

Stickstoffdioxidmessungen in der Stadt Baden

Roger Deuber | Kantonsschule Baden | In Zusammenarbeit mit der Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Im Rahmen des Schwerpunktunterrichts Biologie und Chemie führten wir – Schülerinnen und Schüler der Kanti Baden – Luftschadstoffmessungen in Baden durch. Dies vor allem mit dem Ziel, die neu gemessenen Werte mit früheren Messwerten zu vergleichen. Wir konnten dabei aufzeigen, dass sich die Situation bezüglich der Stickstoffdioxidkonzentration verbessert hat.

Das Messen der Stickstoffdioxidkonzentration (NO_2) in der Stadt Baden durch Schülerinnen und Schüler des Schwerpunktfaches Bio-Chemie hat bereits jahrelange Tradition. Wegen der Coronapandemie konnte dieses Projekt im Jahr 2020 bedauerlicherweise nicht durchgeführt werden. 2016 wurde der Schulhausplatz der Stadt Baden umgebaut, um den Verkehr flüssiger zu gestalten und damit auch die Luftschadstoffbelastung zu verbessern. Um dies zu überprüfen, haben wir unsere Messwerte vom Sommer 2022 mit den Werten aus den Jahren 2014, 2016 und 2018 verglichen. Unsere Fragestellung lautete: Hat sich die NO_2 -Konzentration der Luft seit dem Umbau des Schulhausplatzes wirklich verbessert oder hat der Umbau die Luftsituation gar verschlechtert?

Entstehung der Luftschadstoffe und ihre Grenzwerte

Ozon, Kohlenmonoxid, Stickoxide, Feinstaub: Immer wieder hört man von diesen Schadstoffen. Aber wie gefährlich sind sie wirklich und wie gelangen sie in unsere Atemluft?

Der wohl meistbekannte Schadstoff ist **Ozon** (O_3). Einerseits gibt es die Ozonschicht in der Stratosphäre, die uns vor UV-Strahlung schützt, und andererseits das bodennahe Ozon, das aufgrund seiner hohen Reaktivität den Menschen und die Umwelt schädigt. In unserem Projekt interessieren wir uns für das bodennahe Ozon. Damit Ozon entstehen kann, müssen drei Faktoren vorhanden sein: Stickstoffmonoxid (NO), organische Lösungsmittel (VOC) und UV-Strahlung (Sonnenstrahlung). Somit kommen hohe O_3 -Konzentrationen typischerweise an

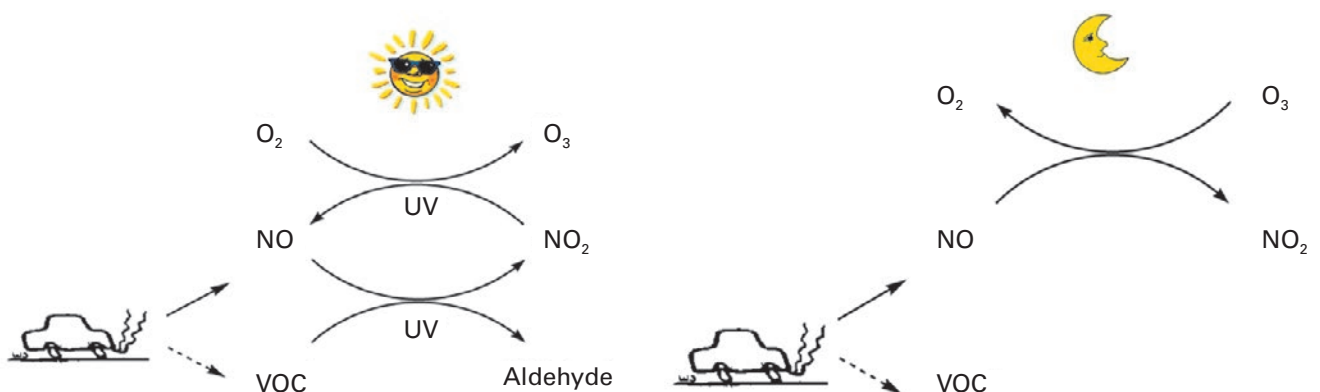
sonnigen Sommernachmittagen vor. Der Grenzwert von Ozon liegt bei 120 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft (Stundenmittelwert), dieser darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden.

Stickoxide (NO_x) entstehen durch die Reaktion von Stickstoff und Sauerstoff, zum Beispiel in Motoren von Fahrzeugen. Je höher dabei die Temperatur ist, desto mehr Stickstoffmonoxid (NO) entsteht. Genau wie Ozon ist NO ein sehr reaktives Molekül und kann unsere Schleimhäute reizen.

Die Grenzwerte von Stickstoffdioxid (NO_2) liegen beim Jahresmittelwert bei 30 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft und beim 24-h-Mittelwert bei 80 Mikrogramm pro Kubikmeter. Dieser darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden. NO_2 ist einerseits eine Vorläufersubstanz für die Bildung von Ozon, andererseits aber auch selber als Reizgas toxisch.

Kohlenmonoxid (CO) ist ein geruchs- und farbloses Gas, das bei einer unvollständigen Verbrennung entsteht. Atmet man zu viel CO ein, bindet sich dieses an unsere roten Blutkörperchen und vermindert somit die Sauer-

Luft
Lärm



Schadstoffe im Verlauf des Tages: Stickstoffmonoxid (NO) aus Verbrennungsmotoren reagiert mit den sogenannten flüchtigen organischen Stoffen (VOC) und unter Einfluss des Sonnenlichts am Tag zu Stickstoffdioxid (NO_2). Dieses führt an schönen Sommertagen in einem zyklischen Prozess schnell zu sehr hohen Ozonkonzentrationen (O_3). In der Nacht wird Ozon in verkehrsreichen Gebieten mit verkehrsbedingtem Stickstoffmonoxid infolge fehlender UV-Strahlung zu Stickstoffdioxid umgewandelt, das am nächsten Tag aber wieder zur Bildung von Ozon führt.

stoffaufnahme, was im schlimmsten Fall zur Erstickung führt. Der 24-h-Mittelwert von Kohlenmonoxid liegt bei 8 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft und darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden.

Als **Feinstaub** bezeichnet man kleine Partikel (PM10 kleiner 10 Mikrometer, PM2.5 kleiner 2,5 Mikrometer). Vor allem die kleinen PM2.5-Partikel können bis tief in die Lunge eindringen, sich ablagern und dort Entzündungen oder auch Krebs verursachen. Sie entstehen hauptsächlich durch den Verkehr: Verbrennungsprozesse, Aufwirbelung von Stäuben von Strassenbelag, Bremsen- und Reifenabrieb, aber auch in der Landwirtschaft. Die Grenzwerte der Jahresmittelwerte liegen bei 20 Mikrogramm pro Kubikmeter für PM10 und 10 Mikrogramm pro Kubikmeter für PM2.5.

Untersuchungsstandorte

Insgesamt wurde im Rahmen des Projekts an 35 verschiedenen Standorten die Konzentration von Stickstoffdioxid (NO₂) in der Luft gemessen. Die einzelnen Messorte sind strategisch in ganz Baden verteilt. Ein Vergleich der Situation zwischen dem Schulhausplatz und der Peripherie von Baden sollte zeigen, ob sich der Umbau des Schulhausplatzes, der vor vier Jahren abgeschlossen wurde, positiv oder negativ auf die Luftschadstoffkonzentration in der Stadt Baden ausgewirkt hat. Zusätzlich wurden zur Kontrolle auch Messungen an der kantonalen Messstation an der Kantontschule Baden durchgeführt.



An 35 Standorten wurde in der Stadt Baden mittels Passivsammler die NO₂-Konzentration gemessen. (µg/m³: Mikrogramm pro Kubikmeter)

- NO₂-Konzentrationen > 30 µg/m³
- NO₂-Konzentrationen > 20 µg/m³
- NO₂-Konzentrationen > 10 µg/m³
- NO₂-Konzentrationen < 10 µg/m³

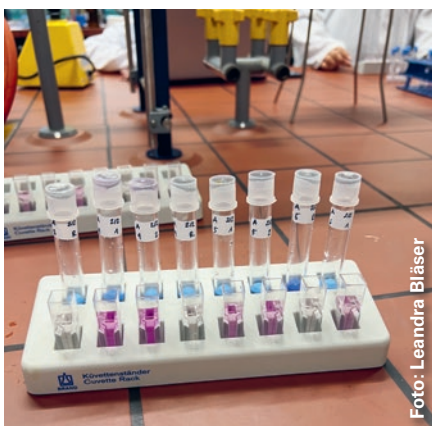
Vorgehen

Um das Stickstoffdioxid in der Luft zu messen, wurden sogenannte Passivsammler benutzt, die im Labor der Schule hergestellt wurden. Die Passivsammler binden das NO₂, das zu einem späteren Zeitpunkt im Labor spektroskopisch bestimmt werden kann. An 35 verschiedenen Standorten platzierten wir Messglocken mit je drei Passivsammlern. Einer davon diente als Referenz des Standorts und blieb über die ganze Messperiode verschlossen. Insgesamt führten wir zwei Messperioden durch: vom 9. bis am 23. August 2022 und vom 23. August bis am 6. September 2022. Die Messglocken mit den Passivsammlern wurden nach Abschluss der Messperiode wieder eingesammelt und die NO₂-Konzentrationen konnten im Labor bestimmt werden. Dafür wurden die Passivsammler mit einer Lösung gefüllt, die mit dem NO₂ zu einem Farbstoff re-

agiert. Das Auswerten geschah durch ein UV/VIS-Spektrometer, das die Intensität des Farbstoffes misst. Als Qualitätskontrolle hatten wir auf dem Areal der Kanti Baden an der Schönaustrasse bei der kantonalen Messstation ebenfalls Messglocken als Referenz platziert. Um unsere Daten mit den anderen Jahren vergleichen zu können, mussten wir die Wetterverhältnisse und den Verkehr in der Interpretation berücksichtigen.

Ergebnisse

Wir haben unsere Ergebnisse mit den Referenzwerten und den kantonalen Werten verglichen. Im Vergleich mit den kantonalen Messwerten an der Messstation Schönaustrasse liegen unsere Messwerte innerhalb der verfahrensbedingten Fehlergrenzen, können also als zuverlässig angesehen werden.



Die Passivsammler-Messröhrchen wurden im Labor ausgewertet.

Es gibt einige wichtige Einflussfaktoren, die wir beachten mussten, um unsere Messwerte richtig zu interpretieren. Zum einen waren die Werte tendenziell höher, wenn Bushaltestellen und Busstrecken involviert waren. Das liegt daran, dass die meisten Busse der Stadt Baden immer noch Dieselmotoren besitzen. Und diese stossen besonders viel NO_2 aus. Es gibt zwar drei Buslinien, die Hybrid- oder Elektrobusse besitzen, aber ihre Anzahl ist vernachlässigbar klein. Ein zweiter Einflussfaktor sind Grünflächen. Pflanzen können Stickstoffdioxid an ihrer Blattoberfläche binden und verringern so die Konzentration in der Luft. Allerdings haben die Grünflächen keinen grossen Einfluss auf unsere Messwerte, da Pflanzen eine zu kleine Kapazität haben, grössere Mengen NO_2 zu binden. Ein dritter Faktor ist das Wetter. So entsteht bei Sonnenschein und warmen Temperaturen mehr Stickstoffdioxid, bei Wind wird es stärker verdünnt und bei Regen ausgewaschen. Während den zwei Messperioden war das Wetter meist schön und es gab viele Sonnenstunden.

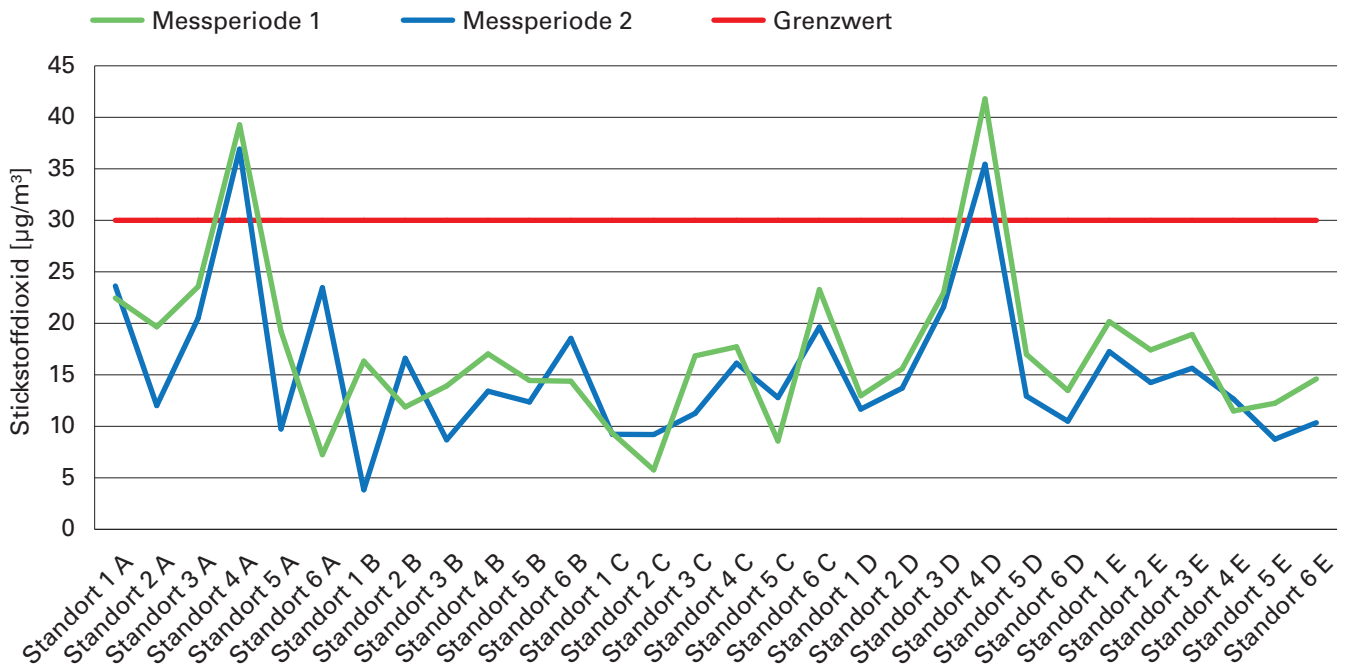
Vergleich der beiden Messperioden

Beim Vergleich der beiden Messperioden fällt allgemein auf, dass die Werte der zweiten Messperiode ein klein wenig höher sind als jene der ersten. Wir haben unsere Daten mit den Wetterdaten verglichen. Das Wetter war in beiden Messperioden ähnlich. In der zweiten Messperiode gab es etwas mehr Niederschlag und etwas weniger Sonnenscheinminuten, was eigentlich zu einer geringeren NO_2 -Konzentration hätte führen müssen. Während beiden Messperioden war es ziemlich windstill und es gab folglich nur wenig Verfrachtung. Eine mögliche Erklärung der Unterschiede haben wir beim Verkehr gefunden: In der ersten Messperiode hatten fünf von sechs an den Aargau angrenzende Kantone noch Ferien, der Arbeitsverkehr war somit vermutlich deutlich reduziert. So dürfte sich die Zunahme des Arbeitsverkehrs in den höheren Werten der zweiten Messperiode widerspiegeln. Im direkten Vergleich der aktuellen Messwerte mit denjenigen der Jahre 2018 und 2014 sieht man einen klaren Rückgang der NO_2 -Konzentration bei

fast allen Standorten, an denen gemessen wurde. Während es 2014 sowie 2018 Standorte gab, an denen der Mittelwert der vierwöchigen Messperiode den Jahresgrenzwert von 30 Mikrogramm pro Kubikmeter deutlich überschritt, kam es 2022 zu keinerlei Überschreitungen dieses Grenzwertes. Auch die Menge an Standorten, die eine NO_2 -Konzentration von unter 20 Mikrogramm pro Kubikmeter aufweisen, hat über die letzten Jahre deutlich zugenommen. 2022 gab es doppelt so viele Standorte mit einer Konzentration von unter 20 Mikrogramm pro Kubikmeter als noch 2014.

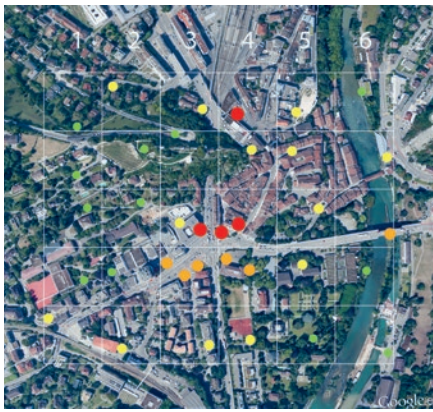
Es gibt vermutlich mehrere Ursachen, die an dieser Abnahme beteiligt sein dürften. Faktoren wie Wetter, Verkehr oder Grünflächen, die die NO_2 -Konzentration beeinflussen, sind im Vergleich der drei Jahre sehr ähnlich und spielen deshalb nur eine untergeordnete Rolle. Besonders die Wetterlage wurde genau untersucht und anhand von Niederschlagsmenge, Temperatur, Sonneneinstrahlung sowie Windstärke und -richtung mit den vorherigen Jahren verglichen.

Messperioden 1 und 2 im Vergleich (2022)



Mit Abschluss der Ferien in den an den Aargau angrenzenden Kantonen nahm auch der Arbeitsverkehr wieder zu. Dies widerspiegeln die Stickstoffdioxid-Werte in der zweiten Messperiode. Sie fallen höher aus als in der ersten Messperiode (Messperiode 1 vom 9. bis 23. August 2022; Messperiode 2 vom 23. August bis 6. September 2022).

Vergleich 2014/2018/2022



2014



2018



2022

Der Vergleich mit den Messwerten von 2014 und 2018 zeigt, dass die NO_2 -Konzentration abgenommen hat. Der Umbau des Schulhausplatzes ist dabei ein wichtiger Faktor. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$: Mikrogramm pro Kubikmeter)

- NO_2 -Konzentrationen $> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- NO_2 -Konzentrationen $> 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- NO_2 -Konzentrationen $> 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- NO_2 -Konzentrationen $> 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- NO_2 -Konzentrationen $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Sicher hat hingegen der Umbau des Schulhausplatzes zur beabsichtigten Verflüssigung des Verkehrs geführt, was die NO_2 -Emission durch stehende Fahrzeuge vermindert und damit auch die Immissionen in unmittelbarer Nähe des Schulhausplatzes reduziert haben dürfte. Gleichzeitig hat aber auch wider Erwarten das Verkehrsaufkommen insgesamt recht deutlich abgenommen – eine Verflüssigung des Verkehrs lässt ja im Gegenteil eher erwarten, dass dadurch mehr Verkehr angelockt wird. Als Ursache der Verkehrsminderung lässt sich vermehrtes Homeoffice oder vermehrtes Umsteigen auf den öffentlichen Verkehr vermuten. Wir gehen deshalb davon aus, dass diese Verkehrsabnahme ein Hauptfaktor für den Rückgang der NO_2 -Konzentration sein könnte. Es gibt aber auch noch andere Faktoren. So wurden die Abgasnormen 2017 verschärft, was vor allem bei Dieselfahrzeugen zu geringeren NO_2 -Emissionen führte, und der Anteil an Elektro- oder Hybrid-Fahrzeugen hat in dieser Zeit auch zugenommen. Um zu beurteilen, wie diese Faktoren gewichtet werden müssen, fehlen uns allerdings die Daten.

Mit den von uns vorgenommenen Messungen konnten wir zeigen, dass sich die Situation bezüglich der Stickstoffdioxidkonzentration verbessert hat.

Die Messwerte waren durchschnittlich deutlich tiefer als in den vorherigen Jahren, wodurch sich vermuten lässt, dass der Umbau des Schulhausplatzes einen positiven Einfluss auf die Schadstoffbelastung der Luft in der Stadt Baden hat.

Cordulapassage

Da im Kanti-Baden-Messprojekt von 2018 bei einem Passivsammler in der Nähe der Cordulapassage beim Schulhausplatz beunruhigend hohe NO_2 -Konzentrationen gemessen wurden, hat eine Gruppe in einem Nebenprojekt innerhalb der Passage dank der Grosszügigkeit der Abteilung für Umwelt mit Hilfe einer neuen Sensortechnik die Luftschadstoffe NO , NO_2 , O_3 , CO und Feinstaub ($\text{PM}_{2.5}$ und PM_{10}) gemessen. In der Passage gibt es viele Passantinnen und Passanten und Personen, die dort arbeiten.

Unsere Messwerte ergaben für keinen Luftschadstoff eine Überschreitung der entsprechenden Grenzwerte. Allerdings wurden für NO_2 im Bereich von Stunden und für $\text{PM}_{2.5}$ im Bereich von Minuten kurzfristig Grenzwerte überschritten, die allerdings als Mittelwerte über längere Zeiträume gelten. Man kann also trotzdem davon ausgehen, dass gemäss bestehender Gesetzgebung in der Cordulapassage

auch bei längerem Aufenthalt keine gesundheitliche Gefahr bestehen sollte. Allerdings empfiehlt die WHO seit diesem Jahr deutlich tiefere Grenzwerte für NO_2 und Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$, sodass diese auch in der Schweiz zukünftig erniedrigt werden dürften. Mit den von der WHO neu empfohlenen Grenzwerten (10 statt 30 Mikrogramm pro Kubikmeter für den Jahresgrenzwert für NO_2 und 5 statt 10 Mikrogramm pro Kubikmeter für Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$) hätten sehr viele der von uns gemessenen NO_2 - und $\text{PM}_{2.5}$ -Konzentrationen die entsprechenden Grenzwerte überschritten. Das Thema Luftschadstoffe bleibt also aktuell.

Diesen Artikel haben folgende Autorinnen und Autoren verfasst: Gianni Baumgartner, Beatrice Bertrand, Leandra Blaser, Isabel Hochuli (Schülerinnen und Schüler der Kanti Baden), Roger Deuber (Chemielehrer an der Kanti Baden). Der Artikel entstand in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Umwelt und dem Kompetenzzentrum Klima und Umwelt der Stadt Baden.