

# Jahresbericht 2001 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes

## 3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME

### 3.2 Die Ozon-Episoden in Deutschland im Juli und August 2001

*Siegfried Beilke, Manfred Jäschke, Karin Uhse und Markus Wallasch,  
Umweltbundesamt, FG II 6.6, Außenstelle Langen*

*Ute Dauert, Susanne Grittner, Wolfgang Bräuniger und Angela Weikinn,  
Umweltbundesamt, FG II 6.2, Berlin*

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

**Inhalt:**

<b>3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2 Die Ozon-Episoden in Deutschland im Juli und August 2001 .....</b>	<b>3</b>
3.2.1 Einleitung.....	3
3.2.2 Analyse der Ozonepisoden im Juli und August 2001 .....	7
3.2.2.1 Zeitliche und räumliche Verteilung der Ozonkonzentrationen .....	7
3.2.2.2 Meteorologische Situation.....	14
3.2.2.3 Interpretation der hohen Ozonwerte.....	15
3.2.3 Zukünftige Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland .....	19
3.2.4 Literatur zu Kapitel 3.2.....	19

## 3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME

### 3.2 Die Ozon-Episoden in Deutschland im Juli und August 2001

#### 3.2.1 Einleitung

In Deutschland haben die Ozon-Spitzenkonzentrationen zwischen 1990 und 2001 deutlich abgenommen (siehe Abbildung 1 bis Abbildung 5), während die Mittelwerte angestiegen sind (*Ref. 1, 2*). Die Abnahme der Spitzenwerte ist im Wesentlichen auf die erhebliche Reduzierung der Emissionen der Ozonvorläufer (NO<sub>x</sub> und VOC) in Deutschland als auch in den europäischen Nachbarstaaten und nicht auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen (*Ref. 1, 3*). Die scheinbar paradoxe, gleichzeitige Zunahme der mittleren Ozon-Konzentrationen, wie zum Beispiel der Jahresmittelwerte, ist neben dem zunehmenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen Ozon-Hintergrund zu einem nicht unerheblichen Teil auf die Reduzierung der Emission von Stickoxiden zurückzuführen, die Ozon sowohl bilden als auch abbauen können. Eine Abnahme der Stickoxid-Konzentrationen (werden als NO hauptsächlich durch den Straßenverkehr emittiert) führt in Emittentennähe zu einer Verminderung des sog. Titrationseffektes“ (Verbrauch von Ozon durch NO unter Bildung von NO<sub>2</sub>), der zum Anstieg der mittleren Ozonkonzentrationen führen kann.

Eine ähnliche Entwicklung, nämlich ein Rückgang der Ozon-Spitzenwerte und eine Zunahme der Mittelwerte, wurde beispielsweise auch in Österreich, der Schweiz (*Ref. 4, 5*) sowie in Großbritannien (*Ref. 6*) beobachtet.

Abbildung 1 bis Abbildung 5 zeigen den generellen Rückgang der Ozon-Spitzenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2001, gemessen an allen deutschen Ozonstationen von Bund und Ländern (ca. 200 in 1990 und ca. 370 in 2001).

Abbildung 1 zeigt als Beispiel den Verlauf der maximalen Ozon-Stundenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2001. Ozonkonzentrationen über 300 µg/m<sup>3</sup> wurden seit 1994 in Deutschland nicht mehr beobachtet. Die maximalen Ozonwerte (1-h-Mittel) lagen nach 1994 zwischen 200 µg/m<sup>3</sup> und 300 µg/m<sup>3</sup>.

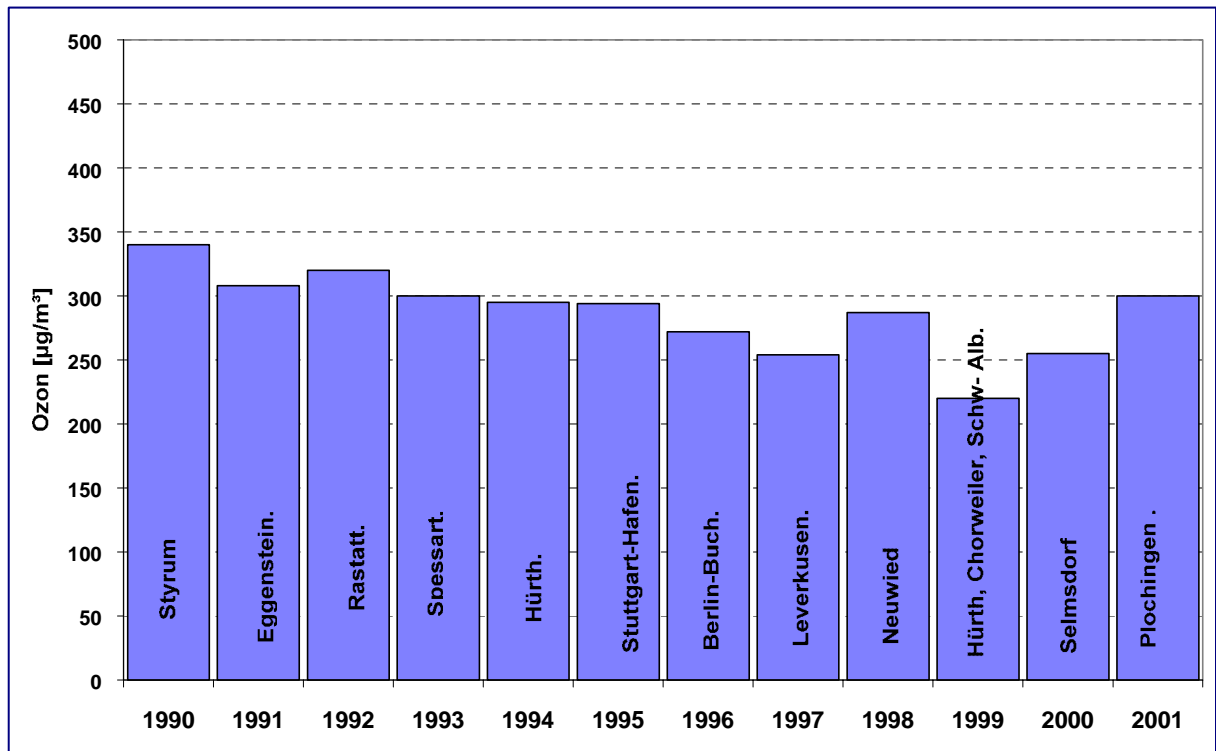


Abbildung 1: Jährliche maximale Ozonkonzentrationen in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mit Angabe der registrierenden Messstelle

Wesentlich deutlicher sichtbar ist die Abnahme des Auftretens von Ozonspitzenwerten in Abbildung 2 bis Abbildung 5.

Abbildung 2 zeigt die Zahl der Stunden mit Ozonwerten  $>240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel) im Mittel über die jeweils in Deutschland betriebenen Messstellen, die in der Untersuchungsperiode zwischen 194 und 392 schwankte. In Abbildung 3 ist die Zahl der Tage angegeben, an denen an mindestens einer der deutschen Ozonmessstellen die Ozon-Schwellenwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit (*Ref. 7*) von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten worden sind. Man erkennt eine deutliche Abnahme der Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  insbesondere bei den über alle Messstellen gemittelten Stundenzahlen (Abbildung 2).

Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen den entsprechenden Rückgang der Überschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Man erkennt ebenfalls einen Abfall der Überschreitungen, der allerdings schwächer ausgeprägt ist als bei den Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

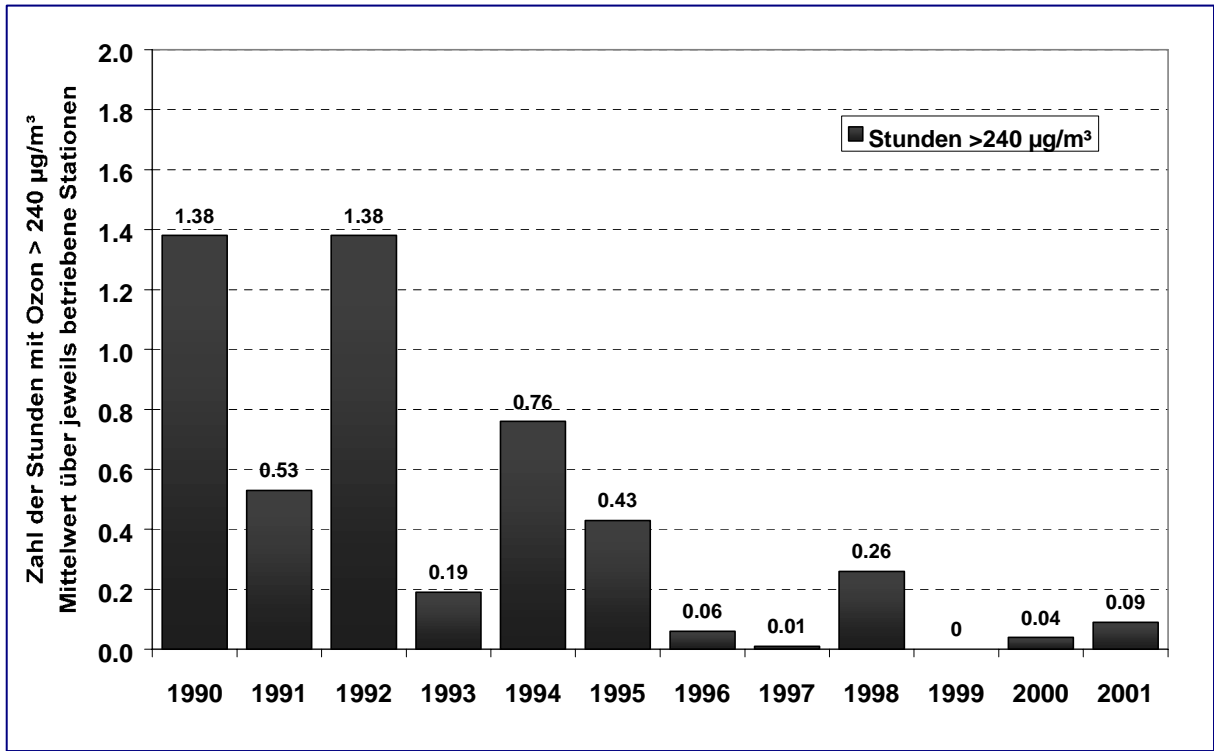


Abbildung 2: Zahl der Stunden mit Ozonwerten > 240 µg/m<sup>3</sup>, im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen

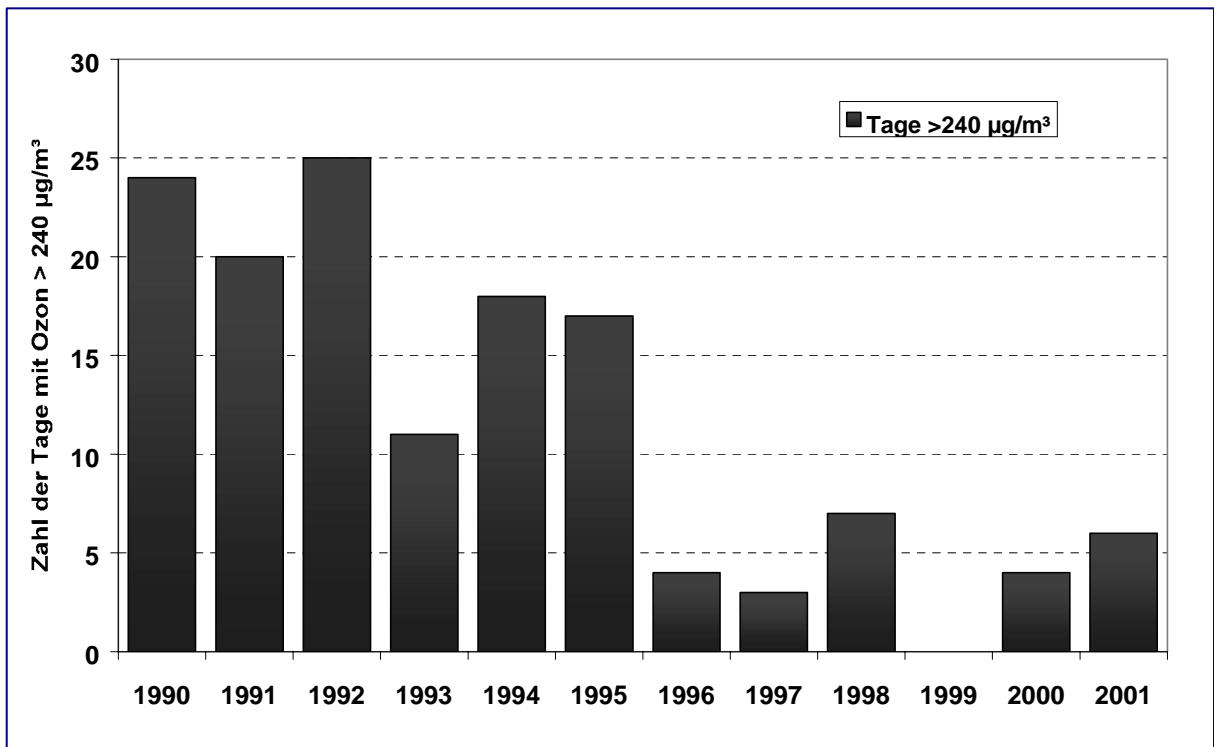


Abbildung 3: Zahl der Tage mit Ozonwerten > 240 µg/m<sup>3</sup>

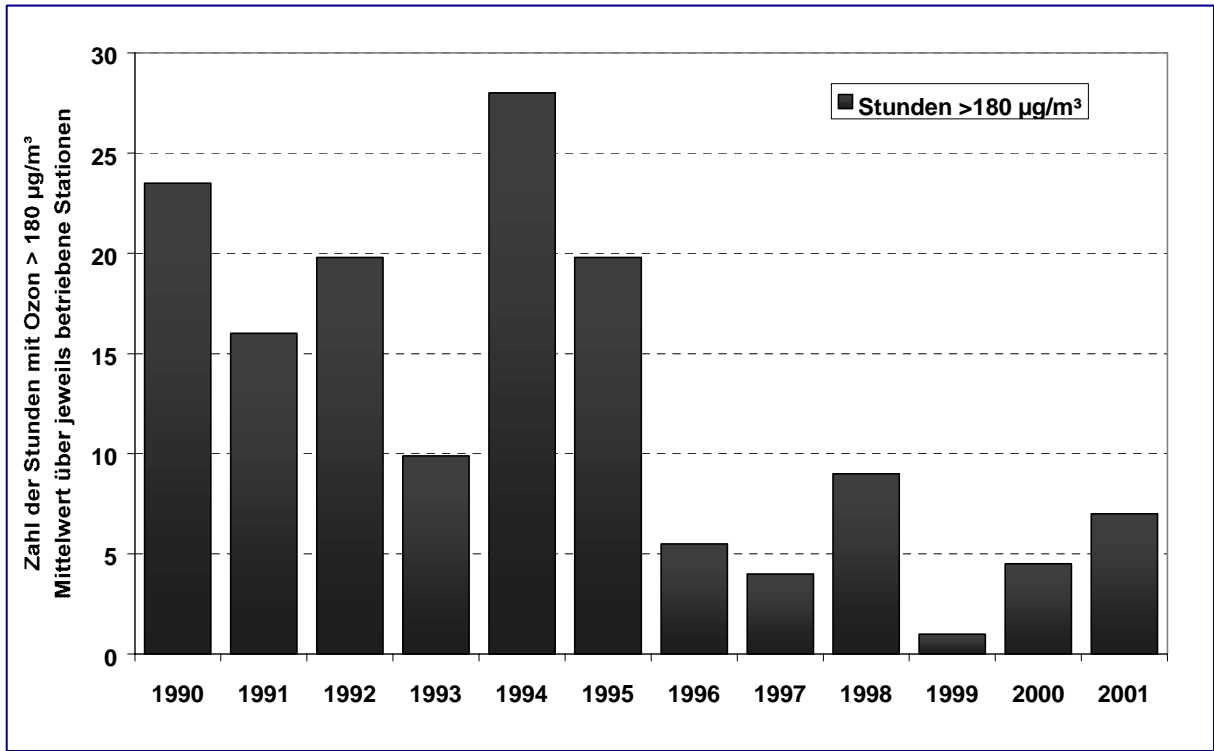


Abbildung 4: Zahl der Stunden mit Ozonwerten > 180 µg/m³, im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen

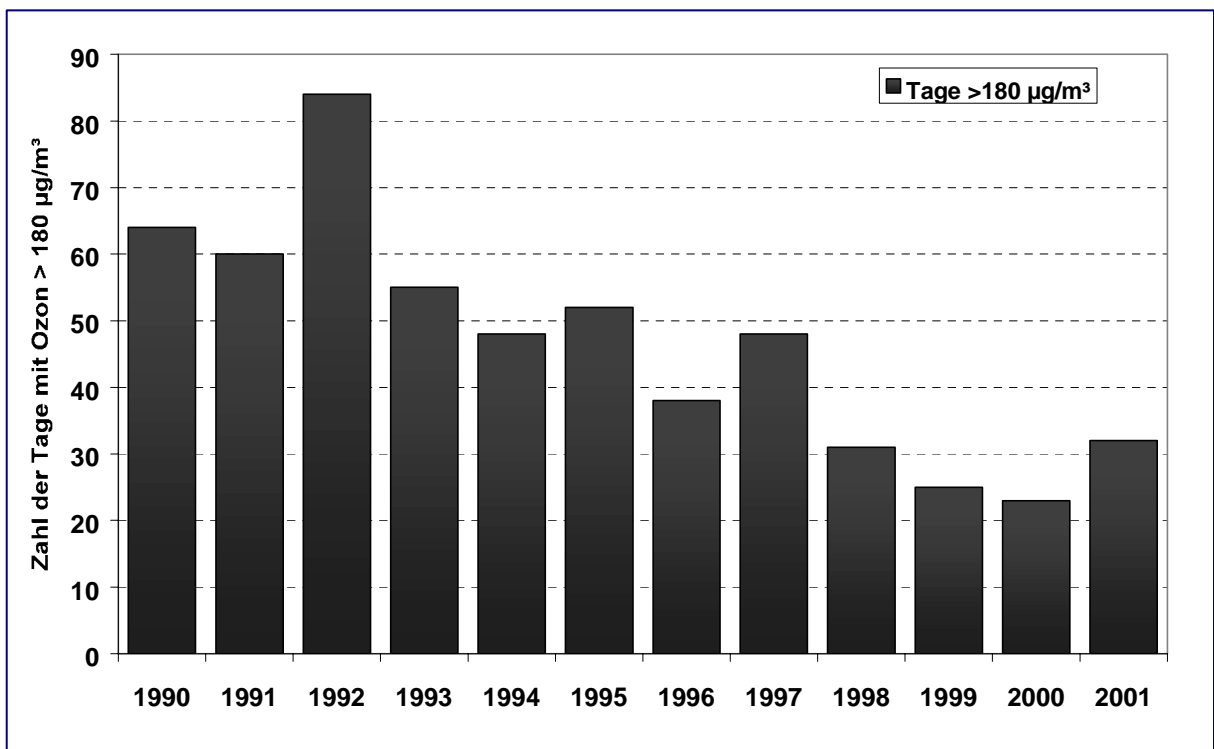


Abbildung 5: Zahl der Tage mit Ozonwerten > 180 µg/m³

Der in Abbildung 1 bis Abbildung 5 gezeigte, im Wesentlichen auf die Emissionsminderung von  $\text{NO}_x$  und VOC zurückzuführenden Rückgang der Ozon-Spitzenkonzentrationen ist durch meteorologisch bedingte Schwankungen überlagert, die zu erheblichen Fluktuationen der Ozon-Spitzenwerte von Jahr zu Jahr führen können.

Während im Jahre 1999 der niedrigste maximale Stundenwert ( $219 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) seit 1990 beobachtet wurde, traten in den Jahren 2000 ( $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und 2001 ( $299 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) erneut relativ hohe Spitzenwerte auf, die neben noch immer hohen Emissionen im lokalen bis regionalen Maßstab auch auf extreme Wetterbedingungen zurückzuführen sind. Die Ozon-Episode im Jahre 2000 wurde ausführlich in *Ref. 8* beschrieben.

In diesem Bericht werden die Ozon-Episoden in Deutschland im Jahre 2001 näher untersucht.

## **3.2.2 Analyse der Ozonepisoden im Juli und August 2001**

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

Im Jahr 2001 gab es in Deutschland im Vergleich zu 1999 und 2000 wieder häufiger hohe Ozonwerte über  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel). Die Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  traten Ende Juli vor allem in Baden-Württemberg sowie zwischen dem 24. und 26. August 2001 in Nordrhein-Westfalen während mehrerer Hitzeperioden auf. Der maximale Ozonwert wurde am 31. Juli 2001 mit  $299 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Plochingen (bei Stuttgart) gemessen (Tabelle 1).

Abbildung 6 zeigt die zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Abbildung 7 zeigt die entsprechende Verteilung der Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Angegeben ist die Zahl der Stunden mit Überschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Der Schwellenwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde 2001 an insgesamt 33 Tagen, der Wert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an insgesamt 7 Tagen überschritten.

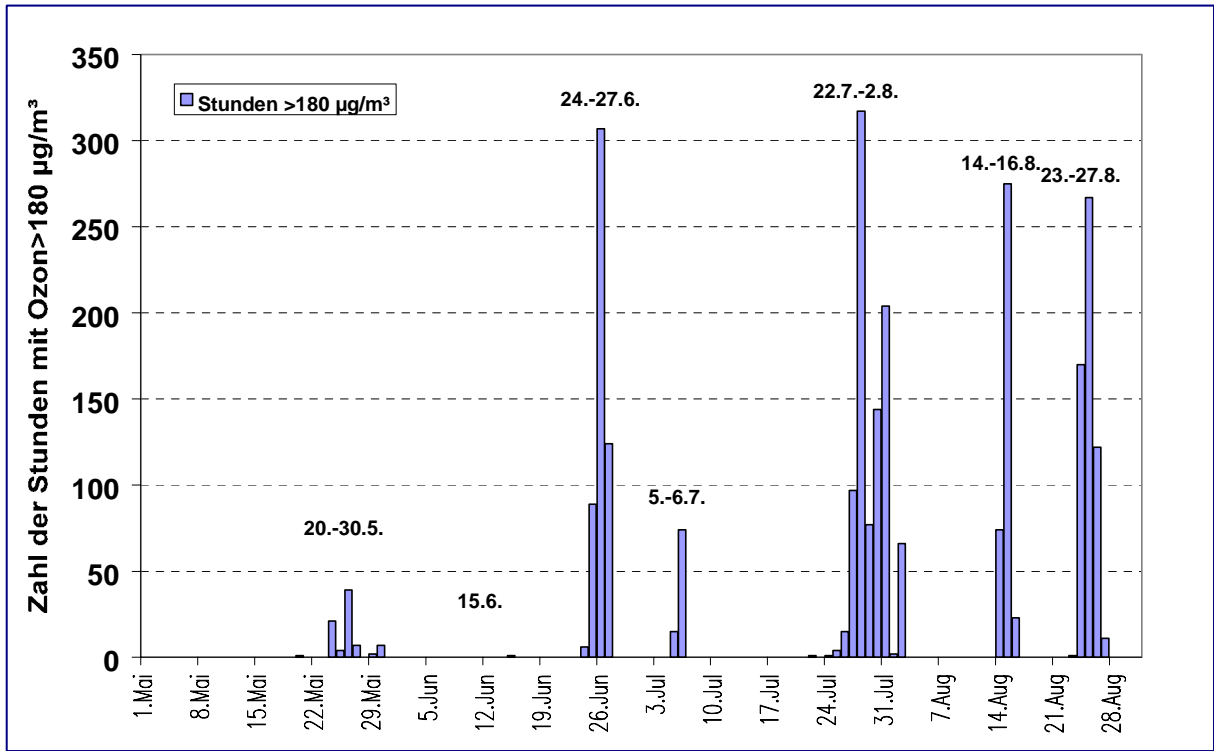


Abbildung 6: Zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen (Stunden) von 180 µg/m³

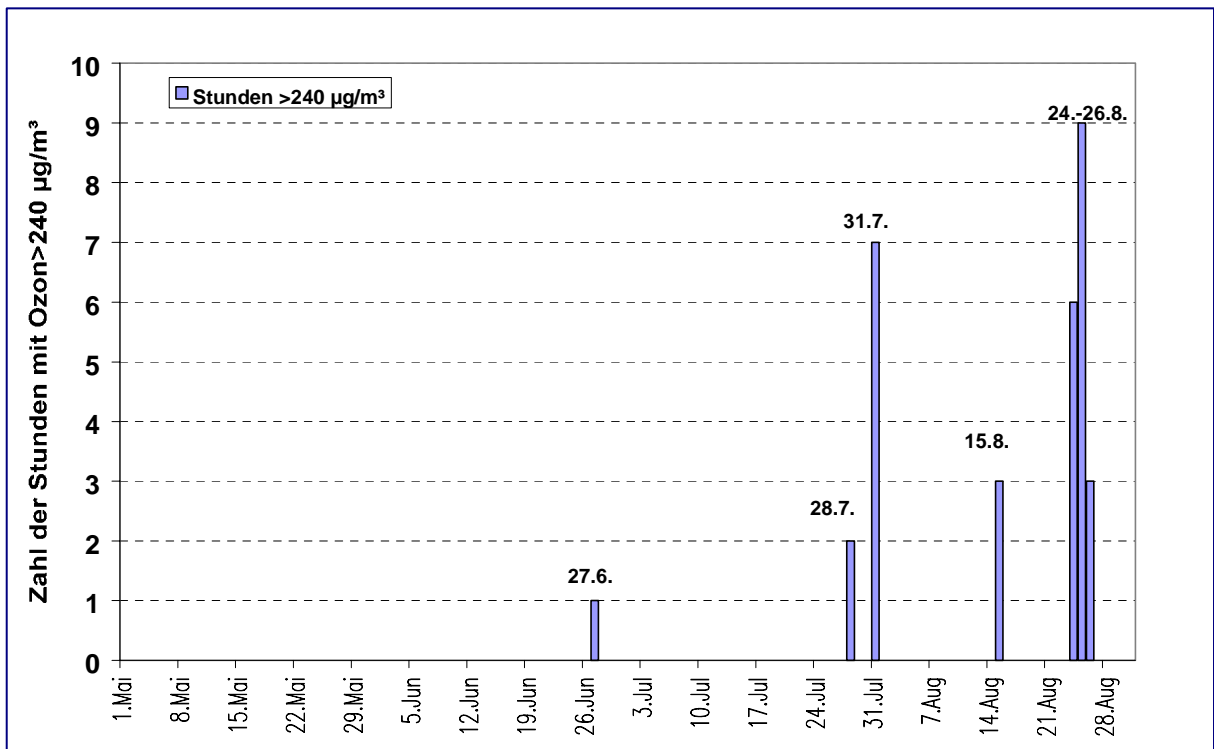


Abbildung 7: Zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen (Stunden) von 240 µg/m³

Die höchsten Stundenwerte wurden an folgenden Orten und Tagen beobachtet (Tabelle 1):

Tabelle 1: Maximale Ozon-Stundenwerte in Deutschland im Jahre 2001 BW: Baden-Württemberg, PR: Rheinland-Pfalz, NW: Nordrhein-Westfalen

<b>Station</b>	<b>Bundesland</b>	<b>Datum</b>	<b>1-Std-Maximalwert</b>
Plochingen	Baden-Württemberg	31.7.2001	299 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Wesel-Feldmark	Nordrhein-Westfalen	25.8.2001	289 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Westerwald-N.	Rheinlandpfalz	28.7.2001	265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Solingen-Wald	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	258 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Moers-Meerbeck	Nordrhein-Westfalen	25.8.2001	258 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hürth	Nordrhein-Westfalen	25.8.2001	254 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Köln-Chorweiler	Nordrhein-Westfalen	26.8.2001	253 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Borken-Gemen	Nordrhein-Westfalen	15.8.2001	252 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hürth	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Göppingen	Baden-Württemberg	31.7.2001	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kehl-Hafen	Baden-Württemberg	26.8.2001	248 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dormagen-Horrem	Nordrhein-Westfalen	26.8.2001	248 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kehl-Hafen	Baden-Württemberg	28.7.2001	245 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Plochingen	Baden-Württemberg	27.6.2001	244 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bernhausen	Baden-Württemberg	31.7.2001	243 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Langenfeld-R.	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	243 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Leverkusen-M.	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	242 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Köln-Rodenkirchen	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	242 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

In Abbildung 8 bis Abbildung 11 ist die räumliche Verteilung der Ozonüberschreitungen für die Sommersmogepisoden am 31. Juli (Abbildung 8) sowie für den 24. bis 26. August 2001 (Abbildung 9 bis Abbildung 11) dargestellt.

# Ozonüberschreitungen am 31.7.2001 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

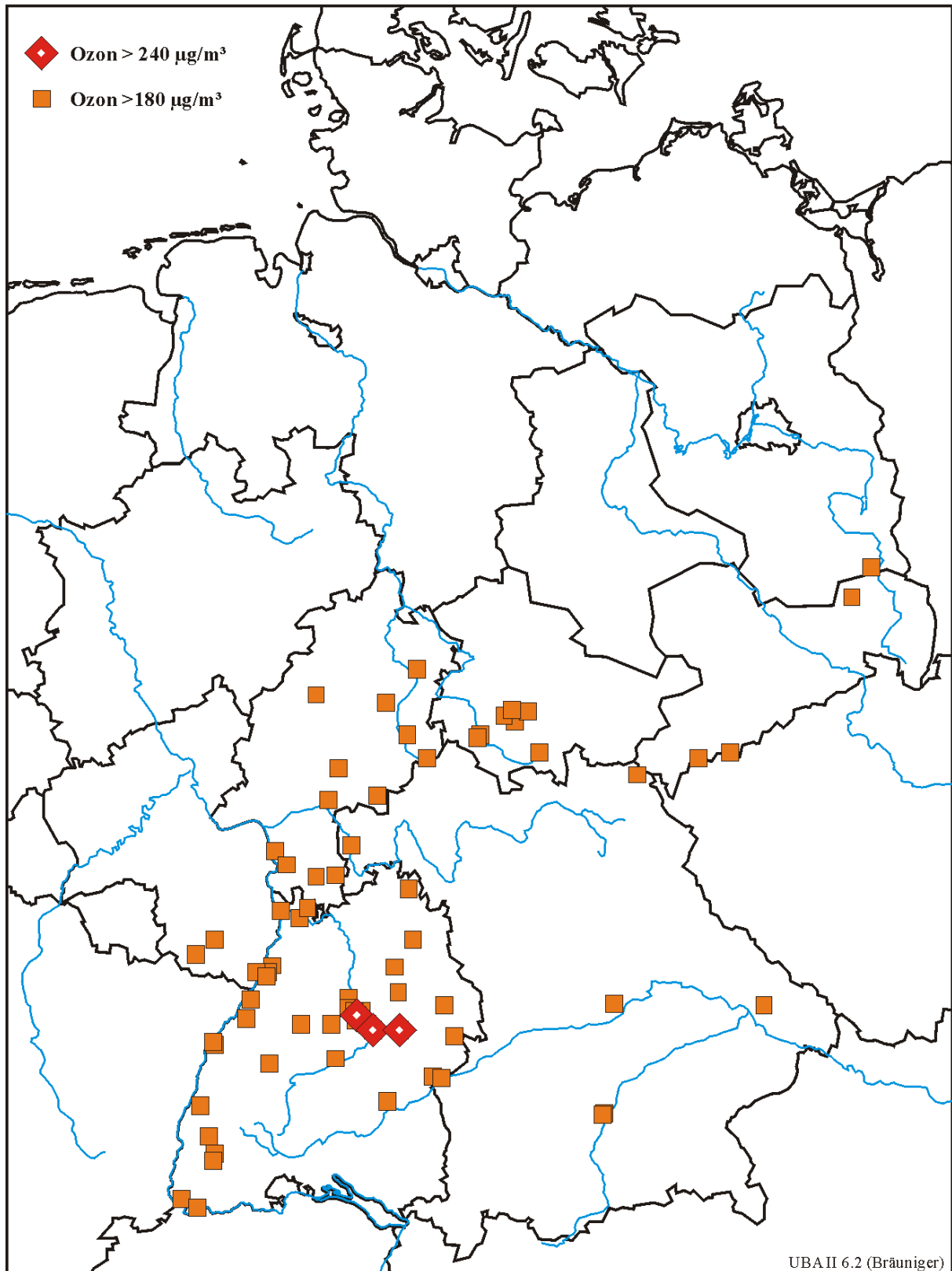


Abbildung 8: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 31. Juli 2001.

# Ozonüberschreitungen am 24.8.2001 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

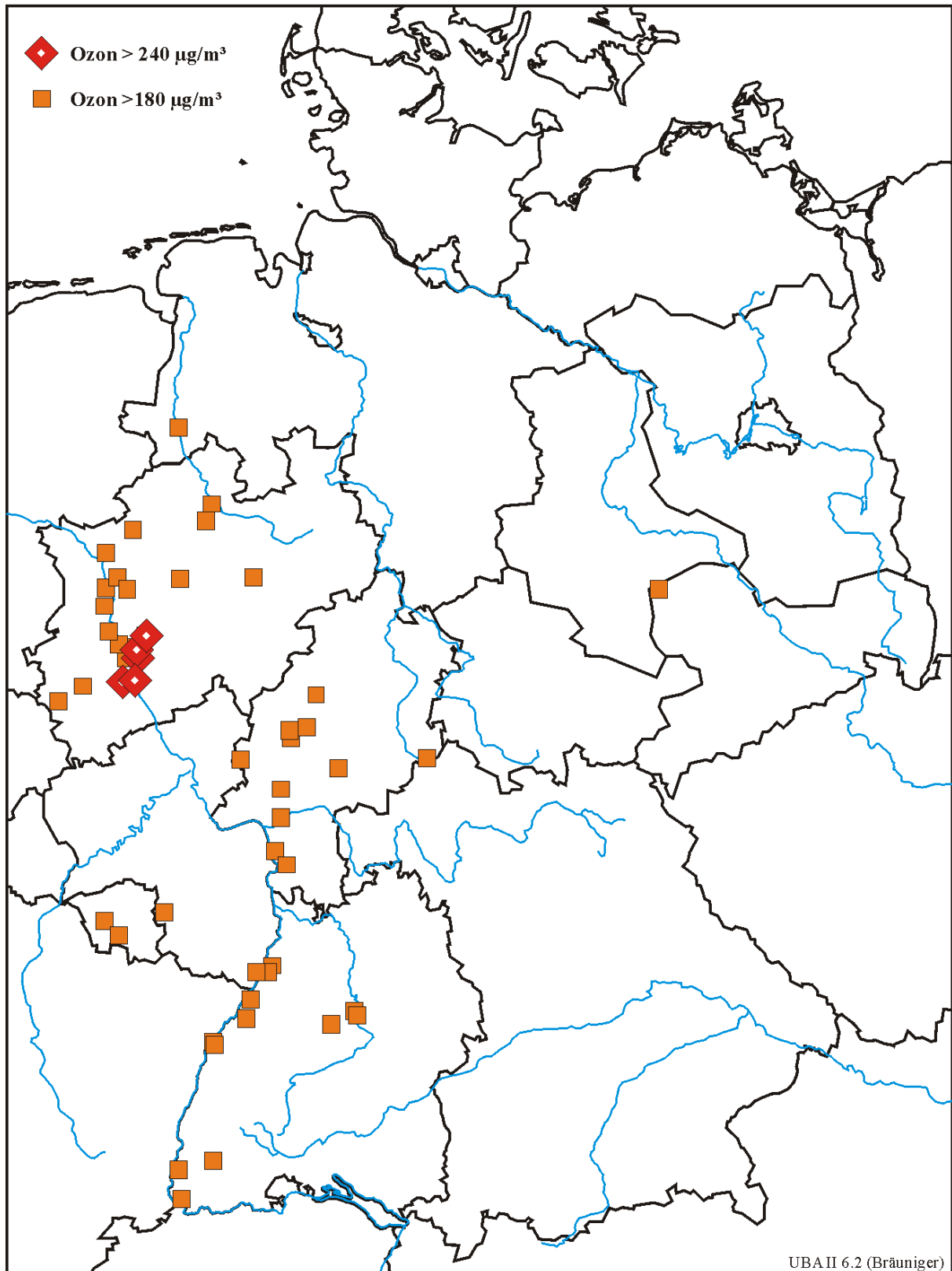


Abbildung 9: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 24. August 2001.

# Ozonüberschreitungen am 25.8.2001 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

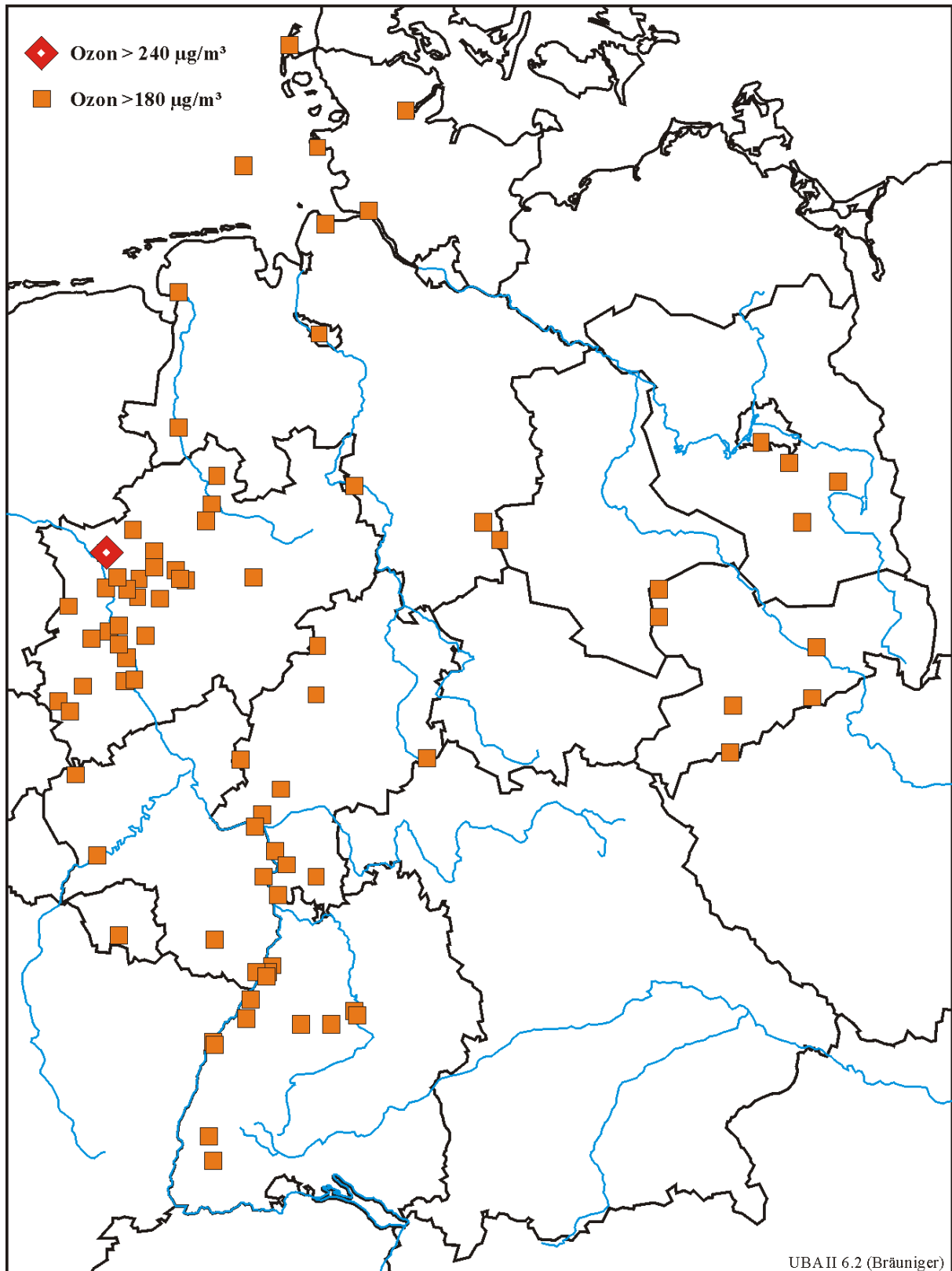


Abbildung 10: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 25. August 2001.

# Ozonüberschreitungen am 26.8.2001 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

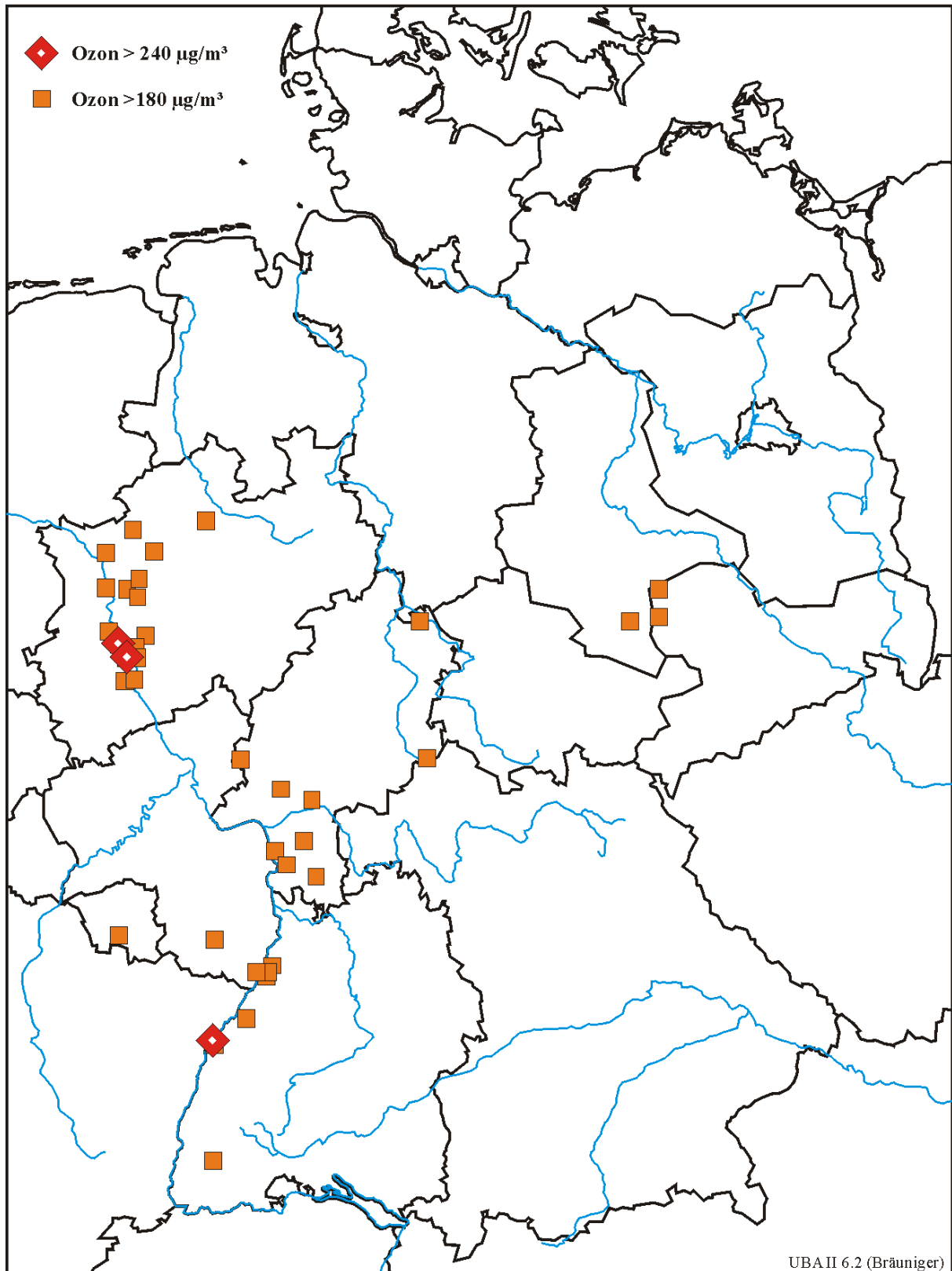


Abbildung 11: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 26. August 2001.

Man erkennt deutlich zwei Zentren mit Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :

- am 31. Juli. 2001 östlich des Großraums Stuttgart (Plochingen, Bernhausen, Göppingen)
- am 24./25./26. August 2001 in der näheren Umgebung von Köln (Köln-Chorweiler, Köln-Rodenkirchen, Hürth, Dormagen-Horrem, Langenfeld-Reusrath, Leverkusen-Manford, Solingen-Wald).

Im Gegensatz zur höchsten gemessenen Ozonkonzentration im Jahre 2000 ( $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Selmsdorf, Mecklenburg-Vorpommern), bei der neben lokal/regionalen Effekten auch der Ferntransport erheblich zu den hohen Ozonspitzen beigetragen hat, handelt es sich bei den Maximalwerten im Jahr 2001 im Wesentlichen um quasi-lokale Effekte, die zu den hohen Ozonwerten geführt haben (vgl. hierzu Abschnitt 3.2.2.3).

### 3.2.2.2 Meteorologische Situation

Im Jahre 2001 wurde zum ersten Mal der Schwellenwert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am 27. Juni in Baden-Württemberg (Plochingen) überschritten. Unter vorübergehendem Hochdruckeinfluss über Mitteleuropa kam es im Südwesten Deutschlands aufgrund mehrtägiger ungehinderter Sonneneinstrahlung gerade zum Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes zu einer kräftigen Erwärmung der unteren Troposphäre. Stellenweise traten Tageshöchsttemperaturen von etwas über  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  auf. Damit waren jene meteorologischen Bedingungen vorhanden, die für die Bildung hoher Ozonkonzentrationen notwendig sind. Mit dem Durchzug einer flachen Tiefdruckrinne vom 27. zum 28. Juni wurde aber diese Wetterlage wieder rasch beendet.

Mit dem Aufbau einer Hochdruckbrücke ab dem 21. Juli stellte sich über Deutschland eine sonnenscheinreiche Witterungsphase mit kräftiger Erwärmung ein. In den südlichen und westlichen Gebieten Deutschlands herrschten ab dem 22. Juli sommerliche bis hochsommerliche Temperaturen vor, die am Monatsende ihren Höhepunkt fanden (Tageshöchsttemperaturen bis  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Entsprechend dieser Entwicklung konnte sich eine Ozonepisode ausbilden. Die Ozonkonzentrationen stiegen von Tag zu Tag an, wobei schließlich in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz gebietsweise der Schwellenwert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten wurde. Mit dem Vordringen atlantischer Tiefausläufer nach Mitteleuropa ging diese Ozonepisode am 3. August zu Ende.

Im August kam es noch zweimal zu Entwicklungen von Wetterlagen, die kräftige Anstiege der Ozonkonzentrationen mit Überschreitungen des Schwellenwertes von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zur Folge hatten. Mitte des Monats strömten kurzzeitig maritime tropische Luftmassen nach Mitteleuropa. In weiten Teilen Deutschlands – bis hinauf nach Schleswig-Holstein – wurden Tageshöchsttemperaturen zwischen  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  gemessen. Sie stellten die Höchstwerte des Jahres dar. Die warme Südströmung mit gleichzeitig sonnigem Wetter hielt aber nicht lange an, so dass nur an einem Tag und an einer Station in Nordrhein-Westfalen (Borken-Gemen) ein 1-Std.-Ozonwert von  $252 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zustande kam.

Eine echte Ozonepisode war zwischen dem 24. und 26. August zu beobachten. Ein Hochdruckgebiet über Skandinavien weitete seinen Schwerpunkt in Richtung Schwarzes Meer aus. Damit gelangte Deutschland in den Zustrom kontinentaler Warmluft mit reichlich Sonnenschein und bis über  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  ansteigenden Temperaturen. In Nordrhein-Westfalen kam es dabei mehrfach und in Baden-Württemberg zu Überschreitungen des Schwellenwertes von

240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mit der Umstellung der Wetterlage und dem Einfließen von Nordseeluft nach Deutschland fand diese Ozonepisode am 27. August ihr abruptes Ende.

### 3.2.2.3 Interpretation der hohen Ozonwerte

Die Bildung hoher Ozonkonzentrationen erfordert die Erfüllung besonderer emissionsseitiger und meteorologischer Voraussetzungen: Das Vorhandensein der beiden Ozonvorläufer  $\text{NO}_x$  und VOC in ausreichend hohen Konzentrationen, eine intensive Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung) und eine mehrere Tage andauernde stabile sommerliche Schönwetterperiode, die zu einer Speicherung von Ozon innerhalb der atmosphärischen Mischungsschicht führt.

(Ref. 1).

Dass Ozonspitzenwerte über 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  während der Sommersmog-Episoden im Jahr 2001 häufiger als in den Vorjahren auftraten, war im Wesentlichen eine Folge der für die Ozonbildung günstigeren meteorologischen Bedingungen im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren. Die meteorologische Situation während der Ozonepisoden war überwiegend durch schwachwindige, mehrere stabile Hochdruckwetterlagen mit Temperaturen großräumig über 30 °C und Mischungsschichthöhen zwischen 1.5 km und 2 km geprägt (siehe Abschnitt 3.2.2.2).

Um Aussagen über die Herkunft der Ozonbelastung machen zu können, wurden die Zugbahnen der Luftmassen über einen Zeitraum von 3 Tagen vor Eintreffen an den Stationen anhand sog. Rückwärtstrajektorien zurückverfolgt. Die Ankunftszeiten der Trajektorien wurden so gewählt, dass die Luftmassen etwa zum Zeitpunkt der maximalen Ozonkonzentrationen die Stationen erreichten.

In Abbildung 12 bis Abbildung 15 ist der Verlauf der Rückwärtstrajektorien beispielhaft für die Stationen Plochingen (Ankunft der Trajektorie am 31.7.2001, 15:00 UTC) sowie für Rodenkirchen (Ankunft am 24.8.2001, 15:00 UTC), Meerbeck (Ankunft am 25.8.2001, 18:00 UTC) und für Köln-Chorweiler (Ankunft am 26.8.2001, 15:00 UTC) für unterschiedliche Höhengniveaus dargestellt (Boden, 950 hPa (540 m), 900 hPa (1000 m) und 850 hPa (1500 m)).

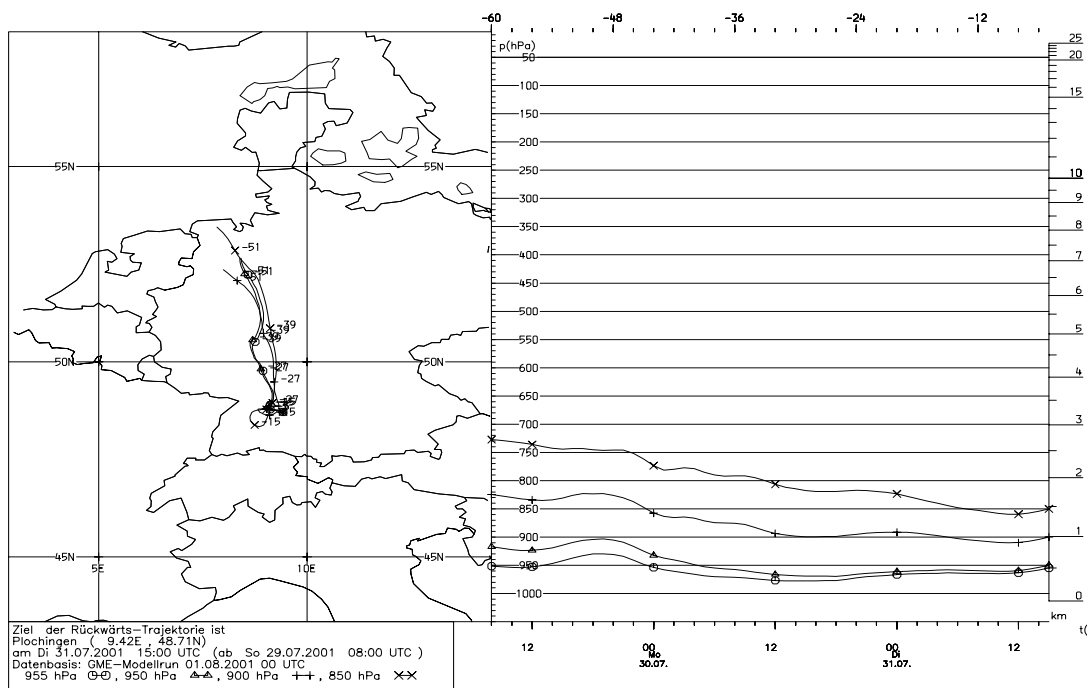


Abbildung 12: Rückwärtstrajektorien nach Plochingen am 31.7.2001, 15:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

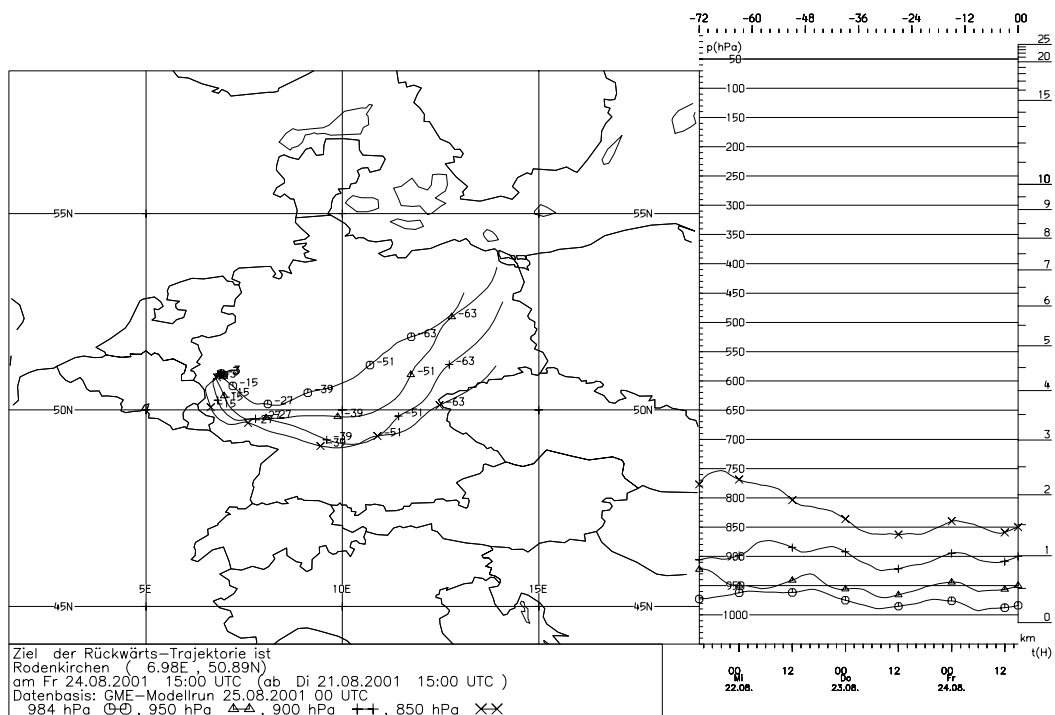


Abbildung 13: Rückwärtstrajektorien nach Rodenkirchen am 24.8.2001, 15:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

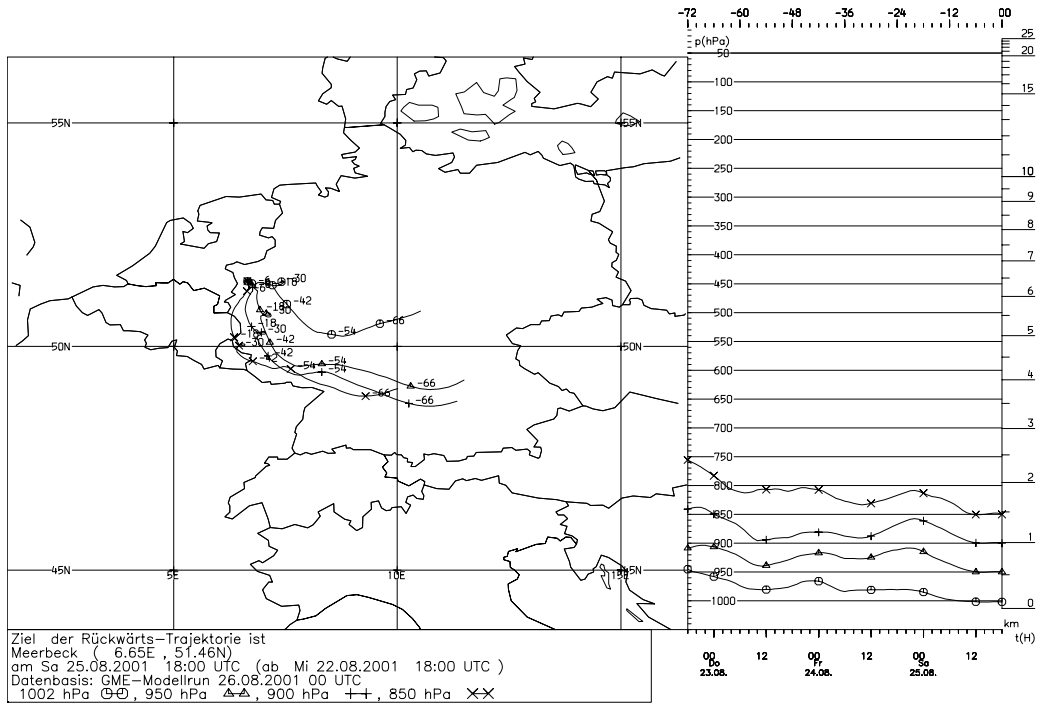


Abbildung 14: Rückwärtstrajektorien nach Meerbeck am 26.8.2001, 18:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

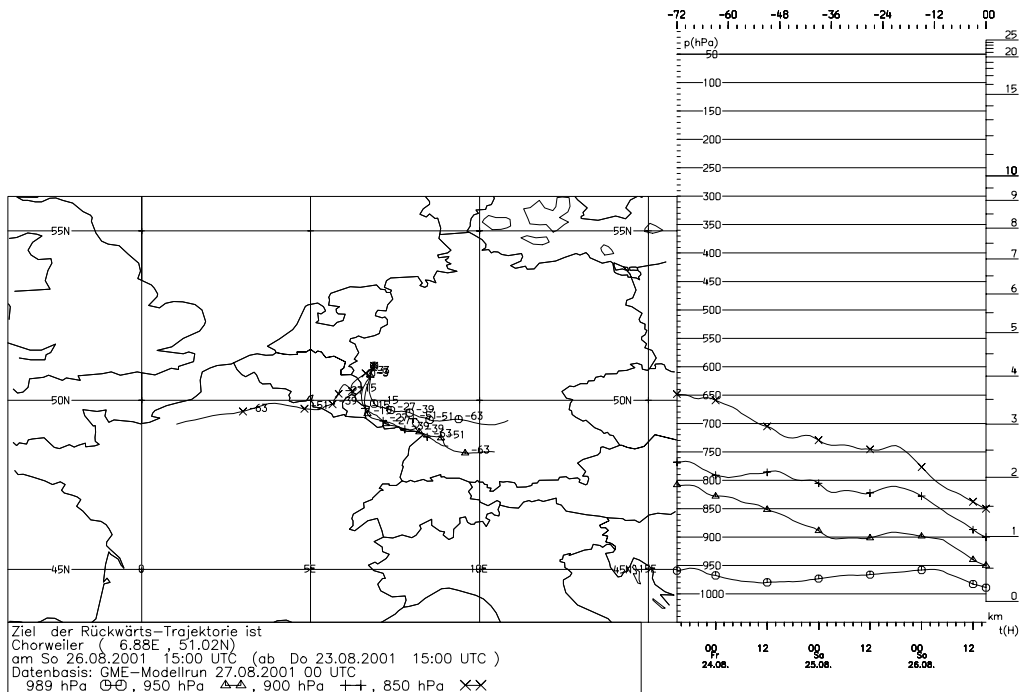


Abbildung 15: Rückwärtstrajektorien nach Köln-Chorweiler am 24.8.2001, 15:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

Wie der Verlauf der Trajektorien zeigt, sind die Luftmassen bis etwa 24 Stunden vor Erreichen der Stationen relativ rasch, danach aber sehr langsam und bisweilen mehrmals über Gebiete mit einer hohen Emissionsdichte der Ozonvorläufer vagabundiert, wodurch sich innerhalb der Mischungsschicht ein hoher Ozonsockel aufgebaut hat, auf dem dann über Gebieten mit hoher Emissionsdichte der Vorläufer oder im Lee dieser Gebiete (z.B. im Lee von Stuttgart oder im Kölner Raum) Ozonspitzen aufgesetzt wurden.

Der vertikale Verlauf der Trajektorien für 850 hPa - und zum Teil auch für 900 hPa - zeigt ein schwaches Absinken der Luftmassen während der 3 Tage vor Eintreffen an den Stationen. Der höhenabhängige Verlauf der Trajektorien in den bodennahen Druckniveaus (vom Boden bis etwa 900 hPa (ca. 1000 m)) zeigt aber auch deutlich, dass die hohen bodennahen Ozonkonzentrationen nicht durch Transport aus großen Höhen verursacht worden sind, sondern im Wesentlichen photochemisch innerhalb der Mischungsschicht aus den Ozonvorläufern  $\text{NO}_x$  und VOC gebildet worden sind.

Die meteorologischen Voraussetzungen für sehr hohe Ozonwerte waren großräumig sehr günstig (siehe Abschnitt 3.2.2.2), die gemessenen Ozonspitzen traten aber wesentlich kleinräumiger nur in solchen Gebieten auf, die neben den günstigen meteorologischen Bedingungen auch eine hohe Emissionsdichte der Ozon-Vorläufer aufwiesen wie beispielsweise im Großraum Köln und Stuttgart.

Bei vergleichbaren meteorologischen Situationen wie im Sommer 2001 hätten die Ozonspitzenwerte vor 10 bis 15 Jahren bei den damals wesentlich höheren Vorläuferemissionen sehr wahrscheinlich nicht zwischen 200 und 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sondern wesentlich höher gelegen. Insbesondere wäre vor 10 bis 15 Jahren bei vergleichbaren meteorologischen Gegebenheiten die Flächenausdehnung der von sehr hohen Ozonwerten betroffenen Gebieten in Deutschland deutlich größer gewesen als heute.

Die Zahl der Überschreitungen von 180 bzw. 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  entspricht im Wesentlichen der Zahl der Überschreitungen in den Jahren 1997 und 1998. Verglichen mit diesen Jahren sind die Emissionen von  $\text{NO}_x$  und VOC in Deutschland bis heute um etwa 10 bis 15% zurückgegangen (Daten von Strogies sowie eigene Schätzungen für 2001). Der daraus zu erwartende geringe Rückgang der Ozonspitzenwerte wird aber von den erheblichen meteorologisch bedingten Schwankungen überlagert und ist deshalb kaum zu beobachten.

Das gehäufte Auftreten von Ozon-Spitzenwerten während der photochemischen Episoden im Jahr 2001 war in erster Linie eine Folge der für die Ozonbildung günstigeren meteorologischen Bedingungen im Vergleich zu den vorangegangenen Sommern.

Die im Jahr 2001 gehäuft auftretenden hohen Ozonwerte lagen im normalen Schwankungsbereich bei den heutigen Vorläuferemissionen und ändern nichts Grundlegendes an dem klar abfallenden Trend der Ozonspitzenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2001, der im Wesentlichen auf die Emissionsminderungen der Ozonvorläuferstoffe in Deutschland als auch in den europäischen Nachbarstaaten zurückzuführen ist.

### 3.2.3 Zukünftige Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland

Die Ozonspitzenwerte in Deutschland werden angesichts der weiteren Emissionsminderung in Deutschland und Europa in den kommenden Jahren weiter sinken, wenn auch langsamer als zwischen 1990 und 2001 (*Ref. 1*). Insbesondere werden die Flächen, auf denen hohe Ozonwerte beobachtet werden, zunehmend schrumpfen.

Die Wahrscheinlichkeit von Überschreitungen der EU-Schwellenwerte für die Information der Bevölkerung (1-h-Mittel von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und besonders für den Schutz der menschlichen Gesundheit (1-h-Mittel von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wird nach dem Jahr 2010 nur noch gering sein, vollständig ausschließen kann man diese Überschreitungen bei extremen Wetterlagen jedoch nicht (*Ref. 1*).

Im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung und Prognose der Ozon-Spitzenkonzentrationen werden die mittleren Ozonkonzentrationen in Deutschland auch in den kommenden Jahren kaum zurückgehen. Das bedeutet, dass die in der neuen Ozonrichtlinie der EU (*Ref. 7*) definierten Schwellenwerte für den Schutz der Vegetation (z.B. AOT40-Werte) – im Gegensatz zu den entsprechenden Ozonwerten für den Schutz der menschlichen Gesundheit - in den kommenden Jahrzehnten kaum eingehalten werden können. Die AOT40-Werte (AOT40: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb) werden im Wesentlichen durch die mittleren Ozonkonzentrationen (40 bis 85 ppb) bestimmt und nur in geringem Maße durch die Spitzenkonzentrationen ( $> 90$  ppb). (*Ref. 10*)

### 3.2.4 Literatur zu Kapitel 3.2

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

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

(2) *Umweltbundesamt (2001)*

*Ozonsituation 2001 in der Bundesrepublik Deutschland, Kurzbericht, November 2001 (Verfasser: U. Dauert und S. Grittner)*

(3) *Enke, W. (2000)*

*Analyse historischer Ozonzeitreihen und Entwicklung einer Methode zur quasi-Wetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon. Abschlussbericht UBA-Forschungsvorhaben Nr.297 42 848.*

(4) *Schneider, (2002)*

*Erkenntnisse zum bodennahen Ozon aus Untersuchungen in Österreich. Vortrag Fachgespräch „Bodennahes Ozon“, UBA, Berlin-Spandau, 29./30. April 2002.*

(5) *Neftel, A. (2002)*

*Erkenntnisse zum bodennahen Ozon aus Untersuchungen in der Schweiz. Vortrag: Fachgespräch „Bodennahes Ozon“, UBA, Berlin-Spandau, 29./30. April 2002.*

- (6) *NEGTA*P (2001)  
*Report on Transboundary Air Pollution: Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone in the UK .Prepared by the National Expert Group on Transboundary Air Pollution (NEGTA*P).Chairman: David Fowler.:
- (7) *EU* (2002)  
*Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft, Amtsblatt der EG vom 9.3.2002 (L 67/14).*
- (8) *UBA* (2001)  
*Jahresbericht 2000 des Messnetzes, Texte 77/01 ,Nov. 2001, S. 122-136.*
- (9) *Emissionsdaten Strogies sowie eigene Schätzung bis 2001.*
- (10) *UBA* (1997)  
*Jahresbericht 1997 Umweltbundesamt , S.158-160.*
- (11) *Beilke, S. (1991)*  
*Meteorologische Voraussetzungen für die Bildung von Ozon und Sommersmog, Proceedings Ozon-Symposium München, 2.-4. Juli 1991, Herausgeber: TÜV Akademie Bayern/Hessen GmbH München, S. 116-131.*