

# Luftschadstoffmessungen durch die Kantonsschule Baden

**Bereits zum zweiten Mal führte die Kantonsschule Baden in Zusammenarbeit mit Fachstellen ein wissenschaftliches Projekt zur Bestimmung von Luftschadstoffen durch. Die von den Schülerinnen und Schülern gemessenen Werte stimmten sehr genau mit den offiziellen Daten des Kantons überein und zeigten eine starke Abhängigkeit vom Abstand des Messtandortes zu verkehrsreichen Strassen.**

Welche Faktoren beeinflussen die Konzentration von Luftschadstoffen? Wie gut repräsentieren offizielle Messungen die Schadstoffsituation?

Diese Fragen stellten sich im Juli 2006 die 21 Schülerinnen und Schüler der Kantonsschule Baden, welche im Rahmen des Schwerpunktfachs Chemie

**Roger Deuber**  
**Maaïke Ramseier**  
**Kantonsschule Baden**  
**056 200 04 44**  
**Markus Schenk**  
**Abteilung für Umwelt**  
**062 835 33 60**

Luftschadstoffmessungen durchführten. Sie massen dazu unter der Leitung der beiden Chemielehrkräfte Roger Deuber

und Maaïke Ramseier während sechs Wochen an verschiedenen Orten in Baden die Stickstoffdioxid- und Ozonkonzentration in der Luft.

## Ein erfolgreiches Projekt wird weitergeführt

Bereits im Jahr 2004 führte die Kantonsschule Baden im Rahmen des Schwerpunktfachs Biologie und Chemie eine Projektarbeit durch, bei welcher Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) und Ozon ( $\text{O}_3$ ) in der Luft gemessen wurden. UMWELT AARGAU berichtete darüber in der Ausgabe Nr. 28 vom Mai 2005. Im Sommer 2006 fand ein Folgeprojekt statt, woran sich 21 Schülerinnen und Schüler beteiligten. Diese Projektarbeit verfolgte zwei Ziele: Einerseits sollten wissenschaftliche Fragestellungen von öffentlichem Interesse bearbeitet werden, andererseits wurden die Gymnasiastinnen und Gymnasiasten an wissenschaftliche Arbeitsweisen herangeführt. So konnten die Lernenden im Chemieunterricht erar-

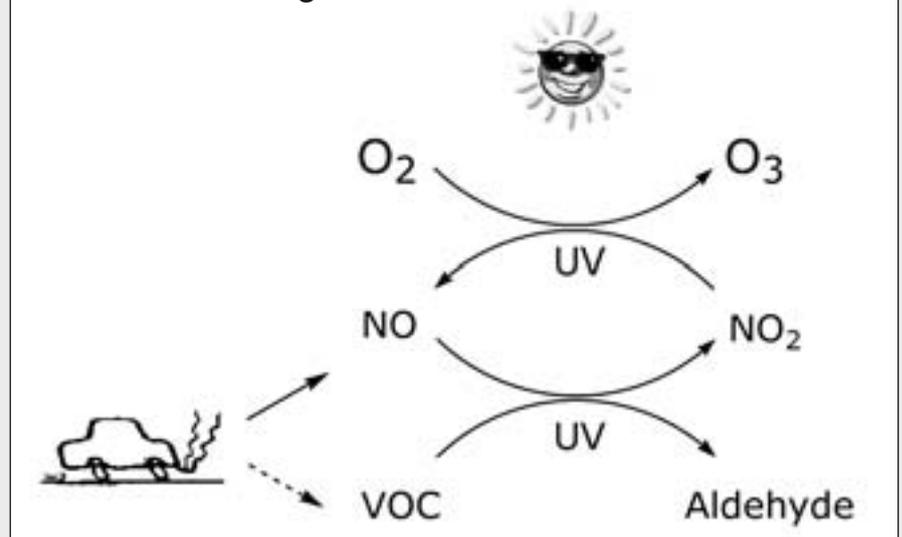
beitetes Wissen direkt anwenden und üben. Das Projekt fand in Zusammenarbeit mit Markus Schenk, Abteilung für Umwelt, und Corinne Schmidlin,

Büro für Stadtökologie Baden, statt. Diese Fachleute sorgten für eine professionelle Unterstützung.

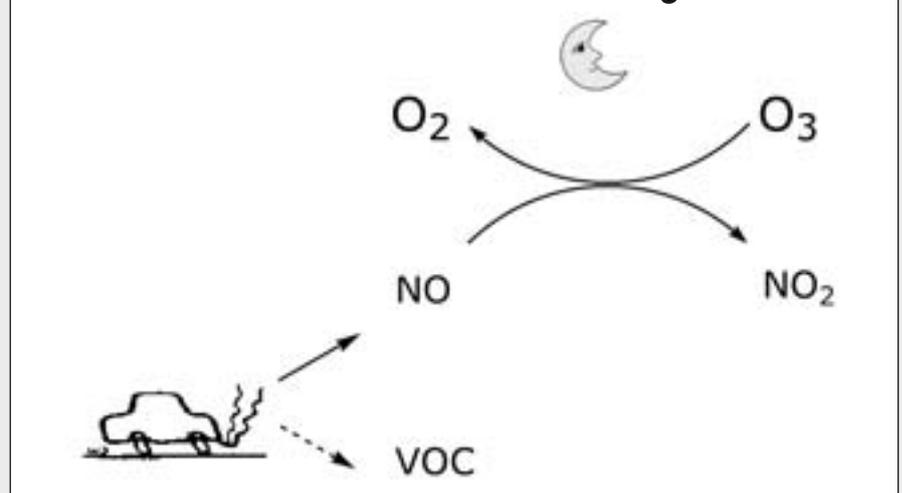
## Stickstoffdioxid- und Ozonmessungen

Bei Verbrennungen – beispielsweise in Automotoren – entstehen Stickoxide ( $\text{NO}$ ). Diese können bei Anwesenheit von flüchtigen Kohlenwasserstoffen (Volatile organic compounds, VOC)

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



### In verkehrsreichen Gebieten wird nachts Ozon mithilfe von Stickoxid zu Stickstoffdioxid umgewandelt



durch die Einwirkung von UV-Strahlung zu Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) umgewandelt werden. NO<sub>2</sub> ist zusammen mit UV-Strahlung in Erdnähe für die Ozonbildung aus Sauerstoff verantwortlich.

In der Nacht wird Ozon in Gegenwart von NO abgebaut, wobei NO<sub>2</sub> entsteht. Dieser Prozess findet also vorwiegend in Gebieten statt, wo auch in der Nacht ein erhöhtes Verkehrsaufkommen herrscht. Obwohl die Ozonkonzentrationen dadurch während der Nachtstunden stark sinken, darf nicht daraus geschlossen werden, dass Verkehr langfristig zu einer Senkung der Ozonkonzentrationen führt. Im Gegenteil: Die durch diesen Vorgang in der Nacht erhöhte NO<sub>2</sub>-Konzentration führt am nächsten Tag zu umso höheren Ozonkonzentrationen.

Da die UV-Strahlung im Sommer am stärksten ist, kann zu dieser Jahreszeit am meisten Ozon in Bodennähe gemessen werden. Der Messzeitraum wurde dementsprechend vom 4. Juli bis 15. August 2006 gewählt.

Zwei Teilprojekte befassten sich mit der Messung des Ozonvorläufers NO<sub>2</sub>. Die räumliche Variabilität der Stickstoffdioxid-Konzentrationen in der Luft wurde untersucht. Dazu wurden zwei Standorte als Zentren gewählt, um welche herum die Schülerinnen und Schüler eigene Messstandorte bestimmten. Wie im Projekt vor zwei Jahren war das eine Zentrum die Messstation der Abteilung für Umwelt an der Schönaustrasse in der Nähe der Kantonsschule Baden. Sternförmig um die Messstation herum wurden NO<sub>2</sub>-Passivsammler aufgestellt. Ziel war zu prüfen, ob lokale Einflüsse einen messbaren Einfluss auf die NO<sub>2</sub>-Konzentration haben. Die Idee für das zweite NO<sub>2</sub>-Messzentrum stammte von Herrn Schenk von der Abteilung für Umwelt: Es ging dabei um die Frage, ob bei verkehrsreichen Strassenkreuzungen grössere Schwankungen der NO<sub>2</sub>-Konzentration vorkommen. Zusätzlich sollte getestet werden, wie gut diese Werte durch den offiziellen Messstandort repräsentiert werden. Zur Klärung dieser Fragen wurden um den Schulhausplatz in zwei Kreisen weitere Passivsammler aufgestellt.

Die offiziellen Messwerte der Abteilung für Umwelt wurden verwendet, um die Zuverlässigkeit der Messungen der Kantonsschule zu überprüfen. Ermittelt wurde die NO<sub>2</sub>-Konzentration mithilfe von Passivsammlern, welche in drei Perioden während jeweils zwei Wochen den NO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft ermittelten.

Im dritten Teilprojekt ging es darum, den Verlauf der Ozonkonzentration an einem öffentlichen, stark frequentierten Ort zu verfolgen und allfällige Grenzwertüberschreitungen zu dokumentieren. Als Standort wurde das Terrassenbad Baden gewählt, welches sich direkt am Ufer der Limmat befindet. Während drei Wochen wurde die Ozonkonzentration mithilfe von Online-Messgeräten der Abteilung für Umwelt gemessen. Anschliessend wurden die Daten ausgewertet.

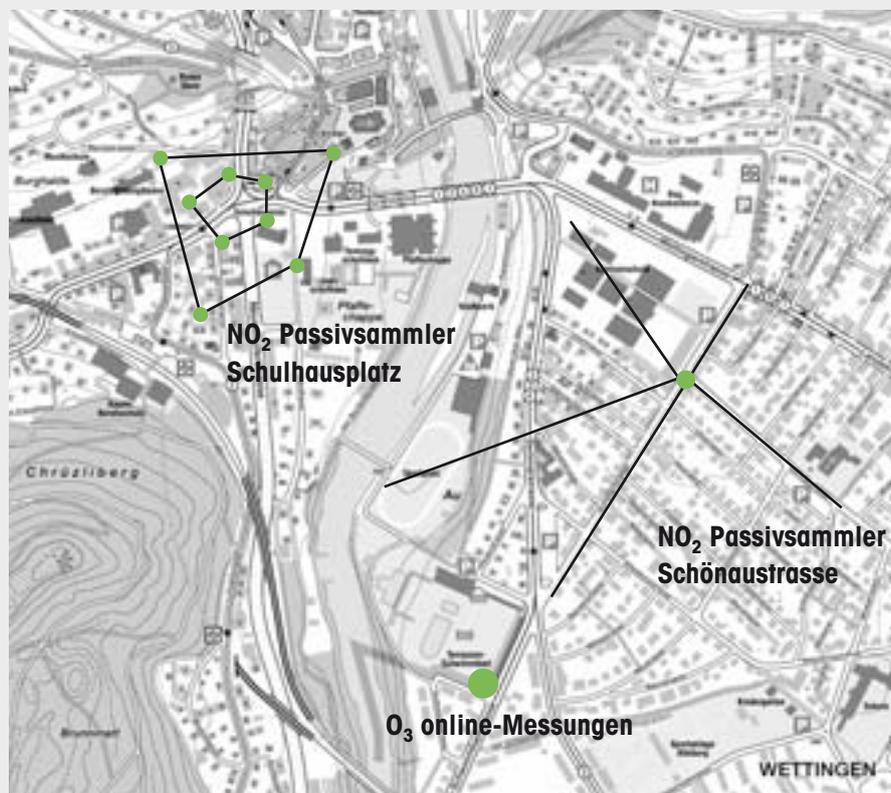
Während der Kampagne herrschten eine Schönwetter- und eine Schlechtwetterphase. So konnten die oben erwähnten chemischen Grundlagen durch Klimafaktoren wie Sonneneinstrahlung oder Regen direkt an den eigenen Daten überprüft werden.

## Der Verkehr als wichtiger Faktor

Die Messstation an der Schönaustrasse ist einerseits von zwei stark befahrenen Strassen – der Wettinger- und der Seminarstrasse – und andererseits von schwach befahrenen Quartierstrassen umgeben. Die Messresultate zeigen, dass die NO<sub>2</sub>-Konzentration umso höher ist, je näher sich der Standort an einer verkehrsreichen Strasse befindet. Dieser Zusammenhang wird von allen Messstandorten bestätigt – mit lediglich einer Ausnahme, die vermutlich auf eine lokale Emissionsquelle zurückzuführen ist. Andere Faktoren wie Grünflächen oder die Wohndichte scheinen dabei einen sehr kleinen Einfluss auf die NO<sub>2</sub>-Konzentration zu haben. Die Resultate bestätigen auch die Ergebnisse des Projekts, das vor zwei Jahren durchgeführt wurde.

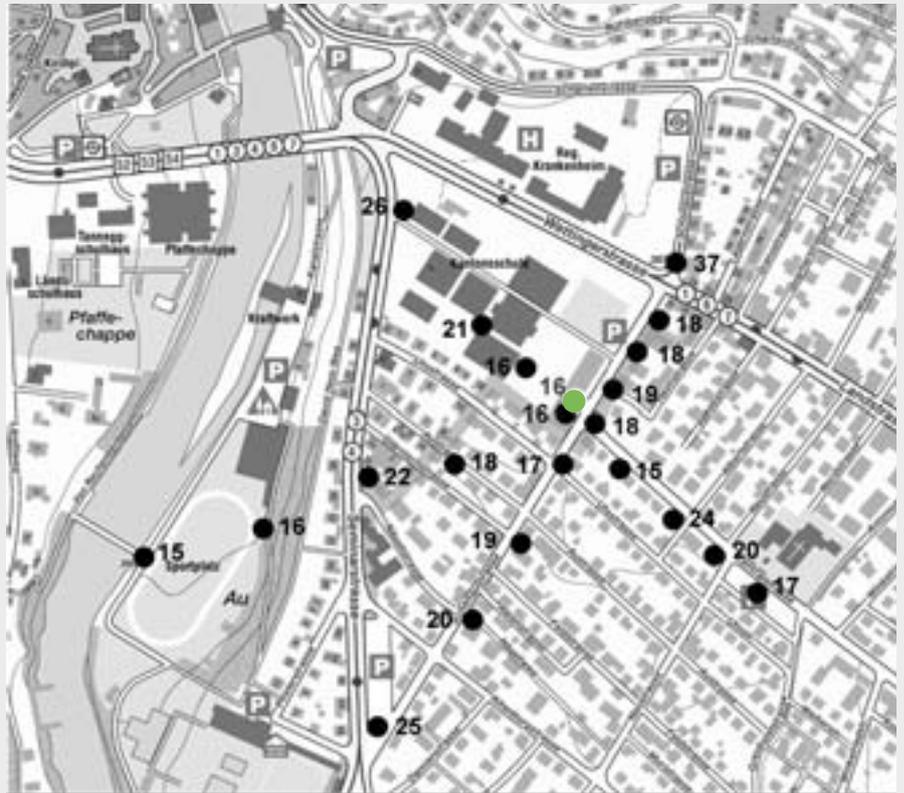
Die starke Abhängigkeit der lokalen NO<sub>2</sub>-Konzentration vom Verkehr wird auch durch die Messungen beim Schulhausplatz bestätigt. Dort kreuzen sich zwei Strassen mit sehr hohem Verkehrsaufkommen, was die Ursache für die hohen NO<sub>2</sub>-Werte sein dürfte.

### Die Messstandorte



Besonders hohe NO<sub>2</sub>-Konzentrationen, welche den Jahresgrenzwert für NO<sub>2</sub> überschreiten, wurden in der Nähe des Tunnelausgangs westlich des Schulhausplatzes gemessen. Die Vermutung liegt nahe, dass Emissionen innerhalb des Tunnels dafür verantwortlich sind. Es zeigte sich aber auch sehr deutlich, dass die NO<sub>2</sub>-Konzentration mit zunehmender Entfernung von der verkehrsreichen Kreuzung rasch abnimmt. Nach hundert Meter Distanz liegt sie nur noch leicht über dem Vergleichswert des Messstandorts Schönaustrasse, der sich in typischem Wohngebiet befindet. Der offizielle NO<sub>2</sub>-Messwert entsprach ziemlich genau dem Durchschnitt der Messwerte der Schülerinnen und Schüler. Gemäss diesen Messungen wird die NO<sub>2</sub>-Konzentration in der näheren Umgebung der Kreuzung somit durch den offiziellen Messwert gut repräsentiert.

Die Messungen bei der Schönaustrasse und beim Schulhausplatz zeigen zusätzlich die gute Übereinstimmung der von den Schülerinnen und Schülern gemessenen Werte mit jenen der Abteilung für Umwelt.



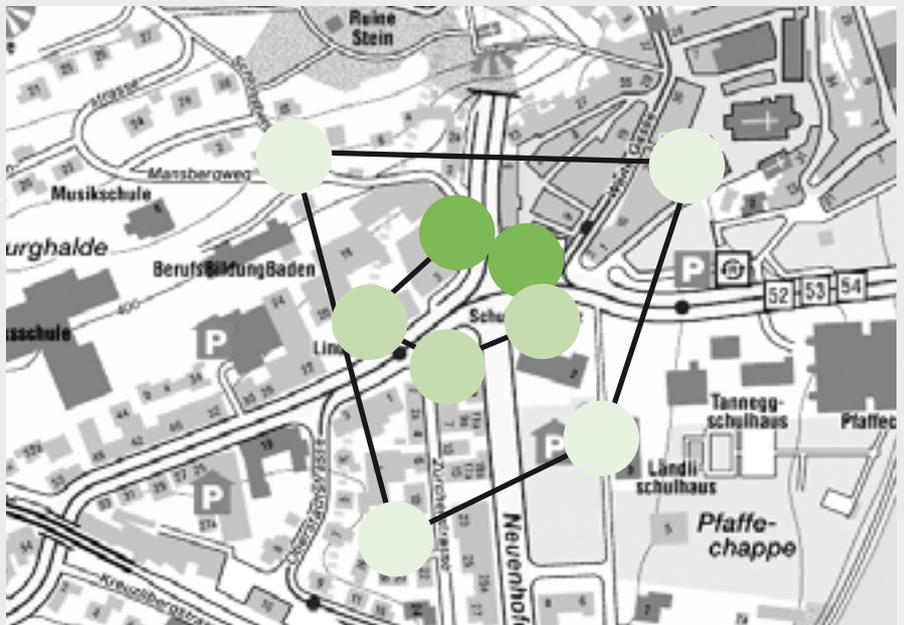
Mittelwerte der Stickstoffdioxid-Konzentrationen in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft während der gesamten Messperiode von sechs Wochen im Bereich Schönaustrasse. Der grüne Kreis stellt den offiziellen von der Abteilung für Umwelt gemessenen Wert dar.

### Viel Ozon bei schönem Wetter

Bei den Online-Ozonmessungen im Terrassenbad Baden wurden ebenfalls zuverlässige Werte ermittelt, wie vorgängige Vergleichsmessungen der Schülerinnen und Schüler bei der Kantonsschule Baden ergaben.

Die gemessenen Werte im Terrassenbad lagen in der Regel leicht unter den Vergleichswerten der Messstation Schönaustrasse, was vermutlich mit den lokalklimatischen Unterschieden der Standorte zusammenhängt. Möglicherweise ist dabei der Einfluss der Limmat ausschlaggebend, die sich unmittelbar neben dem Terrassenbad befindet. Allerdings waren die Unterschiede zu gering, um fundierte Aussagen über Unterschiede zwischen den zwei Standorten machen zu können.

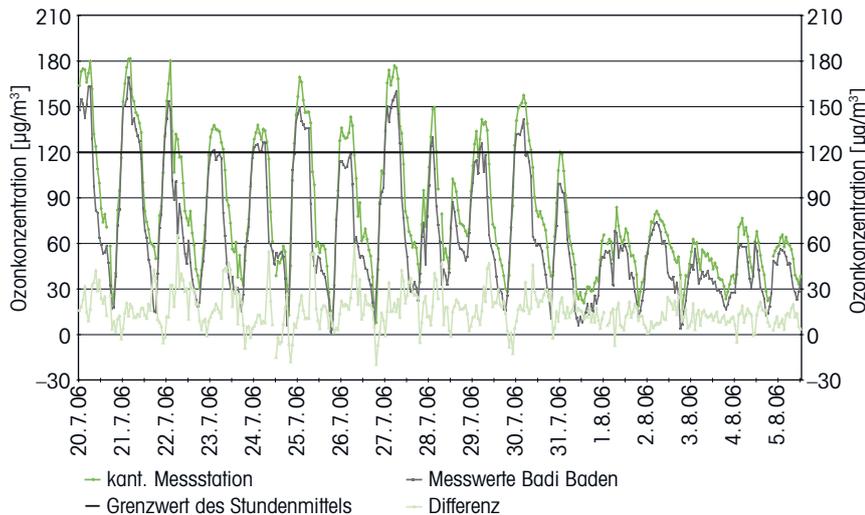
Die Daten zeigen aber sehr schön den Tagesverlauf der Ozonkonzentration in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung, wobei diese um die Mittagszeit und in den frühen Nachmittagsstunden



Mittelwerte der Stickstoffdioxid-Konzentrationen der kreisförmig angeordneten Messstandorte rund um den Schulhausplatz in Baden in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ( $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ ). Die dunkelgrünen Kreise stellen den offiziellen von der Abteilung für Umwelt gemessenen Wert dar.

- hellgrün:  $< 30 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$
- mittelgrün:  $< 30-40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$
- dunkelgrün:  $> 50 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$

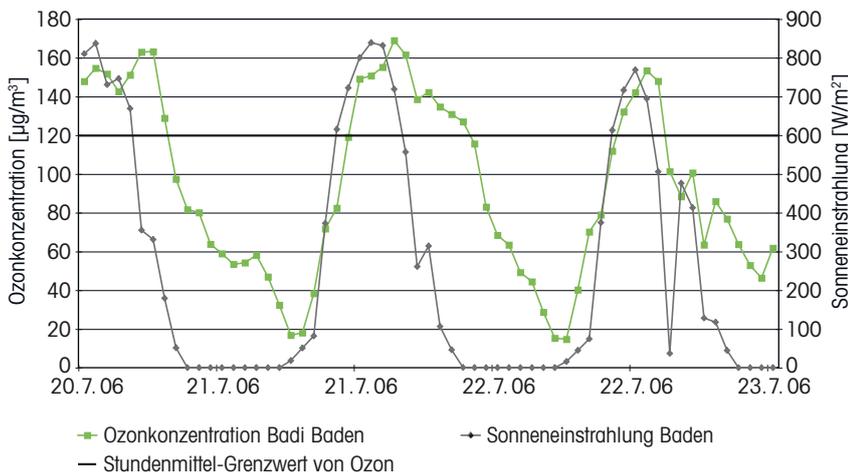
## Übersicht der Ozonwerte beim Terrassenbad Baden



erwartungsgemäss am höchsten ist. In der Nacht wird praktisch alles Ozon auf das Vortagsminimum abgebaut. Der Vergleich der Ozonmessung mit dem Verlauf der Sonneneinstrahlung und des  $\text{NO}_2$ -Gehaltes bestätigt die erklärten chemischen Zusammenhänge: An Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung entstand viel Ozon, und die hohen morgendlichen Stickstoffkonzentrationen nahmen mit zunehmenden Ozonwerten drastisch ab.

Dass auch die  $\text{NO}_2$ -Konzentration von der Sonneneinstrahlung abhängt, verdeutlicht folgender Vergleich: Die  $\text{NO}_2$ -Konzentration war in den letzten zwei Messwochen, welche im Durchschnitt nur die Hälfte der Sonneneinstrahlung der ersten zwei Messwochen aufwiesen, tendenziell am kleinsten. Dass die Ozonkonzentration bei schlechtem Wetter sehr rasch zurückgeht, zeigt eine Betrachtung des Ozonverlaufs über die gesamte Messperiode: Während der Schönwetterphase schwankten die Höchstwerte der Ozonkonzentrationen zwischen 130 und 180 Mikrogramm pro Kubikmeter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Luft. Ab dem 1. August 2006 wurde das Wetter schlecht, und die Ozonkonzentrationen erreichten maximal nur noch 60 bis 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Verantwortlich dafür dürfte eine Kombination des starken Rückgangs der Sonneneinstrahlung mit der regenbedingten Auswaschung von Ozon und seinen Vorläufersubstanzen sein.

## Abhängigkeit der Ozonbildung von der Sonneneinstrahlung

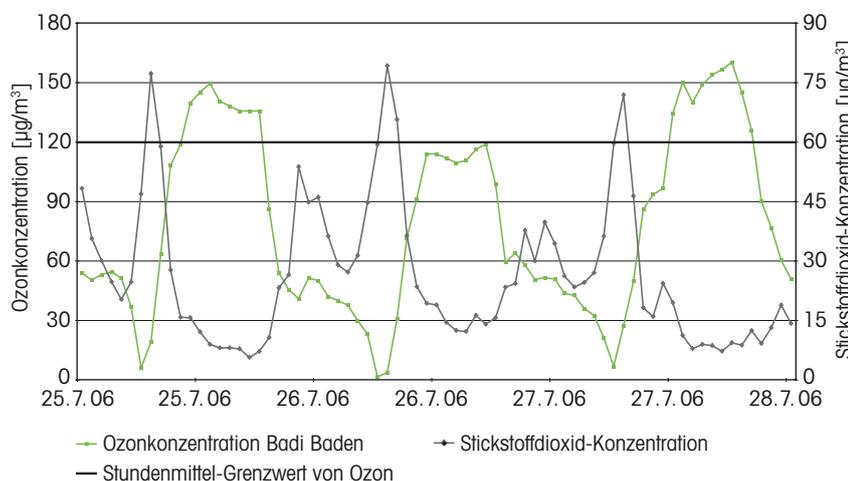


## Grenzwertüberschreitungen

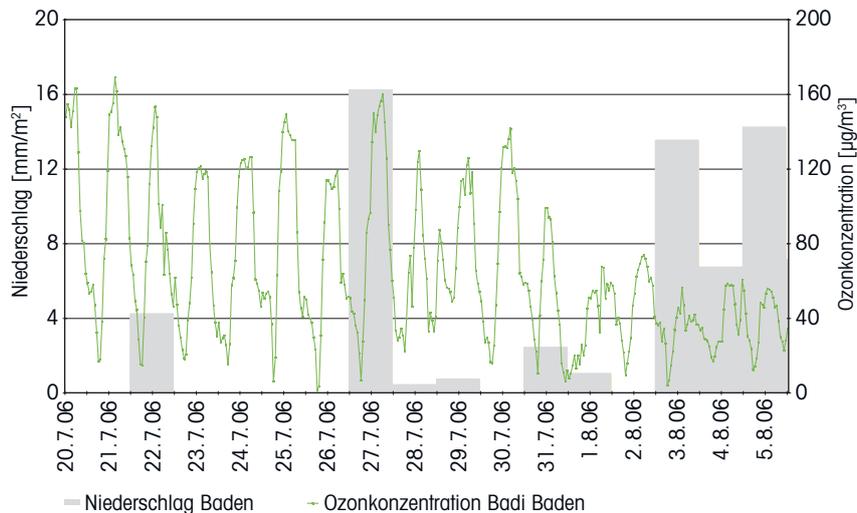
Beeindruckende Ergebnisse ergaben die Messungen bezüglich Grenzwertüberschreitungen. 58 der 397 ermittelten Stundenmittelwerte der Ozonmessung lagen über der Marke von 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dieser Grenzwert darf gemäss Luftreinhalteverordnung nur einmal jährlich während einer Stunde überschritten werden.

Die hohen  $\text{NO}_2$ -Werte in Strassennähe lassen vermuten, dass der  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelgrenzwert von 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten wird. Denn die  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen sind im Winterhalbjahr durch die geringere Umwandlung in Ozon erfahrungsgemäss etwas höher. Die Studie zeigt jedoch klar auf, dass bei der Interpretation von  $\text{NO}_2$ -Messdaten – und damit auch bei der Abschätzung von Grenzwertüberschrei-

## Zusammenhang zwischen Ozon- und Stickstoffdioxid-Konzentration



## Bei Regen gehen die Ozonwerte markant zurück



Beim starken Niederschlag am 27. Juli 2006 handelt es sich um ein nächtliches Gewitter, das keine wesentliche Reduktion der Ozonkonzentration bewirkte.

tungen – Vorsicht geboten ist, da die Werte lokal je nach Verkehrsnähe sehr unterschiedlich sein können.

### Fazit für den Projektunterricht

Durch dieses Projekt wurden die Schülerinnen und Schüler mit dem Alltag wissenschaftlichen Arbeitens konfrontiert. Sie mussten sich in sehr selbstständiger Arbeitsweise immer wieder neuen Herausforderungen stellen. Sie lernten, mit vielfältigen Unsicherheiten umzugehen.

Die Schülerinnen und Schüler fanden das Projekt sehr befriedigend. Wichtig war dabei, dass sie ihre Arbeit vor Vertreterinnen und Vertretern der Stadtökologie Baden und der Abteilung für Umwelt sowie mithilfe von Postern der Öffentlichkeit präsentieren konnten. Hatten sie doch einen grossen Einsatz – sogar während der Sommerferien – geleistet.

Die Schülerinnen und Schüler konnten im Unterricht theoretisch gelerntes Umweltwissen an eigenen Messungen nachvollziehen – und nicht wenige waren betroffen über die Schwierigkeit, gesetzte Grenzwerte einzuhalten. Allerdings räumten auch einige ein, dass sie, solange sie die Auswirkungen nicht am eigenen Leib spüren, nur ungern auf das Auto verzichten.

### Zukünftige Projekte geplant

Erfreulicherweise kann damit gerechnet werden, dass die aus der Sicht der Kantonsschule Baden entscheidend wichtige Zusammenarbeit mit der Abteilung für Umwelt und dem Büro für Stadtökologie Baden auch in Zukunft bestehen bleibt. Dies stellt sicher, dass die experimentellen und organisatorischen Erfahrungen der beiden bisher realisierten Projekte in Folgeprojekte einfließen können. Besonderer Dank gebührt an dieser Stelle Philipp Baltzer, Leiter der Abteilung für Umwelt, sowie den beiden Projektleitern Markus Schenk, Abteilung für Umwelt, und Corinne Schmidlin, Büro für Stadtökologie Baden.

Geplant sind eine Fortsetzung der Stickstoffdioxidmessungen in der Umgebung des Messstandorts Schönaustrasse an denselben Standorten in zweijährlichen Rhythmus sowie weitere Ozonmessungen an Standorten, die für die Bevölkerung von Baden von Interesse sind. ❧❧❧

