



Themenheft 6: Schülerlabor

Der Stickstoffproblematik auf der Spur!

Kontakt

Universität Osnabrück

Didaktik der Chemie
Barbarastraße 7
49076 Osnabrück

Prof. Dr. Marco Beeken
marco.beeken@uos.de
Telefon: 0541 969-3378

M. Ed. Frauke Brockhage
frauke.brockhage@uos.de
Telefon: 0541 969-2351



Universität Vechta

Driverstr. 22
49377 Vechta

Prof. Dr. Verena Pietzner
verena.pietzner@uni-vechta.de
Telefon: 04441 15 270



Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Carl-von-Ossietzky-Straße 9 – 11
26129 Oldenburg

M. Ed. Mientje Lüsse
mientje.luesse@uol.de
Telefon: 0441 798-3720



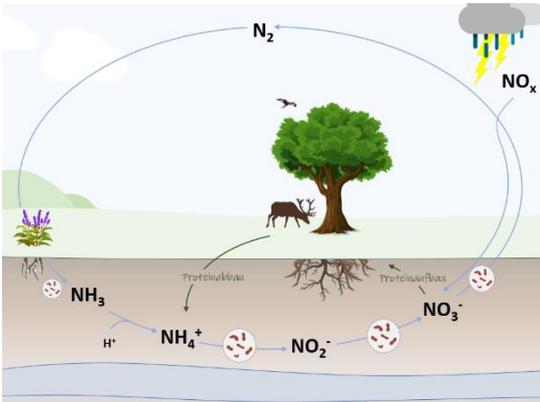
Der Stickstoffproblematik auf der Spur

Stickstoff – Was ist das überhaupt?	4
Experiment 1.1: Ammonium-Nachweis im Düngemittel.....	8
Experiment 1.2: Nitratnachweis im Düngemittel	12
Experiment 2.1: Adsorption von Ammonium- und Nitrat-Ionen im Boden.....	18
Experiment 2.2: Nitratentfernung durch Ionenaustausch	23
Vertiefung 2.3: Wohin mit dem Nitrat?.....	28
Vertiefung 3.1: Wie viel Nitrat nehme ich auf?	32
Experiment 3.2: Wirkung von Nitrit auf Hämoglobin	38
Demonstrationsexperiment 4: Stickoxid-Herstellung	42
Experiment 5: Stickoxid-Nachweis im Marmeladenglas	46
Experiment 6: Abgasnachbehandlung nach dem SCR- Verfahren	54
Experiment 7: Stickoxide vs. Pflanzen	60
Experiment 8: Mein Stickstoff-Fußabdruck.....	66
Vertiefung A: Teilflächenspezifische Düngung	70
Vertiefung B: Manipulation bei Diesel- Abgasen.....	74
Nachweise.....	75

Stickstoff – Was ist das überhaupt?

Der Stickstoffkreislauf

Die globalen Aufnahme- und Verteilungswege von Stickstoff und seinen Verbindungen lassen sich als Kreislauf beschreiben.



Ein Großteil des Stickstoffs liegt als molekularer Stickstoff (N_2) in der Atmosphäre vor. Dieser kann durch stickstofffixierende Bakterien gespalten werden und sich anschließend mit Wasserstoff zu Ammoniak (NH_3) verbinden. Ist der Boden sauer ($pH < 7$), kann Ammoniak zu Ammonium (NH_4^+) reagieren.

Durch verschiedene Mikroorganismen wird Ammonium schrittweise zu Nitrit (NO_2^-) und Nitrat (NO_3^-) oxidiert, was als Nitrifikation bezeichnet wird. Unter anaeroben (sauerstoffarmen) Bedingungen kann zudem mithilfe bestimmter Bakterien eine sogenannte Denitrifikation stattfinden. Nitrat wird hierbei zu molekularem Stickstoff reduziert, welcher als Gas in die Atmosphäre entweicht. Bei hohen Temperaturen, z. B. durch Blitze, können außerdem Stickoxide (NO_x) entstehen. Diese bilden mit Wasser Nitrate, welche über Niederschläge wieder in den Boden gelangen.

Pflanzen können über ihre Wurzeln Nitrat als Nährstoff aufnehmen und zum Proteinaufbau nutzen. Tiere wiederum nehmen Teile der Pflanzen als Nahrung zu sich. Durch Ausscheidungen der Tiere bildet sich im Boden Ammoniak bzw. Ammonium. Stirbt das Tier, erfolgt ein Proteinabbau mithilfe zersetzender Bakterien.

Lieber Video statt Text? Dann besuchen Sie einfach folgenden Link:
<https://www.youtube.com/watch?v=Mk5v2Z8GoQg>



Nitrat, Nitrit und Ammonium

Eintragswege: Der größte Eintragsweg von Nitrat und Ammonium in die Umwelt ist die Düngung. Wird mehr stickstoffhaltiger Dünger ausgetragen als Pflanzen aufnehmen können, verbleiben Nitrat und Ammonium im Boden und werden mit der Zeit in das Grundwasser ausgewaschen oder gelangen in umliegende Oberflächengewässer. Ein weiterer Eintragsweg ist die Abwasserwirtschaft - bei starken Regenfällen kann ungefiltertes Wasser aus Klärwerken in die Umwelt gelangen.

Auswirkungen auf Mensch und Umwelt: Durch einen Stickstoffüberschuss wird das ökologische Gleichgewicht im Wasser und an Land destabilisiert – Folgen sind die Verdrängung von Pflanzenarten sowie die Eutrophierung von Gewässern. Während Ammonium sehr gut vom Boden adsorbiert wird, kann Nitrat in das Grundwasser gelangen. Für den Menschen ist Nitrat an sich nicht gesundheitsschädlich und wird größtenteils unverändert wieder ausgeschieden. Ein kleiner Teil wird im Körper jedoch zu Nitrit reduziert, was in zu großer Menge den Sauerstofftransport im Körper einschränkt. Insbesondere für Säuglinge kann dies potenziell gefährlich werden.

Stickoxide

Eintragswege: Stickoxide entstehen hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen in der Industrie und im Verkehr: Aus Stickstoff und Sauerstoff bilden sich verschiedene Stickoxide. An Silvester steigt die Stickoxid-Konzentration erheblich durch die Verbrennung von Feuerwerkskörpern.

Auswirkungen auf Mensch und Umwelt: Zu hohe Stickoxid-Emissionen haben Auswirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und das Klima. Gelangen Stickoxide, insbesondere Stickstoffdioxid, über die Atemluft in die Lunge, führen sie zu einer Reizung der Schleimhäute. Längerfristige Stickoxid-Belastungen können dadurch u. a. zu Asthma führen. Auch Pflanzen können durch Salpetersäure geschädigt werden, welche durch die Reaktion von Stickoxiden und Wasser entsteht (auch bekannt als saurer Regen). Nicht zuletzt reagieren Stickstoffdioxid und Luftsauerstoff zu Ozon und Stickstoffmonoxid. Dieses bodennahe Ozon reizt Atemwege und Schleimhäute und beeinträchtigt die Lungenfunktion.

Station 1: Stickstoffverbindungen im Dünger

Experiment 1.1: Ammonium-Nachweis im Düngemittel



Stickstoff ist für Pflanzen ein lebensnotwendiger Nährstoff, der allerdings nicht in molekularer Form aus der Luft aufgenommen werden kann. Um für die Pflanzen verwertbar zu sein, muss er in gebundener Form, z. B. als Ammonium oder Nitrat vorliegen.

Im Boden ist nicht immer eine ausreichende Menge pflanzenverfügbaren Stickstoffs enthalten, sodass häufig stickstoffhaltige Düngemittel zum Einsatz kommen. An dieser Station kannst du untersuchen, ob in einem Dünger Ammonium und Nitrat enthalten ist.



Abbildung 1: Nutzpflanzen werden meistens zusätzlich gedüngt, um ihren Stickstoffbedarf zu decken.

Sicherheitshinweise

Trage zum Experimentieren eine **Schutzbrille!**



Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Ammoniumchlorid		Achtung	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheitsschädlich bei Verschlucken • Reizt die Augen
Natriumhydroxid		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Kontakt mit der Haut und den Augen vermeiden, da dies zu Verätzungen führt

Materialien

- 6 Uhrgläser
- Pinzette
- pH-Papier
- Stoppuhr
- 3 Messzylinder (10 mL, ab 1 mL skaliert)
- Becherglas (für Abfall)

Chemikalien

- Düngerprobenlösung
- Natriumhydroxid-Plätzchen
- Destilliertes Wasser
- Ammoniumchlorid-Lösung, gesättigt

Aufbau und Durchführung

Blindprobe

1. Gib auf das erste Uhrglas einen Tropfen dest. Wasser und lege ein 1-2 cm langes Stück pH-Papier auf den Tropfen (das pH-Papier muss feucht sein).
2. Gib in das zweite Uhrglas etwa 2 mL **dest. Wasser**. Füge mithilfe der Pinzette ein Natriumhydroxid-Plätzchen hinzu.
3. Lege das erste Uhrglas mit dem pH-Papier umgedreht auf das zweite Uhrglas und beobachte es für 2 Minuten.

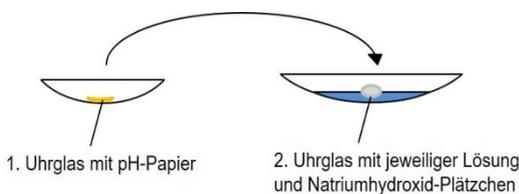


Abbildung 2: Vorbereitung der Uhrgläser

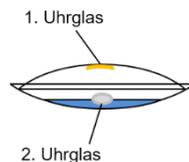


Abbildung 3: Versuchsdurchführung

Vergleichspröbe

Gehe analog zur Blindprobe vor. Bei Punkt 2 wird statt dest. Wasser etwa 2 mL **Ammoniumchlorid-Lösung** verwendet.

Prüfung der Düngerprobe

Gehe analog zur Blindprobe vor. Bei Punkt 2 wird statt dest. Wasser etwa 2 mL der **Düngerprobenlösung** verwendet.



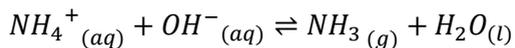
Entsorgung

Die Lösungen werden in das Abfall-Becherglas gegeben und das pH-Papier im Hausmüll entsorgt. Alle benutzten Glasgeräte werden abgewaschen, abgetrocknet und an den Platz zurückgestellt.

Die Lösungen im Becherglas werden nach dem Experimentieren stark verdünnt im Ausguss entsorgt

Auswertung

Die Blaufärbung des Indikatorpapiers deutet auf die Bildung von Ammoniak hin. Dieses bildet sich aus der Reaktion von Ammonium-Ionen mit Hydroxid-Ionen:



Ammonium-Ionen reagieren mit den Hydroxid-Ionen des Natriumhydroxids zu Ammoniak, das gasförmig ist und damit aufsteigt. Das Ammoniakgas reagiert mit dem feuchten pH-Papier stark alkalisch, sodass sich dieses blau färbt.

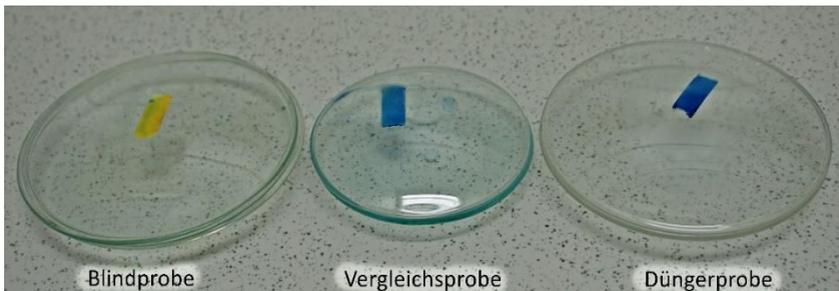


Abbildung 4: Positiver Ammonium-Nachweis der Düngerprobe

Beobachtung

Notiere kurz deine Beobachtungen bei der Durchführung des Experiments mit der Blind-, der Vergleichs- und der Düngerprobe.

Auswertung

Ziehe aus deinen Beobachtungen begründete Schlussfolgerungen bezüglich der Anwesenheit von Ammonium im untersuchten Düngemittel.

Experiment 1.2: Nitratnachweis im Düngemittel



Stickstoff ist für Pflanzen ein lebensnotwendiger Nährstoff, der allerdings nicht in molekularer Form aus der Luft aufgenommen werden kann. Um für die Pflanzen verwertbar zu sein, muss er in gebundener Form, z. B. als Ammonium oder Nitrat vorliegen.

Im Boden ist nicht immer eine ausreichende Menge pflanzenverfügbaren Stickstoffs enthalten, sodass häufig stickstoffhaltige Düngemittel zum Einsatz kommen. An dieser Station kannst du untersuchen, ob in einem Dünger Ammonium und Nitrat enthalten ist.

Sicherheitshinweise

Tragen Sie zum Experimentieren eine **Schutzbrille** und **Schutzhandschuhe**!



Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Eisen-(II)-sulfat-Heptahydrat		Achtung	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheitsschädlich bei Verschlucken. • Verursacht Hautreizungen. • Verursacht schwere Augenreizung.
Natriumnitrat-Lösung		Achtung	<ul style="list-style-type: none"> • Verursacht schwere Augenreizung.
Schwefelsäure		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. • Verursacht schwere Versätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

Materialien

- 3 Reagenzgläser
- Reagenzglasständer
- 3 Pipetten (5 mL)
- Peleusball
- 2 Plastik-Pasteurpipetten
- 1 Glas-Pasteurpipette, lang
- Stativmaterial
- Papiertücher
- Becherglas (für Abfall)

Chemikalien

- Düngerprobenlösung
- Verdünnte Schwefelsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$)
- Konzentrierte Schwefelsäure, 96 %
- Gesättigte Eisen(II)sulfat-Lösung
- Natriumnitrat-Lösung

Hinweis

Die Konzentration der Natriumnitrat-Lösung als Vergleichsprobe ist nicht festgelegt. Beim Ansetzen der Lösung kann z. B. eine gehäufte Spatelspitze Natriumnitrat auf 50 mL Wasser verwendet werden.

Aufbau und Durchführung

Blindprobe

1. Gib etwa 5 mL destilliertes Wasser in das erste Reagenzglas (Blindprobe).
2. Füge mithilfe der Plastik-Pasteurpipetten jeweils etwa 1 mL der gesättigten Eisen(II)sulfat-Lösung und der **verdünnten** Schwefelsäure hinzu und befestige das Reagenzglas schräg im Stativ. Lege dabei für einen besseren Halt Papiertücher zwischen Reagenzglas und Klemme.
3. Unterschichte die Lösung mithilfe der langen Glas-Pasteurpipette langsam und vorsichtig mit etwa 1 mL **konzentrierter** Schwefelsäure.

Vorsicht! Beim Unterschichten kann Säure aus dem Reagenzglas spritzen.



Abbildung 5: Schräg eingespanntes Reagenzglas mit der Blindprobe.

Vergleichsprobe

Gehe analog zur Blindprobe vor. Bei Punkt 1 wird statt dest. Wasser 5 mL **Natriumnitrat-Lösung** verwendet.

Prüfung der Düngerprobe

Gehe analog zur Blindprobe vor. Bei Punkt 1 wird statt dest. Wasser 5 mL **Düngerprobenlösung** verwendet.



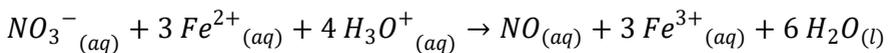
Entsorgung

Die Lösungen werden im Becherglas „Abfall“ entleert.

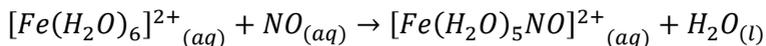
Am Ende des Labortags werden sie verdünnt (und ggf. neutralisiert) im Behälter für schwermetallhaltige Lösungen entsorgt.

Auswertung

Es findet an der Schichtgrenze der Lösung und der konzentrierten Schwefelsäure eine **Redoxreaktion** statt. Die Nitrat-Ionen werden zu Stickstoffmonoxid reduziert, während die Eisen(II)-Ionen zu Eisen(III)-Ionen oxidiert werden:



An die überschüssigen, mit Wasser komplexierten Eisen(II)-Ionen lagert sich Stickstoffmonoxid an, wodurch sich ein Pentaaquanitrosyleisen(II)-Komplex bildet:



Dies führt zu einer bräunlichen Färbung, die ringförmig an der Grenze zwischen der Probelösung und der konzentrierten Schwefelsäure zu erkennen ist.



Abbildung 6: Positive Ringprobe bei der Düngerprobenlösung

Beobachtung

Skizziere außerdem das Ergebnis der positiven Ringprobe mit Beschriftung (*Pentaaquanitrosyleisen(II)-Komplex, vorbereitete Düngerlösung, Reagenzglas, konz. Schwefelsäure*).



Auswertung:

Ziehen aus deinen Beobachtungen begründete Schlussfolgerungen bezüglich der Anwesenheit von Nitrat im untersuchten Düngemittel.

Begründe kurz, warum die gewünschte Reaktion in destilliertem Wasser nicht zu beobachten ist.

Station 2:

Zu viel des Guten –
und nun?

Experiment 2.1:

Adsorption von Ammonium- und Nitrat-Ionen im Boden



Unser Grundwasser besteht zu einem großen Teil aus Sickerwasser. Dieses kann z. B. aus Regen, Schnee, aber auch Seen und Flüssen kommen. Das Wasser fließt durch Spalten und Hohlräume im Boden Richtung Grundwasserzone. Abhängig von den lokalen Gegebenheiten wie Vegetation und Struktur der Erdoberfläche durchfließt das Wasser dabei verschiedene Bodenschichten, die das Wasser unterschiedlich stark adsorbieren. Trifft das Wasser auf wenig oder gar nicht durchlässige Schichten, sogenannte Grundwasserstauer, sammelt es sich oberhalb dieser

Schichten und bildet die Grundwasserzone. Mit dem Sickerwasser gelangen auch in dem Wasser gelöste Stoffe wie Nitrat und Ammonium in den Boden. Dabei wirkt der Boden als eine Art Filter, indem einige Ionenarten an der Feststoffoberfläche der Kies- und Sandschicht haften bleiben und nicht mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangen.

Das Anlagern von Stoffen an eine Oberfläche wird als **Adsorption** bezeichnet. Die Stoffe, die eine adsorbierende Oberfläche haben, also in diesem Fall Sand- und Kiesteilchen, heißen in der Fachsprache **Adsorbentien**.

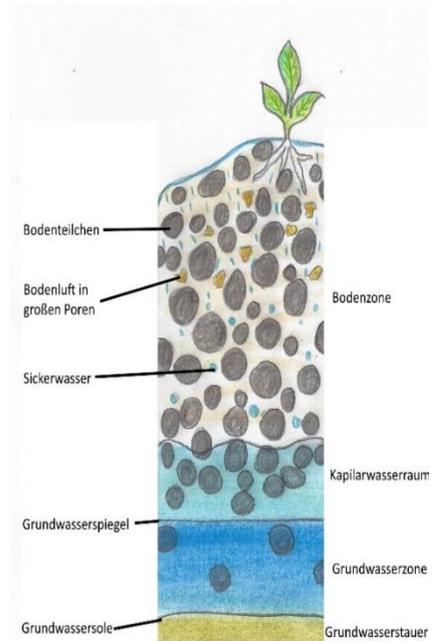


Abbildung 7: Bodenwasser und Bodenzone

Sicherheitshinweise:

Trage zum Experimentieren eine **Schutzbrille!**



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

Teil A: Prüfung einer Wasserprobe auf Ammonium- und Nitrat-Ionen

Materialien

- 2 Schnappdeckelgläser
- Papiertücher
- Stoppuhr

Chemikalien

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

Aufbau und Durchführung

Ammonium- Nachweis

1. Beschrifte das erste Schnappdeckelglas mit der Zahl 1 und stelle sicher, dass es sauber und trocken ist.
2. Befülle das Schnappdeckelglas 1 bis zur 5 mL-Markierung mit der Wasserprobe.
3. Gib 10 Tropfen des Nachweisreagenz aus dem Ammonium-Test hinzu und vermische es mit der Wasserprobe durch ein leichtes Schwenken.
4. Tauche das Teststäbchen für 3 s in die Probe und lasse die überschüssige Flüssigkeit über die Längskante auf ein Papiertuch ablaufen.
5. Vergleiche nach 10 s die Testzone des Teststreifens mit der vorgegebenen Farbskala auf der Teststäbchen-Dose.

Nitrat- Nachweis

1. Beschrifte das zweite Schnappdeckelglas mit der Zahl 2 und stelle sicher, dass es sauber und trocken ist.
2. Befülle das Schnappdeckelglas 2 bis zur 5 mL-Markierung mit der Wasserprobe.
3. Tauche für 1 s das Teststäbchen in die Probe, sodass alle Reaktionszonen des Teststreifens von der Probe benetzt werden und lasse die überschüssige Flüssigkeit über die Längskante auf ein Papiertuch ablaufen.
4. Vergleiche nach 1 min die Reaktionszonen des Teststreifens mit der vorgegebenen Farbskala auf der Teststäbchen-Dose.



Entsorgung

Die benutzten Teststäbchen können im Hausmüll und die Lösungen unter laufendem Wasserhahn im Ausguss entsorgt werden.

Teil B: Wirkung eines Kies-Sand-Filterers

Materialien

- Glas (ca. 100 – 300 mL, Plastikflasche sollte kopfüber stabil in der Glasöffnung stehen)
- Plastikflasche (500 mL)
- Nagel
- Schere
- Filterpapier
- Messzylinder (100 mL)

Chemikalien

- Wasserprobe
- Sand
- Kies, fein

Aufbau und Durchführung

1. Entferne mit einer Schere den Boden der Plastikflasche.
2. Bohre mit einem Nagel ein Loch in den Flaschendeckel.
3. Schneide das Filterpapier so zurecht, dass es in den Deckel der Flasche passt und lege es hinein. Schließe die Flasche.
4. Stelle die Flasche kopfüber in das Glas. Die Flasche sollte fest auf dem Glas aufliegen, aber nicht den Boden berühren.
5. Gib nun zuerst eine Schicht Sand und anschließend eine Schicht Kies darauf.
6. Messe 100 mL der Wasserprobe mit dem Messzylinder ab.
7. Fülle die Wasserprobe in die Plastikflasche und fange das Filtrat mit dem Becherglas auf.
8. Miss analog zu Versuchsteil A erneut den Ammonium- und Nitratgehalt der Wasserprobe.



Abbildung 8: Vorbereitung der Plastikflasche



Entsorgung

Die benutzten Teststäbchen können im Hausmüll und die Lösungen bei laufendem Wasserhahn im Ausguss entsorgt werden.

Sand und Kies können im Hausmüll entsorgt werden.

Experiment 2.2: Nitratentfernung durch Ionenaustausch



Nitrat-Ionen sind in größeren Mengen im Trinkwasser unerwünscht. Um diesem Problem zu begegnen, können sogenannte Ionenaustauscher (genauer Anionenaustauscher) eingesetzt werden. Der Ionenaustauscher nimmt dabei z. B. Nitrat-Ionen auf und setzt im Austausch beispielsweise Chlorid-Ionen frei.

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:



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.

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.

Sicherheitshinweise:

Trage zum Experimentieren eine **Schutzbrille!**



Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Ammoniumnitrat-Lösung		Achtung	<ul style="list-style-type: none">• Verursacht schwere Augenschäden.

Teil A: Prüfung der Wasserprobe auf Nitrat-Ionen

Materialien

- Schnappdeckelglas
- Papiertücher
- Stoppuhr
- 2 Bechergläser (für Abfall)

Chemikalien

- Wasserprobe
- Teststäbchen für Nitrat-Test

Aufbau und Durchführung

1. Stelle sicher, dass das Schnappdeckelglas sauber und trocken ist.
2. Befülle das Schnappdeckelglas bis zur 5 mL-Markierung mit der Wasserprobe.
3. Tauche für 1 s das Teststäbchen in die Probe, sodass alle Reaktionszonen des Teststreifens von der Probe benetzt werden und lasse die überschüssige Flüssigkeit über die Längskante auf ein Papiertuch ablaufen.
4. Vergleiche nach 1 min die Reaktionszonen des Teststreifens mit der vorgegebenen Farbskala auf der Teststäbchen-Dose.



Entsorgung

Die benutzten Teststäbchen werden im mit „Feststoff“ beschrifteten Becherglas entsorgt und die untersuchte Wasserprobe im „Abfall Nitratnachweis“.

Am Ende des Labortages können die benutzten Teststäbchen im Hausmüll und die Lösungen bei laufendem Wasserhahn im Ausguss entsorgt werden.

Teil B: Aufbereitung der Wasserprobe

Materialien

- 2 Bechergläser (50 mL)
- Messzylinder (100 mL)
- Trichter
- Filterpapier
- Stativmaterial
- Löffelspatel
- Stoppuhr
- 1 Becherglas (für benutzten Ionenaustauscher)

Chemikalien

- Wasserprobe
- Ionenaustauscher (stark basischer Anionenaustauscher, Cl^- -Form)
- Destilliertes Wasser

Aufbau und Durchführung

1. Beschrifte die beiden Bechergläser mit den Zahlen 1 und 2.
2. Miss 20 mL der Wasserprobe mit dem Messzylinder ab und fülle diese in das Becherglas 1.
3. Gib einen Löffelspatel des Ionenaustauschers hinzu und lasse die Probe für 10 min stehen. Rühre dabei alle 2 min für 15 sek um.

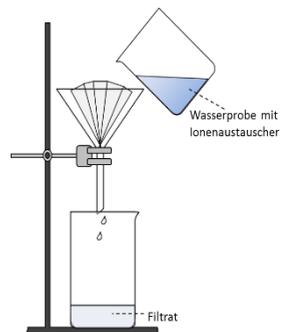


Abbildung 9: Abfiltrieren der Ionenaustauscher-Kügelchen

4. Befestige in der Zwischenzeit den Trichter am Stativ, stelle das Becherglas 2 darunter und lege das gefaltete und mit dest. Wasser angefeuchtete Filterpapier in den Trichter.
5. Fülle vorsichtig die Wasserprobe in den Filter und fange das Filtrat mit dem Becherglas 2 auf.
6. Miss analog zu Versuchsteil A erneut den Nitratgehalt der Wasserprobe.



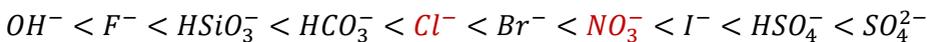
Entsorgung

Die Ionenaustauscher-Kügelchen werden mit einem Spatel aus dem Filterpapier in ein ausstehendes Becherglas „Regeneration“ gekratzt. Das Filterpapier wird im ausstehenden Becherglas „Feststoff“ gesammelt. Alle benutzten Glasgeräte werden abgewaschen, abgetrocknet und an ihre ursprünglichen Plätze zurückgestellt.

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.





 Zunahme der Selektivität

Abbildung 10: Selektivitätsreihe eines stark basischen Anionenaustauschers

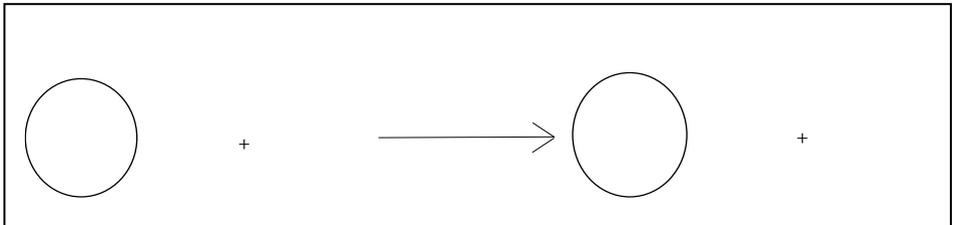
Beobachtung

Notiere kurz deine Beobachtungen in untenstehender Tabelle.

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

Auswertung

Formuliere die schematische Entsalzung mithilfe der Informationen und der Auswertung für diesen Versuch.



Vertiefung 2.3: Wohin mit dem Nitrat?



Ein Großteil unseres Trinkwassers in Niedersachsen wird aus dem Grundwasser gewonnen. Nach europäischem Recht dürfen sowohl das Grundwasser als auch unser Trinkwasser nicht mehr als 50 mg/L Nitrat enthalten. Da dieser Wert an einigen Grundwassermessstellen überschritten wird, müssen Trinkwasserversorger Maßnahmen zur Nitratreduktion ergreifen.

In der Praxis gibt es neben dem Ionenaustausch noch weitere Möglichkeiten, Nitrat nachträglich aus dem Wasser zu entfernen. Diese sind vor allem für Kläranlagen relevant, da diese mit dem Abwasser relativ große Mengen an Ammonium und Nitrat entfernen müssen. Hierbei kommt häufig die biologische Denitrifikation beim Belebtschlammverfahren zum Einsatz.

Biologische Denitrifikation:

Dieses Verfahren beruht darauf, dass zunächst (ähnlich dem natürlichen Stickstoffkreislauf) Stickstoffverbindungen wie Ammoniak schrittweise zu Nitrat oxidiert werden. Diesen Prozess nennt man **Nitrifikation**. Anschließend wird Nitrat unter sauerstofffreien Bedingungen zu molekularem Stickstoff reduziert. Diesen „Nitratabbau“ nennt man **Denitrifikation**.

Untenstehende Abbildung zeigt vereinfacht die Wasseraufbereitung mit biologischer Denitrifikation. Die Bakterien brauchen Nährstoffe (Substrate), um Nitrat reduzieren zu können. Hierfür dienen organische Verbindungen. Später muss das Wasser gründlich gereinigt werden, bevor es in das Netz eingespeist werden kann.

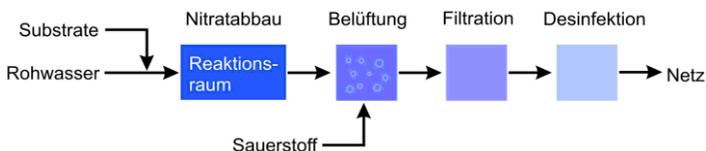


Abbildung 11: Vereinfachtes Prinzip der Wasseraufbereitung mit biologischer Denitrifikation



Ein weiteres mögliches Verfahren zur Nitratentfernung ist die Umkehrosmose.

Umkehrosmose

Hierbei wird nitrathaltiges Wasser mit einem hohen Druck durch eine semipermeable Membran gepresst. Diese Membran funktioniert wie eine Art halbdurchlässige Wand, die für bestimmte Komponenten durchlässig ist, während andere zurückgehalten werden. Einige Ionen, darunter Nitrat-Ionen, können die Membran also nicht passieren. Dadurch wird das zu behandelnde Rohwasser in ein salzarmes Reinwasser und in ein stark salzhaltiges Abwasser aufgetrennt. Da Trinkwasser nicht zu salzarm sein soll, wird das Reinwasser hinterher wieder mit einer geringen Menge Rohwasser vermischt.

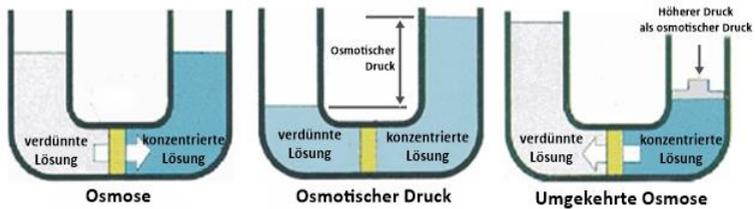


Abbildung 12: Prinzip der Umkehrosmose

Daneben gibt es noch weitere Verfahren wie die Elektrodialyse und Katalytische Verfahren. Diese werden jedoch in der Praxis kaum genutzt.

All diese Maßnahmen sind mit hohen Kosten verbunden. Daher ist es vor allem wichtig, vorsorgliche Maßnahmen zur Sicherung der Wasserqualität zu treffen. Neben den Vorkehrungen von Wasserversorgern wie dem OOWV (Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband) ist jeder einzelne, sei es in einem landwirtschaftlichen Betrieb oder im privaten Haushalt, gefordert, mit einem umweltbewussten Verhalten der Nitratbelastung entgegenzuwirken. Was das genau sein kann, erfährst du in Station 7.

Station 3:

Nitrat, Nitrit und die menschliche Gesundheit

Vertiefung 3.1: Wie viel Nitrat nehme ich auf?



Wenn es um die gesundheitlichen Auswirkungen von bei der Nitrataufnahme geht, gehen die Meinungen weit auseinander. Das spiegelt sich in Artikeln verschiedenster Art aber auch in der Interpretierung der Ergebnisse von Studien wider. In diesem Zusammenhang werden überwiegend zwei Krankheiten thematisiert: Säuglingsmethämoglobinämie und durch die Bildung von Nitrosaminen verursachter Krebs. Was es mit der Säuglingsmethämoglobinämie, erfahrt ihr im zweiten Teil dieser Station. Der Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Nitrat und der Bildung von Tumoren ist hingegen noch nicht ausreichend erforscht.

Nitrat an sich ist nicht gesundheitsschädlich und wird größtenteils unverändert über die Nieren wieder ausgeschieden. Eine potenzielle Gesundheitsgefährdung kann vorliegen, wenn Nitrat zu Nitrit reduziert wird. Dies geschieht überwiegend in der Mundhöhle.

In Durchschnitt nimmt der Mensch mit seiner Nahrung 90 mg Nitrat pro Tag auf. Der Großteil, etwa 62 % davon, stammen aus Gemüse. Etwa 26 % wird über das Trinkwasser aufgenommen. Die restlichen 12 % resultieren aus Obst, Getreide-, Fleisch- und Milchprodukten.



Abbildung 13: Feldsalat hat je nach Anbau einen durchschnittlichen Nitratgehalt von 2000 – 2500 mg/kg

Erlaubt sind laut WHO maximal 3,65 mg pro kg Körpergewicht pro Tag. Ein 60 kg schwerer Mensch sollte täglich also maximal 219 mg Nitrat durch die Nahrung aufnehmen. Gelegentliche Überschreitungen dieses Wertes sind jedoch gesundheitlich unbedenklich.

Arbeitsauftrag:

1. Schätze ab, wie viel der folgenden Lebensmittel du pro Tag konsumierst und trage diese Werte in die Tabelle des Kurzprotokolls ein.
2. Berechne den Nitrat-Gehalt der einzelnen Lebensmittel (Nitrat-Gehalt multipliziert mit der täglichen Aufnahme in kg).
3. Berechne zuletzt deine gesamte Nitrat-Aufnahme, indem du die Summe der Nitratmengen der einzelnen Lebensmittel bildest.

Gemüse mit hohem Nitratgehalt



Kopf Brokkoli: 0,5 kg



Kopf Eisbergsalat: 0,3 kg



Beilagen-Portion Grünkohl: 0,3 kg



Beilagen-Portion Spinat: 0,1 kg

Gemüse mit mittlerem Nitratgehalt



Eine Karotte: 0,06 kg



Eine Zucchini: 0,2 kg



Ein Kohlrabi: 0,15 kg



Eine Aubergine: 0,35 kg



Ein Kopf Blumenkohl: 0,9 kg

Gemüse mit geringem Nitratgehalt + Obst und Kartoffeln



Eine mittelgroße
Kartoffel: 0,1 kg



Eine mittelgroße
Strauchtomate: 0,1 kg



Eine Gurke: 0,4 kg



Eine Aubergine: 0,35 kg



Ein Apfel: 0,15 kg

Käse, Buttermilch und Joghurt



Eine Scheibe Käse: 0,03 kg



Ein Glas Buttermilch: 0,2 kg



Ein Becher Joghurt: 0,2 kg

Fleisch



Eine Portion Salami: 0,03 kg



Eine Portion Schinken: 0,05 kg



Eine Grillwurst: 0,3 kg



Eine mittelgroßes Stück Fleisch: 0,2 kg

Trinkwasser



Ein Glas
Wasser: 0,2 kg



Ein Liter
Wasser: 1 kg

Beobachtung und Auswertung:

Berechne deine tägliche Nitrat-Aufnahme anhand folgender Tabelle:

Lebensmittel	Nitrat-Gehalt pro kg	Deine tägliche Aufnahme / kg	Nitrat-Aufnahme / mg
Gemüse mit hohem Nitrat-Gehalt	Ca. 1.500 mg		
Gemüse mit mittlerem Nitrat-Gehalt	Ca. 750 mg		
Gemüse / Obst mit geringem Nitrat-Gehalt	Ca. 150 mg		
Käse, Buttermilch und Joghurt	Ca. 30 mg		
Fleisch	Ca. 15 mg		
Trinkwasser	Ca. 12 mg (Mittelwert Osnabrück)		

Schätze die Höhe deiner täglichen Nitrataufnahme hinsichtlich der Richtwerte der WHO ein. Beschreibe, wie Verbraucher ihre Nitrataufnahme reduzieren können.

Experiment 3.2:

Wirkung von Nitrit auf Hämoglobin



Nitrat an sich ist für den gesunden und erwachsenen Menschen nicht direkt schädlich. Allerdings wird Nitrat durch Bakterien in der Mundhöhle und der Darmflora teilweise zu Nitrit umgewandelt. In hohen Dosierungen wirkt Nitrit akut toxisch (giftig). Es bindet sich an den roten Blutfarbstoff Hämoglobin und wandelt diesen in sogenanntes Methämoglobin um. Das zweiwertige Eisen im Hämoglobin wird dabei zu dreiwertigem Eisen oxidiert ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$). Methämoglobin ist nicht in der Lage, Sauerstoff zu binden. Das Blut kann folglich keinen Sauerstoff mehr transportieren, was zum Erstickten führen kann. Oxidiertes Blut erkennt man an einer Braunfärbung.

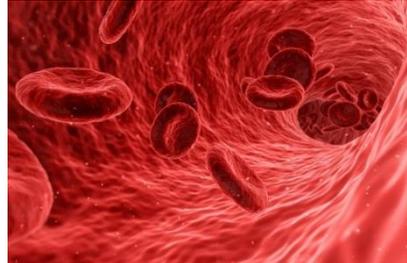


Abbildung 14: Hämoglobin ist ein eisenhaltiger Proteinkomplex der roten Blutkörperchen.

Durch ein körpereigenes Enzym wird diese Reaktion rückgängig gemacht und ist daher bei den üblichen Verzehrsmengen von Nitrat nicht gefährlich. Bei Säuglingen ist dieses Enzym jedoch noch nicht aktiv, weshalb bei ihnen eine zu hohe Nitrataufnahme gefährlich werden kann.

Sicherheitshinweise

Tragen Sie zum Experimentieren eine **Schutzbrille** und **Schutzhandschuhe**!



Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Natriumnitrit-Lösung 0,3 mol/L		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Giftig bei Verschlucken • Sehr giftig für Wasserorganismen

Arbeitsauftrag

Analysiere entsprechend der Versuchsanleitung, welche Auswirkungen Nitrit auf die Gesundheit von Lebewesen haben kann.

Materialien

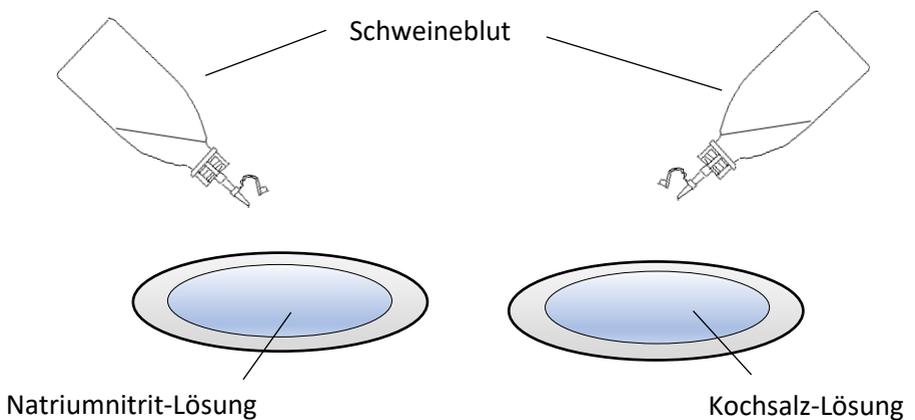
- 2 Petrischalen oder Uhrgläser
- 2 Kunststoffpipetten
- 2 Glasstäbe
- Becherglas (für Abfälle)

Chemikalien

- Schweineblut
- Natriumnitrit-Lösung (0,3 mol/L)
- Kochsalz-Lösung (isotonisch, 9 g/L)

Aufbau und Durchführung

1. Gib in die erste Schale etwa 2 mL Natriumnitrit-Lösung. In die zweite Schale gib als Vergleich 2 mL Kochsalz-Lösung.
2. Füge zu jeder Lösung 3 Tropfen Schweineblut hinzu und vermische es mithilfe eines Glasstabs mit der jeweiligen Lösung.



Auswertung

In der Natriumnitrit-Lösung oxidiert Hämoglobin zu Methämoglobin. Durch Elektronenabgabe wird der zweiwertige Eisenkomplex Fe^{2+} im Hämoglobin zu dreiwertigem Eisen Fe^{3+} oxidiert, was durch eine Braunfärbung erkennbar ist. Methämoglobin kann keinen Sauerstoff binden, das Blut kann also keinen Sauerstoff mehr transportieren.

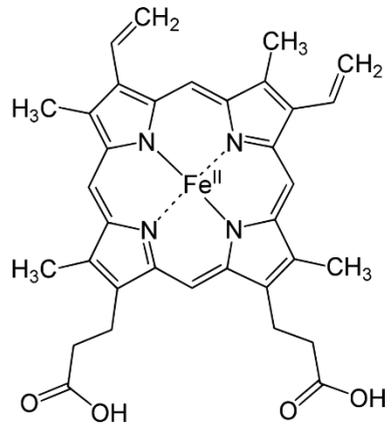


Abbildung 15: Untereinheit (Häm-Gruppe) von Hämoglobin mit Eisen(II)-Komplex (Yikrazuul, 2010).



Entsorgung

Der Inhalt der Schale mit der **Natriumnitrit-Lösung** wird im ausstehenden Becherglas gesammelt und am Ende des Labortages im Behälter für Anorganische Salzlösungen mit Schwermetallen entsorgt.

Der Inhalt der Schale mit der **Kochsalz-Lösung** kann im Ausguss entsorgt werden.

Station 4:

Demonstrationsexperiment:

Stickoxid-Darstellung aus
Kupfer und Salpetersäure

Demonstrationsexperiment 4: Stickoxid-Herstellung



Stickoxide finden sich in der Luft oder in Abgasen lediglich in geringen Konzentrationen wieder. Für die Darstellung größerer Mengen an Stickoxiden kann man sich daher an der Reaktion von Kupfer- oder Eisenpulver mit konzentrierter Salpetersäure bedienen. Mithilfe von Sprizentechnik kann eine sichere Variante durchgeführt werden.



Abbildung 16: Typische braune Färbung von Stickstoffdioxid

Sicherheitshinweise:

Der Versuch muss **von der Lehrkraft** unter dem **Abzug** durchgeführt werden. Ein offenes Fenster oder ein gut durchlüfteter Raum reichen als Schutzmaßnahme nicht aus. Es ist darauf zu achten, dass der Abzug funktionsfähig ist und möglichst geschlossen gehalten wird. Während des gesamten Versuches sind **Schutzhandschuhe** und eine **Schutzbrille** zu tragen. Die Schutzhandschuhe müssen bei Kontakt mit Salpetersäure ausgezogen und gewässert werden.

Im Gegensatz zum Arbeiten mit Stickoxiden in geschlossenen Gefäßen ist die Herstellung von Stickoxiden für Schülerinnen und Schüler untersagt.



Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Konz. Salpetersäure		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel • Kann gegenüber Metallen korrosiv sein • Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • Giftig beim Einatmen
Nitrose Gase		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel • Lebensgefahr beim Einatmen • Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • Wirkt ätzend auf die Atemwege
Kupfer, Pulver		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Entzündbarer Feststoff • Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung

Materialien

- Großes Reagenzglas
- Mit zwei Kanülen durchbohrter Stopfen
- Mehrere 20 mL Spritzen mit Luer-Verschluss
- Stativmaterial

Chemikalien

- Kupferpulver/
Kupfergranulat
- Konzentrierte Salpetersäure

Aufbau und Durchführung

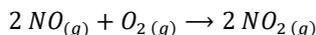
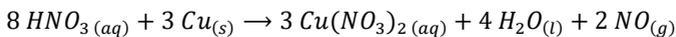
1. Der Versuch wird unter dem Abzug durchgeführt. Ein großes Reagenzglas wird in ein Stativ eingespannt und mit drei Spateln Kupfergranulat gefüllt.
2. Auf das Reagenzglas wird ein Stopfen gesetzt (möglichst dicht), der zuvor mit zwei Kanülen durchbohrt wurde.
3. Eine Spritze wird mit 20 mL konz. Salpetersäure gefüllt und auf eine der Kanülen gesetzt.
4. Nun wird vorsichtig (Milliliterweise) Salpetersäure zugetropft.
5. Wenn die Luft im Reagenzglas verdrängt ist und braune Gase aus der offenen Kanüle dringen, wird eine leere Spritze aufgesetzt und die Gase aufgefangen.
6. Die Spritze wird anschließend mit einem Luer-Verschluss verschlossen. So können mehrere Spritzen befüllt werden.

Beobachtung

Bei Zutropfen der Salpetersäure ist eine Bläschenbildung in der Lösung zu erkennen. Es entstehen bräunliche Gase, die die Luft im Reagenzglas verdrängen. Die Lösung färbt sich nach einiger Zeit grün-blau.

Auswertung und Hintergründe

Konzentrierte Salpetersäure reagiert mit vielen Metallen unter Bildung von Stickstoffmonoxid, einem farb- und geruchlosen, aber giftigen Gas. Dieses reagiert an der Luft direkt zu Stickstoffdioxid, welches durch seine braune Farbe und den charakteristischen Geruch deutlich zu erkennen ist:



Entsorgung

Die Entsorgung erfolgt nach Neutralisation in den anorganischen Abfall für Schwermetalle. Sollten Stickoxide unverbraucht bleiben, müssen diese in der Abzugluft vorsichtig entsorgt werden.

Station 5:

Stickoxid-Nachweis im
Marmeladenglas
(Experiment von Prof.
Dr. Peter Menzel)

Experiment 5: Stickoxid-Nachweis im Marmeladenglas



Unter dem Begriff Stickoxide werden alle gasförmigen Oxide des Stickstoffes zusammengefasst. Die bekanntesten Stickoxide sind Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂). Allgemein bezeichnet man Stickoxide auch als nitrose Gase, die durch ihre charakteristische bräunliche Farbe (Stickstoffdioxid) in höheren Konzentrationen erkennbar sind.



Abbildung 17: Entstehung von Stickoxiden im Verkehr.

Stickoxide entstehen hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen in der Industrie und im Verkehr: Aus gasförmigem Stickstoff oder im Brennstoff vorliegenden Stickstoffverbindungen und Sauerstoff bilden sich Stickoxide. Stickoxide sind gerade in letzter Zeit oft in den Medien vertreten, da sie maßgeblich zum Smog in Großstädten beitragen. Besonders der Dieselmotor hat durch den vergleichsweise hohen Stickoxidausstoß in den letzten Jahren immer wieder für Schlagzeilen gesorgt. Stickoxide, besonders Stickstoffdioxid sind giftig, reizen die Atemwege und sind für die Bildung des sauren Regens mitverantwortlich. Sie begünstigen außerdem die Entstehung bodennahen Ozons (Sommersmog).

Nicht nur der Dieselmotor ist ein Verursacher für Stickoxide. Auch Kerzen oder Plasmafeuerzeuge sind unter anderem für die Bildung der giftigen Gase verantwortlich. Die Menge der entstehenden nitrosen Gase können in dieser Station leicht nachgewiesen werden.

Sicherheitshinweise

Trage zum Experimentieren eine **Schutzbrille!**



Die bei dem Versuch entstehenden Mengen nitroser Gase sind sehr gering und daher unbedenklich. Das Entzünden der Wunderkerzen sollte wegen der Rauchentwicklung unter dem Abzug oder am geöffneten Fenster durchgeführt werden.

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Nitrose Gase		Ge-fahr	<ul style="list-style-type: none">• Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel• Lebensgefahr beim Einatmen• Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden• Wirkt ätzend auf die Atemwege

Materialien

- 3 Marmeladengläser mit Deckel
- Klebestreifen (Tesafilm)
- 1 kleines Becherglas
- Papiertücher

Chemikalien

- Destilliertes Wasser
- Nitrat-Teststäbchen
- Teelicht/Kerze
- Wunderkerze
- Plasmafeuerzeug

Aufbau und Durchführung

1. Klebe mithilfe eines Klebestreifens ein Teststäbchen in den Deckel eines Marmeladenglases und knickt das Teststäbchen so, dass es im 90°-Winkel zum Deckel steht (siehe Abbildung 2).
2. Tauche das Teststäbchen in destilliertes Wasser und tupfe es mit einem Papiertuch trocken.
3. Entzünde einen der zu untersuchende Gegenstände (Kerze, Wunderkerze, Plasmafeuerzeug oder weitere) und halte ihn für eine Minute (oder bis zum vollständigen Abbrennen) unter das Marmeladenglas, sodass sich in diesem die Gase sammeln können.
4. Stelle das Marmeladenglas danach auf den Deckel mit dem Teststäbchen und schraube das Marmeladenglas zu. Achte darauf, dass möglichst keine Gase entweichen, indem die Öffnung des Marmeladenglases immer nach unten zeigt.
5. Beobachte die Verfärbung des Feldes für Nitrat und lies nach einer Minute den Wert mithilfe der Farbskala ab. Notiere deine Beobachtungen im Kurzprotokoll.
6. Wiederhole Schritt 3 – 5 für alle weiteren zu untersuchenden Gegenstände (Kerze, Wunderkerze, Plasmafeuerzeug oder weitere).

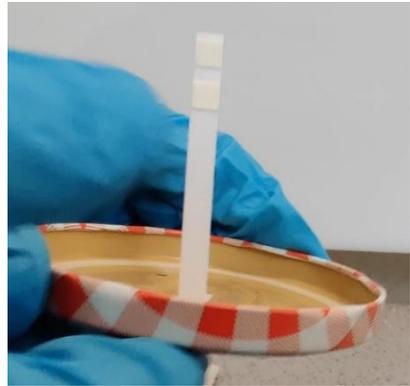


Abbildung 18: Vorbereitung des Nitrat-Teststäbchens im Marmeladenglasdeckel.



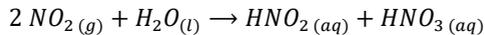
Entsorgung

Die verwendeten Teststäbchen sowie Überreste der Wunderkerzen können im Hausmüll entsorgt werden. Die Wunderkerzen sollten nach Benutzung noch eine kurze Zeit abkühlen. Die Marmeladengläser können mit Wasser ausgespült und das Wasser im Abguss entsorgt werden.

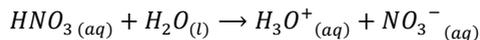
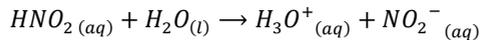
Auswertung

Durch den Lichtbogen des Plasmafeuerzeugs werden aus den in der Umgebungsluft enthaltenen Gasen Stickstoff und Sauerstoff Stickoxide gebildet. Auch bei der Verbrennung von (Wunder-)kerzen entstehen diese nitrosen Gase.

Das Wasser auf den angefeuchteten Teststäbchen reagiert mit Stickstoffdioxid zu salpetriger Säure (HNO_2) und Salpetersäure (HNO_3):



Die salpetrige Säure dissoziiert in Wasser zu Hydronium-Ionen und Nitrit-Ionen (NO_2^-), Salpetersäure zu Hydronium-Ionen und Nitrat-Ionen (NO_3^-):



Das auf dem Teststäbchen befindliche Reagenz dient als Nachweisreagenz für Nitrit und Nitrat. Je intensiver die rötliche Färbung, desto höher ist die Konzentration an Nitriten und Nitraten und damit in diesem Fall an entstandenen Stickoxiden, welche hier durch Stickstoffdioxid repräsentiert werden.

Beobachtung

Notiere kurz deine Beobachtungen und ergänze die Tabelle.

Untersucher Gegenstand	Gemessener Nitratwert (in mg/L)
Kerze/Teelicht	
Wunderkerze	
Plasmafeuerzeug	

Auswertung

Sortiere anhand deiner Beobachtungen die untersuchten Gegenstände entsprechend ihrer Stickoxid-Emission. (1 = höchste Emission, 5 = geringste Emission)

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Zusatzaufgabe (Ab Klasse 11)

Um die entstehenden Nitrate nachzuweisen, werden diese auf dem Teststäbchen im sauren Milieu mit elementarem Zink zu Nitrit reduziert. Stelle die Redoxgleichung (samt Teilgleichungen) für die Reaktion auf.

Oxidation:

Reduktion:

Redoxreaktion:

Station 6:

Der Abgasskandal im Visier

Experiment 6: Abgasnachbehandlung nach dem SCR- Verfahren



Am 18. September 2015 teilte die US-amerikanische Umweltschutzbehörde EPA mit, dass VW bei Abgasmessungen absichtlich betrogen hat - der VW-Abgasskandal ist seitdem nicht aus den Medien wegzudenken. VW nutzte zu diesem Zeitpunkt eine Software, welche erkennt, wann sich ein Fahrzeug auf dem Prüfstand befindet. Während der Prüfung wurden die vorhandenen Katalysatoren, so auch der SCR- Katalysator, in vollem Umfang eingeschaltet. Dadurch konnten im Test die gesetzlich vorgeschriebenen Abgaswerte eingehalten werden.

Im Normalbetrieb hingegen wurden die Katalysatoren nur eingeschränkt eingesetzt, sodass die Abgaswerte die gesetzlichen Grenzwerte um ein Vielfaches überschritten. Dadurch konnte u. a. der Harnstoff-Tank verkleinert und das Gewicht des Fahrzeuges reduziert werden. Inzwischen werden die betroffenen Modelle nicht mehr hergestellt – Besitzer betroffener Fahrzeuge erhalten einen Schadensersatz, welcher anteilig anhand der Gesamtleistung der entsprechenden Autos berechnet wird. An dieser Station wird das SCR-Verfahren experimentell untersucht.



Abbildung 19: Symbolbild des VW-Abgasskandals

Sicherheitshinweise

Trage beim Experimentieren eine **Schutzbrille und Handschuhe!** Arbeite unter einem **Abzug**.
Vorsichtiger Umgang mit Spritzennadeln!
Vorsicht: heiÙe Versuchsapparatur!



Für nitrose Gase gilt ein Tätigkeitsverbot für Schülerinnen und Schüler. Die Stickoxide müssen vom Betreuer hergestellt und an die Apparatur angeschlossen werden. Der Versuch muss unter einem ABZUG durchgeführt werden!

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Nitrose Gase		Gefahr	<ul style="list-style-type: none">• Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel• Lebensgefahr beim Einatmen• Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden• Wirkt ätzend auf die Atemwege

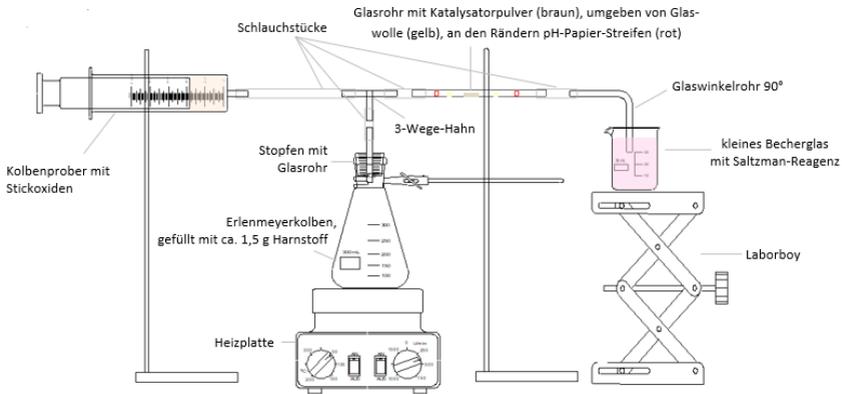
Materialien

- Kolbenprober
- 4 Schlauchstücke
- 3-Wege-Hahn
- Stopfen mit Glasrohr
- Erlenmeyerkolben (ca. 100 mL)
- Heizplatte
- Glasrohr
- Glaswolle
- Glaswinkelrohr 90°
- Kleines Becherglas (ca. 50 mL)
- Laborboy
- Stativmaterial

Chemikalien

- Stickoxide
- Harnstoff
- pH-Papier
- Saltzman-Reagenz
- Katalysatorpulver

Aufbau und Durchführung



1. Die Apparatur wird vom Betreuer, wie im Versuchsaufbau dargestellt, aufgebaut (Erlenmeyerkolben inkl. Stopfen mit Glasrohr werden noch nicht befestigt).
2. Überführe nun über den unteren Schlauch am 3-Wege-Hahn mithilfe einer Spritze 20 mL Stickoxide in den Kolbenprober. Ziehe den Kolbenprober dann auf ein Volumen von 100 mL mit Luft auf.
3. Fülle den Erlenmeyerkolben im Anschluss mit ca. 1,5 g Harnstoff und befestige ihn wie vorgesehen am unteren Schlauch des 3-Wege-Hahns. Öffne den 3-Wege-Hahn nun zu allen Seiten.
4. Erhitze den Katalysator mit dem Heißluftgebläse auf 300 – 350 °C. Schalte im Anschluss die Heizplatte ein, auf der der Erlenmeyer-Kolben steht, und heize diese auf 200 °C.
5. Sobald das aus der Apparatur austretende Gas einen alkalischen pH-Wert anzeigt, leite die Stickoxide mithilfe des Kolbenprobers durch die Apparatur. Leite außerdem das aus der Apparatur austretende Gas durch ein Becherglas mit Salzman-Reagenz. Der Katalysator wird über den gesamten Versuch weiter mit dem Heißluftgebläse erhitzt.
6. Führe denselben Versuch zur Blindprobe ohne Harnstoff durch. Dafür wird der 3-Wege-Hahn in Richtung des Erlenmeyerkolbens geschlossen.

Auswertung

Die Abgasnachbehandlung eines SCR-Katalysators zur Reduktion der Stickoxide zu molekularem Stickstoff mithilfe einer Harnstofflösung erfolgt in mehreren Schritten (siehe Abbildung 20).

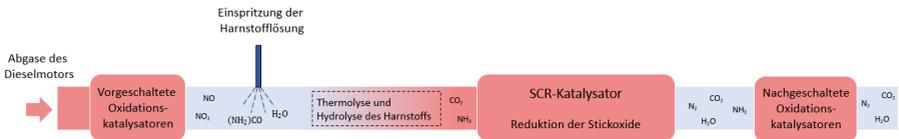
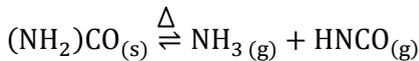


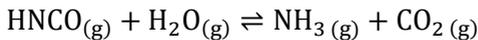
Abbildung 20: SCR-Katalysator im Abgasstrang des Dieselmotors.

Zuerst erfolgt die Thermolyse und Hydrolyse von Harnstoff aus der eingespritzten Harnstofflösung AdBlue® zu Kohlenstoffdioxid und Ammoniak.

Thermolyse von Harnstoff zu Ammoniak und Isocyanäure:

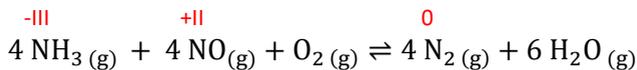


Hydrolyse von Isocyanäure zu Ammoniak und Kohlenstoffdioxid:

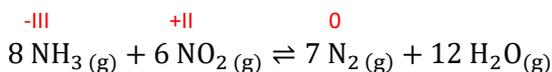


Durch den SCR-Katalysator werden mithilfe der entstandenen Ammoniakmoleküle die verschiedenen Stickoxide zu molekularem Stickstoff (und Wasser) reduziert.

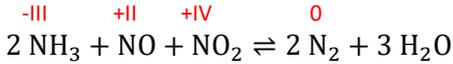
Beispielreaktion Stickstoffmonoxid (NO):



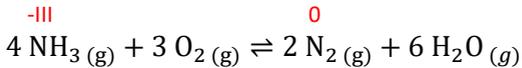
Beispielreaktion Stickstoffdioxid (NO₂):



Bei optimalen Temperaturen (170 °C – 300 °C) und daraus resultierend einem 1:1 Verhältnis von Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid kann die sogenannte „Fast SCR“ ablaufen:



Zum Schluss wird mittels eines weiteren Oxidationskatalysators überschüssiges Ammoniak mit Sauerstoff zu Stickstoff und Wasser oxidiert.



Bei allen genannten Reaktionen handelt es sich um Gleichgewichtsreaktionen, sodass die Effizienz des SCR-Katalysators stark temperaturabhängig ist. In diesem Versuch wurde der Vorgang am eigentlichen SCR-Katalysator, also die Reduktion der Stickoxide mittels Ammoniak, gezeigt. Das Ammoniak wird durch die Zersetzung von Harnstoff direkt in der Apparatur gewonnen.

Station 7: Stickoxide vs. Pflanzen

Sicherheitshinweise

Trage beim Experimentieren eine **Schutzbrille und Handschuhe!** **Vorsichtiger Umgang mit Spritzennadeln!**



Für nitrose Gase gilt ein Tätigkeitsverbot für Schülerinnen und Schüler. Die Stickoxide müssen vom Betreuer hergestellt und in die Schnappdeckelgläser geleitet werden. Der Versuch muss unter einem ABZUG durchgeführt werden!

Name	Gefahrensymbol	Signalwort	Hinweise
Nitrose Gase		Gefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel • Lebensgefahr beim Einatmen • Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden • Wirkt ätzend auf die Atemwege

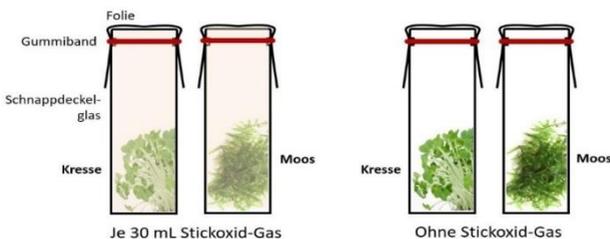
Materialien

- 4 Schnappdeckelgläser (30 mL) oder kleine Bechergläser
- Folie (z. B. Frischhaltefolie, Parafilm)
- Gummibänder
- Klebefilm (z. B. Tesafilm)

Chemikalien

- 2 Spritzen mit je 30 mL Stickoxid-Gas
- 2 Spritzen mit je 1 mL Saltzman-Reagenz
- Kresse (alternativ andere Blätter)
- Moos

Aufbau und Durchführung



Vorbereitung

1. Gib in zwei Schnapdeckelgläser je etwas Moos und in die beiden anderen Schnapdeckelgläser je etwa genauso viel Kresse.
2. Decke alle Schnapdeckelgläser mit Folie ab und fixiere die Folie fest mit einem Gummiband oder Tesafilm.

Zugabe der Stickoxide

3. **Durch die Lehrkraft:** Deine Lehrkraft versetzt anschließend je ein Schnapdeckelglas mit Kresse beziehungsweise mit Moos mit je 30 mL Stickoxid-Gas, indem sie dieses mit der Spritze durch die Folie in das Schnapdeckelglas leitet. Die beiden weiteren Schnapdeckelgläser bleiben als Vergleich unbehandelt (siehe Versuchsskizze).
4. Klebe die Einstichstelle sofort mit Tesafilm zu, sodass die Stickoxide nicht entweichen können. Warte nun mindestens 30 Minuten ab.

Nachweis der Stickoxide

5. Gib mithilfe einer Spritze jeweils 1 mL Saltzman-Reagenz in die Schnapdeckelgläser mit dem Stickoxid-Gas und beobachte die Verfärbung.

Hinweis

Je stärker die violette Färbung ist, desto höher ist die Stickoxid-Konzentration in dem jeweiligen Schnapdeckelglas.



Entsorgung

Das Saltzman-Reagenz darf im Abfluss sowie Kresse und Moos im Hausmüll entsorgt werden. Sollten Stickoxide unverbraucht bleiben, müssen diese von der **Lehrkraft** in der Abzugluft vorsichtig abgelassen werden.

Beobachtung

Notiere kurz deine Beobachtungen. Beachte dabei sowohl das Aussehen der Pflanzen als auch die Farbe der zugesetzten Lösung.

Auswertung

Begründe anhand der Beobachtungen, welche Pflanzen sich zur Luftreinigung eignen und welche Pflanzen durch die Stickoxid-Belastung beschädigt werden. Nimm dabei Bezug zur Information auf Seite 1.

Der Versuch, in Stuttgart mit Mooswänden die Stickoxidkonzentration zu verringern, ist nach den ersten Erkenntnissen gescheitert. Stelle Hypothesen über mögliche Ursachen auf.

Station 8: Mein Stickstoff- Fußabdruck

Experiment 8: Mein Stickstoff-Fußabdruck



Wenn es darum geht, den Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umwelt zu verringern, denkt man häufig zuerst an die Landwirtschaft und den Verkehr. Sowohl die Nitratbelastung durch übermäßige Düngung als auch die Stickoxidbelastung durch Industrie und Verkehr wird immer wieder in den Medien thematisiert. Dabei wird gerne diskutiert, was die anderen tun können und verändern müssen. In dieser Station soll es aber in erster Linie darum gehen, was du tun kannst und welchen Einfluss dein Verhalten auf die Stickstoffproblematik hat.



Abbildung 23: Die Stickstoffproblematik wird häufig mit Fahrverboten und Gülleüberschüssen in Verbindung gebracht. Doch welche Rolle spielt jeder einzelne dabei?

Der Stickstoff- Fußabdruck



Ein internationales Forscherteam hat eine Methode entwickelt, mit der man herausfinden kann, wieviel reaktiver Stickstoff durch den persönlichen Lebensstil in die Umwelt freigesetzt wird.

Rufe hierfür die Webseite www.n-print.org auf. Klicke unter dem Reiter „Your N Footprint“ erneut auf „Your N Footprint“ und wähle dann „Original Flash N-Calculator“ aus.



Es öffnet sich ein neuer Tab, auf dem zunächst die Sprache, dann die Maßeinheiten und das Land ausgewählt werden können. Zunächst wird der durchschnittliche Stickstoff-Fußabdruck einer Person des ausgewählten Landes angezeigt, der sich durch Verschiebungen auf der Skala personalisieren lässt.

Aufgabe 1:

Nenne Aspekte, die einen besonders großen Einfluss auf den Stickstoff-Fußabdruck haben.

Wie viel der Lebensmittel verbrauchen Sie durchschnittlich pro Woche?

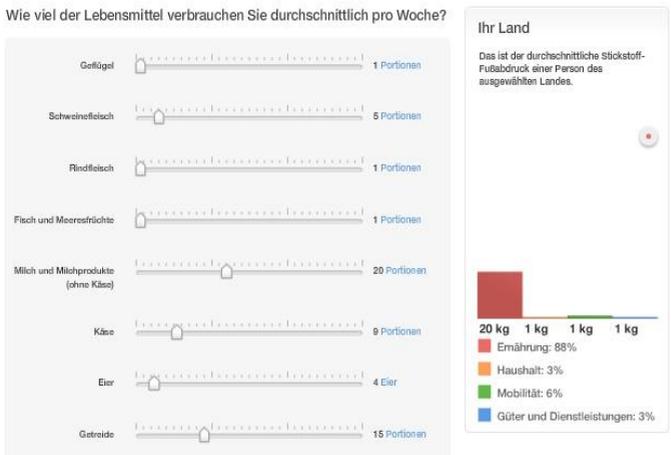


Abbildung 24: Ausschnitt des "N-Calculators" zur Berechnung des persönlichen Stickstoff-Fußabdrucks

Aufgabe 2:

Beschreibe Möglichkeiten, wie du mit deinem persönlichen Lebensstil der Stickstoffproblematik entgegenwirken kannst.

Aufgabe 3:

Diskutiert als Gruppe die Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen. Berücksichtigt dabei folgende Fragen:

- Inwiefern lassen sich die Maßnahmen in euren Alltag integrieren?
- Wie wirkt sich das auf eure Lebensqualität aus?
- Worauf könnte man noch achten (Stichwort „Wegwerfgesellschaft“)?

Vertiefung A: Teilflächenspezifische Düngung

Vertiefung A: Teilflächenspezifische Düngung



Pflanzen brauchen Nährstoffe (z. B. Stickstoff und Phosphor), um wachsen zu können. Diese nehmen sie größtenteils aus dem Boden auf. Bei der Ernte verlassen die in den Pflanzen gebundenen Nährstoffe das Feld und der Boden würde ohne eine zusätzliche Nährstoffzufuhr verarmen. Nur wenn diese Nährstoffverluste durch Düngung ausgeglichen werden, ist es Landwirten langfristig möglich, gute und fruchtbare Böden zu erhalten.

Um zu wissen, was und wieviel gedüngt werden muss, wird vor der Düngung das Nährstoffangebot des Bodens untersucht. Außerdem wird die Düngung oft präzisiert, indem sie zeitlich aufgeteilt wird. In verschiedenen Wachstumsphasen benötigen Pflanzen unterschiedliche Nährstoffmengen und können auf diese Weise bedarfsgerecht versorgt werden. Gleichzeitig kann so die Auswaschung von Nitrat-Ionen minimiert werden.

Mit modernen Verfahren kann die Düngung sogar noch weiter präzisiert werden. Besonders interessant ist hierbei die teilflächenspezifische Düngung. Bei diesem Verfahren kann sogar berücksichtigt werden, dass der Nährstoffgehalt innerhalb eines großen Feldes nicht überall gleich ist.



Abbildung 25: Teilflächenspezifische Stickstoff-Düngeempfehlung von Wintergerste auf Basis des mit Sensor erfassten Stickstoffgehaltes im Boden (Agricon GmbH)

Aufgabe 1:

Für die teilflächenspezifische Düngung gibt es verschiedene Sensortypen unterschiedlicher Hersteller. Eine mögliche Sensortechnik wird im folgenden Video beschrieben.



<https://www.youtube.com/watch?v=06SG1y5QGcw>

Schaut euch als Gruppe das Werbevideo an und beschreibt stichpunktartig, wie teilflächenspezifische Düngung von Stickstoff funktionieren kann.



Abbildung 26: Traktor mit Stickstoff-Sensor auf dem Dach für eine teilflächenspezifische Düngung (Agricon GmbH)

Vertiefung B: Manipulation bei Diesel-Abgasen

Vertiefung B: Manipulation bei Diesel- Abgasen



Der Diesel-Abgasskandal ist aus den Medien kaum noch wegzudenken. Seit 2015, nach der Veröffentlichung der Vorwürfe gegenüber VW durch die US-Umweltbehörde EPA, sind die Manipulationen zur Verfälschung der Abgaswerte Thema tausender Medienberichte. Bei mehreren Millionen Fahrzeugen von VW wurde die Manipulations-Software installiert. Auch weitere Hersteller sind von diesem Skandal betroffen. Doch was hat es mit dem Abgasskandal auf sich und was bewirkt die Manipulationssoftware?



Abbildung 27: Symbolbild Autoabgase

Rechercheauftrag: Der Diesel-Abgasskandal

Recherchiere die Funktionsweise der Manipulationssoftware und notiere deine Ergebnisse. Beziehe folgende Begriffe in die Recherche ein: Harnstoff/AdBlue, Prüfstand

Nachweise

Um für die Lernenden den Lesefluss zu erhalten, werden Literatur- und Bildnachweise an dieser Stelle gesammelt angegeben.

Literaturnachweise

- Bahnspace, L. (2012). *Nitrat-Gehalt in Gemüse*. Verfügbar unter: https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_25_frischgemuese/et_nitrat_frischgemuese.htm [23.04.2020]
- Bahnspace, L. (2020). *Nitrat in Feldsalat – Untersuchungsergebnisse 2014*. Verfügbar unter: https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_25_frischgemuese/ue_2014_feldsalat_nitrat.htm [23.04.2020]
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2013). Merkblatt Nr. 1.6/2: Möglichkeiten der Nitratentfernung aus dem Trinkwasser. Verfügbar unter: https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil1_grundwasserwirtschaft/doc/nr_162.pdf [01.04.2020]
- Becker, Karl H. & Löbel, Jürgen (2013). *Atmosphärische Spurenstoffe und ihr physikalisch-chemisches Verhalten Ein Beitrag zur Umweltforschung*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Borgeest, Kai (2017). *Manipulation von Abgaswerten: Technische, gesundheitliche, rechtliche und politische Hintergründe des Abgasskandals*. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.). (2012). *Ermittlung der Mengen weggeworfener Lebensmittel und Hauptursachen für die Entstehung von Lebensmittelabfällen in Deutschland. Zusammenfassung einer Studie der Universität Stuttgart*. Verfügbar unter: <http://www.agrarheute.de/sites/default/files/media/602450/602450.pdf> [10.07.2020]
- Carl Roth (2015). *Ammoniumchlorid: Sicherheitsdatenblatt*. Verfügbar unter: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/5/SDB_5050_BE_DE.pdf [21.08.2019].
- Carl Roth (2017). *Eisen-(II)-sulfat-Heptahydrat: Sicherheitsdatenblatt*. Verfügbar unter: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/P/SDB_P015_DE_DE.pdf [21.08.2019].
- Carl Roth (2016). *Natriumhydroxid, Plätzchen: Sicherheitsdatenblatt*. Verfügbar unter: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/6/SDB_6771_AT_DE.pdf [21.08.2019]

- Carl Roth (2016). Natriumnitrat: Sicherheitsdatenblatt. Verfügbar unter: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/8/SDB_8601_DE_DE.pdf [21.08.2019].
- Carl Roth (2016). *Schwefelsäure 96 %: Sicherheitsdatenblatt*. Verfügbar unter: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/4/SDB_4623_DE_DE.pdf [21.08.2019].
- Carl Roth (2018). *Sulfanilsäure. Sicherheitsdatenblatt*. Verfügbar unter: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/4/SDB_4496_CH_DE.pdf [04.11.2020]
- Carl Roth (2019). *N-(1-Naphthyl)ethylendiamin Dihydrochlorid. Sicherheitsdatenblatt*. Verfügbar unter: https://www.carlroth.com/downloads/sdb/de/4/SDB_4342_DE_DE.pdf [03.11.2020]
- Carl Roth (2019). *Sicherheitsdatenblatt Salpetersäure 68%, reinst*. Verfügbar unter: http://h681906737k719.catalogus.de/pdf/281/sdb_2616_de_de.pdf
- Dardel, F. d. (2008). Ionenaustausch für Laien. Eine Einführung. Verfügbar unter: <https://docplayer.org/5669599-Ionenaustausch-fuer-laien.html> [22.07.2019].
- Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie (Hrsg.) (2013). *Informationsserie Pflanzenernährung: Ernährung – Wachstum – Ernte: Experimente*. Verfügbar unter <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/pflanzenernaehrung-experimente.pdf> [zuletzt abgerufen am 09.07.2019].
- GESTIS-Stoffdatenbank (2020). *Kupfer, Pulver*. Verfügbar unter: http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu [28.10.2020]
- GESTIS-Stoffdatenbank (2020). *Nitrose Gase*. Verfügbar unter: [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/496598.xml?f=templates\\$fn=default-doc.htm\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/496598.xml?f=templates$fn=default-doc.htm$3.0) [29.07.2020]
- IVARIO Dienstleistungen GmbH. *Wasserqualität Oldenburg*. Verfügbar unter: <https://www.wassertest-online.de/wasserqualitaet/oldenburg.php> [23.06.2020]
- Landesamt für Statistik Niedersachsen (2019). Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2016. Hannover.
- Merck KGaA. (2013). *110024 Ammonium-Test. Sicherheitsdatenblatt*. Verfügbar unter: http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-DE-Site/de_DE/-/EUR/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-110024&Origin=PDP [21.08.2019].
- Merck KGaA. (2013). *110024 Ammonium-Test. Sicherheitsdatenblatt*. Verfügbar unter: http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-DE-Site/de_DE/-/EUR/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-110024&Origin=PDP [21.08.2019].

- Mortimer, Charles E. & Müller, Ulrich (2015). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (12., überarbeitete Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Nebel, Martin (2018). *Die Mooswand in Stuttgart*. Umweltzentrum Braunschweig. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. (o.J.). *Nitrat in Lebensmitteln*. Verfügbar unter: https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/ruckstande_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html [23.04.2020]
- N-Print (2011). *About the N-Print Site. Purpose of the N-Print Site*. Verfügbar unter: <http://n-print.org/About> [10.07.2020]
- Prüße, U. & Vorlop, K.-D. (1996). Entfernung von Nitrat aus Trinkwasser. *CHEM-KON* 3 (2), 62–67.
- Regierungspräsidium Stuttgart (2019). *Luftreinhalteplan für den Regierungsbezirk Stuttgart. Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart*. Stuttgart.
- Riedel, Erwin & Janiak Christoph (2015). *Anorganische Chemie* (9. Auflage). Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- Sauer, U. (2018). *Nitratentfernung bei der Trinkwasseraufbereitung* (Veolia Water Technologies Deutschland GmbH, Hrsg.). http://www.veoliawatertechnologies.de/berkefeld/ressources/documents/5/58695-Nitrat-Entfernung-Trinkwasser_wwt_.pdf [22.07.2019].
- Schulze, Jana (2018). *Masterarbeit zum Thema: Entwicklung eines GreenLab_OS-Settings zum Themenkomplex "Stickoxide im Straßenverkehr"*. Osnabrück. Unveröffentlichtes Dokument.
- Schweda, E. (2012). *Jander /Blasius. Anorganische Chemie I: Einführung in die Qualitative Analyse* (17., völlig neu bearbeitete Auflage). Stuttgart: Hirzel. S. 240; 293.
- St. Smidt (2008). *Wirkungen von Luftschadstoffen auf Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung von Waldbäumen*. Wien.
- Stadt Stuttgart. *Mit Moos gegen #Feinstaub - Vorstellung des Projektversuchs Mooswand an der B14*. Verfügbar unter: https://twitter.com/stuttgart_stadt/status/840195560405651457/photo/1 [16.04.2020]
- Stadtwerke Osnabrück. (o.J.). *Für Genießer. Osnabrücker Trinkwasser*. Verfügbar unter: <https://www.stadtwerke-osnabrueck.de/fileadmin/stadtwerke/wasser/Trinkwasser-Dateien/Trinkwasser-in-Osnabrueck.pdf> [22.08.2019]
- Streifinger, L. A. (2008). *Investitionen zur Verminderung von Umweltbelastungen. Programm des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Umweltgerechte Behandlung von nitralhaltigen Abwässern (NITREA®)*. Verfügbar unter: https://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/2020-02/ab_sued_chemie_nitrea_fi_nal_2008_0.pdf [01.04.2020]

- Umweltbundesamt (Hg.). (2014). *Reaktiver Stickstoff in Deutschland. Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen.*
- Umweltbundesamt (Hg.). (2015). *Stickstoff – zuviel des Guten? Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren.*
- Weiß, C. (2008). *Nitrat, Nitrit und Nitrosamine.* Ernährungsumschau, Forschung und Praxis. (4/2008), 236-240.
- Wirth, R. (2019). *Dissertation: Berufsorientierung im außerschulischen Lernort mit chemiebezogenen Berufen im Umweltschutz. Ergebnisse einer Fragebogenstudie mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Material für Schülerlaborkonzept Dünger und Pflanzenwachstum.* Oldenburg.

Bildnachweise

- Abbildung 2: Wirth, R. (2019). *Dissertation: Berufsorientierung im außerschulischen Lernort mit chemiebezogenen Berufen im Umweltschutz. Ergebnisse einer Fragebogenstudie mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Material für Schülerlaborkonzept Dünger und Pflanzenwachstum.* Oldenburg.
- Abbildung 4: Wirth, R. (2019). *Dissertation: Berufsorientierung im außerschulischen Lernort mit chemiebezogenen Berufen im Umweltschutz. Ergebnisse einer Fragebogenstudie mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Material für Schülerlaborkonzept Dünger und Pflanzenwachstum.* Oldenburg.
- Abbildung 7: Wirth, R. (2019). *Dissertation: Berufsorientierung im außerschulischen Lernort mit chemiebezogenen Berufen im Umweltschutz. Ergebnisse einer Fragebogenstudie mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Material für Schülerlaborkonzept Umweltschutzberufe.* Oldenburg.
- Abbildung 9: Wirth, R. (2019). *Dissertation: Berufsorientierung im außerschulischen Lernort mit chemiebezogenen Berufen im Umweltschutz. Ergebnisse einer Fragebogenstudie mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Material für Schülerlaborkonzept Umweltschutzberufe.* Oldenburg.
- Abbildung 10: Wirth, R. (2019). *Dissertation: Berufsorientierung im außerschulischen Lernort mit chemiebezogenen Berufen im Umweltschutz. Ergebnisse einer Fragebogenstudie mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Material für Schülerlaborkonzept Umweltschutzberufe.* Oldenburg.

Abbildung 11: Eigene Darstellung nach Roennefahrt, K. W. (1992). Nitratentfernung aus dem Trinkwasser, S. 2.

Abbildung 12: verändert nach IKZ-Haustechnik (2003). Moderne Wasseraufbereitung. Verfügbar unter: <https://www.ikz.de/ikz-archiv/2003/16/0316034.php> [01.04.2020]

Abbildung 15: Yikrazuul/Public domain (2010). *Häm b*. Verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heme_b.svg [24.06.2020]

Abbildung 16: verändert nach Eframgoldberg, CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, via Wikimedia Commons [03.11.2020]

Abbildung 21: St. Smidt (2008). *Wirkungen von Luftschadstoffen auf Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung von Waldbäumen*. Wien.

Abbildung 22: Stadt Stuttgart, *Mit Moos gegen #Feinstaub - Vorstellung des Projektversuchs Mooswand an der B14*. Verfügbar unter: https://twitter.com/stuttgart_stadt/status/840195560405651457/photo/1 [16.04.2020]

Abbildung 24: N-Print. Verfügbar unter: http://www.n-print.org/sites/n-print.org/files/footprint_java/index.html#/home [09.09.2019]

Abbildung 25: Agricon GmbH. Verfügbar unter: <https://www.agricon.de/betrieb/> [08.07.2019]

Abbildung 26: Agricon GmbH. Verfügbar unter: <https://www.agricon.de/n-duengung/> [08.07.2019]

Alle anderen Abbildungen und Fotos wurden von den Universitäten Oldenburg oder Osnabrück selbst erstellt unter sind unter freier Lizenz bei www.pixabay.com verfügbar.

