

Stickstoff-Box: Experimentierheft

Nitrat – Skandal oder Panikmache?

Impressum

Teilprojekt 1:

M. Ed. Frauke Brockhage
Universität Osnabrück
Didaktik der Chemie
Barbarastraße 11
49076 Osnabrück

Mail: frauке.brockhage@uos.de
Telefon: 0541 969 2351

Prof. Dr. Marco Beeken
Universität Osnabrück
Didaktik der Chemie
Barbarastraße 11
49076 Osnabrück

Mail: marco.beeken@uos.de
Telefon: 0541 969 3378

Teilprojekt 2:

M. Ed. Mientje Lüsse
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Didaktik der Chemie
Carl-von-Ossietzky-Straße 9-11
26129 Oldenburg

Mail: mientje.luesse@uol.de
Telefon: 0441 798 3720

Prof. Dr. Verena Pietzner
Universität Vechta
Driverstraße 22
49377 Vechta

Mail: verena.pietzner@uni-vechta.de
Telefon: 04441 15 270

Stickstoff-Box: Experimentierheft

Nitrat – Skandal oder Panikmache?

Inhalt

Bevor es losgeht	4
Alles dabei?.....	6
Experiment 1: Prüfung von Wasserproben auf Ammonium-Ionen	8
Experiment 2: Prüfung von Wasserproben auf Nitrat-Ionen	13
Experiment 3: Untersuchung der Wurzelknöllchen von Leguminosen	17
Experiment 4: Harnstoffzersetzung im Boden.....	20
Experiment 5: Stickoxide in Abgasen	23
Experiment 6: Adsorption von Ammonium- und Nitrat-Ionen im Boden	26
Experiment 7: Wirkung von Harnstoff auf Böden.....	31
Experiment 8: Untersuchung der Nitratgehalte von Gemüse und Obst.....	36
Experiment 9: Nitrat und Nitrit im Spinat.....	40
Experiment 10: Nitrit-Gehalt in Pökelfleisch	43
Experiment 11: „Umrötung“ durch Nitritpökelsalz	46
Experiment 12: Auswirkung verschiedener Stickstoffeinträge	48
auf das Pflanzenwachstum am Beispiel Kresse	48
Experiment 13: Bestimmung des Stickstoffgehaltes im Boden	53
Experiment 14: Stickstoffmineralisation im Boden.....	58
Experiment 15: Nitratentfernung durch Ionenaustausch.....	61
Bildnachweise.....	65
Literaturnachweise	66

Bevor es losgeht...

Im Begleitheft zur Stickstoffbox wird an verschiedenen Stellen auf Experimente verwiesen. In diesem Heft finden Sie nun alle Anleitungen, die für die Durchführung der Experimente benötigt werden.

Wichtig: Bevor Sie anfangen, lesen Sie bitte folgende Punkte aufmerksam durch!

- Sie arbeiten mit **Chemikalien!**
 - ⇒ Binden Sie beim Experimentieren stets lange Haare zusammen.
 - ⇒ Waschen Sie sich nach dem Experimentieren gründlich die Hände.
 - ⇒ Lebensmittel, die für Experimente genutzt wurden, sind **nicht** mehr zum Essen geeignet.
 - ⇒ Beachten Sie untenstehende Hinweise zu den Chemikalien. Gehen Sie stets umsichtig mit den Chemikalien um, arbeiten Sie möglichst sauber, verschließen Sie Behälter sorgfältig und lagern Sie sie außer Reichweite von Kindern.
 - ⇒ Experimente, bei denen die nachfolgend gelistete Chemikalien verwendet werden, sind frühestens mit Kindern ab Klasse 5 und unter Aufsicht durchführen.

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Ammoniumchlorid		Achtung	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheitsschädlich bei Verschlucken. • Reizt die Augen.
Ammonium-Test (Nachweisreagenz)		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. • Kann schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden verursachen.

Natriumnitrat		Achtung	<ul style="list-style-type: none"> • Kann Brand verstärken, wirkt als Oxidationsmittel. • Verursacht schwere Augenreizung.
Natriumnitrit		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Kann Brand verstärken, wirkt als Oxidationsmittel. • Giftig bei Verschlucken. • Sehr giftig für Wasserorganismen. • Anmerkung: Ist in geringen (!) Mengen in Nitritpökelsalz enthalten.

- **Lesen Sie die Versuchsanleitungen** immer erst vollständig durch, bevor Sie mit dem Experimentieren beginnen.
- Die **Experimente 1 und 2 sind Grundvoraussetzung** für viele andere Experimente, da dort der genaue Ablauf einer Nitrat- und Ammoniumbestimmung mit Teststäbchen erklärt wird.
- Bei den Experimenten wird mit **Leitungswasser** gearbeitet und nicht, wie in Laboren üblich, mit destilliertem Wasser. Grund hierfür ist die leichtere Verfügbarkeit. Leitungswasser weist so niedrige Nitratkonzentrationen auf, dass das Ergebnis nicht maßgeblich beeinflusst wird.
- **Werden Sie kreativ!** Viele Experimente können nach Ihrem Ermessen erweitert und adaptiert werden. Außerdem sind viele Materialien austauschbar und können durch ähnliche Materialien ersetzt werden.
- Ihre **Waage** ist nicht genau genug? Dann **schätzen** Sie mithilfe der Fotos die Mengen und **kontrollieren** Sie ungefähre Konzentrationen mit Teststäbchen. Die Lösung kann nachträglich durch Wasserzugabe verdünnt oder z. B. durch Zugabe von etwas Natriumnitrat konzentriert werden.
- **Entsorgung:** Die beim Experimentieren anfallenden Abfälle können mit dem Hausmüll entsorgt werden.



Alles dabei?

Folgende Materialien und Chemikalien befinden sich bereits in der Stickstoffbox:

Materialien:			
4 Schnapdeckelgläser	✓	Begleitheft	✓
3 Kunststoff-Pipetten	✓	Experimentierheft	✓

Chemikalien:			
Ammoniumchlorid	✓	Nachweisreagenz für den Ammonium-Test	✓
Natriumnitrat	✓	Harnstoff	✓
Teststäbchen für den Nitrat-Test	✓	pH-Papier	✓
Teststäbchen für den Ammoniumtest	✓	Nitritpökelsalz	✓
Kressesamen	✓	Ionenaustauscher	✓

Außerdem brauchen Sie:

Materialien:			
Mind. 5 verschließbare Flaschen (1 L)		Verschließbare Flasche (500 mL)	
Messbecher (möglichst genau skaliert)		Nagel	
Waage (möglichst genau)		Schere	
Teelöffel		Filterpapier (z. B. Kaffeefilter)	
Esslöffel		Trichter	

5 – 10 flache Schalen (z. B. Joghurtbecherdeckel, Teelichthülsen, Aludeckel)		Haushaltspresse (z. B. Knoblauchpresse) oder Pürierstab	
Papiertücher		2 kleine Kochtöpfe	
Stoppuhr (z. B. vom Smartphone)		Herd	
Schaufel und/oder Spaten		Teller oder Schneidebrett	
Scharfes Messer oder Rasierklinge		Watte	
Lupe		Eimer	
Mind. 6 verschließbare Marmeladengläser o. ä. Behälter in verschiedenen Größen (ca. 100 – 500 mL)		Taschenrechner	
Stift (wasserfest) und Zettel für Beschriftungen		Breites Klebeband	
Pkw		Festes Gummiband	
Müllbeutel aus festem Plastik (ca. 60 L Inhalt)		Rohrhülse oder Klo/Küchenpapierrolle	

Chemikalien:

Leitungswasser		Kies	
Kleepflanzen		Sand	
Verschiedene Bodenproben		Gemüse und/oder Obst	
Autoabgase		TK-Spinat (ca. 200 g)	
Fleischstück, möglichst mager (ca. 50 g)		Hackfleisch (ca. 50 g)	



Experiment 1: Prüfung von Wasserproben auf Ammonium-Ionen

Information

Ammoniumverbindungen wirken für den Menschen in der Regel nicht bzw. nur wenig giftig und werden schnell wieder ausgeschieden. Erhöhte Ammoniumgehalte in Gewässern können jedoch auf eine stärkere Keimbelastung hinweisen. Diese wird meistens durch menschliche Tätigkeiten hervorgerufen, z. B. durch ammoniumhaltige Düngemittel, Abfälle und Abwässer. Deswegen sind erhöhte Ammoniumgehalte in Wasser im Allgemeinen unerwünscht. Nach der Trinkwasserverordnung ist für Ammonium-Ionen im Trinkwasser ein Grenzwert von 0,5 mg/L festgelegt^[1].

A) Herstellung einer Wasserprobe

Hinweis: Sie können für diesen Versuch entweder eine Wasserprobe aus einem Oberflächengewässer entnehmen oder selbst eine Wasserprobe herstellen. In diesem Versuchsteil finden Sie eine Anleitung, wie sie eine Wasserprobe mit einem Ammoniumgehalt von ungefähr 100 mg/L ansetzen.

Materialien

- Verschließbare Flasche (1 L)
- Messbecher
- Waage
- Teelöffel
- Flache Schale (z. B. Teelichthülse, fester Aludeckel)

Chemikalien

- Ammoniumchlorid
- Leitungswasser

Durchführung

1. Wiegen Sie in einer flachen Schale möglichst genau 0,3 g Ammoniumchlorid ab und geben Sie es in eine verschließbare Flasche.
2. Füllen Sie die Flasche auf 1 L mit Leitungswasser auf, schließen Sie die Flasche und schütteln sie gründlich.



Abbildung 1: Abwiegen von Ammoniumchlorid



Abbildung 2: 0,3 g Ammoniumchlorid



Hinweis: In der Flasche befindet sich nun die Wasserprobe, die eine Ammoniumkonzentration von etwa 100 mg/L haben sollte. Sie können die Flasche beschriften und für spätere Experimente aufbewahren.

B) Bestimmung des Ammonium-Gehalts

Materialien

- Schnappdeckelglas
- Papiertücher
- Stoppuhr

Chemikalien

- Wasserprobe
- Teststäbchen für den Ammonium-Test
- Nachweisreagenz für den Ammonium-Test

Aufbau und Durchführung

1. Befüllen Sie das Schnappdeckelglas mit 5 mL der Wasserprobe. Dies entspricht bei den beiliegenden Schnappdeckelgläsern einer Füllhöhe von ca. 1,8 cm.
2. Geben Sie 10 Tropfen des Nachweisreagenz aus dem Ammonium-Test hinzu und vermischen Sie es mit der Wasserprobe durch ein leichtes Schwenken.
3. Tauchen Sie das Teststäbchen für 3 Sekunden in die Probe und lassen Sie die überschüssige Flüssigkeit über die Längskante auf ein Papiertuch ablaufen.
4. Vergleichen Sie nach 10 Sekunden die Reaktionszone des Teststreifens mit der vorgegebenen Farbskala.



Abbildung 3:
Wasserprobe mit
Ammoniumchlorid-
Lösung

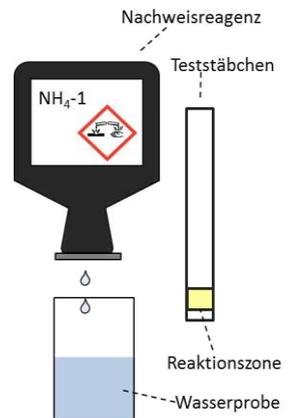


Abbildung 4: Bestimmung des
Ammoniumgehalts mit einem
Teststäbchen

Beobachtung

Art der Probe	Ammoniumgehalt in mg/L

Anregungen

Führen Sie den Versuch mit verschiedenen Wasserproben durch, indem Sie Wasserproben von verschiedenen Gewässern entnehmen oder selbst verschiedene Proben ansetzen.

Entspricht der Messwert der dunkelsten Farbe der Farbskala, muss die Probe verdünnt und die Messung erneut durchgeführt werden. Ihr Ergebnis erhalten Sie dann, indem Sie den neuen Messwert mit dem Faktor der Verdünnung multiplizieren.

$$\text{Messergebnis} = \text{Messwert} \cdot \text{Verdünnungsfaktor}$$

Auswertung

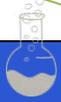
Das Nachweisreagenz enthält Natriumhydroxid. Durch die Zugabe des Reagenzes wird die Wasserprobe alkalisch. Die Ammonium-Ionen in der Lösung reagieren zu Ammoniak:

Wortgleichung: Ammoniumionen + Hydroxidionen \rightleftharpoons Ammoniak + Wasser

Auf der Reaktionszone des Teststäbchens befindet sich Neßlers-Reagenz. Dieses bildet mit dem entstandenen Ammoniak eine gelbbraune Verbindung.

Wortgleichung: Ammoniak + Neßlers Reagenz \rightarrow gelbbraune Verbindung

Je nach Ammoniumgehalt nimmt die Reaktionszone eine unterschiedlich intensive Färbung an. Durch einen visuellen Vergleich der Reaktionszone vom Teststäbchen mit der Farbskala lässt sich der Ammoniumgehalt halbquantitativ bestimmen^[2,3].



Experiment 2: Prüfung von Wasserproben auf Nitrat-Ionen

Information

Nitrat kommt natürlicherweise im Boden vor und wird auch von Pflanzen im unterschiedlichen Maße gespeichert. In zu hohen Mengen ist Nitrat jedoch unerwünscht und hat z. B. negative Auswirkungen auf die Umwelt. Durch menschliche Einflüsse kann es auch in höheren Konzentrationen in Oberflächen-Gewässern oder sogar im Grundwasser vorliegen. Der gesetzlich festgelegte Grenzwert für Nitrat liegt sowohl im Grund- als auch im Trinkwasser bei 50 mg/L. In Oberflächengewässern können Messwerte aufgrund von Umwelteinflüssen stark schwanken^[4].

A) Herstellung einer Wasserprobe

Hinweis: Sie können für diesen Versuch entweder eine Wasserprobe aus einem Gewässer entnehmen oder selbst eine Wasserprobe herstellen. In diesem Versuchsteil finden Sie eine Anleitung, wie sie eine Wasserprobe mit einem Nitratgehalt von ungefähr 100 mg/L ansetzen.

Materialien

- Verschließbare Flasche (1 L)
- Messbecher
- Waage
- Teelöffel
- Flache Schale (z. B. Teelichthülse, fester Aludeckel)

Chemikalien

- Natriumnitrat
- Leitungswasser



Abbildung 5: 0,15 g Natriumnitrat

Durchführung

1. Wiegen Sie in einer flachen Schale möglichst genau 0,15 g Natriumnitrat ab und geben Sie es in eine der Flaschen.
2. Füllen Sie die Flasche auf 1 L mit Leitungswasser auf, schließen Sie die Flasche und schütteln sie gründlich.

Hinweis: In der Flasche befindet sich nun die Wasserprobe, die eine Nitratkonzentration von etwa 100 mg/L haben sollte.

Sie können die Flasche beschriften und für spätere Experimente aufbewahren.

B) Bestimmung des Nitrat-Gehalts

Materialien

- Schnappdeckelglas
- Papiertücher
- Stoppuhr

Chemikalien

- Wasserprobe
- Teststäbchen für den Nitrat-Test

Aufbau und Durchführung

1. Befüllen Sie das Schnappdeckelglas mit 5 mL der Wasserprobe. Dies entspricht bei den beiliegenden Schnappdeckelgläsern einer Füllhöhe von ca. 1,8 cm.
2. Tauchen Sie das Teststäbchen für 1 Sekunde in die Probe und lassen Sie die überschüssige Flüssigkeit über die Längskante auf ein Papiertuch ablaufen.
3. Vergleichen Sie nach 1 Minute die Reaktionszone des Teststreifens mit der vorgegebenen Farbskala.

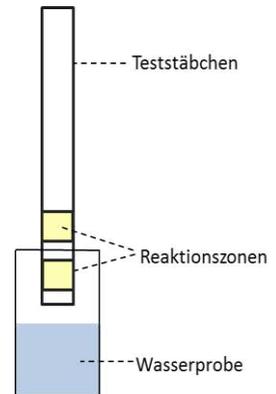


Abbildung 6: Bestimmung des Nitratgehalts mit einem Teststäbchen

Beobachtung

Art der Probe	Nitratgehalt in mg/L

Anregungen

Führen Sie den Versuch mit verschiedenen Wasserproben durch, indem Sie Wasserproben von verschiedenen Gewässern entnehmen oder selbst verschiedene Proben ansetzen.

Entspricht der Messwert der dunkelsten Farbe der Farbskala, muss die Probe verdünnt und die Messung erneut durchgeführt werden. Ihr Ergebnis erhalten Sie dann, indem Sie den neuen Messwert mit dem Faktor der Verdünnung multiplizieren.

$$\text{Messergebnis} = \text{Messwert} \cdot \text{Verdünnungsfaktor}$$

Auswertung

Auf der unteren Reaktionszone des Teststreifens werden die Nitrat-Ionen aus der Wasserprobe zunächst zu Nitrit-Ionen reduziert.

Wortgleichung: Nitrat + Reduktionsmittel → Nitrit

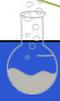
Danach reagieren die Nitrit-Ionen in einer mehrstufigen Reaktion zu einem rotvioletten Azofarbstoff.

Wortgleichung: Nitrit + aromatisches Amin $\xrightarrow{\text{saurer Puffer}}$ Diazoniumsalz

Wortgleichung: Diazoniumsalz + N(1Naphthyl)ethyldiamin → rotvioletter Azofarbstoff

Die Reaktionszone nimmt je nach Nitratgehalt eine andere violette Färbung an.

Die obere Reaktionszone verfärbt sich nur bei der direkten Anwesenheit von Nitrit-Ionen in der Wasserprobe und dient zur Kontrolle des Nitratgehalts^[5,6].



Experiment 3: Untersuchung der Wurzelknöllchen von Leguminosen

Information

Leguminosen sind Hülsenfrüchtler wie Erbsen, Sojabohnen, Lupinen, Luzerne oder Klee. Sie leben in Symbiose mit **Knöllchenbakterien**, die wiederum in der Lage sind, molekularen Stickstoff zu fixieren und damit pflanzenverfügbar zu machen. Die Bakterien dringen in die Wurzeln der Pflanze ein und verändern deren Struktur: Es bilden sich charakteristische Knöllchen, in denen sich die Bakterien befinden. Während die Knöllchenbakterien die Wirtspflanze mit gebundenem Stickstoff versorgt, liefert die Pflanze den Bakterien organische Verbindungen, z. B. Kohlenhydrate^[7].

Die Stickstoff-Fixierung der Bakterien wird durch das Enzym Nitrogenase katalysiert. Nitrogenase ist extrem sauerstoffempfindlich, d. h. er kann in Gegenwart von Sauerstoff irreparabel zerstört werden. Als Schutz der Nitrogenase dient bei den Wurzelknöllchen das **Leghämoglobin**. Ebenso wie die menschlichen Proteine Myoglobin und Hämoglobin dient das pflanzliche Protein Leghämoglobin der Bindung und dem Transport von Sauerstoff. Die Stickstoff-Fixierung kann daher nur funktionieren, wenn in den Knöllchen Leghämoglobin vorhanden ist. Ein erster Hinweis auf das Vorhandensein von Leghämoglobin ist die charakteristische, rötliche Färbung im Inneren der Knöllchen^[8,9].

Materialien

- Schaufel
- Scharfes Messer oder Rasierklinge
- Lupe

Chemikalien

- Kleepflanzen
- Leitungswasser

Durchführung

1. Graben Sie vorsichtig die Wurzeln einiger Kleepflanzen aus und spülen Sie die Erde mit Wasser ab.
2. Schneiden Sie einige der Wurzelknöllchen mit dem Messer oder der Rasierklinge auf und betrachten Sie sie unter einer Lupe. Haben Sie keine Lupe parat, schauen Sie sich die Knöllchen mit bloßem Auge genau an.



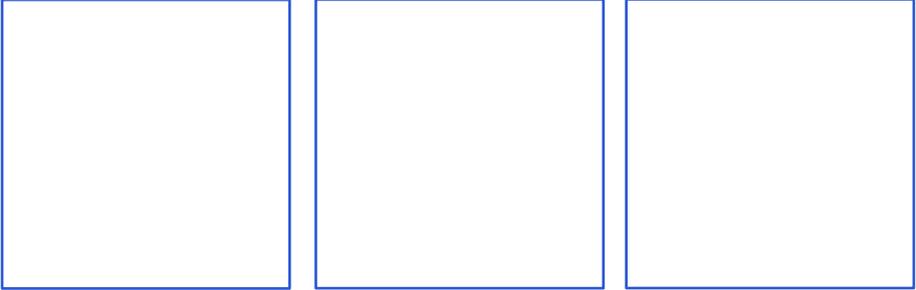
Abbildung 7: Rotklee gehört zur Familie der Leguminosen.



Abbildung 8: Wurzelknöllchen der Kleepflanze

Beobachtung

Skizzieren Sie farbig, was bei verschiedenen Wurzelknöllchen zu sehen ist.

Three empty rectangular boxes with blue borders, arranged horizontally, intended for drawing and coloring root nodules.**Anregungen**

Suchen Sie noch andere Leguminosen (z. B. Luzerne, Lupine, Erbse) und untersuchen Sie deren Wurzelknöllchen.

Auswertung

An der Farbe der Knöllchen lässt sich ihr Alter und ihre Aktivität erkennen. Junge Knöllchen sind innen weiß. Aktive Knöllchen haben eine blutrote Färbung, die durch den Farbstoff Leghämoglobin hervorgerufen wird. Die Knöllchen sind in der Regel mehrere Wochen aktiv bevor sie absterben und neue Knöllchen nachwachsen. Absterbende Knöllchen weisen innen eine olivgrüne Färbung auf^[8].



Experiment 4: Harnstoffzersetzung im Boden

Information

Harnstoff ist vor allem in Ausscheidungen enthalten und wird, wenn es in den Boden gelangt, relativ schnell in Ammoniak umgewandelt. In Gegenwart von Wasser löst sich Ammoniak unter Bildung von Ammonium-Ionen. Im Boden kann Ammoniak bzw. Ammonium von Pflanzen aufgenommen oder im Zuge des Stickstoffkreislaufs durch Bodenbakterien nitrifiziert, also schrittweise zu Nitrat umgewandelt werden. Ein Teil gelangt jedoch auch in die Luft, sodass in der Nähe von Viehställen oder bei frisch gedüngten Feldern ein Ammoniakgeruch wahrnehmbar sein kann^[10].

Hinweis: Da bei diesem Experiment die Aktivität der Bakterien im Boden bedeutsam ist, sollte es möglichst in der Vegetationsperiode **Frühling bis Herbst** durchgeführt werden.

Materialien

- 2 verschließbare Gläser (200 – 300 mL)
- Waage
- Teelöffel
- Wasserfester Stift zum Beschriften
- Pinzette

Chemikalien

- Erde (200 g)
- Harnstoff
- Leitungswasser
- pH-Papier

Aufbau und Durchführung

1. Beschriften Sie die Bechergläser mit den Zahlen 1 und 2
2. Geben Sie etwa 100 g Erde, 2 g Harnstoff (ca. $\frac{1}{2}$ gestrichener Teelöffel) und etwa 20 mL Wasser in das Glas 1 und durchmischen Sie alles gründlich. Verschließen Sie das Glas luftdicht.
3. Geben Sie etwa 100 g Erde und 20 mL Wasser in das Glas 2 und durchmischen Sie alles gründlich. Verschließen Sie das Glas luftdicht.
4. **Draußen an der frischen Luft durchführen:** Prüfen Sie nach 2 – 4 Tagen den pH-Wert in der Luft der Gläser. Feuchten Sie dafür ein Stück pH-Papier mit Wasser an und halten Sie es an das geöffnete Glas.

Beobachtung

	pH-Wert	Sonstige Beobachtungen (z. B. Gerüche)
Glas 1 (mit Harnstoff)		
Glas 2 (ohne Harnstoff)		

Auswertung

Durch das Enzym Urease wird Harnstoff in der Erde unter Bildung von Ammoniak gespalten. Daher ist im Glas 1 ein Ammoniakgeruch wahrnehmbar.

Wortgleichung: Harnstoff + Wasser $\xrightarrow{\text{Urease}}$ Ammoniak + Kohlenstoffdioxid

Reaktionsgleichung: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{Urease}} 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2$

In feuchter Umgebung reagiert Ammoniak basisch unter Bildung von Ammonium- und Hydroxid-Ionen. Der Anstieg der Konzentration an Hydroxid-Ionen geht mit einem Anstieg des pH-Wertes einher, sodass sich das pH-Papier blau verfärbt^[10].

Wortgleichung: Ammoniak + Wasser \rightleftharpoons Ammoniumionen + Hydroxidionen

Reaktionsgleichung: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$



Abbildung 9: Blaufärbung des pH-Papiers durch Ammoniak



Experiment 5: Stickoxide in Abgasen

Information

Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entsteht nicht nur Kohlenstoffdioxid. Autoabgase enthalten beispielsweise auch Kohlenstoffmonoxid, Stickoxide und Schwefeldioxid. Stickoxide gehören zu den Luftschadstoffen, für die es EU-weit festgelegte Grenzwerte gibt. Diese unterscheiden sich je nach Fahrzeugtyp und Art des Motors. Für einen PKW gilt nach der Euro 4-Norm ein Grenzwert von 80 mg/km und nach der Euro 5-Norm ein Grenzwert von 60 mg/km^[11]. Mit Wasser bilden Stickoxide Nitrate und tragen zur Entstehung von saurem Regen bei.

Achtung: Führen Sie dieses Experiment unbedingt im Freien durch (nicht in einer Garage!) und achten Sie darauf, keinerlei Abgase einzusatmen.

Materialien

- Pkw
- Müllbeutel aus festem Plastik (etwa 60 L Inhalt)
- Breites Klebeband
- Festes Gummiband (alternativ breites Klebeband)
- Rohrhülse oder Klo-/Küchenpapierrolle
(etwas dicker oder etwas dünner als das Auspuffrohr des Autos)
- Verschließbares Marmeladenglas (ca. 200 – 400 mL)
(Öffnung breiter als die Rohrhülse)
- Papiertücher
- Stoppuhr

Chemikalien

- Autoabgase
- Leitungswasser
- Teststäbchen für den Nitrat-Test

Aufbau und Durchführung

1. Füllen Sie das Glas etwa zur Hälfte mit Leitungswasser und bestimmen Sie mithilfe eines Teststäbchens den Nitrat-Gehalt.
2. Wenn Sie keine feste Rohrhülse, sondern eine Klo-/Küchenpapierrolle aus Pappe verwenden, umkleben Sie ein Ende der Rolle mit Klebeband, sodass es bei Berührung mit Wasser nicht mehr aufweicht.
3. Kleben Sie mithilfe des Klebebands die Rohrhülse möglichst luftdicht an den Müllbeutel.
Als Alternative kann ein festes Gummiband verwendet werden.
4. Drücken Sie möglichst die ganze Luft aus dem Beutel.
5. Schalten Sie den Motor des Pkws ein.
6. Halten Sie die Rohrhülse vorsichtig an das Auspuffrohr, bis der Beutel gerade gefüllt ist.
7. Halten Sie die Luft im Beutel, indem Sie die Luft am Ende des Beutels mit der Hand abdrücken.



Abbildung 10: Großer Plastikbeutel zum Auffangen des Gases

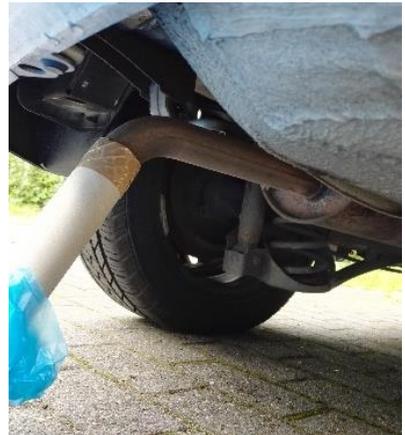


Abbildung 11: Auffangen des Gases

8. Leiten Sie möglichst viel Luft aus dem Beutel in das Wasser im Glas.
9. Schließen Sie das Glas und schütteln Sie es.
10. Testen Sie das Wasser erneut auf den Nitrat-Gehalt.



Abbildung 12: Einleiten des Gases in Wasser

Beobachtung

	Nitrat-Gehalt in mg/L
Leitungswasser vor Einleiten der Autoabgase	
Leitungswasser nach Einleiten der Autoabgase	

Auswertung

In Autoabgasen sind geringe Mengen an Stickoxiden enthalten. Diese reagieren mit Wasser zu Salpetersäure und Salpetriger Säure. Das Anion der Salpetersäure (HNO_3) ist ein Nitrat-Ion (NO_3^-), weshalb sich im Wasser Nitrat nachweisen lässt^[12].



Experiment 6: Adsorption von Ammonium- und Nitrat-Ionen im Boden

Information

Unser Grundwasser besteht zum größten Teil aus Sickerwasser. Dieses kann z. B. aus Regen, Schnee, aber auch Seen und Flüssen kommen. Aufgrund der Schwerkraft fließt das Wasser durch Spalten und Hohlräume Richtung Grundwasserzone. Dabei durchfließt es verschiedene Bodenschichten, wie Sand und Kies. Das Wasser versickert solange, bis es auf eine wasserundurchlässige Bodenschicht trifft. Oberhalb dieser Schicht sammelt sich das Wasser und bildet damit die Grundwasserzone^[3].

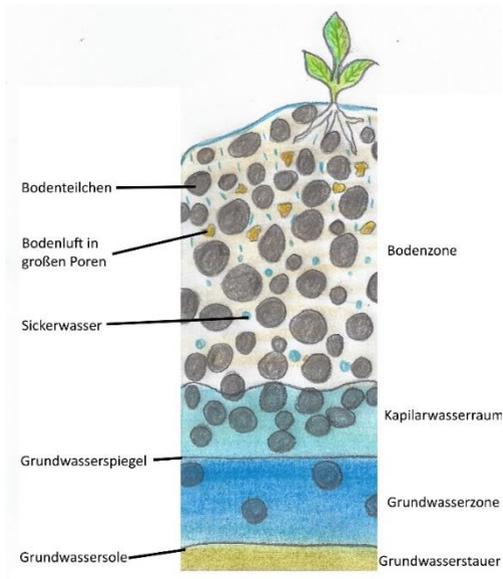


Abbildung 13: Bodenwasser und Bodenzone

A) Herstellung der Wasserprobe

Hinweis: Sie benötigen für diesen Versuch eine Wasserprobe, deren Nitrat- und Ammoniumgehalte ungefähr zwischen 100 und 300 mg/L liegen. Dafür können Sie entweder die Wasserproben aus den [Experimenten 1](#) und [2](#) verwenden, diese mischen und bei Bedarf verdünnen. Alternativ können Sie dieser Anleitung folgen.

Materialien

- Verschließbare Flasche (1 L)
- Messbecher
- Waage
- Teelöffel
- flache Schale (z. B. Teelichthülse, fester Aludeckel)

Chemikalien

- Natriumnitrat
- Ammoniumchlorid
- Leitungswasser

Durchführung

1. Wiegen Sie in einer flachen Schale 0,3 g Natriumnitrat und 0,6 g Ammoniumchlorid ab und geben Sie es in die Flasche.
2. Füllen Sie die Flasche auf 1 L mit Leitungswasser auf, schließen Sie die Flasche und schütteln sie gründlich.

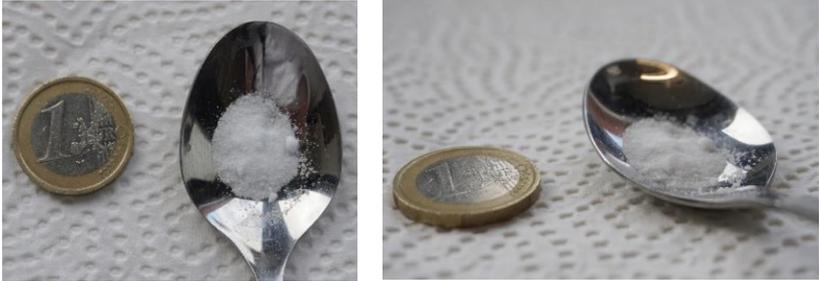


Abbildung 14: 0,3 g Natriumnitrat

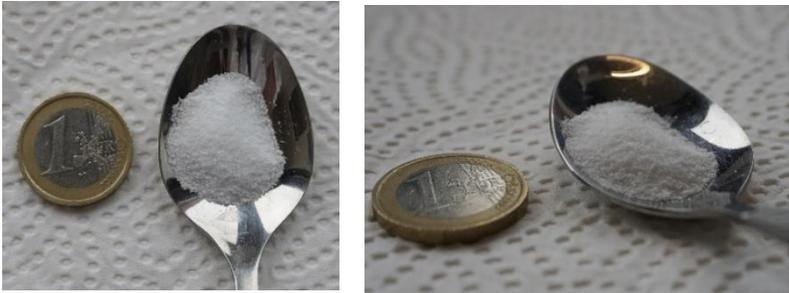


Abbildung 15: 0,6 g Ammoniumchlorid

B) Wirkung eines Kies-Sand-Filters

Materialien

- 2 Schnappdeckelgläser
- Papiertücher
- Stoppuhr
- 1 Glas (ca. 100 – 300 mL, Plastikflasche sollte wie in [Abbildung 17](#) kopfüber stabil in der Glasöffnung stehen)
- 1 Plastikflasche (500 mL)
- Nagel
- Schere
- Filterpapier (z. B. Kaffeefilter)
- Messbecher

Chemikalien

- Wasserprobe
- Kies
- Sand
- Teststäbchen für den Ammonium-Test
- Nachweisreagenz für den Ammonium-Test
- Teststäbchen für den Nitrat-Test



Abbildung 16: Vorbereitete Plastikflasche

Aufbau und Durchführung

1. Bestimmen Sie mithilfe der Teststäbchen den Ammonium- und den Nitratgehalt der Wasserprobe.
2. Entfernen Sie mit der Schere den Boden der Plastikflasche.
3. Bohren Sie mit dem Nagel vorsichtig ein Loch in den Deckel der Flasche.
4. Schneiden Sie das Filterpapier so zurecht, dass es in den Deckel der Flasche passt und legen Sie es hinein.
5. Stellen Sie die Flasche kopfüber auf ein Glas. (Die Flasche sollte fest auf dem Glas aufliegen, aber nicht den Boden berühren.)
6. Geben Sie zuerst eine Schicht Sand und anschließend eine Schicht Kies in die Flasche. (Achten Sie darauf, das Sand und Kies relativ „sauber“ sind. Bei Bedarf vorher mit Wasser durchspülen und trocknen lassen.)
7. Messen Sie etwa 100 mL der Wasserprobe, füllen Sie sie in die Plastikflasche und fangen Sie das Filtrat mit dem Glas auf.
8. Messen Sie erneut den Ammonium- und Nitratgehalt der Wasserprobe.



Abbildung 17: Gefüllter Kies-Sand-Filter

Beobachtung

	Ammoniumgehalt in mg/L	Nitratgehalt in mg/L
Vor der Filtration		
Nach der Filtration		

Anregungen

Vergleichen Sie die gemessenen Werte und schätzen Sie ein, wie gut Ammonium- und Nitrat-Ionen vom Boden adsorbiert werden.

Ziehen Sie Schlussfolgerungen für eine eventuelle Ammonium- und Nitratbelastung des Grundwassers.

Auswertung

Durch den Kies-Sand-Filter wird die Konzentration an Ammonium-Ionen in der Wasserprobe verringert. Dabei wirken die Kies- und die Sandteilchen als Adsorber. Das bedeutet, dass ein Teil der gelösten Ammonium-Ionen an der Feststoffoberfläche der Kies- und Sandschicht haften bleiben, während das Wasser durch die kleinen Spalten der einzelnen Schichten läuft. Dieser Vorgang wird als Adsorption bezeichnet^[3,13].

Im Gegensatz zu Ammonium wird Nitrat von den Kies- und Sandteilchen nicht adsorbiert. Daher ändert sich die Konzentration der Nitrat-Ionen nach dem Durchlaufen des Kies-Sand-Filters nicht^[3].



Experiment 7: Wirkung von Harnstoff auf Böden

Information

Ein übermäßiger Stickstoffeintrag kann zu einer Senkung des pH-Wertes im Boden und damit zur Versauerung beitragen. Die Stickstoffeinträge können dabei z. B. über Stickoxide aus der Luft mit dem sogenannten „sauren Regen“ in den Boden gelangen.

Experiment 4 hat sich bereits mit der Harnstoffzersetzung im Boden beschäftigt. Hierbei wurde eine Erhöhung des pH-Wertes festgestellt, da Ammoniak in feuchter Umgebung basisch reagiert und sich Ammonium- und Hydroxid-Ionen bilden. In feuchter Luft kann durch die Gegenwart von Ammoniak daher sogar „saurer Regen“ neutralisiert werden.

Im Boden hingegen können Harnstoff und Ammoniak eine versauernde Wirkung haben, was auf die Aktivität bestimmter Bakterien im Boden zurückzuführen ist^{[10][10]}.

Hinweis: Da bei diesem Experiment die Aktivität der Bakterien im Boden bedeutsam ist, sollte es möglichst während der Vegetationsperiode **Frühling bis Herbst** durchgeführt werden.

A) Bestimmung des pH-Wertes im Boden

Im Versuchsteil B) soll in einem Langzeitexperiment in regelmäßigen Abständen der pH-Wert einer Bodenprobe bestimmt werden. Wie der pH-Wert bestimmt werden kann, ist hier in Versuchsteil A) beschrieben.

Materialien

- 1 kleines Glas (z. B. Marmeladenglas, 100 – 300 mL)
- Esslöffel
- Waage
- Ggf. Messbecher

Chemikalien

- Bodenprobe
- Leitungswasser
- pH-Papier

Aufbau und Durchführung

1. Wiegen Sie 10 g (ca. 1 gestr. Esslöffel) Boden in das Glas ein und geben Sie 25 mL Wasser hinzu.
2. Rühren Sie mithilfe des Löffelstiels für etwa 3 Minuten.
3. Warten Sie 10 Minuten und bestimmen Sie dann durch Eintauchen des pH-Papiers in die Flüssigkeit den pH-Wert.



Abbildung 18: Verrühren der Suspension aus Bodenprobe und Wasser

B) Wirkung von Harnstoff auf den pH-Wert des Bodens

Materialien

- 2 Gläser mit Deckel (200 – 400 mL)
- 1 kleines Glas (100 – 300 mL)
- Teelöffel
- Waage
- Ggf. Messbecher



Chemikalien

- Bodenprobe (ca. 200 g)
- Harnstoff
- Leitungswasser
- pH-Papier



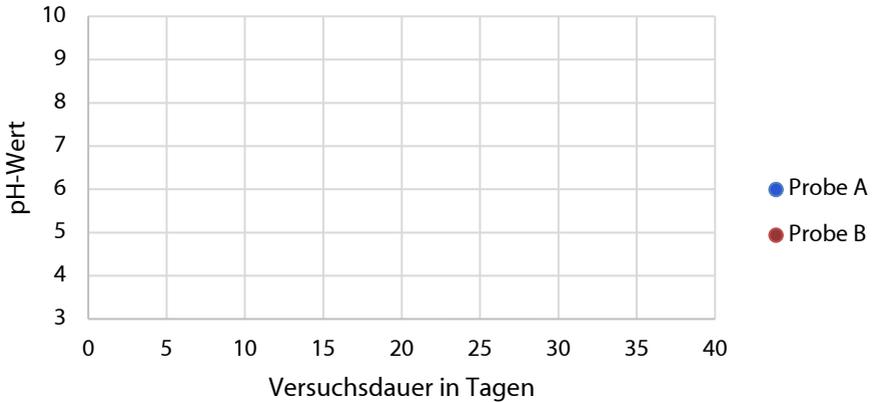
Aufbau und Durchführung

1. Entfernen Sie bei Bedarf grobes Pflanzenmaterial und Steine aus der Bodenprobe und durchmischen Sie diese anschließend gründlich.
2. Beschriften Sie die beiden größeren Gläser mit A und B und befüllen Sie sie wie folgt:
A: 100 g Bodenprobe + 10 mL Wasser (Vergleichsprobe)
B: 100 g Bodenprobe + 0,05 g Harnstoff, gelöst in 10 mL Wasser
3. Bestimmen Sie mit jeweils 10 g der Bodenproben den pH-Wert beider Proben (vgl. Versuchsteil A).
4. Decken Sie die Gläser lose mit dem Deckel ab, sodass weiterhin ein Luftaustausch stattfinden kann.
5. Durchmischen Sie die Bodenproben alle 4-5 Tage kurz und gleichen Sie anschließend den Feuchtigkeitsverlust mit etwas Wasser aus.
6. Bestimmen Sie über einen Zeitraum von 40 Tagen in Abständen von etwa 5-10 Tagen den pH-Wert beider Bodenproben.

Abbildung 19: 0,05 g Harnstoff

Ergebnis

Tragen Sie ihre Messwerte farbig in untenstehendes Diagramm ein.

Wirkung von Harnstoff auf den pH-Wert einer Bodenprobe**Anregungen**

Variieren Sie den Versuch indem Sie eine andere Bodenprobe verwenden und/oder die Harnstoffmengen ändern.

Auswertung

Bei dem Boden, dem Harnstoff zugesetzt wurde, ist zunächst ein deutlicher Anstieg des pH-Wertes zu erkennen. Dieser Anstieg ist auf die Bildung von Ammoniak zurückzuführen, aus dem in Gegenwart von Wasser Ammonium- und Hydroxid-Ionen gebildet werden (vgl. [Experiment 4](#)). Diesen Vorgang bezeichnet man als **Ammonifikation**^[10].

Wortgleichung: Ammoniak + Wasser \rightleftharpoons Ammoniumionen + Hydroxidionen

Reaktionsgleichung: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

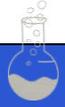
Im weiteren Verlauf sinkt der pH-Wert, sowohl bei der Vergleichsprobe als auch bei der mit Harnstoff versetzten Probe. Bei letzterer ist jedoch eine deutlichere Bodenversauerung festzustellen. Grund hierfür ist die **Nitrifikation** der Ammonium-Ionen. Diese erfolgt in zwei Stufen, wobei zunächst Nitrit- und Oxonium-Ionen und später Nitrat-Ionen gebildet werden^[10].

Wortgleichung: Ammoniak + Sauerstoff \rightarrow Nitrationen + Oxoniumionen

Reaktionsgleichung: $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

Gut zu wissen: Erniedrigt sich der pH-Wert um eine Einheit, bedeutet das eine Verzehnfachung der Konzentration an Oxonium-Ionen!

Hinweis: Sie haben mit Ihrem Versuch andere Beobachtungen gemacht? Böden sind verschieden und bringen unterschiedliche Voraussetzungen mit. Manche Böden sind nährstoffreich, manche nährstoffarm. Ein Moorboden hat üblicherweise von Natur aus einen völlig anderen pH-Wert als ein Ackerboden. Außerdem ist die Aktivität der jeweiligen Bodenbakterien bedeutsam. In diesem Zusammenhang spielt die Jahreszeit eine Rolle – führen Sie das Experiment am besten in der Vegetationsperiode **Frühling bis Herbst** durch^[10].



Experiment 8: Untersuchung der Nitratgehalte von Gemüse und Obst

Information

Ein Großteil des täglich mit der Nahrung aufgenommenen Nitrats stammt aus Gemüse. Der Nitratgehalt kann dabei extrem schwanken, wobei Blattgemüse tendenziell die höchsten Nitratwerte aufweist^[14].

A) Direkte Messung an der Pflanze

Materialien

- Scharfes Messer
- Papiertücher
- Stoppuhr

Chemikalien

- Gemüse und/oder Obst
- Teststäbchen für den Nitrat-Test

Aufbau und Durchführung

1. Schneiden Sie das Obst/Gemüse mit dem Messer durch.
2. Messen Sie direkt an der feuchten Oberfläche der Schnittstelle den Nitratgehalt.

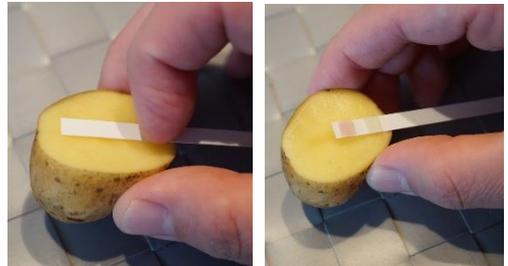


Abbildung 20: Direkte Nitratbestimmung an einer frisch aufgeschnittenen Kartoffel und Paprika

Beobachtung

Pflanzentyp und Teil der Pflanze	Nitrat-Gehalt in mg/kg

Anregungen

- Der Nitratgehalt ist zu hoch, um mit dem Teststäbchen messbar zu sein? Dann verwenden Sie die Pflanzensaftmethode im Versuchsteil B).
- Vergleichen Sie die Nitratwerte verschiedener Pflanzenteile innerhalb einer Pflanze.
- Vergleichen Sie die gleichen Pflanzenteile verschiedener Pflanzen aus unterschiedlichem Anbau (z. B. biologischer Anbau).

Auswertung

In Pflanzen gibt es ein Leitungssystem für den Stofftransport innerhalb der Pflanze. Auf diese Weise wird Nitrat über den Strunk in die Blattrippen und -adern transportiert. Deswegen kann die Verteilung der Nitratkonzentration innerhalb einer Pflanze sehr unterschiedlich ausfallen und im Strunk und den Blattrippen deutlich höher sein als in den äußeren Blättern^[14,15].

B) Messung des Pflanzensaftes

Materialien

- Haushaltspresse (z. B. Knoblauchpresse) oder Pürierstab
- Behälter oder Glas (200 – 500 mL)
- Papiertücher
- Stoppuhr
- Ggf. Kunststoff-Pipette

Chemikalien

- Gemüse und/oder Obst
- Teststäbchen für den Nitrat-Test
- Ggf. Leitungswasser

Aufbau und Durchführung

1. Zerkleinern Sie mit der Haushaltspresse oder dem Pürierstab das Pflanzenmaterial.
2. Messen Sie direkt im Pflanzensaft den Nitratgehalt.
3. Liegt der Nitratgehalt außerhalb des messbaren Bereichs der Teststreifen, pipettieren Sie 1 mL des Saftes in ein separates Gefäß.
4. Verdünnen Sie den Pflanzensaft um eine definierte Menge (z. B. das Fünffache oder Zehnfache).
5. Multiplizieren Sie den ermittelten Wert mit dem Verdünnungsfaktor^[16].



Abbildung 21: Bestimmung des Nitratgehalts von Salatblättern



Experiment 9: Nitrat und Nitrit im Spinat

Information

Pflanzen nehmen Nitrat als Nährstoff auf, um ihren Stickstoffbedarf zu decken. Daher enthält auch Spinat natürlicherweise Nitrat, wobei der tatsächliche Gehalt stark schwanken kann. Durch eine schlechte Lebensmittelhygiene (z. B. falsche Lagerung) kann ein Teil des Nitrats im Spinat zu giftigem Nitrit umgewandelt werden^[17].

Materialien

- Kleiner Kochtopf
- Herd
- 3 kleine, luftdicht verschließbare Behälter/Gläser
- Löffel
- Papiertücher
- Stoppuhr



Chemikalien

- TK-Spinat (ca. 200 g)
- Teststäbchen für den Nitrat-Test

Aufbau und Durchführung

1. Kochen Sie den Spinat unter Rühren etwa 10 Minuten lang.
2. Bestimmen Sie nach dem Abkühlen mithilfe der Teststäbchen den Nitrat- und Nitritgehalt des Spinats.
3. Teilen Sie den Spinat in drei gleich große Portionen A, B und C und lagern Sie die Portionen 2 Tage lang wie folgt:
 - Portion A** im geschlossenen Behälter im Kühlschrank
 - Portion B** im halboffenen Behälter bei Raumtemperatur
 - Portion C** im geschlossenen Behälter bei Raumtemperatur
4. Bestimmen Sie nach 2 Tagen jeweils den Nitrat- und Nitritgehalt.

Beobachtung

1. Messung (direkt nach dem Kochen):

	Gesamtmenge an Spinat
Nitrat-Gehalt in mg/L	
Nitrit-Gehalt in mg/L	

2. Messung (nach 2 Tagen):

	Spinat Portion A	Spinat Portion B	Spinat Portion C
Nitrat-Gehalt in mg/L			
Nitrit-Gehalt in mg/L			

Anregungen

Probieren Sie das Experiment mit verschiedenen Gemüsesorten aus.

Auswertung

Durch die Aktivität verschiedener denitrifizierender Bakterien, die sich auf und im Spinat befinden, kann Nitrat zu Nitrit umgewandelt werden. Denitrifizierende Bakterien sind Mikroorganismen, die Nitrat zu Nitrit reduzieren können. Die Bakterienaktivität hängt dabei u. a. von der Temperatur und der An- bzw. Abwesenheit von Sauerstoff ab^[17].

Deswegen ist bei dem kühl gelagerten Spinat nach 2 Tagen kein oder nur ein geringer Nitrit-Gehalt messbar (Portion A). Bei Raumtemperatur wird hingegen verstärkt Nitrit gebildet (Portion B und C). Die sauerstofffreien Bedingungen verstärken zusätzlich die Fähigkeit der Bakterien, Nitrat zu Nitrit zu reduzieren.

Da Nitrit weniger stabil als Nitrat ist, reagiert Nitrit in Anwesenheit von Sauerstoff teilweise zu Nitrat. Auch diese Reaktion trägt dazu bei, dass bei der Portion C nach zwei Tagen der höchste Nitrit-Gehalt messbar ist.



Experiment 10: Nitrit-Gehalt in Pökelfleisch

Information

Was ist Nitritpökelsalz?

Nitritpökelsalz besteht hauptsächlich aus Speisesalz, also Natriumchlorid. Diesem wird eine geringe Menge (0,4 – 0,5 %) Natrium- oder Kaliumnitrit (E 250 oder E 249) zugesetzt^[18].

Wofür wird es verwendet?

Nitritpökelsalz wird vor allem bei Fleisch und Fleischerzeugnissen eingesetzt, um Folgendes zu bewirken:

- Umrötung: Hitze- und sauerstoffbeständige rötliche Farbe des Fleisches
- Pökelaroma: Charakteristischer Geruch und Geschmack
- Konservierung: Hemmung des Wachstums unerwünschter Mikroorganismen
- Antioxidation: Vermeidung bzw. Verringerung von Ranzigkeit^[19]

Wie kann es verwendet werden?

Es gibt verschiedene Wege, Fleisch zu pökeln. Eine Möglichkeit ist die Nasspökung, bei dem die Ware ein bis mehrere Tage in eine wässrige Lösung eingelegt wird, die Pökelsalz enthält^[20].

Ist es gefährlich?

Im Zusammenhang mit Nitrit fällt häufig der Begriff Nitrosamine. Einige Nitrosamin-Verbindungen sind krebserregend und können in Gegenwart von sekundären Aminen entstehen. In Brüh- und Kochwurst, sowie in Kochschinken sind z. B. keine oder nur kaum

sekundäre Amine vorhanden. Auch die Herstellung spielt eine Rolle, da sich Nitrosamine nur bei hohen Temperaturen oder langer Lagerung bei Raumtemperatur bilden. Gepökelte Lebensmittel sollten daher möglichst nicht gebraten, gegrillt oder frittiert werden. Insgesamt stammen allerdings nur etwa 3 % der gesamten Nitritbelastung im menschlichen Körper aus gepökelten Fleischerzeugnissen. Das meiste Nitrit entsteht im Zuge von körpereigenen Prozessen sowie aus Nitraten^[18,21].

Was sind die gesetzlichen Vorgaben?

Nach dem deutschen Lebensmittelgesetz sind je nach Wurstsorte 50 – 250 mg Nitritpökelsalz pro kg Fleisch zugelassen. Für Biowurst sind es bis zu 80 mg pro kg Fleisch.

Materialien

- Kleiner, verschließbarer Behälter für das Fleisch
- Messbecher
- Scharfes Messer
- Pürierstab
- Trichter
- Filterpapier (z. B. Kaffeefilter)
- Teller oder Schneidebrett

Chemikalien

- Fleischstück (ca. 30 – 50 g, möglichst mager, z. B. Schnitzel aus der Oberschale)
- Nitritpökelsalz
- Nitrat-/Nitrit-Teststäbchen
- Wasser



Abbildung 22: Materialien und Chemikalien

Durchführung

1. Stellen Sie eine Pökelsalzlösung her, indem Sie etwa 50 g Nitritpökelsalz und 150 mL Wasser in einen verschließbaren Behälter geben.
2. Legen Sie das Fleisch in die Pökelsalzlösung ein. Schließen Sie den Behälter und lagern Sie das Fleisch im Kühlschrank.
3. Schneiden Sie nach 2 Tagen etwa 5 g Fleisch ab (das restliche Fleisch bleibt im Behälter im Kühlschrank!). Pürieren Sie es zusammen mit 100 mL Wasser.
4. Filtrieren Sie das Fleisch-Wasser-Gemisch.
5. Messen Sie mithilfe der Teststäbchen den Nitrit-Gehalt.
6. Verfahren Sie drei Tage später (also nach insgesamt 5 Tagen) analog mit erneut etwa 5 g Fleisch.

Beobachtung

Nitritgehalt nach 2 Tagen	
Nitritgehalt nach 5 Tagen	

Anregungen

Variieren Sie das Experiment! Gibt es z. B. Unterschiede, wenn man statt eines geschlossenen Behälters einen offenen Behälter verwendet?

Alternativ bestimmen Sie jeweils nicht nur die Nitrit- sondern auch die Nitrat- und Ammoniumgehalte. Sind hier Veränderungen zu beobachten?

Auswertung:

Nitrit ist in wässriger Lösung relativ instabil und wird im Laufe des Pökelprozesses abgebaut. Bei Vorhandensein von Sauerstoff kann es durch Oxidation in Nitrat umgewandelt werden. Ist kein Sauerstoff vorhanden, kann eine Reduktion zu Ammonium stattfinden^[22].



Experiment 11: „Umrötung“ durch Nitritpökelsalz

Information

Einer der Gründe, warum Fleischwaren häufig mit Nitritpökelsalz behandelt werden, ist die Bildung einer hitzestabilen Pökelfarbe. Die Farbe, die aus der „Umrötung“ entsteht, ist der von rohem Fleisch sehr ähnlich.

Materialien:

- 2 kleine Kochtöpfe
- Herd
- Waage
- Löffel

Chemikalien:

- Hackfleisch (ca. 40 – 50 g, z. B. Rinderhack)
- Nitritpökelsalz
- Wasser



Durchführung

1. Teilen Sie das Hackfleisch in zwei gleich große Portionen A und B à ca. 20 g.
2. Arbeiten Sie in Portion B mindestens 2 Messerspitzen Nitritpökelsalz ein.
3. Formen Sie aus den Portionen Bällchen und kochen Sie sie in getrennten Töpfen im Wasser gar.
4. Schneiden Sie die Bällchen auf und beschreiben Sie die jeweilige Farbe.

Beobachtung

	Portion A (ohne Nitritpökelsalz)	Portion B (mit Nitritpökelsalz)
Farbe		

Anregungen

Variieren Sie den Versuch! Verwenden Sie z. B. verschiedene Fleischsorten oder verschiedene Mengen an Nitritpökelsalz. Sehen Sie Unterschiede?

Auswertung

Durch das Kochen wird im Hackfleisch der Muskelfarbstoff Myoglobin zerstört, wodurch das Fleisch eine gräuliche Farbe annimmt. Durch die Zugabe von Nitrit erfolgt die sogenannte „Umrötung“. Nitrit zerfällt über mehrere Schritte zu Stickstoffmonoxid. Dieses wiederum verbindet sich mit dem Eisenatom des Myoglobins zum Nitrosomyoglobin und durch Erhitzen entsteht das rote Nitrosomyochromogen. Letzteres ist hitzebeständig, sodass das Fleisch auch nach dem Kochen noch eine rötliche Färbung hat^[20].

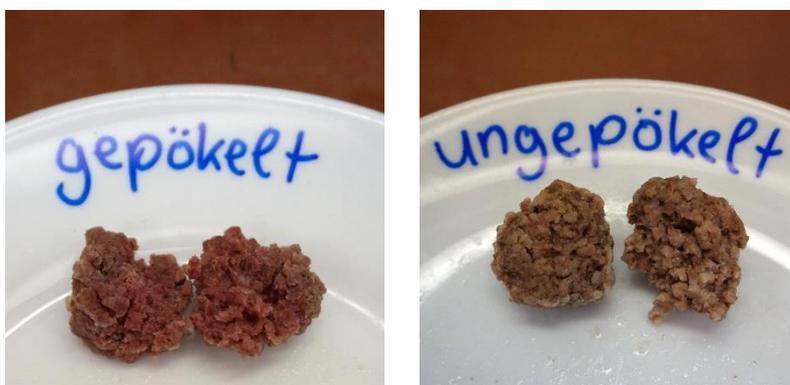
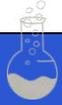


Abbildung 23: Gepökelt und ungepökelt Hackfleisch nach dem Kochen



Experiment 12: Auswirkung verschiedener Stickstoffeinträge auf das Pflanzenwachstum am Beispiel Kresse

Information

Durch die Zugabe von Düngemitteln kann die Nährstoffversorgung von Pflanzen optimiert und damit der Ertrag gesteigert werden. Zu hohe Düngemittelaufwendungen sind dabei in mehrerer Hinsicht kontraproduktiv. Zunächst kosten Düngemittel Geld. Wird also mehr gedüngt, als die Pflanzen überhaupt aufnehmen können, ist dies auch in finanzieller Hinsicht unwirtschaftlich. Stickstoffüberschüsse können zudem nicht nur negative Auswirkungen auf die Umwelt haben, sondern auch auf die Qualität der Nutzpflanze. Dies kann z. B. eine Schwächung der Pflanzen sein, die bei starker Überdüngung auftreten kann^[23].

Hinweis: Dieses Experiment untersucht, ab welcher Stickstoffmenge das Wachstum der Pflanzen positiv, aber auch negativ beeinflusst wird. Dies geschieht am Beispiel Kresse auf einem ansonsten nährstoffarmen Watteboden. Das Pflanzenverhalten in Blumentöpfen, Gärten und Äckern kann sich je nach Pflanzenart und Umgebung stark unterscheiden.

Materialien

- Mind. 5 flache Schalen (z. B. Joghurtbecherdeckel)
- Watte oder Wattepad
- Waage
- Teelöffel
- Mind. 5 verschließbare Flaschen (1 L)
- Zettel und Stift zum Beschriften



Chemikalien

- Kressesamen
- Leitungswasser
- Natriumnitrat
- Ammoniumchlorid

Aufbau und Durchführung

1. Setzen Sie entsprechend untenstehender Tabelle Lösungen an.

Hinweis: Sie können auch Ammonium- und Nitrat-Lösungen vorheriger Experimente verwenden. Außerdem können Sie sich selbstverständlich für andere Ammonium- und Nitrat-Konzentrationen entscheiden und deren Auswirkung untersuchen.

1	2	3	4
Nitrat NO_3^- 500 mg/L	Nitrat NO_3^- 100 mg/L	Ammonium NH_4^+ 500 mg/L	Ammonium NH_4^+ 100 mg/L
0,7 g Natriumnitrat auf 1 L Leitungswasser	200 mL von Lösung 1 (500 mg/L NO_3^-) abnehmen und auf 1 L auffüllen	1,5 g Ammoniumchlorid auf 1 L Leitungswasser	200 mL von Lösung 3 (500 mg/L NH_4^+) abnehmen und auf 1 L auffüllen



Abbildung 24: 0,7 g Natriumnitrat



Abbildung 25: 1,5 g Ammoniumchlorid

2. Legen Sie in 5 flache Schalen etwas Watte oder ein Wattepad und verteilen Sie möglichst gleiche Mengen Kressesamen darauf.
3. Beschriften Sie die jeweiligen Schalen mit der entsprechenden Nitrat- oder Ammoniumkonzentration.
4. Befeuchten Sie die Watte mit den jeweiligen angesetzten Lösungen. Eine Schale wird zum Vergleich ausschließlich mit Leitungswasser gegossen.
5. Halten Sie die Watte mit den Lösungen gleichmäßig feucht (Staubässe vermeiden!) und beobachten Sie das Wachstumsverhalten der Kresse.

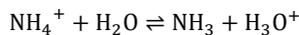
Anregungen

Ernten Sie nach 1 – 2 Wochen Kresse und untersuchen Sie sie auf ihre jeweiligen Nitratgehalte. Stellen Sie Unterschiede fest?

Auswertung

Gartenkresse gilt als sehr anspruchslose Pflanze, sodass sogar auf einem nährstoffarmen/-freien Boden wie Watte oder Küchenpapier ohne zusätzliche Düngung gedeihen kann^[24]. Durch Zugabe von Natriumnitrat-Lösungen kann der Ertrag noch gesteigert werden. Wird die Nitratkonzentration weiter erhöht, hat dies irgendwann negative Auswirkungen auf das Wachstumsverhalten der Kresse. Zudem muss berücksichtigt werden, dass bei permanenter Bewässerung mit Nitrat-Lösungen aufgrund von Verdunstung der Nitrat-Gehalt in der getränkten Watte immer weiter steigt.

Bei der Zugabe von Ammoniumchlorid-Lösungen ist ein anderes Wachstumsverhalten bei der Kresse zu beobachten – sie wächst sichtbar schlechter. Ein möglicher Grund hierfür kann ein zu niedriger pH-Wert in der getränkten Watte sein. Ammonium wirkt als schwache Säure und bildet mit Wasser Oxonium-Ionen. Steigt die Konzentration der Oxonium-Ionen, sinkt der pH-Wert und die Lösung wird sauer.



Wird Ammonium zudem über die Wurzeln von Pflanzen aufgenommen, wird eine äquivalente Menge Protonen abgegeben, was ebenfalls zu einer Erniedrigung des pH-Wertes führt^[25].



Abbildung 26: Kressenwachstum bei verschiedenen Stickstoffeinträgen



Experiment 13: Bestimmung des Stickstoffgehaltes im Boden

Information

Die Bestimmung des N_{\min} -Gehaltes im Boden ist ein wesentlicher Bestandteil einer Düngebedarfsermittlung. Dabei steht „min“ für „mineralisch“, womit diejenige Stickstoffmenge gemeint ist, die im Boden als Nitrat oder Ammonium den Pflanzen als Nährstoff zur Verfügung steht. Im Frühjahr wird der N_{\min} -Gehalt für den Zeitpunkt der Düngung ermittelt, damit die Düngung entsprechend angepasst werden kann. Eine weitere Probennahme im Herbst dient außerdem der Kontrolle der N_{\min} -Restgehalte.

Um N_{\min} -Proben nehmen zu können, wird der Boden mit jeweils 15 – 20 Proben in den Tiefen 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm untersucht. Die Erde wird mit speziellen Bohrstöcken entnommen und der Boden kalt gelagert^[26].

Hinweis: Die hier vorgestellte Methode zur N_{\min} -Bestimmung des Bodens ist lediglich eine vereinfachte Messung^[15,16]. Offizielle Probennahmen unterliegen strengeren Auflagen und werden in Laboren auf ihren Stickstoffgehalt untersucht.

Sie können natürlich auf eine Entnahme von Proben aus tieferen Bodenschichten (30 – 60 cm und 60 – 90 cm) verzichten, da dies ohne einen speziellen Bohrstock recht umständlich ist. Das Prinzip einer Nitrat- und Ammoniummessung von Bodenproben wird trotzdem deutlich, auch wenn das Ergebnis weniger genau ist.

Materialien

- Spaten
- 3 Eimer oder ähnliche Behälter
- Eszlöffel
- Waage
- Messbecher
- 3 Gläser (ca. 200 – 400 mL)
- Filterpapier (z. B. Kaffeefilter)
- Trichter
- Papiertücher
- Stoppuhr



Chemikalien

- Bodenproben (siehe Vorbereitung)
- Leitungswasser
- Teststäbchen für den Nitrat-Test
- Teststäbchen für den Ammonium-Test
- Nachweisreagenz für den Ammonium-Test

Vorbereitung

Entnehmen Sie aus den drei Bodenzonen (0 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 90 cm) jeweils mehrere Bodenproben und vereinigen Sie sie in einem Eimer. Die Proben der drei Zonen sind dabei getrennt zu sammeln. Vermischen Sie den Inhalt der Eimer gründlich.

Aufbau und Durchführung

1. Wiegen Sie je Bodenschicht 100 g Erde in eines der Gläser ab und geben Sie 100 mL Wasser hinzu.
2. Rühren Sie mithilfe des Löffelstiels für 3 Minuten kräftig um.
3. Filtrieren Sie die Bodensuspension.
4. Messen Sie den Nitrat- und Ammoniumgehalt des jeweiligen Filtrats.

Beobachtung

	Nitratgehalt in mg/L	Ammoniumgehalt in mg/L
Bodenschicht 0 – 30 cm		
Bodenschicht 30 – 60 cm		
Bodenschicht 60 – 90 cm		

Ergebnis und Auswertung

Der gemessene Nitrat- und Ammoniumgehalt in mg/L entspricht dem Nitrat- und Ammoniumgehalt in kg/ha der jeweilig untersuchten Bodenschicht. Um den N_{\min} -zu bestimmen, gehen Sie wie folgt vor.

1. Berücksichtigung der Bodenfeuchte

Der Wassergehalt der genommenen Bodenprobe sollte berücksichtigt werden. Der abgelesene und unter Beobachtung eingetragene Wert wird hierfür geringfügig korrigiert. Bei einem trockenen Boden multiplizieren Sie die Werte mit dem Faktor 1,1, bei normalem Boden mit dem Faktor 1,3 und bei feuchtem Boden mit dem Faktor 1,5. Tragen Sie die neuen Werte in untenstehende Tabelle ein^[16].

	Nitratgehalt in kg/ha	Ammoniumgehalt in kg/ha
Bodenschicht 0 – 30 cm		
Bodenschicht 30 – 60 cm		
Bodenschicht 60 – 90 cm		

2. Umrechnung von „Nitrat zu Nitrat-N“ und „Ammonium zu Ammonium-N“

Nitrat setzt sich aus Stickstoff und Sauerstoff zusammen, Ammonium aus Stickstoff und Wasserstoff. Da für den N_{\min} -Gehalt nur der Stickstoffgehalt interessant wird, muss aus dem Nitrat der Nitrat-Stickstoff (Nitrat-N) und aus Ammonium der Ammonium-Stickstoff (Ammonium-N) berechnet werden^[27].

$$\text{Nitrat - N} = \frac{\text{Nitratgehalt}}{4,43}$$

$$\text{Ammonium - N} = \frac{\text{Ammoniumgehalt}}{1,29}$$

Tragen Sie Ihre Ergebnisse der Umrechnung in untenstehende Tabelle ein.

	Nitrat-N in kg/ha	Ammonium-N in kg/ha
Bodenschicht 0 – 30 cm		
Bodenschicht 30 – 60 cm		
Bodenschicht 60 – 90 cm		

3. Berechnung des Gesamtstickstoffs N_{\min} im Boden

Als letzten Schritt addieren Sie die Ergebnisse vom Nitrat-N und Ammonium-N aller Bodenschichten, um den N_{\min} -Vorrat des Bodens zu bestimmen.

Gesamter N_{\min} -Vorrat im Boden in kg/ha	
--	--

Wie kann das Ergebnis eingeordnet werden?

Jedes Jahr werden von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen für verschiedene Kulturen (z. B. Getreide oder Mais) N_{\min} -Richtwerte veröffentlicht. Diese können für die Düngebedarfsermittlung herangezogen werden, sofern keine eigenen N_{\min} -Proben vorliegen. Die Richtwerte hängen stark von der Witterung des jeweiligen Erntejahres ab. Lange Trocken- und Hitzeperioden führen häufig zu geringeren Erträgen; gleichzeitig wird mehr Stickstoff im Boden mineralisiert. Dadurch bleiben teilweise hohe Restmengen an N_{\min} im Boden. Daneben spielt auch die Art des Bodens eine Rolle. In sandigen Böden kann meistens mit geringeren N_{\min} -Werten gerechnet werden als in Lehm- und Tonböden. Während im Weser-Ems-Gebiet (z. B. Lk Cloppenburg) eher sandige Böden zu finden sind, liegen im mittleren Niedersachsen (z. B. Lk Vechta und Osnabrück) leichte Lehm Böden vor.

Untenstehende Tabelle zeigt einen Auszug aus den N_{\min} -Richtwerten von zwei Bodentypen und Kulturen für das Frühjahr 2019.

Tabelle 1: Frühjahrs- N_{\min} -Werte für Sommergetreide, Kartoffeln und Mais (2019)

Boden (0 – 90 cm)	Sommergetreide kg N_{\min} /ha	Kartoffeln kg N_{\min} /ha	Mais kg N_{\min} /ha
Sandige Böden im Weser-Ems-Gebiet	33	40	30
(leichte) Lehm Böden im mittleren Nds.	41	43	49

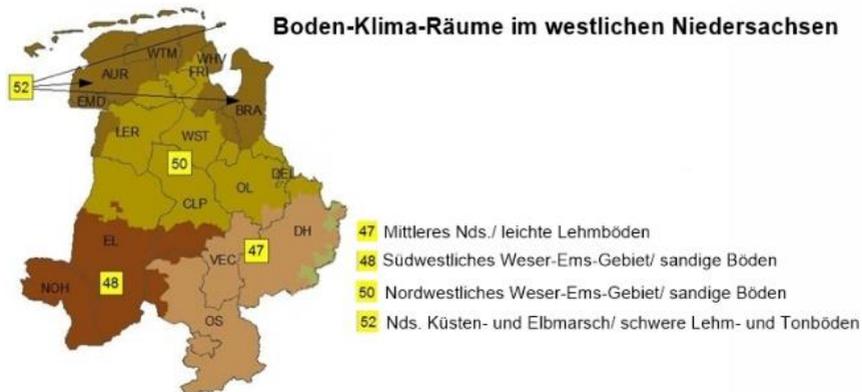


Abbildung 27: Bodentypen verschiedener Landkreise im westlichen Niedersachsen



Experiment 14: Stickstoffmineralisation im Boden

Information

Mithilfe der Aktivität von Mikroorganismen kann organisches Material (z. B. Pflanzenreste) über mehrere Stufen abgebaut werden, wobei anorganische Verbindungen entstehen. Diesen Prozess bezeichnet man im Allgemeinen als Mineralisation. Bezogen auf Stickstoff heißt das, dass beim Abbau stickstoffhaltiger organischer Verbindungen (z. B. Proteine) Ammonium-Ionen entstehen. In Anwesenheit von Sauerstoff werden diese über Nitrit- zu Nitrat-Ionen oxidiert^[28].

Hinweis: Um messbare Ergebnisse zu erzielen, sollten sie für dieses Experiment einen möglichst humusreichen Boden verwenden. Bei Humus handelt es sich um abgestorbene organische Bodensubstanzen, z. B. Pflanzenteile^[29,30]. Es eignen sich z. B. humusreiche Gartenerde oder Oberböden von Äckern und Wiesen^[30]. Außerdem sollten Sie den Versuch, wenn möglich, in der Vegetationsperiode **Frühling bis Herbst** durchführen.

Materialien

- Schaufel oder Spaten
- 4 Gläser (ca. 200 – 400 mL)
- Löffel
- Waage
- Messbecher
- Filterpapier (z. B. Kaffeefilter)
- Trichter
- Papiertücher
- Stoppuhr

Chemikalien

- Humusreiche Bodenprobe, feldfrisch
- Humusarme Bodenprobe, feldfrisch (z. B. humusarmer Lehm aus einer 20 – 30 cm tiefen Bodenschicht)
- Leitungswasser
- Teststäbchen für den Nitrat-Test



Abbildung 28: Humusreicher Oberboden

Aufbau und Durchführung

1. Entfernen Sie grobe Pflanzenreste und Steine aus den beiden Bodenproben und durchmischen Sie die Proben jeweils gründlich.
2. Wiegen Sie jeweils 100 g der beiden Proben in ein Glas ab und geben Sie 100 mL Wasser hinzu.
3. Rühren Sie mithilfe des Löffelstiels für 3 Minuten kräftig um.
4. Filtrieren Sie die Bodensuspension jeweils in ein neues Glas.
5. Messen Sie den Nitratgehalt des jeweiligen Filtrats und notieren Sie die Werte unter „Beobachtung“.
6. Reinigen Sie die benutzten Gläser mit Leitungswasser.
7. Wiegen Sie erneut jeweils 100 g der beiden Proben in ein Glas ab.
8. Geben Sie unter Rühren so viel Wasser hinzu, dass die Erde jeweils gleichmäßig feucht ist, ohne dass stehendes Wasser zu sehen ist.
9. Decken Sie die Gläser lose ab, sodass ein Luftaustausch weiterhin gewährleistet ist.
10. Stellen Sie die Gläser an einen warmen Ort mit möglichst wenigen Temperaturschwankungen und warten Sie 14 Tage (Bebrütung).
11. Messen Sie gemäß der Punkte 2 – 5 erneut den Nitratgehalt der Proben.

Beobachtung

	Nitratgehalt vor der Bebrütung in mg/L	Nitratgehalt nach der Bebrütung von 14 Tagen in mg/L
Humusreicher Boden		
Humusarmer Boden		

Anregungen

Variieren Sie das Experiment! Sie können z. B. den Einfluss verschiedener Böden oder Bebrütungstemperaturen untersuchen.

Auswertung

In humusreichen Böden ist innerhalb von 14 Tagen ein stärkerer Anstieg des Nitratgehaltes zu beobachten als in humusarmen Böden. Das liegt daran, dass dort mehr organisches Material vorhanden ist, das abgebaut wird. Böden aus tieferen Schichten enthalten weniger Humus und mehr Huminstoffe. Diese enthalten zwar auch Stickstoff, sind aber schwerer abbaubar^[31].



Experiment 15: Nitratentfernung durch Ionenaustausch

Information

Nitrat-Ionen sind in größeren Mengen im Wasser unerwünscht. Um diesem Problem zu begegnen, kommen Ionenaustauscherharze zum Einsatz. Je nach Art des Austauscherharzes werden entweder Anionen aus dem Wasser gegen Hydroxid (OH^-)- oder Chlorid (Cl^-)-Ionen (Anionenaustauscher) oder Kationen gegen H^+ -Ionen (Kationenaustauscher) ausgetauscht. Um Nitrat-Ionen aus dem Wasser zu entfernen, muss ein Anionenaustauscher zum Einsatz kommen.

Damit der Ionenaustausch funktioniert, muss ein Affinitätsunterschied zwischen den verschiedenen Ionen existieren. Konkret muss der Austauscher eine höhere Affinität für das zu entfernende Ion in der Lösung als für das bewegliche Ion im Harz haben. Für einen Anionenaustauscher gilt z. B. für folgende Anionen die Affinitätskala:



Sind in dem Austauscher beispielsweise Hydroxid- oder Chlorid-Ionen enthalten, können diese durch Nitrat- und Sulfat-Ionen im Zuge der sogenannten Entsalzung verdrängt werden.

Bei dem Ionenaustausch handelt es sich um einen reversiblen (umkehrbaren) Prozess, da die Ionenaustauscherharze regeneriert und anschließend in einem neuen Durchlauf benutzt werden können. Dabei wird durch die Zugabe einer stark konzentrierten Lösung mit dem Regenerationsmittel der vorherige Prozess des „Ent- und Beladens“ rückgängig gemacht.

Ein Nachteil vom Ionenaustauschverfahren ist, dass es nicht möglich ist, selektiv ausschließlich Nitrat-Ionen aus einer Lösung zu entfernen. Es werden immer andere Ionen, z. B. Chlorid- oder Sulfat-Ionen mit abgetrennt. Darüber hinaus wird Nitrat zwar aus dem behandelten Wasserkörper entfernt, liegt aber immer noch in dem jeweiligen Abwasser vor. Das Problem kann daher mit diesem Verfahren nicht gelöst, sondern lediglich verlagert werden^[6,32].

Das einzige Verfahren, das sich bisher in Deutschland bewährt hat, ist das Carix-Verfahren (Carbon Dioxide Regenerated Ion Exchange Resins). Hierbei werden gleichzeitig die Kationen Calcium und Magnesium sowie die Anionen Hydrogencarbonat, Sulfat, Nitrat und Nitrat entfernt. Als Regenerationsmittel dient Kohlenstoffdioxid, wodurch im Abwasser nur die Salzmenge anfällt, die zuvor aus dem Rohwasser entfernt wurde^[33].

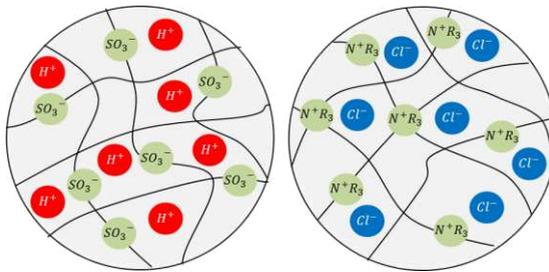


Abbildung 29: Schematischer Aufbau eines Kationen- (links) und eines Anionenaustauschers (rechts)

Hinweis: Sie benötigen für den Versuch eine Wasserprobe mit einem Nitratgehalt von etwa 100 – 300 mg/L. Sie können hierfür ihre Wasserprobenansätze von [Experiment 2](#) verwenden oder gemäß [Experiment 2](#) eine neue Wasserprobe herstellen.

Materialien

- 2 Schnappdeckelgläser
- Papiertücher
- Stoppuhr
- 2 Gläser (ca. 100 – 300 mL)
- Messbecher
- Trichter
- Filterpapier (z. B. Kaffeefilter)
- Teelöffel

Chemikalien

- Wasserprobe mit einem Nitratgehalt von 100 – 200 mg/L
- Ionenaustauscher (stark basischer Anionenaustauscher)
- Leitungswasser
- Teststäbchen für den Nitrat-Test



Abbildung 30:
Anionenaustauscher

Aufbau und Durchführung

1. Befüllen Sie ein Schnappdeckelglas mit etwa 5 mL mit der Wasserprobe und bestimmen Sie mithilfe eines Teststäbchens den Nitratgehalt.
2. Messen Sie etwa 20 mL der Wasserprobe ab und füllen Sie diese in eins der Gläser.
3. Geben Sie einen halben bis einen Teelöffel des Ionenaustauschers hinzu und lassen Sie die Probe für 10 Minuten stehen. Rühren Sie dabei alle 2 Minuten für 15 Sekunden um.
4. Filtrieren Sie die Wasserprobe und fangen Sie das Filtrat mit dem zweiten Glas auf.
5. Füllen Sie etwa 5 mL des Filtrats in das zweite Schnappdeckelglas und bestimmen Sie erneut den Nitratgehalt.



Abbildung 31: Filtrieren der
Wasserprobe

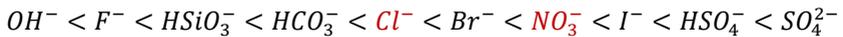
Beobachtung

	Nitratgehalt in mg/L
Vor der Behandlung mit dem Ionenaustauscher	
Nach der Behandlung mit dem Ionenaustauscher	

Auswertung

Die mobilen Chlorid-Ionen des stark basischen Anionenaustauschers werden durch die Nitrat-Ionen der Wasserprobe verdrängt. Dadurch wird ein Teil der Nitrat-Ionen gegen Chlorid-Ionen ausgetauscht. Damit wird ein Teil der Nitrat-Ionen aus dem Wasser entfernt, sodass sich der Nitratgehalt der Wasserprobe verringert.

Diese Entsalzung findet statt, da die Nitrat-Ionen in der Selektivitätsreihe höher stehen als die Chlorid-Ionen und somit die Chlorid-Ionen verdrängen^[6].



Zunahme der Selektivität

Abbildung 32: Selektivitätsreihe eines stark basischen Anionenaustauschers

Bildnachweise

Abbildung 4: Wirth, R. (2018). *Techniker/in der Fachrichtung Chemietechnik mit dem Schwerpunkt Umweltschutz – Trinkwasseraufbereitung. Schülerlabor Klasse 7/8*. Oldenburg.

Abbildung 6: Wirth, R. (2018). *Techniker/in der Fachrichtung Chemietechnik mit dem Schwerpunkt Umweltschutz – Trinkwasseraufbereitung. Schülerlabor Klasse 9/10*. Oldenburg.

Abbildung 13: Wirth, R. (2018). *Techniker/in der Fachrichtung Chemietechnik mit dem Schwerpunkt Umweltschutz – Trinkwasseraufbereitung. Schülerlabor Klasse 7/8*. Oldenburg.

Abbildung 27: verändert nach Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2019). *Boden-Klima-Räume in Niedersachsen*. Verfügbar unter: <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/23122.html> [27.02.2020]

Abbildung 28: Wulf Grube, hochgeladen von AxelHH [CC BY-SA 3.0] (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)

Abbildung 29: Dardel, F. d. (2008). *Ionenaustausch für Laien. Eine Einführung*. Verfügbar unter: <https://docplayer.org/5669599-Ionenaustausch-fuer-laien.html> [22.07.2019].

Abbildung 32: Wirth, R. (2018). *Techniker/in der Fachrichtung Chemietechnik mit dem Schwerpunkt Umweltschutz – Trinkwasseraufbereitung. Schülerlabor Klasse 9/10*. Oldenburg.

Alle anderen Abbildungen und Fotos sind selbst erstellt oder unter freier Lizenz von www.pixabay.com entnommen.

Literaturnachweise

- [1] a) "Ammonium", zu finden unter <https://www.umwelt.niedersachsen.de/themen/wasser/grundwasser/grundwasserbericht/grundwasserbeschaffenheit/gueteparameter/grundprogramm/ammonium/Ammonium-137593.html>; b) J. Wingender, "Ammonium-Verbindungen", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-01-02183#Literatur>, **2009**.
- [2] a) "MQuant Ammonium-Test", zu finden unter http://www.merckmillipore.com/DE/de/product/Ammonium-Test,MDA_CHEM-110024#anchor_PI, **2019**; b) M. Neupert, "Neßlers Reagenz", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-14-00865>, **2004**.
- [3] R. Wirth, *Schülerlabor: Techniker/in der Fachrichtung Chemietechnik mit dem Schwerpunkt Umweltschutz - Trinkwasseraufbereitung für 7. und 8. Klasse*, **2018**.
- [4] J. Wingender, "Nitrat", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-14-01295>, **2009**.
- [5] "110020 Nitrat-Test: Produktbeilage: 110020 MQuant Nitrat-Test", zu finden unter http://www.merckmillipore.com/DE/de/product/Nitrate-Test,MDA_CHEM-110020?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.de%2F#anchor_PI, **2016**.
- [6] R. Wirth, *Schülerlabor: Techniker/in der Fachrichtung Chemietechnik mit dem Schwerpunkt Umweltschutz - Trinkwasseraufbereitung für 9. und 10. Klasse*, **2018**.
- [7] a) J. Reece, L. Urry, M. Cain, S. Wasserman, P. Minorsky, R. Jackson, *Campbell Biologie*, 10. Aufl., Pearson, Hallbergmoos, **2016**; b) W. Reineke, M. Schlömann, *Umweltmikrobiologie*, 2. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, **2015**.
- [8] information.medien.agrar. (i.m.a.), *Lehrermagazin lebens.mittel.punkt* **2016**, 17.
- [9] D. Weiß, E. Täuscher, H. Brandl, *Chemie in unserer Zeit* **2019**, 53, 12.
- [10] T. DeVries, I. Parchmann, *Biologie in der Schule* **1999**, 48, 216.
- [11] a) *Verordnung (EG) Nr. 715/2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge*, **2007**; b) "Gesundheitskiller. Welche Schadstoffe pusten Autos in die Luft?", zu finden unter <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/gesundheitskiller-welche-schadstoffe-pusten-autos-in-die-luft-a-467793-3.html>, **2007**.
- [12] H. Brinkmann, *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie* **1991**, 2 (39), 16.
- [13] H.-J. Foth, W. Massa, "Adsorption", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-01-00856>, **2011**.

- [14] M. Ledig, G. Wittke, *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie* **1994**, 5 (42), 7.
- [15] J. Denter, *Praxis Geographie* **1987**, 17, 18.
- [16] R. Demuth, *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie* **1992**, 3 (40), 24.
- [17] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), *Fragen und Antworten zu Nitrat und Nitrit in Lebensmitteln*, **2013**.
- [18] "E 249 - Kaliumnitrit", zu finden unter https://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/75.e249_kaliumnitrit.html, **2013**.
- [19] *Verzehr von nitrit-/nitrat-gepökelten Fleischwaren – Bewertung eines Gutachtens zur Beurteilung der Gefährdungslage beim Menschen*, **2001**.
- [20] S. Pfläging, *Lebensmittelkonservierung. Anorganischer Experimentalvortrag*, Marburg, **1996**.
- [21] "Wie ist der Einsatz von Nitritpökelsalz zu bewerten?", zu finden unter <https://www.ugb.de/exklusiv/fragen-service/wie-ist-einsatz-von-nitritpoekelsalz-zu-bewerten/?->, **2011**.
- [22] J. Wingender, H. Sitzmann, "Nitrite", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-14-01344>, **2013**.
- [23] A. Frangenberg, B. Kullmann, H. Trott, *Pflanzenernährung: Ernährung - Wachstum - Ernte*, **2013**.
- [24] "Kresse, Gartenkresse selber ziehen - Lepidium sativum", zu finden unter <https://www.gartenlexikon.de/gartenpraxis/gemuese/kresse.html>.
- [25] N. Wellbrock, A. Bolte, H. Flessa, *Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008*, **2016**.
- [26] "Anleitung zum Ziehen von Materialproben für Laboruntersuchungen", zu finden unter <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/204247/index.php>.
- [27] *Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden. Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-Nmin-Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte*, **2010**.
- [28] G. Mayer, E. Amelingmeier, "Biomineralisation", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-02-01532>, **2009**.
- [29] W. Wroz, *Geographie und Schule* **1997**, 19, 24.
- [30] R. Bochter, *Praxis der Naturwissenschaften. Chemie* **1993**, 42, 23.
- [31] a) F. H. Frimmel, "Huminstoffe", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-08-02011>, **2003**; b) A. Gröngröft, "Humus", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-08-02020>, **2012**.
- [32] a) F. d. Dardel, *Ionenaustausch für Laien. Eine Einführung*, **2008**; b) U. Prübe, K.-D. Vorlop, *CHEMKON* **1996**, 3, 62.
- [33] U. Sauer, *Nitratentfernung bei der Trinkwasseraufbereitung*, **2018**.

