

# Luftschadstoffmessungen der Kantonsschule Baden

Markus Schenk | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

**Im Rahmen des Schwerpunktfachunterrichtes Chemie haben sich Schülerinnen und Schüler der Kantonsschule Baden bereits zum dritten Mal mit der Messung von Luftschadstoffkonzentrationen beschäftigt. Vom 26. August bis 19. September 2008 wurden Stickstoffdioxid- und Ozonkonzentrationen an verschiedenen Standorten rund um die Kantonsschule und die Kreuzung am Schulhausplatz in Baden gemessen. Danach wurden die Resultate ausgewertet und interpretiert.**

Am Anfang der Untersuchung standen folgende Fragen: Welche Faktoren spielen für die Stickstoffdioxid- und Ozonkonzentration eine wesentliche Rolle? Wie repräsentativ sind die Werte der kantonalen Messstelle? Können die Resultate, die aus den Messungen im Jahr 2004 und 2006 hervorgingen, bestätigt werden? Wie hoch sind die Konzentrationen von Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) und von Ozon ( $\text{O}_3$ ) und wie lassen sich diese erklären?

Die Untersuchung erfolgte in Zusammenarbeit mit Markus Schenk von der Abteilung für Umwelt und Corinne Schmidlin vom Büro für Stadtökologie. Diese Fachleute sorgten für eine professionelle Unterstützung.

## Vielfältige Herausforderung

Abgesehen von der inhaltlichen Herausforderung, die eine solche Untersuchung mit sich bringt, trug der weitgehend selbst zu gestaltende Ablauf der Projektarbeit dazu bei, verschiedene Kompetenzen zu schulen. Dazu gehören Kommunikations- und Organisationsfähigkeit als die beiden Pfeiler der Teamarbeit sowie die persönliche Verantwortung für die durchgeführten Aktionen. Die Projektarbeit wurde von einem wissenschaftlichen Bericht und einem zur Arbeit geführten Logbuch abgerundet. Ausserdem präsentierten die Gymnasiastinnen und Gymnasiasten ihre Ergebnisse dem Büro für Stadtökologie Baden und der Abteilung für Umwelt in Aarau.

## Untersuchungsstandorte

Die Standorte für die  $\text{NO}_2$ -Messungen befanden sich in acht ausgewählten Zonen, die sich in verschiedener Hinsicht wie Verkehrsaufkommen, Grünflächenanteil usw. voneinander unterscheiden. Fünf der acht Teams führten Messungen sternförmig um die Kantonsschule herum durch, und zwar entlang der Zentralstrasse und der Schönaustrasse, in der Aue, nördlich des Terrassenschwimmbads sowie auf dem Gelände der Kantonsschule selbst. Am kantonalen InLuft-Messstandort bei der Kantonsschule Baden wurden von allen diesen

Teams ebenfalls Messungen vorgenommen, um die kantonalen Messungen zu überprüfen. Drei Teams beschäftigten sich mit Messungen rund um die Kreuzung Schulhausplatz – unterteilt in einen äusseren und einen inneren Kreis – sowie im Tunnel, der zur Bruggerstrasse führt. An der Schulhausplatz-Kreuzung wurden bereits 2006 Messungen durchgeführt. Damals wie heute lag der «innere Kreis» unmittelbar an der Kreuzung und der «äussere Kreis» rund 100 Meter davon entfernt.

Ein weiteres Team war damit beauftragt, die Ozonwerte an zwei definierten Punkten zu messen. Der eine befand sich an der Schönaustrasse auf Höhe der Kantonsschule (entspricht dem kantonalen Messstandort) und der andere an der Ostflanke des Terrassenschwimmbads.

## Die Entstehung von Stickstoffdioxid und Ozon

Die Verbrennungsvorgänge, die in Automotoren stattfinden, führen zur Bildung von Stickoxiden ( $\text{NO}$ ). Sind in der Luft gleichzeitig flüchtige orga-



Messglocke mit Passivsammlerröhrchen

Luft  
Lärm

Foto: Nadja Imhof

nische Stoffe (VOC, volatile organic compounds) vorhanden, die zusammen mit den Stickoxiden dem UV-Licht der Sonne ausgesetzt sind, entsteht Stickstoffdioxid. Das Zusammentreffen von  $\text{NO}_2$  mit UV-Strahlung wiederum führt zur Bildung von  $\text{O}_3$ . All diese Vorgänge finden tagsüber statt. In der Nacht (keine UV-Strahlung) jedoch entsteht  $\text{NO}_2$ , wenn Ozon beim Vorhandensein von  $\text{NO}$  abgebaut wird. Dieser Vorgang findet vorwiegend in Gebieten statt, in denen auch in der Nacht reger Verkehr herrscht. Obwohl dadurch die Ozonkonzentration gesenkt wird, ist der Verkehr kein Mittel gegen Ozon. Wenn Ozon abgebaut wird, ist wieder mehr  $\text{NO}_2$  in der Luft vorhanden, welches am nächsten Tag wiederum zur Ozonbildung beiträgt. Die  $\text{NO}_2$ -Konzentration eignet sich als Indikator für die Luftschadstoffsituation, da sie im Gegensatz zur Ozonkonzentration nicht so stark schwankt und in verkehrsärmeren Zeiten (nachts) nicht plötzlich abfällt.

#### Messmethoden

Für die Stickstoffdioxidbestimmung kamen Messglocken mit so genannten Passivsammlern zum Einsatz, welche an geeigneten Standorten platziert wurden. Als Passivsammler dienten drei aufbereitete Röhrchen pro Messglocke, welche das in der Luft enthaltene  $\text{NO}_2$  adsorbierten. Wie bei Passivsammlermessungen üblich er-

folgte die Bestimmung der  $\text{NO}_2$ -Konzentration spektroskopisch. Die Passivsammlerglocken wurden jeweils für eine Woche aufgestellt. Es wurden insgesamt drei Messperioden durchgeführt.

Bei den Ozonmessungen wurden Online-Messgeräte eingesetzt, welche die Daten jeweils in Echtzeit an einen Computer lieferten. Dies führte zu exakten Werten für jeden einzelnen Messtag.

#### Methodische und meteorologische Einflüsse

Die durch die Gymnasiastinnen und Gymnasiasten gewonnenen Messwerte sind realistisch und aussagekräftig. Generell ist zu sagen, dass die im Rahmen dieser Untersuchung gefundenen  $\text{NO}_2$ -Werte alle leicht höher liegen als die offiziellen Zahlen. Dies liegt daran, dass die kantonalen Werte anhand von täglichen Online-Messungen ermittelt wurden, wohingegen die Passivsammler nur alle zwei Wochen ausgewechselt wurden. Erfahrungsgemäss liefert die Passivsammlermethode, so wie sie in dieser Untersuchung angewandt wurde, höhere Werte in der Grössenordnung von zwei bis drei Mikrogramm pro Kubikmeter.

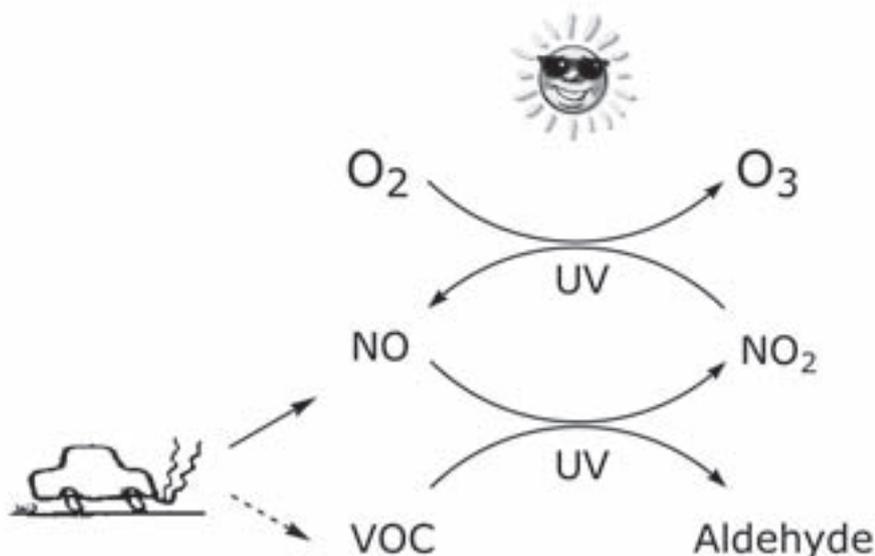
Auswirkungen des Wetters auf die Bildung von Stickstoffdioxid und Ozon lassen sich aus den gewonnenen Ergebnissen ebenfalls herauslesen. Während der ersten Messperiode regnete

es oft, es war kühl, die Sonne schien nur selten. Der Regen wusch das  $\text{NO}_2$  aus der Luft und es war nur wenig Sonne für die Umwandlung von Stickoxid zu Stickstoffdioxid vorhanden. Als Folge davon sind die Messwerte der ersten Messperiode gesamthaft am tiefsten. Die zweite Messperiode war durch wenig Regen, ähnliche Temperaturen wie in der Vorwoche und wenig Sonne gekennzeichnet. Die Werte liegen leicht über denjenigen der ersten Messperiode. Die dritte Messperiode liefert die höchsten Werte, da die Temperatur deutlich über derjenigen der vorhergehenden Wochen lag, die Sonne mehr schien und es nur wenig regnete. Der Wind spielte nur eine untergeordnete Rolle, da die Richtung immer etwa gleich blieb und er nur schwach wehte. Im Hinblick auf die Ozongehalte ist die wichtigste Einflussgrösse das einfallende Sonnenlicht. An sonnigen Tagen ist der Ozongehalt naturgemäss höher.

#### Einzelne $\text{NO}_2$ -Messorte und deren Ergebnisse

Aus dem sternförmigen Untersuchungsgebiet Kantonsschule-Schönaustrasse-Zentralstrasse-Badeanstalt-Aue können vor allem zwei Erkenntnisse gewonnen werden: Einerseits stimmen die von den Schülerinnen und Schülern gemessenen Werte mit denen des InLuft-Wagens am kantonalen Standort sehr gut überein. Der kantonale Standort stellt die Umgebung relativ gut dar und ist deshalb sinnvoll gewählt. Andererseits zeigte sich, dass die Stickstoffdioxidkonzentrationen sinken, wenn die Entfernung zu stark befahrenen Strassen zunimmt. In direkter Nähe zu hoch frequentierten Strassen, wie der Landstrasse oder Teilen der Schönaustrasse, steigen die Werte hingegen deutlich an. Dies entspricht auch den Ergebnissen von 2004 und 2006. Um das  $\text{NO}_2$ -Profil einer Umgebung genau zu erfassen – vor allem in Gegenden, in denen die Abweichungen zwischen Strassennähe und -ferne noch grösser sind –, wäre es deshalb sinnvoll, Messsonden an verschiedenen Orten zu platzieren. Auch Grünflächen haben Einfluss: Die Messwerte in der Nähe einer grösseren Grün-

#### Schematische Darstellung der Entstehung von Stickstoffdioxid und Ozon aus verkehrsbedingtem Stickoxid



fläche sind deutlich tiefer als diejenigen in Strassennähe. Die Stickstoffdioxidwerte, welche sternförmig um die Kantonsschule ermittelt wurden, liegen bis auf einen einzigen unter dem Grenzwert für das Jahresmittel von 30 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft.

Die Messungen, welche kreisförmig um den Schulhausplatz getätigt wurden, liefern folgende Ergebnisse: Die Resultate des äusseren Kreises sind deutlich höher als diejenigen der sternförmigen Messreihe, doch sie liegen ebenfalls unter dem erwähnten Grenzwert. Ein anderes Bild zeigt sich im inneren Kreis. Dort wird der Grenzwert an allen Messstandorten deutlich überschritten. Wiederum zeigt sich die starke lokale Abhängigkeit der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Bereits hundert Meter vom inneren Kreis entfernt nimmt die Konzentration stark ab.

Bedenklich sind die Resultate aus den Tunnelmessungen. Sie liegen allesamt massiv über dem Grenzwert für das Jahresmittel von 30 Mikrogramm Stickstoffdioxid pro Kubikmeter Luft. Die Werte würden zwar um 10 bis 20 Prozent sinken, wenn so genannte Diffusionssperren verwendet worden wären, welche die Windverhältnisse im Tunnel neutralisieren. Der stärkere Wind im Tunnel verkürzt den Diffusionsweg, was zu höheren Werten führt. Sie lägen aber auch dann noch immer weit über dem Grenzwert. Die höchsten Werte wurden jeweils in der Mitte der Tunnellängsachse gemessen. Die Messunterschiede zwischen den beiden Tunnelseiten waren jedoch überraschend. Auf der einen Tunnelseite wurden Werte im

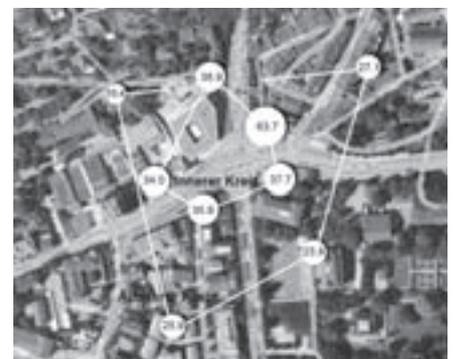
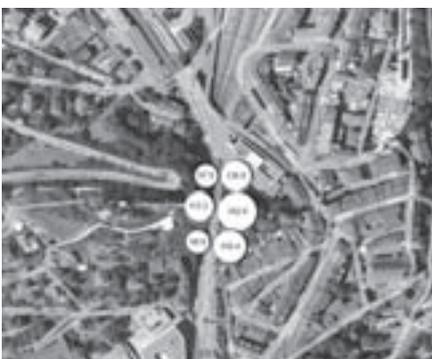
Durchschnitt von 170 Mikrogramm NO<sub>2</sub> pro Kubikmeter Luft gemessen, auf der anderen dagegen nur rund 90 Mikrogramm pro Kubikmeter. Diese Schwankungen sind zu gross, als dass sie als Messfehler interpretiert werden könnten. Ein Grund für den Unterschied könnte sein, dass die Strassenseite mit höheren Werten nach offiziellen Angaben auch stärker befahren wird. Auch die Tatsache, dass die Busse der Regionalen Verkehrsbetriebe vor allem auf der stärker befahrenen Seite verkehren, könnte einen Einfluss auf die Resultate haben. Hätte man schon beim Bau des Tunnels gewusst, dass auf der einen Seite fast doppelt so hohe NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu erwarten sind, hätte man den Gehsteig vielleicht nicht beidseitig gebaut.

### Ozonmessort und Ergebnisse

In der Badeanstalt Baden wurde die Ozonkonzentration gemessen. Es stellte sich die Frage, ob die Messungen an der Schönaustrasse auch auf ein breiteres Gebiet übertragbar sind oder ob bereits in einer kleinen Entfernung wie derjenigen zur Badeanstalt relevante Abweichungen auftreten. Durch einen Vergleich der zweiwöchigen Messungen konnte jedoch festgestellt werden, dass der Konzentrationsverlauf praktisch identisch ist und die Ozonmessungen der Schönaustrasse somit auch für ein breiteres Gebiet aussagekräftig sind. Die Ozonwerte schwanken jedoch stark. Dies liegt zum einen am Tag-Nacht-Verlauf. Tagsüber ist UV-Strahlung vorhanden und es kann Ozon entstehen. Weiter veranschaulicht dies die

Temperatur, die in den meisten Fällen mit dem Ozonwert steigt und sinkt. Zum anderen liegt es an der Witterung. Man sieht, dass der Ozongehalt an den ersten beiden Messstagen nicht so hoch war wie an den Folgestagen. Dies ist auf die leichte Bewölkung zurückzuführen. Bei Bewölkung treten grundsätzlich nicht so hohe Ozonwerte auf, da die Wolken einen Teil des UV-Lichts reflektieren. Es kann auch vorkommen, dass die Sonne immer mal wieder hervorschaat. So treten Schwankungen im Ozongehalt auf.

Zudem nahmen die Ozonwerte nicht wie üblich in der Nacht stark ab, sondern sie sanken nur minimal und es traten viele kleine Schwankungen auf. Grund dafür sind wahrscheinlich Westwindschübe, die nachts unregelmässig ozonreiche Luft vom Land in die Stadt brachten. Der Ozongehalt auf dem Land nimmt in der Nacht nur minimal ab. Dies liegt am kaum auftretenden Verkehr und somit am fehlenden Stickoxid, mit dessen Hilfe am Abend das Ozon abgebaut wird. Die kleinen Schwankungen jeweils kurz vor Tagesanbruch sind als so genannte Inversion zu erklären: In der Nacht kühlt sich die Erde schneller ab als die Luft. Dadurch kühlt die bodennahe Luftschicht ebenfalls aus. In dieser bodennahen Luft hat es viel NO, welches den Ozonabbau beschleunigt. In den oberen Luftschichten hingegen ist die NO-Konzentration gering, sodass nur wenig Ozon abgebaut werden kann. Kommt die Sonne nun am Morgen zum Vorschein, erwärmt sich die Erde wiederum schneller als die Luft. Die warme Erde er-



Messstandorte: Tunnel zur Bruggerstrasse (links), sternförmige Messreihe von der Kantonsschule Baden aus (Mitte) und Messkreise um den Schulhausplatz (rechts). Die Zahlen geben die Stickstoffdioxid-Konzentrationen in Mikrogramm pro Kubikmeter an.

Grüner Punkt: kantonaler Messstandort (InLuft-Wagen)

Grafik: Martin Müller

wärmt dann die bodennahe Luftschicht. Diese steigt nun auf und kalte Luft fliesst von oben nach. Die kühlere Luft, die nun in Bodennähe ist, enthält mehr Ozon und bedingt den Ozonanstieg bei Tagesanbruch.

Die Messwerte korrelieren mit den kantonalen Messungen. Die Abweichungen sind minimal und auf die unterschiedlichen Messstandorte zurückzuführen.

### Die Messwerte im Vergleich zu 2004 und 2006

2004 wurde die Ozonkonzentration auf der Baldegg und im Kindergarten in der Pfaffechappe in Baden gemessen. Es sollten städtische mit ländlichen Gebieten verglichen werden. Es zeigte sich, dass Ozon in verkehrsarmen, ländlichen Regionen nachts nicht gut abgebaut werden kann, da Stickoxid fehlt. Folglich war die Ozonkonzentration auf der Baldegg nachts höher.

Im Sommer 2006 wurde in der Badeanstalt Baden die Ozonkonzentration gemessen, um Referenzwerte zum Jahr 2004 zu erhalten.

2008 wurde die Messung von 2006 wiederholt, jedoch konnte aufgrund eines technischen Defekts erst im Herbst gemessen werden.

### Ozon: Auswirkungen und Schutzmassnahmen

Die Schweiz hat schon seit längerer Zeit Richtwerte für die Ozonkonzentration festgelegt. Keine Gefahr für die Gesundheit besteht laut Richtlinie bei einer Ozonkonzentration unter 120

Mikrogramm pro Kubikmeter Luft. Dieser Wert wird vor allem im Sommer oft überschritten. Die gemessenen Werte erreichen diesen Grenzwert nicht einmal annähernd. Dies liegt daran, dass die Ozonkonzentration aufgrund eines technischen Defektes erst Mitte September gemessen werden konnte. Ozon ist nur schädlich, wenn es sich in Bodennähe befindet und direkten Einfluss auf uns und unsere Umwelt ausübt. Ab einem Stundenmittelwert von 180 Mikrogramm pro Kubikmeter kann die Leistungsfähigkeit empfindlicher Menschen bereits beeinträchtigt werden. Ab ungefähr 200 Mikrogramm Ozon pro Kubikmeter Luft können Symptome wie Tränenreiz, Schleimhautreizungen in Rachen, Hals und Bronchien, Kopfschmerzen, verstärkter Hustenreiz sowie eine Verschlechterung der Lungenfunktion auftreten. Ab einem Stundenmittelwert von 360 Mikrogramm pro Kubikmeter werden Warnungen ausgesprochen, da ab dieser Konzentration Gefahr für die menschliche Gesundheit bestehen kann. Die Wirkung des Ozons wird im Wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflusst.

- Konzentration: Je höher die Ozonwerte steigen, desto mehr Personen sind betroffen.
- Dauer: Je länger sich jemand in ozonreicher Luft aufhält, desto stärker wird die Reaktion.
- Intensität der Arbeit oder Tätigkeit: Je grösser die körperliche Anstrengung ist, desto stärker fällt die Reaktion aus.

Jedoch nicht nur Menschen und Tiere leiden unter hohen Ozonwerten, auch die Pflanzen bleiben nicht verschont. Die sommerliche Ozonbelastung führt zu sichtbaren Schäden an den Blättern. Die Bäume werden geschwächt und das Holzwachstum verlangsamt sich. Zudem verhindert der Luftschadstoff, dass Zucker über Zweige, Äste und Stamm in die Wurzeln gelangen kann. Der daraus resultierende Nahrungsentzug lässt Feinwurzeln und Pilze verkümmern.

Grundsätzlich kann man sich nicht vollständig vor Ozon schützen. Das ist jedoch auch nicht notwendig, da geringe Mengen auch nur geringe Auswirkungen haben. Vereinzelt wird empfohlen, sich an heissen, sonnigen Tagen drinnen aufzuhalten, da die Ozonwerte in geschlossenen Räumen meist niedriger sind als draussen.

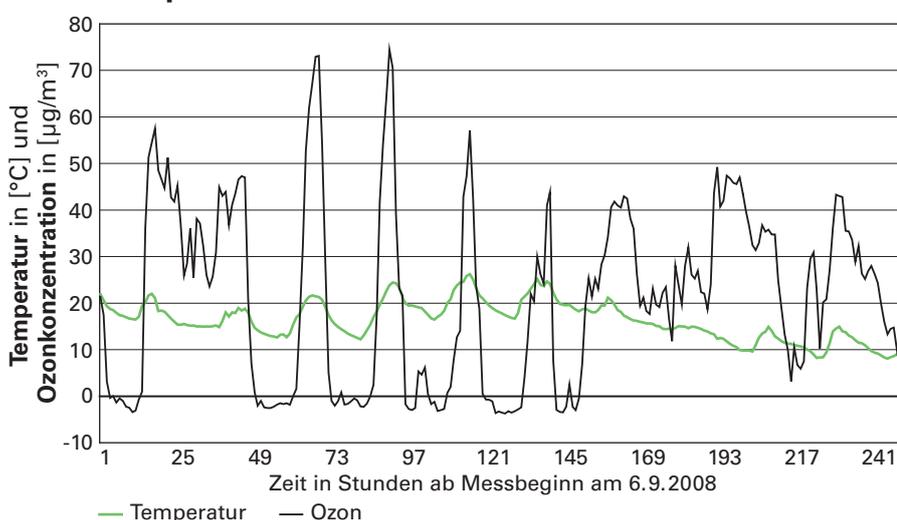
### Fazit

Die gewonnenen Ergebnisse gleichen den Messresultaten der Vorjahre, es wurden keine extremen Veränderungen festgestellt und das Projektziel – wissenschaftliches Arbeiten anhand konkreter Gegebenheiten und das Beantworten der Fragestellungen – wurde erreicht.

Das neu angelaufene Tunnelprojekt war ebenfalls ein Erfolg: Die Messwerte werfen viele neue Fragen auf. Interessant wird sein, ob auch in den kommenden Jahren die Resultate im Tunnel bestätigt werden können. Die Reaktion der politischen Instanzen auf die ökologisch bedenklichen Werte im Tunnel bleibt abzuwarten.

Es ist vorgesehen, dieses Projekt im Rahmen des Schwerpunktfachunterrichts Biologie und Chemie in zwei Jahren erneut durchzuführen. 

### Messwerte für die Ozonkonzentration im Gesamtüberblick mit der Temperatur



Dieser Artikel entstand in Zusammenarbeit mit Roger Deuber, Lehrer an der Kantonsschule Baden, und den Schülern Merlin Schär, Martin Müller, Stefan Walther sowie Christian Halter.