

# Luftschadstoffmessung in Baden

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

**Im Rahmen des Schwerpunktfachunterrichts Chemie führten Studierende der Kantonsschule Baden Projekte zur Messung von Luftschadstoffen durch. Die Schulhausplatzkreuzung in Baden und deren Umgebung standen dieses Jahr im Fokus. Ziel war es, herauszufinden, wie sich der momentane Umbau der Schulhausplatzkreuzung auf die Stickstoffdioxid-Konzentration auswirkt. Zudem ging es um den Zusammenhang zwischen Stickstoffdioxid, Stickstoffmonoxid und Ozon.**

Seit dem Jahr 2004 haben die Gymnasiastinnen und Gymnasiasten im Schwerpunktfach Biologie/Chemie der Kantonsschule Baden jedes zweite Jahr das Privileg, ein wissenschaftliches Projekt zu realisieren. Dabei arbeiten sie mit Markus Schenk, Abteilung für Umwelt, sowie Sahra Knecht und Pascale Contesse, Stadtökologie Baden, zusammen. Aus diesem Grund war es den Studierenden auch dieses Jahr möglich, eine weitere spannende Fragestellung zu bearbeiten. Diese laute-

te folgendermassen: Ob überhaupt und wie der Umbau der Schulhausplatzkreuzung in Baden die Region und die Kreuzung selbst in Bezug auf die Stickstoffdioxidkonzentration beeinflusst.

## Der Weg von Abgasen zu Ozon

Durch den Verbrennungsprozess in Fahrzeugmotoren entsteht Stickstoffmonoxid (NO), das unter Beteiligung von VOC (volatile organic compounds) und UV-Strahlung zu Aldehyden und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) reagiert. Der Jah-

resgrenzwert von NO<sub>2</sub> liegt bei 30 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft (arithmetischer Mittelwert). Stickstoffdioxid wirkt toxisch auf den Menschen. Bei hohen Konzentrationen löst NO<sub>2</sub> Entzündungserscheinungen in den Atemwegen aus.

Durch die UV-Strahlungen der Sonne zerfällt NO<sub>2</sub> in Stickstoffmonoxid und Sauerstoffradikale. Diese Sauerstoffradikale sind sehr reaktiv und gehen eine Reaktion mit einem Sauerstoffmolekül der Luft ein. Daraus entsteht Ozon (O<sub>3</sub>). Ozon ist ein aggressives Reizgas, das unsere Gesundheit schädigt. Somit ist NO<sub>2</sub> ein Vorläuferschadstoff von Ozon.

In der Nacht gibt es in verkehrsreichen Gebieten eine Umkehr dieses Vorgangs. Das vom Verkehr ausgestossene NO reagiert mit dem Ozon zu NO<sub>2</sub>. Das heisst also, dass das gesundheitsschädigende Ozon wieder abgebaut werden kann. Langfristig gesehen wird aber der Ozongehalt der Luft durch diesen Vorgang erhöht, denn sobald die Sonne am nächsten Tag wieder scheint, entsteht durch die höhere Konzentration an Stickstoffdioxid umso mehr Ozon.

## Vorgehen

Um die NO<sub>2</sub>-Konzentration zu messen, wurden Passivsammler verwendet. Diese bestehen aus drei Drahtgittern, die in einer Triethanolamin-Aceton-Lösung getränkt und dann in ein Röhrchen gelegt wurden. Je drei Messröhrchen kamen in eine Messglocke. Die Messglocken wurden rastermässig an 30 Stellen zirka 2 Meter über dem Boden aufgehängt. Eines der Messröhrchen blieb verschlossen als Referenz. Es wurden zwei Messperioden à 14 Tage durchgeführt. Danach wurden die Messröhrchen im Labor mit einer Lösung gefüllt, die mit dem am Drahtgitter hängenden NO<sub>2</sub> reagiert. Die Lösung verfärbte sich proportional zur NO<sub>2</sub>-Menge rosa. Anhand



Messstandorte und Stickstoffdioxidkonzentrationen 2016:

Rot bedeutet, dass der Jahresmittelgrenzwert von 30 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft überschritten wird.

Blau: 0–10 µg/m<sup>3</sup>; Grün: 10–20 µg/m<sup>3</sup>; Gelb: 20–30 µg/m<sup>3</sup>;

Orange: 30–40 µg/m<sup>3</sup>; Rot: > 40 µg/m<sup>3</sup>



Foto: Deborah Laverde

Ein Passivsammler besteht aus einem Plexiglasröhrchen, in das drei mit einer Lösung getränkte Drahtgitter gelegt werden.

eines UV/VIS-Spektrometers konnte die Intensität des Farbstoffes gemessen und daraus die durchschnittliche  $\text{NO}_2$ -Konzentration der zweiwöchigen Messperiode berechnet werden.

### Ergebnisse

Bei den  $\text{NO}_2$ -Messungen rund um den Schulhausplatz in Baden wurden sehr unterschiedliche Werte gemessen. An einem Referenzstandort bei der Kan-

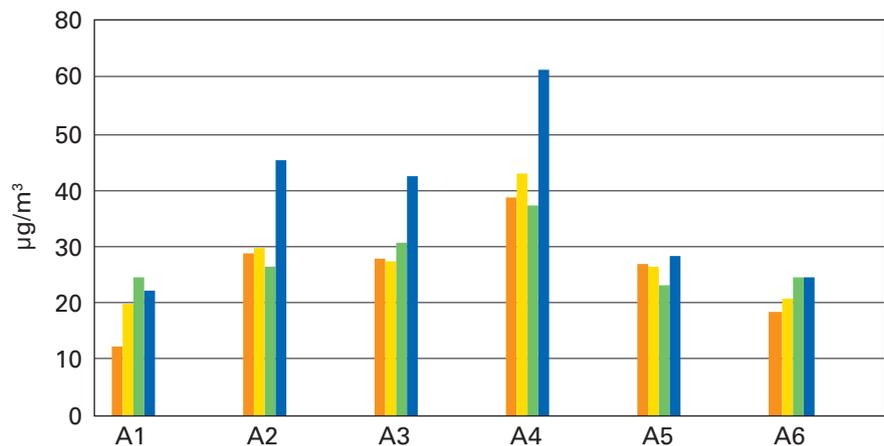
tonsschule Baden haben wir unsere Werte mit den Messwerten der kantonalen Messstation verglichen und fest-

gestellt, dass wir verlässliche Werte gemessen haben. Bei den Messungen zeigte sich, dass folgende Faktoren einen Einfluss auf die  $\text{NO}_2$ -Konzentration haben.

### ■ Bushaltestellen

In der Nähe von Bushaltestellen sind die  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen erhöht. Die Standorte A4 und C4 befinden sich zum Beispiel direkt bei Bushaltestellen. Hätten wir dieselben Werte bei einer Messzeit von einem Jahr erhalten, würde der Jahresgrenzwert von 30 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft deutlich überschritten. Busse stossen viel  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$  aus, da sie meistens mit Dieselmotoren betrieben werden, die zwar weniger  $\text{CO}$  und  $\text{CO}_2$  ausstossen als Benzinmotoren, aber mehr  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ .

### Standorte A



### Standorte C

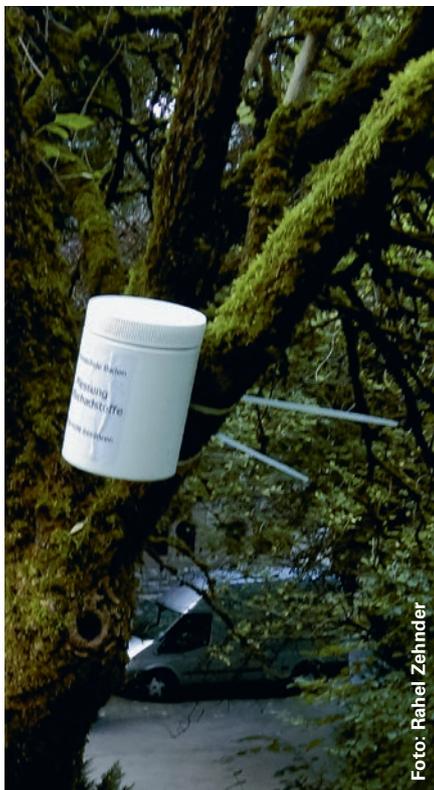
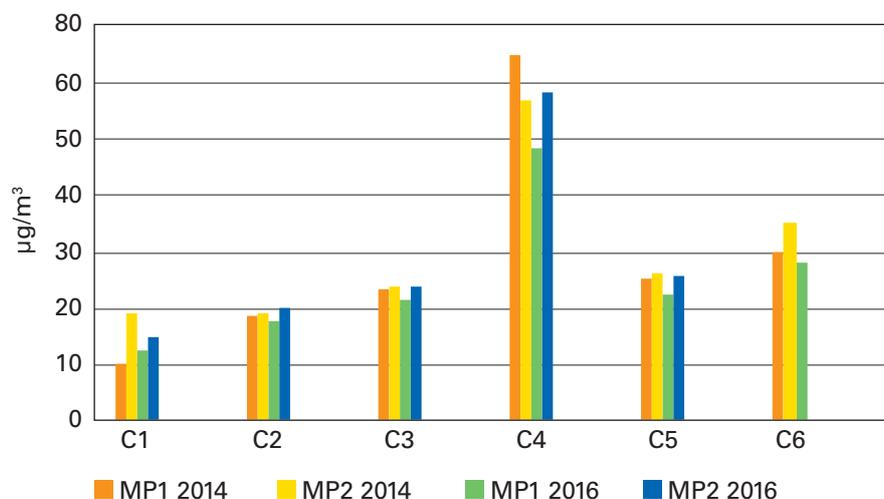
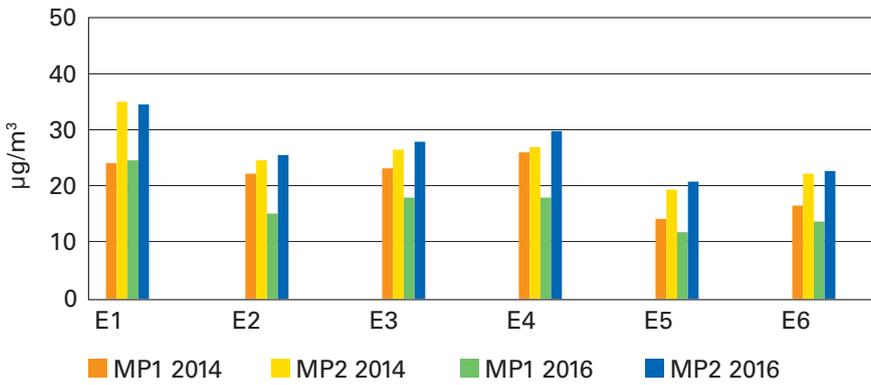


Foto: Rahel Zehnder

Je drei Messröhrchen befinden sich in einer Messglocke. An 30 Standorten wurden diese Messglocken in 2 Meter Höhe aufgehängt.

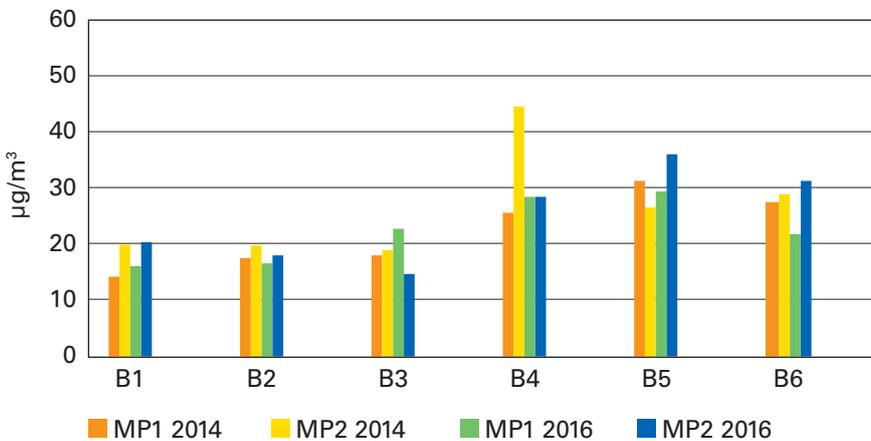
Die Standorte A4 und C4 befinden sich direkt bei Bushaltestellen. Busse sind meistens mit Dieselmotoren ausgerüstet, deshalb sind die Stickstoffdioxid-Konzentrationen in der Nähe von Bushaltestellen deutlich erhöht.

**Standorte E**



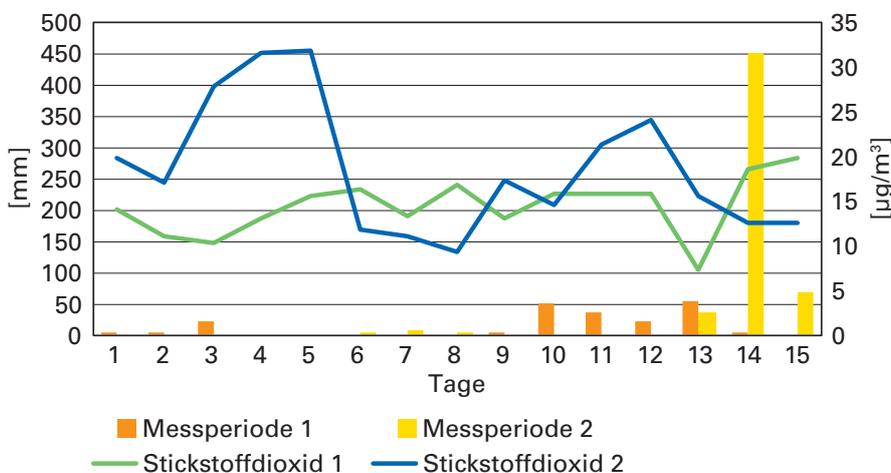
Je näher ein Messstandort an einer Emissionsquelle liegt, desto höher sind die Messwerte. E5 und E6 sind weiter von stark befahrenen Strassen entfernt, die Stickstoffdioxidkonzentrationen daher auch geringer als an den anderen Standorten.

**Standorte B**



Messstandorte, die von Vegetation umgeben sind, haben tiefere Werte als solche ohne Vegetation in der Nähe. B1 und B2 sind zum Beispiel von Vegetation umgeben, im Gegensatz zu B5.

**Niederschlag während der Messperioden 2016**



Regen wäscht Luftschadstoffe aus. Während der Messperiode 1 gab es mehr Regentage. Die Stickstoffdioxidkonzentration war folglich etwas geringer als in der Messperiode 2.

**Entfernung von Emissionsquellen**

Als Emissionsquellen gelten vor allem stark befahrene Strassen, da dort viel NO<sub>2</sub> durch Fahrzeuge ausgestossen wird. Je weiter ein Messstandort von Emissionsquellen entfernt war, desto tiefer waren die Werte. Dieser Zusammenhang ist besonders gut bei Gruppe E zu sehen. Dort sind E5 und E6 am weitesten von Emissionsquellen entfernt und E3 und E4 sind am nächsten.

C6 befindet sich direkt auf der Hochbrücke, einer stark befahrenen Brücke, und müsste folglich eine hohe NO<sub>2</sub>-Konzentration haben. Der Wert ist aber eher tief. Dadurch, dass der Standort auf einer Brücke ungeschützt dem Wind ausgesetzt ist, wird das NO<sub>2</sub> vermutlich vom Wind verfrachtet und die Konzentration so vermutlich gesenkt.

**Abschirmung durch Gebäude oder Vegetation**

Bei C3 sieht man auf der Karte, dass der Messstandort relativ nahe an der Strasse liegt. Daher müsste der Wert eigentlich erhöht sein. Das ist er aber nicht, weil sich der Messstandort in einem Innenhof befand und dadurch von den Emissionen durch Gebäude abgeschirmt war. Auch Messstandorte, die von Vegetation umgeben waren, hatten tiefere Werte als solche ohne Vegetation in der Nähe. B1 und B2 sind zum Beispiel von Vegetation umgeben im Gegensatz zu B5.

**Unterschiede Messperiode 1 und 2**

Die Werte der Messperiode 1 waren meistens ähnlich oder tiefer als diejenigen der Messperiode 2. An der Erhöhung der Werte in Messperiode 2 kann man den Einfluss des Wetters sehen. Regen senkt die Schadstoffkonzentration der Luft, er wäscht sie aus. In der Messperiode 1 gab es mehr Regentage und so wurde mehr NO<sub>2</sub> ausgewaschen als in der Messperiode 2. Gegen Ende dieser Messperiode regnete es zwar auch sehr stark. Sogar mehr als während der gesamten Messperiode 1. Aber da das erst gegen Ende war, hatte es keinen grossen Einfluss mehr auf unsere Messwerte. Wir haben auch den Wind in unsere Interpretationen mit einbezo-

gen, konnten aber keinen messbaren Einfluss feststellen, da es während unserer Messperioden kaum gewindet hatte.

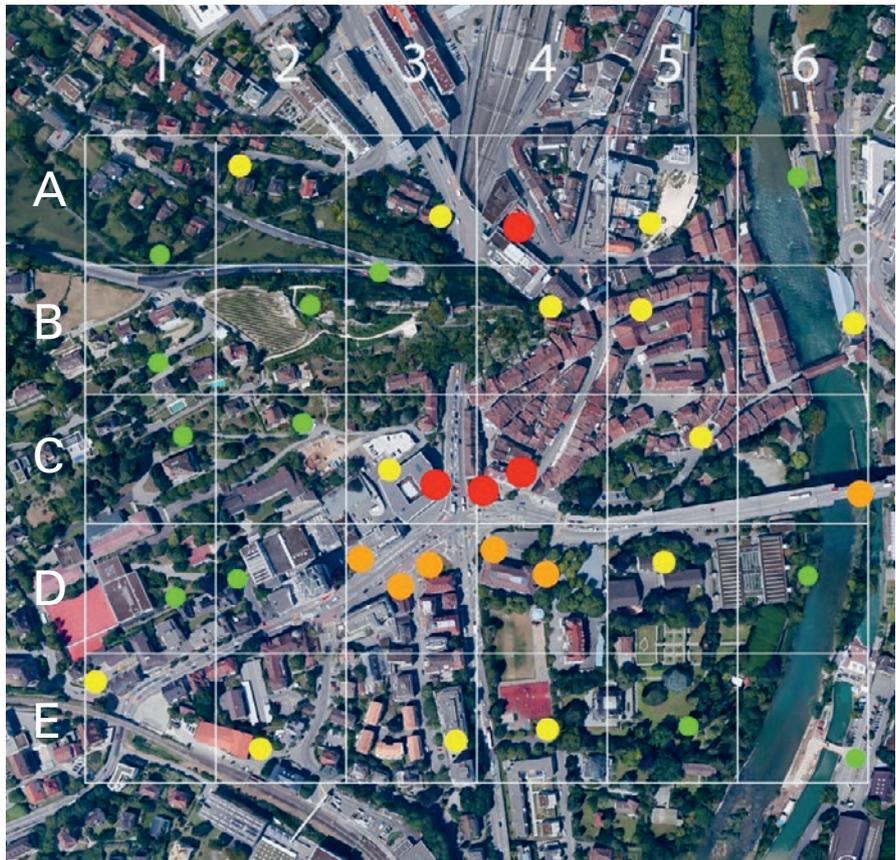
### Vergleich 2014 und 2016

Wenn man die Messungen von 2014 und 2016 vergleicht, sind kaum Unterschiede zu erkennen. Meistens sind die Werte recht ähnlich. Nur bei wenigen Standorten gab es Unterschiede. So zum Beispiel bei den Standorten A2, A3 und A4. Aber da hier nur eine der beiden Messperioden von 2016 höher ist als die von 2014, kann man darauf schliessen, dass es keine dauerhafte Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Konzentration gegeben hat, sondern einmalige Dinge – wie eine Baustelle in der Nähe – zu den erhöhten Werten geführt haben. Auch das Wetter während der Messungen 2014 und 2016 war sehr ähnlich, was eine direkte Interpretation der Daten zulässt.

Der Umbau des Schulhausplatzes hat folglich bis jetzt noch keinen wesentlichen Einfluss auf die NO<sub>2</sub>-Emissionen. Aktuell ist der Schulhausplatz eine grosse Baustelle, die für Stau sorgt. Da könnte man vermuten, dass die NO<sub>2</sub>-Konzentration eigentlich steigen müsste. Gleichzeitig meiden viele Autofahrer aber grosse Baustellen. Das führt zu weniger Autos und folglich auch zu weniger NO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese zwei Effekte gleichen sich im Moment möglicherweise ziemlich gut aus, was den NO<sub>2</sub>-Wert konstant hält.

### Fazit

An diesem Projekt kann man sehr gut sehen, dass die NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängt. Man kann nicht von einem Messstandort auf eine ganze Region schliessen, was die Stickstoffdioxidkonzentration betrifft. An manchen Standorten wird sogar der Grenzwert von 30 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft überschritten.



*Messergebnisse 2014: Die Werte der Messungen von 2014 und 2016 sind sehr ähnlich. Der Umbau des Schulhausplatzes hat bis jetzt keinen wesentlichen Einfluss auf die Stickstoffdioxidkonzentration in dieser Gegend.*

Diesen Artikel haben folgende Autorinnen und Autoren verfasst: Jacqueline Kaefer, Hildegard Kieninger, Alessa Müller, Oriane Capaul, Studierende der Kantonsschule Baden; Roger Deuber, Lehrperson. Der Artikel entstand in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Umwelt.

### Zusammenhang NO, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub>

In einem zusätzlichen Projekt ist eine Gruppe von Schülern der Fragestellung nachgegangen, wie der Zusammenhang von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>) aussieht. Mithilfe einer Luftmessstation, die Ozon und Stickoxide messen kann, wurden im Zeitraum von fast vier Wochen Messungen im Schwimmbad Baden durchgeführt.

Ozon hat bekanntlich zwei Gesichter: Einerseits schützt dasjenige in der Stratosphäre die Lebewesen auf der Erde vor den gefährlichen UV-Strahlen. Andererseits stellt das bodennahe Ozon, das durch Vorläufersubstanzen aus Verkehr, Industrie, Gewerbe und Haushalt entsteht, für das Leben eine Gefahr dar. Es greift die Atemwege an, was zu schwerwiegenden Erkrankungen führen kann. Eine weitere Absicht war also, die Badegäste des Schwimmbads Baden über die dortige Ozonbelastung zu informieren. Ozon entsteht durch die Spaltung von NO<sub>2</sub> durch UV-Strahlung. Dabei entsteht neben Ozon auch noch NO. NO reagiert mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) zu NO<sub>2</sub>, welches sich aufgrund von UV wieder in O<sub>3</sub> und NO spaltet.

Insgesamt wurden vier spezielle Ereignisse während der Messperiode genauer unter die Lupe genommen, um den Zusammenhang zwischen den Luftschadstoffen erkennen zu können: ein Standardtag, ein Regentag, ein Gewitter und ein Sonntagabend. Anhand von parallel gesammelten Wetterdaten zu Niederschlag, Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur machten sich die Studierenden ans Interpretieren.

Frühmorgens mit der aufgehenden Sonne, die UV-Strahlen mit sich bringt, und der Rushhour, die zu NO-Emissionen führt, steigt zunächst auch die NO<sub>2</sub>-Konzentration an. An sonnigen Tagen mit viel UV-Strahlung kann dies zur schnellen Bildung von hohen Konzentrationen an Ozon führen. So wird der Stundenmittelwert für Ozon von 120 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft im Sommer oft überschritten – vor allem an Hitzetagen, bei denen die Tageshöchsttemperatur über 30°C beträgt.

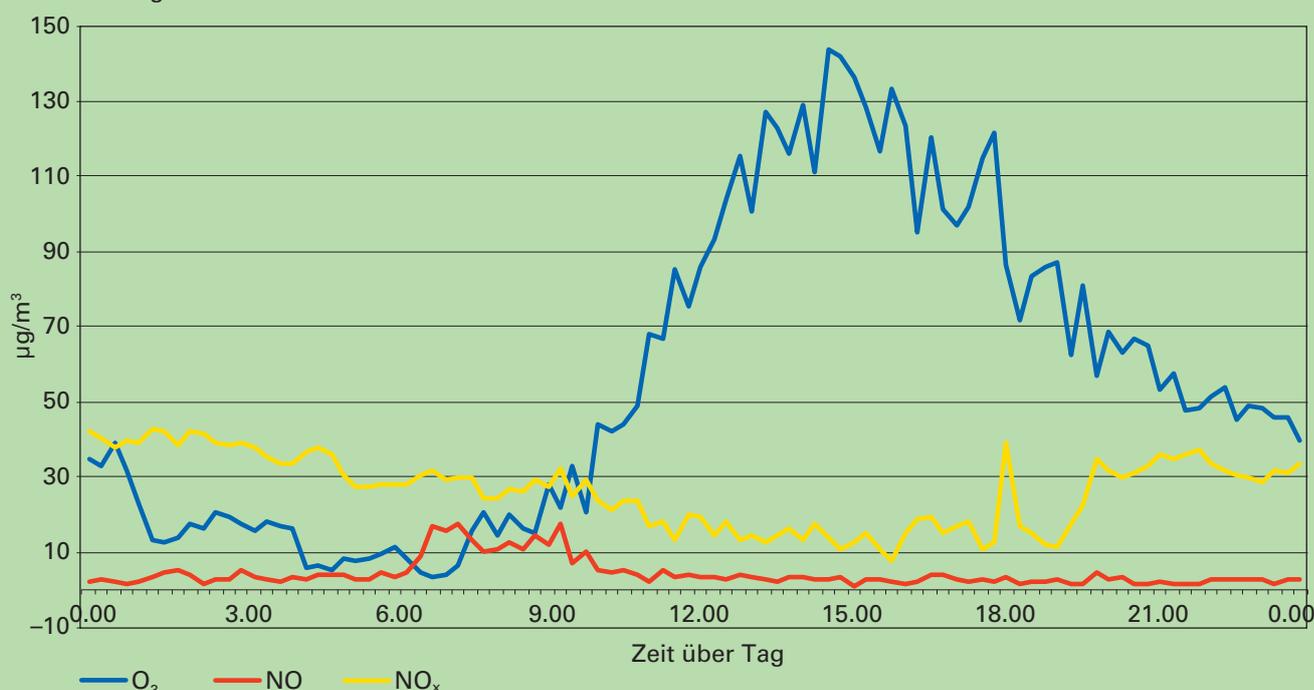
Durch kühler werdende Temperatur und schwächer werdende UV-Strahlung sinkt der Ozonwert am Abend wieder. Das Ozon reagiert mit NO zu NO<sub>2</sub>. Diesen Standardtag haben wir als Massstab genommen, um andere Wetterereignisse mit ihm vergleichen zu können.

An Regentagen sind die Ozonwerte viel tiefer, da die UV-Strahlung und die Temperatur viel niedriger sind. Aber auch an solchen Tagen steigt die NO-Konzentration während der Rushhour an und das NO reagiert schliesslich mit den VOCs zu NO<sub>2</sub>.

Ein Gewitter hat eine besondere Wirkung auf das Ozon. Durch die energiegeladenen Blitze wird stickoxidhaltige Luft vom Boden weit nach oben gesaugt, was dann zu erhöhter Ozonbildung führt, weil die dort kältere Temperatur sowie die erhöhte Feuchtigkeit und UV-Strahlung den Abbau der Stickoxid-Luft verlangsamen.

### Normaler Tagesverlauf von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>)

Standard-Tag 27. 8. 16



Mit steigender Sonneneinstrahlung am Nachmittag steigt der Ozongehalt in der Luft an. Am Abend sinken die Ozonwerte wieder. Das Ozon reagiert mit NO zu NO<sub>2</sub>.

