

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen 297 42 848

"Analyse historischer Datenreihen und Entwicklung einer Methode zur
quasi-wetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon"

Kurzfassung

von

Dr. Wolfgang Enke

I.D.E.A:
Immissionsdaten Erfassung und Analyse
Karin Seewöster
Wandelsweg 89
4594 Gelsenkirchen

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

Januar 2001

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	3
2 Arbeitsschwerpunkt Datenvalidierung	3
3 Arbeitsschwerpunkt Wetterbereinigung	3
4 Arbeitsschwerpunkt Ozontrendanalyse	4
4.1 Ozontrendanalyse für 5 Aggregierungen	5
4.1.1 Ozontrendanalyse der Tagesmaxima der Ozonkonzentration	5
4.1.2 Trends morgendlicher Ozonkonzentrationen (1 stündiger 6 ⁰⁰ UTC-Wert)	8
4.1.3 Überschreitungshäufigkeiten von in 10µg/m ³ Stufen vorgegebenen Schwellenwerten von 10µg/m ³ bis 220µg/m ³	10
4.1.4. Trendanalyse der AOT40 Ozonwerte als Deutschlandmittel	13
4.1.5. Trendanalyse der Ozonjahresmittelwerte	14
4.2 Geografische Verteilung von Ozontrends	15
4.2.1. Geografische Verteilung der Häufigkeit des Überschreitens der Tagesmaxima der Ozonkonzentration >80µg/m ³ für drei Zeitperioden	15
4.2.2. Geografische Verteilung der Häufigkeit des Überschreitens der Tagesmaxima der Ozonkonzentration >180µg/m ³ für drei Zeitperioden	17
4.2.3. Geografische Verteilung der AOT40 Ozonwerte für vier Zeitperioden	18
4.3. Kopplung von Ozonjahresmittelwerten mit Jahresmittelwerten der Ozonvorläufer Stickstoffdioxid (NO ₂) und Flüchtige organischen Kohlenwasserstoffe (VOC)	19
5. Literatur	23

1 Einleitung

Ziel des Forschungsvorhabens sind belastbare Trendanalysen der in der Bundesrepublik Deutschland vorhandenen Messreihen (bodennahes Ozons der Jahre 1980 bis 1997).

Die Forderung nach Ableitung belastbarer Ozontrendaussagen setzt die Erfüllung von zwei Bedingungen voraus, nämlich:

1. Die zur Trendaussage genutzten Daten müssen valide sein.
2. Der durch den Wettereinfluss hervorgerufene Anteil der Variabilität in den Ozonreihen muss eliminiert werden, damit die Möglichkeit besteht, die durch Änderung der anthropogenen Ozonvorläufersubstanzen hervorgerufene Entwicklung der Ozonbelastung zweifelsfrei sichtbar zu machen.

Die Erfüllung dieser beiden Bedingungen machte die Arbeitsschwerpunkte "Datenvalidierung" und "Wetterbereinigung" vor der eigentlichen Trendanalyse notwendig. Diesen beiden Arbeitsschwerpunkten sind separate Teilberichte gewidmet, so dass an dieser Stelle nur einige kurze Angaben genügen sollen.

2 Der Arbeitsschwerpunkt Datenvalidierung

Dieser Arbeitsschwerpunkt umfasst vier Stufen:

- a) Subjektive Bewertung aller Ozondatenreihen
- b) Kennzeichnung von Werten, die das Dreifache der Streuung der zu validierenden Ozonreihe über- oder unterschreiten und erneute subjektive Bewertung.
- c) Ersetzung fehlender und gekennzeichneteter Ozonwerte durch zeitliche und räumliche Interpolation.
- d) Automatische Beseitigung systematischer Fehler in den Ozondatenreihen.

3 Arbeitsschwerpunkt Wetterbereinigung

Da das Wettergeschehen von Jahr zu Jahr mehr oder weniger stark variiert, kann es eventuell vorhandene Ozontrends maskieren, so dass Änderung der raum-zeitlichen Emissionsintensität erst bei sehr langen Ozonreihen unverfälscht sichtbar werden.

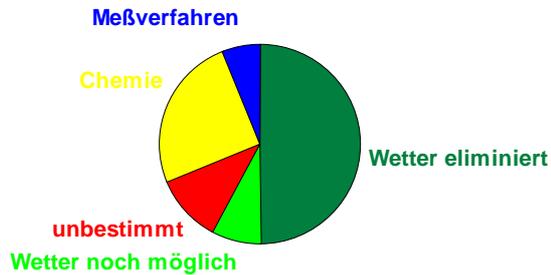


Abb. 1: Relativer Beitrag zur Variabilität der täglichen Ozonmaxima

Die längsten in diesem Vorhaben berücksichtigten für die Trenduntersuchungen berücksichtigten Ozonreihen umfassen einen Zeitraum von 18 Jahren. Von der Mehrzahl der Stationen, an denen in der Bundesrepublik Deutschland Ozon gemessen wird, sind sie jedoch deutlich kürzer, so dass unserer Meinung nach eine "Wetterbereinigung" dringend geboten war, um weitestgehend "unverfälschte" Ozontrends bestimmen zu können..

Zur Wetterbereinigung werden die validierten und fehlwertersetzten Stundenwerte der Ozonmessreihen verwendet. Als statistisches Verfahren kam eine bedingte, multiple, erwartungstreue screening Regressionsanalyse (Enke 1986, 1988) zur Anwendung. Das Gesamtergebnis der Wetterbereinigung lieferte eine Varianzreduktion bis zu maximal 58 %. Eine Abschätzung des prozentualen Beitrages der für die Variabilität der Ozonreihen verantwortlichen Komponenten ist in Abb. 1 aufgetragen.

4 Arbeitsschwerpunkt Ozontrendanalyse

Die Trendanalysen basieren auf validierten, fehlwertersetzten und wetterbereinigten Ozondaten.

Die Trendberechnungen erfolgten zunächst explizit für jede der in die Untersuchung einbezogenen Stationen und wurde dann zu Gesamtaussagen als Mittel über die Stationskategorien Verkehr ("vk"), Stadt ("st"), Land ("la") und Berg ("bg") zusammengefasst.

4.1 Ozontrendanalyse für 5 Aggregierungen

Für folgende Aggregierungen wurden Trendaussagen abgeleitet:

- Tagesmaxima der Ozonkonzentration
- Morgendliche Ozonkonzentrationen
- Überschreitungshäufigkeiten von in $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ Stufen vorgegebenen Schwellenwerten von $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $220\mu\text{g}/\text{m}^3$
- AOT40-Ozonwerte
- Ozonjahresmittelwerte

4.1.1 Ozontrendanalyse der Tagesmaxima der Ozonkonzentration

Die validierten, fehlwertersetzten, wetterbereinigten Tagesmaxima der Ozonkonzentration der Sommerhalbjahre 1980 bis 1997 sind zunächst als gewichtetes Mittel der im betreffenden Jahr zur Verfügung stehenden Stationen in linker Tabelle Abb.2a dargestellt. Es handelt sich dabei um Abweichungen vom stationsspezifischen Jahresgang der Tagesmaxima. Während die rote Kurve die interdiurne Variation der gemittelten Tagesmaxima zeigt, repräsentiert die blaue mittels eines Polynoms 3.Grades gewonnene Ausgleichskurve die Entwicklung der Ozontagesmaxima im betrachteten Zeitraum von 1980 bis 1997. Die Abbildungen 2b bis 2e zeigen die gleichen Sachverhalte für die einzelnen Stationskategorien “vk, st, la und bg”.

Während die Ausgleichskurven als Mittel über die “st” Stationen und als Mittel über die “vk” Stationen eine deutlich ausgeprägte Schwingung zeigen, ergibt sich für die Stationskategorien Land und Berg ein anderes Bild.

Für die Stationskategorien bei denen sich diese Schwingung zeigt bedeutet das, dass der Untersuchungszeitraum von 1980 bis 1997 in die drei Perioden mit unterschiedlichen Trendverhalten der täglichen Ozonmaxima unterteilt ist, nämlich die Periode von 1980 bis 1985 mit einer Abnahme der mittleren täglichen Ozonmaxima, die Jahre 1985 bis 1994 mit einer Zunahme und der anschließende Zeitraum von 1994 bis 1997 mit einem wieder einsetzenden leichten Rückgang.

Bei den Stationskategorien “Land” und “Berg” ist ebenfalls der Zeitraum zwischen 1980 und 1985 durch einen abnehmenden Trend der täglichen Ozonmaxima gekennzeichnet. Im anschließenden Zeitraum ist bei diesen Stationstypen, die eher die großräumige Belastung widerspiegeln ein stetiger leichter Aufwärtstrend bis 1997 vorhanden. Die Stationstypen “Stadt” und “Verkehr” sind mehr durch lokale, allenfalls durch regionale Einflüsse geprägt.

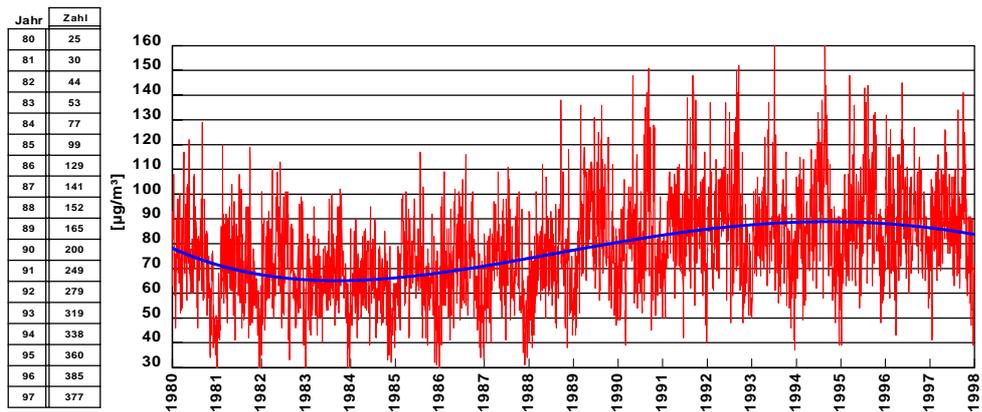


Abb. 2a: Validierte, wetterbereinigte und renormierte Tagesmaxima der Ozonkonzentration als Mittel über alle Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

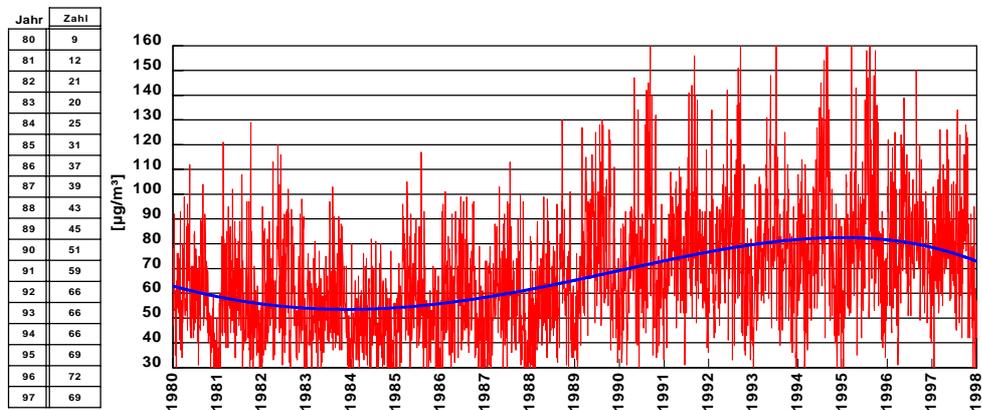


Abb. 2b: Validierte, wetterbereinigte und renormierte Tagesmaxima der Ozonkonzentration als Mittel über alle 'vk' Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

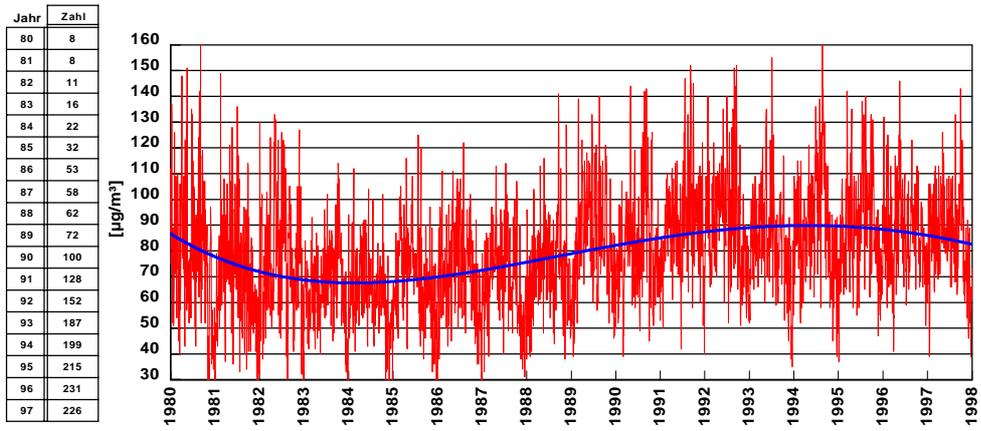


Abb. 2c: Validierte, wetterbereinigte und renormierte Tagesmaxima der Ozonkonzentration als Mittel über alle 'st' Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

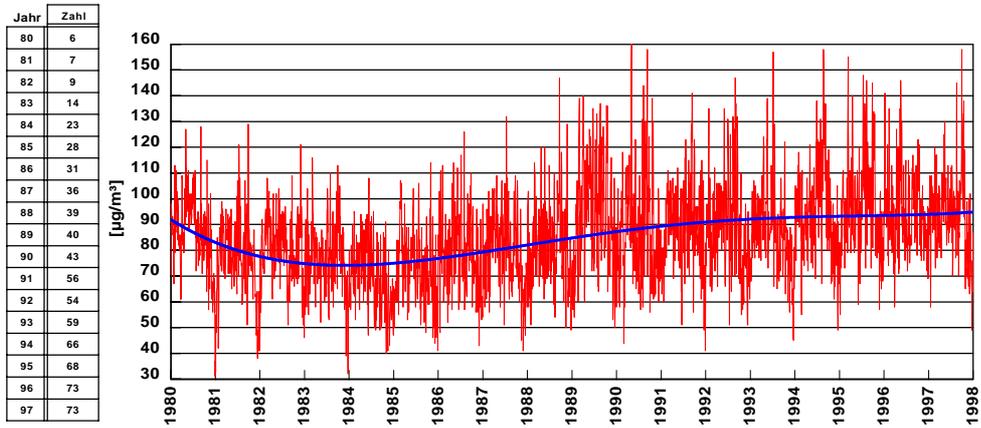


Abb. 2d: Validierte, wetterbereinigte und renormierte Tagesmaxima der Ozonkonzentration als Mittel über alle 'la' Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

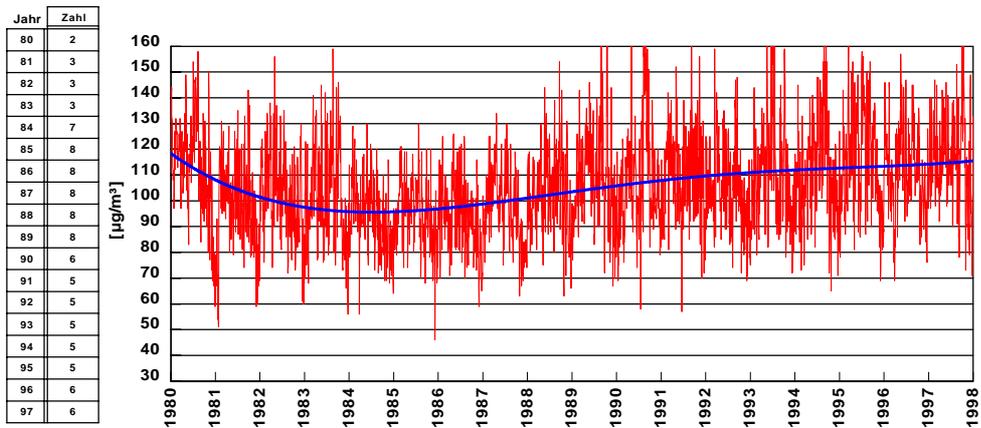


Abb. 2e: Validierte, wetterbereinigte und renormierte Tagesmaxima der Ozonkonzentration als Mittel über alle 'bg' Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

4.1.2 Trends morgendlicher Ozonkonzentrationen (1stündiger 6⁰⁰ GMT-Wert)

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf tägliche Ozonmaxima. Von Interesse dürften noch Langzeittrends für die täglichen "Ozontiefststände" sein, die im Sommerhalbjahr ca. gegen 6⁰⁰ GMT auftreten, es sei denn dieser normale Tagesgang wird durch meteorologische Prozesse überlagert, die den Tagesgang 'maskieren'. Gemittelt über alle Stationen und Stationstypen (Abb.3a) zeigt sich für das Sommerhalbjahr 6⁰⁰ GMT nur eine sehr schwach ausgeprägte Schwingung, im Vergleich zu der Schwingung bei den Tagesmaxima der Ozonkonzentration. Auffällig ist die deutlich niedrigere interdiurne Variabilität der Ozonwerte in den Morgenstunden und eine Halbjahreswelle. Diese Halbjahreswelle hat ihr Maximum im Frühsommer. Sie wird im wesentlichen durch die städtischen und ländlichen Stationen geprägt (Abb.3c bzw. Abb.3d).

Betrachtet man die gefitteten Ausgleichskurven, so wird deutlich, dass die verkehrsnahen und städtischen Stationen nur einen geringen Ozontrend haben, während die Stationskategorien "ländlich" und "Berg" eine deutliche Zunahme der mittleren morgendlichen Ozonkonzentration zwischen Anfang der achtziger Jahre und Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts zeigen. Dieser Effekt dürfte auf eine stetig steigende europäische Hintergrundbelastung zurückzuführen sein. Während an den verkehrsnahen Stationen infolge des Titrationseffektes und der Trockendeposition an vielen Tagen die Ozonwerte nur knapp über den Sockelwerten liegen (Abb.3b) und somit eine hohe Tagesamplitude aufweisen, liegen die mittleren nächtlichen Tiefstwerte (Abb.3e) bei den Bergstationen nur um ca. 20µg/m³ unter den Tagesmaxima. Sie weisen eine entsprechend geringe Tagesamplitude auf.

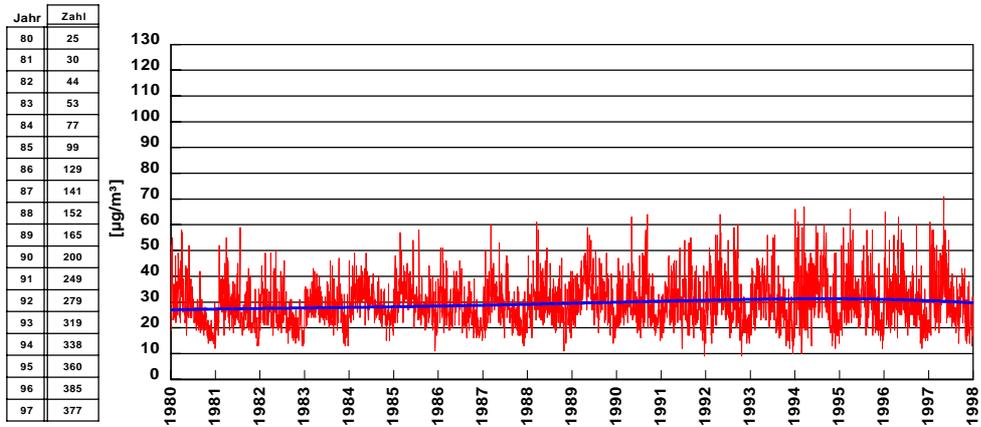


Abb. 3a: Validierte, wetterbereinigte und renormierte 6° GMT Ozonwerte als Mittel über alle Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

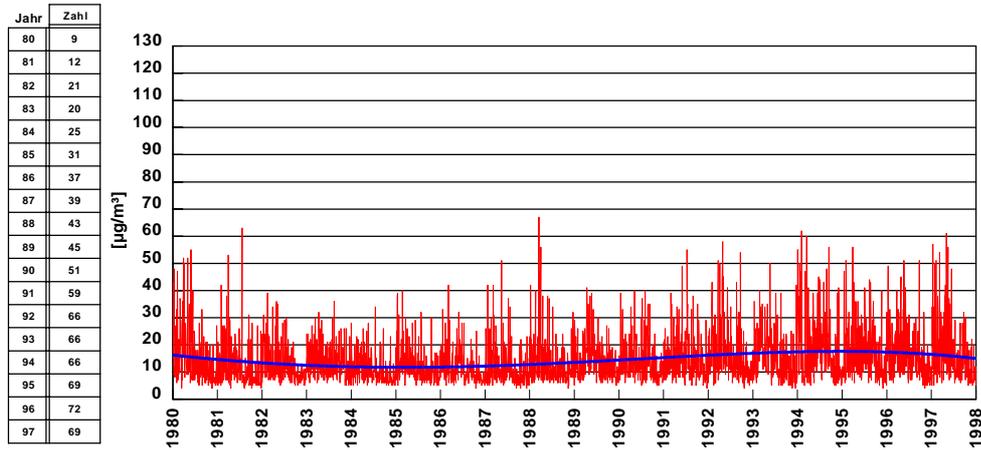


Abb. 3b: Validierte, wetterbereinigte und renormierte 6° GMT Ozonwerte als Mittel über alle "vk" Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

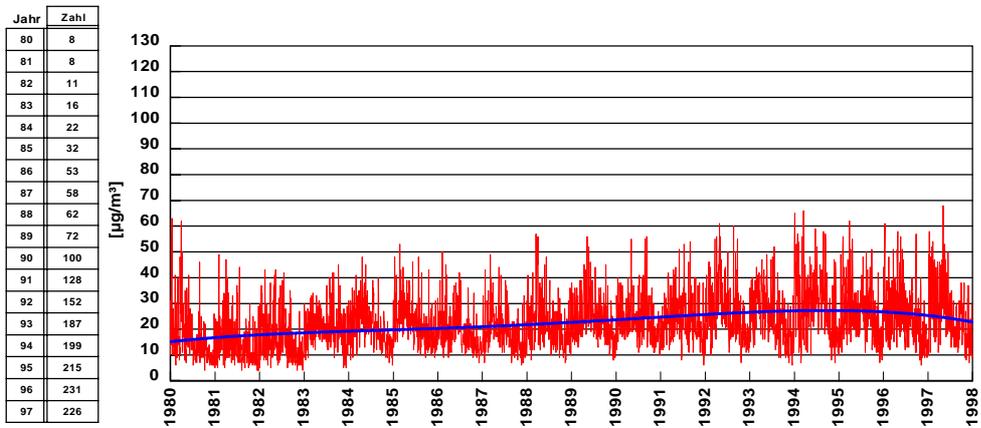


Abb. 3c: Validierte, wetterbereinigte und renormierte 6° GMT Ozonwerte als Mittel über alle "st" Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

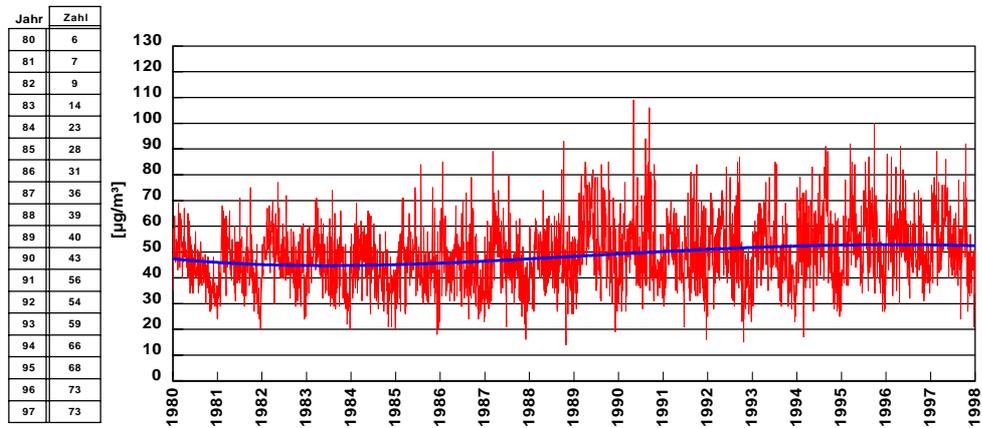


Abb. 3d: Validierte, wetterbereinigte und renormierte 6° GMT Ozonwerte als Mittel über alle "la" Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

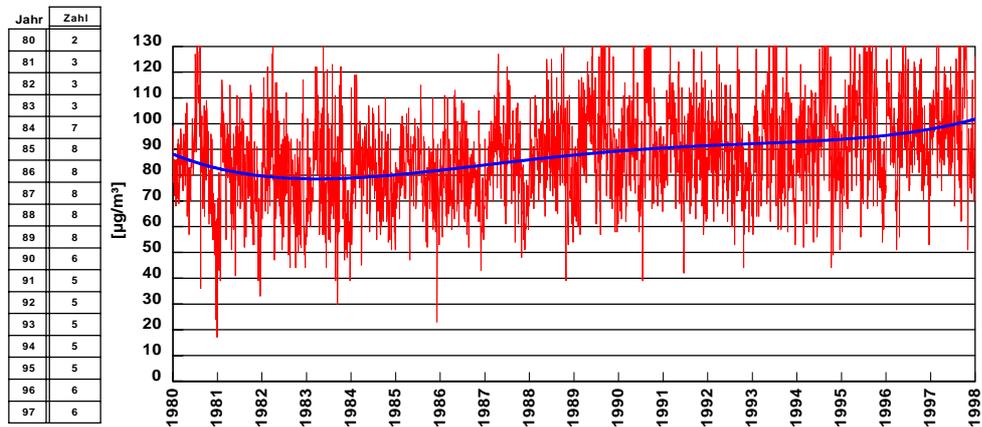


Abb. 3e: Validierte, wette bereinigte und renormierte 6° GMT Ozonwerte als Mittel über alle "bg" Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

4.1.3. Überschreitungshäufigkeiten von in $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ Stufen vorgegebenen Schwellenwerten von $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $220\mu\text{g}/\text{m}^3$

Deutlicher sichtbar werden die in den Zeitabschnitten 1980/85, 1985/94 und 1994/97 aufgetretenen Veränderungen, wenn man die prozentuale Änderung der Überschreitungshäufigkeit in $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ Stufen vorgegebener Schwellenwerte zwischen Beginn und Ende der betreffenden Periode im Vergleich zur mittleren Überschreitungshäufigkeit jeder vorgegebenen Klasse im entsprechenden Zeitraum untersucht (Abb.4). Für jede Station werden dafür die Überschreitungshäufigkeiten vorgegebener Schwellenwerte berechnet und diese anschließend über alle Stationen gemittelt. Die Änderung der Überschreitungshäufigkeit zwischen Anfang und Beginn der

entsprechenden Perioden (1980/85, 1985/94 und 1994/97) wird aus dem Anstieg der Regressionsgeraden der Überschreitungshäufigkeiten der betrachteten Jahre bestimmt. Bei guter Klassenbesetzung liefert das Verfahren stabile Aussagen. Es ist jedoch leicht einsichtig, dass bei hohen Schwellenwerten aufgrund der sehr geringen Überschreitungshäufigkeit dieser Schwellenwerte (<0.1%) eine Interpretation der Ergebnisse mit äußerster Vorsicht vorzunehmen ist.

In Abb.4 ist die Änderung der Überschreitungshäufigkeiten zwischen $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ und $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ in $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ Schritten der Ozontagesmaxima vorgegebenen Schwellenwerte zwischen Anfang und Beginn der oben genannten drei Zeiträume dargestellt. Es werden deutliche Unterschiede zwischen den drei untersuchten Zeiträumen sichtbar. Während der Zeitraum 1985 bis 1994 durch eine Zunahme der Überschreitungshäufigkeit gekennzeichnet ist, die um so größer ausfällt, je

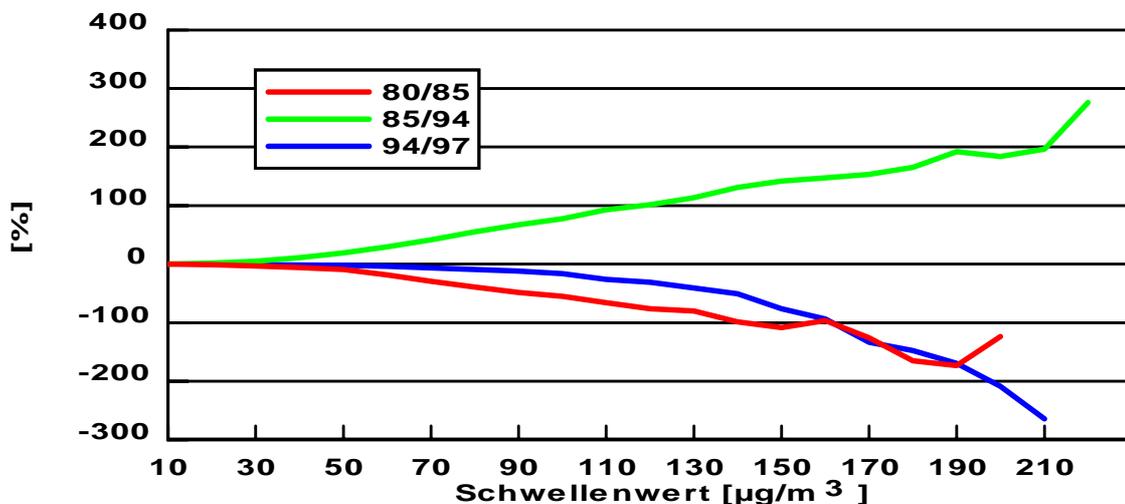


Abb.4: Prozentuale Änderung der Überschreitungshäufigkeiten vorgegebener Schwellenwerte der Tagesmaxima der Ozonkonzentration zwischen Beginn und Ende der untersuchten drei Zeiträume, im Vergleich zur mittleren Überschreitungshäufigkeit im entsprechenden Zeitraum. Validierte, wetterbereinigte und renormierte tägliche Ozonmaxima, alle Stationen, Sommerhalbjahre 1980 bis 1997

höher die Schwellenwerte sind, verzeichnen die beiden anderen Zeitintervalle eine Abnahme der Überschreitungshäufigkeiten zwischen Beginn und Ende der betrachteten Perioden. Bei den niedrigen Schwellenwerten fallen die prozentualen Änderungen in allen

drei Zeitintervallen eher gering aus. Differenziert man die für Abb. 4 beschriebenen Untersuchungen nach Stationskategorien ("verkehrsnahe", "städtisch", "ländlich" und "Berg") so lassen sich einige markante Unterschiede erkennen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Prozentuale Änderung der Überschreitungshäufigkeit für die Schwellenwerte $80\mu\text{g}/\text{m}^3$, $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ und $210\mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen Beginn und Ende der betreffenden Perioden für die unterschiedlichen Stationskategorien im Vergleich zur mittleren Überschreitungshäufigkeit in diesem Zeitraum

Schwellenwert	$80\mu\text{g}/\text{m}^3$			$180\mu\text{g}/\text{m}^3$			$210\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	1980/85	1985/94	1994/97	1980/85	1985/94	1994/97	1980/85	1985/94	1994/97
alle Stationen	-50%	+52%	-6%	-180%	+175%	-150%	-	+200%	-260%
"vk"	-55%	+95%	-2%	-20%	+210%	-135%	-	+300%	-255%
"st"	-45%	+56%	-18%	-160%	+140%	-160%	-	+105%	-270%
"la"	-55%	+45%	+0%	-	+98%	-115%	-	+105%	-270%
"bg"	-10%	+3%	+2%	+55%	+160%	+50%	-	+165%	+105%

Ein Vergleich der Änderung der Überschreitungshäufigkeit zwischen den Stationskategorien zeigt bezüglich der ersten Periode (1980/85) für den "vk" Typ nur eine geringfügige Abnahme der Überschreitungshäufigkeiten. Hingegen zeigt der Stationstyp "st" eine ausgeprägte Abnahme der Überschreitungshäufigkeiten sowohl bezüglich der mittleren Schwellenwerte als auch bei den Schwellenwert $180\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei den Bergstationen ist aufgrund der geringen Anzahl der zur Verfügung stehenden Stationen die Stabilität der Aussage deutlich eingeschränkt, so dass eine Interpretation der Ergebnisse für höhere Schwellenwerte ($>180\mu\text{g}/\text{m}^3$) nicht möglich ist. Betrachtet man das mittlere Zeitintervall (1985 bis 1994), so ist über alle Stationstypen und alle Schwellenwerte ein deutlicher Anstieg der Überschreitungshäufigkeiten zu verzeichnen. Am stärksten ist dieser Anstieg bei den verkehrsnahen Stationen ausgeprägt. Das dritte Zeitintervall (1994 bis 1997) ähnelt der ersten Periode und ist gekennzeichnet durch einen erneuten Rückgang der

Überschreitungshäufigkeiten, besonders bei hohen Werten der Ozontagesmaxima. Eine Ausnahme bilden die Bergstationen, die eine weitere kräftige Zunahme der Überschreitungshäufigkeiten erkennen lassen. Dies stimmt mit dem stetigen Anstieg der europäischen Hintergrundbelastung, wie sie auch in den Arbeiten von (Beilke 2000, Simmonds 1996, Roemer 1997 und im Ozonbulletin 2000) gefunden wurden überein. Dieser Anstieg wirkt sich auch bei dem "ländlichen" Stationstyp aus, wo bis zu einem Schwellenwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ praktisch keine Veränderung zu beobachten ist, während ohne diese Überlagerung der Ozonhintergrundbelastung auch in diesem Bereich bereits ein Rückgang zu beobachten wäre. Bei den übrigen Stationskategorien wird der Effekt des Anstieges der europäischen Hintergrundbelastung durch lokale Effekte überkompensiert.

4.1.4 Trendanalyse der AOT40 Ozonwerte als Deutschlandmittel

Von allgemeinem pflanzenphysiologischen Interesse sind die AOT40 Ozonwerte. AOT40 bedeutet die Summe der Differenz zwischen stündlichen Konzentrationen $>80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ während einer gegebenen Zeitspanne - hier April bis September - unter ausschließlicher Verwendung der stündlichen Ozonwerte zwischen $8^{\circ\circ}$ morgens und $20^{\circ\circ}$ abends MEZ für jeden Tag. Abb. 5 zeigt den zeitlichen Verlauf der AOT40 Ozonwerte zwischen 1980 und 1997. Gut sichtbar ist das unterschiedliche mittlere Niveau der Stationskategorien, die schon mehrfach erwähnte Welle und der stetige Anstieg der AOT40 Ozonwerte zwischen 1980 und 1997. Der Abbildung ist eine Tabelle hinzugefügt, woraus der lineare Trend, der Trendkorrelationskoeffizient und die Irrtumswahrscheinlichkeit des Trendkorrelationskoeffizienten für die einzelnen Stationskategorien ersichtlich ist. Auch bei den AOT40 Ozonwerten weisen die Bergstationen die höchsten- und die verkehrsnahen Stationen die niedrigsten Ozonwerte auf. Berechnet man den linearen Ozontrend, so ist für alle Stationskategorien ein signifikant zunehmender Trend der AOT40 Werte zu verzeichnen. Der Aufwärtstrend ist am stärksten bei den Bergstationen.

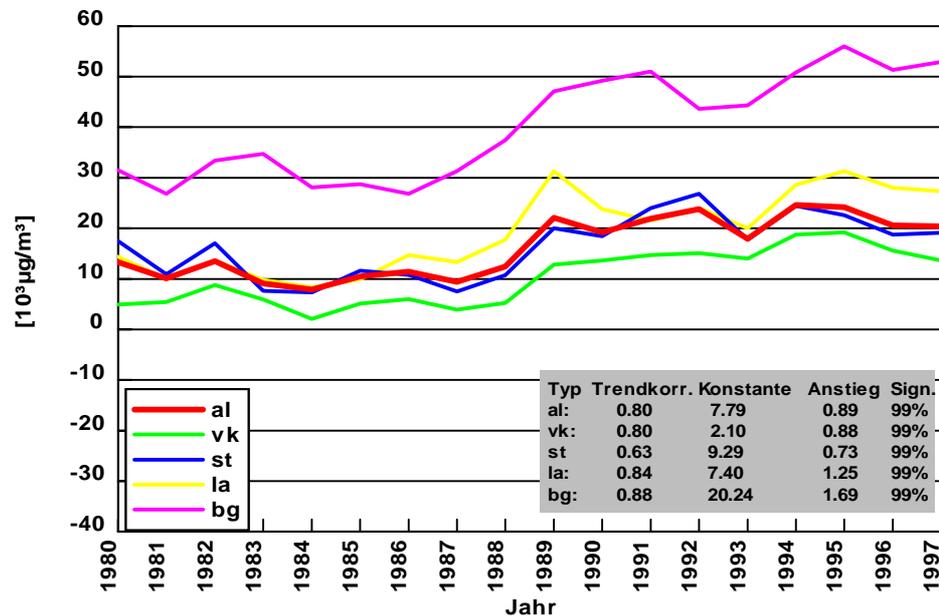


Abb.5: AOT40 Werte als Mittel über alle im entsprechenden Jahr zur Verfügung stehenden Stationen, getrennt nach Stationstypen und über alle Stationen

4.1.5 Trendanalyse der Ozonjahresmittelwerte

Für einen späteren Vergleich von Emissionswerten mit Ozonmessungen werden Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration über alle Tage, Stunden und Stationen berechnet. Dies ist notwendig, da emissionsseitig nur ein Jahresmittelwert als Mittel für ganz Deutschland vorliegt. Abb.6 zeigt die Jahresmittelwerte der Bodenozonekonzentration als Abweichung vom langjährigen Mittel (stationsspezifisches Stichprobenklima) der einzelnen Stationen für die bekannten 4 Stationstypen und als Mittel über alle Stationen. Man beobachtet auch hier die bekannte Welle und die Unterschiede zwischen den Stationskategorien. Bemerkenswert ist, dass die Ozonjahresmittelwerte für die Bergstationen ab 1994 weiter ansteigen, während die Ozonjahresmittelwerte der anderen Stationstypen einen Abwärtstrend einleiten.

4.2. Geografische Verteilung von Ozontrends

4.2.1 Geografische Verteilung der Häufigkeit des Überschreitens der Tagesmaxima der Ozonkonzentration $>80\mu\text{g}/\text{m}^3$ für drei Zeitperioden

In Abb.7a ist die geographische Verteilung der mittleren Überschreitungshäufigkeit für Tagesmaxima $>80\mu\text{g}/\text{m}^3$ für die bisher betrachteten drei Zeitintervalle (1980/1985, 1985/1994 und 1994/1997) aufgetragen. Während der Zeitraum 1980/1985 lediglich durch 42 Stationen belegt ist, die überdies noch vorwiegend auf den Südwesten Deutschlands konzentriert sind, ist der Zeitraum 1985 bis 1994 schon durch 126 Stationen dokumentiert, wobei der Osten Deutschlands immer noch signifikant unterrepräsentiert ist. Der Zeitraum 1994/1997 ist hingegen mit 306 Stationen belegt. Der erste Zeitraum ist deshalb mit äußerster Vorsicht zu interpretieren. Insgesamt lassen sich jedoch schon deutliche regionale Unterschiede erkennen. Die höheren Überschreitungshäufigkeiten sind überwiegend in den Mittelgebirgsregionen: Bayrischer Wald, Erzgebirge, Thüringer Wald, Rhön, Spessart, Odenwald, Schwarzwald, Rothaargebirge, Westerwald und am Alpenrand anzutreffen. Insgesamt ist die schon aus den vorangegangenen Untersuchungen gefundene Zunahme der mittleren Überschreitungshäufigkeit der Tagesmaxima $>80\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Abb.7a deutlich zu erkennen.

Die räumliche Verteilung der prozentualen Änderung der Überschreitungshäufigkeit von Tagesmaxima der Ozonkonzentration $>80\mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen Anfang und Ende der entsprechenden Periode gegenüber der mittleren Überschreitungshäufigkeit des jeweils untersuchten Zeitintervalls (1980 bis 1985, 1985 bis 1994, 1994 bis 1997), Abb.7b zeigt bis auf den mit äußerster Vorsicht zu interpretierenden Zeitraum 1980 bis 1985 keine nennenswerten räumlichen Strukturen, wohl aber deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Perioden. Dies steht in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Abb.4.

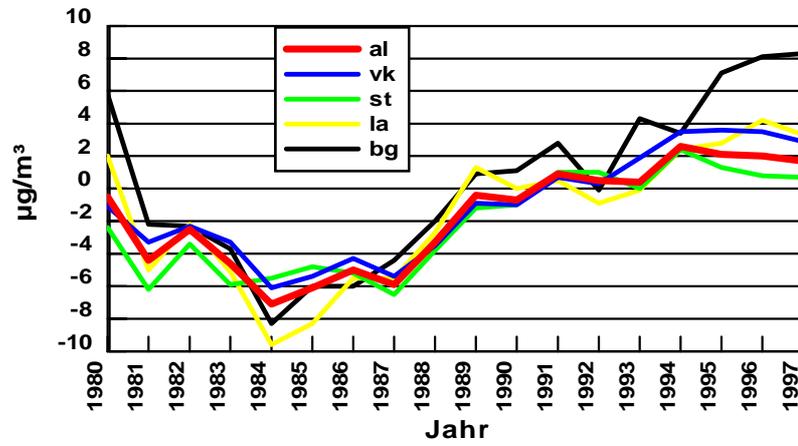


Abb.6: Jahresmittelwerte der Bodenozonekonzentration als Abweichung vom stationsspezifischen Stichprobenklima und als Mittel über alle im betreffenden Jahr vorhandenen Stationen

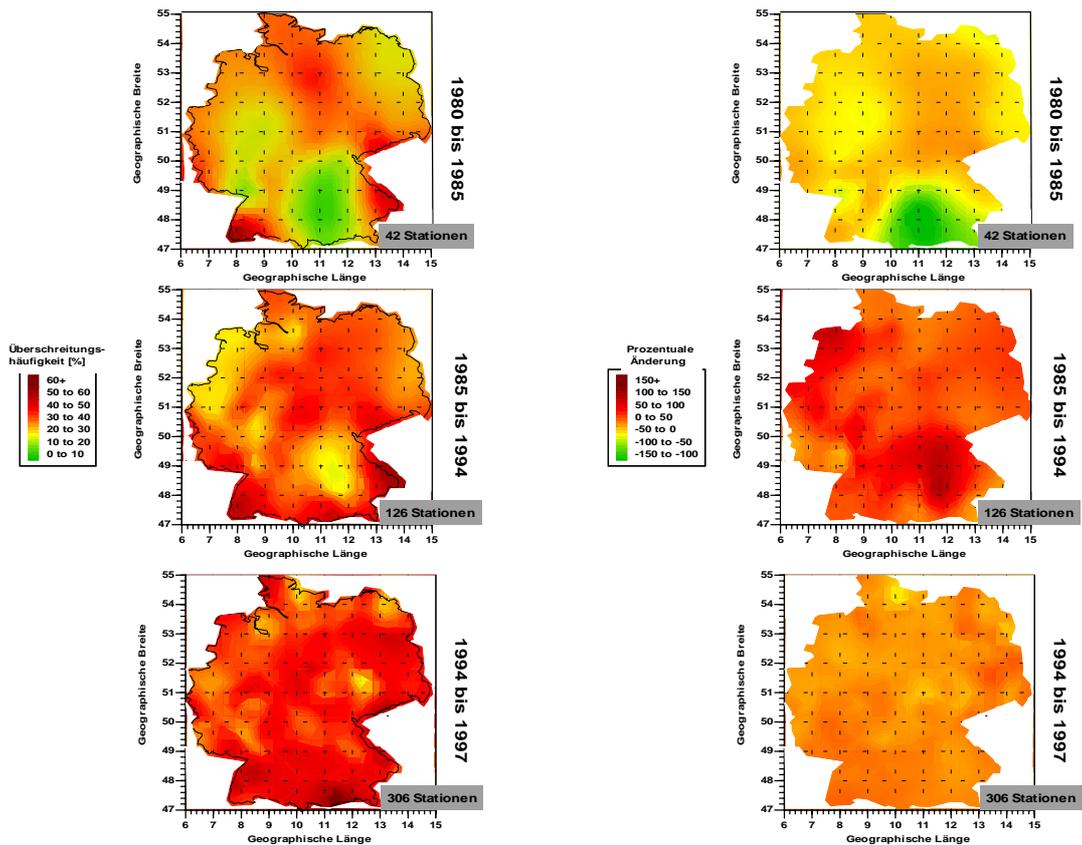


Abb. 7a: Mittlere Überschreitungshäufigkeit der Ozontagesmaxima > 80 µg/m³

b. 7b: Prozentuale Änderung der Überschreitungshäufigkeit der mittleren Überschreitungshäufigkeit des entsprechenden Zeitintervalls - Ozontagesmaxima > 80 µg/m³

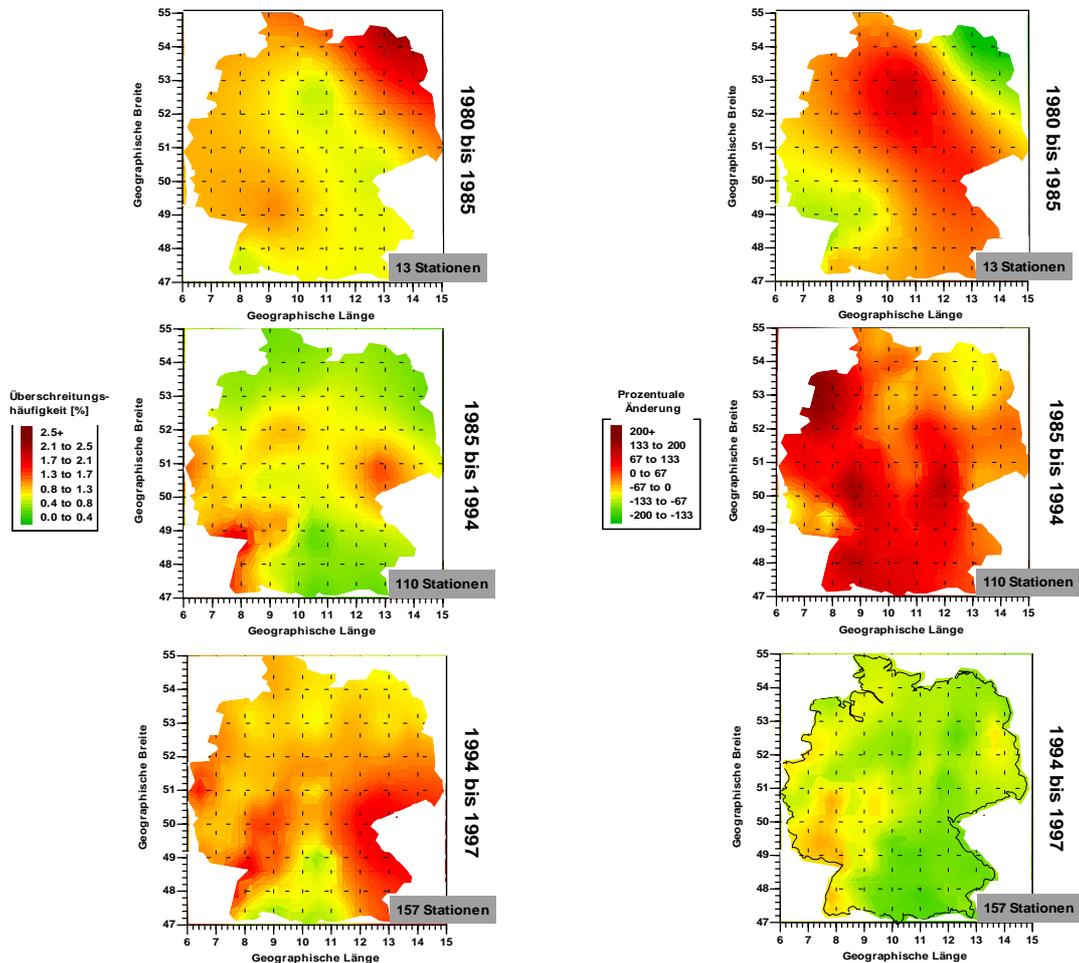


Abb. 8a: Mittlere Überschreitungshäufigkeit der Ozontagesmaxima $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Abb. 8b: Prozentuale Änderung der Überschreitungshäufigkeit der mittleren Überschreitungshäufigkeit des entspr. Zeitintervalls - Ozontagesmaxima $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

4.2.2 Geografische Verteilung der Häufigkeit des Überschreitens der Tagesmaxima der Ozonkonzentration $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für drei Zeitperioden

Betrachtet man die geographische Verteilung der Überschreitungshäufigkeit der Ozontagesmaxima $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abb. 8a) unter Beachtung der Stationsanzahl, so lässt sich über den Zeitraum 1980/85 mit 13 Messstellen, die überdies noch fast ausschließlich auf den äußersten Südwesten Deutschlands konzentriert sind, keine Aussage treffen. Deutlich ist die Zunahme der Überschreitungshäufigkeit der Ozontagesmaxima von $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen den Zeiträumen 1985/94 und 1994/97 zu erkennen, wobei wieder die Mittelgebirge mit den größten Überschreitungshäufigkeiten hervortreten. Obwohl die

mittleren Überschreitungshäufigkeiten der Ozontagesmaxima $>180\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Zeitraum 1994/1997 deutlich höher liegen als 1985/1994 (Abb. 7a mittlerer und unterer Kasten) zeigt die prozentuale Änderung der Überschreitungshäufigkeit gegenüber der mittleren Überschreitungshäufigkeit der Ozontagesmaxima $>180\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abb. 8b mittlerer und unterer Kasten) eine gegenläufige Tendenz. Dies scheint auf den ersten Blick ein Widerspruch zu sein, bedeutet aber nur, dass ab dem Erreichen des höchsten Niveaus um 1994 ein allmählicher Abwärtstrend zu beobachten ist, dessen regionale Ausprägung relativ gering ist.

4.2.3 Geografische Verteilung der AOT40 Ozonwerte für vier Zeitperioden

Interpretiert man die geographische Verteilung der AOT40 Ozonwerte für 4 Zeitintervalle (Abb.9), so gelten die gleichen Einschränkungen bezüglich der Stationsdichte, wie sie unter 4.2.1 und 4.2.2 gemacht wurden, d.h. aus Gründen der geringen Stationsdichte ist die räumliche Interpretation des Zeitraumes 1982/1985 kaum möglich. Allgemein lässt sich feststellen, dass die Küstenregionen in allen 4 Zeitintervallen die niedrigsten Werte aufweisen, aber auch hier ist ein langsamer Anstieg der AOT40 Ozonwerte über die 4 Perioden zu verzeichnen ist. Die Bergregionen zeichnen sich mit besonders hohen AOT40-Ozonwerten aus. In diesen Regionen ist auch der stärkste Anstieg der AOT40 Ozonwerte zu beobachten.

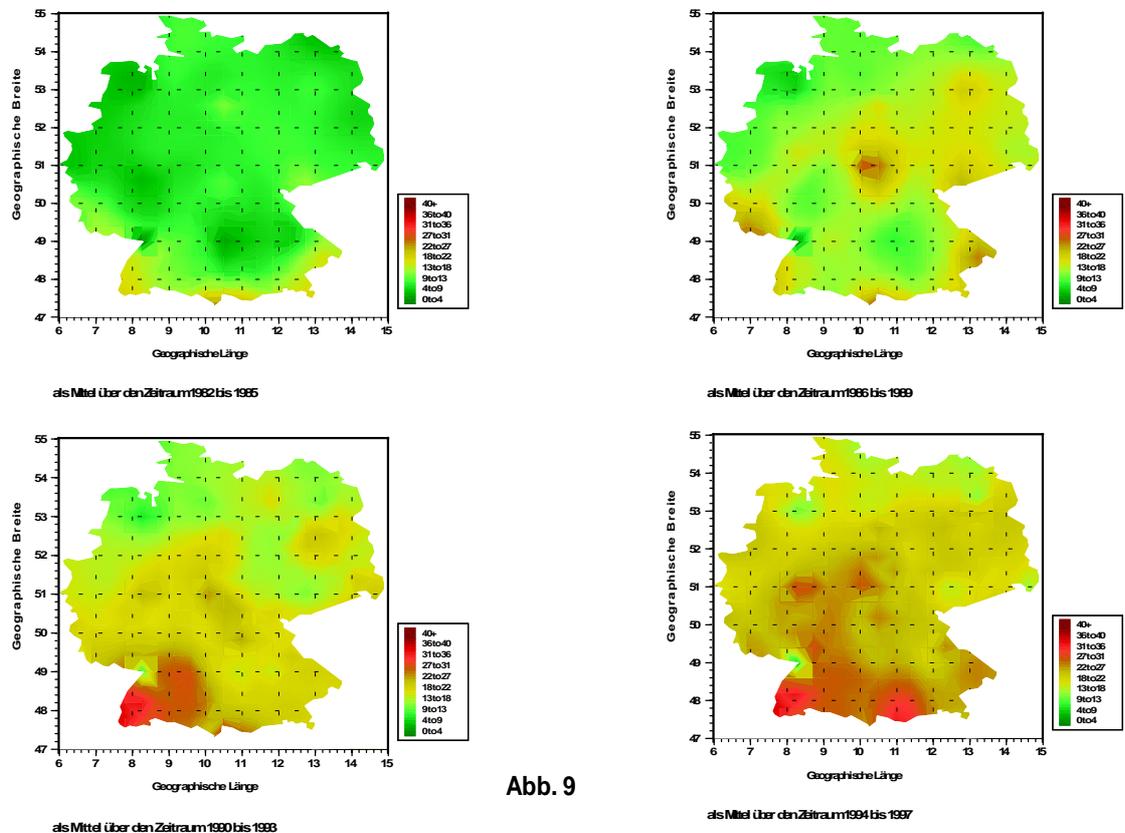


Abb. 9

4.3 Kopplung von Ozonjahresmittelwerten mit Jahresmittelwerten der Ozonvorläufer Stickstoffdioxid (NO₂) und Flüchtige organischen Kohlenwasserstoffe (VOC)

Von großem politischen als auch von gesellschaftlichem Interesse ist die Fragestellung inwieweit emissionsmindernde Maßnahmen, wie sie von der Bundesregierung beschlossen und seit Ende der achtziger Jahre wirksam werden, zu einer Verminderung der Ozonbelastung beitragen.

Zur Vorbereitung einer Kopplung von Emissionswerten mit Ozonmessungen, wurden Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration über alle Tage, Stunden und Stationen berechnet (vgl. Kap. 5 ausführlicher Bericht).

Um die sektoralen Emissionen, die betragsmäßig sehr verschiedene Größenordnungen haben, mit den jährlichen Mittelwerten der Ozonkonzentration vergleichbar zu machen, werden sowohl die sektoralen VOCs als auch die NO₂ Emissionen normiert (Subtraktion

des entsprechenden Mittelwertes und Division durch die Streuung der Zeitreihe). Koppelt man die so normierten NO_2 Emissionen mit den Jahresmittelwerten der Ozonkonzentration (Abb.10a), so erhält man einen hohen negativen Korrelationskoeffizient, der je nach Emissionssektor (Industrie, Gesamtverkehr oder Straßenverkehr) zwischen 0.5 und 0.8 liegt. Dies bedeutet auf den ersten Blick: Je höher die Emission von NO_2 , desto niedriger die Ozonkonzentration. Einen vergleichbaren Zusammenhang findet man auch bei den VOCs. Dies ist zunächst sehr verblüffend und widerspricht scheinbar jeglichen theoretischen Überlegungen.

Eine Auflösung des Widerspruchs erzielt man, wenn das Jahresmittel der Ozonkonzentration über alle Stationen, das sich aus Anteilen des regionalen (deutschlandweiten) Maßstabes und aus Anteilen des großräumigen (europäischen) Hintergrundes zusammensetzt, vom großräumigen Ozonkonzentrationshintergrund bereinigt. Um dies zu erreichen wird postuliert, dass die Ozonbelastung der Bergstationen (Ozonmessstationen $>1000\text{m}$) die großräumige Ozonhintergrundbelastung darstellt. Ein Hinweis darauf, dass das in erster Näherung zutrifft, ist die im Gegensatz zu den anderen Stationstypen beobachtete weitere Zunahme der Ozonjahresmittelwerte nach 1994 bei den Bergstationen.

Die Differenz zwischen den Ozonjahresmittelwerten aller Stationen zu den Ozonjahresmittelwerten der Bergstationen kann also als mittlere regionale (deutschlandweite) Komponente der Ozonkonzentration verstanden werden.

Koppelt man nun die Differenz zwischen den Ozonjahresmittelwerten aller Stationen zu den Ozonjahresmittelwerten der Bergstationen mit den Jahresmittelwerten der NO_2 Emission, so erhält man einen synchronen Kurvenverlauf mit den mittleren Emissionen in Deutschland. Die Korrelationskoeffizienten liegen je nach Emissionstyp hier zwischen 0.4 und 0.8. Einen ähnlichen Zusammenhang findet man bei der Kopplung mit den Jahresmittelwerten der VOC Emissionen (Abb.11).

Die Schlussfolgerung aus diesen Zusammenhängen ist: Eliminiert man aus den mittleren jährlichen Ozonkonzentrationen den 'europäischen Hintergrund', so zeigt sich, dass emissionsmindernde Maßnahmen auf regionaler Ebene durchaus einen Sinn haben. Die

Tatsache, dass jedoch der großräumige Anstieg der Hintergrundbelastung zum Teil den Rückgang auf lokaler oder regionaler Skala wieder kompensiert, zeigt, dass auch weltweit oder wenigstens im europäischen Maßstab weitere emissionsmindernde Maßnahmen zwingend von Nöten sind.

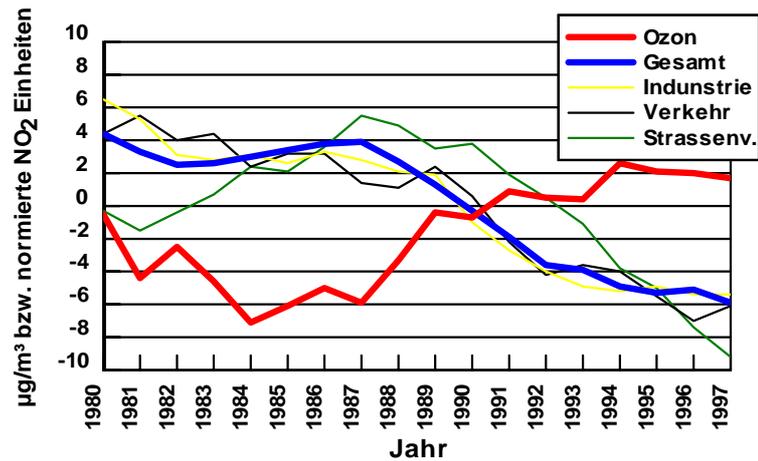


Abb. 10a: Jahresmittelwerte der Bodenozonekonzentration im Vergleich zum normierten jährlichen NO₂ Ausstoß

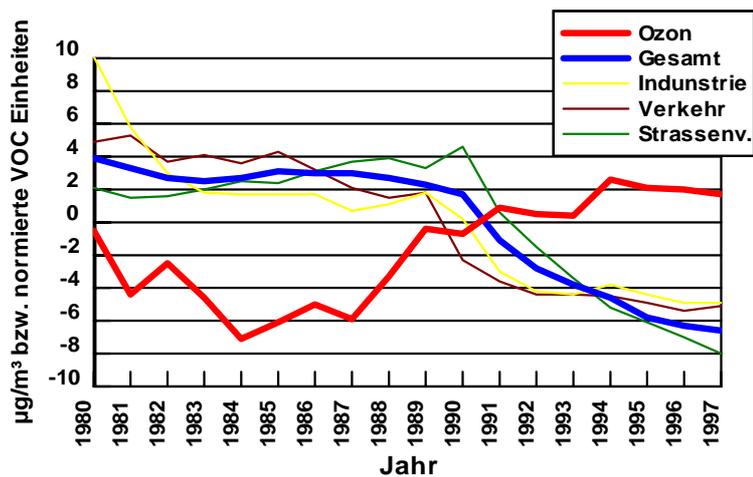


Abb. 10b: Jahresmittelwerte der Bodenozonekonzentration im Vergleich zum normierten jährlichen VOC Ausstoß

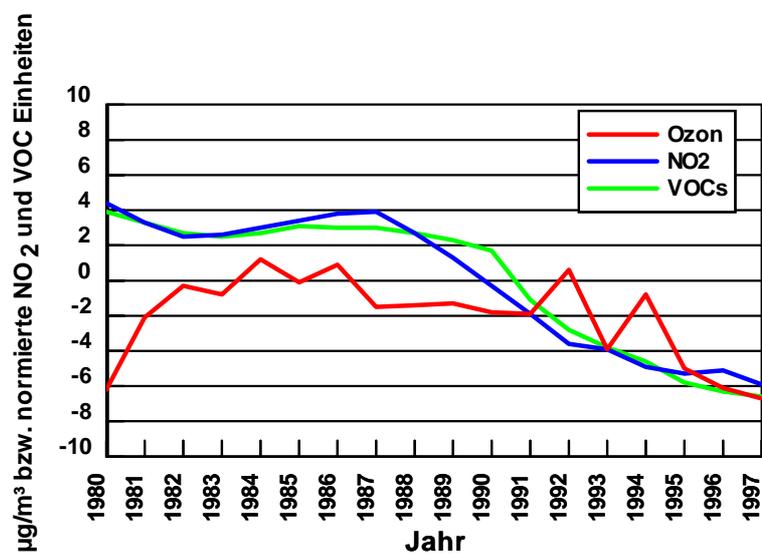


Abb. 11: Abweichungen der Jahresmittelwerte der Bodenozonkonzentration von den Jahresmittelwerten der Bergstationen (mittlere regionale Komponente der Ozonkonzentration) im Vergleich zum normierten jährlichen NO₂ und VOC Ausstoß

5 Literaturangaben

- 01 Beilke, S.: 1996 'Räumliche Verteilung und zeitliche Entwicklung der Ozonbelastung in Mitteleuropa'
interner Arbeitsbericht des Umweltbundesamtes
- 02 Beilke, S.: 2000 'Langzeitentwicklung der Ozonbelastung im globalen, nationalen und regionalen Maßstab'
Paper presented the VDI_symposium on tropospheric ozone, 8-10 February 2000, Braunschweig
- 03 Enke, W.: 1986 'Ein Verfahren zur Aufstellung statistischer Prognosealgorithmen als Einheit von Cluster-, Diskriminanz- und Regressionsanalyse'
Z.f. Meteorol.,36, 2, S. 117-122.
- 04 Enke,W.: 1988 'Ein erwartungstreues lineares Selbstorganisationsmodell'
Z.f. Meteorol.,35,5,s.308-314
- 05 Enke, W.: 1997 'Untersuchung möglicher wetterlagenspezifischer Trends des Bodenozens'
4. Deutsche Klimatagung vom 1. bis 3. Oktober 1997 in Frankfurt a.M., Annalen der Meteorologie, 34, 85-86.
- 06 Enke, W.: 1998 'Untersuchungen des Einflusses der Photolyseraten auf die Bildung des bodennahen Ozons'
Abschlußbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens 10402817 des Umweltbundesamtes
- 07 Fricke, W.: 1996 'Bodennahes Ozon: Anstieg der Mittelwerte, aber kein Anstieg der Maxima seit 1971'
Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Nr. 34
Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, 2000: 'Zum Trend der Hintergrundkonzentration von Ozon'
Ausgabe Nr. 75, Erscheinungstermin: 06. Juni 2000

- 08 Roemer, M.G.M.: 1997 'Trend analysis of ground level ozone concentrations in Europe'
EMEP/CCC-Note 01/97, NILU, Kjeller, Norway.
- 09 Simmonds, P.G., Derwent, R.G., McCulloch, A., O'Doherty, S. And Gaudry, A.,
1996: 'Long term trends in concentrations of halocarbons and radiatively active
gases in Atlantic and European air masses monitored at Mace Head, Ireland from
1987-1994'
Atmospheric Environment, 30, 4041-4063
- 10 Winkler, P., Enke, W.: 2001 'Langzeittrends der mittleren Konzentrationen und von
Spitzenwerten von Ozon'
PROMET, 2001, im Druck