnesiumoxid auf.
- Formuliert abschließend die Reaktionsgleichung für die Reaktion des Destillats mit Schwefelsäure.

### Hinweis:

Ammonium-Ionen einer Bodenprobe gehen durch Ionenaustausch in Lösung, wenn man die Erde mit einer Lösung schüttelt, in der Kalium-Ionen im Überschuss vorhanden sind (Teil 1). Wird diese Lösung alkalisch gemacht, so bildet sich Ammoniak, das abdestilliert werden kann. Bei der Wasserdampfdestillation entsteht eine wässrige Ammoniaklösung. Nitrat-Ionen befinden sich nach Experiment 2.1 noch in der Erdlösung und werden durch Teil 2 des Experiments nicht erfasst. Überführt man sie durch ein Reduktionsmittel (Devard'sche Legierung) in Ammoniak, ergibt die Destillation gemäß Teil 2 mit anschließender Titration nun den gesamten verfügbaren Gehalt an Stickstoff in der Erde. Der Gehalt in Form von Nitrat-Ionen kann durch Subtraktion berechnet werden.

# Bestimmung des Stickstoffgehalts von Erde

## Auswertung

- Generell gilt: Durch Wasserdampfdestillation lässt sich zum einen die Masse des Stickstoffs in  $\text{NH}_4^+$  ( $m_2$ ) aus den vorgegebenen 30 g Erde bestimmen, zum anderen die Gesamtmasse an Stickstoff ( $m_3$ ).
- Anschließend kann man die Masse des Stickstoffs in Nitrat ( $m$ ) aus diesen Bodenproben berechnen:  $m = m_3 - m_2$ .
- Um zunächst die Masse des Stickstoffs in  $\text{NH}_4^+$  ( $m_2$ ) zu ermitteln, wird Teil 2 der Experimentieranleitung durchgeführt. Das bei der Wasserdampfdestillation erhaltene Ammoniak wird in 1%ige Borsäurelösung geleitet. Es bildet sich Borat, das z. B. mit Schwefelsäure titriert werden kann. Aus dem Verbrauch der Schwefelsäure bis zum Farbumschlag lässt sich die Masse von  $\text{NH}_3$  berechnen, wobei  $n(\text{NH}_3) = n(\text{H}_2\text{SO}_4)$  ist. Aus der Masse von  $\text{NH}_3$  kann man die Masse des Stickstoffs (= Masse des Ammoniumstickstoffs) berechnen.
- Um die Masse des Gesamtstickstoffs ( $m_3$ ), also die Masse des Stickstoffs in  $\text{NH}_4^+$  und in  $\text{NO}_3^-$ , zu ermitteln, wird Teil 3 der Experimentieranleitung durchgeführt. Das nun bei der Wasserdampfdestillation erhaltene Ammoniak wird ebenfalls in 1%ige Borsäurelösung geleitet und das sich bildende Borat mit Schwefelsäure titriert. Aus dem Verbrauch an Schwefelsäure bis zum Farbumschlag lässt sich erneut die Masse von  $\text{NH}_3$  und daraus die Masse des Stickstoffs (=Gesamtstickstoff) berechnen. Die Masse des Nitrat-Stickstoffs ergibt sich, wie oben bereits erwähnt, aus der Differenz der Masse des Gesamtstickstoffs und der Masse des Ammonium-Stickstoffs.
- Die ermittelte Masse an Gesamtstickstoff stammt aus 30 g Erde. Nimmt man vereinfachend an, dass die Stickstoffverteilung in der Erde gleichmäßig ist, und es sich auch bei 2500 t Erde um trockene Erde handelt, wird wie folgt berechnet:  

$$m = 2,5 \cdot 109\text{g}/30\text{g} \cdot m_3$$
- Die reduzierende Wirkung der Devard-Legierung beruht darauf, dass wässrige Alkalien mit Aluminium und Zink naszierenden Wasserstoff bilden:

