

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 137 (1986)
Heft: 7

Artikel: Ozonmessungen auf dem Rötiboden ob Göschenen UR
Autor: Bucher, Jürg Bruno / Landolt, Werner / Bleuler, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765177>

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: 15.01.2026

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

Ozonmessungen auf dem Rötiboden ob Göschenen UR

Oxf.: 425.1- -015:(494.13)

Von *Jürg Bruno Bucher, Werner Landolt* und *Peter Bleuler*
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf)

Einleitung

Ozon ist eine natürliche Komponente unserer Luft, welche in Bodennähe und in topographisch tieferen Lagen nur in geringen Konzentrationen vorkommt. Photochemische Prozesse haben nun in der durch den Menschen mit Stickoxid- und Kohlenwasserstoffabgasen belasteten Luft — in der Schweiz hauptsächlich durch den Automobilverkehr verursacht — in den letzten Jahren zu einem beachtlichen Ozonkonzentrationsanstieg in der bodennahen Luftschicht geführt. Seit 1982 wird Ozon haupt- oder mitverantwortlich für die derzeitigen Waldschäden in Mitteleuropa gehalten (1, 2, 3). Unsere Überlegungen (2) basierten seinerzeit auf den Beobachtungen der Forstpraktiker im tiefer gelegenen Mittelland, wonach die Waldschäden unabhängig von der geologischen Unterlage fernab der Ballungszentren in jenen Gebieten auftraten, in welchen erhöhte Ozonkonzentrationen zu erwarten waren. Namhafte Schäden in den höher gelegenen Alpen wurden 1982 noch keine gemeldet. Eine im folgenden Jahr in allen Forstrevieren der Schweiz durchgeführte Umfrage zu den Waldschäden mit unbekannten Ursachen, bei denen Luftverunreinigungen nicht ausgeschlossen werden konnten, bestätigte dieses Bild; allerdings deuteten die gleichzeitig, gesamtschweizerisch erhobenen Nadelanalysen auf einen vermutlich namhaften Einfluss der Immissionskomponenten der sauren Depositionen (4).

Die neuen Waldschadeninventuren von 1984 und 1985 (5, 6) zeigten einen Anstieg der Waldschäden insgesamt und wiesen vor allem die Alpen als schwerst geschädigte Region aus. Damit stellt sich die Frage nach dem Ozoneinfluss erneut. Einerseits ist bekannt, dass die Ozonkonzentrationen im Gebirge von jeher über jenen des Flachlandes lagen (7, 8) und dadurch angenommen werden konnte, die Bäume in dieser Höhe wären auf Ozontoleranz natürlicherweise selektioniert, anderseits wissen wir über die Ozonkonzentrationen und einen allfälligen Anstieg in den letzten Jahren in den Alpen der Schweiz recht wenig. Obwohl typische und eindeutige Ozonsymptome an den Blättern

und Nadeln unserer Bäume bis jetzt noch nicht gefunden werden konnten (9), soll das Oxidantienproblem nicht ausser acht gelassen werden, und vermehrte Messungen der Ozonkonzentrationen im Gebirge wären von Interesse. Mit diesen nicht über längere Zeit geplanten Ad-hoc-Messungen und einer Sichtung früherer Daten wollen wir dazu einen Beitrag leisten.

Beschreibung der Messstation

Die Messstation befand sich in einem beheizbaren Raum der Servicehütte der Centralschweizerischen Kraftwerk AG auf dem Rötiboden, ob Göschenen, auf 1660 m ü. M. Durch ihre Steilhang- und Kretenlage bei der Abzweigung des Göschener Tales vom Reusstal ist die Station stark wind- und luftexponiert; wegen ihrer um beinahe 600 m erhöhten Lage zum Haupttal dürfte sie dem direkten Verkehrseinfluss aber entzogen sein. Die Messstation lag am Rande eines lückigen bis aufgelösten subalpinen Fichtenwaldes, rund 50 m von den nächsten grösseren Bäumen entfernt. Die Luft wurde über eine Teflonleitung 2 m über Boden und in 1 m Entfernung von der Hütte vom Messgerät (Monitor Labs 8810) angesogen und nach der UV-Absorptionsspektrophotometrie analysiert. Das Gerät arbeitet mit einer automatischen Druckkompensation und gibt die Werte – korrekt – in ppb wieder. Einer Empfehlung des Bundesamtes für Umweltschutz folgend (10, 11), verwendeten wir bei den hier aufgeführten Auswertungen einen von den jeweiligen Temperatur- und Druckverhältnissen unabhängigen, festen Umrechnungsfaktor, welcher auf einer mittleren Jahrestemperatur von 9 °C und einem mittleren Luftdruck von 950 hPa beruht ($1 \text{ ppb O}_3 = 1,94 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$). Der Meereshöhe des Rötibodens entsprechend hätte korrekterweise mit einer mittleren Jahrestemperatur von 2 °C und einem mittleren Luftdruck von 830 hPa gerechnet werden müssen; die hier aufgeführten Werte $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ sind deshalb alle um etwa 10 % zu hoch. Das Messgerät wurde vor und nach der Messperiode mittels eines Kalibrators (Monitor Labs 8550) kontrolliert und dieser einmal nach der KJ-Methode (12) überprüft. Die Messperiode erstreckte sich über die zweite Hälfte des Jahres 1985.

Gebräuchliche Konzentrationseinheiten der Ozonmessung

Ozonkonzentrationen werden in verschiedenen Einheiten angegeben. Beim Vergleich von Messwerten ist nicht nur auf die Einheit an sich, sondern auch auf die Bezugsbedingungen der Einheit zu achten, welche von Autor zu Autor differieren können. Die folgenden Definitionen und Angaben sollen helfen, den Vergleich von Messdaten zu erleichtern.

- a) *Partialdruck*: Der Partialdruck von Ozon in nb (Nanobar) ist eine häufig verwendete Konzentrationseinheit. Man versteht darunter den absoluten Druckanteil des Ozons am Gesamtluftdruck. Die Konzentration in ppb (siehe b) errechnet sich durch Division mit dem der Messstelle entsprechenden Luftdruck in b (Bar) oder in $\text{mb} \cdot 10^{-3}$ (Millibar, neu hPa, Hecto Pascal).
- b) *Parts per Billion*: Parts per billion ($1 \text{ ppb} = 10^{-9}$) gibt den relativen Anteil des betreffenden Gases in der Luft an und bezieht sich auf das Volumen, weshalb sich die Einheit oft auch als ppbV schreibt. Die Einheit ist druck- und temperaturunabhängig, was bei Umrechnungen in Gewichts-Volumen-Einheiten ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) beachtet werden muss. Unter der Berücksichtigung der Gasgesetze und des Umstandes, dass 1 Mol seine Molmasse in g enthält und bei Normalbedingungen, das heisst einem Druck von 1 atm (1013,25 hPa) und einer Temperatur von 0°C (273,15 °K), ein Volumen von 22,413 l einnimmt, ergibt sich für die Umrechnung von ppb in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ein folgender allgemein gültiger Umrechnungsfaktor (F):

$$F_{\text{ppb} \rightarrow \mu\text{g}/\text{m}^3} = 12,03 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P_B}{T_B} \cdot M_G, \text{ wobei } \begin{aligned} P_B &= \text{Bezugsdruck (hPa)} \\ T_B &= \text{Bezugstemperatur (}^\circ\text{K)} \\ M_G &= \text{Molmasse des Gases (g)} \end{aligned}$$

Da Ozon eine Molmasse von 48 g hat, ergeben sich je nach der Meereshöhe bzw. den Bezugsbedingungen die in *Tabelle 1* aufgeführten Umrechnungsfaktoren.

Tabelle 1. Umrechnungsfaktoren (F) für Ozonkonzentrationen in ppb-Einheiten nach $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Einheiten in Abhängigkeit der Meereshöhe und den entsprechenden mittleren Jahrestemperatur- und Luftdruckverhältnissen der Messstelle ($\text{Konz. } \mu\text{g}/\text{m}^3 = F \cdot \text{Konz. ppb}$).

Meereshöhe (m)	P_B (hPa)	T_B ($^\circ\text{C}$)	F	T_B' ($^\circ\text{C}$)	F'
0	1013	12	2,052	20	1,996**
500	950	9	1,944*		
1000	900	6	1,862		
1500	850	3	1,777	20	1,674***
2000	800	0	1,691	20	1,576***
2500	750	-3	1,603	20	1,477***
3000	700	-6	1,513	20	1,379***

* fester Umrechnungsfaktor in der Schweiz (vergleiche 10, 11).

** fester Umrechnungsfaktor in Deutschland für alle Meereshöhen unter 1000 m (vergleiche 16).

*** Meereshöhenabhängige, druckkorrigierte Umrechnungsfaktoren in Deutschland bei einer festen Temperatur von 20°C (vergleiche 16).

- c) *Mikrogramm pro Kubikmeter*: Die Einheit in Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) wird oft in offiziellen Zusammenstellungen oder im Zusammenhang mit Grenzwerten verwendet. Für den Vergleich verschiedener Messstellen sind unbedingt die unterschiedlichen Bezugsbedingungen zu beach-

ten, da die Einheit druck-, temperatur- und molmassenabhängig ist. Für Ozon ergibt sich die Umrechnung in ppb-Einheiten unter Berücksichtigung der Bezugseinheiten durch Multiplikation mit den Kehrwerten der Faktoren (1:F) aus der *Tabelle 1*.

Auch wenn aus praktischen Gründen der Überwachung die Einheit $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gefordert wird, wollen wir nicht verhehlen, dass diese Einheit für die Pflanze weniger von Belang ist, da sie relative Luftanteile aufnimmt und beim Vergleich verschiedener Stationen nur Probleme bietet. Wir werden deshalb im zweiten Teil der Arbeit die Einheit ppb verwenden und allfällige Angaben anderer Autoren unter Berücksichtigung der gewählten Bezugsbedingungen nach den in *Tabelle 1* aufgeführten Faktoren umrechnen.

Messresultate

Die Messungen bestätigten die im Vergleich zum Mittelland erwarteten erhöhten Tagesdurchschnittskonzentrationen mit ihrem relativ ausgeglichenen Tagesgang (vergleiche 13, 14). *Abbildung 1* zeigt für die Station Rötiboden einen

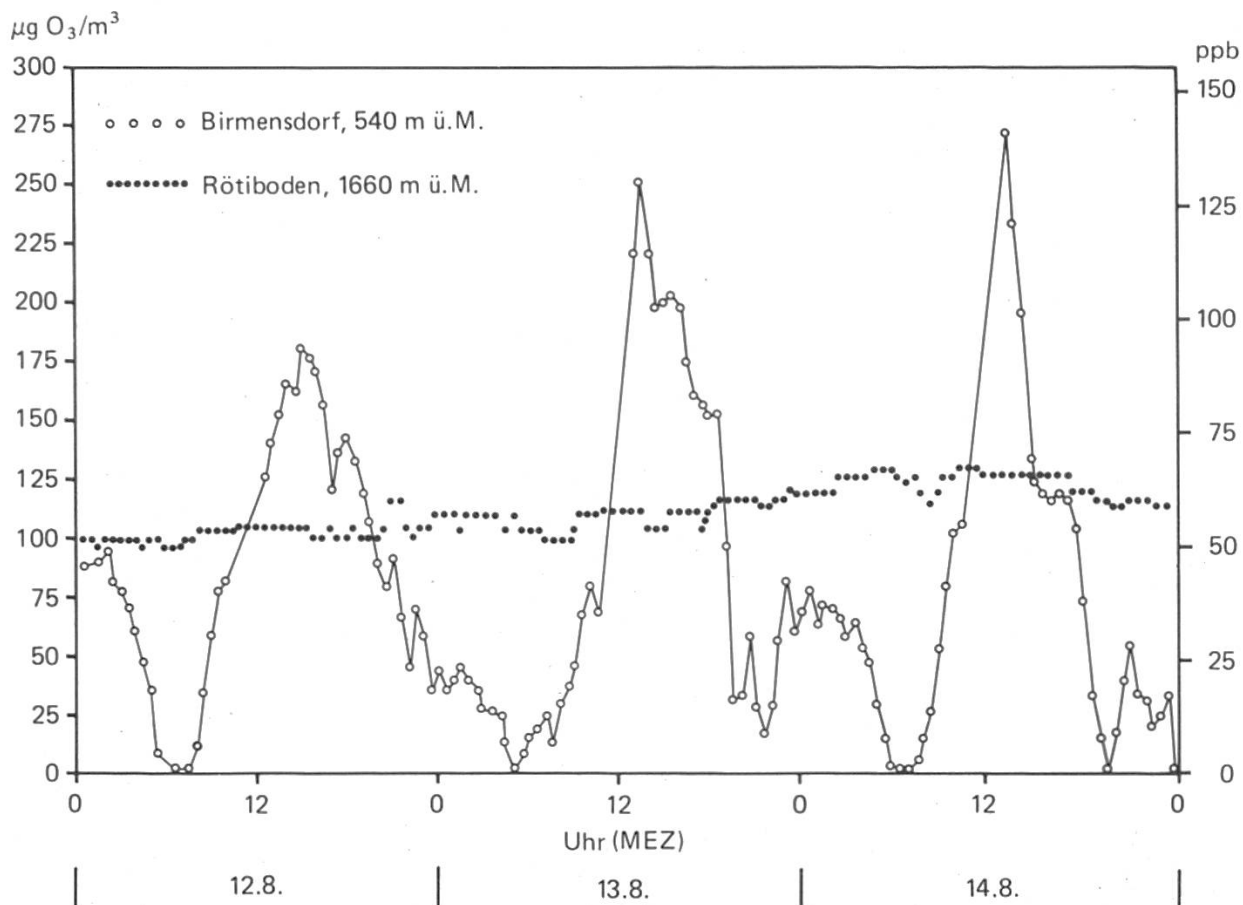


Abbildung 1. Ozonkonzentrationsverlauf auf dem Rötiboden und in Birmensdorf im August 1985.

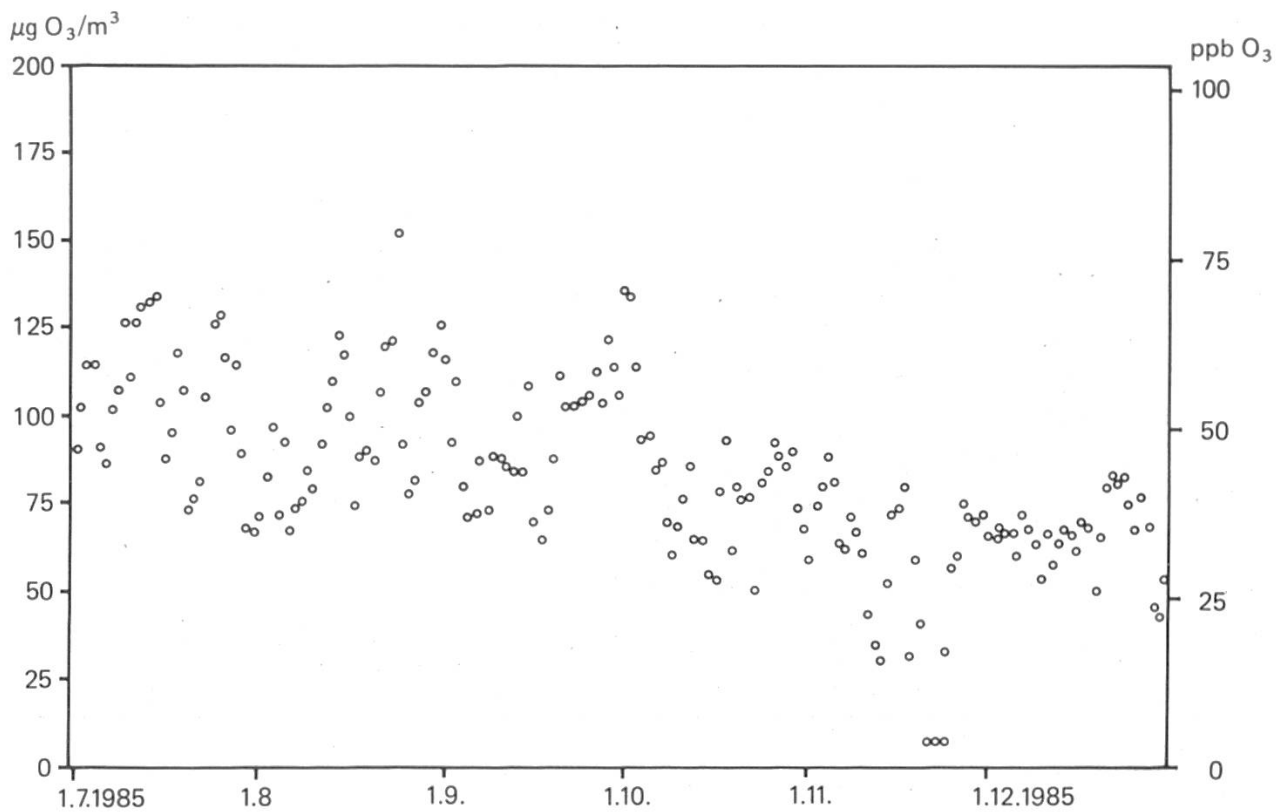


Abbildung 2. Tagesmittel der Ozonkonzentrationen auf dem Rötiboden in der zweiten Jahreshälfte 1985.

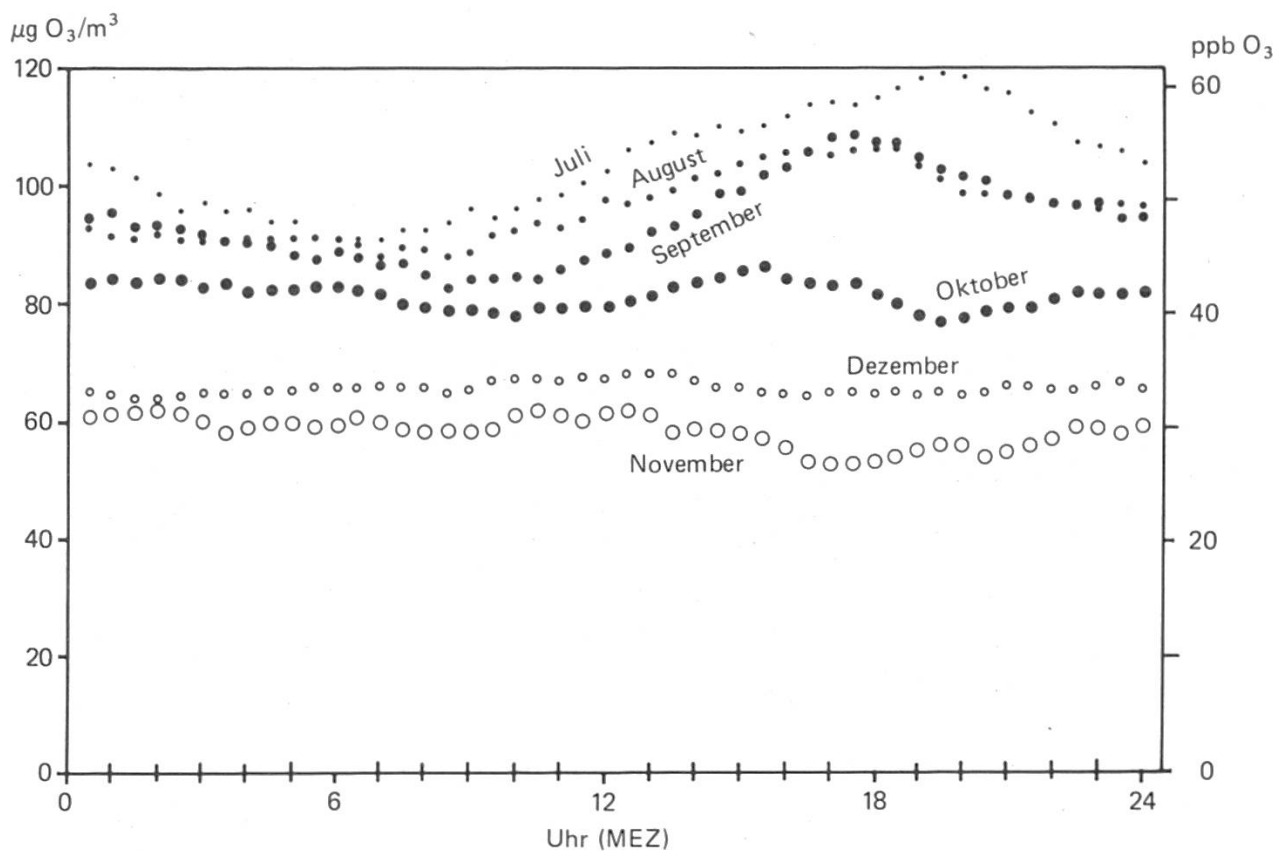


Abbildung 3. Durchschnittliche Tagesgänge der Ozonkonzentrationen pro Monat der zweiten Jahreshälfte 1985 auf dem Rötiboden.

typischen, sommerlichen Ozonkonzentrationsverlauf: durchgehend hohe Werte ohne Konzentrationseinbrüche am Morgen und am Abend. Auch die Mittellandstation Birmensdorf weist in dieser Periode einen typischen Verlauf auf. Allerdings ist die Luftbelastung während dieser Zeit gerade extrem hoch; normalerweise übersteigen die nachmittäglichen Spitzenkonzentrationen von Birmensdorf die Ozonwerte der Gebirgsstation nicht allzu oft. Auf dem Rötiboden lagen die Tagesmittel zwischen $155,0 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (79,9 ppb) im August und $7,4 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (3,8 ppb) im November (*Abbildung 2*), wobei die maximalen Halbstundenmittel die Tagesmittel in der Regel um 20 % überstiegen. Das höchste Halbstundenmittel der Messperiode wurde mit $170,9 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (88,1 ppb) im Juli gemessen. Die durchschnittlichen Tagesgänge pro Monat hatten einen vom jeweiligen Monatsdurchschnitt nur wenig abweichenden Konzentrationsverlauf (*Abbildung 3*). Die Monatsmittel lagen zwischen $103,4 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (53,3 ppb) im Juli und $58,0 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (29,9 ppb) im November (*Tabelle 2*). Die relativ homogenen Konzentrationsverhältnisse der Ozondaten des Rötibodens gehen auch aus den Quantilen der Summenhäufigkeitsverteilung aller Halbstundenmittel eines Monats hervor (*Tabelle 3*).

Tabelle 2. Ozonbelastung auf dem Rötiboden 1985 (1-Stunden-Mittel).

Monat	Mittel	n	Std.-Mittel	Klassengrenzen $\mu\text{g}/\text{m}^3$						
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		Max. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	> 90	> 105	> 120	> 135	> 150	> 165	> 180
				Anzahl Überschreitungen						
Juli	103	741	169	514	336	160	85	22	5	—
August	96	743	168	425	214	102	51	24	3	—
September	94	719	152	386	236	93	33	4	—	—
Oktober	81	734	146	195	82	54	23	—	—	—
November	58	676	93	13	—	—	—	—	—	—
Dezember	66	709	89	—	—	—	—	—	—	—
Juli—Dezember	83	4322	169	1533	868	409	192	50	8	—

Tabelle 3. Verteilung der Halbstundenmittelwerte pro Monat auf dem Rötiboden 1985. Quantilwerte in $\mu\text{g O}_3/\text{m}^3$.

Monat	Quantil						
	10 %	30 %	50 %	70 %	90 %	95 %	98 %
	$\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$						
Juli	72	90	102	114	138	147	156
August	69	83	93	103	128	142	155
September	64	80	93	107	126	136	145
Oktober	52	71	81	89	110	128	141
November	18	49	64	74	85	88	105
Dezember	48	61	67	72	82	86	88

Diskussion und Vergleich zu anderen Messungen im Gebirge

Nach der neuen Luftreinhalte-Verordnung (15) müssen 98 % der Halbstundenmittelwerte eines Monats unter (\leq) $100 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ liegen, und $120 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ als 1-Stunden-Mittelwert darf im Jahr höchstens einmal überschritten werden. *Tabelle 2* wie *Tabelle 3* zeigen, dass wir im Gebirge — wir nehmen an, die Ozonkonzentrationen auf dem Rötiboden seien für höhere Lagen einigermaßen repräsentativ — drastische Grenzwertüberschreitungen zu erwarten haben. Die Grenzwertüberschreitungen wären auch vorhanden, wenn die hier aufgeführten Konzentrationswerte in $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ entsprechend der effektiven Meereshöhe bzw. den durchschnittlichen Jahrestemperatur- und Luftdruckverhältnissen noch um 10 % herabgesetzt würden. Allfällige Ozonalarmauslösungen, wie sie die Spitzenkonzentrationen des Mittellandes nahelegen könnten, dürften von den Ozonkonzentrationen im Gebirge aber kaum zu erwarten sein (vergleiche *Abbildung 1*).

Grenzwertbetrachtungen zu Immissionskomponenten sind sicher wichtig und nötig. Sie sollten aber immer auch in einen Bezug zu den natürlicherweise vorkommenden Konzentrationen dieser Komponenten in der Luft oder zumindest zu ihrem weiträumig feststellbaren Grundpegel gebracht werden. Wenn wir in der Folge unsere halbjährige Messreihe des Rötibodens zu einem solchen Bezug benutzen, so sind wir uns der Grenzen dieses Vorhabens bewusst: Weder können wir für unsere Messstelle anthropogenes von natürlichem Ozon unterscheiden, noch wissen wir, wie sich die Ozonkonzentrationen an Ort und Stelle von Jahr zu Jahr verhalten.

Wenn wir die Ozondaten des Rötibodens betrachten, wollen wir uns zuerst fragen, ob sich die Konzentrationen im Bereich des weiträumig feststellbaren Grundpegels befinden. In *Tabelle 4* sind die Ozonkenndaten einiger Gebirgsstationen des benachbarten Auslandes aufgetragen. Alle aufgeführten Stationen wurden bis vor kurzem noch als «Reinluftstationen» betrachtet; für den Schauinsland, den Hohenpeissenberg und den Patscherkofel muss dies heute sicher relativiert werden. Besonders hoch liegen die Ozonkonzentrationen auf dem Patscherkofel; im Jahres- und im Sommermittel liegen sie sogar über den kalifornischen Kennwerten der San Bernardino Mountains von 49 respektive 79 ppb (vergleiche 21). Vieles deutet darauf hin, dass die sehr hohen Ozonbelastungen am Patscherkofel zum Grossteil auf die im Inntal und Wipptal besonders hohe Verkehrsbelastung zurückgehen (22). Die Verkehrsbelastung ist aber auch im Reusstal hoch, und dennoch werden auf dem Rötiboden keine solchermassen hohen Mittelbelastungen gemessen. Es muss auch gefragt werden, inwiefern die doch relativ kurze Messperiode auf dem Patscherkofel ausreicht, um die dortige Ozonbelastung zu charakterisieren. Die Monatsmittel scheinen am Patscherkofel von Jahr zu Jahr stark zu schwanken; nach einer schriftlichen Mitteilung von Weber (Landesforstdirektion) betrug im Jahre 1982 im Mai das Monatsmittel 109 ppb, das maximale Tagesmittel 154 ppb und das maximale

Tabelle 4. Ozonkonzentrationen in ppb von Gebirgsstationen in der Bundesrepublik, in Österreich und der Schweiz in den Jahren 1975 bis 1985. Jahr: Jahresmittel, Sommer: Mittel April–September, Max.: 1-Stunden-Maximum

Land	Lokalität (Meereshöhe m)	Region	Jahr Mittel	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	Ref.	
D	Bodenmais (1300) ¹	Bayr. Wald	Jahr	—	—	—	—	—	—	—	31	31	29	—	16,17	
			Sommer	—	—	—	—	—	37	38	35	—	—			
			Max.	—	—	—	—	—	78	85	70	—	—			
	Brotjacklriegel (1016)	Bayr. Wald	Jahr	—	—	—	—	—	31	39	42	42	—	—	16	
			Sommer	—	—	—	—	—	36	50	48	54	—	—	—	
			Max.	—	—	—	—	—	81	97	103	112	—	—	—	
	Schauinsland (1205)	Schwarzwald	Jahr	—	—	—	—	—	54	—	44	44	—	—	—	16
			Sommer	—	—	—	—	—	64	—	53	53	—	—	—	—
			Max.	—	—	—	—	—	175	—	130	124	—	—	—	—
	Hohenpeissenberg (1000) ²	Oberbayern	Jahr	31	34	30	32	29	30	32	35	30	34	37	16,18	
			Sommer	42	43	37	40	37	36	39	43	36	36	44	40	—
Max.			98	92	85	99	94	63	84	120	79	79	130	100	—	
Wank (1780) ³	Bayr. Alpen	Jahr	—	—	—	—	—	40	41	43	49	48	—	—	16,17	
		Sommer	—	—	—	—	—	45	47	51	58	54	—	—	—	
		Max.	—	—	—	—	—	98	93	93	116	105	—	—	—	
Zugspitze (2964) ³	Bayr. Alpen	Jahr	—	—	—	—	—	39	42	49	46	44	—	—	16,17	
		Sommer	—	—	—	—	—	44	47	56	53	52	—	—	—	
		Max.	—	—	—	—	—	80	88	99	91	89	—	—	—	
A	Patscherkofel (1954) ⁴	Tir. Alpen	Jahr	—	—	—	—	—	80	—	—	—	—	19		
			Sommer	—	—	—	—	—	88	—	—	—	—	—	—	—
			Max.	—	—	—	—	—	140	—	—	—	—	—	—	—
	Ahornspitze (1950) ⁵	Tir. Alpen	Jahr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20		
			Sommer	—	—	—	—	—	—	—	—	—	51	—	—	—
			Max.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	76	—	—
CH	Rötiboden (1660) ⁶	Zentr.-Alpen	Jahr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42		
			Sommer	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	
			Max.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	87	

Ref. 16: alle Angaben in $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$, umgerechnet in ppb (siehe Text); ¹ Maximalwert = Halbstundenmittel, ² Werte des Jahres 1985 nur von Januar–Juni, ³ 1984: Maximalwert = Halbstundenmittel, ⁴ Jahresmittel von Mai–Dezember, Sommermittel von Mai–September, Maximalwert = Halbstundenmittel, ⁵ Sommermittel von April–Juni, Maximalwert = Halbstundenmittel, ⁶ Jahresmittel von Juli–Dezember, Sommermittel von Juli–September.

Halbstundenmittel 166 ppb, im Jahre 1985 waren die entsprechenden Werte mit 63 ppb, 77 ppb und 88 ppb bedeutend kleiner. Die in der *Tabelle 4* aufgeführten Stationen dürften aber insgesamt für den in der Höhe zu erwartenden Grundpegel der Ozonkonzentrationen dennoch charakteristisch sein. Die Ozonkonzentrationen des Rötibodens scheinen somit eindeutig in den Bereich dieses Grundpegels zu gehören.

Eine zweite Frage stellt sich nach dem direkten anthropogenen Einfluss auf die Ozonkonzentrationen des Rötibodens. Aufgrund der Tagesgänge (vergleiche *Abbildungen 1* und *2*), bei welchen sich weder am Morgen noch am Abend deutliche Konzentrationseinbrüche feststellen lassen, dürfte ein solcher direkter anthropogener Einfluss, falls vorhanden, klein sein. Der Tagesgang des Rötibodens stimmt in seinem Verlauf mit demjenigen anderer Gebirgsstationen wie der des Tschuggens bei Arosa (2049 m ü. M., 23) und der Corviglia bei St. Moritz (2500 m ü. M., 24) oder des Wanks und der Zugspitze in den bayerischen Alpen (1780 und 2964 m ü. M., 25) überein; allerdings liegen die Anfang der siebziger Jahre in einer beschränkten Messkampagne gemessenen Werte auf der Corviglia generell tiefer (24). Obwohl auch der Rötiboden noch im Bereich der Planetaren Grenzschicht liegt, ist er doch des öfteren über der Inversions- und Mischungsschicht (siehe *Abbildungen 4* und *5*), und seine Ozonkonzentrationen können, wie diejenigen des Wanks und der Zugspitze (vergleiche 16), mit gewissen Einschränkungen als repräsentativ für die freie Troposphäre betrachtet werden. Selbstverständlich ist auch der Rötiboden nicht frei von indirekten, weithertransportierten, anthropogenen Ozon- bzw. Immissionseinflüssen. In anthropogen unbeeinflussten Gebirgsgegenden müssten tagsüber tiefere Ozonkonzentrationen erwartet werden als nachts (26), was sich mit den Hangauf- und Talwinden, die am Tag infolge des langen Bodenkontaktes ozonarme Luft zur Bergspitze bringen, und den nächtlichen Hangab- und Bergwinden, die ozonreiche Luft aus dem oberen Teil der Grenzschicht und der freien Troposphäre heranzuführen, erklärt (vergleiche 27).

Eine letzte Frage richtet sich nach den «natürlichen» Grundpegelkonzentrationen in höheren Lagen bzw. der freien Troposphäre. Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten, da die Angaben und Meinungen dazu kontrovers sind. Zum Beispiel geben *Singh et al.* (8) den «natürlichen» Bereich der mittleren Ozonkonzentrationen in den abgelegenen, erhöhten Lagen mit 40 bis 80 ppb an, während sie in einer späteren Arbeit (28) von einem Mittel um 40 ppb und einer Spitzenkonzentration von 80 ppb sprechen; für den Hohenpeissenberg wird auf 1000 m (m ü. M.?) ein beachtlicher Ozonanstieg in den siebziger Jahren angegeben, welcher sich aber in Bodennähe (1000 m ü. M.) nicht zeigt (vergleiche 29, 30). Fest steht jedoch, dass die Ozonkonzentrationen in der Stratosphäre um Grössenordnungen höher sind als in der Troposphäre (*Abbildung 4*). Ozon entsteht in der Stratosphäre über komplexe photochemische Prozesse aus Sauerstoffmolekülen, wobei sich das Gleichgewicht zwischen Bildungs- und Zerstörungsprozessen in der unteren Stratosphäre durch Transportvorgänge zu-

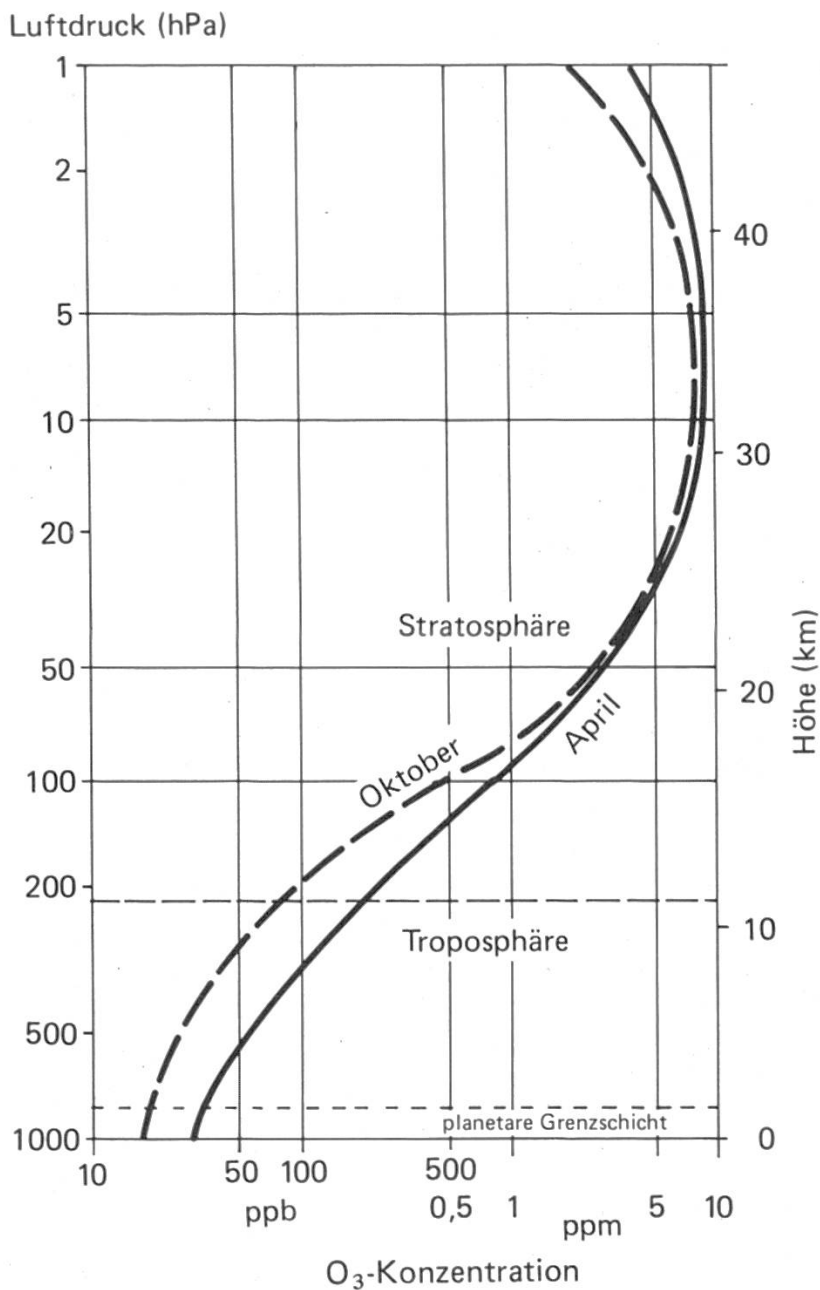


Abbildung 4.

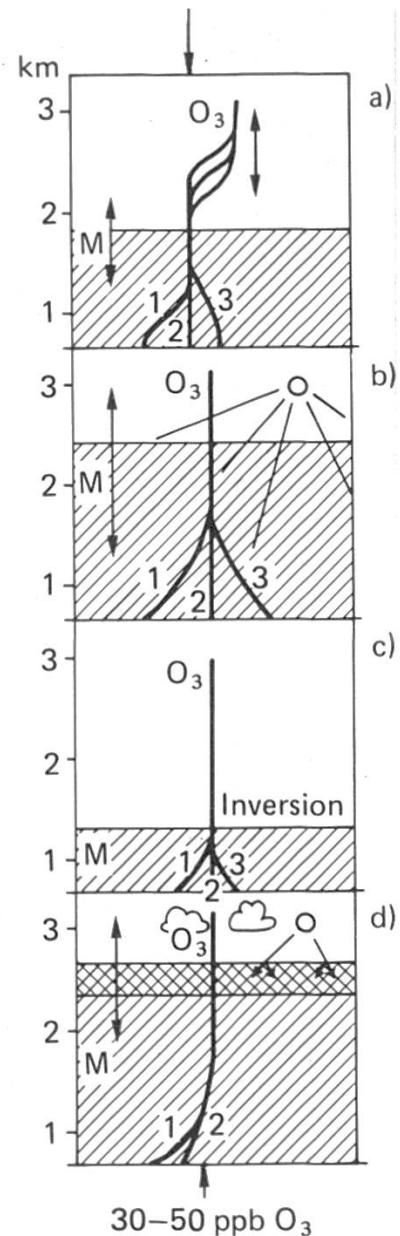


Abbildung 5.

Abbildung 4. Schematisierte vertikale Ozonverteilung in der Stratosphäre und Troposphäre für den 40. nördlichen Breitengrad (nach Dütsch [31], verändert).

Abbildung 5. Herkunft und Bildung von Ozon in der unteren Troposphäre. Typische Situationen. M Mischungsschicht, 1 Nacht, 2 Mittag, 3 früher Nachmittag, a) die Ozonkonzentration ergibt sich aus den Einträgen der Stratosphäre und der Photosynthese in der Grenzschicht, b) eine starke Photosynthese in der unteren Mischungsschicht bestimmt am Nachmittag die Ozonkonzentration, nicht höher als 1,5 km, c) bei einer Inversionslage findet die photochemische Ozonbildung nur unterhalb der Inversionsschicht statt, d) bei Bewölkung (Stratokumulus, Kumulus) ergibt sich nur eine schwache Photosynthese (nach Reiter und Kanter [25], leicht verändert, Marke ↑ 30–50 ppb O₃ durch uns).

gunsten der Ozonbildung einstellt (vergleiche 31). Die Ozonkonzentrationen der unteren Troposphäre ergeben sich in der natürlichen, unbelasteten Atmosphäre dann aus Einträgen aus der Stratosphäre und photochemischen Prozessen in der Mischungsschicht aus natürlichen Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen (25, *Abbildung 5*). Aufgrund von Messungen in abgelegenen Gebieten und auf Berggipfeln in Amerika und Europa sowie zahlreichen Ballonsondaufstiegen in die Troposphäre und die Stratosphäre liegen die mittleren Grundpegelkonzentrationen für unverschmutzte Regionen seit den siebziger Jahren in tiefergelegenen Lagen des Flachlandes und in Bodennähe zwischen 20 und 40 ppb O₃ (tägliche Maxima bis 60 ppb), während in höheren Lagen im Gebirge über der Mischungsschicht 50 bis 70 ppb O₃ (Maxima selten über 80 ppb) typisch sind (8, 16, 25). Die Ozonkonzentrationen des Rötibodens liegen demnach im Mittel und in den Spitzen im Bereich des «unverschmutzten, reinen» Grundpegels (ganz anders als die Mittellandstation Birmensdorf, siehe *Abbildung 1*).

In den letzten 10 bis 15 Jahren liess sich allerdings in der unteren Troposphäre ein genereller Ozonanstieg beobachten (vergleiche Stationen Wank und Zugspitze, *Tabelle 4*); inwieweit dieser Anstieg anthropogen beeinflusst oder «natürlich» ist, kann zurzeit noch nicht abschliessend beurteilt werden (30). Über Lindenberg (DDR, Bezirk Potsdam) wird für die Periode 1975 bis 1982 der jährliche Ozonanstieg in der Höhenlage 2 bis 8 km mit 0,46 % angegeben (32). Ein etwas höherer Wert, 0,75 %a⁻¹ oder 9,4 % für die Jahre 1970 bis 1981, ergibt sich im Mittel für verschiedene Stationen Europas (33). Vergleichen wir nun — bei allen Vorbehalten, die anzubringen sind — unsere Werte des Rötibodens mit den von *Diitsch* (34) in den Jahren 1966 bis 1972 durch Ballonsondaufstiege in 2 km Höhe über Thalwil und Payerne ermittelten Werten, so lässt sich für die zweite Jahreshälfte von 1969 bis 1985 eine Ozonzunahme von 0,63 %a⁻¹ errechnen (vergleiche *Tabelle 5*). Damit liegt der Ozonanstieg der letzten 16 Jahre in den höheren Lagen der Schweiz im Bereich der oben erwähnten generellen Grundpegelerhöhung in der unteren Troposphäre. Unter der Annahme, die jährliche Ozonzunahme um 0,63 % hätte in der Schweiz schon vor 1969 in gleicher Weise stattgefunden, liesse sich für die Höhe von 2000 m ü. M. eine mittlere Ozonkonzentration von 34 ppb im Jahre 1951 errechnen. Dieser extrapolierte Wert ist nun doppelt so hoch wie der zu jener Zeit in Arosa gemessene Wert (vergleiche *Tabelle 5*). Inwiefern diese mittleren Ozonkonzentrationen von 17 ppb von *Götz* und *Volz* (35) oder *Perl* (36) in ihrem absoluten Betrag als korrekt betrachtet werden dürfen, muss offen bleiben (Graber, EIR, schriftliche Mitteilung), da Ozonmess- und Eichmethoden vor Mitte der siebziger Jahre mancherorts nicht genügten (37). Entsprächen die errechneten 34 ppb O₃ für die fünfziger Jahre einer zutreffenden, natürlichen Ozonkonzentration in der unteren Troposphäre, so ist interessant, dass wir (38) aufgrund der PAN/O₃-Korrelation 1984 für die Mittellandstation Birmensdorf eine solche sommerliche, natürliche Spitzenkonzentration ableiteten, ein unter der Berück-

sichtigung der Meereshöhe und des generellen Ozonanstieges durchaus plausibler Wert. Nun wurden aber vor 1962 in der ganzen nördlichen Hemisphäre tiefere Ozonkonzentrationen gemessen (39), welche wohl kaum alle falsch waren (40). Es bleibt die Frage, weshalb eine Verdoppelung der Ozonkonzentrationen in der unteren Troposphäre Anfang der sechziger Jahre innerhalb solch kurzer Zeit nicht kommentiert wurde.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass die im letzten Jahr auf dem Rötiboden im Monatsmittel gemessenen Ozonkonzentrationen von 30 bis 53 ppb im Bereich des zu erwartenden Grundpegels der wenig belasteten, «natürlichen» unteren Troposphäre liegen. Damit stellen sich in den höheren Lagen der Schweiz kritische Fragen zur Einhaltung des Ozon-Immissionsschutzgrenzwertes: (i) Darf ein Grenzwert unterhalb des «natürlichen» Grundpegels liegen, oder (ii), falls dieser Grundpegel zwar nicht naturgegeben ist, aber dem der nördlichen Hemisphäre entspricht, darf ein Grenzwert (nicht Zielwert!) ausserhalb der Möglichkeiten der nationalen Emissionsmassnahmen liegen, und

Tabelle 5. Ozonkonzentrationen (ppb) in höheren Lagen der Schweiz. Jahresgang gemittelter Monatsmittelwerte (siehe Anmerkung 1).

<i>Station</i>	<i>Arosa</i>	<i>Arosa</i>	<i>Thalwil/ Payerne</i>	<i>Rötiboden</i>
<i>Meereshöhe (m)</i>	<i>1860</i>	<i>1810</i>	<i>2000</i>	<i>1660</i>
<i>Messstelle</i>	<i>bodennah</i>	<i>bodennah</i>	<i>freie Troposph.</i>	<i>bodennah</i>
<i>Zeitperiode</i>	<i>1950–1951</i>	<i>1954–1958</i>	<i>1966–1972</i>	<i>1985</i>
Januar	12	12	28	—
Februar	14	18	32	—
März	20	20	36	—
April	28	25	46	—
Mai	30	29	46	—
Juni	25	27	44	—
Juli	24	21	48	53
August	22	23	46	49
September	16	20	42	48
Oktober	14	19	37	42
November	15	14	29	30
Dezember	12	11	27	34
Jahresmittel	19	20	38	—
Juli–Dezember	17	18	38	42
Anmerkung	2	3	4	5

Anmerkungen:

1. Die fremden Messwerte wurden aus Abbildungen der Publikationen entnommen und umgerechnet.
2. Messung nach einem elektrochemischen Verfahren nach Ehmert. Originalskala in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), umgerechnet in ppb mit Faktor 0,59 (35).
3. wie 2.), 466 Messtage; Messungen von 5 bis 21 Uhr, die Durchschnittswerte dürften etwas zu tief sein, da dadurch die nächtlichen Maxima nicht voll erfasst wurden (36).
4. Messung nach einem elektrochemischen Verfahren nach Brewer-Mast, Messwerte durch Gesamtazonwerte korrigiert; Originalskala in nb: 3 Sondenaufstiege pro Woche (34).
5. Messung nach UV-Absorptionsspektrophotometrie, Originalwerte in ppb.

schliesslich (iii), dürfen im Falle des faktischen Zusammenfallens des Grenzwertes mit der Grundpegelkonzentration zur Grenzwertüberwachung feste, von der Höhenlage unabhängige Umrechnungsfaktoren von der Messung zur vorgeschriebenen Konzentrationseinheit in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ verwendet werden? Solche Fragen an die Grenzwertfestlegung wurden wiederholt gestellt, allerdings im Zusammenhang mit dem amerikanischen Wert von $160 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ (80 ppb) in der Zeit vor 1979 (vergleiche 8, 32). Die Fragen sind für die Forstwirtschaft insofern kritisch, als sie tiefe Werte forderte (41), die Phytotoxizität von Ozon in der Nähe dieses Konzentrationsbereiches belegt ist (vergleiche 42) und sich viele Schutzwälder in der Zone der massiven Grenzwertüberschreitungen befinden.

Verdankungen

Dem Forstdienst des Kantons Uri und der Centralschweizerischen Kraftwerk AG Luzern und Göschenen danken wir für ihr Entgegenkommen bei der Durchführung der Messung. Verdankt seien auch die wertvollen Hinweise der Herren Dres. W. Graber, EIR Würenlingen, S. Smidt, Bundesversuchsanstalt Wien, und Weber, Landesforstdirektion Innsbruck.

Résumé

Mesures d'ozone au Rötiboden sur Göschenen UR

Des mesures d'ozone ont été effectuées au Rötiboden sur Göschenen (canton d'Uri), à 1660 m d'altitude, de juillet à décembre 1985.

Il en ressort que les composants de ces immissions dépassent nettement la valeur limite imposée par la nouvelle ordonnance sur la protection de l'air (OPair). Cette limite, fixée à $120 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ pour la durée maximale d'une heure, fut dépassée 409 fois au moins, de juillet à octobre. Quant aux valeurs quantiles de 98 %, fixées à $100 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ par moyenne d'une demi-heure et pendant un mois, elles furent également dépassées, à l'exception du mois de décembre. La moyenne par demi-heure la plus élevée atteint $171 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (88 ppb). Les moyennes journalières se situent entre 7 et $155 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (4 et 80 ppb), les mensuelles entre 58 et $103 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$.

Le résultat de ces données devrait être comparé à d'autres valeurs en Suisse et à l'étranger. Mais il faut avant tout que ces mesures, effectuées durant une courte période, puissent être reconnues comme représentatives de ces zones situées en haute altitude. La question de savoir si les concentrations d'ozone du Rötiboden illustrent un niveau de départ «naturel» pour ces régions élevées doit encore rester ouverte pour l'instant. En effet, les mesures effectuées à d'autres endroits, au cours de cette décennie, apportent un résultat semblable à celui que nous connaissons aujourd'hui. En comparant ces mesures à celles obtenues à des époques antérieures à 1960, on pourrait en conclure que c'est au début des années 1960 que les concentrations d'ozone ont rapidement augmenté.

Traduction: *M. Dousse*

Literatur

- 1) Arndt, U., Seufert, G., Nobel, W., 1982: Die Beurteilung von Ozon an der Komplexkrankheit der Tanne (*Abies alba* Mill.) — eine prüfenswerte Hypothese. Staub-Reinhalt. Luft 42, 243—247.
- 2) Bucher, J. B., 1982: Waldschäden durch Immissionen? Physiologische Veränderungen und ökotoxikologische Wirkmechanismen. Probleme der Differentialdiagnose. Gottlieb Duttweiler-Institut, CH-8803 Rüschlikon, 91—109.
- 3) Prinz, B., Krause, G. H. M., Stratmann, H., 1982: Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. LIS-Bericht Nr. 28.
- 4) Bucher, J. B., Kaufmann, E., Landolt, W., 1984: Waldschäden in der Schweiz 1983 (1. Teil). Interpretation der Sanasilva-Umfrage aus der Sicht des forstlichen Immissionsschutzes. Schweiz. Z. Forstwes. 135, 271—287.
- 5) Schmid-Haas, P., 1985: Der Gesundheitszustand des Schweizer Waldes 1984. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 251—273.
- 6) Ergebnisse der Sanasilva-Waldschadeninventur 1985. Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, Bern, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf (1985), 47 S.
- 7) Götz, F. W. P., 1954. Klima und Wetter in Arosa. Verlag Huber, Frauenfeld, 148 S.
- 8) Singh, H. B., Ludwig, F. L., Johnson, W. B., 1977: Ozone in clean remote atmospheres: Concentrations and variabilities. Final Report, SRI Project 5661, CRC Contract CAPA-15-76, SRI Internat. Menlo Park, Calif., 147 pp.
- 9) Bucher, J. B., Landolt, W., 1985: Zur Diagnose von Ozonsymptomen auf Waldbäumen. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 863—865.
- 10) Bundesamt für Umweltschutz, 1979: Empfehlungen zur Messung und Beurteilung von Schwefeldioxid-(SO₂)-Immissionen. August 1979, 6 S.
- 11) Bundesamt für Umweltschutz, 1980. Empfehlungen zur Messung und Beurteilung von Stickstoffdioxid-(NO₂)-Immissionen. Juli 1980, 7 S.
- 12) VDI-Richtlinie 2468, Mai 1978.
- 13) Bleuler, P., Bucher, J. B., 1984: Luftbelastung im Raume Birmensdorf ZH. Schweiz. Z. Forstwes. 135, 801—805.
- 14) Bleuler, P., Bucher, J. B., 1985: Luftbelastung 1984 im Raume Birmensdorf ZH. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 665—670.
- 15) Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985, SR 814.318.142.1, 66 S.
- 16) Becker, K. H., Fricke, W., Löbl, J., Schurath, U., 1985: Formation, transport, and control of photochemical oxidants. In: Guderian, R. (ed.): Air pollution by photochemical oxidants. Springer Verlag Berlin, 3—125.
- 17) Lufthygienischer Jahresbericht 1984. Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Oldenbourg Verlag, Heft 66 (1985), 266 S.
- 18) Deutscher Wetterdienst, 1985: Sonderbeobachtungen des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeissenberg, Nr. 51 bis 53.
- 19) Smidt, S., 1983: Über das Auftreten von Ozon und Stickstoffoxiden in Waldgebieten Österreichs. Eur. J. For. Path. 13, 133—141.
- 20) Glattes, F., Smidt, S., Drescher, A., Majer, C., Mutsch, F., 1985: Höhenprofil Zillertal. FBVA Berichte Nr. 9, 81 S.
- 21) McBride, J. R., Miller, P. R., 1986: Responses of American forests to photochemical oxidants. In: Effects of acidic depositions on forests, wetlands and agricultural ecosystems (Hutchinson, T. C., Meema, K. M., [eds.]), NATO ASI Ser., Springer, in press.
- 22) Zustand der Tiroler Wälder. Bericht an den Tiroler Landtag 1985, 169 S.
- 23) Graber, K. W., 1985: Die Auswirkung von Photochemie und Windtransportsystem auf das Ozon der Planetaren Grenzschicht über Arosa. Diss. ETH-Nr. 7719, 203 S.
- 24) Georgii, H. W., Jost, D., Kaller, R. S., Müller, J., 1974: Über den Zusammenhang zwischen luftchemischen und meteorologischen Parametern im Hochtal von St. Moritz. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B, 22, 363—373.
- 25) Reiter, R., Kanter, H.-J., 1982: Time behavior of CO₂ and O₃ in the lower troposphere based on recordings from neighboring mountain stations between 0.7 and 3.0 km ASL including the effects of meteorological parameters. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B, 30, 191—225.
- 26) Berry, Ch. R., 1964: Differences in concentrations of surface oxidant between valley and mountaintop conditions in the Southern Appalachians. JAPCA 14, 238—239.

- 27) Broder, B., 1984: Der Einfluss der Kopplung zwischen Transportvorgängen und chemischen Prozessen auf den Tagesgang des Ozons in der Planetaren Grenzschicht über komplexer Topographie. LAPETH—21, 304 S.
- 28) Singh, H. B., Ludwig, F. L., Johnson, W. B., 1978: Tropospheric ozone: Concentrations and variabilities in clean remote atmospheres. *Atmosph. Environm.* 12, 2185—2196.
- 29) Attmannspacher, W., Hartmannsgruber, R., Lang, P., 1984: Langzeittendenzen des Ozons der Atmosphäre aufgrund der 1967 begonnenen Ozonmessreihen am Meteorologischen Observatorium Hohenpeissenberg. *Meteorol. Rdsch.* 37, 193—199.
- 30) Fricke, W., 1983: Grossräumige Verteilung und Transport von Ozon und Vorläufern. VDI-Bericht Nr. 500, 55—62.
- 31) Dütsch, H. U., 1980: Ozon in der Atmosphäre. Gefährdet die Stratosphärenverschmutzung die Ozonschicht? *Neujahrsblatt Naturforsch. Ges. Zürich*, 48 S.
- 32) Feister, U., Warmbt, W., 1984: Long-term surface ozone increase at Arkona. *Ozone Symposium IAMAP, Kalkidiki/Greece*, 3.—7. September 1984, 782—787.
- 33) Angell, J. K., Korshover, J., 1983: Global variation in total ozone and layermean ozone: an update through 1981. *J. Clim. Appl. Meteor.* 22, 1611—1627.
- 34) Dütsch, H. U., 1972: Diskussion der sechsjährigen Beobachtungsreihe der vertikalen Ozonverteilung über der Schweiz. *Verh. Schweiz. Nat.forsch. Gesellschaft, Wiss. Teil*, 152, 248—253.
- 35) Götz, F. W. P., Volz, F., 1951: Aroser Messung des Ozongehaltes der unteren Troposphäre und sein Jahresgang. *Z. Naturforschg.* 6a, 634—639.
- 36) Perl, G., 1965: Das bodennahe Ozon in Arosa und seine regelmässigen und unregelmässigen Schwankungen. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A*, 14, 449—458.
- 37) Grennfelt, P., Schjoldager, J., 1984: Photochemical oxidants in the troposphere: a mounting menace. *Ambio* 13, 61—67.
- 38) Landolt, W., Joos, F., Mächler, H., 1985: Erste Messungen des PAN-Gehaltes der Luft im Raume Birmensdorf ZH. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 421—426.
- 39) EPA, 1978: Air quality criteria for ozone and other photochemical oxidants. EPA-600 /8—78—004, 341 pp.
- 40) RTI, 1975: Investigations of rural levels as related to urban hydrocarbon control strategies. Final report, Research Triangle Inst., prep. for EPA, Rep. no. 450/3—75—036, Task 4. Zitiert in Singh et al., 1977 (8).
- 41) Vernehmlassung zur Luftreinhalte-Verordnung (LVR). Stellungnahme verfasst durch den Vorstand des Schweiz. Forstvereins. Schweiz. Z. Forstwes. 135, 975—978.
- 42) Guderian, R., Tingey, D. T., Rabe, R., 1985: Effects of photochemical oxidants on plants. In: Guderian, R. (ed): Air pollution by photochemical oxidants. Springer Verlag Berlin, 129—346.