

Luftschadstoffmessungen im Schulunterricht

Gymnasiastinnen und Gymnasiasten der Kantonsschule Baden führten im Schwerpunktunterricht ein wissenschaftliches Projekt durch: Sie bestimmten an ausgewählten Standorten in Baden die Konzentration der Luftschadstoffe Stickstoffdioxid und Ozon.

In Rahmen ihrer Projektarbeit (vgl. Kasten) im Schwerpunktfach Biologie/Chemie führten die drei Klassen des Abschlussjahres unter der Leitung der beiden Chemielehrer Roger Deuber und Juraj Lipscher im Wintersemester 2004/05 an ausgewählten Stellen in Baden Konzentrationsmessungen der Luftschadstoffe Stickstoffdioxid und Ozon durch.

Die Zusammenarbeit mit Markus Schenk, Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau, der das Luftimmissionsnetz des Kantons betreut, und

**Roger Deuber
Juraj Lipscher
Kantonsschule Baden
056 200 04 44**

mit Corinne Schmidlin, Büro für Stadtökologie Baden, gewährleistete eine Begleitung durch professionelle Umweltfachleute. Schülerinnen und Schüler erhielten gleichzeitig einen Einblick in den Berufsalltag im Dienste der Umwelt.

Stickstoffdioxid- und Ozonmessungen

Das Projekt umfasste zwei Aufgabenstellungen:

- Das erste Teilprojekt bestand darin, mithilfe von Passivsammlern in der Umgebung der kantonalen Messstation «Schönaustrasse» die Konzentration des Luftschadstoffs Stickstoffdioxid (NO₂) zu messen, um zu überprüfen, ob lokale Einflüsse einen messbaren Einfluss auf die NO₂-Konzentration haben können. Zudem wurden drei verschiedene Methoden der Passivsammlermessung eingesetzt, um die Ursache der dabei anfallenden Ergebnisunterschiede zu untersuchen.

- Im zweiten Teilprojekt wurde mithilfe von Online-Messgeräten, die die Abteilung für Umwelt zur Verfügung stellte, während sechs Wochen die Ozonkonzentration beim Kindergarten «Halde» und auf der «Baldegg» in Baden gemessen und anschliessend ausgewertet.

Die Schülerinnen und Schüler fassten die Ergebnisse in wissenschaftlichen Berichten zusammen und präsentierten sie im Büro für Stadtökologie Baden und in der Abteilung für Umwelt.

Vieelfältige Herausforderung

Als besonders wertvoll erwies sich das Projekt in didaktischer Hinsicht. Der kontinuierliche Kontakt mit Berufsleuten und der selbstständige Charakter der Projektarbeit forderten und förderten Kompetenzen wie Teamarbeit, Kommunikations- und Organisationsfähigkeit. Die Schülerinnen und Schüler leisteten vor allem für die Präsentationen zum Teil sehr grossen Aufwand, was zeigt, dass diese Projektarbeit als willkommene Ergänzung zum üblichen Unterricht empfunden wurde. Dazu trug auch massgeblich die Tatsache bei, dass die Präsentationen vor Umweltfachleuten stattfanden, was die Schülerinnen und Schüler inhaltlich herausforderte und wodurch sie sich in ihrer Arbeit ernst genommen fühlten.

Messkonzept für NO₂-Messungen

Die Bedeutung der Stickstoffdioxidkonzentration liegt vor allem auch darin, dass NO₂ der massgebliche Vorläuferschadstoff von Ozon darstellt und damit als längerfristiger Indikator für

Das neue Maturitätsanerkennungsreglement (MAR) bietet Gymnasiastinnen und Gymnasiasten die Möglichkeit, sich in den Schwerpunktfächern vertieft mit wissenschaftlichen Fragestellungen auseinander zu setzen. Der Lehrplan der Kantonsschule Baden sieht im Kombifach Biologie/Chemie vor, dass die Schülerinnen und Schüler während eines Semesters selbstständig ein Projekt durchführen.

die Bildung von Ozon verwendet werden kann. Die Ozonkonzentration selbst ist dagegen sehr stark von kurzfristigen klimatischen Faktoren wie der Sonneneinstrahlung abhängig.

Fünf Schülergruppen ermittelten mithilfe von Passivsammlern während sechs Perioden wöchentlich die NO₂-Konzentration. Die Passivsammler wurden dabei im Abstand von rund 250 Metern sternförmig um die kantonale Messstation «Schönaustrasse» bei der Kantonsschule Baden aufgestellt. Die genaue Lage der Standorte wurde für künftige Folgemessungen fotografisch und kartografisch festgehalten.



Standort eines Passivsammlers an der Schönaustrasse mit Wetterschutzglocke

Fotografische und kartografische Bestimmung der Standorte

Standort 1, Messwagen



Koordinaten: 665582/257839
 Höhe über Meer: 405
 Verkehr/Strasse: neben Parkhaus Kantonsschule, ganzer Tag geringer Verkehr

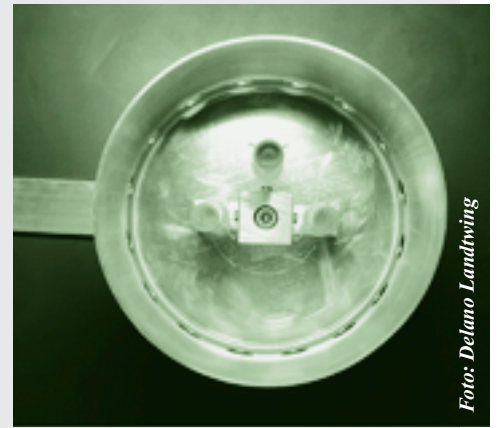


Foto: Delano Landtwing

Wetterschutzglocke mit drei Passivsammlerröhrchen

Für jede Messung wurden jeweils drei Passivsammlerröhrchen für eine Woche in eine Wetterschutzglocke eingesetzt. Jeweils eines der drei Röhrchen diente als Referenz für den Nullwert. Wie bei Passivsammlermessungen üblich erfolgte die Bestimmung der Konzentration spektroskopisch.

Aufschlussreiche Resultate

Die Schülerinnen und Schüler hatten mit experimentellen Schwierigkeiten zu kämpfen, da die Messmethodik an der Kantonsschule Baden neu eingeführt werden musste. Gleichzeitig führten sie als Neulinge zum ersten Mal solche Messungen durch. Dennoch lassen die Resultate einige Schlüsse zu:

- Die recht gute Übereinstimmung der Messung am Kontrollstandort mit dem in der offiziellen Messstation gemessenen Wert lässt darauf schliessen, dass die von den Schülerinnen und Schülern ermittelten NO_2 -Konzentrationen in der Grössenordnung der tatsächlich vorhandenen Konzentrationen liegen dürften.
- Die Konzentrationen aller Standorte – mit Ausnahme von Standorten mit grossem Verkehrsaufkommen – unterschieden sich nicht wesentlich vom Kontrollstandort. Das lässt die Vermutung zu, dass die Verkehrsdichte als Hauptfaktor für lokale Konzentrationsunterschiede verantwortlich ist. Lokalklimatische Faktoren und die Nachbarschaft von Grünflächen scheinen dabei auf die NO_2 -Konzentration einen kleinen Einfluss zu haben.



- Wert gemessen in der Messstation (inLuft)
- Durchschnitt der Schülermessungen bei der Messstation
- Einzelmessungen

Mittelwerte der NO_2 -Konzentrationen. Die NO_2 -Konzentrationen sind proportional zu den Durchmesser der dunkelgrau eingezeichneten Kreise.

Methodevergleich

Bei der NO₂-Konzentrations-Bestimmung mit Passivsammlern wurden mehrere Methoden angewendet, die zu leicht unterschiedlichen Ergebnissen führten. Eine Projektgruppe versuchte die Ursachen dafür zu ermitteln.

Dabei wurden im gleichen Messrhythmus wie bei den übrigen Gruppen drei verschiedene Varianten angewendet:

- Methode nach P. A. Burri mit transparenten Röhren
- Methode nach P. A. Burri mit undurchsichtigen Röhren
- Methode nach L. Thöni mit undurchsichtigen Röhren

Die Werte der ersten Messwoche weisen eine zu grosse Streuung auf und

wurden demzufolge ausser Acht gelassen. Vergleicht man die restlichen Ergebnisse der transparenten mit den Ergebnissen der undurchsichtigen Passivsammlerröhren, liegt der Schluss nahe, dass Licht einen negativen Einfluss auf die Genauigkeit der Messwerte haben könnte – möglicherweise als Folge fotolytischer Vorgänge. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Messwerte der Passivsammler generell tendenziell etwa 10 bis 15 Prozent über den Werten der Messstation liegen. Mit den nachfolgenden Schwerpunktfachklassen soll daher ein Folgeprojekt durchgeführt werden. In einer ausgedehnten Messserie soll der Unterschied zwischen den durchsichtigen

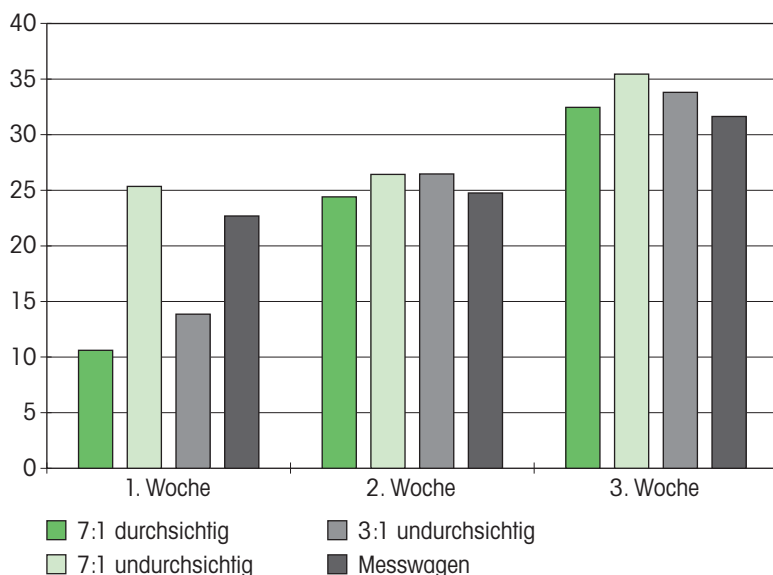
und den undurchsichtigen Passivsammlern untersucht werden.

Messkonzept für O₃-Messungen

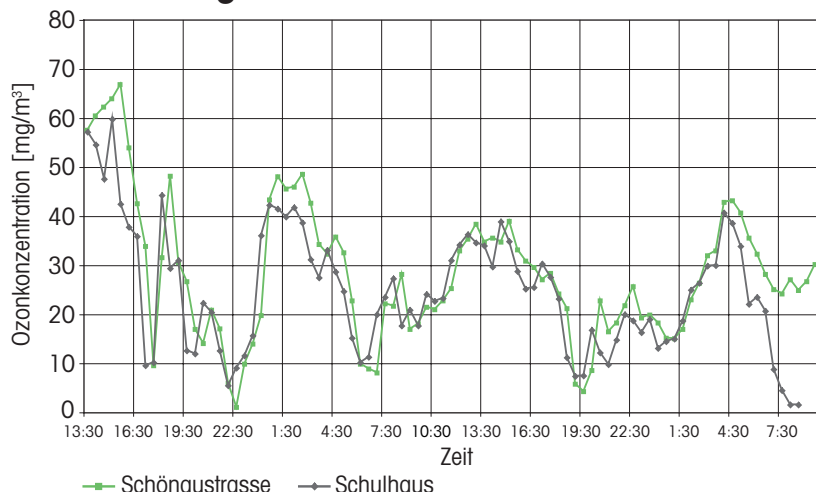
Nachdem es den Schülerinnen und Schülern erstaunlich schnell gelungen war, die beiden Online-Messgeräte mit einer IT-unterstützten Messwerterfassung zu kombinieren und zuverlässige Messwerte zu erhalten, wurden die Geräte für fünf Wochen an zwei Standorten in Baden aufgestellt. Auf Anraten von Corinne Schmidlin wurden folgende Standorte ausgewählt:

- Der Kindergarten «Halde» befindet sich direkt unterhalb der Hochbrücke zwischen Baden und Wettingen. Die Messungen sollten zeigen, ob der verkehrsreiche Standort möglicherweise zu einer erhöhten Ozonbelastung führt.
- Als zweiter Standort wurde das Restaurant «Baldegg» in Baden gewählt, das sich bereits in ländlicher Umgebung befindet. Dabei sollten Unterschiede im Tagesgang der Ozonkonzentration im Vergleich zum städtischen Standort beim Kindergarten untersucht werden.

Ergebnisse des Methodenvergleichs der Passivsammlermethode



Vergleichsmessungen: Standort Kantonsschule Baden mit Messwagen an der Schönaustrasse



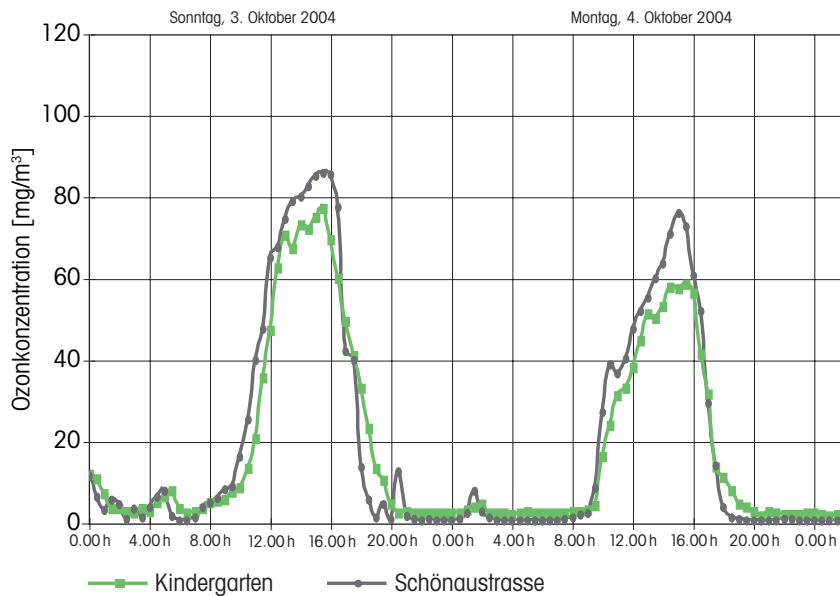
Ozonbelastung beim Kindergarten «Halde»

Während der gesamten Messperiode vom 17. September bis 19. Oktober 2004 ergab sich grundsätzlich eine grosse Übereinstimmung des Verlaufs der Ozonkonzentration mit dem Messwagen bei der Schönaustrasse.

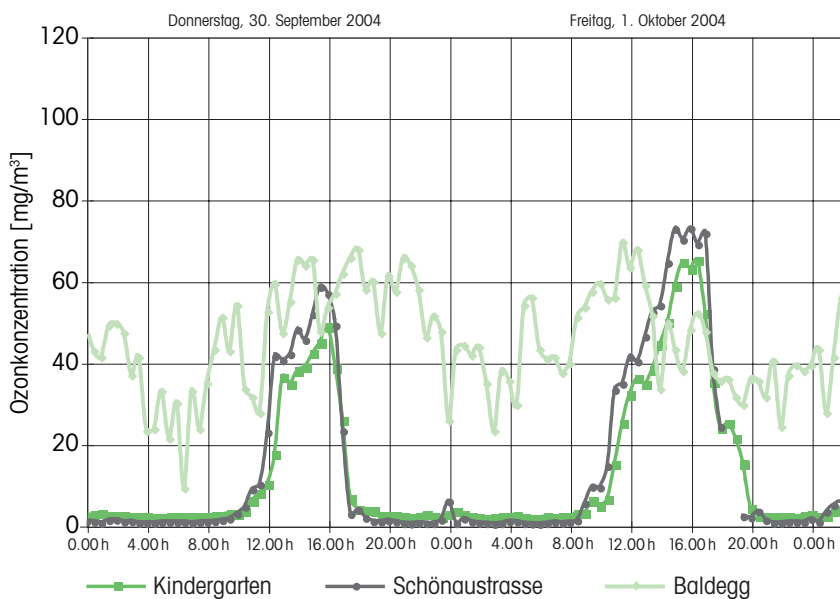
Absolut gesehen lagen die Werte bei der Kantonsschule allerdings durchgehend durchschnittlich rund 1 bis 2 µg/m³ tiefer. Dies lässt sich erklären, wenn man davon ausgeht, dass der Verkehr auf der benachbarten Hochbrücke höhere Stickstoffmonoxid-Konzentrationen verursacht. Bei geringer Sonneneinstrahlung reagiert Ozon dann vermehrt mit Stickstoffmonoxid zu Sauerstoff und Stickstoffdioxid, sodass die Ozonkonzentration sinkt.

Aufgrund der vorliegenden Werte ist davon auszugehen, dass der Standort Kindergarten «Halde» keiner erhöhten Ozonkonzentration ausgesetzt ist, sondern eher mit Schadstoffen wie Stickoxiden und Feinstaub belastet ist.

Vergleich der Ozonkonzentrationen am Standort Kindergarten Halde mit der Messstation Schönaustrasse



Unterschiede der Ozonkonzentrationen zwischen den Standorten Baldegg und Kindergarten Halde



- Ein ähnlich starker Zusammenhang bestand zwischen der Ozonkonzentration und der Niederschlagsmenge: Regen verminderte die Ozonwerte drastisch. Allerdings kam es beim Standort Kindergarten interessanterweise vorübergehend zu einem gegenteiligen Effekt: Die kurzfristige Erhöhung der Ozonkonzentration lässt sich mit Verfrachtungsvorgängen in der Atmosphäre erklären: Die mit dem Regen verbundene Abkühlung führt dazu, dass ozonreiche Luft aus höheren Schichten in Bodennähe gelangt, was den beobachteten Anstieg der Ozonkonzentration bewirkt haben dürfte.
- Ein ähnliches Phänomen konnte auch an einigen Tagen kurz nach Mitternacht beobachtet werden: Als Folge temperaturbedingter vertikaler Verfrachtungsvorgänge kam es zu einem vorübergehenden – allerdings sehr geringen – Anstieg der Ozonkonzentration.

Zukünftige Projekte

Glücklicherweise 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 dieses Pilotprojekts in Folgeprojekte einfließen können. Besonderer Dank gebührt an dieser Stelle Dr. Philippe Baltzer, Abteilungsleiter der Abteilung für Umwelt, sowie den beiden Projektleitenden Markus Schenk und Corinne Schmidlin.

Folgende Projekte sind an der Kantonsschule Baden in Planung:

- Weiterführung der Stickstoffdioxidmessungen in der Umgebung des Messwagens «Schönaustrasse» an denselben Standorten im zweijährlichen Rhythmus.
- Folgeuntersuchungen zum Methodenvergleich der Passivsammlermessungen.
- Weitere Ozonmessungen an Standorten, die für die Bevölkerung von Baden von Interesse sind; falls organisatorisch möglich, während der Zeit der höchsten Ozonkonzentrationen im Sommer und eventuell mit gleichzeitiger Messung der Stickoxidkonzentrationen.

Vergleich Stadt und Land

Die Ozonkonzentrationen am Messstandort beim Restaurant «Baldegg» übertrafen die Werte des Messwagens «Schönaustrasse» um durchschnittlich rund $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dabei waren die Werte vor allem in der Nacht wesentlich höher. Diese Ergebnisse lassen sich auf der einen Seite durch eine höhere UV-Strahlung auf der «Baldegg» erklären. Der Standort liegt rund 150 m höher als der Standort Kindergarten und die Luft ist in ländlichen Gebieten generell weniger mit Fremdpartikeln belastet. Die höheren Werte in der Nacht hängen aber vor allem auch – wie bereits in der

Diskussion beim Standort Kindergarten «Halde» erwähnt – mit der geringeren Emission von Stickstoffmonoxid in ländlichen Gebieten zusammen.

Grundsätzlich zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass die Ozonkonzentrationen im ländlichen Umfeld von Baden deutlich höher sein können als die Werte des offiziellen Messwagens an der Schönaustrasse.

Eine Korrelation mit meteorologischen Daten ergab folgende Zusammenhänge:

- Die Sonneneinstrahlung hatte erwartungsgemäss einen sehr starken Einfluss: Sobald die Sonne schien, stiegen die Ozonwerte sehr stark an.