**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
**Band:** 78 (1986)
**Heft:** 5-6

**Artikel:** Bildung und Verfrachtung von Ozon und anderen Photooxidantien
**Autor:** Moser, Werner
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-940852

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 08.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Bildung und Verfrachtung von Ozon und anderen Photooxidantien

Werner Moser


## Zusammenfassung

*Photooxidantien im Smog sind sekundäre Luftschadstoffe. Das heisst, sie werden aus den primären Luftschadstoffen wie $NO_X$ und $C_XH_Y$ bei Anwesenheit von Sonnenlicht gebildet. Wichtige Zwischenprodukte und Vorläufersubstanzen sind Vertreter aus der Hydroxylgruppe (-O-H), das Hydroxidradikal 'OH und Peroxide, z.B. $HO_2$. $NO_X$ wirken hauptsächlich katalytisch, wogegen die $C_XH_Y$ gewissermassen als «Brennstoffe» dienen. Die Bildungsmengen sind abhängig von der Sonnenlichtintensität, Sonnenscheindauer, Temperatur, Anfangs- resp. Restkonzentration und von den Konzentrationen der Primärsubstanzen. Die Maximalkonzentrationen der Photooxidantien treten oft in gewisser Entfernung von den Primärschadstoffquellen auf (je nach Wind). Sie betragen bei uns im schweizerischen Mittelland bei entsprechenden Wetterlagen gegenwärtig das 5-(Ozon) bis 10-(PAN)fache der Reinluftwerte.*

## Résumé: Formation et transport de l'ozone et d'autres photooxydants

*Les oxydants photochimiques du Smog sont des pollutants secondaires. Cela veut dire qu'ils sont créés par des pollutants primaires ($NO_X$ et $C_XH_Y$) sous l'influence de la lumière de soleil. Les produits intermédiaires importants et les substances précurseures sont des représentants du groupe organique hydroxyl (-O-H), le radical hydroxyd 'OH et des péroxydes, par exemple $HO_2$. Généralement les $NO_X$ agissent catalytiquement tandis que les $C_XH_Y$ servent comme «combustibles». Les quantités produites dépendent de l'intensité et de la durée de la lumière du soleil, de la température, des concentrations des pollutants au début de la phase active et de la proportion relative des émissions de pollutants primaires. Les concentrations maximums des oxydants photochimiques apparaissent souvent à une certaine distance des sources des pollutants primaires (dépendant du vent). Sur le plateau suisse dans des conditions météorologiques typiques, ces concentrations sont actuellement 5-(ozone) – 10-(PAN) fois au-dessus de la valeur de l'air non-pollué.*

## Summary: Formation and Transport of Ozone and Other Photochemical Oxidants

*Photochemical oxidants ($O_3$, PAN, HCHO) are the typical pollutants in photochemical smog. They can be formed as the result of the sunlight induced oxidation of precursor pollutants emitted into the atmosphere ($NO_X$, $C_XH_Y$). Other important precursor substances and reactive intermediates are compounds of the organic hydroxyl groupe (-O-H, for instance the methoxy radical $CH_3O$), hydroxyl radical 'OH, hydroperoxy radical $HO_2$ and singlet oxygen O. For the production of photochemical oxidants in smog, especially ozone, $NO_X$ primarly act as catalysator. But $C_XH_Y$ serve as "combustibles". The quantities of the several formed photooxidants are mainly dependent on intensity and duration of daily sunshine, temperature, oxidant concentrations at the beginning of a build-up period and on emission rates and concentrations of primary pollutants (NO, $C_XH_Y$). Maximum mixing ratios of secundary pollutants often occur at certain distances downwind of primary pollutant sources, dependent on meteorological conditions (wind velocity, rel. humidity, etc.) and on rate constants for oxidant formation cycles.*

*During the period of July 5-11, 1984, for instance, 6 kilometers SW from Zurich we found maximum ground-level mixing ratios of about 150 ppbv ozone, 4 ppbv PAN and 9 ppbv formaldehyde, that is 5 (ozone) to 10 (PAN) times above the supposed oxidant concentrations of unpolluted continental air. The increase in ozone in the late morning and early afternoon is accompanied by an increase in PAN and HCHO and by a decrease in $NO_X$. This shows that in this case HCHO originates from photochemical reactions rather than being emitted directly to the atmosphere from vehicles. At this episode aircraft observations of ozone at altitudes of 400 to 800 meters above ground and up to 100 kilometers far from Zurich show a continuous daily increase in the mixing ratio during the afternoon. From the beginning of the measuring period (July 5) with 50 ppbv it increased up to 80 ppbv (July 9). In the afternoon of the same 9th of July the maximum $O_3$ value of above 160 ppbv was reached 10 km downwind of Zurich.*


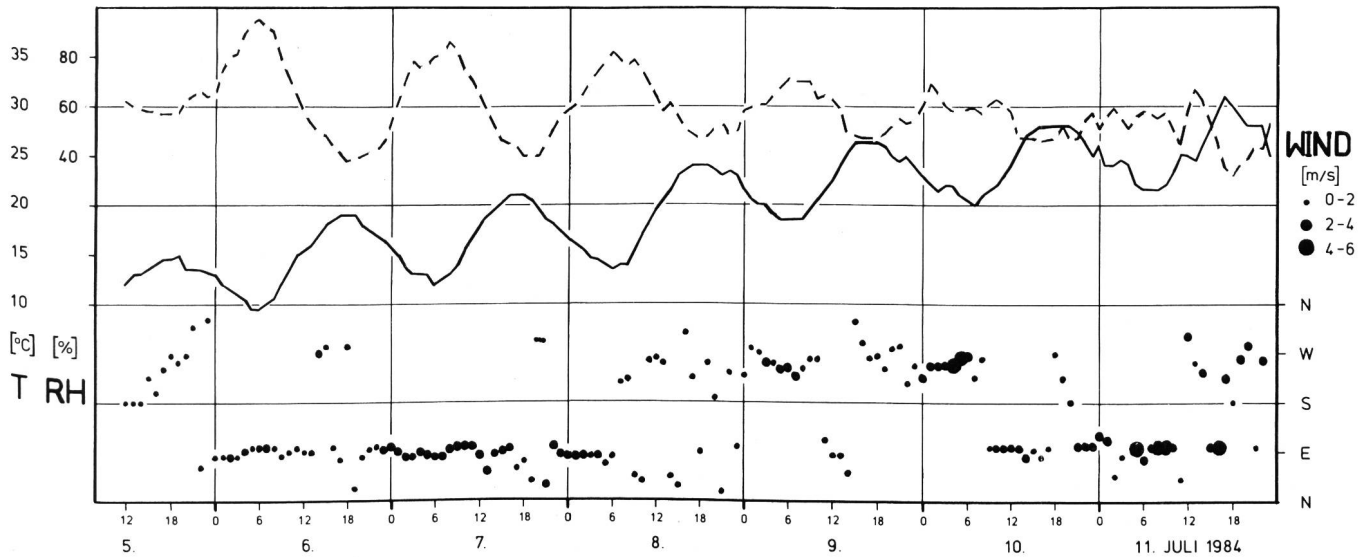


Bild 1. Verlauf von Temperatur (———), relativer Feuchtigkeit (– – – – – –) und Wind während der sommerlichen Schönwetter- und Photosmoglage vom 5. bis 11. Juli 1984 auf dem Albis (745 m ü.M.), 6 km südwestlich vom Stadtzentrum Zürich entfernt.

## *Begriffserklärung: Photooxidantien, Photosmog*

Photochemische Oxidantien, kurz *Photooxidantien,* werden durch *sonnenlichtinduzierte* Oxidationsvorgänge in der Atmosphäre aus Vorläufersubstanzen gebildet. Die Vorläufersubstanzen sind vielfach selbst Luftfremdstoffe, die als Spurengase zum Beispiel durch Verbrennungsprozesse (hauptsächlich fossiler Brennstoffe wie Erdöl, Kohle, aber auch gegenwärtiger Biomasse wie Holz) direkt in die Atmosphäre emittiert werden. Da auch sie schon auf Mensch, Tier und Pflanzen schädigend wirken können, nennt man sie primäre Schadstoffe. Photooxidantien sind demzufolge sekundäre Luftschadstoffe; durch ihre oft stark oxidierende Wirkung sind sie in manchen Fällen reaktionsfreudiger, aggressiver und somit schädlicher als die primären Schadstoffe NO, CO, $C_xH_y$, $SO_2$ usw.

Der *Photosmog* wird durch das Vorhandensein von sekundären Luftschadstoffen, die durch sonnenlichtinduzierte chemische, sogenannte photochemische Reaktionen entstehen, charakterisiert. Bekanntester Vertreter der Photooxidantien im Photosmog ist Ozon ($O_3$). Andere, hier speziell erwähnte sind Peroxiacetylnitrat (PAN) und Formaldehyd (HCHO). Für die Beurteilung des Ausmasses von Photosmog ist die Zunahme (Bildungsfaktor) einzelner Photooxidantien gegenüber Reinluftverhältnissen von massgebender Bedeutung. In dieser Beziehung ist PAN der beste Indikator für Photosmog. PAN kommt zwar nach neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen und Vermutungen (*Sing* and *Hanst* 1981) auch in unverschmutzter troposphärischer Luft vor, aber bloss in sehr geringen Mischungsverhältnissen von 0,2 bis 1 ppbv. Dafür wird es im Verhältnis zum Ozon bis zu einem Faktor 10 stärker gebildet. Denn Ozon in der Troposphäre besitzt bereits eine bedeutende natürliche Quelle in der Stratosphäre, der eigentlichen Ozonschicht, woher durch grossräumige Transportvorgänge ozonreiche Luftmassen durch die Tropopause in die Troposphäre eindringen. Das führt im Sommer in mittleren Breiten zusammen mit dem in Reinluftverhältnissen sonst herrschenden photostationären chemischen Gleichgewicht zwischen NO, $NO_2$ und $O_3$ und mit weiteren homogenen photochemischen Gasphasenprozessen zu Ozonmischungsverhältnissen in unverschmutzter Luft von 20 bis 40 ppbv. Damit ist Ozon als Photosmogindikator weniger geeignet als PAN. Über Formaldehyd in Reinluft ist noch zu wenig bekannt. Als Photosmogindikator ist es aber kaum geeignet, da es zugleich primärer als auch sekundärer Luftfremdstoff ist. Denn es wird auch durch Verbrennungsvorgänge fossiler Brennstoffe direkt in die Atmosphäre emittiert.

## *Reinluftprozesse*

Das aus der Stratosphäre in der Troposphäre vorhandene Ozon kann auf zwei Arten photodissoziiert werden:

(R1b) $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$ mit $\lambda < 1110$ nm

(R1a) $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O^*$ mit $\lambda < 310$ nm

Das bei der energiereicheren Strahlung, bei Wellenlängen kleiner 310 nm entstehende aktivierte Sauerstoffatom $O^*$ kann durch Stossreaktion mit irgendeinem Luftteilchen M desaktiviert werden.

(R2) $O^* + M \rightarrow O + M$

Die atomaren Sauerstoffteilchen (O) bilden zusammen mit molekularem Sauerstoff ($O_2$) im Dreierstoss (notwendig zur Erhaltung von Energie- und Impulssatz) wieder Ozon.

(R7) $O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$

Betrachtet man die Reaktionen (R1), (R2) und (R7), so wird netto durch die Photodissoziation (R1) kein Ozonmolekül aus der Atmosphäre entfernt. Der Nettoverlust eines Ozonteilchens kann zum Beispiel durch Reaktionen (R3), (R4) verursacht werden, wo Hydroxidradikale ('OH) gebildet werden, die selbst wieder direkt Ozonmoleküle vernichten können.

(R3) $O^* + H_2O \rightarrow 2OH$

(R4) $O^* + CH_4 \rightarrow CH_3 + OH$

Wesentlich für das Verständnis der photochemischen Vorgänge in Reinluft ist das Vorhandensein geringer Mengen von Stickstoffmonoxid natürlicher Herkunft (Gewitter, biologische Prozesse im Boden, Verbrennung von Biomasse beispielsweise durch Waldbrände usw.). Denn NO reagiert mit Ozon sehr schnell zu Stickstoffdioxid ($NO_2$) und Sauerstoff ($O_2$) (R5), worauf $NO_2$ seinerseits schnell zu NO und atomarem Sauerstoff photodissoziiert (R6).

(R5) $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$ k

(R6) $NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$ j = Photodissoziationsrate

(R5), (R6), (R7) laufen so schnell ab, dass sie tagsüber stets im photostationären Gleichgewicht sind:

$$\frac{(O_3)\,(NO)}{(NO_2)} = \frac{j}{k}$$ j ist strahlungsabhängig!

Hauptsächlich initiiert durch die aus (R3) und (R4) hervorgegangenen Hydroxidradikale ('OH) konkurrieren nun einige Reaktionen von Methan ($CH_4$), Kohlenmonoxid (CO) und ihren Folgesubstanzen ebengenanntes schnelles Gleichgewicht zwischen NO, $NO_2$ und $O_3$, was zur Umwandlung von NO in $NO_2$ ohne Zerstörung eines Ozonmoleküls Anlass gibt (*Logan* 1981). Solcherart entstandenes $NO_2$ kann nun via Photodissoziation (R6) und (R7) zur Nettoproduktion von Ozonmolekülen führen. Es ist klar, dass diese Vorgänge in bezug auf Ozonbildung und -zerstörung in Reinluft abhängig sind von den in die Atmosphäre gebrachten Vorläufersubstanzen NO, CO, $CH_4$: Beträgt die $NO_X$-Backgroundkonzentration um die 30 pptv, so sind $O_3$-Produktion und -Zerstörung etwa ausgeglichen, darüber findet je nach Gehalt an CO, $CH_4$ und anderen Kohlenwasserstoffen die genannte $O_3$-Nettoproduktion statt.

Nachts spielen natürlich mangels Sonnenlicht ganz andere Prozesse, vor allem Abbauvorgänge, eine Rolle. Durch rein homogene chemische Vorgänge wird Ozon nachts hauptsächlich via verschiedene Stickoxidreaktionsketten entfernt. Infolge der geringen Stickoxidkonzentrationen ist jedoch dieser, im Vergleich zum direkten Abbaumechanismus der «trockenen Deposition» (Ablagerung durch Oberflächenkontakt, läuft Tag und Nacht ab) und im Gegensatz zu verschmutzter Luft, von untergeordneter Bedeutung. Das heisst, dass tageszeitliche Schwankungen des Ozons mit Ausnahme der Schicht in unmittelbarer Bodennähe nicht zu erwarten sind, da die photochemische Halbwertszeit des troposphärischen Ozons zwischen mehreren Tagen bis 3 Monaten beträgt, je nach Höhe und geographischer Breite.

Zusammenfassend lässt sich über den mittleren Ozongehalt in Reinluft sowohl der planetaren Grenzschicht als auch der gesamten Troposphäre sagen, dass er ohne die homogenen chemischen und photochemischen Gasphasenreaktionen nicht erklärt werden kann. Er setzt sich zu je etwa der Hälfte aus stratosphärischem und photochemisch gebildetem Ozon zusammen. Massgebend verantwortlich für die photochemische Ozonbildung in Reinluft sind die ungeraden Sauerstoffteilchen (O, $O^*$, $O_3$), also insbesondere Ozon aus der Stratosphäre.

## *Photosmogchemie*

Anthropogen stark beeinflusste Gebiete unterscheiden sich von Reinluftgebieten in der Vielzahl neuer Spurengase,

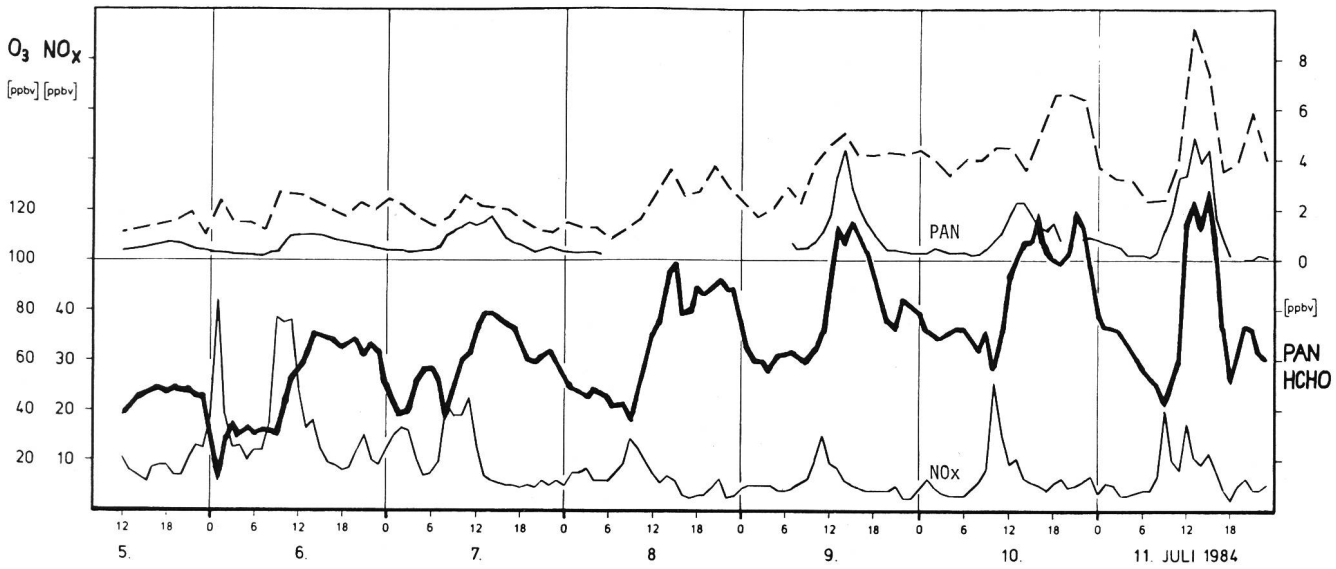


Bild 2. Verlauf von $NO_x$ (———) und typischer Aufbau und Tagesgang der Photooxidantien $O_3$ (▬▬▬), PAN (———), HCHO (– – – – – –) während der Photosmoglage vom 5. bis 11. Juli 1984 auf der Messstation Albis (745 m ü.M.), 6km südwestlich vom Stadtzentrum Zürich entfernt.

aber auch in den hohen Emissionsraten von primären Substanzen, die ebenfalls in Reinluftgebieten angetroffen werden (NO, $SO_2$, CO, $C_xH_y$). So erreichen beispielsweise die Stickoxide NO und $NO_2$ in unmittelbarer Nähe starker Quellen, zum Beispiel über Städten, Industriezonen, Hauptverkehrsknoten Mischungsverhältnisse während der zeitlichen Emissionsspitzen von über dem 1000fachen der Reinluftwerte. Durch solche starke Verschmutzungszentren von beträchtlicher zeitlicher Variabilität wird die Chemie der bodennahen Atmosphäre stark geprägt. In der Photosmogchemie äussert sich dies vor allem in dem typischen Tagesgang der tags stark erhöhten Sekundärbelastungssubstanzen, die während der Nacht durch Reaktion mit hauptsächlich primären, aber auch anderen Luftschadstoffen wieder erheblich abgebaut werden. Um den für Photosmoglagen typischen Tagesgang der Luftbelastungssubstanzen, insbesondere der Photooxidantien zu erklären (Bild 2), muss man unterscheiden in nächtliche und photochemische, nur tags ablaufende, Sonnenlicht benötigende Prozesse.

*Tag*

Ausgegangen wird von den für Reinluft typischen Reaktionen (R1) bis (R7). Bei schnell und stark ansteigendem NO- und Kohlenwasserstoff-Gehalt (zum Beispiel während morgendlichen motorisierten Stossverkehrs) wird via (R5) zunächst Ozon zerstört, darauf durch Reaktionen der Kohlenwasserstoffe mit ungeraden Sauerstoffteilchen das herrschende Gleichgewicht zwischen NO, $NO_2$ und Ozon empfindlich konkurriert. Es entstehen dabei organische, 'R, und OH-Radikale.

(R8) $O + C_xH_y \rightarrow \text{'R} + OH$

Durch eine, je nach Ausgangsstoff des Kohlenwasserstoffs $C_xH_y$ ($CH_4$, $C_2H_6$, $C_2H_4$ u.v.a.m.', recht beträchtliche Anzahl verketteter Reaktionen wird im Verlauf das Radikal 'R via Peroxiradikale zu einem Aldehyd (R'CHO) umgewandelt. Vereinfacht formuliert sei dies hier durch die Reaktionen (R9) bis (R11)

(R9) $\text{'R} + O_2 \rightarrow \text{'}RO_2$
(R10) $\text{'}RO_2 + NO \rightarrow NO_2 + \text{'}RO \rightarrow$ (R6), (R7) gibt O3
(R11) $\text{'}RO + O_2 \rightarrow R'CHO + \text{'}HO_2$ mit 'R = $CH_3$ wird R'CHO = HCHO (*Lowe* 1983)

Einfachster Vertreter der Aldehyde ist das Formaldehyd, HCHO. Weitere Reaktionsfolgen der Peroxiradikale, hier beispielsweise durch den einfachsten Vertreter, nämlich $\text{'}HO_2$ beschrieben, führen zu weiteren Oxidationen der in diese Reaktionszyklen involvierten Stickstoffmonoxydmoleküle zu $NO_2$.

(R12) $\text{'}HO_2 + NO \rightarrow NO_2 + OH \rightarrow$ (R6), (R7) gibt $O_3$
(R13) $OH + C_xH_y \rightarrow H_2O + \text{'}R$

Dabei besteht jedesmal durch anschliessende Photodissoziation (R6) des $NO_2$-Moleküls und Reaktion (R7) die Möglichkeit, ein Ozonteilchen zu bilden. Das heisst auch, dass damit die Stickoxide NO, $NO_2$ während der ganzen Zeit nur als Katalysator wirken, selbst also unverändert vorhanden bleiben! Die Kohlenwasserstoffe hingegen werden «verbrannt». Eine mögliche Senke für $NO_2$ besteht in der Bildung von PAN, das auch aus einer solchen Reaktionskette ($C_xH_y = C_2H_6$ = Ethan) via Acetaldehyd $CH_3CHO$ hervorgeht.

Insgesamt gibt es eine Vielzahl solcher Reaktionsketten mit einigen 100 verschiedenen Reaktionen, deren Konsequenz letztlich immer ein Anstieg der Photooxidantien und eine leichte ($NO_x$) und starke ($C_xH_y$) Abnahme der übrigen primären Schadstoffe sind.

*Nacht*

Durch das Ausbleiben der Photodissoziation nachts werden die Photooxidantien chemisch nur noch abgebaut. Ozon beispielsweise hauptsächlich durch Reaktion mit NO und $NO_2$. Die dabei entstehenden Folgeprodukte sind $NO_2$, $NO_3$, $N_2O_5$, $HNO_3$. PAN zerfällt thermisch in Abhängigkeit der Temperatur und des Verhältnisses $NO_2$/NO (*Edney* 1979). Über den Abbau von HCHO ohne Sonnenlicht ist noch recht wenig bekannt.

*Länger andauernde Schönwetterperioden* führen zu täglich zunehmenden Konzentrationen der Photooxidantien. Denn gewisse Vorläufersubstanzen sowie sie selbst (insbesondere Aldehyde) sind während der Nacht, abgesehen von der trockenen Deposition, recht stabil. Sie können damit den morgendlichen Start der Bildungsprozesse via Dissoziation wesentlich beschleunigen, wodurch – bei vergleichbaren Emissionen der Primärsubstanzen – gegenüber dem Vortag erhöhte Konzentrationen erreicht werden.

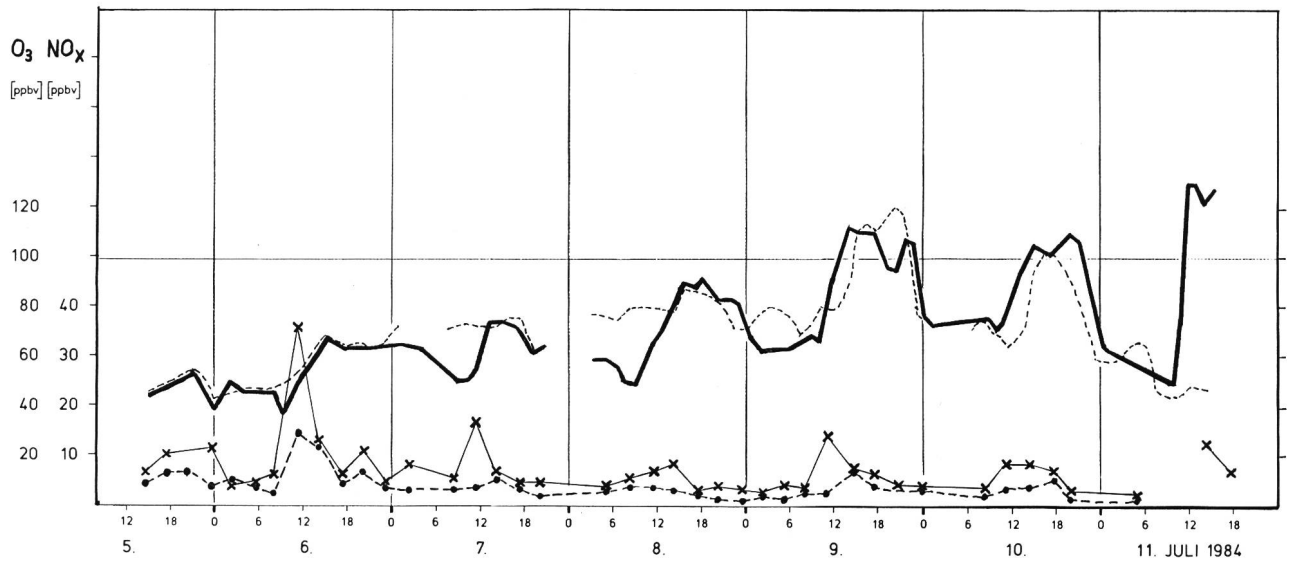


Bild 3. Aus diskreten Proben (● oder ×) approximativer Verlauf von $NO_X$ und auf 1-Stunden-Werte standardisierte Tagesgänge von Ozon auf zwei Höhen über dem Albis während des 5. bis 11. Juli 1984:
150m ü. Messstation Albis ×——× $NO_X$, ——— Ozon
600m ü. Messstation Albis ●----● $NO_X$, ---- Ozon

## *Verfrachtungserscheinungen*

Die Zeitskala der Vorgänge in der Photosmogchemie ist zwar im Vergleich zu Reinluftverhältnissen stark verkürzt, beträgt aber immer noch einige Stunden. Das führt nun einerseits zu einem beachtlichen Tagesgang der verschiedenen Substanzen. Anderseits ergibt sich aber auch eine Verlagerung der Konzentrationsmaxima verschiedener Photooxidantien vom Emissionsort der primären Schadstoffe weg je nach herrschenden Windverhältnissen in ländliche Gegenden. So zeigen Messdaten von Ozon, die von einem Motorsegelflugzeug aus aufgenommen wurden, über dem schweizerischen Mittelland beispielsweise während der über sechs Tage dauernden sommerlichen Schönwetterperiode vom 5. bis 11. Juli 1984 (Bild 1) oftmals über der Stadt Zürich in verschiedenen Höhen niedrigere Werte als in der näheren und weiteren Umgebung in entsprechenden Höhen (kein Bild). Diese Messungen bestätigen auch die Vermutung, dass die Photooxidantien, insbesondere Ozon, über weite Distanzen (über 100 und mehr Kilometer) transportiert werden und überall vergleichsweise sehr hohe Mischungsverhältnisse aufweisen können. So erreichte beispielsweise das Ozon am 9. Juli 1984 nachmittags zwischen 14 und 16 Uhr auf der ganzen Strecke von Baden nach Biel sowohl auf 800 wie auch auf 1200m ü. M. Konzentrationen um die 70 ppbv, mit einem Maximum von über 80 ppbv über Rupperswil, das zwischen Baden und Olten liegt. Abends zwischen 18.30 und 21.30 Uhr desselben Tages wurden im Gebiet südlich von Zürich bis zum Zugersee und in der west-östlichen Ausdehnung vom Hallwilersee bis zum Pfäffikersee gar generell Werte von über 80 ppbv Ozon festgestellt, mit Maxima von über 150 ppbv auf 800m ü. M. über dem Pfäffikersee und auf 1250m ü. M. über dem Albis in 6 km Entfernung vom Zentrum der Stadt Zürich, wo auf beiden Höhenniveaus Werte zwischen 100 und 120 ppbv gemessen wurden. Die Tagesgänge von Ozon über dem Albis in drei verschiedenen Höhenschichten zeigen für ihre nachmittäglichen Maximalkonzentrationen oft (vgl. Bilder 2 und 3: 8., 9., 10. Juli) keine wesentlichen Unterschiede. Allgemein ist aber der Tagesgang in den bodennächsten Luftschichten ausgeprägter als weiter oben. Auf eine detailliertere Diskussion dieser Messungen muss leider an dieser Stelle verzichtet werden.

Zum Abschluss sei noch auf die Senke für Luftschadstoffe durch die «trockene Deposition» hingewiesen. Grob verhalten sich die trockenen Depositionsraten von $O_3$, $NO_2$, PAN, $HNO_3$ im Mittel etwa wie 4:1:2:10. Besonders in hügeligem Gelände kommt ihr zusammen mit speziellen Windverhältnissen (Lokalwindzirkulationen, ausgeprägte Inversionslagen) eine besondere Bedeutung infolge effizienterer Abbaumechanismen zu *(Broder* 1985).

Literaturverzeichnis

*Broder B., Gygax H.A.*, 1985. The influence of locally induced wind systems on the effectiveness of nocturnal dry deposition of ozone. «Atmospheric Environment» *19*, 1627–1637

*Edney E., Spence J., Hanst P.*, 1979. Synthesis and thermal stability of Peroxyalkyl Nitrates. «J. of Air Poll. Control. Assoc.» *29*, 741–743

*Logan J.A., Prather M.J., Wofsy S.C., McElroy M.B.*, 1981. Tropospheric Chemistry: A global perspective. «J. of Geo. Res.» *86*, 7210–7254

*Lowe D.C., Schmidt U.*, 1983. Formaldehyde (HCHO) measurements in the nonurban atmosphere. «J. of Geo. Res.» *88*, 10844–10858

*Singh H., Hanst P.*, 1981. PAN in the unpolluted atmosphere, an important reservoir for Nitrogen Oxide. «Geo. Res. Letters» *8*, 941–944

Überarbeitete Fassung eines Vortrags, den der Autor an der Herbsttagung der Schweizerischen Gesellschaft für Sozial- und Präventivmedizin vom 7. und 8. November 1985 in Zürich gehalten hat. Das Tagungsthema lautete: Luftverunreinigung und Gesundheit.

Adresse des Verfassers: *Werner Moser*, Atmosphärenphysik, ETH Hönggerberg HPP, CH-8093 Zürich.