

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

Mitteilungen

des

Deutschen Wetterdienstes

Nummer 1

Bad Kissingen

Juni 1953

DK 551.510.41:551.584.3

Kleinklimatische Ozonmessungen in Bad Kissingen

von

Dipl. Met. G. Zimmermann, Bad Kissingen

Die bioklimatische Forschung hat in neuerer Zeit dem Ozon wieder besondere Beachtung gewidmet, da man diesen Spurenstoff der Luft als biotrop ansieht. Es ist Aufgabe der Medizin, die Hypothese der Einwirkung des Ozons auf den menschlichen Organismus nachzuprüfen, während die Meteorologie die geophysikalischen Zusammenhänge, d. h. die Abhängigkeit der Ozonkonzentration von Wetter und Klima untersuchen muß.

Im Sommer und Herbst der Jahre 1950 und 1951 wurden auf Anregung von Herrn Prof. Dr. K. K n o c h in der nächsten Umgebung von Bad Kissingen kleinklimatische Ozonmessungen durchgeführt. Diese Meßreihen sollten Aufschluß geben über die wechselnden Ozonverhältnisse innerhalb eines Kurortes, um Grundlagen für eine eventuelle kleinklimatische Ozontherapie zu schaffen.

Um vergleichbare Ozonwerte zu erhalten, wurden die Meßreihen nur bei heiterem Strahlungswetter vorgenommen, weil zu erwarten war, daß die durch das Klein- und Mikroklima bedingten Ozonunterschiede bei dieser Wetterlage am deutlichsten ausgeprägt sein würden. Auch vom kurklimatischen Standpunkt aus interessieren besonders die Verhältnisse an Schönewettertagen, an denen sich der Kurgast normalerweise am häufigsten im Freien aufhält und voll unter den Einwirkungen des Lokalklimas steht.

Die Ozonwerte wurden mit dem Ozonhandmeßgerät, das sich vorzüglich für kleinklimatische Untersuchungen eignet, gewonnen. (Eine Beschreibung des Gerätes und der Meßmethodik findet sich bei H e i g e l (11).) Außerdem wurden gleichzeitig Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit mit einem A B m a n n'schen Aspirationspsychrometer und Windgeschwindigkeit mit einem Schalenkreuzanemometer, Modell F u e ß, gemessen.

Diese drei Instrumente wurden an einer Stange, dicht nebeneinander, bzw. übereinander befestigt, so daß sich die Ansaugöffnungen des Ozonhandmeßgerätes und des Aspirationspsychrometers in 125 cm Höhe und das Schalenkreuz des Anemometers in 200 cm Höhe über dem Erdboden befanden.

Alle Meßwerte beziehen sich auf diese Höhenstufen, falls es im Einzelfall nicht ausdrücklich anders vermerkt wurde.

Die mittlere Windgeschwindigkeit in 200 cm Höhe über dem Erdboden ist natürlich größer als in 125 cm Höhe. Nach G e i g e r (8) betragen die Unterschiede im Mittel 10%, doch kann man im Einzelfall wegen des Schichtenbaues der untersten Luftschicht die Werte nicht reduzieren. In erster Annäherung lassen sich aber die Windwerte in 2.00 m Höhe als Maß für den Horizontalaustausch in 1.25 m Höhe heranziehen. Die angegebenen Windgeschwindigkeiten in m/sec sind stets Mittelwerte über die Aspirationszeit des Ozonhandmeßgerätes (jeweils 8 Minuten).

Die Ozonkonzentration wird in γ/m^3 gemessen, wobei $1 \gamma = 0.000\ 001\ g$ ist. Die mitgeteilten Uhrzeiten geben den Beginn der Ozonmessung und damit der Wind-, Temperatur- und Feuchtigkeitsmessung in MEZ an. Die Maßeinheiten sind für die Lufttemperatur Centigrad und für die relative Luftfeuchtigkeit Prozent.

Bad Kissingen liegt im Bereich der südöstlichen Ausläufer der Rhön in einem Talkessel, der von der Fränkischen Saale von Norden nach Süden durchflossen wird. Die Seehöhe des Talbodens beträgt etwa 200 m, während die benachbarten Hügel bis 380 m über NN ansteigen. Der Stadtkern, die Kuranlagen und der Kurpark liegen im Talgrund. Die steil ansteigenden Hänge werden im unteren Teil von Villenkolonien, im oberen Teil von Parkanlagen und Wäldern eingenommen.

Wie A u e r (1) für Friedrichshafen, T i c h y (14) für Oberschreiberhau, U n g e h e u e r (15) (16) für Bad Tölz und C u r r y (5) für Tübingen und verschiedene andere Orte nachweisen konnten, stellt sich in den Talkesseln der deutschen Mittel- und Hochgebirge bei sommer-

lichem Strahlungswetter ein charakteristischer Tagesgang der Ozonkonzentration ein. Die Werte steigen nach dem Minimum während der Nachtstunden vormittags stark an, erreichen am Fröhnachmittag das Maximum und sinken abends rasch ab.

Nur Bad Tölz zeigt eine lokalklimatische Besonderheit, da nachts ein sekundäres Maximum beobachtet wird, das mit dem nächtlichen Bergwind in Verbindung steht.

Wie zu erwarten war, wurde auch in Bad Kissingen an sommerlichen Schönwettertagen ausnahmslos vormittags ein Anstieg, nachmittags ein relativ breites Maximum und abends ein steiler Abfall der Ozonwerte gemessen. Um bei den kleinklimatischen Untersuchungen den Tagesgang zu eliminieren, war es notwendig, bei jeder Meßreihe die Anzahl der Meßstellen auf 3—5 zu beschränken, dafür aber die Meßstellen mindestens dreimal nacheinander aufzusuchen.

Alle im Verlauf der Untersuchung festgestellten kleinklimatischen Ozonunterschiede lassen sich im wesentlichen mit drei Klimaelementen in Zusammenhang bringen, womit aber a priori noch keine Aussage über eine eventuelle direkte kausale Verknüpfung getroffen werden kann.

1. Eine Erhöhung der Konzentration von Verbrennungsgasen, insbesondere Motorenabgasen, läuft parallel mit einer Abnahme des Ozongehaltes. (Siehe Tabelle 1.)

Tabelle 1

Vergleich der Ozonkonzentrationen im Kurpark und an einer Fernverkehrsstraße

Meßstelle	6. 10. 1950		11. 10. 1950	
	Uhrzeit	Ozonwert	Uhrzeit	Ozonwert
1 Kurpark, Kinderspielplatz	14 ²⁹	49	14 ³³	49
2 Kurpark, Baumschatten	14 ⁴⁸	43	14 ⁵⁰	59
3 Bismarckstraße	15 ⁰³	10	15 ⁰⁵	24
4 Kurpark, sonnige Parkbänke	15 ¹⁸	52	15 ¹⁹	59
5 Kurpark, Wiese	15 ³⁸	49	16 ¹⁰	52

Der Unterschied zwischen den Ozonwerten im Kurpark und an der Fernverkehrsstraße ist mit 33 bzw. 25 γ/m^3 beträchtlich. Die niedrigen Ozonwerte beschränken sich auf den unmittelbaren Straßenbereich, so daß an der Parkmeßstelle 4, die nur etwa 12 m von der Straßenmitte entfernt lag, bereits wieder der normale Ozongehalt des Parkes festgestellt wurde. Diese Abfilterung der Abgase des Straßenverkehrs wird durch eine übermannshohe, etwa 1 m breite Fliederhecke erreicht.

Die Ozonreduktion in den Straßen mit Autoverkehr ist zu jeder Tages- und Jahreszeit und unabhängig von der jeweiligen Wetterlage festzustellen. In der Stadtmitte, wo durch enge Bebauung und dichte Verkehrsfolge besonders hohe Konzentrationen von Verbrennungsgasen entstehen, wird das Ozon nahezu vollkommen zerstört.

2. Eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit ist im Mittel mit einer Erhöhung der Ozonkonzentration verbunden.

U n g e h e u e r (15) (16) weist darauf hin, daß mit steigender Luftbewegung die Ozonzunahme asymptotisch verläuft, wobei etwa oberhalb einer Windgeschwindigkeit von 4 m/sec die Ozonzunahme bedeutungslos wird. Auch C u r r y (5) stellte die Gleichsinnigkeit von Windgeschwindigkeit und Ozongehalt fest.

Die Untersuchungen in Bad Kissingen bestätigen den Zusammenhang. Ein gutes Beispiel dafür bietet die Meßreihe vom 4. 9. 1951 auf dem Staffelsberg (Seehöhe 382 m), der am nordwestlichen Stadtrand von Bad Kissingen liegt. Meßstelle 1 war auf der Plattform des Ludwigturmes (eines 25 m hohen, steinernen Aussichtsturmes auf dem Staffelsberg) eingerichtet. Meßstelle 2 befand sich im Hochwald auf dem Gipfel des Staffelsberges. (Siehe Tabelle 2.)

Tabelle 2
Meßreihe auf dem Staffelsberg am 4. 9. 1951

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Lufttemperatur	Rel. Feuchtigkeit	Windgeschwindigkeit
1 Turmplattform	14 ⁴¹	59	19.7	47	1.8
	15 ³⁵	63	19.8	45	2.0
	16 ¹⁷	59	19.9	47	1.6
2 Hochwald	15 ¹⁶	52	18.6	50	0.2
	16 ⁰²	24	17.7	61	0.0
	16 ⁴³	43	17.6	64	0.0

Auf der gut ventilerten Plattform liegen die Ozonwerte höher als im fast windstillen Hochwald. Aber schon eine geringe Durchlüftung wie um 15¹⁶ Uhr bewirkt auch dort ein Ansteigen der Ozonkonzentration.

Im Einzelfall kann selbstverständlich auch eine Zunahme der Windgeschwindigkeit mit einer Ozonabnahme einhergehen, wenn z. B. dadurch eine verstärkte Advektion von Verbrennungsgasen hervorgerufen wird. (Siehe Tabelle 3.)

Tabelle 3
Meßreihe am Westhang der Bodenlaube am 20. 10. 1950

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Windrichtung und -stärke in Beaufort
1 250 m über NN	13 ⁵⁴	34	C 0
2 275 m über NN	14 ¹¹	10	W 2
3 300 m über NN	14 ³¹	18	W 2
4 325 m über NN	14 ⁴⁹	29	C 0

Am Fuße der Bodenlaube liegt in 215 m Seehöhe der Bahnhof von Bad Kissingen. Bei Westwind wird der Lokomotivqualm gegen den Westhang der Bodenlaube gedrückt, wodurch an den Meßstellen 2 und 3 bedeutend niedrigere Ozonwerte gemessen werden als an den Meßstellen 1 und 4, die im Wind- und Qualmschutz von Baumgruppen liegen. Dieses Beispiel zeigt ebenso wie Tabelle 1 die große Bedeutung von Parkanlagen, ja sogar von einzelnen Heckenreihen für die Filterung der Luft von Abgasen und damit für die Hygiene des Stadtklimas.

3. Eine Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit ist im Mittel mit einer Ozonabnahme verbunden.

Die Erscheinung der Gegenläufigkeit zwischen Änderungen der Ozonkonzentration und der relativen Feuchtigkeit wird von Cauer (4), Curry (5), Ehmert (7), Götz (9), Tichy (14) u. a. behandelt.

Ein Beispiel für eine sehr gute Abhängigkeit der Ozonwerte von der relativen Feuchtigkeit gibt die Meßreihe vom 7. 9. 1951. (Siehe Tabelle 4.)

Tabelle 4

Meßreihe auf der Saalewiese südlich Bad Kissingen am 7. 9. 1951

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit	Windgeschwindigkeit
1 Saale, 30 cm über dem Wasserspiegel	14 ⁴⁶	29	22.4	84	0.0
	15 ⁴⁴	34	22.4	77	0.0
	16 ³⁷	40	22.6	73	0.0
2 25 m) Entfernung vom Saaleufer (gemähte Wiese)	14 ³³	59	25.3	62	0.0
	15 ³²	59	25.6	54	0.0
	16 ²⁶	63	26.7	48	0.2
3 100 m)	14 ²¹	59	24.7	62	0.2
	15 ¹⁹	59	26.5	44	0.4
	16 ¹³	63	26.6	47	0.3
4 200 m)	14 ⁰⁵	43	24.4	68	0.0
	15 ⁰⁴	52	24.8	61	0.0
	16 ⁰⁰	49	24.0	64	0.0

Bei dieser Untersuchung sollte der Einfluß der Saale auf die Ozonverteilung im Talkessel geklärt werden. Über dem Saalespiegel liegen die Ozonwerte niedrig, doch diese Wirkung reicht nicht weit auf die Uferwiesen hinaus. In 25 m Entfernung von der Saale sind die Ozonwerte genau so hoch wie in 100 m Entfernung.

Die Unterschiede in der Ozonverteilung stimmen gut mit den Unterschieden der relativen Feuchtigkeit überein. (Siehe Abb. 1.)

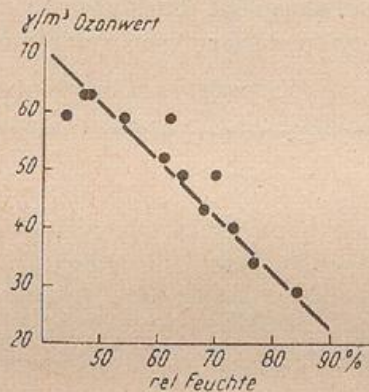


Abb. 1

Abhängigkeit des Ozonwertes von der relativen Luftfeuchtigkeit bei der Meßreihe am 7. 9. 1951

Eine derart gute Übereinstimmung ist aber nur bei einheitlichen Windverhältnissen und Abwesenheit von Verbrennungsgasen anzutreffen.

Auch die Ergebnisse der übrigen Meßreihen lassen sich zwanglos aus den Unterschieden des Windfeldes, der relativen Feuchtigkeit und der Konzentration von Verbrennungsgasen erklären.

Die Bildung der Ozonschicht in der Stratosphäre wird durch Absorption der Sonnen-UV-Strahlung bewirkt. Ein Einfluß des Tageslichtes auf den Ozongehalt der bodennahen Luftschicht schien deshalb nicht ausgeschlossen. Da ein Unterschied zwischen sonnigen und schattigen Meßstellen im Kurpark unter sonst gleichen Bedingungen nicht festzustellen war, wurde eine Meßreihe in einem langen Tunnel bei Arnshausen unter der Eisenbahnstrecke Bad Kissingen—Schweinfurt angesetzt. Der Tunnel ist etwa 70 m lang, 4 m breit und 3 m hoch und dient nur dem Fußgänger- und Pferdefuhrwerksverkehr. Eine Anreicherung von Verbrennungsgasen war im Tunnel ausgeschlossen. Meßstelle 1 wurde in Tunnelmitte, Meßstelle 2 10 m vor

dem Tunneleingang und Meßstelle 3 auf dem Bahndamm über dem Tunnel direkt neben den Eisenbahngleisen eingerichtet. (Siehe Tabelle 5.)

Tabelle 5
Meßreihe im Arnshausener Eisenbahntunnel am 5. 9. 1951

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit	Windgeschwindigkeit
1 Tunnel	11 ⁰¹	59	20.4	70	2.0
	14 ³¹	63	22.1	58	3.0
	15 ³⁰	63	23.5	56	2.4
	16 ¹⁵	59	24.0	52	2.2
2 Tunneleingang	10 ⁴⁶	52	20.7	62	1.1
	14 ¹⁸	59	23.6	51	1.8
	15 ¹⁸	59	24.6	53	1.6
	16 ⁰²	63	24.4	52	1.9
3 Bahnstrecke	11 ²⁶	59	21.7	58	1.0
	14 ⁵⁹	52	23.2	56	0.1
	15 ⁴⁷	52	24.0	53	1.3
	16 ³¹	34	23.5	57	0.3

Ein Einfluß des Tageslichtes auf den Ozongehalt ist nicht festzustellen. Die Unterschiede in den Werten der relativen Feuchtigkeit sind gering. Die Ozonwerte liegen im Tunnel etwas höher als vor dem Tunneleingang, was in Übereinklang mit den erhöhten Windgeschwindigkeiten im Tunnel steht.

An der Eisenbahnstrecke liegen die Ozonwerte im allgemeinen niedriger als an den übrigen Meßstellen. Die Reduktion dürfte durch die Rauchgase des Zugverkehrs bewirkt worden sein, worauf die Messung um 16³¹ Uhr besonders hinweist, da um 16³⁰ Uhr ein Dampfzug die Strecke passierte.

Für den Kurbetrieb kann die Frage der Ozonkonzentration in den Kuranlagen (Brunnenhallen, Wandelhallen, Konzertgärten, Liegewiesen, Baderäumen usw.) Bedeutung erlangen. Damit wird allgemein das Problem des Ozongehaltes in geschlossenen Räumen angeschnitten.

Tabelle 6
Meßreihe in den Bad Kissinger Kuranlagen am 30. 8. 1951

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit	Windgeschwindigkeit
1 Liegewiese am Luitpoldbad	11 ⁰⁵	52	25.9	58	0.7
	14 ⁵⁶	63	30.9	40	1.4
	16 ²²	59	30.9	36	1.6
2 Kurgarten	10 ⁴⁶	22	24.5	58	0.0
	14 ³²	63	29.7	41	0.1
	16 ⁰⁶	49	30.0	39	0.2
3 Wandelhalle	10 ¹⁵	18	20.9	69	0.0
	11 ³⁹	18	22.4	68	0.0
	13 ⁵⁹	43	24.8	57	0.0
	15 ³¹	40	25.2	56	0.0
4 Brunnenhalle	10 ³¹	22	21.6	68	0.0
	14 ¹⁶	49	24.8	57	0.0
	15 ⁴⁶	34	25.5	53	0.0

Cauer (3) stellte in Wohnzimmern nur geringe Ozonwerte fest. Untersuchungen mit dem Ozonhandmeßgerät ergaben in Büroräumen, wo stark geraucht wurde, völlige Ozonfreiheit, während im Freien direkt am Fenster 29 γ/m^3 gemessen wurden.

In den Kuranlagen sind die Ozonverhältnisse bei weitem nicht so extrem. (Siehe Tabelle 6.)

Die höchsten Ozonwerte treten naturgemäß auf der Liegewiese auf, wo gegenüber den anderen Meßstellen die Windgeschwindigkeit am größten und die relative Feuchtigkeit am niedrigsten ist. Im Kurgarten schwanken die Ozonwerte beträchtlich, da von der stark belebten Kurhausstraße, die am Kurgarten vorbeiführt, gelegentliche Abgase des Kraftfahrzeugverkehrs hinübergreifen. Die Verhältnisse wären noch wesentlich ungünstiger, wenn der Kurgarten gegen die Straße nicht durch eine Hecke abgegrenzt wäre. Überraschend hoch sind die Ozonintensitäten in der Wandel- und Brunnenhalle. Da in diesen Räumen nicht geraucht werden darf, genügt der schwache Horizontalaustausch durch die geöffneten Türen und Fenster, um tagsüber ein beachtliches Ozonniveau von 20—40 γ/m^3 aufrechtzuerhalten.

Ein ähnliches Ergebnis zeigen Messungen im Ludwigsturm. (Siehe Tabelle 7, vgl. auch Tabelle 2.)

Tabelle 7
Meßreihe im Ludwigsturm am 4. 9. 1951

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit	Windgeschwindigkeit
1 Plattform Ludwigsturm	14 ⁴¹	59	19.7	47	1.8
	15 ³⁵	63	19.8	45	2.0
	16 ¹⁷	59	19.9	47	1.6
2 Stiegenhaus Ludwigsturm ($\frac{1}{2}$ Turmhöhe)	14 ⁵⁹	40	17.6	58	0.0
	15 ⁴⁹	34	17.2	60	0.0
	16 ³⁰	34	17.1	60	0.0

Die Lüftung durch die schießschartenähnlichen geöffneten Fenster des Aussichtsturmes reicht aus, um ein Ozonniveau von 30—40 γ/m^3 im Turminnern zu sichern.

Bei geringen Unterschieden der Windgeschwindigkeit und der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen den einzelnen Meßstellen sind auch die Ozonunterschiede gering. Bei der Meßreihe am 6. 9. 1951 sind die Ozondifferenzen auf die Unterschiede in den Verbrennungsgaskonzentrationen in der Fernverkehrsstraße, am Stellwerk und im Park zurückzuführen. (Siehe Tabelle 8).

Tabelle 8
Meßreihe Fernverkehrsstraße — Stellwerk — Park 6. 9. 1951

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit	Windgeschwindigkeit
1 Fernverkehrsstraße (Kurhausstraße)	14 ¹⁶	43	25.7	54	0.1
	15 ³¹	49	26.4	50	0.2
	16 ²⁵	43	25.9	52	0.1
2 Stellwerk Bahnhof Bad Kissingen	14 ³⁸	49	26.2	55	0.3
	15 ⁴⁸	59	26.6	49	0.3
	16 ³⁹	49	26.4	44	0.0
3 Park Ballinghain	15 ⁰⁹	59	26.2	53	0.2
	16 ⁰⁷	59	26.1	49	0.2
	16 ⁵⁶	52	25.6	55	0.0

Im Gegensatz zu allen anderen Forschern sieht Cauer (3) (4) als Ozonquelle für die bodennahe Luftschicht geerdete Spitzen an (Blitzableiter, Drahtzäune, Nadelbäume, Gras usw.), wo bei kurzperiodischen Schwankungen des luftelektrischen Feldes die für eine Ozonbildung notwendige Energie entstehen soll. Für die Ozonbildung im freien Gelände kommen vorwiegend natürliche Spitzen wie Nadelbäume, Grasspitzen usw. in Betracht.

Zur Nachprüfung dieser Hypothese wurde eine Meßreihe am Altenberg (am westlichen Stadtrand von Bad Kissingen) unternommen, wobei Meßstelle 1 in einer dichten Fichtenschonung, Meßstelle 2 im Hochwald und Meßstelle 3 auf einem gepflügten Acker eingerichtet wurden. Alle drei Meßstellen lagen in 240 m Seehöhe in einem gleichseitigen Dreieck mit etwa 100 m Seitenlänge. Bei einer Ozonbildung an Tannennadelspitzen müßten die Ozonwerte in der Schonung höher als an den anderen Meßstellen sein. Wie Tabelle 9 zeigt,

Tabelle 9
Meßreihe am Altenberg am 29. 8. 1951

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit	Windgeschwindigkeit
1 Fichtenschonung	10 ²⁰	34	22.4	63	0.0
	11 ¹⁵	40	26.4	49	0.0
	14 ²⁴	40	30.4	54	0.0
	15 ²⁵	49	29.7	58	0.0
	16 ²³	49	29.9	57	0.0
2 Hochwald	10 ⁵⁶	34	23.6	59	0.0
	15 ⁰²	59	29.6	56	0.4
	16 ⁰²	52	28.9	59	0.3
3 Ackerfeld	10 ³⁶	43	24.0	58	0.9
	14 ⁴⁰	59	31.3	51	3.8
	15 ⁴⁰	63	31.0	49	3.4
	16 ³⁵	59	30.4	53	3.0

Tabelle 10
Meßreihe über einer Wiese am 11. 9. 1951

Meßstelle	Uhrzeit	Ozonwert	Temperatur	Rel. Feuchtigkeit	Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe
1 10 cm über Boden (Grasspitzenniveau)	11 ⁰⁶	18	22.8	80	0.0
	14 ⁵⁷	24	25.2	87	0.4
	15 ⁵⁵	24	24.4	74	0.7
	16 ³⁴	12	23.4	92	0.0
2 20 cm über Boden	10 ⁵³	22	21.8	73	0.0
	14 ⁴⁶	52	26.5	63	0.2
	15 ⁴⁵	43	26.5	58	0.5
	16 ²⁴	40	26.2	59	0.2
3 50 cm über Boden	10 ³⁹	22	20.8	68	0.5
	14 ³⁵	52	26.5	59	0.4
	15 ³⁵	49	26.8	54	0.4
	16 ¹⁵	43	26.6	54	0.0
4 100 cm über Boden	10 ²⁷	14	20.6	68	0.6
	14 ²²	52	26.4	61	0.3
	15 ²⁴	49	27.0	53	0.0
	16 ⁰⁵	49	26.5	54	0.1

kann von einem erhöhten Ozonniveau in der Schonung keine Rede sein. Da an den Meßstellen die Unterschiede der relativen Feuchtigkeit geringfügig sind, entsprechen die Ozonwerte den Unterschieden im Windfeld. Die höchsten Ozonwerte finden sich über dem Acker, wo auch durchweg die höchsten Windgeschwindigkeiten gemessen wurden. Im Hochwald sind bei Windstille die Ozonwerte gering. Sie steigen aber sofort an, wenn der Horizontalaustausch mit dem freien Feld in Gang kommt. In der Schonung liegen bei geringen Austauschwerten die Ozonwerte am niedrigsten. Das Ergebnis dieser Meßreihe spricht gegen eine Ozonbildung an Tannennadelspitzen.

Auch eine etwaige Ozonbildung an Grasspitzen wurde an Hand einer Meßreihe am 11. 9. 1951 nachgeprüft. (Siehe Tabelle 10).

Die Ozonwerte in 20, 50 und 100 cm Höhe weisen nur unwesentliche Unterschiede auf. Während am Vormittag das Niveau kurz nach Frühnebelauflösung noch tief liegt, steigen zum Nachmittag die Ozonwerte steil an. Nur die Meßwerte in 10 cm Höhe (Grasspitzenniveau) bleiben tief. Auch hier kann von einer Ozonbildung an Grasspitzen keine Rede sein, denn dann müßte ein Ozongefälle in umgekehrter Richtung vorhanden sein. Man kann vielmehr das Grasspitzenniveau als den Ort starker Ozonreduktion ansehen. Wiederum fällt die Gegenläufigkeit der relativen Feuchtigkeit und der Ozonkonzentration auf.

Nachdem keine Anzeichen für eine wesentliche Ozonbildung an geerdeten Spitzen im freien Gelände gefunden wurden, gewinnt die Theorie des Ozontransportes aus der unteren Stratosphäre in die untere Troposphäre an Bedeutung.

Selbstverständlich ist die Vorstellung, daß das Ozon wasserfallartig aus der Ozonschicht zum Erdboden stürzt, absurd. Das Ozonreservoir, woraus die bodennahe Luftschicht mit Ozon versorgt wird, liegt bedeutend tiefer, und zwar oberhalb der Bodenstörungsschicht.

Wie E h m e r t (6) durch Messungen in freier Gipfellage auf dem Pfänder (1004 m) und in Friedrichshafen nachweisen konnte, findet auf isolierten Berggipfeln kein nächtliches Absinken der Ozonwerte statt. Der Tagesgang der Ozonkonzentration ist Angelegenheit der Bodenstörungsschicht. Die neuesten Messungen von V. R e g e n e r und B o w e n (2) in den USA bestätigen die Meßergebnisse E h m e r t s. G ö t z und V o l z (10) stellten durch Messungen am Jungfraujoch und im Tal fest, daß am Jungfraujoch im Mittel die Ozonwerte doppelt so hoch sind wie im Tal. Damit dürfte das Vorhandensein eines Ozonreservoirs oberhalb der bodennahen Störungsschicht bewiesen sein.

Die Untergrenze des Ozonreservoirs liegt je nach der Schichtung der Atmosphäre verschieden hoch. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß oberhalb dieser Grenzschicht kein Ozontagesgang beobachtet wird. Ob das Ozonreservoir eine obere Grenze besitzt oder ob, was wahrscheinlicher ist, eine ganz allmähliche Zunahme bis zur stratosphärischen Ozonschicht stattfindet, muß erst durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

Für den Ozontransport aus dem Ozonreservoir zum Erdboden hat L e h m a n n (13) bei Annahme eines Austauschkoeffizienten ($A = 100$) den Ozontransport von 2000 m Höhe zum Meeresniveau auf 7 Minuten berechnet. So ist es erklärlich, daß nach Auflösung des Bodennebels der Ozongehalt in Bodennähe geradezu schlagartig ansteigt, da genügend Ozon in geringer Höhe bereitsteht, das beim Einsetzen des Vertikalaustausches in kürzester Zeit zum Erdboden gelangen kann.

Unterhalb einer Höhe von 18 km findet in der Atmosphäre keine photochemische Ozonerzeugung statt. Das Ozonreservoir kann also selbständig kein Ozon erzeugen, sondern muß ebenfalls ständig nachgefüllt werden. Diese Nachfüllung geschieht durch einen abwärts gerichteten Ozonstrom aus der Ozonschicht in der Stratosphäre, wo das Ozon auf photochemischem Wege entsteht.

Gegen diese Theorie sind starke Bedenken geäußert worden. Das Ozonmolekül ist chemisch sehr labil. Man nahm deshalb an, daß es nie bis zum Erdboden gelangen könnte, da es unterwegs zerfallen müßte. Nach B o w e n und V. R e g e n e r (2) gibt es 4 Möglichkeiten der Ozonzerstörung:

1. Thermische Dissoziation
2. Zerstörung durch Bandenstrahlung der Sonne
3. Oxydation in der Luft
4. Oxydation am Erdboden

Die thermische Dissoziation und die Bandenstrahlung sind selbstverständlich wirksam. Aber wenn ein Ozonmolekül dadurch in ein Sauerstoffmolekül und ein Atom freien Sauerstoffs zerlegt wird, so muß sich das freie Sauerstoffatom irgendwo anlagern, und das wird vorwiegend wieder ein Sauerstoffmolekül sein, so daß die Neubildung der Ozonzerstörung fast die Waage hält. Lediglich die Fälle, wo sich 2 freie Sauerstoffatome zu einem Sauerstoffmolekül vereinigen, sind im Endeffekt als Ozonverlust zu werten. Bei dem Verhältnis von 100 Millionen Luftmolekülen gegen 2 Ozonmoleküle im Mittel in der Troposphäre sind die Ozonverluste durch das Zusammentreffen von zwei freien Sauerstoffatomen sehr gering.

Die Reduktion des Ozons in der freien Atmosphäre findet vorwiegend an Wolkenelementen statt. Aber auch dieser Vorgang darf nicht überschätzt werden, denn Volz (17) berechnete selbst unter Annahme mittlerer Bewölkungsverhältnisse die Halbwertszeit des Ozonzerfalls in der freien Atmosphäre auf mehrere Tage. Volz (17) schätzt daher, daß eine tägliche Zufuhr von 1 % des Ozongehaltes der stratosphärischen Ozonschicht genügt, um die Ozonzerstörung in der Troposphäre auszugleichen. Bei den vorliegenden Messungen, wo es sich praktisch um wolkenloses Wetter handelte, spielt diese Ozonzerstörung keine Rolle.

Damit ist die Ozonzerstörung in der freien Atmosphäre bei wolkenlosem Wetter bedeutungslos. Als Ozonsenke ist lediglich die Erdoberfläche, oder beim Vorhandensein von Verbrennungsgasen die bodennächste Schicht anzusehen.

Der Ozongehalt im Lebensraum des Menschen ergibt sich dann als Gleichgewichtszustand zwischen Ozonzerstörung und Ozonnachschub, wobei als variable Größen der Austausch der Ozonnachschub steuert und die Konzentration von ozonreduzierenden Gasen eingehen.

Betrachtet man die Ozonverhältnisse in Bodennähe als Austauschproblem, so wird der beobachtete Zusammenhang zwischen Ozongehalt und Windgeschwindigkeit leicht verständlich. Eine Erhöhung der Horizontalgeschwindigkeit des Windes bedeutet gleichzeitig eine Zunahme der Turbulenz und damit eine Erhöhung des Vertikalaustausches, wodurch der Ozongehalt ansteigt. Ausnahmen bilden die Fälle, wo eine Advektion von ozonreduzierenden Stoffen stattfindet. Jede Stagnation der Luft in Bodennähe verursacht eine Ozonverminderung. Somit sind die kleinklimatischen Ozonunterschiede vorwiegend auf kleinklimatische Horizontal- und Vertikalaustauschunterschiede zurückzuführen.

Schwieriger ist es, die Gegenläufigkeit zwischen Ozongehalt und relativer Feuchtigkeit zu erklären, weil die Änderungen der relativen Feuchtigkeit durch die verschiedensten Umstände zustande kommen können.

Da an sommerlichen Schönwettertagen der Feuchtestrom vom Erdboden nach oben gerichtet ist, bedingt eine Verminderung des Horizontal- und Vertikalaustausches an irgendeiner Stelle dort eine Zunahme der relativen Feuchtigkeit und gleichzeitig eine Abnahme des Ozongehaltes in Bodennähe.

Damit sind aber nicht alle Fälle der Gegenläufigkeit zu erklären. Eine direkte Ozonzerstörung durch quellende Kondensationskerne bei Zunahme der relativen Feuchtigkeit liegt im Bereich der Möglichkeit.

Kurz vor Abschluß der Untersuchungen wurde noch ein zweites Ozonhandmeßgerät verfügbar. Infolge der fortgeschrittenen Jahreszeit waren nur noch 2 Parallelmeßreihen bei entsprechender Wetterlage möglich, die beide dasselbe Ergebnis zeigten. Als Beispiel sei die Meßreihe vom 19. 10. 1951 angeführt. (Siehe Abb. 2.)

Es interessierte besonders der Unterschied des abendlichen Ozonganges zwischen den Hügeln und dem Saaletal. Es wurden eine Meßstelle auf der Plattform des Ludwigsturmes und eine Meßstelle im Kurpark im Saaletal eingerichtet. Der Höhenunterschied zwischen beiden

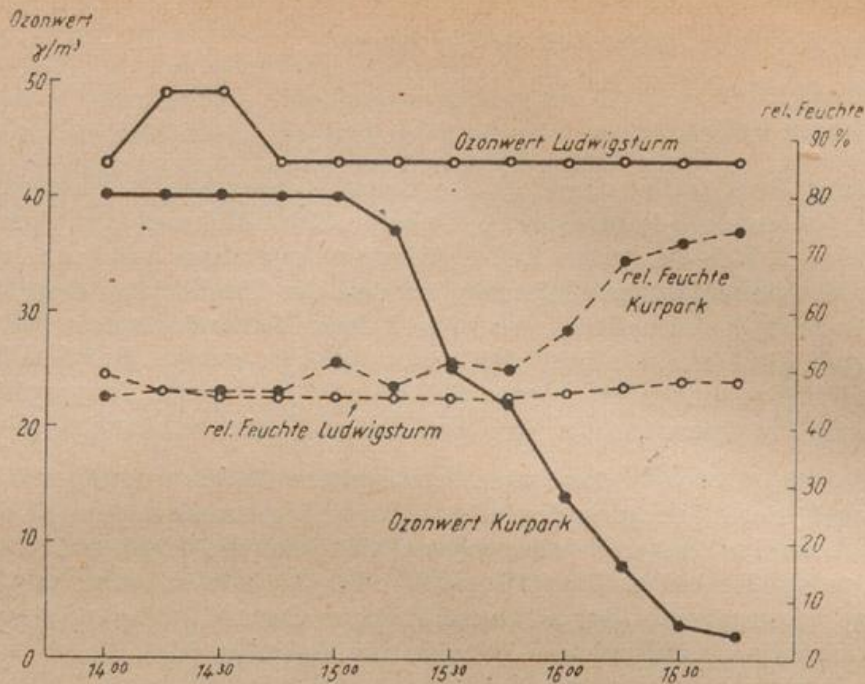


Abb. 2
Synchrone Meßreihe Ludwigsturm-Kurpark am 19. 10. 1951

Meßstellen betrug 203 m, die horizontale Entfernung 1.8 km. Die Messungen wurden synchron zur vollen Viertelstunde vorgenommen.

Es fällt sofort auf, daß die Ozonwerte im Kurpark ab 15 Uhr rasch absinken, während sie auf dem Ludwigsturm konstant bleiben. Ein weiterer Beweis dafür, daß das Ozonreservoir sehr tief liegt und der Tagesgang sich auf die Bodenstörungsschicht beschränkt.

Das wichtigste Ergebnis dieser Meßreihe ist darin zu sehen, daß der Abfall der Ozonwerte im Kurpark bereits $\frac{3}{4}$ Stunden vor dem Anstieg der relativen Feuchtigkeit einsetzt. Damit ist ein direkter Zusammenhang zwischen Ozonabnahme und Zunahme der relativen Feuchtigkeit unwahrscheinlich. Es besteht ein indirekter Zusammenhang über die Strahlung. Eine Verminderung der Einstrahlung bedingt eine Abnahme der Konvektion und damit eine Ozonabnahme, gleichzeitig kühlt sich der Erdboden durch die Ausstrahlung ab, wodurch die bodennahe Luftschicht an den Erdboden Wärme abgeben muß und sich ebenfalls abkühlt. Diese Abkühlung der Luft bewirkt ein Ansteigen der relativen Feuchtigkeit. Im Endeffekt resultiert eine Gegenläufigkeit zwischen Ozongehalt und relativer Feuchtigkeit, wobei aber die relative Feuchtigkeit auf die Änderung der Strahlung träger, d. h. gegenüber dem Ozonabfall um $\frac{3}{4}$ Stunden verspätet reagiert.

Eine Berechnung des Ozongehaltes mit Hilfe des Austausches ist nur annäherungsweise möglich, da die meßtechnische Erfassung der kurzfristigen Vertikalaustauschänderungen schwierig ist. Außerdem ist in den meisten Fällen auch die Füllung (d. h. die Ozonkonzentration) des Ozonreservoirs unbekannt. Dagegen kann man den umgekehrten Weg beschreiten und aus Ozonänderungen auf den Zeitpunkt und die Qualität von Austauschänderungen schließen.

An sommerlichen Schönwettertagen bestehen in Bad Kissingen kleinklimatische Unterschiede in der Verteilung des bodennahen Ozons, die sich mit Hilfe der kleinklimatischen Austauschverhältnisse und mit den wechselnden Konzentrationen von ozonreduzierenden Gasen (Verbrennungsgasen) erklären lassen. Die Behauptung von Curry (5), daß in Bad Kissingen niedrige Ozonwerte anzutreffen sind, gilt nur für den Bereich der Talsohle, und auch da nur im Mittel wegen des nächtlichen Ozonabfalls. Für die Wohnlagen an den oberen Talhängen gilt diese Aussage keinesfalls. Welche Ozonverhältnisse der Kurgast an Schön-

wettertagen tatsächlich antrifft, ist von vornherein nicht abzuschätzen, da tagsüber auch im Kurpark im Talgrund hohe Ozonwerte auftreten.

Knoch (12) unterstreicht die Notwendigkeit, in den Mineralbädern die Trink- und Badekur durch eine Klimatherapie, die auf einer geschickten Ausnutzung der kleinklimatischen Eigentümlichkeiten beruht, zu unterstützen. Auch bei einer eventuellen Ozontherapie müssen die kleinklimatischen Unterschiede berücksichtigt werden.

Die vorliegenden Ergebnisse gelten nur für wolkenarme Sommertage. Beim Auftreten von Bewölkung komplizieren sich die Verhältnisse, weil dann auch eine Reduktion des Ozons in der freien Atmosphäre an Wolkenteilchen eine Rolle spielt, deren Einfluß auf das bodennahe Ozon erst durch weitere Untersuchungen geklärt werden muß.

Literatur

- 1) Auer, R.: Über den täglichen Gang des Ozongehaltes der bodennahen Luft. Gerlands Beitr. Geophys. **54**, 137 (1939).
- 2) Bowen, I. A. u. Regener, V. H.: On the automatic chemical determination of atmospheric ozone. J. Geophys. Res. **56**, 307 (1951).
- 3) Cauer, H.: Chemisch-bioklimatische Studien in Königstein im Taunus. Arch. phys. Ther. **1**, 87 (1949).
- 4) Cauer, H.: Ergebnisse der Ozonuntersuchungen in den Jahren 1949/50. Arch. phys. Ther. **3**, 200 (1951).
- 5) Curry, M.: Bioklimatik. Riederau (1946).
- 6) Ehmert, A. u. Ehmert, H.: Über den Tagesgang des bodennahen Ozons. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 11, 58 (1949).
- 7) Ehmert, A. u. Ehmert, H.: Zum Tagesgang des Ozons am Bodensee, Wetter u. Klima **2**, 138 (1949).
- 8) Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 3. Aufl. Braunschweig (1950).
- 9) Götz, F. W. P. u. Penndorf, R.: Weitere Frühjahrswerte des bodennahen Ozons in Arosa. Meteor. Z. **58**, 409 (1941).
- 10) Götz, F. W. P. u. Volz, F.: Arosener Messungen des Ozongehaltes der unteren Troposphäre und sein Jahresgang. Z. Naturforsch. **6a**, 634 (1951).
- 11) Heigel, K.: Meßmethoden des bodennahen Ozons und ihre Verwendung in der Praxis. Mitt. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 14 (1952).
- 12) Knoch, K.: Heilbad und Klima. Schr. Reihe Dt. Bäder Verb. **7**, 78 (1951).
- 13) Lehmann, P.: Ozonunruhe und Luftschichtung. Meteor. Rdsch. **2**, 283 (1949).
- 14) Tichy, H.: Gleichzeitige Messungen von Ultraviolett und bodennahem Ozon. Balneologe **6**, 125 (1939).
- 15) Ungeheuer, H.: Die Beziehungen des bodennahen Ozons zu den Wetterfaktoren. Med.-meteor. H. Nr. 5, 53 (1951).
- 16) Ungeheuer, H.: Erste Ergebnisse der Aramessungen in Bad Tölz. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 12, 221 (1950).
- 17) Volz, F.: Über die Zerstörung des Ozons in der Troposphäre. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 35, 257 (1952).

