

Der Ozongehalt der bodennahen Luftschicht in der Region Bern

Autor(en): **Fuhrer, Jürg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **72 (1980)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941397>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der Ozongehalt der bodennahen Luftschicht in der Region Bern

Jürg Fuhrer

Zusammenfassung

Ozon kommt in den bodennahen Luftschichten sowohl als natürlicher Bestandteil als auch als Produkt aus photochemischen Reaktionen vor. Die Ausgangsstoffe dieser Reaktionen stammen zur Hauptsache aus den Autoabgasen (Stickstoffmonoxid, Kohlenwasserstoffe).

In dieser Arbeit wird der Tagesverlauf der Ozonkonzentration im Hauptemissionsgebiet (Stadt Bern) demjenigen im 22 km südlich gelegenen Wattenwil gegenübergestellt. Zudem wird der Zusammenhang zwischen Ozon- und Stickstoffdioxidkonzentration im Stadtgebiet dargestellt und diskutiert. Aufgrund gleichzeitiger Konzentrations- und Windrichtungsmessungen in Wattenwil wird ersichtlich, dass erhöhte Ozonkonzentrationen in den südwärts gerichteten Tälern nur bei Winden aus dem Sektor Nord-West bis Nord-Ost (aus Richtung Stadt) möglich sind. Aus diesen Messergebnissen und der anhand von Blattschäden an exponierten Tabakpflanzen beobachteten Wirkungsverteilung in der ganzen Region Bern, ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die durch den Wind aus dem Stadtgebiet wegtransportierten Smogvorläufer in der weiteren Umgebung zu erhöhten Ozonkonzentrationen führen können.

Résumé: La concentration de l'ozone dans la région de Berne

L'ozone se trouve dans les couches d'air proche du sol, ainsi qu'à l'état naturel et comme produit résultant des réactions photochimiques. Les matières de base de ces réactions proviennent en majorité des gaz d'échappement des voitures (monoxyde d'azote, carbure d'hydrogène).

Dans cet exposé la concentration d'ozone journalière de la région la plus productive (ville de Berne) se verra comparée à celle de la région de Wattenwil située à 22 km au sud. En outre le rapport entre la concentration d'ozone et d'oxydes d'azote est présenté et étudié. Sur la base des mesures d'ozone et de la direction du vent faites simultanément à Wattenwil, il a été prouvé qu'une plus forte concentration d'ozone dans les vallées orientées vers le sud n'est possible que lorsque les vents soufflent du secteur nord-ouest au nord-est (c'est à dire venant de la ville). D'après les résultats de ces mensurations et l'intensité des dégâts sur les feuilles des plants de tabac exposés à leur influence dans toute la région autour de Berne, on est amené à conclure que les émanations de smog transportées par le vent hors de la ville peuvent faire augmenter la concentration d'ozone dans une plus large zone.

Summary: The concentration of ozone in the air of the Bernese region

Ozone is a natural part of the low layers of the atmosphere as well as a product of photochemical reactions. The reactants for these processes derive mostly from the auto exhaust (nitrogen, dioxide, hydrocarbons).

In this paper the daily time-course of the O_3 -concentration within the main emission area (city of Berne) is compared with that of Wattenwil, situated 22 km to the south. Additionally, the relation between the concentrations of ozone and nitrogen oxides within the city area is presented and discussed. Based on simultaneous measurements of ozone and wind direction in Wattenwil, it is demonstrated that an enhanced concentration of ozone is only possible

with wind from north-west to north-east (from the city area). Based on these measurements and on the distribution of the damaging effects to exposed tobacco plants within the region of Berne, it may be concluded that smog precursors, transported out of the city by the wind, lead to enhanced ozone concentrations in the surroundings.

1. Einleitung

In den 40er Jahren beobachtete man in den Gebieten von Los Angeles eine neue Art der Luftverschmutzung, den photochemischen Smog. Er unterscheidet sich vom London-Smog, welcher hauptsächlich Schwefeldioxid (SO_2) enthält, durch die Bildung von oxidativen Stoffen, sog. Oxidantien. Dazu gehören Ozon (O_3), Stickstoffdioxid (NO_2), Peroxiacetylnitrat (PAN) und andere mehr. Da Ozon 85 bis 90 % des gesamten Oxidationspotentials der Smogkomponenten ausmacht [12], gilt dieses Gas als Leitsubstanz. Der photochemische Smog bildet sich vorzugsweise in Gebieten mit hoher Verkehrsdichte als Folgeprodukt aus den Autoabgasen. Bei der Entstehung spielt das Sonnenlicht eine entscheidende Rolle. Bei starker Einstrahlung in Verbindung mit einer austauscharmen Wetterlage besteht deshalb die grösste Gefahr der Smogbildung. Bei Erreichen bestimmter Konzentrationsschwellenwerte können bei der Bevölkerung vermehrt Augenreizungen, Tränenfluss oder Atembeschwerden festgestellt werden [1]. Gleichzeitig verursachen die Smogkomponenten Pflanzenschäden mit einem typischen Schadbild [8, 10].

Das durch die Oxidation von Stickstoffmonoxid (NO) entstehende Stickstoffdioxid (NO_2) absorbiert die eingestrahlte Sonnenenergie ($\lambda=290$ bis 400 nm). Dies führt zu einer Spaltung der NO_2 -Moleküle und damit zu einer Freisetzung von atomarem Sauerstoff. Diese Sauerstoffatome reagieren nun sehr rasch mit den Molekülen des Luftsauerstoffs unter Bildung von Ozon (O_3). Das auf diese photochemische Weise entstandene Ozon kann nun seinerseits Stickstoffmonoxid oxidieren. Dadurch stellt sich ein Gleichgewicht ein zwischen den beiden Stickoxiden und dem Ozon, welches abhängig ist von der Einstrahlung, der NO-Emission sowie zusätzlich von der Konzentration der gleichzeitig vorhandenen Kohlenwasserstoffe (Olefine, Aldehyde). Diese können weitere Reaktionen einleiten, welche zur Bildung von sehr toxischen Produkten führen (zum Beispiel Peroxiacetylnitrat, PAN) [15].

Heute weiss man mit Sicherheit, dass sich das Problem des photochemischen Smogs nicht auf einzelne Teile der Erde beschränkt, sondern alle dicht besiedelten Gebiete – einschliesslich der Schweiz – betrifft [1, 4, 6, 10, 14, 17]. Es konnte sogar experimentell nachgewiesen werden, dass Ozon nicht nur den eigentlichen Ballungsraum gefährdet, sondern bis weit in dessen Umgebung hinein transportiert werden kann [5, 11]. Bei einer entsprechenden Windsituation erreicht dabei die Konzentration ihren maximalen Wert erst weit vom Emissionszentrum entfernt [15].

Reine Luft enthält tagsüber infolge des vertikalen Luftaustausches zwischen 20 und 50 ppb (parts per billion) stratosphärisches Ozon, das während der Nacht bis auf einen sehr kleinen Rest verschwindet [12]. Diese natürliche Konzentration (Background) erschwert die Untersuchung der Smogbildung, da man erst bei Konzentrationen über 100 ppb auf eine gesicherte Smogbildung schliessen kann [16]. Konzentrationen zwischen 50 und 100 ppb können somit je nachdem als stärkere oder schwächere Hinweise gewertet werden. Wichtig ist hier, welche zusätzlichen Informationen vorliegen.

In diesem Bericht sollen die Messungen und Beobachtungen wiedergegeben und diskutiert werden, die während der Sommermonate 1978 und 1979 im Raume Bern gewonnen wurden. Im Hinblick auf die Erfassung der Beziehung zwischen der Stadt und den angrenzenden Gebieten wurde der Schwerpunkt auf die beiden südwärts gerichteten Täler (Aare- und Gürbetal) gelegt.

2. Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, erste Hinweise zu gewinnen, ob in der Region Bern mit der Möglichkeit der Bildung von photochemischem Smog gerechnet werden muss. Dazu wurde sie wie folgt gegliedert:

- Gegenüberstellung von Tagesverläufen der Ozon- und Stickoxidkonzentration ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) sowie der eingestrahelten Globalstrahlung innerhalb des Hauptemissionsgebietes (Stadt Bern, Thunstrasse bei Burgernziel).
- Vergleich der Ozonkonzentration innerhalb des Stadtgebietes mit derjenigen in Wattenwil (Distanz 22 km).
- Untersuchung des Transports von Ozon in die südwärts liegenden Täler durch Vergleich von Ozonkonzentration und Windrichtung.
- Untersuchung der Wirkungsverteilung von Ozon im Untersuchungsgebiet anhand von Blattschäden an exponierten Tabakpflanzen.

3. Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist in Bild 1 dargestellt. Es umfasst die Stadt Bern und die angrenzenden Gebiete im Norden und Westen sowie hauptsächlich das Gebiet südlich (Aare- und Gürbetal) bis hin zu den Voralpen.

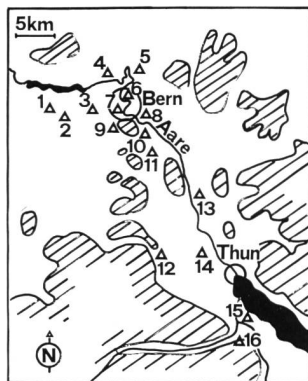


Bild 1. Das Untersuchungsgebiet. Nr. 1 bis 16: Untersuchungsstellen. Schraffiert: Gebiete über 800 m ü.M.

In Bild 1 sind die Untersuchungsstellen mit Nummern eingetragen. An den Plätzen 1 bis 16 wurden während beider Expositionsaktionen (1978 und 1979) Tabakpflanzen aufgestellt. An der Stelle Nr. 12 (Wattenwil) sowie innerhalb des Stadtgebietes (Thunstrasse bei Burgernziel) wurde die Ozonkonzentration analytisch bestimmt, in der Stadt zusätzlich die Stickoxidkonzentration. Windmessungen wurden an den Stellen 9, 12, 13, 15 und 16 durchgeführt.

4. Nachweis der Ozonwirkung mit Hilfe von Tabakpflanzen

Generell wird angenommen, dass Pflanzen durch Ozon schneller geschädigt werden als Menschen [1]. Dieses oxidierende Gas dringt durch die Spaltöffnungen in die Blätter ein und beeinflusst viele physiologische Prozesse [3].

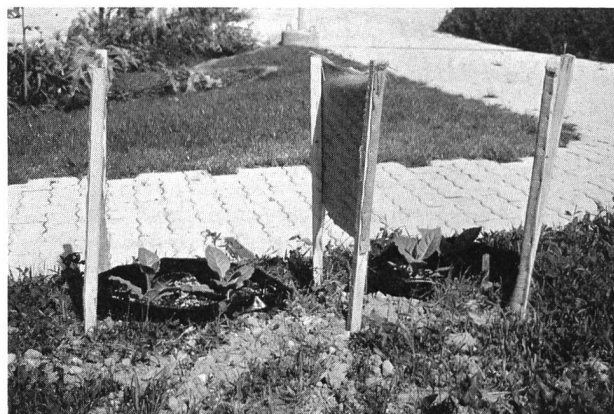


Bild 2. Exposition junger Tabakpflanzen der Sorten Bel-B und Bel-W3 (je zwei Pflanzen pro Gefäss). Die künstliche Beschattung erhöht die Empfindlichkeit der Pflanzen.

Wachstumsreduktion und sichtbare Schädigung von Blattpartien (Flecken) sind die äusseren Zeichen einer längeren Einwirkung. Die Empfindlichkeit variiert von Art zu Art und wird zusätzlich durch die Wachstumsbedingungen beeinflusst [7].

Zum Nachweis von Ozon in den bodennahen Luftschichten haben sich verschiedene Varietäten des Tabaks (*Nicotiana tabacum L.*) bewährt [5, 8, 9, 10, 14]. Das typische Schadbild besteht in Flecken und Pünktchen auf der Blattoberseite. Es muss jedoch in jedem Fall experimentell ausgeschlossen werden, dass es sich um Virussympptome handeln könnte.

Für diese Arbeit wurden die Sorten «Bel-B» (widerstandsfähig) und «Bel-W3» (hochempfindlich) ausgewählt. Je zwei Pflanzen wurden in mit Humus gefüllten Plastikbehältern an 16 Stellen ausgesetzt (Bild 1). Sie wurden, je nach den Witterungsbedingungen, 1–2 Mal pro Woche bewässert. Nach einer Expositionszeit von 30 Tagen wurden die Blätter geerntet und das Mass der Schädigung festgestellt. Dazu wurde die folgende Abstufung verwendet:

Schädigungsstufe	«Bel-B»	«Bel-W3»
0	keine Symptome	keine Symptome
1	keine Symptome	leichte Punkttierung
2	keine Symptome	kleine Flecken
3	leichte Punkttierung	verbreitete Flecken
4	kleine Flecken	grossflächige Schädigung an der Mehrzahl der Blätter
5	verbreitete Flecken	starke Schädigung der ganzen Pflanze

Bild 3. Tabakblätter der smogempfindlichen Sorte Bel-W3 nach der Exposition. Erkennbar ist das typische Schädigungsbild (hellbraune Flecken, abgestorbenes Blattgewebe), welches in diesem Ausmass der Schädigungsstufe 3 (s. Text) entspricht.



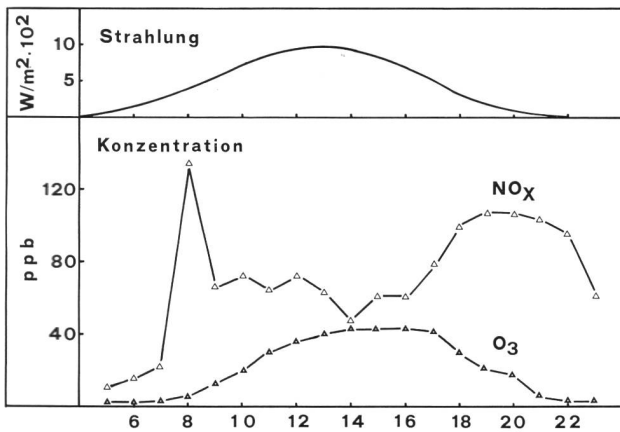


Bild 4. Tagesverlauf der Ozon (O_3)- und der Stickoxidkonzentration ($NO_x = NO + NO_2$) sowie der Globalstrahlung innerhalb des Stadtgebietes. Messplatz: Thunstrasse bei Burgernziel (südöstlich von Nr. 6 in Bild 1). Datum: 18. Juli 1979.

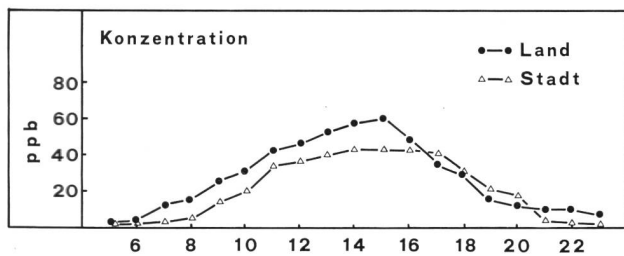


Bild 5. Typische Schönwetter-Tagesverläufe der Ozonkonzentration in der Stadt (Thunstrasse) und auf dem Land (Nr. 12, Wattenwil, Entfernung 22 km). Daten: Bern 18. Juli 1979, Wattenwil 5. August 1979.

5. Analytische Bestimmung der Ozon- und Stickoxidkonzentration

Die Ozonkonzentration wurde mit Hilfe des Ozon-Analysators OA 350-2R (Meloy Labs) bestimmt. Dieses Gerät misst die Intensität der Chemilumineszenzreaktion von Ozon mit Äthylen. Die Kalibrierung erfolgte durch Anwendung der KI-Methode (in neutraler Lösung).

Für die Bestimmung der NO- und der NO_2 -Konzentration wurde ein NO/ NO_x -Analysator verwendet (Mod. 8443, Monitor Labs).

Alle Messungen wurden kontinuierlich mit Hilfe eines Schreibers aufgezeichnet. Gleichzeitig wurden mittels eines Integrators die Halbstunden-Mittelwerte berechnet. Die Konzentrationsangabe erfolgt in ppb (parts per billion).

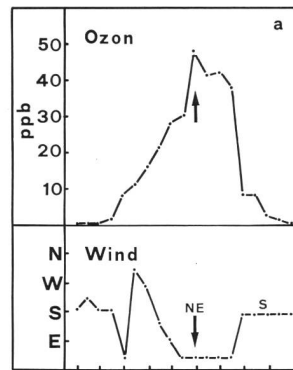
6. Ergebnisse

Ozon- und Stickoxidkonzentration innerhalb des Stadtgebietes

Wie einleitend erwähnt wurde, kann das in den bodennahen Luftschichten auftretende Ozon entweder durch entsprechende Luftströmungen aus der Stratosphäre eingetragen oder in der mit Stickoxiden belasteten Luft photochemisch erzeugt werden. Konzentrationsvermindernd wirkt sich ein hoher Gehalt an Stickstoffmonoxid aus, da dieses das Ozon zur Bildung von Stickstoffdioxid verbraucht [4]. Die Wechselwirkung aus diesen verschiedenen Prozessen führt zu Schwankungen, wie sie in den Tagesverläufen in Bild 4 zum Ausdruck kommen.

Der an einem Schönwettertag aufgenommene Tagesverlauf der Ozonkonzentration zeigt einen kontinuierlichen Anstieg während des Vormittags. Die höchsten Werte (Halbstunden-Mittelwerte) von ungefähr 40 ppb werden in

6a: Schönwetter-Tag, 25. Juli 1979



6b: Tag mit bedecktem Himmel, 2. August 1979

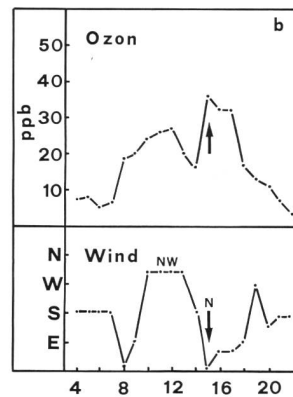


Bild 6. Tagesverläufe der Ozonkonzentration und der Windrichtung in Wattenwil (Nr. 12).

den frühen Nachmittagsstunden erreicht. Mit dem verkehrsbedingten Anstieg der NO_x -Konzentration gegen Abend sinkt der Ozonpegel rasch ab, da er vom wachsenden NO-Anteil verbraucht wird. Während der Nacht sinkt die Ozonkonzentration praktisch auf Null. Dieser Tagesverlauf stützt die Vermutung, dass das Ozon auf photochemischem Weg gebildet wird [4]. Es muss aber gleichzeitig betont werden, dass die in Bern gemessenen Werte weit unter denen von Grossstädten zurückliegen (100 ppb und mehr). Grund dafür dürfte der ebenfalls vergleichsweise geringe NO_2 -Gehalt sein, bedingt durch ein geringes Verkehrsvolumen und eine gute Durchlüftung der Stadt (keine Strassenschluchten, ausgeprägtes Lokalwindsystem [13]). Die reinigende Wirkung der Winde bringt es aber mit sich, dass die Ozonvorläufer in die Umgebung der Stadt transportiert werden können und dort eine Erhöhung der photochemischen Reaktionstätigkeit auslösen.

Die Ozonkonzentration ausserhalb des Stadtgebietes

Aus den obenerwähnten Gründen ist es wichtig, die Ozonkonzentration des Stadtgebietes derjenigen der Umgebung gegenüberzustellen. Dieser Vergleich ist in Bild 5 dargestellt. Es handelt sich um zwei typische Schönwetter-Tagesverläufe.

Diese Gegenüberstellung zeigt deutlich, dass die Konzentration in Wattenwil am Morgen stärker ansteigt als in Bern und am Mittag einen höheren Maximalwert erreicht (60 ppb gegenüber 40 ppb in Bern). Der Grund für den verstärkten Anstieg am Morgen ist das Fehlen des Stickstoffmonoxids (vgl. Bild 4). Dass dies auch Ursache für den höheren Nachmittagswert ist, kann nicht ausgeschlossen werden. Ebenso könnte aber eine windbegünstigte NO_2 -Immission – wie sie im vorangehenden Kapitel erwogen

wurde – als Begründung herangezogen werden. Aus diesem Grunde muss der Windrichtung besondere Beachtung geschenkt werden. In den Bildern 6a und 6b sind zwei Ozon-Tagesverläufe von Wattenwil zusammen mit dem Verlauf der Windrichtung dargestellt.

Es zeigt sich, dass die höchsten Ozonkonzentrationen nur bei Winden aus dem Sektor Nord-West bis Nord-Ost (aus Richtung Stadt) auftreten. Der Windwechsel von Nord-Ost auf Süd zwischen 17 und 18 Uhr am 25. Juli 1979 führt zu einem sofortigen Zusammenbruch des Ozonpegels (Bild 6a). Am 2. August 1979, einem Tag mit bedecktem Himmel, konnte nur um 15 Uhr ein starker Konzentrationsanstieg registriert werden (Bild 6b). Auch dieser kann mit einem Windwechsel – diesmal auf Nord-Ost – in Beziehung gebracht werden. Der erreichte Wert (35 ppb) liegt aber tiefer als am Schönwettertag (48 ppb), was auf die fehlende Einstrahlung zurückzuführen ist. Die in Wattenwil erreichten Spitzenwerte lagen zwischen 60 und 65 ppb. Ähnliche Beobachtungen wie sie in den Bildern 4a und 4b dargestellt sind, konnten an praktisch allen Tagen gemacht werden. Setzt man alle um 14 und 15 Uhr gemessenen Konzentrationswerte mit der jeweilig herrschenden Windrichtung in Beziehung, so ergibt sich die in Bild 7 dargestellte Relation.

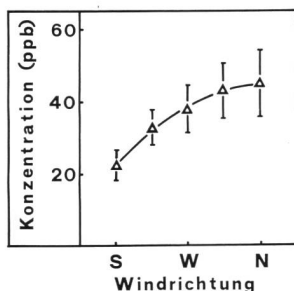


Bild 7. Mittlere Ozonkonzentration um 14 und 15 Uhr an Schönwetter-Tagen in Abhängigkeit von der Windrichtung. Messplatz: Wattenwil (Nr. 12). Vertikale Linien: Standardfehler des Mittelwertes (N = 20).

Wirkungsverteilung des Ozons anhand von Schäden an Tabakblättern

Die vorgängig dargestellten Resultate lassen vermuten, dass das aus dem Stadtgebiet durch den Wind wegtransportierte Stickstoffdioxid in der Umgebung der Stadt zu photochemischer Ozonbildung führen könnte. Diese Vermutung wird nun schliesslich noch gestützt durch die Untersuchung der Wirkungsverteilung aufgrund der Schäden an Blättern von exponierten Tabakpflanzen.

Der während der Expositionszeit in Bern registrierte Wind stammte grossenteils aus dem Sektor Nord bis Nord-Ost (1978: 46 %, 1979: 56 %). Winde aus dieser Richtung könnten Emissionen aus dem Stadtgebiet nach Westen oder in die südlichen Täler transportieren. Vergleichende Windmessungen an verschiedenen Stellen (vgl. Kap. 3) haben dies bestätigt. Es entspricht auch den bekannten, langjährigen Windmessungen von Bern [13]. Die in Bild 8 dargestellte relative Schädigung von Tabakpflanzen entlang einer Achse Nord-Süd zeigt, dass dies im Falle des photochemischen Ozons möglich ist.

Die Schädigung der Tabakblätter nimmt von der Stadt weg, hin zur «Absperrung» durch die Voralpen zu. Noch stärker als bei Nr. 16 (Wimmis) war die Schädigung allerdings an der Stelle Nr. 1 im Westen der Stadt. Diese Stelle ist dem Wind aus Richtung Nord bis Nord-Ost stärker ausgesetzt als Nr. 16. Da sich der O_3 -Bildungsprozess hauptsächlich während des Transportes abspielen dürfte (ausser bei Windstille), ist das Ausmass der Schädigung innerhalb des Stadtgebietes verhältnismässig gering (Nr. 6). Dazu kommt die im Sommer über der Stadt relativ starke Thermik (verbunden mit Turbulenzen), die eine Ozonanreicherung verhindern kann.

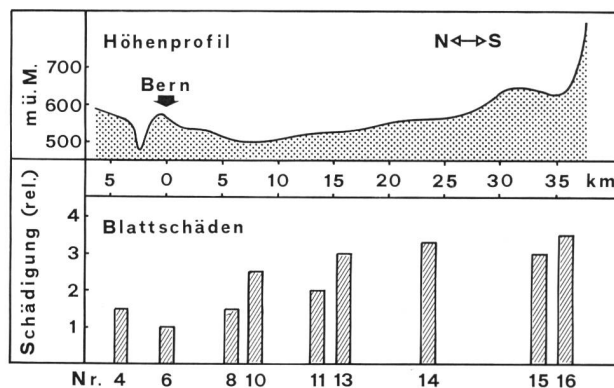


Bild 8. Höhenprofil und relative Blattschädigung an Tabakpflanzen entlang einer Nord-Süd-Achse durch das Untersuchungsgebiet.

7. Schlussfolgerungen

Betrachtet man lediglich die absolute Ozonkonzentration, so kann gesagt werden, dass ein eigentliches Smogproblem in der Region Bern nicht besteht. Die maximalen Werte liegen innerhalb des Bereichs, welcher meist als möglicher, natürlicher Background bezeichnet wird. Eine differenziertere Untersuchung der Ozonschwankungen und -verteilung zeigt jedoch, dass mit einer potentiellen Smoggefahr gerechnet werden muss. Diese dürfte spätestens dann deutlich hervortreten, wenn die Emission an Smogvorläufern (Stickoxide und Kohlenwasserstoffe) im Ballungsgebiet erhöht oder die Durchlüftung verschlechtert werden sollte (zum Beispiel durch bauliche Massnahmen). Die Tendenz geht im Moment in beide Richtungen. Die vorgelegten Resultate, welche die Luftverschmutzung vom lokalen zum regionalen Problem anheben, sollten aus diesen Gründen beachtet werden. Wenn die dargestellten Verbote des photochemischen Smogs nicht ernst genommen werden, so könnte der Fall eintreten, dass bei gleichbleibender Entwicklung auch bislang als unbelastet geltende Gebiete mit einer Beeinträchtigung der Lebensqualität zu rechnen haben. Im Falle der Region Bern könnte dies vor allem jene Gebiete betreffen, welche im Sommer tagsüber dem Talwind aus Richtung Stadt ausgesetzt sind. Diese Windkomponente weist gegen die Alpen zu die stärkere Richtungskonstanz auf als im tieferen Mittelland.

- [1] Bell, J.N.B.: Ozone in the environment. *Environmental Review* 6. «Biologist» 25 (1): 279-287 (1978).
- [2] Bell, J.N.B., Cox, R.A.: Atmospheric Ozone and Plant Damage in the United Kingdom. «*Environ. Pollut.*» 8: 163-170 (1975).
- [3] Claussen, T.: Die Reaktionen der Pflanzen auf Wirkungen des photochemischen Smogs. P. Parey, Berlin, Hamburg (1975).
- [4] Birke, M.: Immissionsmessungen von O_3 zur Erfassung photochemischer Umsetzungen in bodennahen Luftschichten. «*Staub-Reinhaltung der Luft*» 35 (2): 41-45 (1975).
- [5] Cleveland, W.S., Kleiner, B., McRae, J.E., Warner, J.L.: Photochemical Air Pollution: Transport from the New York City Area into Connecticut and Massachusetts. «*Science*» 191: 179-181 (1976).
- [6] Günthard, H.: Bedrohliche Dunstwolken. «*Weltwoche*» 14 (4): 15 (1979).
- [7] Heck, W.W.: The Use of Plants as Indicators of Air Pollution. «*Air & Water Pollut. Int. J.*» 10: 99-111 (1966).
- [8] Heggstad, H.E., Menser, H.A.: Leaf spot-sensitive tobacco strain Bel-W3, a biological indicator of the air pollutant ozone. «*Phytopathology*» 52: 735 (Abstract) (1962).
- [9] Heggstad, H.E., Darley, E.F.: Plants as indicators of the air pollutants ozone and PAN. Proc. 1st Europ. Congr. Air pollut., Wageningen: 329-335 (1968).
- [10] Keller, Th.: Smog-Vorboten im Raume Zürich. «*Neue Zürcher Zeitung*» 204:63 (1976).
- [11] Kelleher, T.J., Feder, W.A.: Phytotoxic concentrations of ozone on Nantucket Islands: Long range transport from the middle atlantic states over the open ocean confirmed by bioassay with ozone-sensitive tobacco plants. «*Environ. Pollut.*» 17: 187-194 (1978).

- [12] Kuttler, W.: London-Smog und Los Angeles-Smog. «Erdkunde, Arch. f. wissenschaftl. Geogr.» 33 (3): 236–240 (1979).
- [13] Maurer, R.: Das regionale Windgeschehen. Beitrag Nr. 8, Geogr. Inst. der Univ. Bern (1976).
- [14] Naveh, Z., Chaim, S., Steinberger, E.H.: Atmospheric oxidant concentration in Israel as manifested by foliar injury in Bel-W3 Tobacco plants. «Environm. Pollut.» 16: 249–262 (1978).
- [15] Pitts, J.N., Lloyd, A.C., Sprung, J.L.: Ecology, Energy and Economics. «Chemistry in Britain» 11 (7): 247–256 (1975).
- [16] Smidt, St.: Die Wirkung von photochemischen Oxidantien auf Waldbäume. «Z.f. Pflanzenkr. u. Pflanzensch.» 85 (11): 689–702 (1978).
- [17] Stewart, H.N.M., Sullivan, E.J., Williams, M.L.: Ozone levels in central London. «Nature» 263: 582–584 (1976).

Verdankung

Diese Arbeit ist Teil einer Dissertation, die unter der Leitung von Prof. K.H. Erisman (Pflanzenphysiologisches Institut) und Prof. B. Messerli (Geographisches Institut) an der Universität Bern entstand. Ihnen sei an dieser Stelle ganz herzlich für ihre Unterstützung gedankt.

Mein Dank gilt ferner A. Maire von der Firma Mesuco für die kostenlose Überlassung eines Ozon-Monitors, Dr. K.W. Egger und B. Kohli (Städt. Amt für Umweltschutz) für die Ermöglichung der Stickoxidmessungen, Dr. A. Häni (Zürich-Reckenholz) für die Durchführung von Virus-Kontrollversuchen, H. Wyss (Liebefeld) und den Angestellten des Botanischen Gartens für die Anzucht der Tabakpflanzen, P. Berlincourt (Geogr. Inst.) für die Betreuung der Windmessungen sowie schliesslich Dr. Chr. Brunold und Dr. H. Wanner für die Durchsicht des Manuskripts.

Die Arbeit wurde finanziell unterstützt durch die Stiftung zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung an der Universität Bern.

Adresse des Verfassers: Jürg Fuhrer, Pflanzenphysiologisches Institut der Universität Bern, Altenbergrain 21, 3013 Bern.

Les énergies qui tuent, et les autres, on peut comparer les risques

Dans le domaine de l'énergie, parler des risques sans les comparer les uns aux autres n'a pas de sens. Fort de ce principe, le physicien français P. Latarjet a défini une même unité de mesure pour des risques d'origines différentes. Ses travaux ont été notamment présentés lors d'un récent colloque, à Paris, sur «les risques sanitaires des différentes énergies».

L'unité de mesure du prof. Latarjet est le «rad-équivalent» qui permet, par exemple, de comparer les effets des radiations et de certains produits chimiques. Ainsi, on a pu contrôler que le risque relatif à certains produits des raffineries de pétrole et à certaines activités industrielles est sur-estimé. Par contre celui des unités de stérilisation à froid utilisant l'éthylène dans les hôpitaux est très sous-estimé.

Autrefois, la perception du risque était imprégnée de mythes et de fantasmes que l'on a cru abolis à l'époque moderne. En fait, ces mythes et fantasmes n'ont pas réellement disparu.

De même, les habitants traditionnels des pentes d'un volcan ne ressentent pas le risque, alors que les nouveaux arrivants en sont obsédés, quoique le risque soit égal pour tous. On a aussi constaté que les habitants du Bugey s'in-

quiètent plus de Creys Malville, alors que ceux de Creys Malville s'inquiètent plus du Bugey. Des risques encourus volontairement parmi les plus sérieux (tabac, alcool, automobile, loisirs...), sont pris allègrement tandis qu'on s'émeut de risques considérablement plus faibles (centrale nucléaire) dont on croit ne pas avoir la responsabilité.

L'effet amplificateur des médias est également important sur la mentalité du public: les statistiques montrent que la fréquence avec laquelle ils parlent d'un risque le magnifie. S'il s'agit de problèmes quotidiens (électrocutions domestiques, ou chutes de la vie courante), le risque est au contraire minimisé, parce que les médias n'en parlent pas. D'une manière générale, les risques liés à la technique, à la science, à l'industrie, tendent à être majorés dans la mentalité des peuples les plus développés. On doit donc faire de grands efforts pour mieux comprendre les réactions du public et savoir qu'il n'y a pas de rapport entre la réaction du public à l'égard d'un risque et la gravité réelle de celui-ci.

Quant aux différentes formes d'énergie, la tendance de tous les résultats déjà obtenus converge vers une hiérarchie des risques engendrés à quantité égale d'énergie produite, et en prenant en compte la totalité de chaque cycle de production, qui est la suivante (classement par ordre de risque décroissant): 1 – charbon; 2 – pétrole; 3 – nucléaire; 4 – gaz (s'il est transformé en électricité directement à la source de production).

C'est dans le domaine du charbon que les efforts de protection doivent être faits en priorité: à quantité égale de dépenses, c'est là que l'on obtiendra le plus rapidement les résultats les plus sensibles.

A noter qu'en l'état actuel des travaux comparatifs déjà réalisés, les énergies solaire et éolienne semblent présenter des taux globaux de nuisance comparables à ceux des autres énergies, si l'on prend en compte la totalité du cycle (construction des appareillages, etc.).

En ce qui concerne l'électronucléaire, le nombre d'accidents du travail mortels dus aux radiations s'est avéré nul, alors que l'on déplore en moyenne deux morts pour la construction d'une unité de production, provoquées par les risques classiques de chantier, chiffre malheureusement égal à celui constaté pour les autres usines.

Le nucléaire prend en compte, dans ses études de sécurité, non seulement le risque présent, auquel se limitent généralement les études des autres types de nuisances, mais aussi le risque futur. Cette attitude prudente se retourne souvent contre lui dans l'esprit du public qui tend à confondre le niveau de connaissance du risque avec son niveau de gravité. C'est ainsi que, jusqu'à présent, les effets à long terme sur l'homme et sur sa descendance n'étaient pris en compte qu'en ce qui concerne les effets des rayonnements et pas pour les autres risques (chimiques ou de combustion notamment). C'est pour les activités nucléaires qu'a été mise au point la notion de «dose engagée», que sont surveillés les transferts biologiques pouvant intéresser la chaîne alimentaire et qu'ont été rassemblées les données concernant les diverses sources d'exposition.

Quant aux risques de catastrophe, les plus graves touchent les ruptures de barrage, tant en ce qui concerne le nombre de victimes (pouvant atteindre dans certains cas 100 000 morts) que la fréquence constatée et calculée. Les chiffres sont très supérieurs à ceux établis pour les risques d'accidents nucléaires les plus graves.

En tout état de cause, les risques engendrés par l'ensemble des sources d'énergie restent faibles par rapport aux risques provoqués par de nombreuses autres activités.

OFEL

Tableau 1. Les chiffres ci-après permettent d'illustrer la distorsion entre la perception des risques par le public et leur importance statistique réelle

Nombre de morts causés en France par diverses activités (par an):	
Tabac	70 000
Alcool	50 000
Accidents de la circulation (dont moto: 3000)	14 000
Accidents loisirs	3200
Accidents travail et maladies professionnelles	2500
Grippe	2500
Intoxication médicaments	500
Tétanos	200
Stupéfiants (overdose narcotiques) environ	100
Nucléaire en l'an 2000 (théoriquement)	2