

Woher kommt dieser Luftschadstoff?

Warum stellt er ein gesundheitliches Problem dar?

Wie kann man ihn auch am Schulhof nachweisen?

In den letzten Jahren konnte man viel über den Luftschadstoff Feinstaub lesen und hören. Doch dieser ist nicht der einzige, von dem noch immer zu viel in unserer Atemluft ist. Der zweite Luftschadstoff, der in Österreich immer wieder für Probleme sorgt, ist Stickstoffdioxid, der v. a. aus dem Verkehr stammt.

Der Luftschadstoff Stickstoffdioxid (NO_2) wird vorgestellt. Seine Quellen, die Entwicklung seiner Konzentration in der Luft in den letzten Jahren und seine gesundheitlichen Auswirkungen werden präsentiert. Ein einfaches Experiment zeigt eine Möglichkeit des Nachweises von NO_2 in Motorabgasen.



Foto: pixabay/CC0 Public Domain

Ort

Klassenraum, Schulhof, Parkplatz

Schulstufe

ab der 9. Schulstufe

Gruppengröße

Klassengröße

Zeitdauer

2 Schulstunden

Lernziele

- Messwerte in Diagrammen lesen und interpretieren können
- Die besonderen Umweltbelastungen in den verschiedenen Jahreszeiten in unterschiedlichen Regionen beurteilen können
- Sehr stark belastete Gebiete naturräumlich und kulturräumlich zuordnen können
- Regionale Differenzierung der Schadstoffbelastung mit Hilfe von Karten erklären können

Sachinformation

Als regelmäßige/r ZeitungsleserIn hat man bemerkt, dass sich seit vielen Jahren immer wieder zu Beginn der kalten Jahreszeit die Medienberichte über hohe Luftbelastung zu häufen scheinen. Das liegt darin begründet, dass im Winterhalbjahr tatsächlich die Konzentration von Luftschadstoffen in unserer Atemluft zunimmt. Zumeist handelt es sich dabei um Berichte über Feinstaub. Dazu gibt es auch bereits eigene UBZ-Stundenbilder, die sich mit den Hintergründen dieses Schadstoffes beschäftigen und auch eine Messung bzw. die Beobachtung von Feinstaub im Unterricht beschreiben.

Neben Feinstaub gibt es aber noch einen weiteren Luftschadstoff, dessen Konzentration in der Luft immer noch bedenklich ist und teilweise sogar Grenzwertüberschreitungen bedingt. Es handelt sich dabei um das Gas Stickstoffdioxid (NO_2), das großteils aus dem Sektor Verkehr stammt. V. a. im städtischen Bereich hat NO_2 deshalb einen hohen Alltags- und Gegenwartsbezug, denn wie beim Feinstaub drohen auch hier Klagen seitens der EU, wenn Österreich seinen Verpflichtungen zur Luftreinhaltung nicht in ausreichendem Maße nachkommt (siehe Abb. 1).

Im vorliegenden Stundenbild wird der Luftschadstoff NO_2 so behandelt, dass er sich nicht nur für den Chemieunterricht mit Laborausstattung anbietet, sondern auch fächerübergreifend betrachtet werden kann. Obwohl im Stundenbild oft Graz als Fallbei-

spiel verwendet wird, möchten wir ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das Thema auch in Schulen ohne städtischen Bezug behandelt werden kann.

Was ist Stickstoffdioxid?

Als Stickstoffoxide (oder Stickoxide) bezeichnet man ganz allgemein Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs. In der Atmosphäre kommt eine Reihe von gasförmigen Stickstoffverbindungen vor, die unter den Begriff Stickstoffoxide fallen. Aus lufthygienischer Sicht sind in erster Linie die beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) von Bedeutung. Das Gemisch beider Substanzen wird als NO_x bezeichnet. Details zu den Gasen NO und NO_2 bieten die zwei Gas-Steckbriefe im Anhang.

Diese Stickoxide haben zwar auch natürliche Entstehungsprozesse, wie etwa mikrobiologische Umsetzungen im Boden oder Gewitterentladungen, die im Vergleich zu den künstlichen Quellen aber vernachlässigbar sind. Die stärkste anthropogene (also vom Menschen bedingte) Quelle für Stickstoffoxide ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe, wobei in Europa der Verkehr als Hauptverursacher gilt. Auch in Österreich stammt der Großteil der Stickoxide aus diesem Sektor, aber auch Emissionen aus verschiedenen Industriezweigen (zB Zement- und Glaserzeugung, chemische Industrie) und der Hausbrand (Kleinverbraucher) sind von Bedeutung (Abb. 2).



Abb. 1: Zeitungsmeldung zum Thema Stickstoffdioxid (Quelle: der Grazer, 2. April 2017)

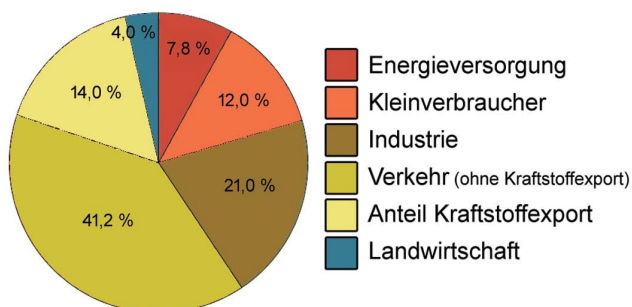


Abb. 2: Anteil der Verursacher-Sektoren an den NO_x -Emissionen Österreichs im Jahr 2014. Mit dem Begriff „Kraftstoffexport“ ist der Tanktourismus gemeint. Treibstoff wird dabei in Österreich getankt, aber außerhalb von Österreich verbraucht. (Quelle: Umweltbundesamt, 2016: Emissionstrends 1990-2014. Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich)

Die Stickoxide entstehen dabei hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe durch die Oxidation von Luftstickstoff und werden zum überwiegenden Teil als farbloses, wenig wasserlösliches Gas, dem Stickstoffmonoxid (NO), emittiert. Dieses wird in der Folge in der Atmosphäre relativ rasch in das giftigere Stickstoffdioxid (NO_2) umgewandelt. Aufgrund dieser höheren Giftigkeit gilt NO_2 auch als ein Problem der Luftreinhaltung. Diesen chemischen Umwandlungsprozess kann man im Kästchen „Zur Vertiefung“ genauer unter die Lupe nehmen. Im Verkehr wird durch den Einsatz von Diesel-Abgasnachbehandlungssystemen und die dortige chemische Umwandlung das NO_2 aber zu einem bedeutenden Anteil auch bereits direkt aus dem Auspuff ausgestoßen.

Zur Vertiefung

Dass Stickoxide sehr eng mit dem Verkehr als Hauptverursacher in Verbindung gebracht werden können, zeigt der Blick auf das Beispiel eines Tagesganges dieser Schadstoffgruppe über eine Woche in Abb. 3. Für die Messstation Graz-West sind hier die Verläufe von NO , NO_2 und der Lufttemperatur von Montag (25.1.2016) bis Sonntag (31.1.2016) zu sehen.

Der regelhafte Verlauf der Temperatur zeigt, dass in dieser Woche die Witterung stabil war. Die Woche war niederschlagsfrei und erst am Sonntag kam es zu Einflüssen durch eine Kaltfront.

Ganz deutlich erkennt man an allen Werktagen zwei NO -Spitzen, die die Folge der Morgen- und Abendverkehrsspitzen sind. Am Samstag sind diese Spitzen schon geringer und am Sonntag fehlen sie komplett - einerseits aufgrund geringen Verkehrs und v. a. in der zweiten Tageshälfte auch aufgrund eines Witterungswechsels.

Weniger akzentuiert ist der Verlauf von NO_2 . Allerdings sind auch hier großteils die zwei Verkehrsspitzen gut zu sehen. Das Stickstoffdioxid wird teils direkt emittiert, teils bildet es sich aber erst luftchemisch bei Vorhandensein von Ozon (O_3) in der Luft:

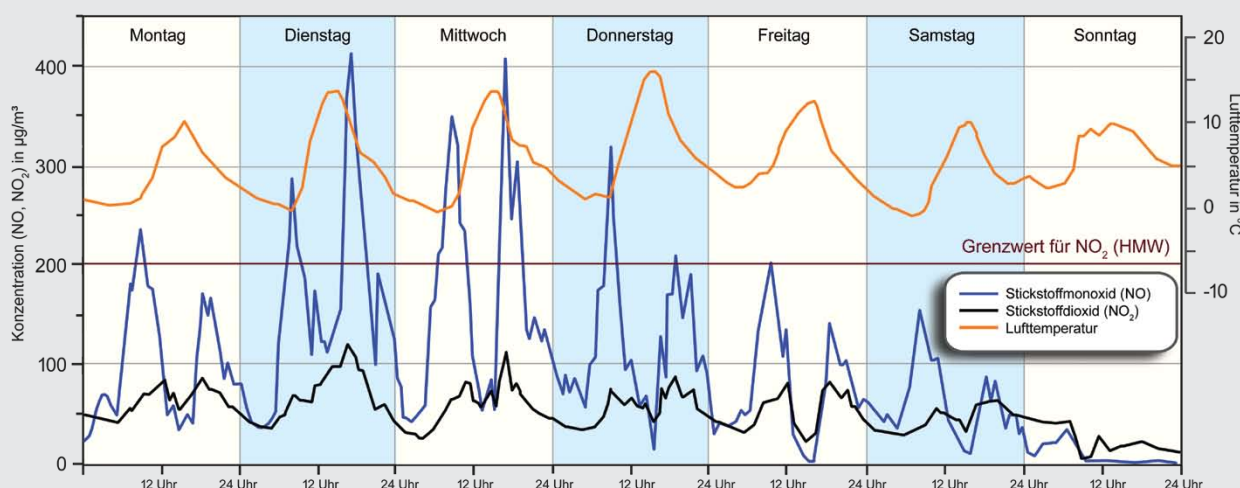
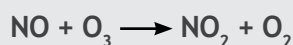


Abb. 3: Beispiel eines Tagesganges von NO , NO_2 und Lufttemperatur (je Halbstundenmittelwerte) über eine Woche (25.-31. Jänner 2016) an der Messstation Graz-West. Trotz deutlicher Belastungsspitzen wird der Grenzwert für NO_2 allerdings nicht überschritten.

Betrachtet man das Diagramm im Detail, kann man folgenden Verlauf herauslesen:

- 1.) Die erste Immissionsspitze von NO_2 ist im Vergleich zum NO immer zeitlich etwas nach hinten versetzt. Dies ist mit den erwähnten luftchemischen Umwandlungsprozessen zu erklären, die etwas Zeit brauchen. Die für Jänner sehr milden Temperaturen begünstigen überdies diese luftchemischen Prozesse.
- 2.) Die Bedeutung der Lufttemperatur zeigt sich auch im weiteren Tagesverlauf. Der Rückgang der NO -Konzentrationen ist nämlich einerseits durch eine tagesperiodische Abnahme des Verkehrs bedingt, aber andererseits auch durch die Labilisierung der bodennahen Luftschichten (sich erwärmende Luft steigt auf), die zu einem Abtransport der Schadstoffe führt. Außerdem wird NO auch wieder in NO_2 umgebildet. Um die Mittagszeit liegt deshalb der NO_2 -Wert in der abgebildeten Woche dann mehrmals sogar über dem NO -Wert.
- 3.) Mit der zweiten Verkehrsspitze, die etwa um 16 Uhr einsetzt, steigen gleichzeitig das NO und das NO_2 an. Zu diesem Zeitpunkt ist noch ausreichend Ozon vorhanden bzw. herrschen noch ausreichende Temperaturen, um eine rasche chemische Umwandlung zu ermöglichen.
- 4.) Abends sinken dann bis in die Nachtstunden beide Kurven ab, um am nächsten Werktag das Muster zu wiederholen.

Wirkungen von Stickstoffdioxid

Stickstoffdioxid ist bei hoher Konzentration ein braunes, stechend riechendes Gas, das mit Wasser (also auch mit Niederschlägen) sowohl zu salpetriger Säure (HNO_2) als auch zu Salpetersäure (HNO_3) reagieren kann. Auf dieser Eigenschaft basiert auch das Experiment in der didaktischen Umsetzung. Da Regen auf diese Weise einen niedrigeren als den üblichen pH-Wert annehmen kann, spricht man von „saurem Regen“, für den neben Stickoxide aber auch zu einem großen Teil Schwefeloxide (bei uns bis in die 1980er-Jahre) verantwortlich sein können. Die Auswirkungen von saurem Regen auf die Umwelt sind mannigfaltig, aber nicht Teil dieses Stundenbildes.

Stickstoffdioxid kann in der Atmosphäre aber auch langsam zu Nitrat (NO_3^-) oxidiert werden, das ist das Salz der Salpetersäure (HNO_3) – im Unterschied zu Nitrit (NO_2^-), dem Salz der Salpetrigen Säure (HNO_2). Das Nitrat kann sich in Folge an Aerosole anlagern und wird so in der partikelgebundenen Form wieder aus der Atmosphäre ausgetragen. Dies führt bei sensiblen, nährstoffarmen Biotopen zu einer Nährstoffübersättigung (Eutrophierung) der Böden und zu einer Anreicherung von Nitrat im Grundwasser.

Außerdem fungiert NO_2 auch als Vorläufersubstanz für die Bildung von bodennahem Ozon, einem Luftschadstoff, der v. a. im Sommer in höheren Konzentrationen auftreten und auf diese Weise gesundheitsschädigend wirken kann.

Die für den Menschen aber offensichtlichsten negativen Auswirkungen sind die Folgen des direkten Einatmens dieses Luftschadstoffes. Während Stickstoffmonoxid (NO) auch natürlich im menschlichen Körper vorkommt und von vielen Körperzellen produziert wird (zB für die Regulierung des Blutdrucks), wird das als Emission ausgestoßene NO in der Luft mit Sauerstoff rasch in NO_2 umgewandelt. Dieses Stickstoffdioxid wirkt dann als Reizgas, denn es ist ein hochreaktives Molekül, das seine Hauptwirkung in der Lungenperipherie entfaltet. Da es relativ gut wasserlöslich ist, greift es die Schleimhäute der Atmungsorgane (aber auch der Augen) an und begünstigt Atemwegserkrankungen. Bei längerer Einwirkung können höhere Konzentrationen zu chronischer Bronchitis oder sogar zu einem Lungenödem führen. AsthmatikerInnen und Kinder reagieren auf NO_2 besonders empfindlich. Sie sollten sich keinen hohen Belastungen aussetzen.

In Wohnungen spielen im Hinblick auf die Stickstoffdioxid-Konzentration unter anderem Gasherde ohne Abzug eine bedeutende Rolle. Auch Tabakrauch oder Kerzen stellen Stickstoffdioxid-Innenraumquellen dar.

Da hohe Stickstoffdioxidwerte meist gemeinsam mit hohen Werten anderer Luftschadstoffe auftreten (zB Feinstaub), ist hier eine gegenseitig verstärkende Wirkung immer mitzubedenken.

Gesetzliche Grenzwerte

Aufgrund dieses Gefährdungspotentials für die Gesundheit gibt es auch gesetzliche Vorgaben, die Konzentration von NO_2 in der Außenluft zu messen und Bestrebungen, die Stickstoffdioxidwerte zu verringern. Für Stickstoffmonoxid (NO) gibt es nach dem österreichischen Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) zwar keine Grenzwerte, für Stickstoffdioxid (NO_2) gibt es aber einen Grenzwert für den Halbstundenmittelwert (HMW) und einen für den Jahresmittelwert (JMW).

Angegeben werden diese Messwerte immer in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, also Mikrogramm pro Kubikmeter. Man misst, wieviel Mikrogramm Stickstoffdioxid sich in einem Kubikmeter Luft befinden.



Abb. 4: Blick vom Schlossberg auf den Grazer Smog im Winter 1988/89

Der Grenzwert für das Halbstundenmittel liegt laut IG-L bei $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jener für das Jahresmittel bei $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Damit ist das IG-L sogar strenger als die EU-Vorgabe, die einen JMW von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vorschreibt. Ob diese Grenzwerte in Österreich eingehalten werden können, wird in Folge näher betrachtet.

Entwicklung der Stickstoffdioxid-Belastung in der Steiermark und in Österreich

Zu hohe Stickstoffdioxid-Konzentrationen in der Luft führten in den Wintern 1988/89 und 1989/90 zu einem Smog-Alarm in Graz (Abb. 4). Die Gefährdung für die Gesundheit wurde als so groß eingestuft, dass kurzfristig sogar der Unterricht in den Schulen abgesagt wurde.

Die Folge der zwei Smogwinter im Raum Graz war die Installation eines Smogmessnetzes, aus dem das heutige Grazer Messnetz (8 Luftgütemessstationen) hervorging. Deshalb lässt sich die Entwicklung der NO_2 -Belastung in Graz seit Beginn der 1990er-Jahre gut verfolgen. Wie hat sich nun seit damals die Situation entwickelt?

Abb. 5 zeigt als Beispiel die Jahresmittelwerte von NO_2 an der Station Graz-West von 1990 bis 2015. Bis Anfang der 2000er-Jahre zeigt sich eine Besse-

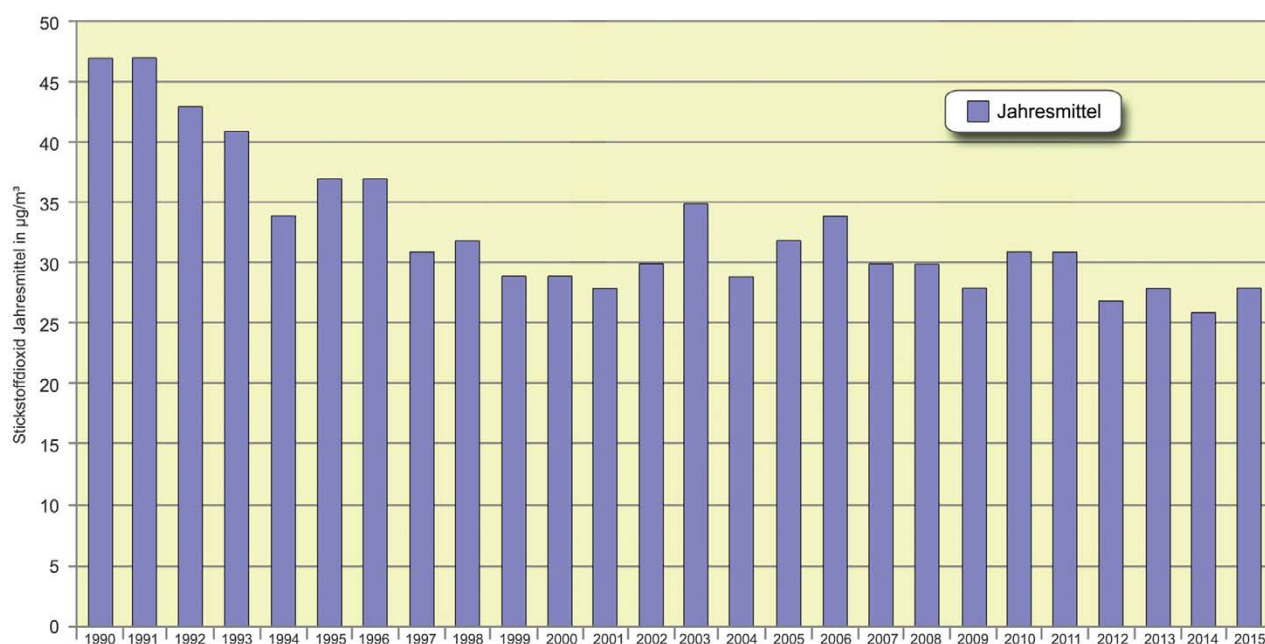


Abb. 5: Entwicklung der NO_2 -Jahresmittelwerte seit 1990 an der Station Graz-West

rung der Situation, v. a. da motorentechnisch hier viel optimiert werden konnte. Allerdings konnte diese kontinuierliche Verbesserung die stete Zunahme des Verkehrs dann nicht mehr aufwiegen, so dass im Diagramm in den letzten Jahren eine Stagnation zu sehen ist.

Außerdem zeigt sich, dass die Fahrzeuge aktuell nicht in der Lage sind, das prognostizierte errechnete Einsparungspotential auch im Realbetrieb auf der Straße einzuhalten.

Trotzdem sind so hohe Belastungsspitzen wie in den Grazer Smogwintern heute nicht mehr zu erwarten. Allerdings findet man bei verkehrsnahen Messstandorten in Österreich immer noch Werte über dem IG-L-Grenzwert ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und sogar über dem EU-Grenzwert ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) für das Jahresmittel. Abb. 6 zeigt dazu einige hochbelastete, verkehrsnahen Messstationen in Österreich und die dortige Entwicklung der NO_2 -Jahresmittelwerte seit 1990. Die Station Pillersdorf (Weinviertel) ist Teil des nationalen Hintergrundmessnetzes. Dabei handelt es sich um Messstandorte, die abseits von direkten Emissionsquellen die Hintergrundbelastung durch Luftschadstoffe messen und so als Vergleich herangezogen werden können.

Alle städtischen Messstationen sowie die Station an der Inntal-Autobahn (A12) zeigen zwar rückläufige

Trends, liegen aber zumeist deutlich über dem Grenzwert. Auch die höchst belastete Station der Steiermark (Graz Don Bosco - grüne Linie) liegt hier durchwegs sowohl über dem IG-L Grenzwert ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), als auch über dem EU-Grenzwert ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Auch wenn die Werte der einzelnen Jahre nicht nur durch die direkten NO_2 -Emissionen bedingt werden, sondern auch anderen Parametern wie etwa den meteorologischen Verhältnissen oder technischen Ausstattungen der Fahrzeuge unterliegen, zeigt die Abbildung doch deutlich, dass beim Luftschadstoff Stickstoffdioxid Handlungsbedarf besteht. Auch aus diesem Umstand ergeben sich dann die eingangs erwähnten Klagsandrohungen der EU aufgrund zu hoher Luftbelastung.

Maßnahmen gegen Stickstoffdioxid

Nachdem der Hauptverursacher der NO_2 -Emissionen im Bereich des Kraftfahrzeugverkehrs zu suchen ist, sind als wirksamste Vermeidungsstrategien jene Maßnahmen zu nennen, die auf eine Vermeidung bzw. Verminderung des Einsatzes von KFZ abzielen. Verbesserungen durch bereits gesetzte technische Maßnahmen werden nämlich durch die Zunahme des Verkehrs größtenteils aufgewogen.

In der Steiermark existiert als Maßnahmenpaket ein 120-seitiges Luftreinhalteprogramm, in dem

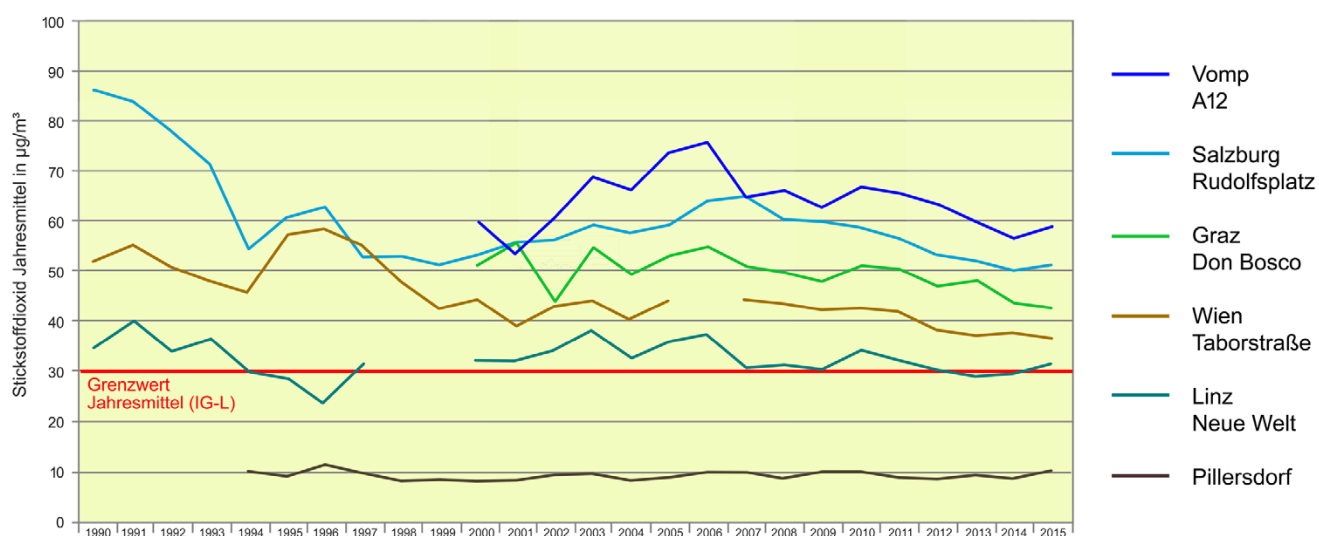


Abb. 6: Jahresmittelwerte der NO_2 -Konzentration von 1990 bis 2015 an hoch belasteten österreichischen Messstellen mit langen Messreihen. Unterbrochene Linien zeigen Datenlücken. Die unterste Linie stellt den Verlauf am Hintergrundstandort Pillersdorf dar (Quelle: Umweltbundesamt, Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2015)

Maßnahmen für die Bereiche Motorentechnik, Winterdienst, Landwirtschaft, Hausbrand und Energie, Verkehr sowie Raumplanung zu finden sind. Im privaten Bereich zählen sicher eine umweltgerechte Fortbewegung zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder die Bildung von Fahrgemeinschaften zu den nachhaltigsten Maßnahmen, um Stickstoffdioxidwerte in unserer Atemluft zu verringern.

Didaktische Umsetzung

Die Problematik rund um Stickstoffdioxid wird angesprochen. Gesundheitliche Auswirkungen von Luftschadstoffen werden erläutert und die Entwicklung der NO_2 -Werte betrachtet. Eine einfache Datenrecherche und ein Experiment zeigen, dass dieser Luftschadstoff einen hohen Gegenwartsbezug hat und auch das Schulumfeld betrifft.

| Inhalte | Methoden |
|--|--|
| Einführung ins Thema | |
| 15 Minuten | |
| <p><i>Stickstoffdioxid wird vorgestellt.</i></p>  | <p><u>Material</u> Sachinformation, Beilage „Gas-Steckbriefe: Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid“</p> <p>Einleitend werden die SchülerInnen gefragt, welche Luftschadstoffquellen sie kennen bzw. welche Luftschadstoffe ihnen bekannt sind. Die Lehrperson erläutert, dass der Luftschadstoff Stickstoffdioxid neben Feinstaub der zweite immer noch problematische Schadstoff in unserer Atemluft ist. Es werden aus der Sachinformation und den beiden Steckbriefen zu NO und NO_2 Fakten nach Bedarf geboten. Wie entsteht Stickstoffdioxid? In welcher Einheit misst man NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)? Werden Grenzwerte in Österreich überschritten? Welche gesundheitliche Problematik hat das?</p> <p>Diagramme aus der Fachinformation können mit Beamer projiziert werden, um das Lesen und Interpretieren von Diagrammen gemeinsam zu üben. Die Frage „Gibt es auch im Schulumfeld Stickstoffdioxid?“ leitet über zum nächsten Punkt.</p> |
| NO_2-Messwerte eruieren | |
| 20 Minuten | |
| <p><i>Die SchülerInnen vergleichen österreichweite Messwerte mit lokalen Messwerten.</i></p>  | <p><u>Material</u> Beilage „Anleitung: Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich“, Beilage „Arbeitsblatt: Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich“, Internetzugang (Tablet, Smartphone)</p> <p>Bereits in den Stundenbildern „Osterfeuer“ (Februar 2016) und „Feinstaub zu Silvester“ (Dezember 2013) wurde beschrieben, wie man mit Hilfe der Website www.feinstaub.steiermark.at Messwerte diverser Luftschadstoffe an allen Messstandorten in der Steiermark abrufen kann. Auf dieselbe Weise kann man auch steirische Stickstoffdioxidwerte abfragen.</p> <p>Auf der Seite des Umweltbundesamtes erhält man Messwerte aller österreichischen Luftgüte-Messstationen. Mit Hilfe der Anleitung können die SchülerInnen eigenständig einen Österreichvergleich durchführen und die Fragen des Arbeitsblattes beantworten.</p> <p>Danach wird das Arbeitsblatt besprochen und gemeinsam werden offene Fragen geklärt.</p> |

| Experiment | 35 Minuten |
|---|---|
| <p>Am Parkplatz oder im Schulhof werden Abgase „gesammelt“ und beprobt.</p>  | <p><u>Material</u> Beilage „Versuch: Stickstoffoxide in Autoabgasen“</p> <p>Für den Nachweis von Stickstoffdioxid in Autoabgasen gibt es ein klassisches Chemie-Experiment mithilfe der Saltzmann Reagenz, das sich auf mehreren Internetseiten leicht finden lässt. Dazu sind jedoch chemische Kenntnisse und einige Ausrüstungsgegenstände aus dem Laborbedarf notwendig.</p> <p>In der vorliegenden Versuchsanleitung wird eine Möglichkeit beschrieben, wie man ohne Chemiesaal und Laborausstattung auch fächerübergreifend Stickstoffoxide aus Autoabgasen einfach nachweisen kann.</p> |
| Abschluss | 10 Minuten |
| <p>Maßnahmen zur Reduktion von Stickstoffdioxid werden angesprochen.</p>  | <p><u>Material</u> kein weiteres</p> <p>Es wird besprochen, welche Maßnahmen zur Reduktion von NO₂ im privaten Bereich (v. a. beim Thema Verkehr) den SchülerInnen bekannt sind. Wenn man in diese Richtung weiterarbeiten möchte, gibt es dazu bereits einige weitere UBZ-Stundenbilder zum Thema „Verkehr/Mobilität“.</p> |

Beilagen

- ▶ Gas-Steckbriefe: Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid
- ▶ Anleitung: Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich
- ▶ Arbeitsblatt: Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich (inkl. Lösung)
- ▶ Versuch: Stickstoffoxide in Autoabgasen

Weiterführende Themen

- ▶ weitere Luftschadstoffe (Feinstaub, Ozon ...)
- ▶ Probleme zunehmender Verkehrsströme
- ▶ technische Maßnahmen oder Verhaltensänderung?
- ▶ Mobilitätsprojekt in der Schule

Weiterführende Informationen

Links

- <http://www.ubz-stmk.at/materialien-service/fachliche-und-didaktische-publikationen/gesundheit>
Unterrichtsmappe „Unser Lebensmittel Luft“: Im Fachinformationsteil werden theoretische Grundlagen zur Luft, zur Atmung, zur Atmosphäre, zum Lokalklima der Steiermark und zur geschichtlichen Entwicklung der Schadstoffproblematik geboten und die einzelnen gemessenen Luftschadstoffe werden behandelt. Der Praxisteil bietet Arbeitsblätter, Spiele, Versuche und weitere Ideen, wie das Thema Luft abseits des klassischen Chemieunterrichts fächerübergreifend behandelt werden kann.
- www.ubz-stmk.at/stundenbilder
über 100 kostenlose Stundenbilder zu div. Umweltthemen, viele auch zu den Themen „Luft“, „Klima“ sowie „Verkehr und Mobilität“



Noch Fragen zum Thema?

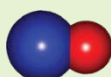
Mag. Michael Krobath
Bereiche Luft, Klimaschutz, Schulatlas
Telefon: 0043-(0)316-835404-9
E-Mail: michael.krobath@ubz-stmk.at

Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid

Erklärung zu einigen Begriffen auf den Kärtchen:

| | |
|------------------------------|---|
| Molare Masse | Sie ist der Proportionalitätsfaktor zwischen Masse und Stoffmenge eines Stoffes. Die Einheit ist kg/mol (in der Chemie ist g/mol üblich). |
| Dichte | Sie wird in kg/m ³ angegeben, ist allerdings von Temperatur und Druck abhängig. Die angegebenen Werte beziehen sich immer auf 1,01325 bar Druck (= Normaldruck) und 0 °C Temperatur. |
| Löslichkeit im Wasser | Ist ebenfalls von Temperatur und Druck abhängig. Die angegebenen Werte beziehen sich immer auf Normaldruck und 20 °C Temperatur. Die Angabe der Löslichkeit ist aus gesundheitlicher Sicht deshalb wichtig, da ein stark wasserlösliches Gas von den Schleimhäuten in den Atemwegen gut aufgenommen werden kann. |
| Gefahrensymbole | Entsprechen dem global harmonisierten System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien. |

STICKSTOFFMONOXID



oxidierend



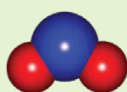
giftig



ätzend

| | |
|---------------------------|--|
| Summenformel: | NO |
| Molare Masse: | 30,01 g·mol ⁻¹ |
| Dichte: | 1,34 kg/m ³ |
| Siedetemperatur: | -151,8 °C |
| Schmelztemperatur: | -163,6 °C |
| Beschreibung: | <ul style="list-style-type: none"> • bei Normaltemperatur gasförmig, farblos, geruchlos • in Wasser wenig löslich (60 mg/l) • unterstützt die Verbrennung kräftig (kann Entzündung brennbarer Stoffe bewirken) • überwiegend als Nebenprodukt bei der Verbrennung fossiler Energieträger |

STICKSTOFFDIOXID



oxidierend



giftig



ätzend

| | |
|---------------------------|--|
| Summenformel: | NO ₂ |
| Molare Masse: | 46,01 g·mol ⁻¹ |
| Dichte: | 3,65 kg/m ³ |
| Siedetemperatur: | 21,2 °C |
| Schmelztemperatur: | -11,2 °C |
| Beschreibung: | <ul style="list-style-type: none"> • bei Normaltemperatur gasförmig, bräunlich, stechend riechend • in Wasser relativ gut löslich, reagiert mit Wasser zu Salpetersäure (HNO₃) • unterstützt die Verbrennung kräftig (kann Entzündung brennbarer Stoffe bewirken) • überwiegend als Nebenprodukt bei der Verbrennung fossiler Energieträger |

Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich

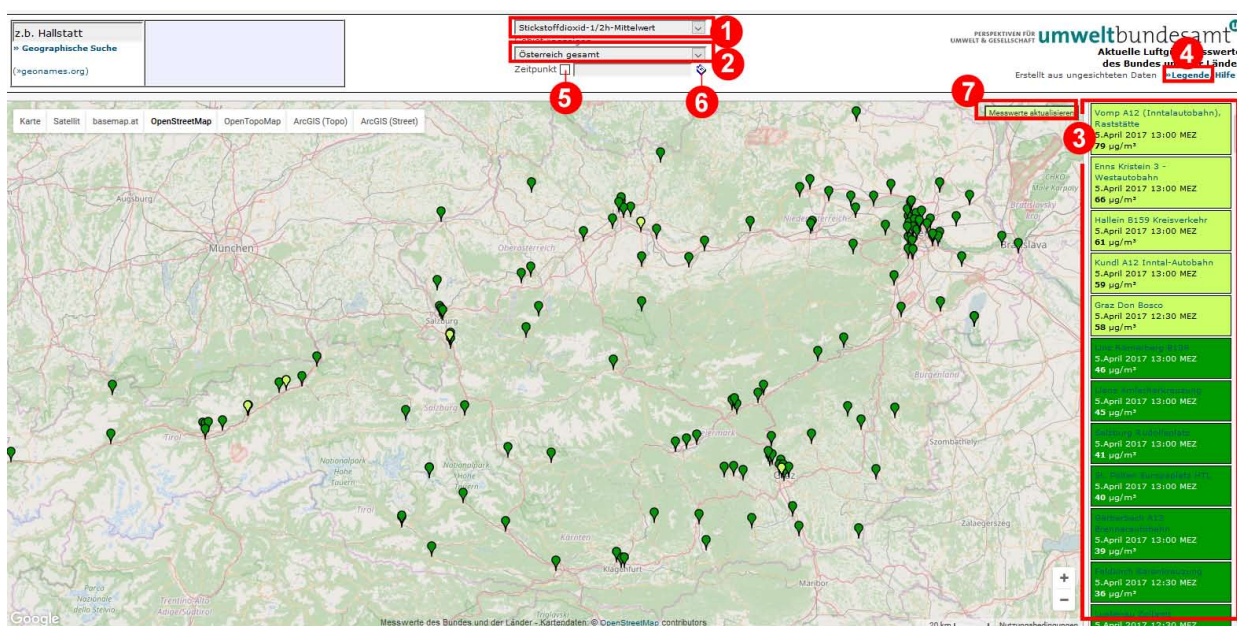
Aufgabenstellung

Wie sind die aktuellen NO₂-Werte in der eigenen Schulumgebung im Vergleich mit anderen Messstationen in Österreich zu bewerten und wann sind die Messwerte am höchsten?
Um dies zu klären, sind folgende Schritte notwendig:

Schritt 1:

Man öffnet die Seite <http://luft.umweltbundesamt.at/pub/gmap/start.html> und kommt so zu einer Österreichkarte mit allen Luftgüte-Messstationen.

Ganz oben findet sich ein Dropdown-Menü, bei dem man aus gemessenen Luftschadstoffen und diversen Mittelwerten wählen kann (Punkt 1 in der Abbildung).



Hier wählt man „Stickstoffdioxid-1/2h-Mittelwert“, also den aktuell gemessenen Halbstundenmittelwert (HMW) von NO₂. Im Dropdown-Menü darunter (2) wählt man „Österreich gesamt“.

Angezeigt werden nun alle aktuellen HMW für Stickstoffdioxid in Österreich. In der Liste ganz rechts (3) findet man die aktuell am höchsten belasteten Stationen. Im Beispiel in der Abbildung ist das die Station Vomp an der Inntalautobahn. Die höchst belastete Station in der Steiermark ist dort Graz Don Bosco. Da alle Stationen in Grüntönen dargestellt sind, bedeutet das keine bedenklichen Werte. In der Legende (4) kann man genauer nachsehen, wofür welche Farbtöne stehen (dunkelgrün-hellgrün-gelb-orange-rot). Rot wären dann sinngemäß Grenzwertüberschreitungen. Im Arbeitsblatt „Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich“ kann man nun schon die ersten vier Fragen beantworten.

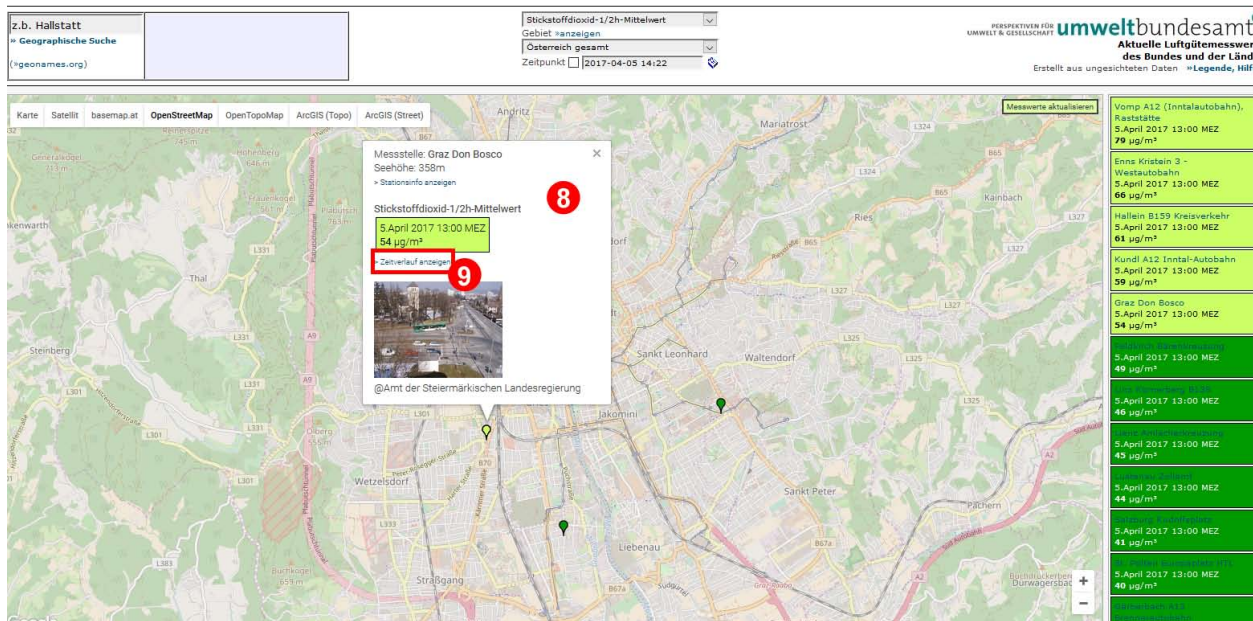
Schritt 2:

Nun wird versucht, Messwerte für einen vergangenen Zeitpunkt zu finden, also zB für ein Datum in der kalten Jahreszeit, wenn diese Übung in der warmen Jahreszeit durchgeführt wird und umgekehrt.

Dazu setzt man bei „Zeitpunkt“ einen Haken (5) und kann beim Kalendersymbol rechts daneben (6) ein beliebiges Datum wählen. Um die Werte zu diesem Zeitpunkt anzuzeigen, klickt man noch auf „Messwerte aktualisieren“ (7). Wiederum zeigen sich nun alle Messwerte in Österreich für diesen vergangenen Zeitpunkt, die zur Beantwortung der Frage 5 im Arbeitsblatt verwendet werden können.

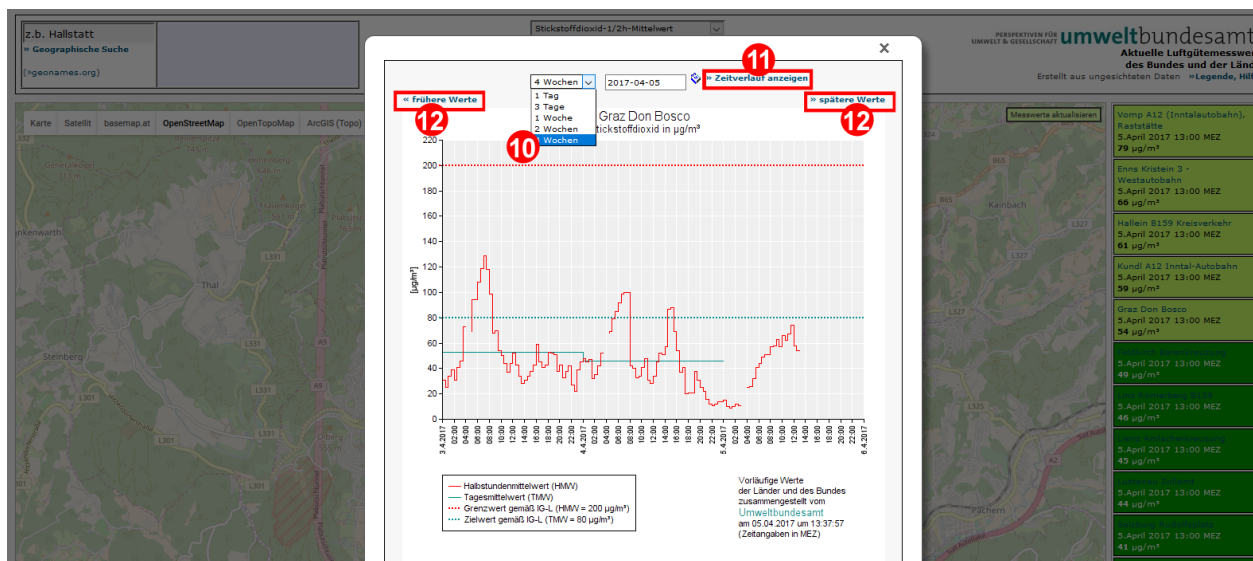
Schritt 3:

Als nächste Aufgabe wird ein Zeitverlauf der Messwerte an einer Station in den 4 Wochen vor dem gewählten Datum erstellt, um zu sehen, welchen Schwankungen die Messwerte an der Station unterliegen.



Dazu zoomt man zuerst zu der gewählten Station in der Karte, damit man das Symbol der Messstation anklicken kann. Es öffnet sich ein neues Fenster (8) mit Name der Station, Seehöhe, Messwert und Stationsfoto. In diesem Fenster klickt man auf „Zeitverlauf anzeigen“ (9) und erhält so den Messwertverlauf der letzten 3 Tage. Im Dropdown-Menü (10) kann man die Zeitspanne „4 Wochen“ wählen und klickt dann auf „Zeitverlauf anzeigen“ (11). Der Verlauf der NO_2 -Werte über 4 Wochen wird nun angezeigt. Frage 6 im Arbeitsblatt zielt auf die nun sichtbaren Schwankungen der Werte ab.

Auch „frühere Werte“ und „spätere Werte“ (12) können noch angesehen werden, um zu prüfen, ob der Grenzwert für das Halbstundenmittel (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) irgendwann überschritten wurde (Frage 7).



In der Regel treten solche Überschreitungen aber nicht mehr auf. Überschreitungen von NO_2 -Grenzwerten findet man jedoch bei Jahresmittelwerten an sehr verkehrsnahen Stationen.

Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich

Trage den Namen der Messstation ein, der der Schule am nächsten liegt. Diese Station ist in Folge für dieses Arbeitsblatt relevant. _____

Folge den Schritten in der Anleitung „Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich“ und beantworte folgende Fragen:

- 1.) Welche Farbe hat die gewählte Messstation beim aktuellen Halbstundenmittelwert für Stickstoffdioxid?

- 2.) Was bedeutet diese Farbe?

- 3.) Wie beurteilst du den aktuellen Messwert dieser Station im Vergleich mit anderen Werten in Österreich? Ist er eher hoch, eher niedrig, im Durchschnitt ...?

- 4.) Woran könnte es liegen, wenn sich der Messwert im Vergleich zu anderen Messstationen deutlich abhebt (deutlich niedriger oder höher)?

- 5.) Sind die Messwerte in der warmen oder in der kalten Jahreszeit höher und woran könnte das liegen?

- 6.) Wie kann man sich die Schwankungen der Messwerte im Verlauf von vier Wochen erklären? Welche Gründe könnten dafür verantwortlich sein?

- 7.) Wurde der Grenzwert für das Halbstundenmittel im Lauf der betrachteten Zeit an dieser Station einmal überschritten?

Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich

Trage den Namen der Messstation ein, der der Schule am nächsten liegt. Diese Station ist in Folge für dieses Arbeitsblatt relevant. _____

Folge den Schritten in der Anleitung „Stickstoffdioxid im österreichischen Vergleich“ und beantworte folgende Fragen:

- 1.) Welche Farbe hat die gewählte Messstation beim aktuellen Halbstundenmittelwert für Stickstoffdioxid?
zB hellgrün
- 2.) Was bedeutet diese Farbe?
Laut Legende bedeutet das beim Stickstoffdioxid Halbstundenmittelwert „ ≥ 50 , ≤ 100 “, also dass der aktuelle Messwert zwischen 50 und 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt. Der Grenzwert liegt bei 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 3.) Wie beurteilst du den aktuellen Messwert dieser Station im Vergleich mit anderen Werten in Österreich? Ist er eher hoch, eher niedrig, im Durchschnitt ...?
Haben die meisten anderen Stationen dieselbe Farbe, liegt die eigene im Durchschnitt. Ansonsten liegt ein deutlicher Unterschied nach oben oder unten vor.
- 4.) Woran könnte es liegen, wenn sich der Messwert im Vergleich zu anderen Messstationen deutlich abhebt (deutlich niedriger oder höher)?
Es kann an der Lage der Station liegen - höhere Werte im städtischen Bereich, niedrigere bei verkehrsfernen Messstationen. Es kann auch am Wetter liegen. Regnet es gerade oder weht Wind? Dann können die Werte niedrig sein. Herrscht störungsfreies, kaltes Winterwetter? Dann könnten die Werte höher sein (Stichwort „Inversionswetterlage“).
- 5.) Sind die Messwerte in der warmen oder in der kalten Jahreszeit höher und woran könnte das liegen?
In der Regel sind die Werte in der kalten Jahreszeit höher, da hier oft Inversionswetterlagen herrschen. Kalte, dichtere (schwerere) Luft bleibt in Tallagen „liegen“, wodurch Luftschadstoffe nicht abtransportiert werden können und sich immer stärker konzentrieren.
- 6.) Wie kann man sich die Schwankungen der Messwerte im Verlauf von vier Wochen erklären? Welche Gründe könnten dafür verantwortlich sein?
Schwankungen im Lauf eines Tages sind meist durch Verkehrsspitzen erklärbar (Stoßzeiten). Schwankungen im Lauf von Tagen meist durch Wetteränderungen (Wind, Niederschläge), die die Konzentration von Luftschadstoffen beeinflussen. Auch an Wochenenden sind die Werte zumeist niedriger.
- 7.) Wurde der Grenzwert für das Halbstundenmittel im Lauf der betrachteten Zeit an dieser Station einmal überschritten?
In der Regel geschieht dies nicht mehr. Belastungsspitzen können aber oft nahe an den Grenzwert herankommen. Grenzwertüberschreitungen findet man aber beim Jahresmittel von verkehrsnahen Stationen (siehe Sachinformation, Abb. 6), weshalb jedenfalls Handlungsbedarf besteht.

Stickstoffoxide in Autoabgasen

Versuch



Schulstufe: ab 9. / Dauer: 30 Minuten / Ort: Schulhof/Parkplatz und Klasse

Aufgabe:

Nachweis von Stickstoffoxiden in Autoabgasen (ohne Laboreinrichtung)

Ziele:

- Kennen lernen einer einfachen Nachweis-Methode
- Erkennen, dass Autoabgase die Luftschadstoffe „Stickstoffoxide“ enthalten

Material:

- Nitrit-Test aus der Zoofachhandlung (Farbumschlagtest)
- zwei 10-Liter-Müllbeutel
- zwei starke Gummibänder (Rex-Gummis)
- Wasser
- Auto (zB LehrerInnen-PKW am Parkplatz)

Anmerkung:

Nitrit ist das Salz der Salpetrigen Säure (HNO_2) und hat die Formel NO_2^- (also mit hochgestelltem Minus).

Wenn man in der Zoofachhandlung einen Nitrit-Test (Bild 1) kauft, steht dort aber zumeist „ NO_2 -Test“ auf der Packung, was ja eigentlich Stickstoffdioxid ist. Das sind Ungenauigkeiten, die sich in der Aquaristik eingebürgert haben. Dieser NO_2 -Test für Wasser testet also nicht Stickstoffdioxid, sondern Nitrit im Wasser. Trotzdem kann man mit solchen Tests über einen Umweg nachweisen, dass Stickstoffoxide in Autoabgasen vorkommen. Man macht sich dabei die Eigenschaft von Stickstoffoxiden zunutze, dass sie (v. a. Stickstoffdioxid) wasserlöslich sind, wenn auch nur gering bis mäßig. Dadurch können sie mit Wasser zu Salpetriger Säure reagieren, dessen Salz (Nitrit) man dann nachweisen kann. Und das geht so:



Bild 1

Ablauf:

Schritt 1: Einer der beiden Beutel wird mit „Abgase“ beschriftet (Bild 2).



Bild 2

Schritt 2: Am Parkplatz oder am Schulhof wird ein PKW eines/r LehrerIn als Testobjekt benötigt. Da Diesel-PKW mehr Stickstoffoxide ausstoßen, sind diese besser geeignet. Die Lehrperson ist für die Sicherheit zuständig.

Schritt 3: Mit Gummiband wird der beschriftete Müllbeutel über den Auspuff gezogen und so fixiert (Bild 3). Der Auspuff darf noch nicht heiß sein! Kein Gang darf eingelegt sein!



Bild 3

Schritt 4: Der Motor wird gestartet und wenige Sekunden laufen gelassen. Der mit Abgasen gefüllte Beutel (Bild 4) wird so entfernt, dass die Abgase nicht entweichen und wird sofort mit einem Gummiband luftdicht verschlossen.

Schritt 5: Der zweite Beutel wird mit reiner Luft gefüllt und ebenso mit einem Gummiband verschlossen (Bild 5).

Schritt 6: Zurück in der Klasse wird vom Wasserhahn etwas Wasser (je ca. 1/4 Liter) in die beiden Beutel geleitet. Dazu wird das Gummiband jeweils so über den Wasserhahn gestülpt, dass Luft bzw. Abgase nicht entweichen (Bild 6). Danach werden die Beutel gleich wieder gut verschlossen.

Schritt 7: Nun werden beide Beutel ca. 2 Minuten geschüttelt, damit Luft und Wasser sich gut durchmischen können. Dadurch können sich Stickstoffoxide im Wasser lösen. Das muss so vorsichtig geschehen, dass die Beutelhülle nicht reißt.

Schritt 8: Je nach NO_2 -Test muss man nun die Wasseruntersuchung durchführen. Beim hier verwendeten Test handelt es sich um den NO_2 -Test („Nitrit-Test Filterkontrolle“) der Firma JBL, der in Zoofachhandlungen und im Internet-Versandhandel erhältlich ist. Für diesen Versuch muss man nun (nicht nach der dem Test beiliegenden Anleitung) folgendermaßen vorgehen:

- In der Packung gibt es zwei Test-Küvetten. Mit der beiliegenden Spritze werden nun je 5 ml der beiden Wasserproben aus den Beuteln entnommen. Die Luft und die Abgase dürfen nun entweichen. Zuerst entnimmt man das Wasser aus dem „Luft-Beutel“ und spritzt 5 ml in eine Küvette, dann entnimmt man 5 ml aus dem „Abgase-Beutel“ und spritzt sie vorsichtig in die zweite Küvette, die man auch vorher mit „Abgase“ markiert haben sollte (Bild 7).
- Weiters befinden sich zwei Testreagenzien in der Packung. Auch wenn diese frei im Zoofachhandel erhältlich sind, müssen die Gefahrenhinweise auf der Verpackung beachtet werden (Verätzungsgefahr und Entzündlichkeit)!
- In beide Küvetten werden je 5 Tropfen von Reagenz 1 getropft - die Proben färben sich gelb. Danach werden in beide Küvetten je 5 Tropfen von Reagenz 2 getropft. Nach jedem Tropfen muss die Küvette leicht geschwenkt werden. Die unbelastete Probe sollte gelb bleiben, die belastete sollte sich rosa färben (Bild 8).

Dieser Farbumschlag ist ein Hinweis für Nitrit im Wasser. Da in Küvette 1 (Luft) kein Farbumschlag erfolgte, obwohl diese Probe genau gleich behandelt wurde, kann die Quelle für das Nitrit in Küvette 2 nur in den Abgasen und damit in den dortigen Stickstoffoxiden liegen, die sich im Wasser gelöst haben. Mit diesem einfachen Versuch, der auch ohne Laborausrüstung und Chemiesaal umsetzbar ist, kann man zwar nicht die Menge der Stickstoffoxide in den Abgasen quantifizieren, sehr wohl aber deren Vorhandensein beweisen. Mit der dem Test beiliegenden Farbskala kann man außerdem die Menge an Nitrit im Wasser feststellen.



Bild 4



Bild 5



Bild 6



Bild 7

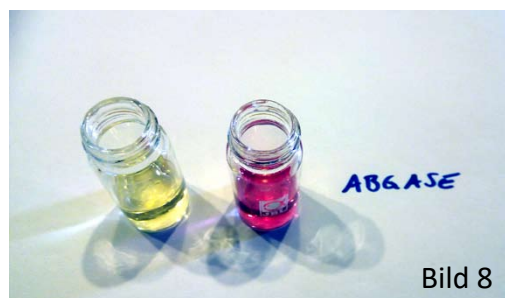


Bild 8