

Das interkantonale Luftmessnetz



Luftbelastung in der Zentralschweiz und im Kanton Aargau

**Sommerzeit – Ozonzeit:
Auswertungen 2000 und ein einfaches
Prognose-Modell**

Nummer 2, August 2001

Inhaltsverzeichnis



1. Einleitung	3
2. Ozon – einige Fakten	4
3. Grenzwerte und Empfehlungen	6
4. Auswertung der Ozondaten 2000	7
5. Prognose-Modell	8
6. Interpretation des Modells und weitere Informationen	10

Impressum

Herausgeberin

Zentralschweizer Umweltschutzdirektionen (ZUDK) in Zusammenarbeit mit dem Kanton Aargau

Aktuelle Informationen sind im Internet unter www.in-luft.ch/in-luft oder www.in-luft.ch/aargau verfügbar

Verantwortliche Redaktion

Amt für Umweltschutz Kanton Luzern, Telefon 041 228 60 60, afu@lu.ch

Kontaktstellen

Umweltschutzämter der Kantone

Luzern:	Postfach, 6002 Luzern,	Telefon 041 228 60 60,	afu@lu.ch
Nidwalden:	Engelbergstr. 34, 6371 Stans	Telefon 041 618 75 04	afu@nw.ch
Obwalden:	Postfach 1661, 6061 Sarnen	Telefon 041 666 63 27	umwelt.luft@ow.ch
Schwyz:	Postfach 2162, 6431 Schwyz	Telefon 041 819 20 35	afu.di@sz.ch
Uri:	Klausenstrasse 4, 6460 Altdorf	Telefon 041 875 24 21	afu@ur.ch
Zug:	Postfach, 6301 Zug	Telefon 041 728 53 70	info.afu@bd.zg.ch
Aargau:	Buchenhof, 5001 Aarau	Telefon 062 835 33 60	umwelt.aargau@ag.ch

Gestaltung

Hilfiker AG, Werbeagentur BSW, Luzern

1. Einleitung



Ozon – (k)ein Thema? Im Sommer bewegen sich die Ozonwerte flächendeckend nach wie vor auf einem hohen Niveau, auch wenn sie nicht mehr zuoberst auf der politischen Agenda stehen. Während bei den meisten Schadstoffen ein abnehmender Trend zu beobachten ist, kann dies beim Ozon nicht gesagt werden. Die Verhältnisse sind hier bedeutend komplizierter und die von Jahr zu Jahr unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen spielen eine grosse Rolle.

Die Ozonwerte werden in der Zentralschweiz und im Kanton Aargau an insgesamt 13 Stationen gemessen. Damit wird ein umfassender Überblick über die Ozonbelastung erreicht. Im vorliegenden Bericht «Sommerzeit – Ozonzeit: Auswertungen 2000 und ein einfaches Prognosemodell» wird die Ozonsituation in der Zentralschweiz und im Kanton Aargau beschrieben und auch ein einfaches Prognose-Modell vorgestellt, mit dem sich die maximalen Ozonwerte des folgenden Tages grob abschätzen lassen. Der Bericht und das Modell sollen dazu anregen, sich mit dem Thema Ozon näher zu befassen.

2. Ozon – einige Fakten



Um die Ozondaten verstehen und interpretieren zu können, sind einige Grundlagen in Erinnerung zu rufen. Ozon ist ein sogenannter Sekundärschadstoff, der nicht direkt emittiert, sondern erst in der Atmosphäre durch chemische Prozesse gebildet wird. Bei intensiver Sonneneinstrahlung wird aus den Primärschadstoffen Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) Ozon gebildet. Erhöhte Lufttemperaturen und intensive Sonneneinstrahlung begünstigen den Ablauf der Reaktion. Hohe Ozonkonzentrationen treten deshalb typischerweise während sommerlichen Hochdruckwetterlagen («Schönwetterperioden») auf.

Ozonbildung ist ein grossräumiger Prozess. Der Ausstoss der Primärschadstoffe ist in dicht besiedelten Orten besonders stark, weshalb die höchsten Ozonkonzentrationen in der näheren Umgebung von städtischen Agglomerationen auftreten. In der Zentralschweiz sind vor allem die Emissionen aus dem Grossraum Zürich und aus dem Raum Luzern und Zug von Bedeutung. Im Kanton Aargau spielen zudem Emissionen aus den Agglomerationen Basel und Aarau sowie aus der Region Baden Wettingen eine Rolle. Dazu kommen noch die Schadstoffverfrachtungen aus weiter entfernten Quellen.

Während eines typischen Sommertages werden die Primärschadstoffe in erster Linie durch den motorisierten Verkehr sowie durch Industrie und Gewerbe ausgestossen. Der motorisierte Verkehr trägt bei den Stickoxiden rund 75 % und bei den flüchtigen organischen Verbindungen rund 15 % zu den Emissionen bei. Die restlichen Emissionen stammen aus der Industrie und aus dem Gewerbe (ca. 25 % der NO_x , ca. 70 % der VOC) sowie zu einem geringen Anteil aus den Haushalten (15 % der VOC). Obwohl beide Primärschadstoffe eine Rolle spielen, wird die Ozonbildung doch massgeblich durch die NO_x -Konzentration bestimmt.

Ozon wirkt als Reizgas beim Menschen auf die Atemwege und das Lungengewebe und schränkt dadurch, vor allem bei empfindlichen Menschen, die Leistungsfähigkeit ein. Je höher die Konzentrationen sind, desto mehr Personen sind betroffen und um so stärker sind die Beschwerden. Der Grenzwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde so festgelegt, dass unterhalb dieser Schwelle keine Beschwerden zu erwarten sind, und zwar auch für empfindliche Personen. Bei Ökosystemen, Fauna und Flora treten ebenfalls keine Schäden auf, solange die Ozonkonzentrationen unter dem Grenzwert liegen.

Ozon ist der mit Abstand wichtigste direkt wirkende Luftschadstoff für die Vegetation. Es vermindert die Photosynthese-Leistung und damit das Wachstum der Pflanzen. Bei den heutigen Ozonbelastungen treten Schäden und Ertragseinbussen von 5 bis 15 Prozent an landwirtschaftlichen Kulturen auf. Auch die Forstwirtschaft ist betroffen. Ozon wirkt in Kombination mit anderen Schadstoffen als Stressfaktor für den Wald. Hier spielt vor allem die Ozon-Dosis, d. h. die während einer bestimmten Zeit vorhandene Gesamtbelastung eine besondere Rolle. Aus diesem Grund wurden auch Richtwerte und Empfehlungen für die Ozon-Dosis festgelegt.

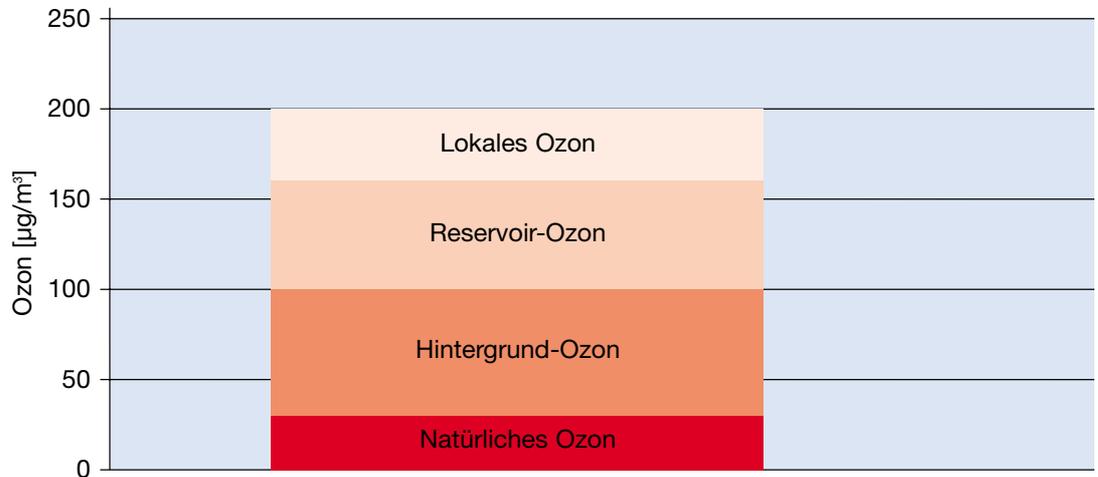
Die Ozonwerte werden stark durch die Ozonbelastung des Vortags bestimmt, sie «haben ein Gedächtnis». Der Grund dafür liegt darin, dass während der Nacht das Ozon nur in den bodennahen Schichten abgebaut wird, in den darüberliegenden Schichten aber bestehen bleibt. Dieses sogenannte «Reservoir-Ozon» kann auf der Alpen-Nordseite bis zu $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen.

Das im Verlauf eines Tages lokal produzierte Ozon macht einen relativ geringen Anteil an der Gesamtbelastung aus. Bei Spitzenwerten von rund $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt er nur rund $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das lokale Ozon und das Reservoir-Ozon machen zusammen aber erst etwa die Hälfte der gemessenen Ozonwerte aus. Der restliche Beitrag setzt sich aus dem sogenannten «Hintergrund-Ozon», das im wesentlichen durch die europäischen Emissionen bestimmt ist, und aus einer natürlichen Ozonbelastung zusammen.

2. Ozon – einige Fakten



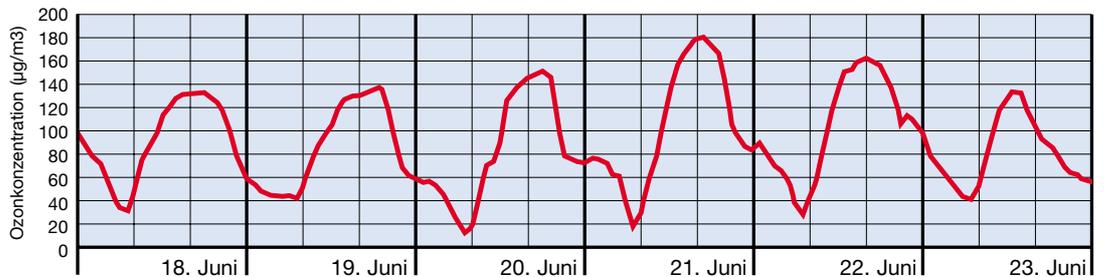
Woher kommt das Ozon? Aufteilung einer gemessenen maximalen Ozonbelastung eines Sommernachmittags nach ihrer Herkunft.



Quelle: BUWAL, Troposphärisches Ozon, Schriftenreihe Umwelt Nr. 277, 1996, S. 24

Das «Reservoir-Ozon» ist auch für den Anstieg der Ozonkonzentrationen während einer länger dauernden Schönwetterperiode verantwortlich. Es bildet einen Grundstock an Ozon, auf dem die Ozonbildung des neuen Tages aufbaut.

Ozonperiode vom 18. bis 23. Juni 2000



— Mittelwert aller Messorte

Ozon weist einen typischen Tagesgang auf, der einerseits durch die Emissionen der Vorläuferstoffe und andererseits durch den Verlauf der Temperatur und die Reaktions- bzw. Transportzeiten bestimmt wird. Die maximalen Ozonwerte werden im Verlauf des späteren Nachmittags gemessen.

Neben der Temperatur und der Sonneneinstrahlung stellen die Windverhältnisse einen weiteren meteorologischen Einflussfaktor dar. Wenn grosse Windgeschwindigkeiten vorherrschen, werden die Luftschadstoffe stärker verdünnt. Das ist zum Beispiel bei Föhn zu beobachten, wo trotz relativ hohen Temperaturen nur geringe Ozonwerte gemessen werden.

3. Grenzwerte und Empfehlungen

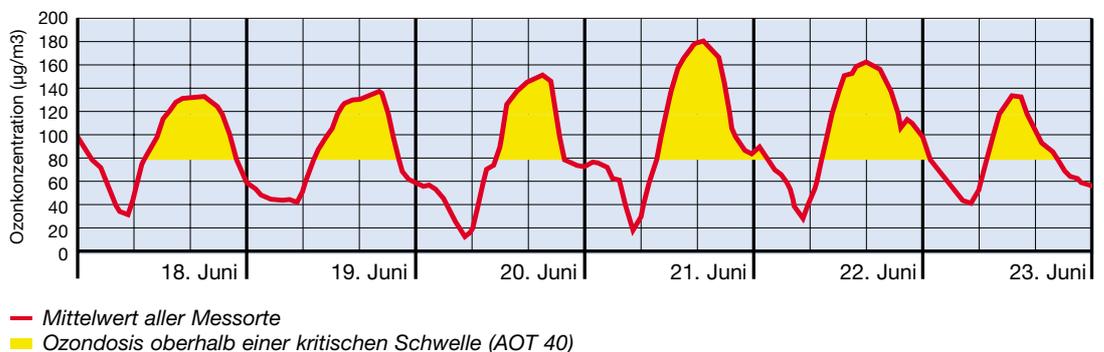


Die Grenzwerte der schweizerischen Luftreinhaltung sind in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) festgelegt. Für die Diskussion der kurzfristigen Ozonbelastung ist vor allem der Grenzwert für das Stundenmittel von Bedeutung. Der Wert beträgt $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und darf höchstens während einer Stunde im Jahr überschritten werden. Er wird jedoch grossräumig und während einiger hundert Stunden pro Jahr überschritten.

Neben diesen Grenzwerten bestehen auch internationale Empfehlungen. Ihnen kommt nicht die gleiche rechtliche Bedeutung zu, sie spiegeln aber den Stand des Wissens und sie vereinheitlichen auch die internationalen Normen. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat das Konzept der kritischen Belastungsgrenzen (Critical Levels) übernommen und entsprechende Grenzwerte in ihre Luftqualitätsrichtlinien für Europa aufgenommen.

Die kritischen Belastungsgrenzen sind so festgelegt, dass unterhalb dieser Werte keine längerfristigen Schäden an der Vegetation zu erwarten sind. Die Ozondosis wird für die jeweiligen Vegetationsperioden bestimmt, für landwirtschaftliche Kulturen während der Monate Mai bis Juli und für Wälder von April bis September. Es werden jeweils nur die Tagesstunden berücksichtigt. Bei der Berechnung der Ozondosis werden diejenigen Stunden berücksichtigt, bei denen die Ozonwerte eine bestimmte Schwelle übersteigen. Die Schwelle wurde bei 40 ppb (ungefähr $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) festgelegt, weshalb dieser Wert auch als AOT40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) bezeichnet wird. Der Wert für die kritische Belastung bzw. Dosis beträgt 3 ppmh (ppm-Stunden) bei landwirtschaftlichen Kulturen und 10 ppmh bei Wäldern. Die Werte werden mit Ausnahme städtischer Standorte und solcher, die direkt neben einer Hochleistungsstrasse (z. B. Autobahn) liegen, um 30 % bis über 100 % überschritten.

Ozonperiode vom 18. bis 23. Juni 2000



4. Auswertung der Ozondaten 2000



Die Ozonwerte waren auch im Jahr 2000 flächendeckend übermässig. Der Stundenmittelwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde je nach Standort während rund 40 bis rund 300 Stunden überschritten. Die maximalen Ozonwerte betragen 150 bis $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sowohl die Anzahl der Überschreitungen als auch die maximal erreichten Ozonwerte lagen deutlich über den entsprechenden Daten des Vorjahres. Diese Zunahme ist hauptsächlich durch die günstigeren meteorologischen Verhältnisse für die Ozonproduktion zu erklären.

Standort	Standort-typ	Anzahl Überschreitungen des 1h-Mittelwerts	maximaler Ozonwert	Kommentar
Altdorf Gartenmatt		187	176	Obwohl im direkten Einflussbereich der Autobahn viele Primärschadstoffe vorhanden sind, welche zum Abbau von Ozon führen, ist die Ozonbelastung hoch. Das lässt auf einen grösserräumigen Transport schliessen.
Luzern Sedel		309	193	Die hohen Emission von Primärschadstoffen in der Agglomeration Luzern führen zu häufigen Überschreitungen des 1h-Grenzwertes in der näheren Umgebung.
Zug Postplatz		120	226	Im Sommer wird die Messstation oft von «Seeluftmassen» beeinflusst. In solchen Situationen ist die Konzentration der Primärschadstoffe tief und diejenige der Sekundärschadstoffe erhöht. Aus diesem Grunde kann die Ozonkonzentration an diesem Standort im Sommer sehr hohe Werte annehmen. Dies ist jedoch eher atypisch für einen stark verkehrsbeeinflussten Messstandort.
Suhr Bärenmatte		118	201	Die hohen Emission von Primärschadstoffen rühren von dem stark verkehrsbeeinflussten Messstandort her. Der Höchste in diesem Jahr gemessene Stundenmittelwert ist eher atypisch für diesen Standort.
Luzern Museggstrasse 7a		82	165	Stadtstandort mit typischer, relativ tiefer Belastung und vergleichsweise wenigen Überschreitungen des 1h-Mittelwertes
Schwyz Rubiswilstrasse		205	208	Regionale Belastung ohne bedeutende Quellen von Primärschadstoffen
Baden Schulhausplatz		44	152	Stadtstandort mit typischer, relativ tiefer Ozonbelastung und vergleichsweise wenigen Überschreitungen des 1h-Ozon-Mittelwertes
Stans Engelbergerstr. 34		218	187	Regionale Belastung ohne bedeutende Quellen von Primärschadstoffen
Feusisberg Schulhaus		299	191	Dieser Messstandort wird kaum durch direkt einwirkende Emissionsquellen beeinflusst. Er liegt jedoch im Einflussbereich des Grossraumes Zürich und der A3. In der Ozonsaison führt dies zu einer hohen Ozonbelastung.
Schüpfheim Chlosterbüel		221	165	An diesem Standort wird vorwiegend das regional produzierte Ozon gemessen, da im Entlebuch verhältnismässig wenig grosse Primärschadstoff-Quellen vorhanden sind. Die lokale Ozonproduktion wird zum Teil von der oft herrschenden Quellbewölkung über den Voralpen Anfangs Nachmittag eingeschränkt. Zum Teil herrscht ein ausgeprägtes Tal/Bergwind System vor, welches zu einer Verfrachtung der Luftmassen führt.
Suhr Distelmatte		228	196	Gegenüber dem Standort Suhr Bärenmatte ungefähr doppelt so viele Überschreitung des 1h-Mittelwertes.
Sisseln Areal Firma Roche		241	188	Dieser Standort wird aus dem Grossraum Basel beeinflusst. Zudem begünstigt das milde Klima der Rheinebene die Ozonproduktion
Lungern Schönbüel (Turren)		69	161	Der alpine Charakter dieses Standortes beeinflusst auch die Ozonbelastung. Auf dem Plateau der Zwischenstation Turren sind keine Primärschadstoff-Quellen vorhanden. Das Ozon wird durch den Wind herantransportiert. Der natürliche Ozonpegel ohne menschliche Einwirkung würde im Sommer bei ca. $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen

5. Prognose-Modell



Mit Hilfe einer statistischen Analyse der Ozonwerte des Jahres 2000 haben wir ein einfaches Prognose-Modell entwickelt, mit dem wir interessierten Personen die Möglichkeit geben wollen, sich etwas näher mit der Entwicklung der Ozonkonzentration zu befassen. Es kann in Schulen oder in Weiterbildungskursen verwendet werden und stützt sich auf Informationen ab, die für alle Personen einfach zugänglich sind. Mit dem Blick in die Homepage der in-Luft (www.in-luft.ch resp. www.in-luft.ch/aargau) und in die Wetterprognose kann der maximale Ozonwert des nächsten Tages abgeschätzt werden. Die Prognose kann dann mit dem Messwert des folgenden Tages verglichen werden. Eine exakte Prognose mit dem vorgeschlagenen Modell ist nicht möglich, aber dies ist auch nicht das Ziel des Modellansatzes. Die Bestrebungen waren, ein Modell zu entwickeln, welches mit den heutzutage weitverbreiteten Hilfsmitteln und dem Fachverständnis der breiten Bevölkerung genutzt werden kann. In Zukunft wird der Modellansatz weiter verbessert werden, indem die zukünftigen technischen Entwicklungen entsprechend eingesetzt werden.

Aus den Informationen über die Zusammenhänge bei der Ozonbildung ist zu erwarten, dass die Ozonwerte massgeblich von der Meteorologie, im Speziellen von der Sonneneinstrahlung und vom Ozon des Vortages abhängen werden. Sie sind selbstverständlich auch von den Emissionen abhängig, insbesondere von den NO_x-Emissionen. Eine Auswertung von Ozonmessungen im MisoX im Kanton Graubünden hat gezeigt, dass die Ozonwerte mit den NO_x-Emissionen des Vortages und des Vormittags des betrachteten Tages korrelieren. Diesen Zusammenhang haben wir weggelassen und uns vereinfachend nur auf den Einfluss des Wetters beschränkt.

Für die statistische Auswertung wurden die Ozonwerte der Stationen verwendet, bei denen auch Wetterdaten erhoben wurden. Es handelt sich um die Stationen Altdorf, Schwyz und Sedel. Bei den Meteodaten standen Halbstundenmaximalwerte der Temperatur, der Globalstrahlung und der Windgeschwindigkeit sowie die Halbstundenwerte der mittleren Windrichtung zur Verfügung. Es wurden nur jene Tage für die Auswertungen berücksichtigt, an denen sämtliche Parameter (inkl. Ozonwert des Vortages) aufgrund von vollständig vorhandenen Halbstundenwerte berechnet werden konnten. Insgesamt wurden 394 Datensätze für die Berechnungen eingesetzt.

Mit einem linearen Modell, welches die Ozonwerte des Vortages, sowie Prognosen für die Globalstrahlung und das Temperaturmaximum des folgenden Tages enthält, können rund 75% der Variation der gemessenen Ozonwerte erklärt werden. Wenn der Einfluss der Globalstrahlung weggelassen wird, lässt sich das Modell noch weiter vereinfachen, ohne an Qualität grundsätzlich einzubüssen. Mit dem einfachen Modell lassen sich immer noch rund 65% der Streuung erklären. Es ist im Übrigen auch zu erwarten, dass Globalstrahlung und Temperatur eng zusammenhängen!

5. Prognose-Modell



Prognosemodell zur Berechnung der maximalen Ozonkonzentration des folgenden Tages.

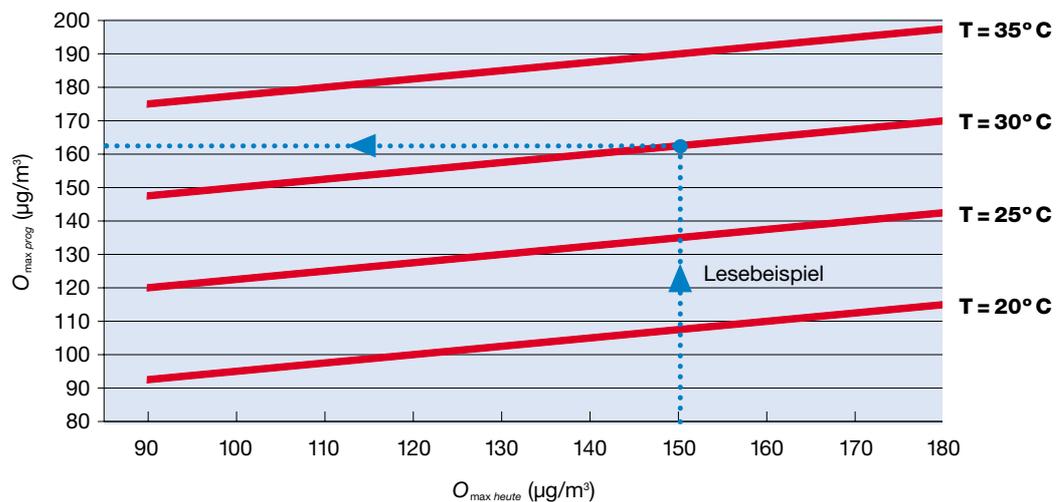
$$O_{\max \text{ prog}} = \frac{O_{\max \text{ heute}}}{4} + 5.5 * T_{\max \text{ prog}} - 40$$

$O_{\max \text{ heute}}$ Heute gemessene maximale Ozonkonzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$O_{\max \text{ prog}}$ Am nächsten Tag zu erwartende maximale Ozonkonzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$T_{\max \text{ prog}}$ Für den nächsten Tag prognostiziertes Temperaturmaximum in Grad Celsius

Das Modell gilt für Tage mit einer Temperatur über 18° Celsius, d. h. für Tage, an denen überhaupt mit Ozon zu rechnen ist. Die Grafik zeigt die Werte des Prognosemodells in leicht lesbarer Form. Ausgehend von der maximalen Ozonkonzentration heute ($O_{\max \text{ heute}}$, x-Achse) und der Prognose für die maximale Temperatur des folgenden Tages, kann der Wert für die maximale Ozonkonzentration des folgenden Tages ($O_{\max \text{ prog}}$, y-Achse) abgelesen werden.



Lesebeispiel

Liegt die maximale Ozonkonzentration heute bei $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und ist für morgen eine Temperatur von 30°C zu erwarten, so ergibt sich aus dem Modell eine maximale Ozonkonzentration von ca. $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den folgenden Tag.

Um den Wert von $O_{\max \text{ heute}}$ für einen Standort der Sie interessiert zu bestimmen, besuchen Sie www.in-luft.ch oder www.in-luft.ch/aargau. Auf der **Hauptseite** gelangen Sie direkt zu allen Stationen, und unter **Messnetz** erhalten Sie die Informationen zu einzelnen Standorttypen.

6. Interpretation des Modells und weitere Informationen



Ein statistisches Modell stellt in Anbetracht der komplexen Zusammenhänge eigentlich einen erstaunlich guten Ansatz dar! Mit zwei Parametern lassen sich immerhin rund zwei Drittel der Variation erklären mit einem 95%-Vertrauensintervall von rund $\pm 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Das Modell soll vielmehr ein Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Ozonbildung und Meteorologie schaffen und zu einer vertieften Auseinandersetzung mit der Ozonthematik anregen.

Ein flächenhaftes Bild über die Ozonsituation in der Schweiz und die qualitative Entwicklung für den nächsten Tag vermittelt die Website von METEOTEST (www.meteotest.ch/lrh/ozon.html). Im Auftrag des BUWAL wird täglich eine Ozonkarte mit den Werten der Nachmittagskonzentrationen erstellt. Die Ozon-Stundenwerte von 15 bis 16 Uhr werden von einzelnen kantonalen Luftreinhaltefachstellen und vom NABEL (nationales Beobachtungsnetz für die Luftqualität) zur Verfügung gestellt.

Zudem steht allen Interessierten seit kurzem ein Ozon-SMS Dienst zur Verfügung. Die Ozonbelastung kann über das Keyword ozon «Kantonskürzel» und der Zielnummer 6966 abgerufen werden z. B. «ozon ag» oder «ozon zg».

Die Ozondaten per SMS stehen im Moment in den Kantonen AG, BL, BS, LU, NW, OW, SZ, UR und ZG zur Verfügung. Der Service kostet pro SMS 30 Rappen.