

# Jahresbericht 2000 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes

## **3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME**

### **3.2 Die Ozon-Episode vom 18. bis 22. Juni 2000 in Deutschland**

*Autoren:*

*Siegfried Beilke, Manfred Jäschke, Karin Uhse, Markus Wallasch, Umweltbundesamt, FG II 6.5,  
Außenstelle Langen*

*Susanne Grittner, Wolfgang Bräuniger und Angela Weikinn, Umweltbundesamt, FG II 6.4, Berlin*

*Hans Claude und Wolfgang Fricke, Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium,  
Hohenpeißenberg*

*Andreas Klein, Barbara Fay, Ingo Jacobsen und Volker Vent-Schmidt, Deutscher Wetterdienst,  
Offenbach*

**Inhalt:**

<b>3.</b>	<b>SPEZIELLE UMWELTPROBLEME .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>Die Ozon-Episode vom 18. bis 22. Juni 2000 in Deutschland</b>	<b>3</b>
3.2.1	Einleitung .....	3
3.2.2	Analyse der Ozonepisode vom 18. bis 22. Juni 2000.....	5
3.2.2.1	Zeitliche und räumliche Verteilung der Ozonkonzentrationen	5
3.2.2.2	Meteorologische Situation.....	10
3.2.2.3	Interpretation der hohen Ozonwerte .....	12
3.2.3	Zukünftige Entwicklung der Ozonspitzenwerte .....	17
3.2.4	Literatur zu Kapitel 3.2 .....	17

### **3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME**

#### **3.2 Die Ozon-Episode vom 18. bis 22. Juni 2000 in Deutschland**

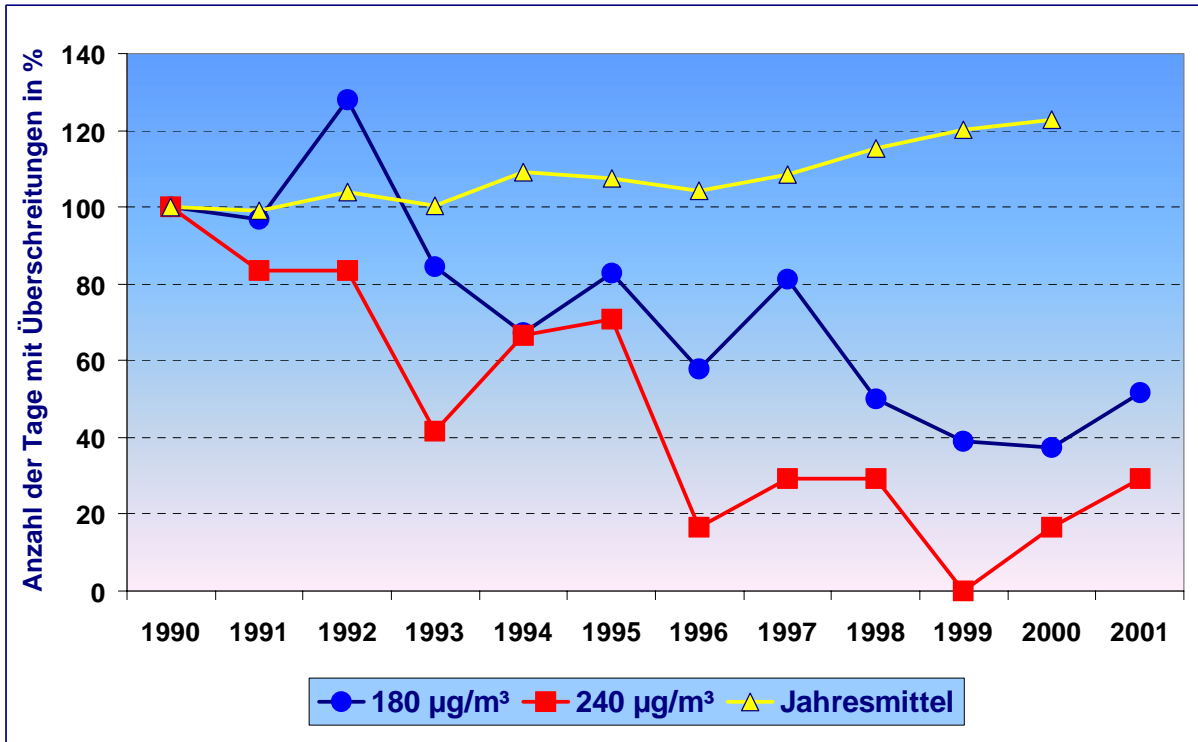
##### **3.2.1 Einleitung**

Die Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland haben zwischen 1990 und 2000 deutlich abgenommen (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2). Diese Abnahme ist im Wesentlichen auf die erhebliche Reduzierung der Emissionen der Ozonvorläufer (NO<sub>x</sub> und VOC) und nicht auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen (*Ref. 1*).

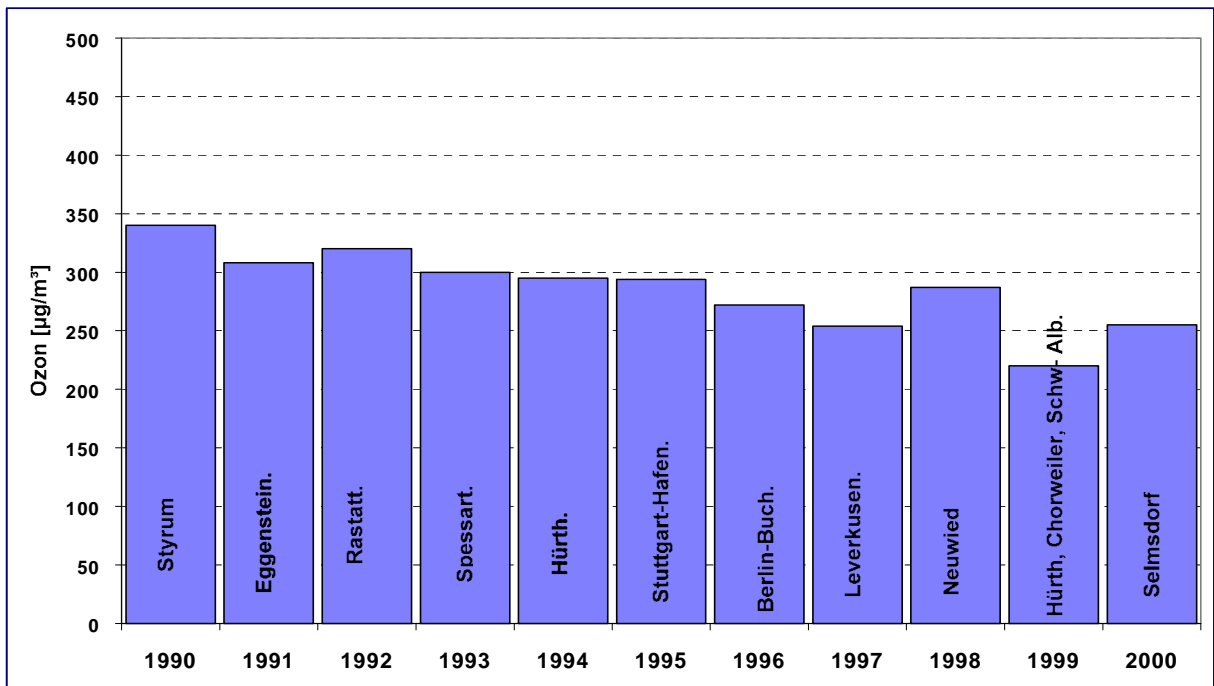
Als Beispiel für den generellen Rückgang der Spitzenwerte zeigt Abbildung 1 die Anzahl der Tage, an denen an mindestens einer der insgesamt einige Hundert Stationen umfassenden Messnetze von Bund und Ländern die Ozon-Schwellenwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit (*Ref. 2, 3*) von 180 µg/m<sup>3</sup> bzw. 240 µg/m<sup>3</sup> (Stundenmittel) in den Jahren 1990 bis 2000 überschritten worden sind. Die Zahlen sind auf das Jahr 1990 sowie auf die Zahl der Ozonmessstellen bezogen, die sich von Jahr zu Jahr geändert hat. Dadurch wird berücksichtigt, dass eine Änderung der Zahl der Messstellen auch die Wahrscheinlichkeit ändert, Überschreitungen der Schwellenwerte zu erfassen. Man erkennt eine deutliche Abnahme sowohl der Überschreitungen von 240 µg/m<sup>3</sup> als auch der Überschreitungen von 180 µg/m<sup>3</sup>.

Wie Abbildung 2 zeigt, haben auch die maximalen Ozon-Stundenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2000 abgenommen. Ozonkonzentrationen über 300 µg/m<sup>3</sup> wurden seit 1993 in Deutschland nicht mehr beobachtet. Die in Abbildung 1 und Abbildung 2 gezeigten, im Wesentlichen auf den Rückgang der Emissionen von NO<sub>x</sub> und VOC zurückzuführenden Langfrist-Ozontrends sind durch meteorologisch bedingte Schwankungen überlagert, die zu erheblichen Schwankungen der Ozon-Spitzenwerte von Jahr zu Jahr führen können.

So ist beispielsweise der hohe Ozon-Maximalwert von 287 µg/m<sup>3</sup> (Neuwied) im Jahre 1998 neben der noch immer hohen Emission der Ozonvorläufer NO<sub>x</sub> und VOC auch auf die extreme Wettersituation um den 11. August zurückzuführen. Möglicherweise haben die hohen biogenen VOC-Emissionen während dieser Ozonepisode in Verbindung mit den anthropogenen NO<sub>x</sub>-Emissionen erheblich zur Ozonbildung und zu den hohen Ozonwerten beigetragen. So zeigte beispielsweise eine im Rahmen des BMBF-Troposphärenforschungsprogramms durchgeführte Untersuchung, dass während der Smogepisode vom 10. bis 12. August 1998 mit extrem hohen Temperaturen die mittleren täglichen biogenen VOC-Emissionen in Deutschland die anthropogenen Emissionen um den Faktor 2 überstiegen (*Ref. 4*). Am 11. und 12. August 1998 wurden an vielen Stationen des Deutschen Wetterdienstes Höchsttemperaturen gemessen, die über den seit Beginn der meteorologischen Messungen in der jeweiligen Monatsdekade aufgetretenen Rekordwerten lagen (*Ref. 5*).



**Abbildung 1:** Prozentuale Änderung der Anzahl der Tage, an denen an mindestens einer deutschen Station die Ozonschwellenwerte von 180 µg/m<sup>3</sup> (Kreise) bzw. 240 µg/m<sup>3</sup> (Quadrate) überschritten worden sind (Bezugsjahr 1990) sowie die durchschnittlichen Jahresmittel. Bezugswerte von 1990: 24 Tage/Jahr Überschreitungen von 240 µg/m<sup>3</sup>, 64 Tage/Jahr Überschreitungen von 180 µg/m<sup>3</sup>



**Abbildung 2:** Verlauf der maximalen Ozon-Stundenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2000.

Während im Jahre 1999 mit  $219 \mu\text{g}/\text{m}^3$  der niedrigste maximale Stundenwert seit mindestens 1990 gemessen wurde, trat im Jahre 2000 mit maximal  $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Selmsdorf bei Lübeck) erneut ein relativ hoher Spitzenwert auf, der auch auf die extremen Wetterbedingungen um den 20. Juni zurückzuführen ist (*Ref. 6*). Vom 18. bis 22. Juni 2000 trat in Deutschland eine Ozonepisode auf, die im Folgenden näher untersucht werden soll.

## **3.2.2 Analyse der Ozonepisode vom 18. bis 22. Juni 2000**

### **3.2.2.1 Zeitliche und räumliche Verteilung der Ozonkonzentrationen**

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Abbildung 3) und  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Abbildung 4) im Jahre 2000 auf der Basis der Daten aus den Messnetzen von UBA und Bundesländern (insgesamt 370 Ozon-Messstellen). Angegeben ist die Zahl der Stationen, an denen in mindestens einem Fall pro Tag die Schwellenwerte (1-h-Mittel) überschritten worden sind. An insgesamt 24 Tagen wurde der Schwellenwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahr 2000 überschritten, an insgesamt 4 Tagen der Wert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Herausragend ist die Ozonepisode vom 18. bis 22. Juni mit den weitaus meisten Überschreitungen (*Ref. 6*).

Die Ozonepisode vom 18. - 22. Juni war durch großräumige Überschreitungen des EU-Schwellenwertes für die Information der Bevölkerung von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel, *Ref. 1*) vor allem zwischen dem 19. und 21. Juni gekennzeichnet. Vereinzelt traten an diesen Tagen auch Überschreitungen der EU-Alarmschwelle von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel) auf.

Bemerkenswert an dieser Smogepisode war, dass die Ozon-Spitzenwerte nicht nur wie üblich im Binnenland, sondern besonders in der Nordhälfte bis zur Nord- und Ostsee auftraten, wie auch die hohen Stundenwerte an den UBA-Stationen Helgoland ( $238 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am 20. Juni) sowie Zingst ( $229 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $223 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am 21. Juni) beispielhaft zeigen.

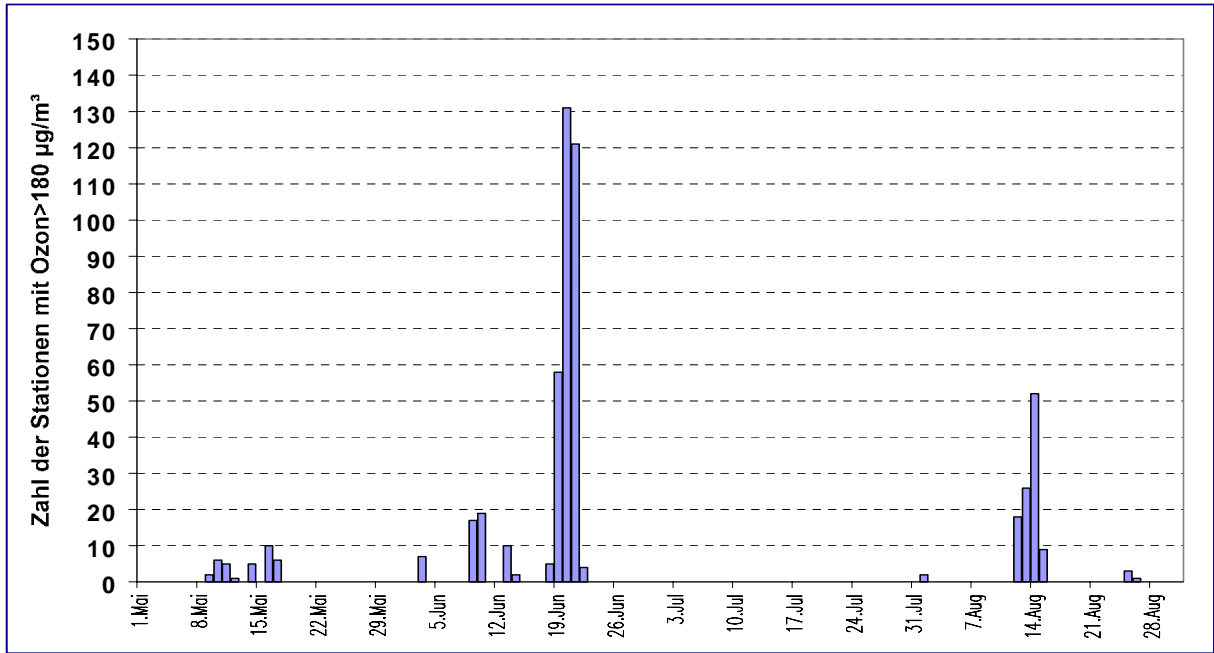


Abbildung 3: Zahl der Tage und Stationen mit Überschreitungen von 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Stundenmittel)

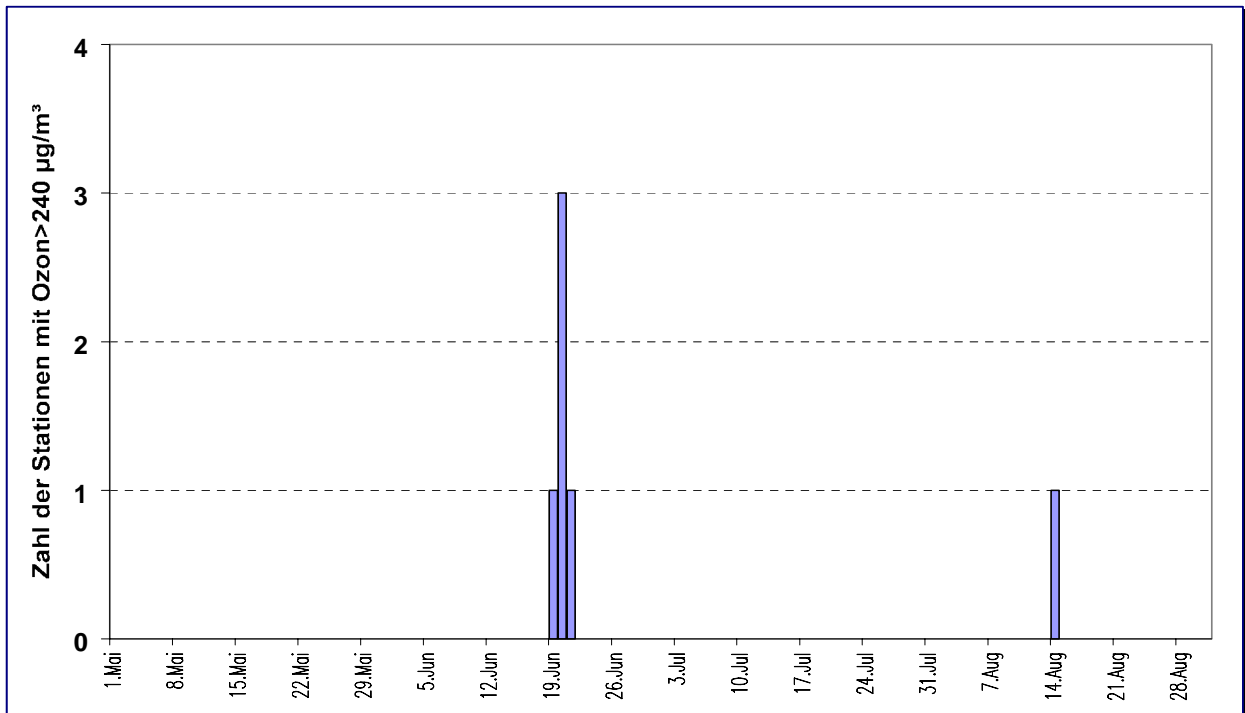


Abbildung 4: Zahl der Tage und Stationen mit Überschreitungen von 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Stundenmittel)

## Ozonüberschreitungen am 19.6.2000 in Deutschland (Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

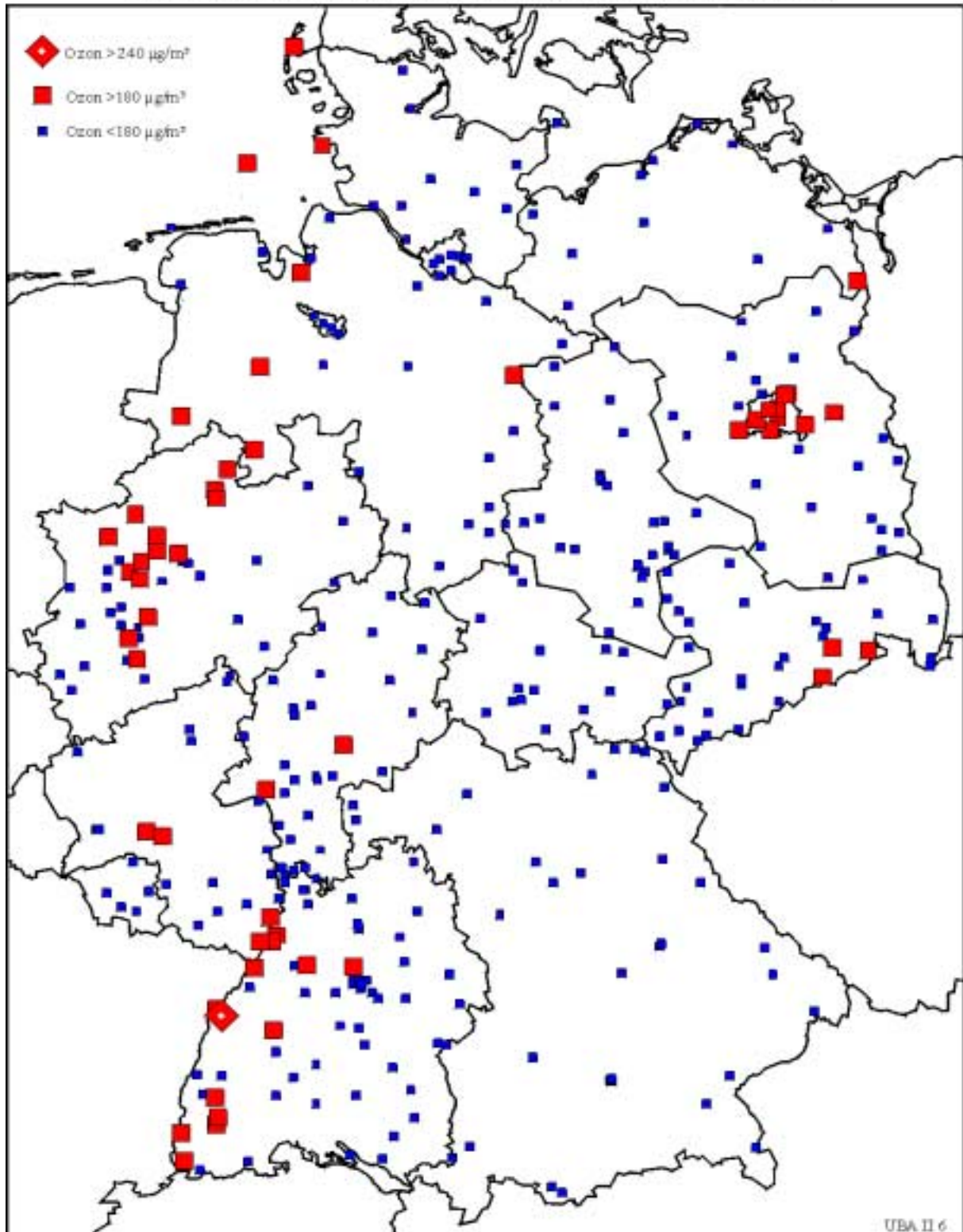


Abbildung 5: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 19. Juni 2000.

## Ozonüberschreitungen am 20.6.2000 in Deutschland (Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

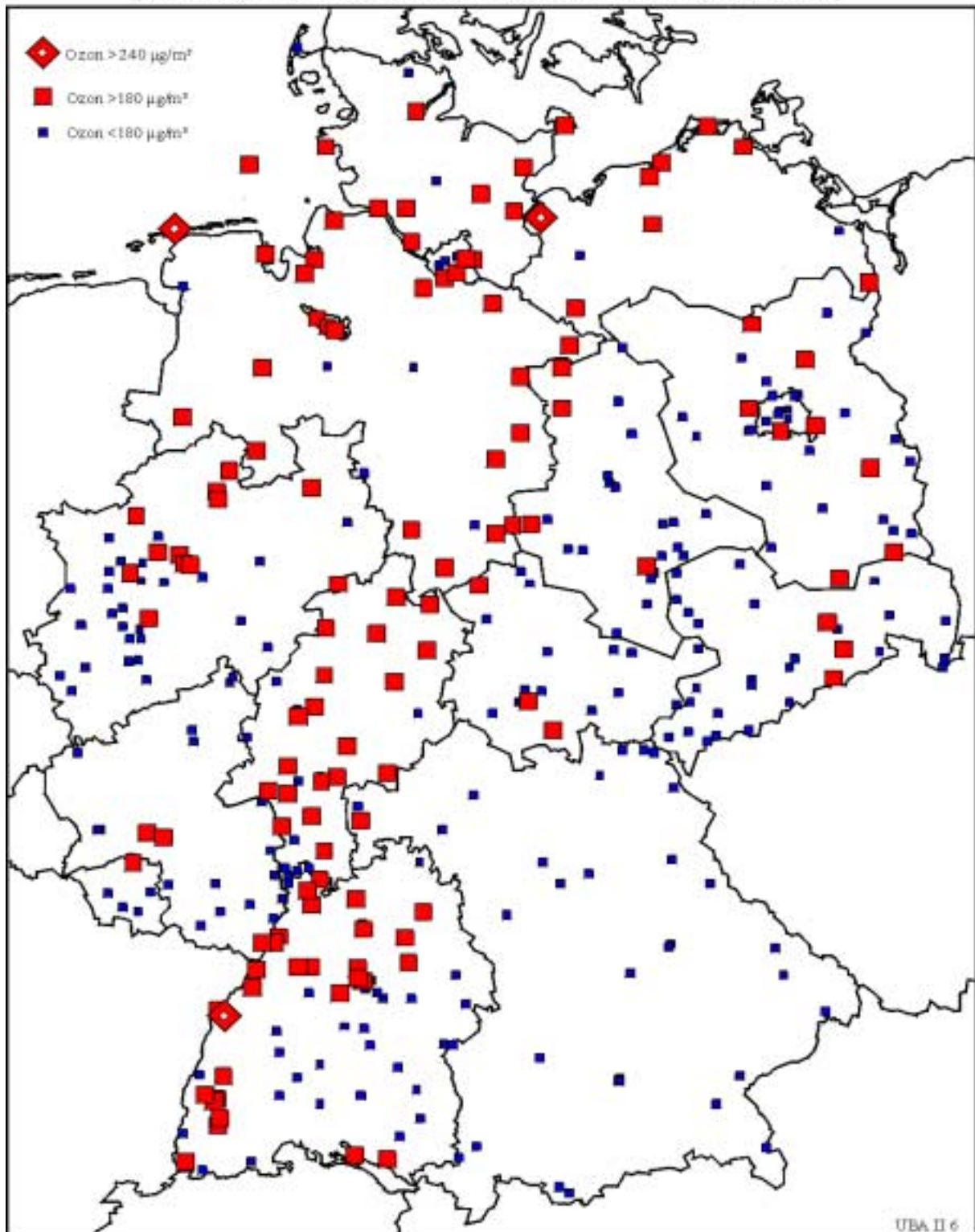


Abbildung 6: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 20. Juni 2000.

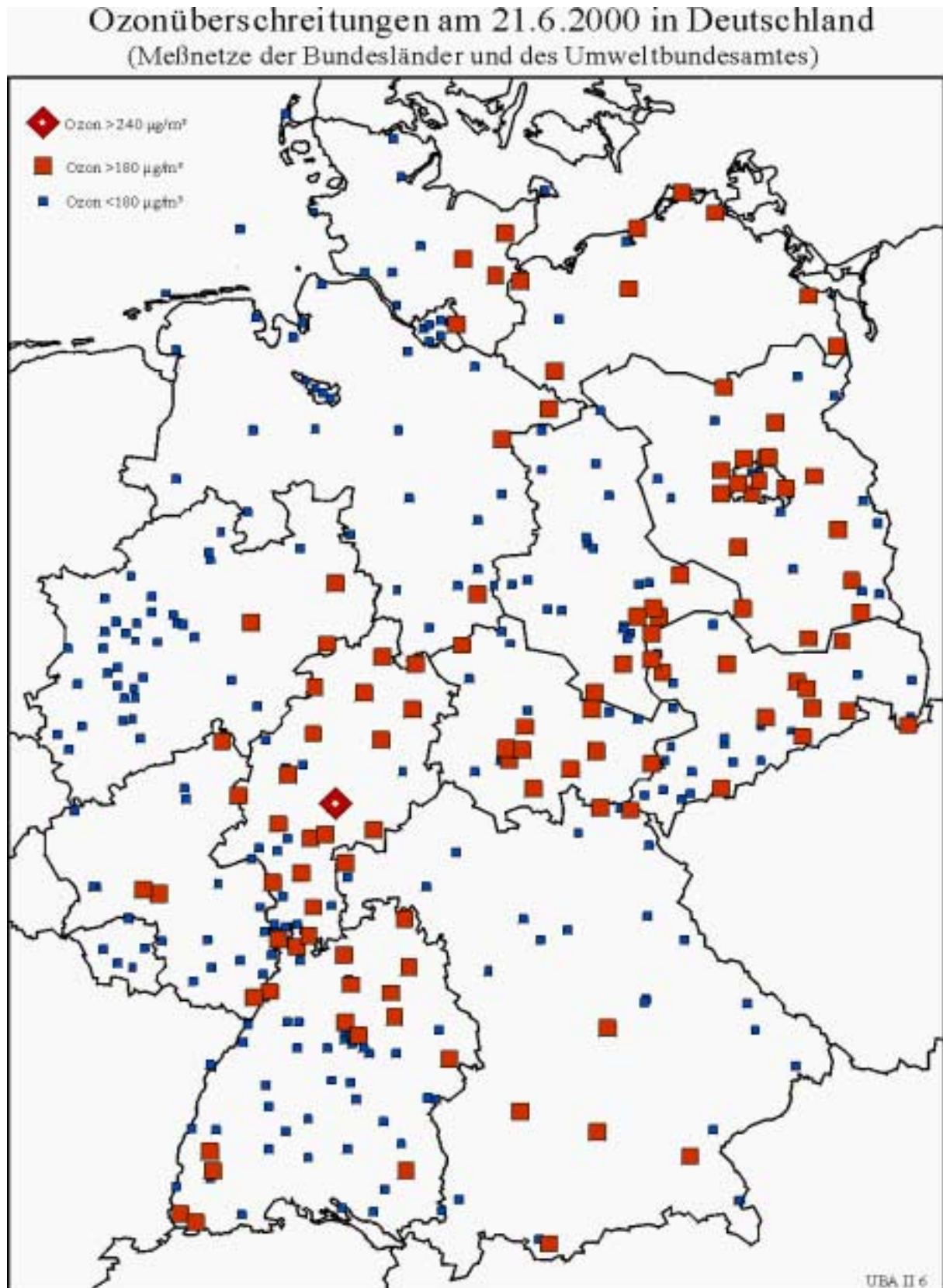


Abbildung 7: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 21. Juni 2000.

### 3.2.2.2 Meteorologische Situation

Die entscheidende Wetterentwicklung für die Herausbildung der Smogepisode vollzog sich vom 17. zum 18. Juni. Am 17. befanden sich das Bodenhoch über der Nordsee und der Höhenkeil über den Britischen Inseln. An der Ostflanke des Hochs floss mit nördlichen bis nordwestlichen Winden wenig mit Ozonvorläufern belastete Luft nach Deutschland. Die Sonne schien zwar deutschlandweit 10 bis 15 Stunden, die Tageshöchsttemperaturen erreichten aber nur Werte zwischen um 15 °C an der Küste und bis zu 24 °C im Oberrheingraben. Die deutschlandweit höchsten Stundenwerte der Ozonkonzentrationen wurden dementsprechend an diesem Tag an den Stationen Weil am Rhein und Schwarzwald-Süd gemessen, allerdings betrug die Werte nur 148 µg/m<sup>3</sup>.

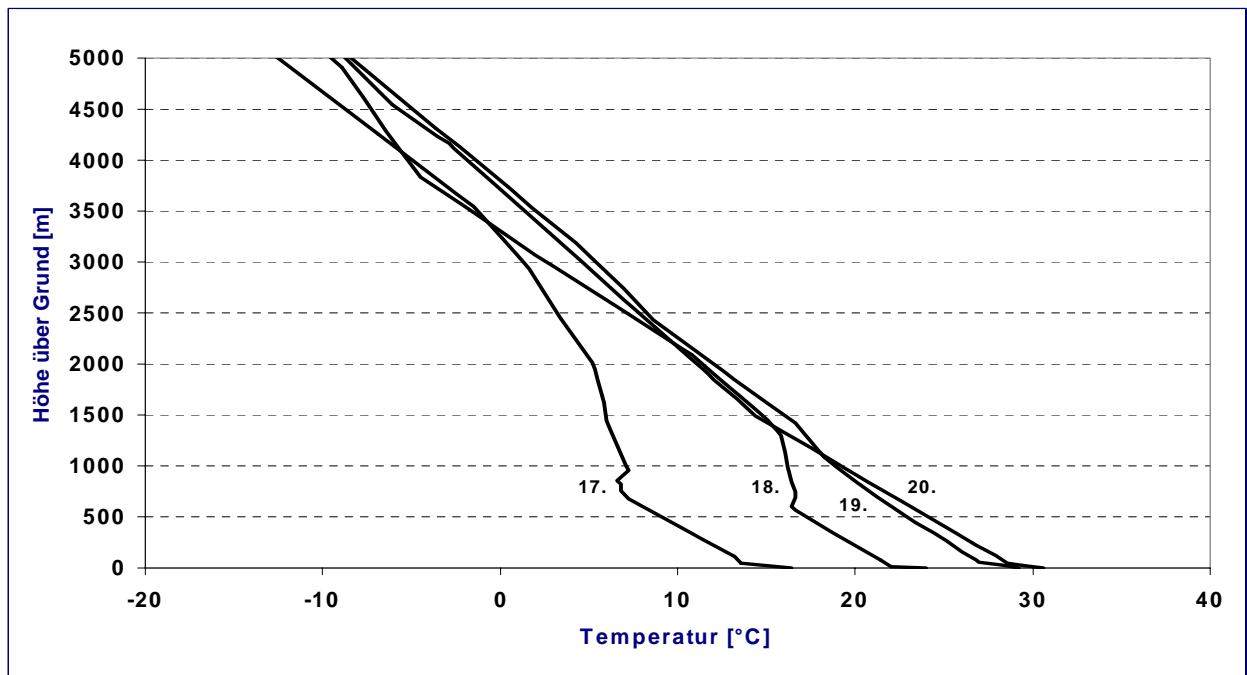
Innerhalb von 24 Stunden hatte sich das Hochdruckgebiet nach Mitteleuropa verlagert, so dass es sich am 18. mit seinem Zentrum über dem Böhmerwald befand. Die Verlagerung war insbesondere in der unteren Troposphäre in einer vom Boden bis 3 km Höhe reichenden Schicht mit einer sehr kräftigen Erwärmung sowie einer Winddrehung und – abnahme in den bodennahen Luftschichten verbunden (siehe Abbildung 8). Die Folge dieser drastischen Wetteränderung führte bei einer Sonnenscheindauer von 10 bis 15 Stunden zu maximalen Tagestemperaturen zwischen 20 °C im Küstenbereich und örtlich 30 °C in den Gebieten entlang des Ober- und Mittelrheins. Im Vergleich zum Vortag kam es bereits am 18. zu einem markanten Anstieg der Ozonwerte. Das vor allem über Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen gebildete Ozon wurde mit der inzwischen auf Süd eingestellten Strömung langsam in Richtung Norden transportiert, was Stundenwerte in den Abendstunden in Selmsdorf von 201 µg/m<sup>3</sup> und in Neuss von 200 µg/m<sup>3</sup> zur Folge hatte.

Am 19. setzte sich die Erwärmung der unteren Troposphäre bis etwa 1,5 km Höhe weiter fort; und am Westrand des geringfügig nach Osten gezogenen Hochs stellte sich allmählich in allen Teilen Deutschlands eine südliche Luftströmung ein. Die Sonne schien weiterhin den ganzen Tag über und erhitze den Boden verbreitet bis über 30 °C, den Raum von der Kölner Tieflandsbucht bis nach Hamburg sogar bis nahe 35 °C. Stellenweise bedeuteten für jene Gebiete diese Tageshöchsttemperaturen Rekordwerte seit Beginn der Messungen für den Zeitraum vom 11. bis 30. Juni. Am 19. stiegen die Ozonkonzentrationen allgemein weiter an, wobei der höchste Stundenwert in Kehl mit 242 µg/m<sup>3</sup> auftrat. Gleichzeitig dehnte sich das Gebiet hoher Ozonkonzentrationen immer mehr nordostwärts aus.

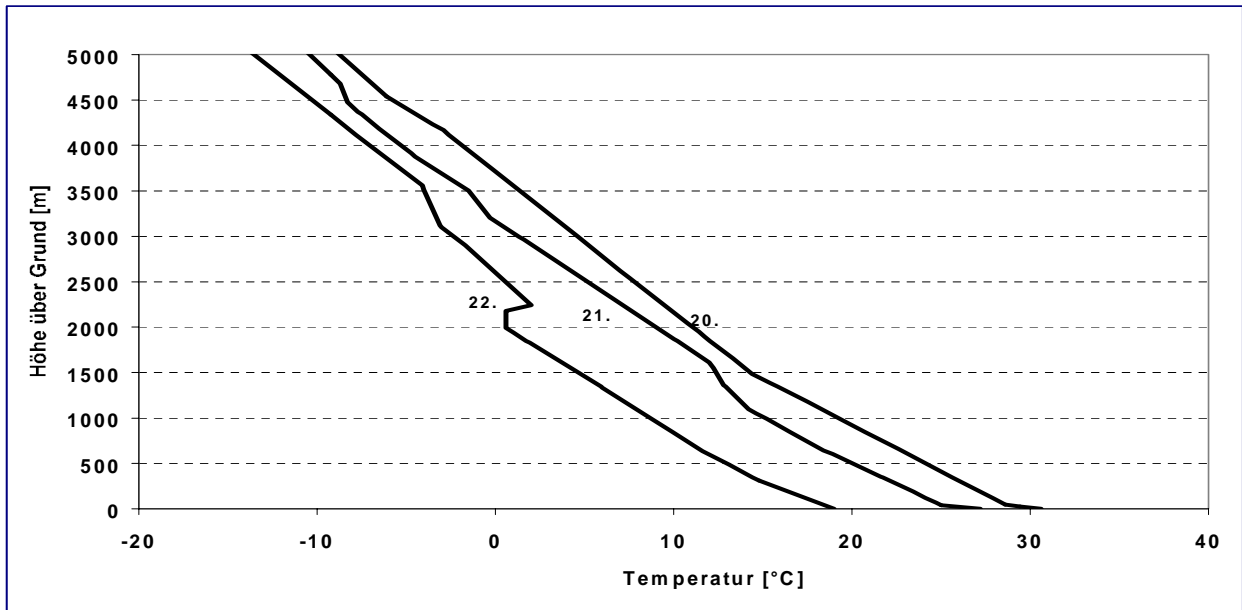
Am 20. Juni erreichte die Ozon-Episode ihren Höhepunkt. Der Hochdruckeinfluss über Mitteleuropa hielt am Boden nicht nur weiter an, sondern wurde durch den Höhenkeil, dessen Achse sich in der 500-hPa-Fläche genau über Deutschland befand, kräftig unterstützt. Gleichzeitig hatte sich in der gesamten unteren Troposphäre über ganz Deutschland eine südliche bis südwestliche Strömung durchgesetzt. Die Sonne schien wiederum den ganzen Tag (13 bis 15 Stunden) über, was vor allem in der nördlichen Hälfte Deutschlands verbreitet zu Temperaturrekorden führte. In Teterow (Mecklenburg) z. B. wurde ein Temperaturmaximum von 36,1 °C gemessen, während der bisherige, seit 1947 für die dritte Junidekade bestehende Höchstwert bei 33,3 °C lag. Die Ozonkonzentrationen stiegen großräumig weiter an und erreichten mit 253 µg/m<sup>3</sup> in Selmsdorf und 248 µg/m<sup>3</sup> auf der Insel Norderney die höchsten Stundenwerte der Ozonepisode. Dass diese hohen Ozonkonzentrationen besonders im Küstenbereich und erst gegen 20 Uhr MEZ auftraten, ist auf den strömungsbedingten Transport aus den vorgelagerten Ozon-Entstehungsgebieten zurückzuführen.

Mit der allmählichen Verlagerung des Hochs in Richtung Balkan und Schwarzes Meer verschob sich am 21. Juni der Schwerpunkt der Einstrahlung und Erwärmung nach Ost- und Südostdeutschland. Dort traten teilweise Temperaturmaxima von bis zu 36°C auf, während an der deutsch-holländischen Grenze keine 30 °C mehr erreicht wurden. Wie anhand des Radiosondenaufstiegs von Essen zu erkennen ist, setzte in der unteren Troposphäre über Westdeutschland bereits eine deutliche Abkühlung ein (siehe [Abbildung 9](#)). In ganz Deutschland herrschte aber noch eine süd- bis südwestliche Luftströmung vor. Die höchsten Ozonwerten wurden in Nidda (Hessen, 242 µg/m<sup>3</sup>), in Löcknitz (Mecklenburg-Vorpommern, 234 µg/m<sup>3</sup>) und in Zinnwald (Sachsen, 233 µg/m<sup>3</sup>) registriert.

Am 22. überquerten die bereits am Vortage über Westeuropa angelangten Tiefausläufer Deutschland und beendeten die Ozonepisode. [Abbildung 8](#) und [Abbildung 9](#) zeigen anhand der vertikalen Temperaturprofile an der Station Essen die dramatische Erwärmung besonders der bodennahen Troposphäre zwischen dem 17. und 20. Juni ([Abbildung 8](#)) sowie die danach erfolgte Abkühlung zwischen dem 20. und 22. Juni ([Abbildung 9](#)).



**Abbildung 8:** Temperaturprofile in der unteren Troposphäre über Essen vom 17. bis 20. Juni 2000 (Radiosondenaufstiege, jeweils um 13:00 Uhr MEZ), (Ref. 7)



**Abbildung 9:** Temperaturprofile in der unteren Troposphäre über Essen vom 20. bis 22. Juni 2000 (Radiosondenaufstiege, jeweils um 13:00 Uhr MEZ), (Ref. 7)

### 3.2.2.3 Interpretation der hohen Ozonwerte

Voraussetzung für die Entstehung hoher bodennaher Ozonkonzentrationen (Sommersmog) in Deutschland ist neben dem Vorhandensein von Ozonvorläufern (NO<sub>x</sub>, VOC) eine meteorologische Situation, die durch hohe Sonneneinstrahlung sowie durch eine stabile Schichtung der unteren Troposphäre charakterisiert ist (Ref. 8). Eine hohe Einstrahlung von kurzwelliger UV-Strahlung ist dabei für die Ausbildung hoher bodennaher Ozonkonzentrationen notwendig, aber nicht hinreichend.

Langjährige Ozonmessungen in Deutschland haben gezeigt, dass der Jahresgang der Ozonkonzentrationen mit einem gehäuftem Auftreten von Spitzenwerten in den Monaten Juli und August nicht symmetrisch zur UV-Strahlungskurve verläuft, die zum Sonnenhöchststand um den 21. Juni ihr Maximum aufweist. Der Grund liegt darin, dass neben der intensiven Sonneneinstrahlung die zusätzlich dafür notwendigen Bedingungen (hochsommerliche Temperaturen, stabile Schichtung der Troposphäre) in den Wochen und Monaten vor dem 21. Juni in der Regel seltener vorkommen als in den entsprechenden Zeiten danach. Beispielsweise treten im Mittel (1961-1990) in Deutschland die maximalen Temperaturwerte im Juli und August auf (Ref. 9). Die Jahresgänge der Temperatur sind in der Regel um etwa einen Monat, an Küsten- und hohen Bergstationen um etwa zwei Monate gegenüber den Sonnenhöchstständen verschoben (Ref. 9). Das bedeutet, dass maximale Sonneneinstrahlung und maximale Temperaturen in der Regel nicht gleichzeitig auftreten.

Zwischen dem 18. und 22. Juni 2000 trat nun das seltene Ereignis ein, dass beide für die Ausbildung von Sommersmog wichtigen meteorologischen Einflussgrößen in weiten Teilen Deutschlands gleichzeitig maximale Werte annahmen, wobei die wegen des Sonnenhöchststandes ohnehin schon hohe UV-Einstrahlung noch durch das stratosphärische Ozon-

Defizit gegenüber dem um diese Zeit normalerweise gemessenen Ozonsäulen verstärkt wurde.

In weiten Teilen Mitteleuropas wurden im Juni 2000 die niedrigsten Monatsmittelwerte des Gesamt Ozons gemessen (*Ref. 10*). So lagen beispielsweise am Meteorologischen Observatorium des DWD am Hohenpeißenberg die mittleren täglichen Gesamt Ozongehalte während der Sommersmog-Episode vom 18. bis 22. Juni 2000 um etwa 30 DU (DU = Dobson Units) niedriger als der entsprechende langjährige Mittelwert von 346 DU für den Zeitraum zwischen 1968 und 1999.

Dieses stratosphärische Ozondefizit führte zu einer Zunahme der UV-Strahlung am Erdboden und damit zu höheren Photolyseraten einer Reihe photoaktiver Spezies. Die Ozon-Photolyseraten waren bei der hier betrachteten Sommersmog-Episode bei Sonnenhöhen zwischen 30° und 60° um 15 bis 25% gegenüber den langjährigen mittleren Verhältnissen erhöht (siehe [Abbildung 12](#))

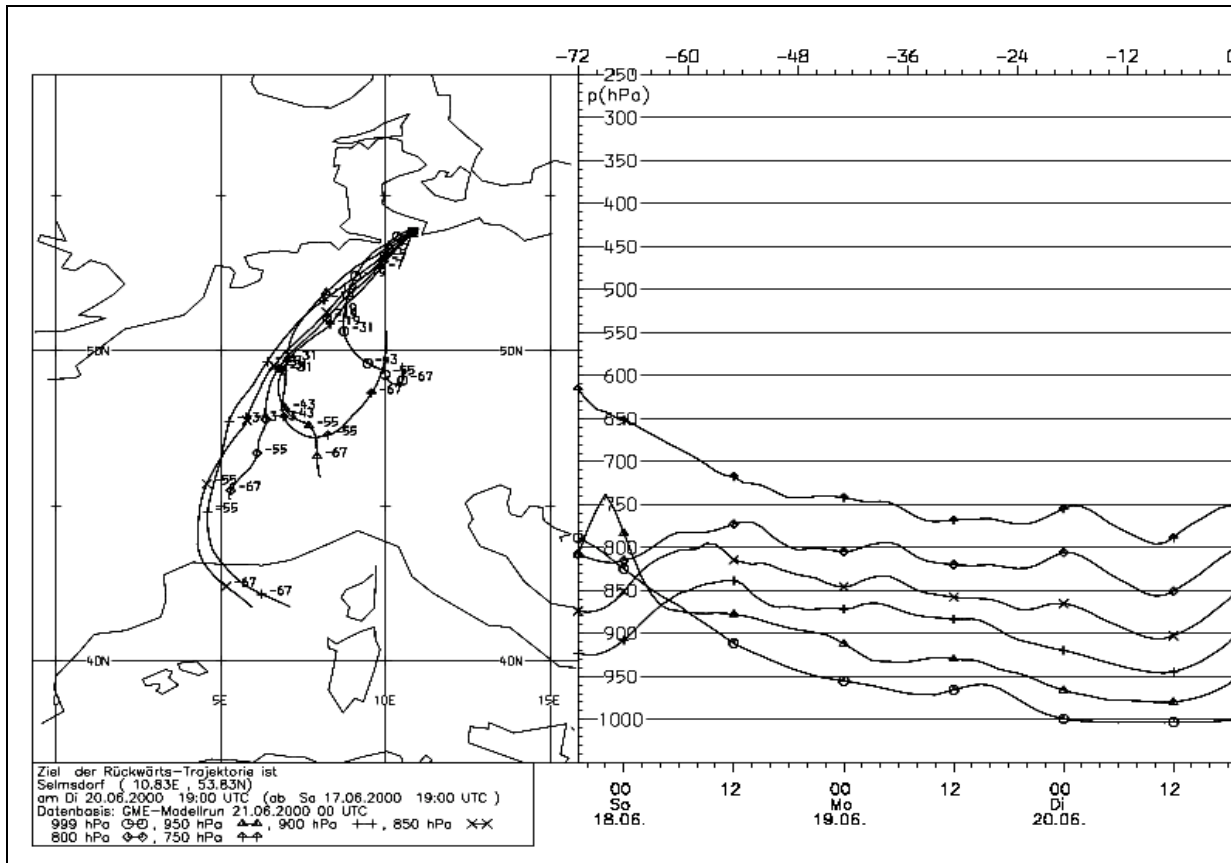
Modellrechnungen haben gezeigt, dass zunehmende UV-Strahlung zu höheren bodennahen Ozonkonzentrationen führt, wenn die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen hinreichend hoch sind, was in Mitteleuropa praktisch immer der Fall ist (*Ref. 11, 12*). Eine genaue Quantifizierung der Zunahme der bodennahen Ozonkonzentrationen aufgrund der höheren UV-B-Strahlung infolge des stratosphärischen Ozondefizits ist wegen der hochgradig nichtlinearen Natur der troposphärischen Chemie schwierig und deshalb mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Dieses gleichzeitige Auftreten maximaler UV-Einstrahlung und hoher Stabilität der bodennahen Troposphäre mit großräumigen Temperaturen von über 30° C führte schließlich zu den außerordentlich hohen Ozonwerten zwischen dem 18. und 22. Juni 2000.

Dass die Ozonspitzenwerte nicht wie üblich im Westen bzw. Südwesten, sondern besonders in Norddeutschland bis hin zur Nord- und Ostsee auftraten, lag an der besonderen Wetterkonstellation mit großräumigen Ozontransporten von Südsüdwest in Richtung Nordost. Um Aussagen über die Herkunft der Ozonbelastung machen zu können, wurden anhand von sog. Rückwärtstrajektorien die Zugbahnen der Luftmassen über einen Zeitraum von drei Tagen vor Eintreffen an den Stationen zurückverfolgt, an denen die Ozonkonzentrationen von 240 µg/m<sup>3</sup> (1-h-Mittel, EU-Alarmschwelle, [Tabelle 1](#)) überschritten worden sind.

**Tabelle 1: Stationen mit Überschreitungen von 240 µg/m<sup>3</sup> (1-h-Mittel) während der Ozon-Episode vom 19. bis 21. Juni 2000.**

Datum	Ort	Uhrzeit	Ozon-Maximum
19.6.2000	Kehl (bei Straßburg)	18 Uhr MEZ	242 µg/m <sup>3</sup>
20.6.2000	Selmsdorf (bei Lübeck)	20 Uhr MEZ	253 µg/m <sup>3</sup>
	Norderney	20 Uhr MEZ	248 µg/m <sup>3</sup>
	Kehl	15 Uhr MEZ	245 µg/m <sup>3</sup>
21.6.2000	Nidda (Hessen)	16 Uhr MEZ	242 µg/m <sup>3</sup>



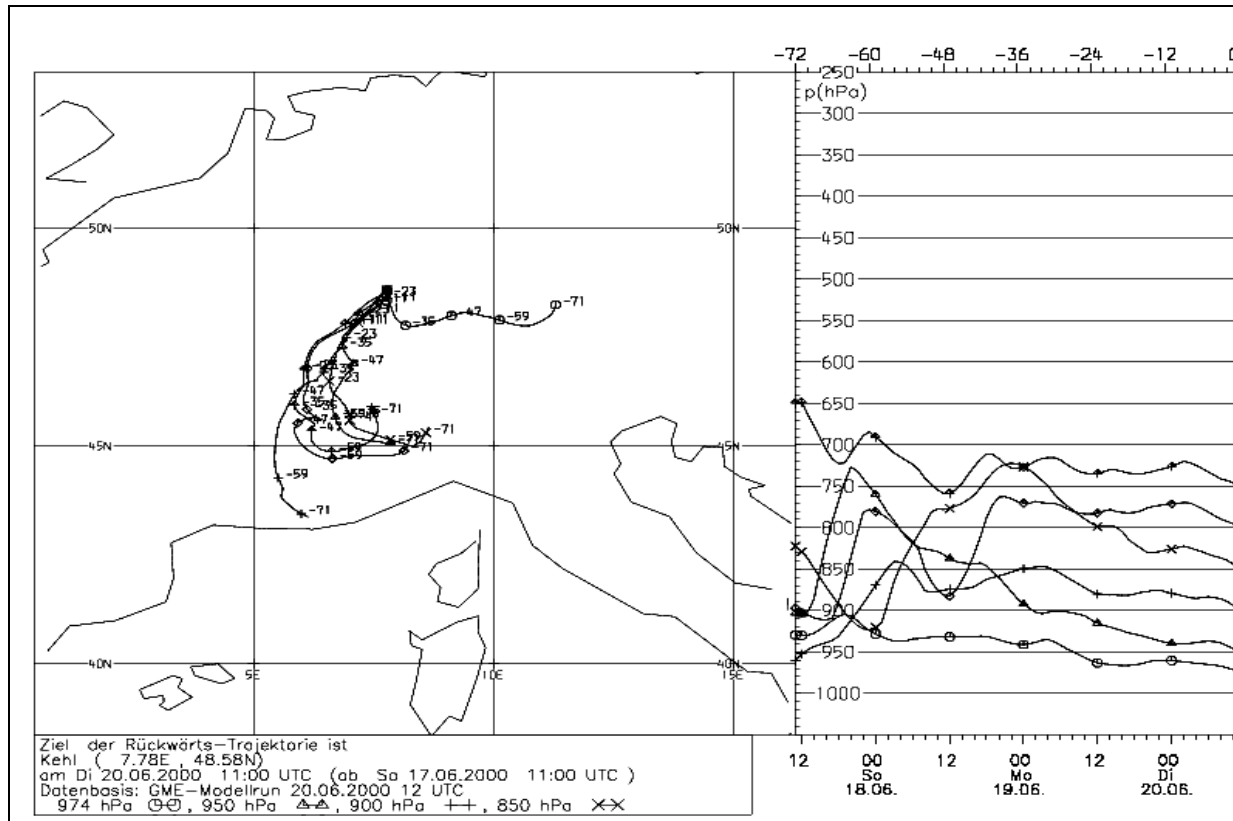
**Abbildung 10. Rückwärtstrajektorien nach Selmsdorf am 20. Juni 2000, 19:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhengniveaus: 999 hPa  $\triangleq$  ca. 10m, 950 hPa  $\triangleq$  540m, 900 hPa  $\triangleq$  1000m, 850 hPa  $\triangleq$  1500m, 800 hPa  $\triangleq$  2000m, 750  $\triangleq$  3000m, linke Abb.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abb.: vertikaler Verlauf der Trajektorien**

In Abbildung 10 und Abbildung 11 ist der Verlauf der Rückwärtstrajektorien über einen Zeitraum von 3 Tagen beispielhaft für Selmsdorf (bei Lübeck, Abbildung 10) sowie für Kehl (Baden-Württemberg, Abbildung 11) für den 20. Juni 2000 in unterschiedlichen Höhengniveaus dargestellt:

**Selmsdorf:** 999 hPa (ca. 10 m über NN, Bodenwind), 950 hPa (ca. 540 m ü. NN), 900 hPa (ca. 1000 m ü. NN), 850 hPa (ca. 1500 m ü. NN), 800 hPa (ca. 2000 m ü. NN) und 750 hPa (ca. 3000 m ü. NN).

**Kehl:** 973 hPa (ca. 50 m ü. NN, Bodenwind), die restlichen Luftdruckniveaus wie bei Selmsdorf.

Die Ankunftszeiten der Trajektorien wurden so gewählt, dass die Luftmassen etwa zum Zeitpunkt der maximalen Ozonkonzentrationen die beiden Orte erreichten: in Kehl um 14:00 Uhr (UTC) und in Selmsdorf um 19:00 Uhr (UTC).

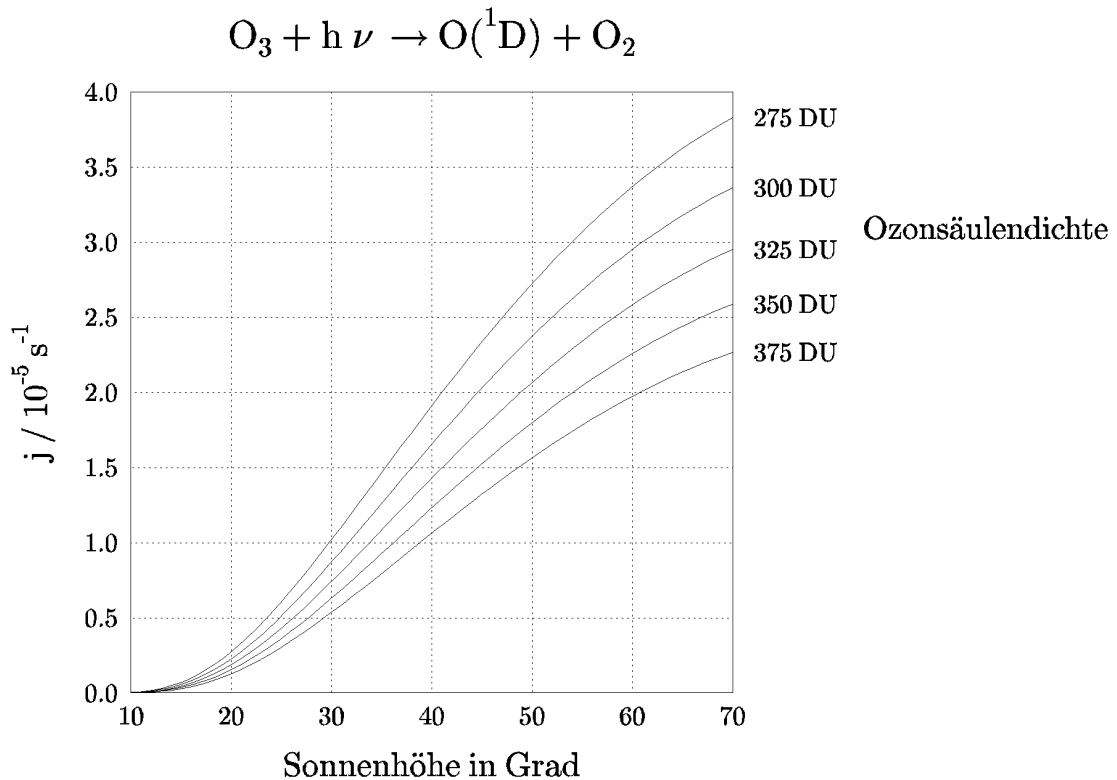


**Abbildung 11:** Rückwärtstrajektorien nach Kehl am 20. Juni 2000, 19:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus: 999 hPa  $\triangle$  ca. 10m, 950 hPa  $\triangle$  540m, 900 hPa  $\triangle$  1000m, 850 hPa  $\triangle$  1500m, 800 hPa  $\triangle$  2000m, 750  $\triangle$  3000m, linke Abb.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abb.: vertikaler Verlauf der Trajektorien

Deutlich sind einige Unterschiede im Verlauf der Trajektorien für beide Stationen zu erkennen: Wegen der größeren Nähe zum Hochdruckgebiet sind die nach Kehl führenden Trajektorien wesentlich kürzer als die entsprechenden Trajektorien nach Selmsdorf. Das bedeutet, dass die in Selmsdorf ankommenden Luftmassen während der drei zurückliegenden Tage wesentlich weitere Wege zurückgelegt haben. Der maximale Ozon-Stundenwert von  $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Selmsdorf am Abend des 20. Juni 2000 ist im Wesentlichen auf den Ferntransport zurückzuführen und nur in geringem Maße auf lokale Ozonbildungsprozesse. Ähnliches gilt bezüglich der Ursachen auch für den Ozon-Spitzenwert von  $248 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , der ebenfalls am Abend des 20. Juni in Norderney (Nordsee) gemessen worden ist (Trajektorien hier nicht dargestellt). Dagegen ist der maximale Stundenwert von  $245 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Kehl am Nachmittag des 20. Juni weitgehend auf lokale bis regionale ozonbildende Prozesse im Oberrheingraben sowie in der benachbarten Schweiz zurückzuführen.

Dass die hohen bodennahen Ozonwerte nicht durch Transport aus großen Höhen verursacht, sondern im Wesentlichen aus bodennah emittierten Ozon-Vorläufern ( $\text{NO}_x$  und VOC) gebildet worden ist, zeigt der höhenabhängige Verlauf der Trajektorien in den bodennahen Druckniveaus (vom Boden bis zu 850 hPa (ca. 1500m)) während der zurückliegenden 3 Tage. Man erkennt, dass sich die Luft zumindest 2 Tage vor dem Eintreffen an beiden Messorten in den untersten 1500 m der Atmosphäre aufgehalten hat.

Für den dominierenden Beitrag des Ferntransports an den beiden norddeutschen Stationen Selmsdorf und Norderney spricht auch, dass das Ozonmaximum um 20:00 Uhr auftrat, während die entsprechenden Maxima an den Binnenland-Stationen Kehl und Nidda (Hessen) zwischen 15:00 und 18:00 Uhr auftraten.



**Abbildung 12: Ozon-Photolyseraten bei unterschiedlichen Sonnenhöhen und Ozonsäulen**

Wie Abbildung 11 weiter zeigt, sind die Luftmassen sowohl über Gebiete mit einer hohen Emissionsdichte beider Ozonvorläufer  $\text{NO}_x$  und VOC (z.B. Ruhrgebiet, Rhein-Main-Gebiet, Niederlande) als auch über Gebiete mit einer wesentlich geringeren  $\text{NO}_x$ -Emissionsdichte, aber über Gebiete mit hohen biogenen VOC-Emissionen gezogen, bevor sie die norddeutschen küstennahen Stationen Norderney und Selmsdorf erreichten.

Die biogenen VOC-Emissionen haben möglicherweise auch einen erheblichen Beitrag zu den hohen Ozonwerten während dieser mehrtägigen Ozonepisode geleistet. Die biogenen VOC-Emissionen waren während der hier untersuchten Ozon-Episode sehr wahrscheinlich wesentlich höher als die anthropogenen VOC-Emissionen (*Ref. 4, 14*). Wie weitergehende Untersuchungen gezeigt haben (*Ref. 13*), sind die  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen in Mitteleuropa großräumig noch immer hoch genug, um auch über den Hauptemissionsgebieten der biogenen VOC erheblich zur Ozonbildung beizutragen. Zu bedenken ist aber, dass biogene VOC-Emissionen nur Ozon bilden können, wenn genügend anthropogenes  $\text{NO}_x$  vorhanden ist.

### 3.2.3 Zukünftige Entwicklung der Ozonspitzenwerte

Im Zuge der weiteren Reduzierungen der Emissionen von NO<sub>x</sub> und VOC in Deutschland und Europa (Tabelle 2) werden die Ozonspitzenwerte in Deutschland im kommenden Jahrzehnt weiter sinken, wenn auch nicht in dem Maße wie zwischen 1990 und 2000. Im Jahr 2010 wird die Wahrscheinlichkeit von Überschreitungen der EU-Schwellenwerte für die Information der Bevölkerung (1-h-Mittel von 180 µg/m<sup>3</sup> Ozon) und insbesondere für den Schutz der menschlichen Gesundheit (1-h-Mittel von 240 µg/m<sup>3</sup> Ozon) nur noch sehr gering sein, vollständig auszuschließen sind diese Überschreitungen aber nicht (*Ref. 1*).

**Tabelle 2: Von Deutschland zugesagte mittelfristige Emissionsminderungen von NO<sub>x</sub> und VOC bis 2010 (Basisjahr 1990, Ref. Protokoll zur Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon, Göteborg Protokoll)**

	NO <sub>x</sub>	VOC
<b>ECE insgesamt</b>	-41%	-41%
<b>EU-Staaten</b>	-49%	-57%
<b>Deutschland</b>	-60%	-69%

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die sehr hohen Ozonkonzentrationen während der Ozon-Episode vom 19. bis 21. Juni 2000 den aufgrund der Emissionsminderung der Vorläufer generell abfallenden Trend der Ozon-Spitzenkonzentrationen kaum beeinflusst haben.

### 3.2.4 Literatur zu Kapitel 3.2

(1) *Beilke, S. und M. Wallasch (2000)*

*Die Ozonbelastung in Deutschland seit 1990 und Prognose der zukünftigen Entwicklung, Immissionsschutz 4, 5. Jahrgang, Dezember 2000, S. 149-155.*

(2) *EU-Tochter-Richtlinie 2000*

*EU-ENV/00/86, Brüssel*

(3) *Lutz, M (2000): Europäische Ozonminderungsstrategie und Ozon-Tochterraichtlinie, Tagungsband: Symposium Troposphärisches Ozon, Braunschweig, 8.-10. Februar 2000. Schriftenreihe der KRdL im VDI und DIN, Band 32, S.281-298.*

(4) *Seiler, W., (2000)*

*BMBF-Troposphärenforschungsprogramm, Ergebnisbericht der Koordinatoren, Leitthema 2, Juni 2000*

- (5) *Deutscher Wetterdienst(1998)*  
*Amtsblatt des DWD, Nr.218-225*
- (6) *UBA (2000)*  
*Kurzbericht: Ozonsituation 2000 in der Bundesrepublik Deutschland, Oktober 2000, UBA, II 6.4, Ute Dauert und Susanne Grittner*
- (7) *Deutscher Wetterdienst (2000)*  
*Europäische Wetterkarte*
- (8) *Beilke, S. (1991)*  
*Meteorologische Voraussetzungen für die Bildung von Ozon und Sommersmog, In: Proceedings Ozon-Symposium München, 2.-4. Juli 1991. Herausgeber: TÜV Akademie Bayern/Hessen GmbH München, S.116-131.*
- (9) *Deutscher Wetterdienst (1999)*  
*Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland, Teil 1. Autoren: Müller-Westermeier, G.; Kreis, A. und Dittmann, E. Herausgeber und Verlag: DWD, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach/M.*
- (10) *Claude, H. (2000)*  
*Beitrag zum Klimastatusbericht 2000*
- (11) *Madronich, S. and Granier, C. (1993)*  
*Tropospheric Chemistry Changes due to increased UV-B Radiation. NATO Advanced Research Workshop on Stratospheric Ozone Depletion/UV-B Radiation in the Biosphere, Gainesville, Florida, June 14-18, 1993*
- (12) *Madronich, S. (1993)*  
*Tropospheric Photochemistry and its Response to UV Changes, NATO ASI Series, Vol. 18, The role of the stratosphere in global change, edited by M.L. Chanin, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993*
- (13) *Stick, C., Beilke, S., Uhse, K., Adolphsen, A., Hundhausen, E. und M.Wallasch (2000)*  
*Die lufthygienische Situation an der deutschen Nordseeküste im Hinblick auf SO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub> . Phys. Rehab. Kur Med. 10, S. 176-183*
- (14) *Steinbrecher et al. (2000)*  
*Development of Biogenic VOC Emission Inventories for Germany. BMBF-Statusseminar, April 2001, Jena*