

Jahresbericht 2002 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes

3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME

3.3 Die Ozonepisode in Deutschland im Jahre 2002

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

*Ute Dauert, Susanne Grittner, Bernd Kahra, 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:

3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME	3
3.3 Die Ozonepisode in Deutschland im Jahre 2002.....	3
3.3.1 Einleitung	3
3.3.2 Analyse der Ozonepisoden im Jahre 2002.....	8
3.3.2.1 Zeitliche und räumliche Verteilung der Ozonkonzentrationen	8
3.3.2.2 Meteorologische Situation.....	13
3.3.2.3 Interpretation der hohen Ozonwerte	14
3.3.3 Literatur.....	17

3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME

3.3 Die Ozonepisode in Deutschland im Jahre 2002

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

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

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

3.3.1 Einleitung

In Deutschland sowie in einigen Nachbarstaaten wie z.B. Österreich, Schweiz und Großbritannien haben die Ozonspitzenkonzentrationen zwischen 1990 und 2002 deutlich abgenommen (siehe z.B. Abbildung 1 bis Abbildung 6). Im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung der Ozonspitzenkonzentrationen haben die Jahresmittel-Konzentrationen in Deutschland, Österreich, der Schweiz und Großbritannien im gleichen Zeitraum zugenommen (Ref. 1 - 6).

Der deutliche Rückgang der Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland ist im Wesentlichen auf die drastische Minderung der Emissionen der Ozonvorläufer (NO_x und VOC) in Deutschland und in den europäischen Nachbarstaaten und nicht auf meteorologische Einflussfaktoren zurückzuführen (Ref. 7). Die gleichzeitige Zunahme der mittleren Ozonkonzentrationen ist sehr wahrscheinlich auf den zunehmenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen Hintergrund (siehe Kapitel 3.1.2.4) sowie auch auf die starke Minderung der NO_x -Emissionen (wird überwiegend als NO im Straßenverkehr emittiert) in Deutschland zurückzuführen. Stickoxide können Ozon sowohl bilden als auch abbauen. Eine Abnahme der NO-Konzentrationen kann in der Nähe starker Emissionsquellen zu einem Anstieg der Ozonwerte führen (sog. Titrationseffekt: Verbrauch von Ozon durch NO unter Bildung von NO_2).

Die Abbildung 2 bis Abbildung 6 zeigen den generellen Rückgang der Ozon-Spitzenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2002, gemessen an allen deutschen Ozonstationen von Bund und Ländern (194 Messstellen in 1990 und 362 Stationen im Sommer 2002, davon 22 UBA-Stationen).

In Abbildung 1 ist als Beispiel für die Spitzenkonzentrationen der Verlauf der maximalen Ozon-Stundenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2002 dargestellt. Seit 1994 wurden keine Konzentrationen über $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mehr beobachtet. Die maximalen Ozonwerte (1-h-Mittel) lagen nach 1994 zwischen 200 und $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Trend der Ozonmaxima sagt allerdings nur wenig über den Trend der Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland aus, da das Auftreten dieser Maxima – abhängig von den meteorologischen und emissionsseitigen Gegebenheiten – räumlich und zeitlich eng begrenzt sein kann und damit keine generelle Aussage über den Verlauf der Ozon-Spitzenkonzentrationen in einem größeren Bereich zulässt. Wesentlich deutlicher als bei den Maxima wird der Trend der abnehmenden Ozon-Spitzenkonzentrationen in Abbildung 2 bis Abbildung 6 sichtbar.

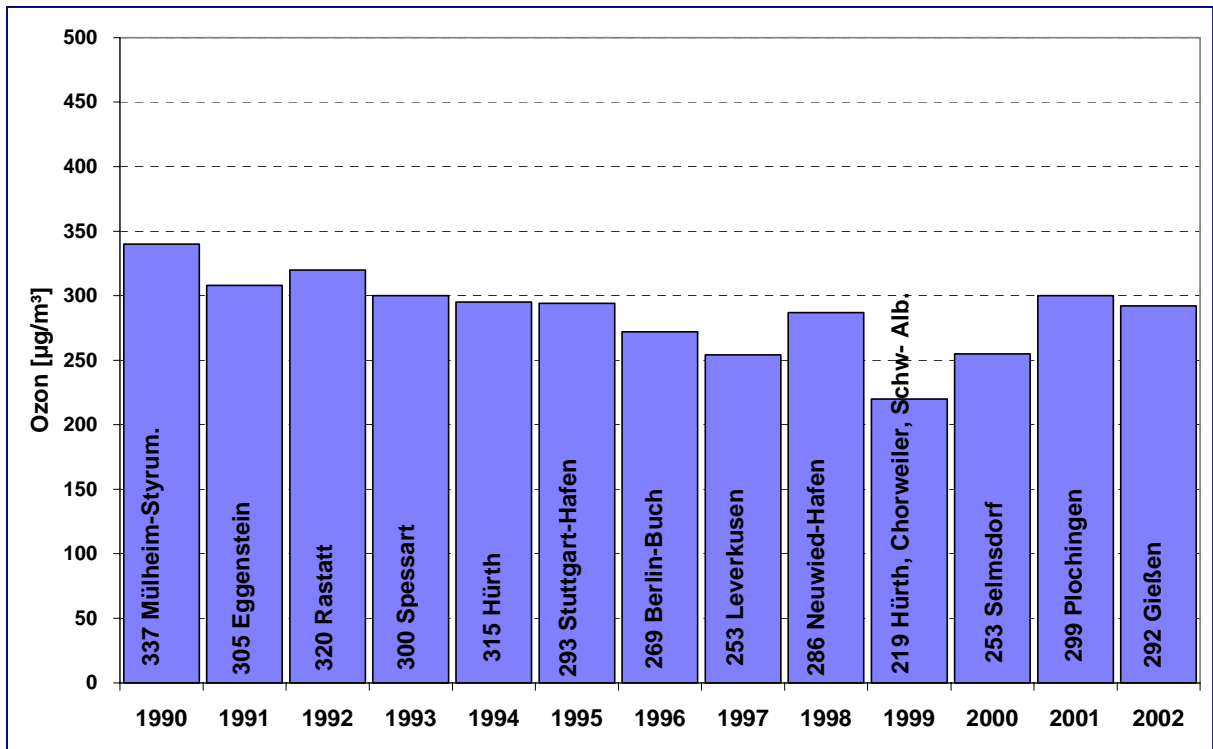


Abbildung 1: Jährliche maximale 1-Stunden-Ozonkonzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mit Angabe der registrierenden Messstelle

Abbildung 2 zeigt die Zahl der Stunden mit Ozonkonzentrationen $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel) gemittelt über die jeweils in Deutschland betriebenen Messstellen, die zwischen 1990 und 2002 zwischen 194 und 392 schwankte. In Abbildung 3 ist die Zahl der Tage angegeben, an denen an mindestens einer deutschen Ozonmessstelle der Ozonschwellenwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ref. 8) überschritten worden ist.

Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen den entsprechenden Rückgang der Überschreitungen von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

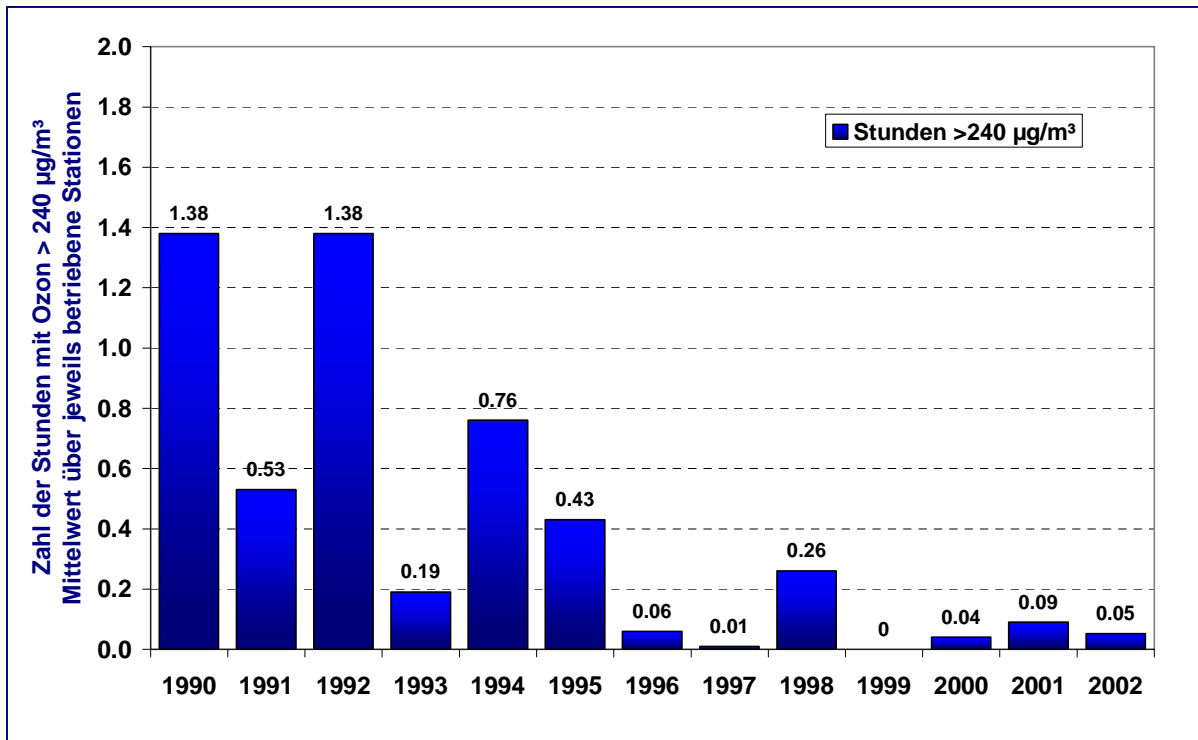


Abbildung 2: Zahl der Stunden mit Ozonwerten > 240 µg/m³, im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen

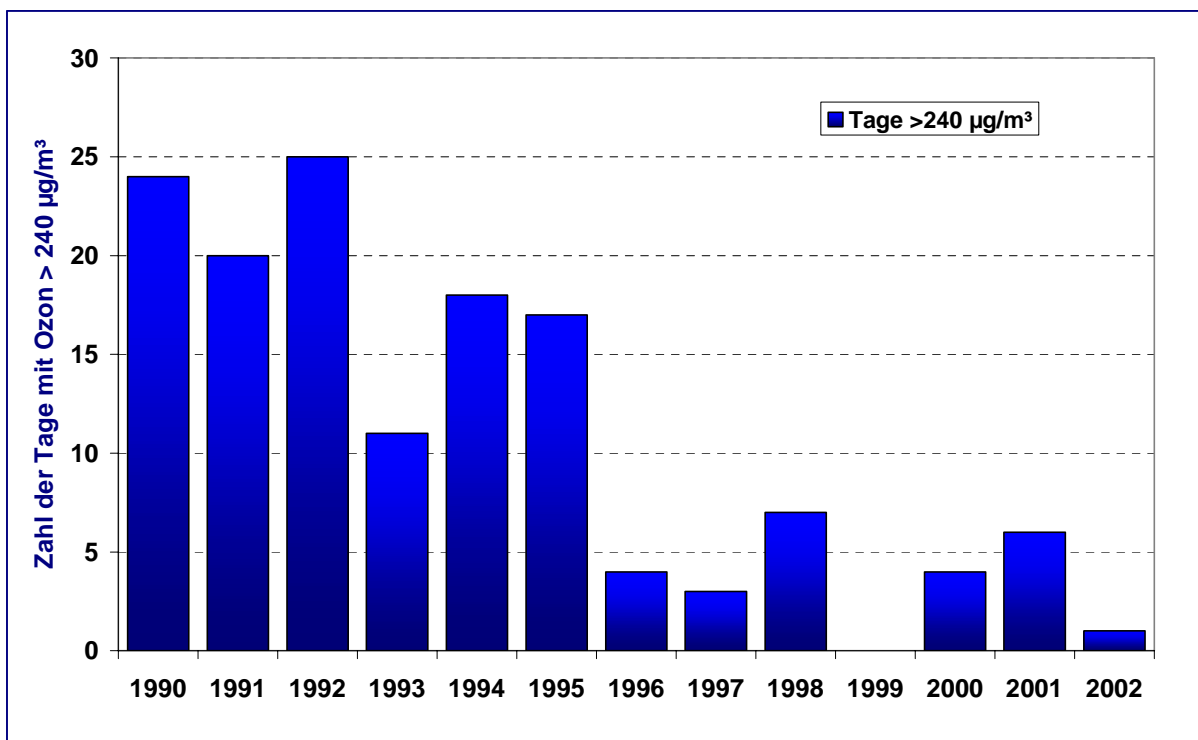


Abbildung 3: Zahl der Tage mit 1-Stunden-Ozonwerten > 240 µg/m³

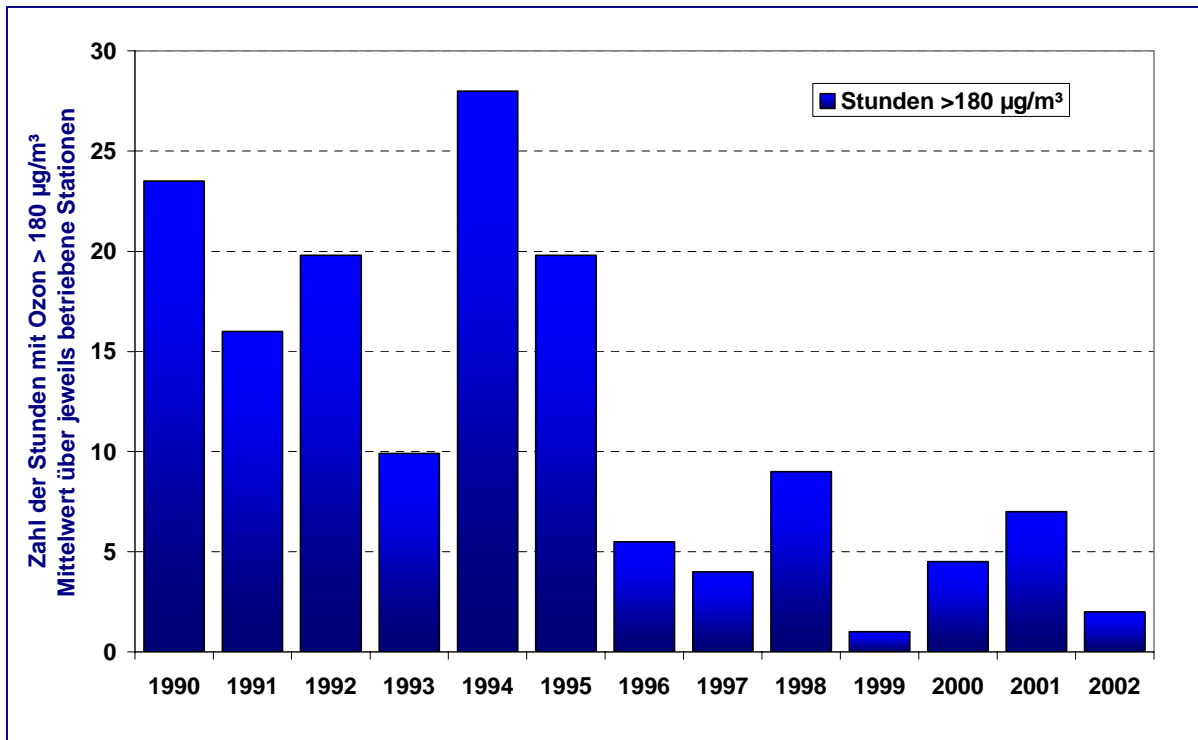


Abbildung 4: Zahl der Stunden mit Ozonwerten $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen

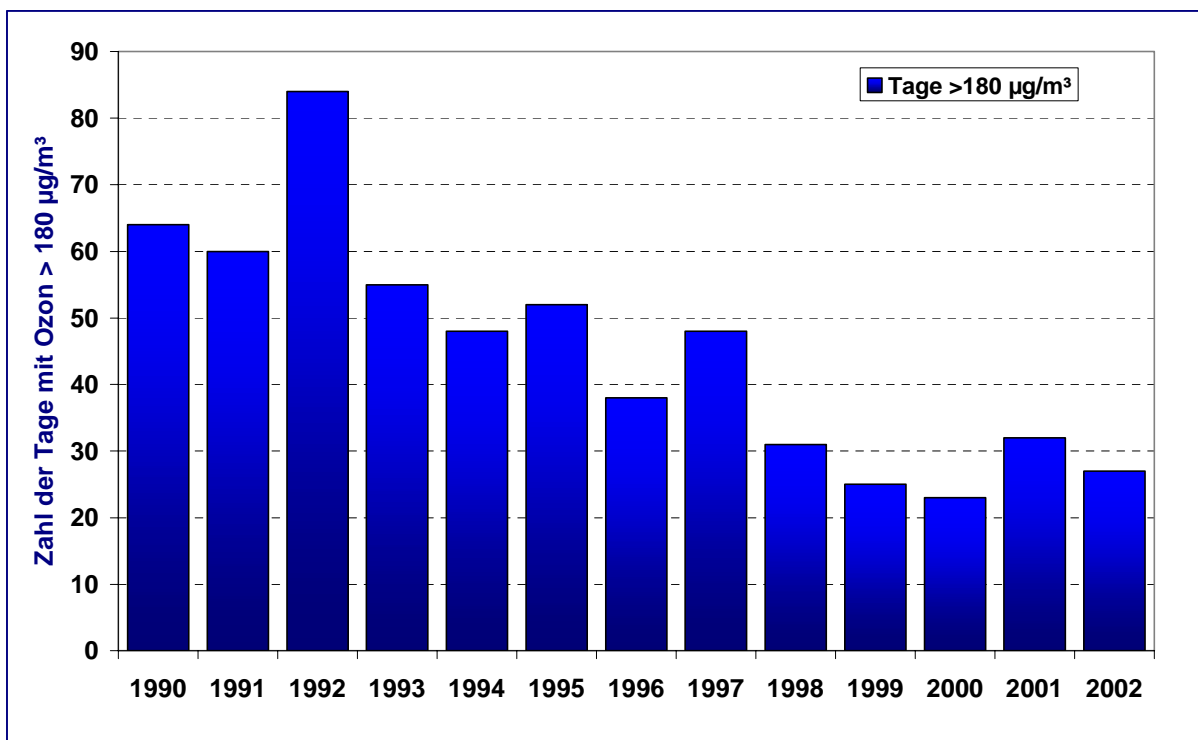


Abbildung 5: Zahl der Tage mit 1-Stunden-Ozonwerten $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

In Abbildung 6 ist die Zahl der Stunden mit Überschreitungen von 240 bzw. $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen 1990 und 2002 relativ zum Jahr 1990 und zur Anzahl der jeweils betriebenen Messstellen nochmals zusammenfassend dargestellt.

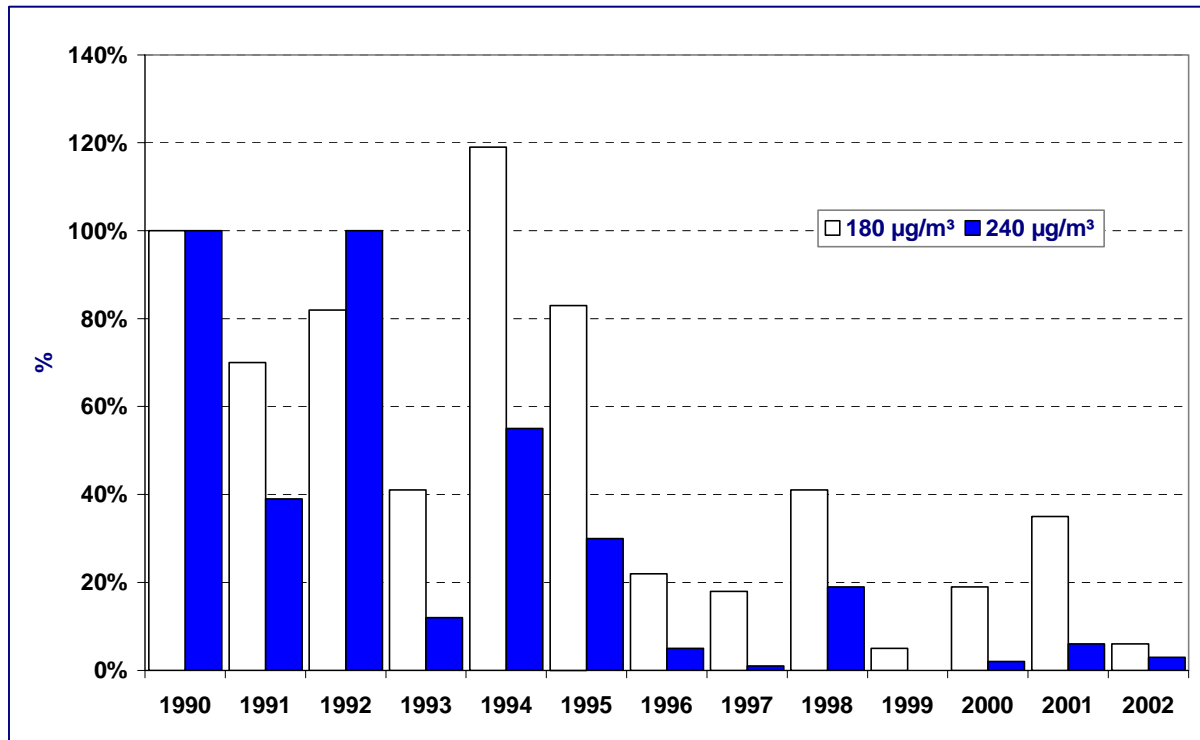


Abbildung 6: Zahl der Stunden mit Überschreitungen von 240 bzw. 180 µg/m³ zwischen 1990 und 2002 relativ zum Jahr 1990 und zur Anzahl der jeweils betriebenen Messstellen

Man erkennt aus Abbildung 2 bis Abbildung 6 eine sehr deutliche Abnahme der Überschreitungen von 240 µg/m³ (um mehr als 90 %) und eine etwas schwächere Abnahme der Überschreitungen von 180 µg/m³. Der in Abbildung 2 bis Abbildung 6 dargestellte Rückgang der Ozon-Spitzenkonzentrationen ist durch meteorologische Schwankungen überlagert, die zu erheblichen Fluktuationen der Ozon-Spitzenwerte von Jahr zu Jahr führen können. Die Einflüsse meteorologischer Schwankungen auf die Überschreitungen der Schwellenwerte sind naturgemäß stärker bei den Schwellenwerten von 180 µg/m³ als bei den höheren Werten von 240 µg/m³.

Der höchste maximale Stundenwert im Jahre 2002 wurde am 18. Juni mit 292 µg/m³ registriert. Zum Vergleich: In den Jahren 2000 bzw. 2001 traten mit 253 µg/m³ bzw. 299 µg/m³ ebenfalls relativ hohe Maximalwerte auf, die neben den lokal bis regional noch immer hohen Emissionen von Ozonvorläufern auch auf extreme Wetterbedingungen zurückzuführen waren (*Ref. 9*). Im Jahre 1999 trat mit 219 µg/m³ der niedrigste Maximalwert seit 1990 auf.

Im den folgenden Abschnitten werden die Ozonepisoden in Deutschland im Jahre 2002 näher untersucht.

3.3.2 Analyse der Ozonepisoden im Jahre 2002

3.3.2.1 Zeitliche und räumliche Verteilung der Ozonkonzentrationen

Im Jahre 2002 gab es in Deutschland im Vergleich zu 2001 weniger Überschreitungen von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel). Die Überschreitungen von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ traten zwischen dem 17. und 19. Juni in Baden-Württemberg und Hessen auf. Der maximale Ozonwert wurde am 18. Juni mit $292 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Gießen (Hessen) beobachtet.

Abbildung 7 zeigt die zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwert-Überschreitungen von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Abbildung 8 zeigt die entsprechende Verteilung der Überschreitungen von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Angegeben ist die Anzahl der Stunden mit Überschreitungen der entsprechenden Schwellenwerte.

Der Schwellenwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde 2002 an insgesamt 27 Tagen (2001 an 33 Tagen), der Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an einem Tag (2001 an 7 Tagen) überschritten. Die höchsten Stundenwerte wurden an folgenden Orten und Tagen beobachtet (Tabelle 1):

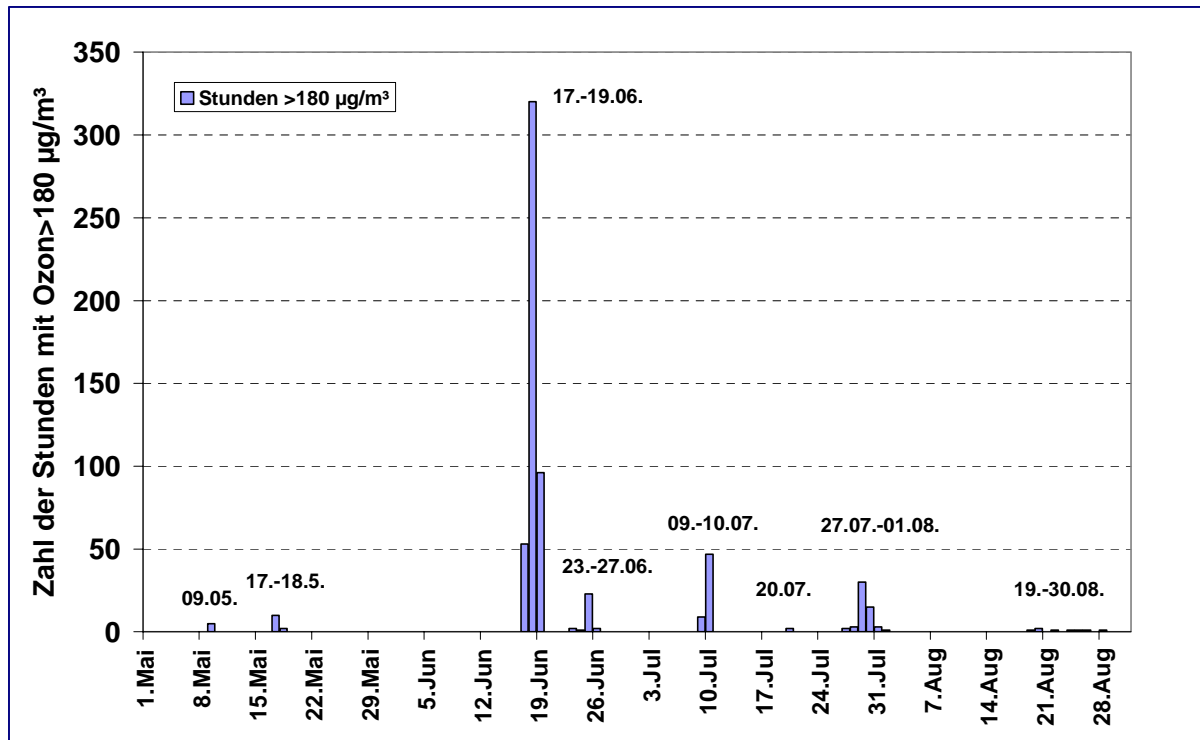


Abbildung 7: Zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen (Stunden) von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

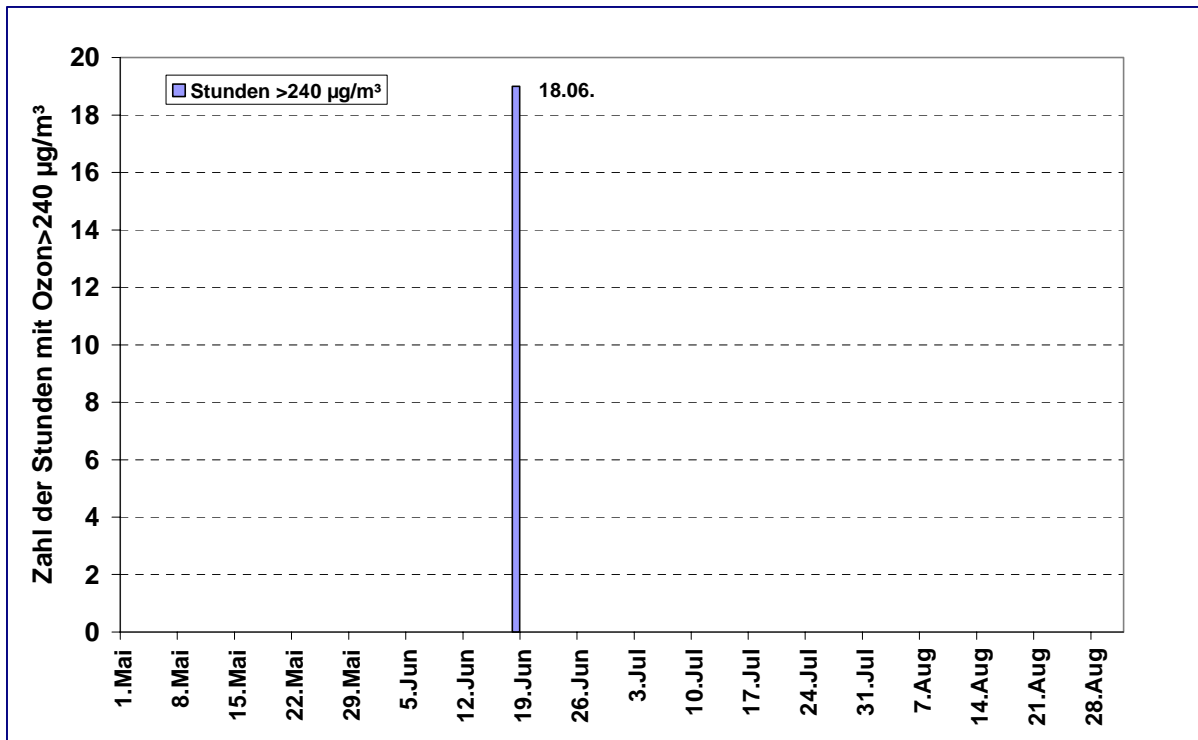


Abbildung 8: Zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen (Stunden) von 240 µg/m³

Tabelle 1: Schwellenwertüberschreitungen von 240 µg/m³ Ozon am 18. Juni 2002 in Deutschland

Station	Datum, Uhrzeit	Anzahl Stunden > 240 µg/m³	Ozon [µg/m³]
Gießen	18.06.2002 12:00	5	292.0
Gießen	18.06.2002 21:00	1	267.0
Riedstadt	18.06.2002 13:00	2	260.0
Eggenstein	18.06.2002 12:00	2	259.5
Karlsruhe-Mitte	18.06.2002 14:00	1	254.0
Karlsruhe-Nordwest	18.06.2002 13:00	1	251.5
Lingen	18.06.2002 15:00	1	248.5
Pforzheim-Mitte	18.06.2002 16:00	1	244.0
Raunheim	18.06.2002 15:00	2	244.0
Wiesbaden-Süd	18.06.2002 15:00	1	243.5
Linden/Leihgestern	18.06.2002 16:00	1	242.0
Lampertheim	18.06.2002 14:00	1	241.5

In Abbildung 9 bis Abbildung 11 ist die räumliche Verteilung der Ozonüberschreitungen für die Ozonperiode vom 17. bis 19. Juni 2002 dargestellt.

Ozonüberschreitungen am 17.6.2002 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

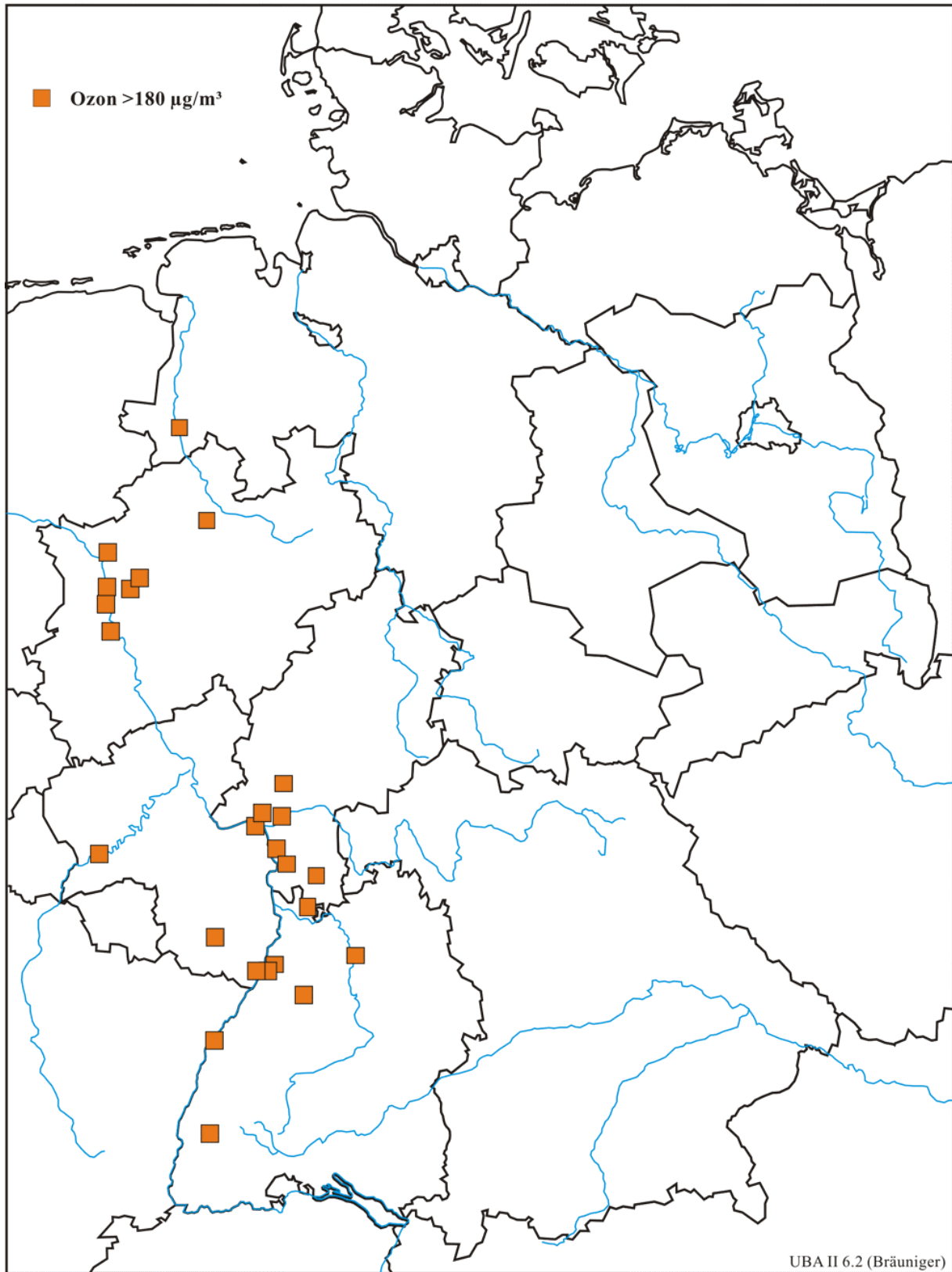


Abbildung 9: Ozon-Schwellenwertüberschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 17. Juni 2002

Ozonüberschreitungen am 18.6.2002 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

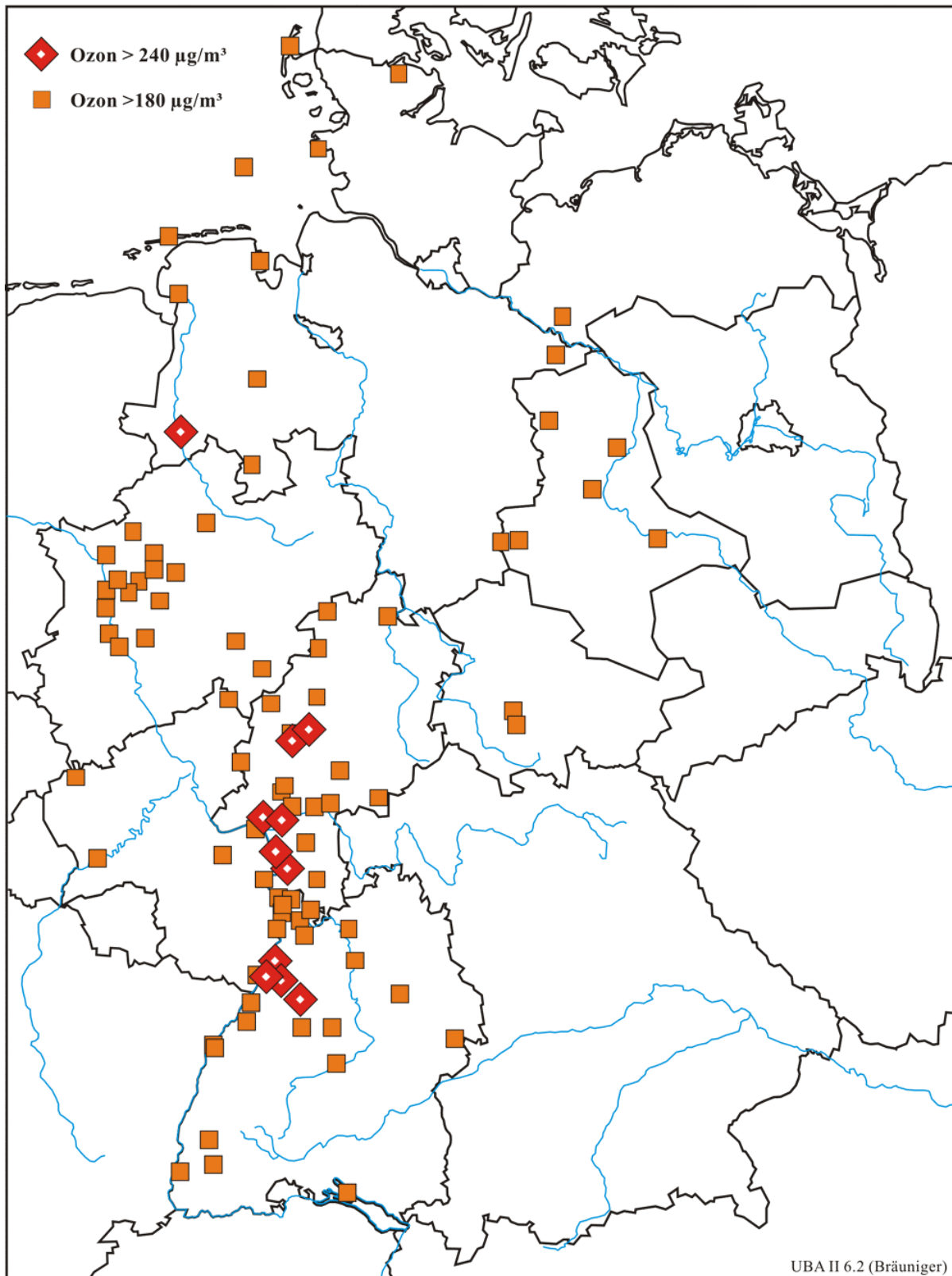


Abbildung 10: Ozon-Schwellenwertüberschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 18. Juni 2002

Ozonüberschreitungen am 19.6.2002 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

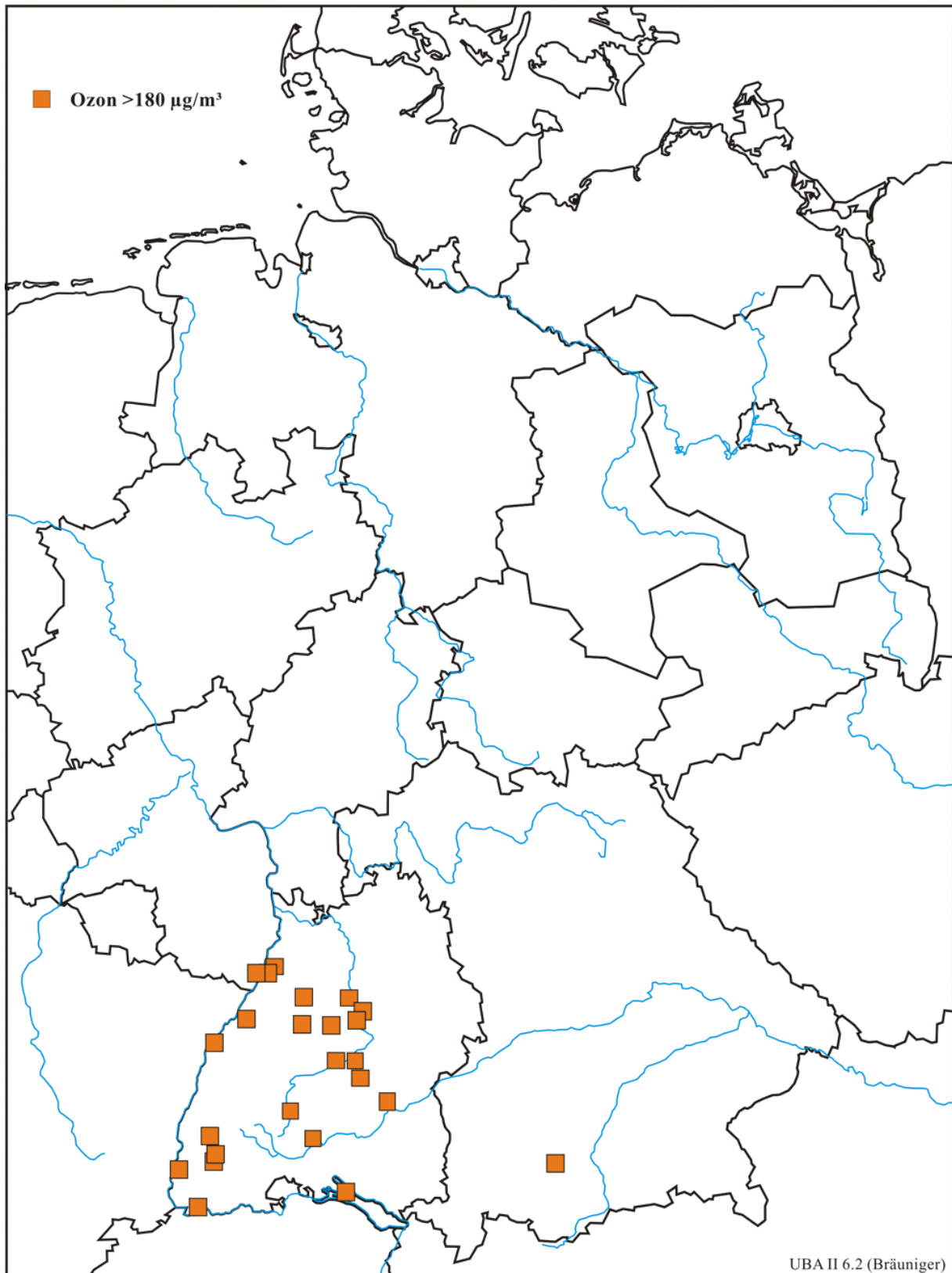


Abbildung 11: Ozon-Schwellenwertüberschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 19. Juni 2002

Man erkennt, dass die Überschreitungen der Ozon-Spitzenwerte vor allem in der Westhälfte (Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg) auftraten.

3.3.2.2 Meteorologische Situation

Aufgrund des ständig wechselnden Witterungsverlaufes konnten im Sommerhalbjahr 2002 keine ausgeprägten und länger anhaltenden Ozonepisoden entstehen. Von Mai bis Ende August waren zwar mehrmals Ansätze vorhanden, aber zu erwähnen ist eigentlich nur die vorübergehend aufgetretene Zunahme der Ozonkonzentrationen mit entsprechenden Überschreitungen von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um den 18. Juni.

Das Zustandekommen der höchsten Ozonkonzentrationen des Jahres 2002 am 18. Juni war das Ergebnis des gleichzeitigen Auftretens eines Bodenhochs und Höhenkeils über Deutschland bei kräftiger Erwärmung der unteren Atmosphäreschichten und ungehinderter Sonneneinstrahlung zum Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes.

Bereits am 16. Juni begann ein Hochdruckgebiet vom Mittelmeerraum aus seinen Einfluss auf Deutschland auszuweiten. Dabei stellte sich eine südwestliche Höhenströmung ein, mit der maritime Luftmassen subtropischen Ursprungs in Richtung europäisches Festland verfrachtet wurden. Bei einer Sonnenscheindauer von 12 Stunden stiegen nachmittags im Südwesten Deutschlands die Temperaturen schon bis $30 \text{ }^\circ\text{C}$ an.

Am 17. Juni setzte sich der Aufbau des Bodenhochs in Deutschland bis zur Küste fort. Die Höhenströmung drehte weiter in Richtung Süd, was eine verstärkte Zufuhr von Warmluft zur Folge hatte. Die kräftige Warmluftadvektion sowie dynamische Absinkprozesse in der oberen Troposphäre führten zur Bildung eines Höhenkeils, der zunächst von den Westalpen zur Nordsee verlief. Bei zunehmender Sonnenscheindauer bis auf 14 Stunden stiegen die Temperaturen am 17. allgemein weiter an. Dabei wurden im Oberrheingraben und Rhein-Maingebiet Tageshöchsttemperaturen von 32 bis $34 \text{ }^\circ\text{C}$ gemessen.

Am 18. Juni erreichten die advektiv und dynamisch bedingte Erwärmung ihren Höhepunkt. Der Höhenkeil schwenkte ostwärts über Deutschland hinweg, während am Boden eine schwache bis mäßige Süd- bis Südost- Strömung bestand. Die Temperaturen stiegen bei ungehinderter kräftiger Sonneneinstrahlung entlang des Ober- und Mittelrheins auf Werte von 35 bis $37 \text{ }^\circ\text{C}$ an.

Am 19. Juni hielt zwar die Warmluftzufuhr aus Südwesteuropa in den höheren Luftschichten an, in Bodennähe drang jedoch ein flacher Trog nach Deutschland ein und beendete die Episode.

3.3.2.3 Interpretation der hohen Ozonwerte

Zur Bildung hoher Ozonkonzentrationen müssen besondere meteorologische und emissionsseitige Voraussetzungen erfüllt sein: Das Vorhandensein der beiden wichtigsten Ozonvorläufer NO_x und VOC, eine intensive UV-Strahlung und eine mehrere Tage andauernde sommerliche Schönwetterperiode.

Um Aussagen über die Herkunft der hohen Ozonbelastung machen zu können, wurden die Zugbahnen der Luftmassen über einen Zeitraum von 3 Tagen vor Eintreffen an den Stationen anhand von sogenannten Rückwärtstrajektorien zurückverfolgt. Die Ankunftszeiten der Trajektorien wurden so gewählt, dass die Luftmassen etwa zum Zeitpunkt der maximalen Ozonkonzentrationen die Stationen erreichten (siehe Tabelle 1).

In Abbildung 12 bis Abbildung 15 ist der Verlauf der Rückwärtstrajektorien beispielhaft für die Stationen Eggenstein (Ankunft der Trajektorie am 18.6.2002, 12:00 Uhr UTC), sowie für Gießen (Ankunft am 18.6.2002, 12:00 Uhr UTC), Lingen (Ankunft am 18.6.2002, 15:00 Uhr UTC) und für Riedstadt (Ankunft am 18.6.2002, 13:00 Uhr UTC) für unterschiedliche Höhenniveaus dargestellt (Boden, 950 hPa (540 m), 900 hPa (1000 m) und 850 hPa (1500)).

Wie der Verlauf der Trajektorien zeigt, sind die Luftmassen aus südwestlichen bis südlichen Richtungen über Gebiete mit einer hohen Emissionsdichte der Ozonvorläufer vor allem in Frankreich und Süddeutschland transportiert worden. Der vertikale Verlauf der Trajektorien zeigt durchweg ein schwaches Absinken der Luftmassen während der 3 Tage vor Eintreffen an den Stationen. Der vertikale Verlauf zeigt auch, dass die hohen bodennahen Ozonkonzentrationen nicht durch Luftmassentransporte aus größeren Höhen zum Boden verursacht worden sind, sondern photochemisch innerhalb der Mischungsschicht gebildet worden sind.

Die hohen Ozonkonzentrationen am 18. Juni 2002 in weiten Gebieten von Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg sind auf die für die Ozonbildung günstigen meteorologischen und emissionsseitigen Bedingungen in diesen Bundesländern und ihren Einzugsgebieten zurückzuführen.

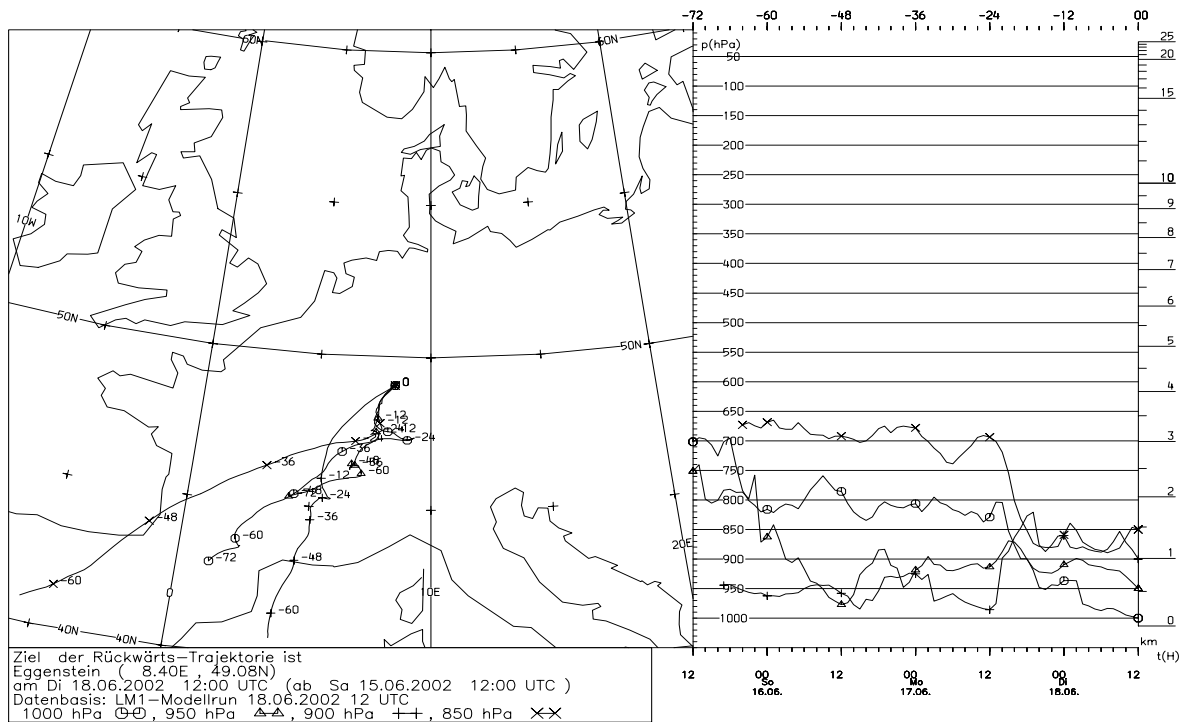


Abbildung 12: Rückwärtstrajektorien nach Eggenstein am 18.6.2002, 12:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhengniveaus. Linke Abbildung: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

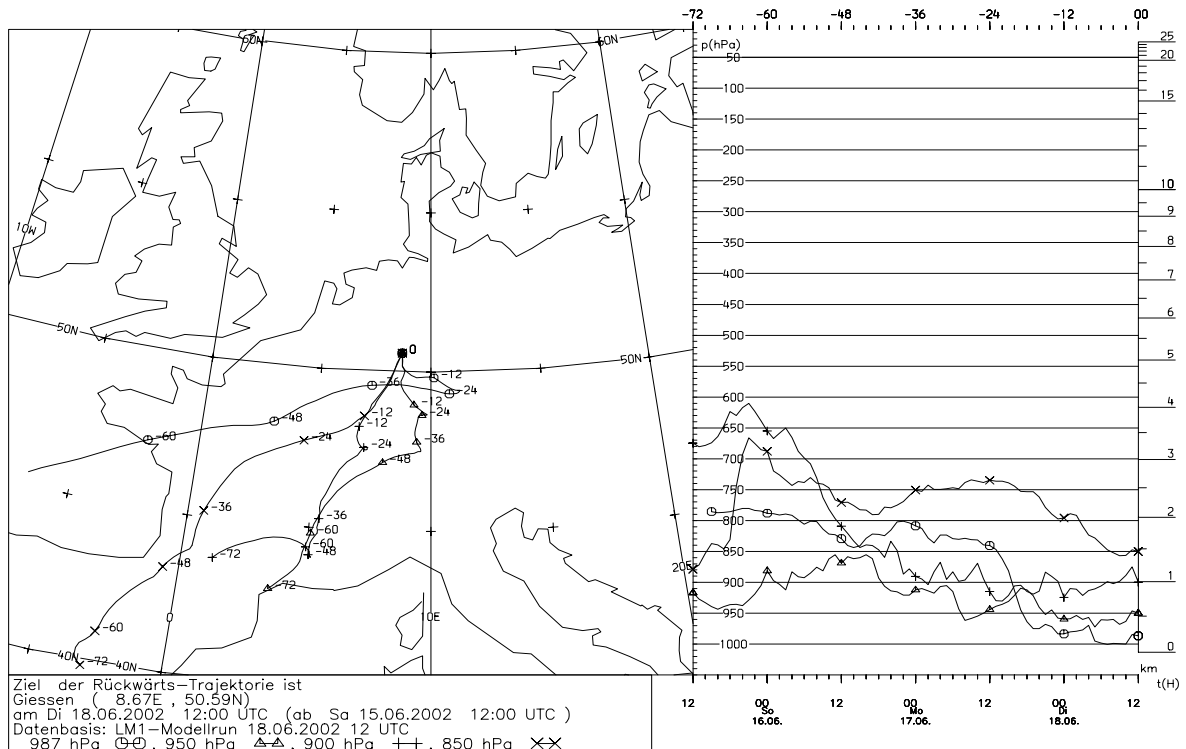


Abbildung 13: Rückwärtstrajektorien nach Giessen am 18.6.2002, 12:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhengniveaus. Linke Abbildung: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

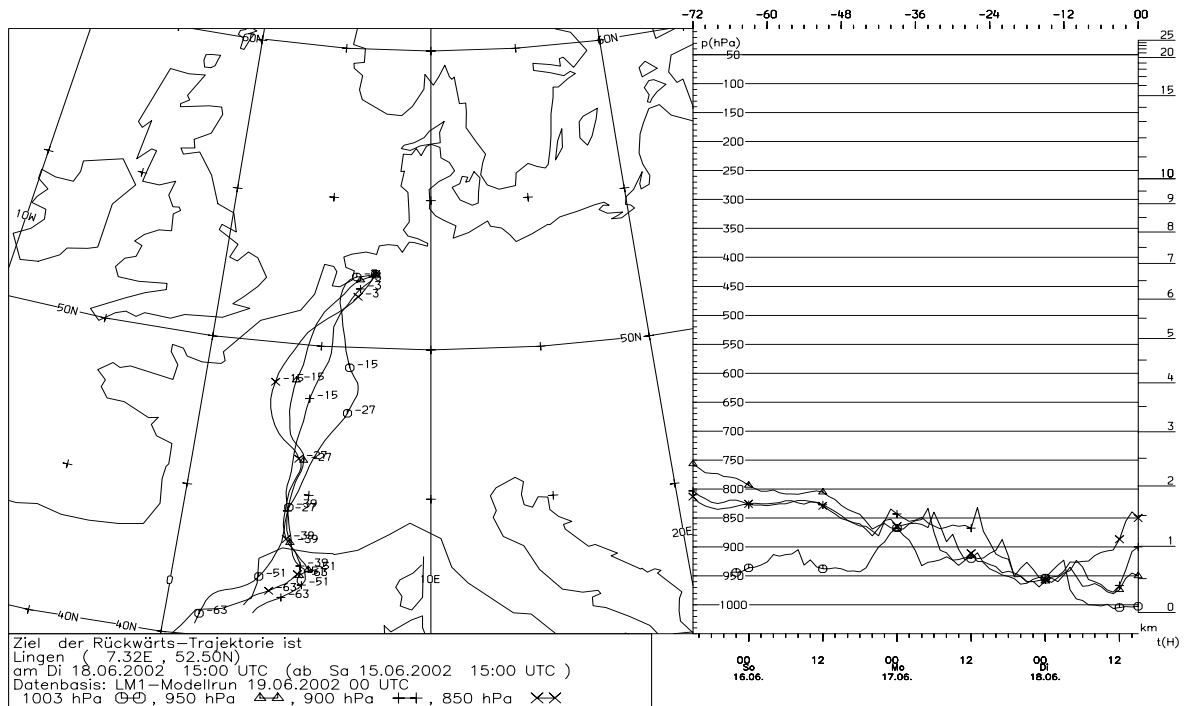


Abbildung 14: Rückwärtstrajektorien nach Lingen am 18.6.2002, 15:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhengniveaus. Linke Abbildung: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

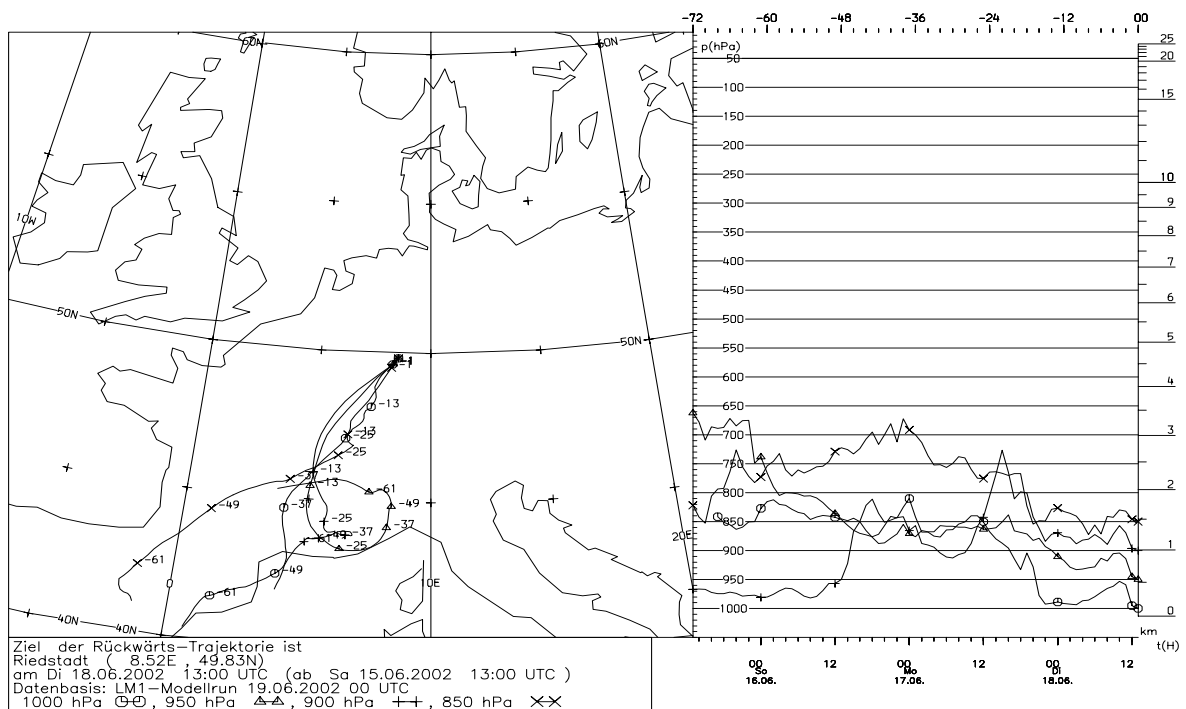


Abbildung 15: Rückwärtstrajektorien nach Riedstadt am 18.6.2002, 13:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhengniveaus. Linke Abbildung: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

3.3.3 Literatur

- (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 (2002)*
Ozonsituation 2002 in der Bundesrepublik Deutschland, Kurzbericht, November 2001 (Verfasser: U. Dauert und S. Grittner)
- (3) *Schneider, (2002)*
Erkenntnisse zum bodennahen Ozon aus Untersuchungen in Österreich. Vortrag Fachgespräch „Bodennahes Ozon“, UBA, Berlin-Spandau, 29./30.April 2002.
- (4) *Neftel, A. (2002)*
Erkenntnisse zum bodennahen Ozon aus Untersuchungen in der Schweiz. Vortrag Fachgespräch „Bodennahes Ozon“, UBA, Berlin-Spandau, 29./30.April 2002.
- (5) *NEG-TAP (2001)*
Report on Transboundary Air Pollution: Acidification, Eutrophication and Ground-Level ozone in the UK, Editor: David Fowler
- (6) *Coyle, M., Fowler, D. and Ashmore, M. (2003)*
New Directions: Implications of increasing tropospheric background ozone concentrations for vegetation. Atm. Env. 37, 2003, pp 153-154
- (7) *Enke, W. (2000)*
Analyse historischer Ozonzeitreihen und Entwicklung einer Methode zur quasi-wetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon. Abschlussbericht UBA-Forschungsvorhaben Nr.297 42 848.
- (8) *EU (2002)*
Richtlinie 2002/3/EG vom 12. Februar über den Ozongehalt der Luft, Amtsblatt der EG vom 9.3.2002
- (9) *UBA (2001, 2002)*
Jahresberichte 2000 und 2001 aus dem Messnetz des UBA, UBA Texte 77/01 und 69/02.