



# **Bodennahes Ozon -**

## Vorschläge zu einer Novellierung des Sommer-Smog-Gesetzes

Dieter Teufel  
Sabine Arnold  
Petra Bauer  
Thomas Wagner

im Auftrag von GREENPEACE Deutschland

**UPI-Bericht Nr. 48**

**Juni 1999**



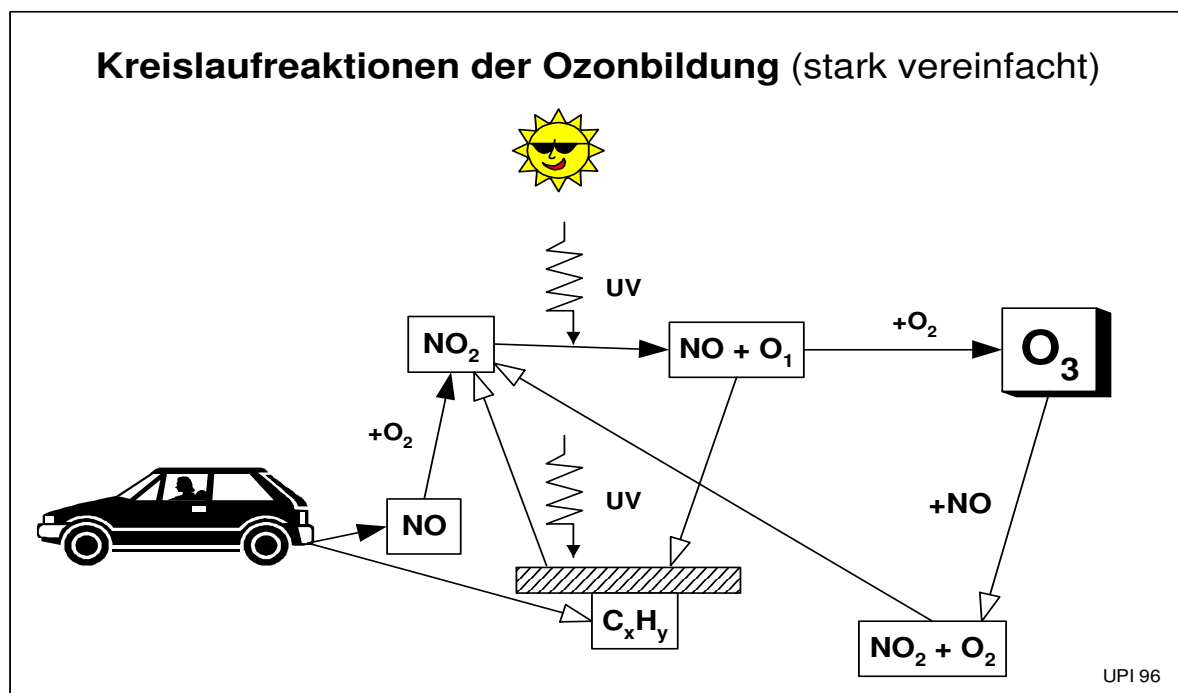
| <b>Inhalt</b>  | <b>Seite</b> |
|--|--------------|
| Einleitung .....   | 1            |
| Bildung von Ozon.....                                      | 2            |
| Herkunft der Vorläufersubstanzen im Sommer .....           | 2            |
| Zusammensetzung des PKW-Bestandes.....                     | 6            |
| Langfristiger Trend .....                                  | 11           |
| Sommersmog-Gesetz .....                                    | 13           |
| Reduktionsmöglichkeiten für Ozon.....                      | 14           |
| Wirksamkeit des Sommersmog-Gesetzes von 1995.....          | 19           |
| Reduktion der Vorläufersubstanzen .....                    | 23           |
| Vorschlag des BMU für eine neue Sommersmogverordnung ..... | 28           |
| Bewertung des BMU-Vorschlags.....                          | 31           |
| Langfristige Entwicklung: Prognose .....                   | 32           |
| Vorläufersubstanzen.....                                   | 32           |
| UV-Strahlung .....   | 33           |
| Hochdruckwetterlagen .....                                 | 37           |
| Greenpeace-Vorschlag für ein neues Sommersmoggesetz.....   | 38           |
| Wirksamkeit des Greenpeace-Vorschlags .....                | 41           |
| Zusammenfassung und Schlußfolgerungen.....                 | 44           |
| Tabellenverzeichnis.....                                   | 46           |

## **Einleitung**

Sommer-Smog ist eine Mischung chemisch aggressiver Photooxidantien, von denen Ozon, die dreiatomige Form des Sauerstoffs, das wichtigste ist. Neben Ozon besteht Sommer-Smog aus Wasserstoffperoxid, Salpetersäure, Peroxyacetylnitrat und anderen Peroxynitrat. Eine Zusammenfassung der neuesten Erkenntnisse über die medizinischen Folgen erhöhter Ozonkonzentrationen findet sich in UPI-Bericht 47, Juni 1999 <sup>1</sup>.

## Bildung von Ozon

Ozon bildet sich in chemischen Kreislaufprozessen unter Einwirkung der UV-Strahlung der Sonne aus Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen und Luftsauerstoff. Die Grafik „Kreislaufreaktionen der Ozonbildung“ zeigt stark vereinfacht die wichtigsten Reaktionen, die zur Bildung von Ozon führen.



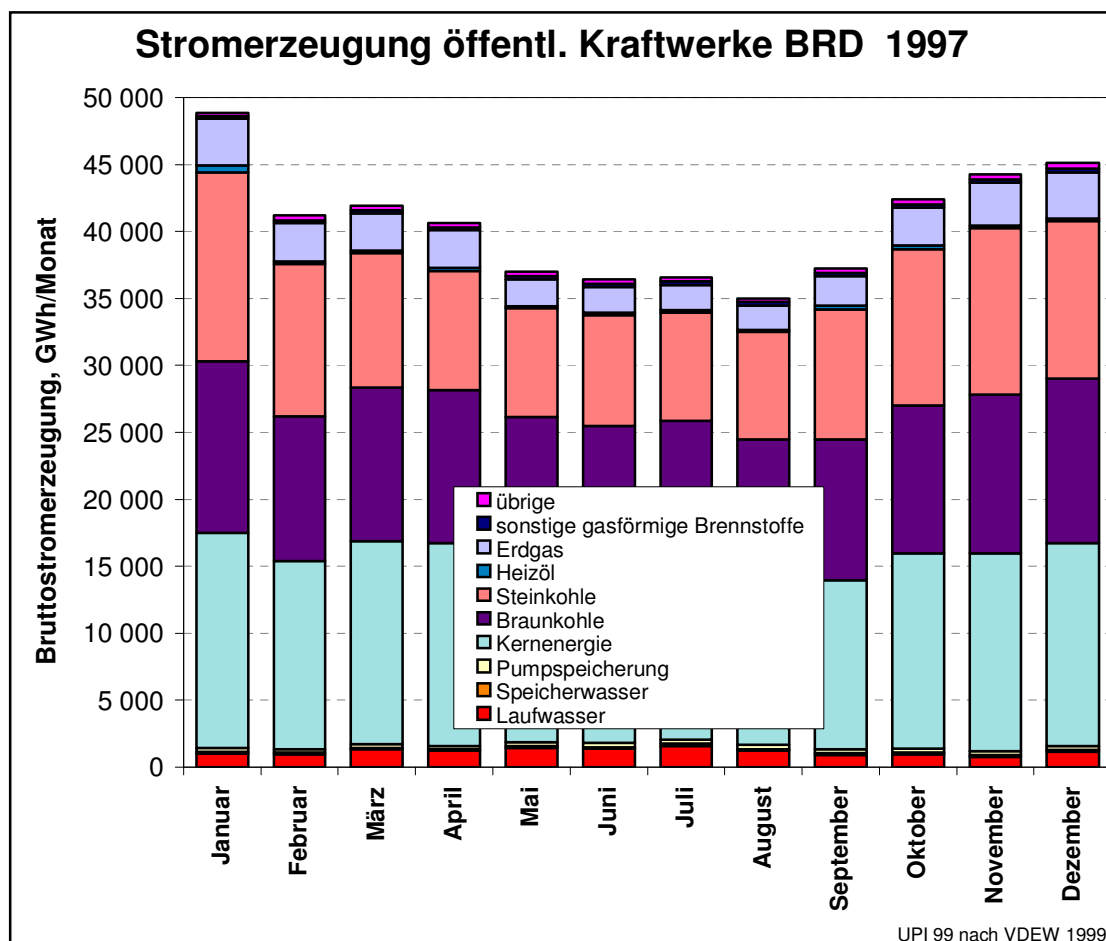
## Herkunft der Vorläufersubstanzen im Sommer

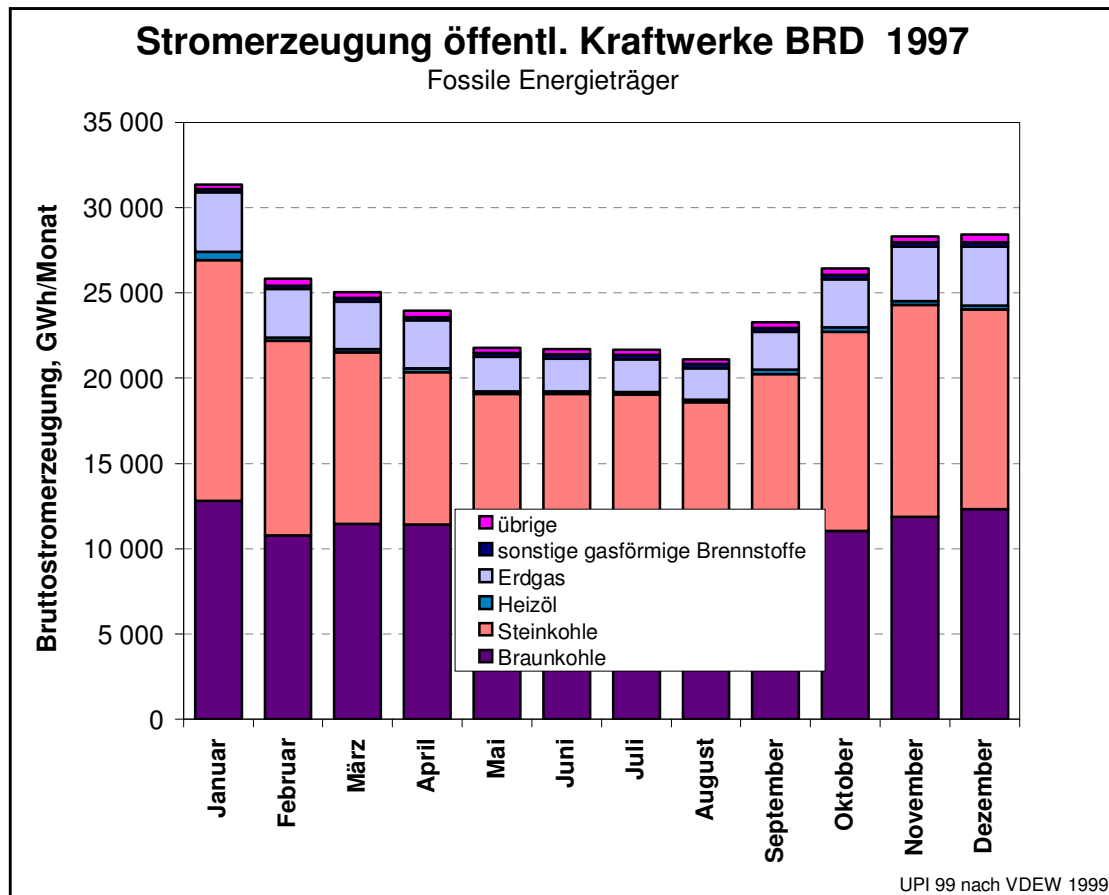
Bei der Beurteilung der Vorläuferemissionen für Sommersmog kann nicht mit der durchschnittlichen Jahresemission gerechnet werden, da im Sommer eine andere Emissionsverteilung vorliegt als im Winter. Tabelle 1 zeigt als Beispiel die Stromerzeugung in öffentlichen Kraftwerken, die Grafiken „Stromerzeugung öffentl. Kraftwerke BRD 1997“ und „Stromerzeugung öffentl. Kraftwerke BRD 1997, Fossile Energieträger“ den Jahresverlauf der gesamten Stromerzeugung und den Jahresverlauf der für die Emission von NO<sub>x</sub> und VOC relevanten Einsatz fossiler Energieträger.

<sup>1</sup> Teufel, D., Bauer, P., Voigt, S., Wagner, T., Neue medizinische Erkenntnisse über die gesundheitlichen Auswirkungen von Sommersmog, Berechnung der durch Ozon verursachten Todesfälle in der Bundesrepublik Deutschland, UPI-Bericht 47, Juni 1999

| GWh, netto            | Januar | Feb.  | März  | April | Mai   | Juni  | Juli  | Aug.  | Sept. | Okt.  | Nov.  | Dez.  | Jahr   |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Brutto-Erzeugung aus: |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
| Laufwasser            | 985    | 961   | 1306  | 1228  | 1439  | 1352  | 1570  | 1218  | 911   | 952   | 756   | 1116  | 13794  |
| Speicherwasser        | 154    | 124   | 138   | 107   | 140   | 137   | 164   | 113   | 110   | 146   | 125   | 150   | 1608   |
| Pumpspeicherung       | 264    | 242   | 270   | 219   | 293   | 297   | 320   | 311   | 288   | 300   | 295   | 294   | 3393   |
| Kernenergie           | 16110  | 14054 | 15177 | 15162 | 13321 | 12909 | 12862 | 12261 | 12652 | 14570 | 14771 | 15163 | 169112 |
| Braunkohle            | 12806  | 10795 | 11441 | 11430 | 10931 | 10799 | 10934 | 10558 | 10518 | 11034 | 11870 | 12316 | 135432 |
| Steinkohle            | 14116  | 11386 | 10061 | 8921  | 8143  | 8276  | 8107  | 8031  | 9721  | 11694 | 12432 | 11728 | 122616 |
| Heizöl                | 495    | 205   | 204   | 219   | 158   | 166   | 161   | 167   | 265   | 260   | 211   | 230   | 2741   |
| Erdgas                | 3496   | 2848  | 2762  | 2804  | 2019  | 1901  | 1904  | 1809  | 2202  | 2810  | 3213  | 3434  | 31202  |
| sons. gasf. Brennst.  | 182    | 204   | 226   | 222   | 223   | 248   | 259   | 265   | 244   | 248   | 229   | 259   | 2809   |
| übrige                | 252    | 391   | 343   | 347   | 320   | 326   | 303   | 261   | 333   | 382   | 358   | 443   | 4061   |
| gesamt                | 48860  | 41210 | 41928 | 40659 | 36987 | 36411 | 36584 | 34994 | 37246 | 42396 | 44260 | 45233 | 486768 |

Tabelle 1: Stromerzeugung in öffentlichen Kraftwerken im Jahresverlauf 1997, GWh netto, nach VDEW, 1998





Deshalb wurden zusätzlich die durchschnittlichen Tagesemissionen für die Monate Mai bis August berechnet. Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen die NO<sub>x</sub>- und VOC-Emissionen<sup>2</sup> der Bundesrepublik Deutschland, berechnet für das Jahr 1999. Die Grafiken „Verursacher der NO<sub>x</sub>-Emissionen, BRD 1999“ und „Verursacher der VOC-Emissionen, BRD 1999“ zeigen die prozentuale Verteilung der Herkunft der Emissionen.

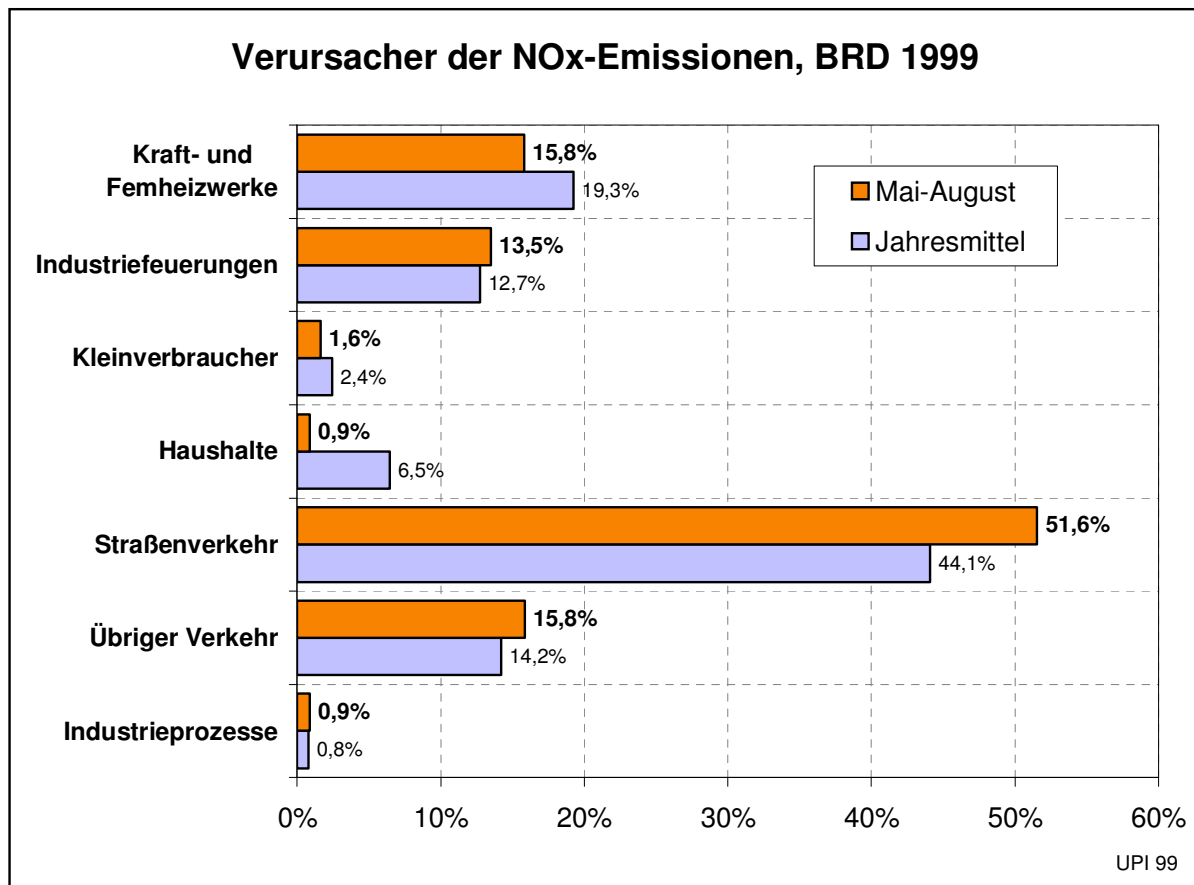
| NO <sub>x</sub>          | 1999        | Pro Sommertag |
|--------------------------|-------------|---------------|
|                          | kt/a        | t/d           |
| Industrieprozesse        | 13          | 35            |
| Übriger Verkehr          | 240         | 649           |
| Straßenverkehr           | 744         | 2 113         |
| Haushalte                | 109         | 35            |
| Kleinverbraucher         | 41          | 67            |
| Industriefeuerungen      | 215         | 552           |
| Kraft- und Fernheizwerke | 325         | 647           |
| <b>insgesamt</b>         | <b>1687</b> | <b>4099</b>   |

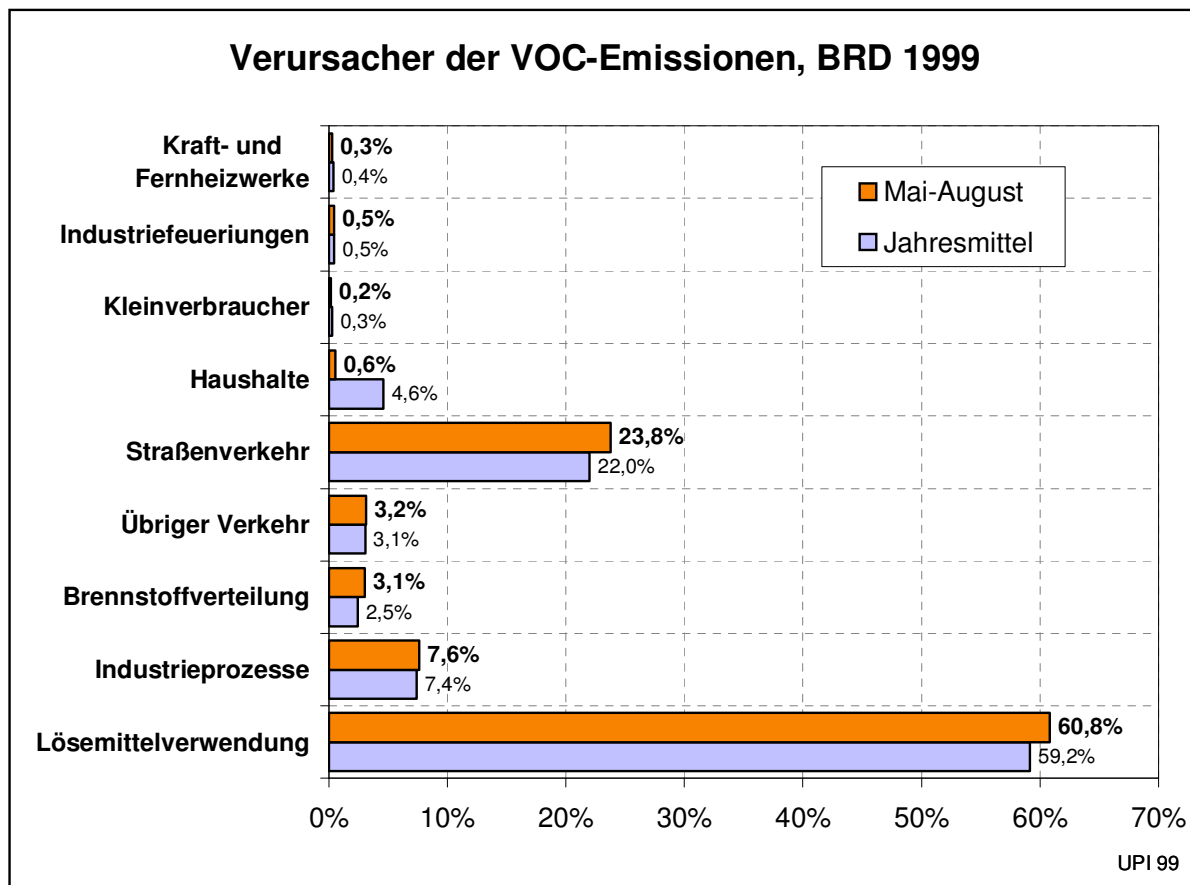
<sup>2</sup> VOC-Emissionen = Kohlenwasserstoffemissionen incl. Lösungsmittel (Volatile Organic Compounds)

Tabelle 2: NO<sub>x</sub>-Emissionen Bundesrepublik Deutschland, 1999

| VOC                      | 1999         | Pro Sommertag |
|--------------------------|--------------|---------------|
|                          | kt/a         | t/d           |
| Lösemittelverwendung     | 1002         | 2 710         |
| Industrieprozesse        | 126          | 341           |
| Brennstoffverteilung     | 42           | 136           |
| Übriger Verkehr          | 52           | 141           |
| Straßenverkehr           | 373          | 1 059         |
| Haushalte                | 78           | 25            |
| Kleinverbraucher         | 5            | 8             |
| Industriefeuerungen      | 8            | 21            |
| Kraft- und Fernheizwerke | 7            | 14            |
| <b>insgesamt</b>         | <b>1 693</b> | <b>4 455</b>  |

Tabelle 3: VOC-Emissionen Bundesrepublik Deutschland, 1999





Heute stammen während der Sommermonate 51,6 % der Stickoxid-Emissionen und 23,8% der VOC-Emissionen aus dem Verkehr.

## Zusammensetzung des PKW-Bestandes

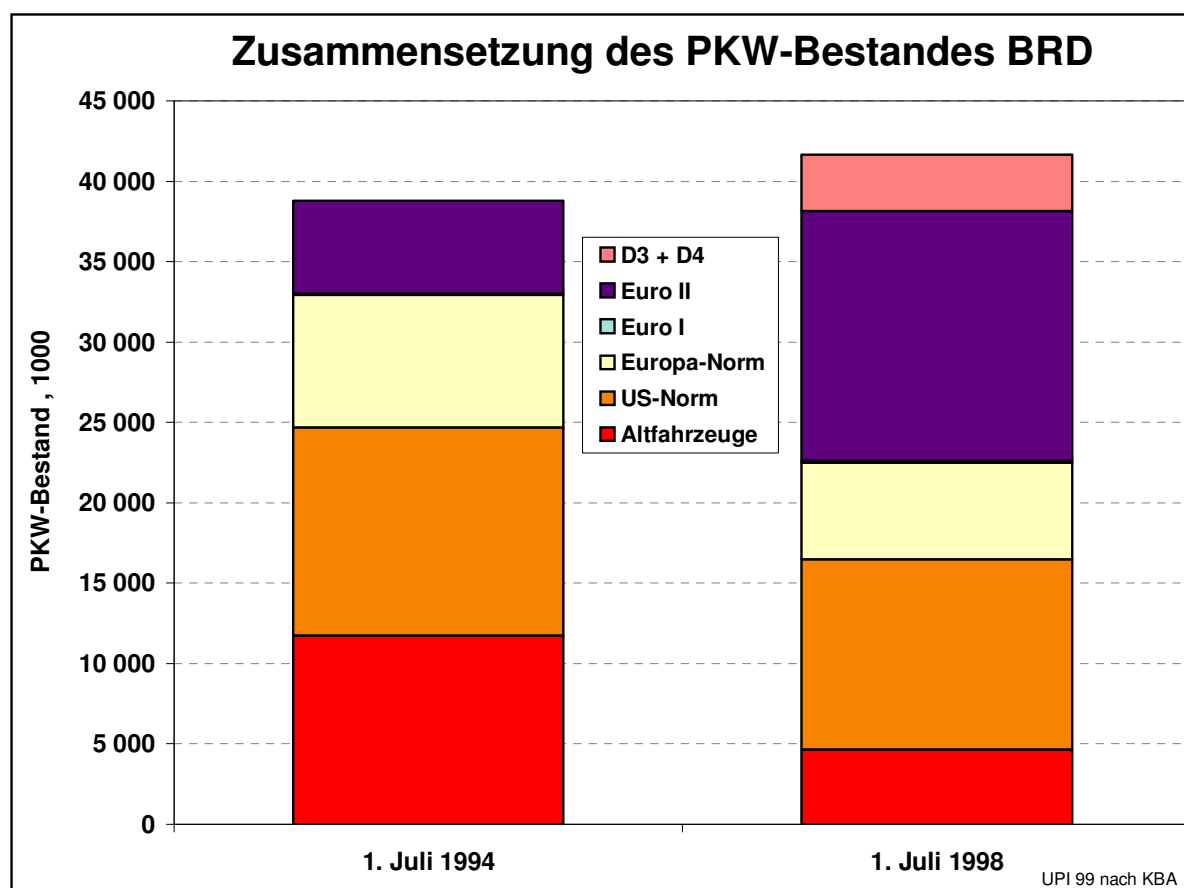
Tabelle 4 zeigt die Zusammensetzung des PKW-Bestandes in der Bundesrepublik Deutschland.

| PKW-Bestand, 1000          | 1. Juli 1994 | 1. Juli 1998 | Anlage/Richtlinie     |
|----------------------------|--------------|--------------|-----------------------|
| Otto alt                   | 11 326       | 4 391        |                       |
| US-Norm                    | 11 596       | 10 569       | XXIII STVO            |
| Europa-Norm                | 6 152        | 4 538        | XXV + XXIV STVO       |
| Euro I                     | 82           | 95           | 70/220/EWG-89/491/EWG |
| Euro II                    | 5 077        | 13 157       | 70/220/EWG-91/441/EWG |
| D3 + D4                    |              | 3 428        |                       |
| Otto schadstoffreduz. ges. | 23 081       | 31 787       |                       |
| Otto gesamt                | 34 407       | 36 178       |                       |
| Diesel alt                 | 417          | 276          |                       |
| US-Norm                    | 1 339        | 1 242        | XXIII STVO            |
| Europa-Norm                | 2 096        | 1 506        | XXV + XXIV STVO       |



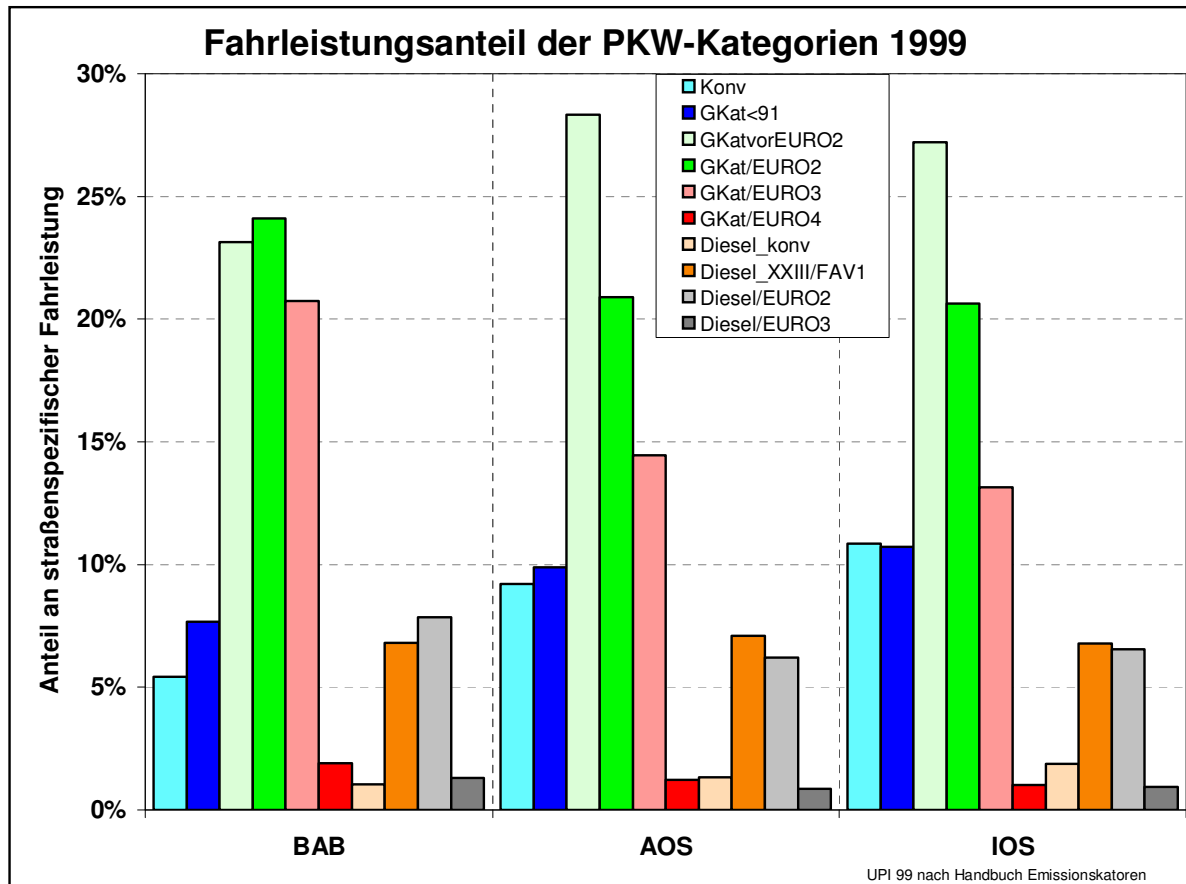
|                           |        |        |                       |
|---------------------------|--------|--------|-----------------------|
| Euro I                    | 5      | 5      | 70/220/EWG-89/491/EWG |
| Euro II                   | 725    | 2 381  | 70/220/EWG-91/441/EWG |
| D3 + D4                   |        | 76     |                       |
| Diesel schadstoffarm ges. | 4 941  | 5 211  |                       |
| Diesel gesamt             | 5 358  | 5 487  |                       |
| Altfahrzeuge, alle        | 11 743 | 4 667  | XXIII STVO            |
| US-Norm, alle             | 12 935 | 11 811 | XXV + XXIV STVO       |
| Europa-Norm, alle         | 8 248  | 6 044  | 70/220/EWG-89/491/EWG |
| Euro I, alle              | 87     | 100    | 70/220/EWG-91/441/EWG |
| Euro II, alle             | 5 802  | 15 538 |                       |
| D3 + D4, alle             | 0      | 3 504  |                       |
| schadstoffreduziert ges.  | 28 022 | 36 998 |                       |
| PKW gesamt                | 39 765 | 41 674 |                       |

Tabelle 4: PKW-Bestand der Bundesrepublik Deutschland 1994 und 1998, nach Kraftfahrtbundesamt 1999



Neben dem Bestand muß zur Berechnung der Emissionen der Anteil der Fahrzeugkategorien an der Fahrleistung berücksichtigt werden. Die Grafik „Fahrleistungsanteil der PKW-Konzepte 1999“ zeigt die Anteile auf den verschiedenen

Straßenkategorien. Die Grafiken „Emissionsfaktoren NO<sub>x</sub> 1999“ und „Emissionsfaktoren VOC 1999“ zeigen die Höhe der Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeugkategorien.



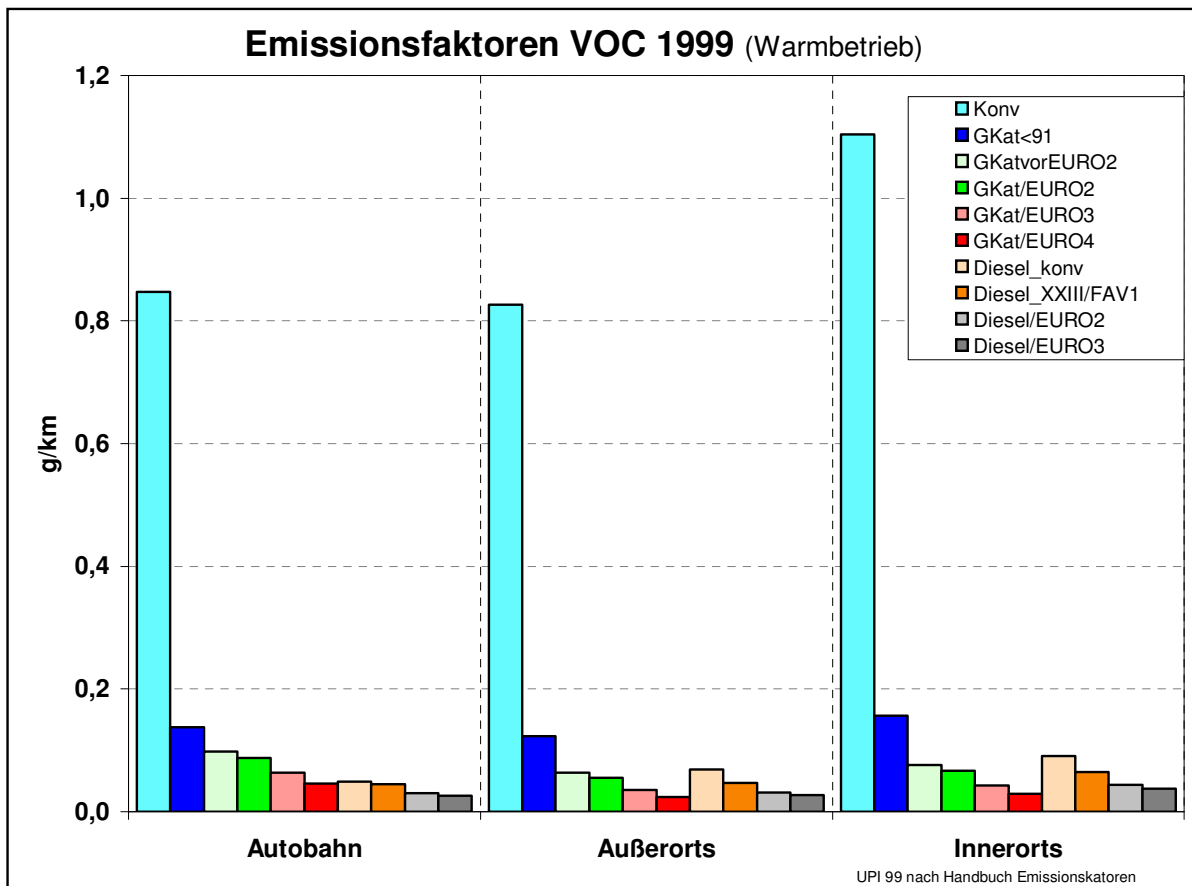
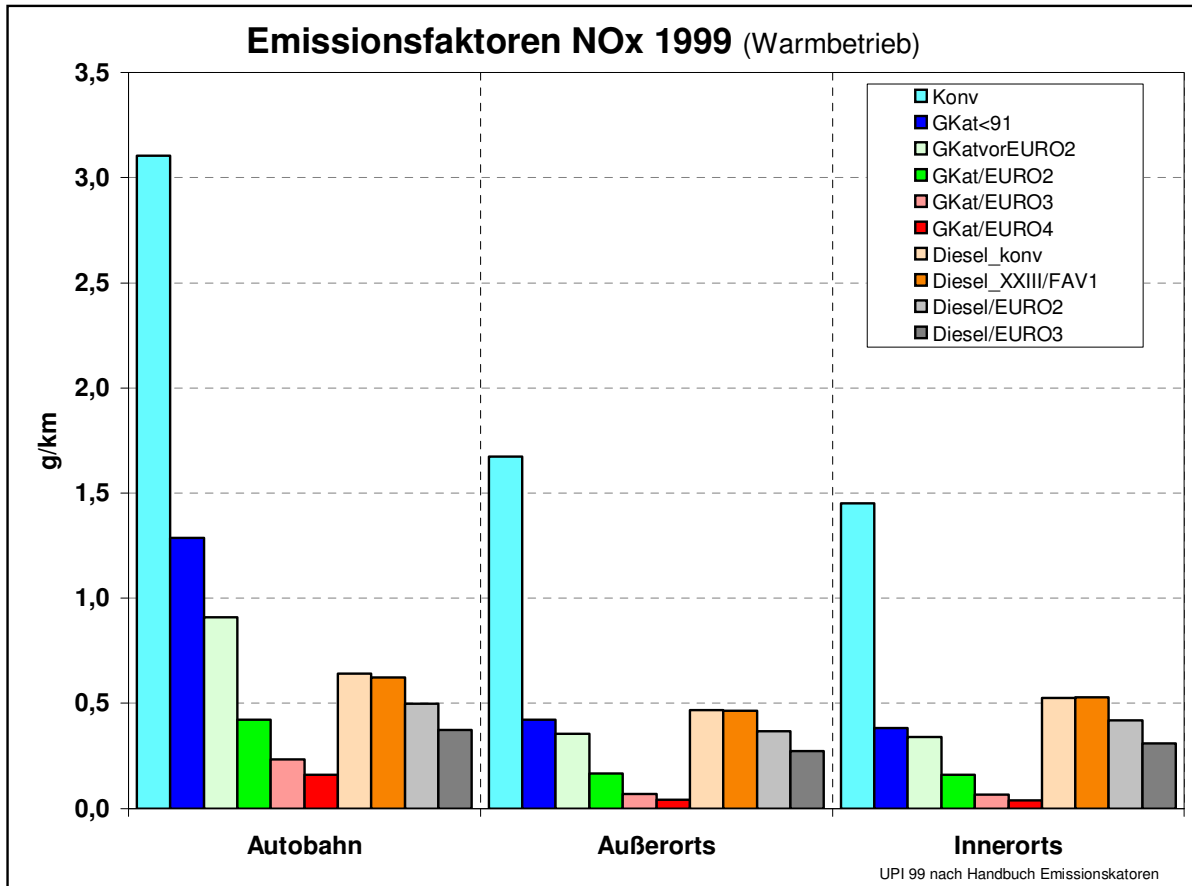
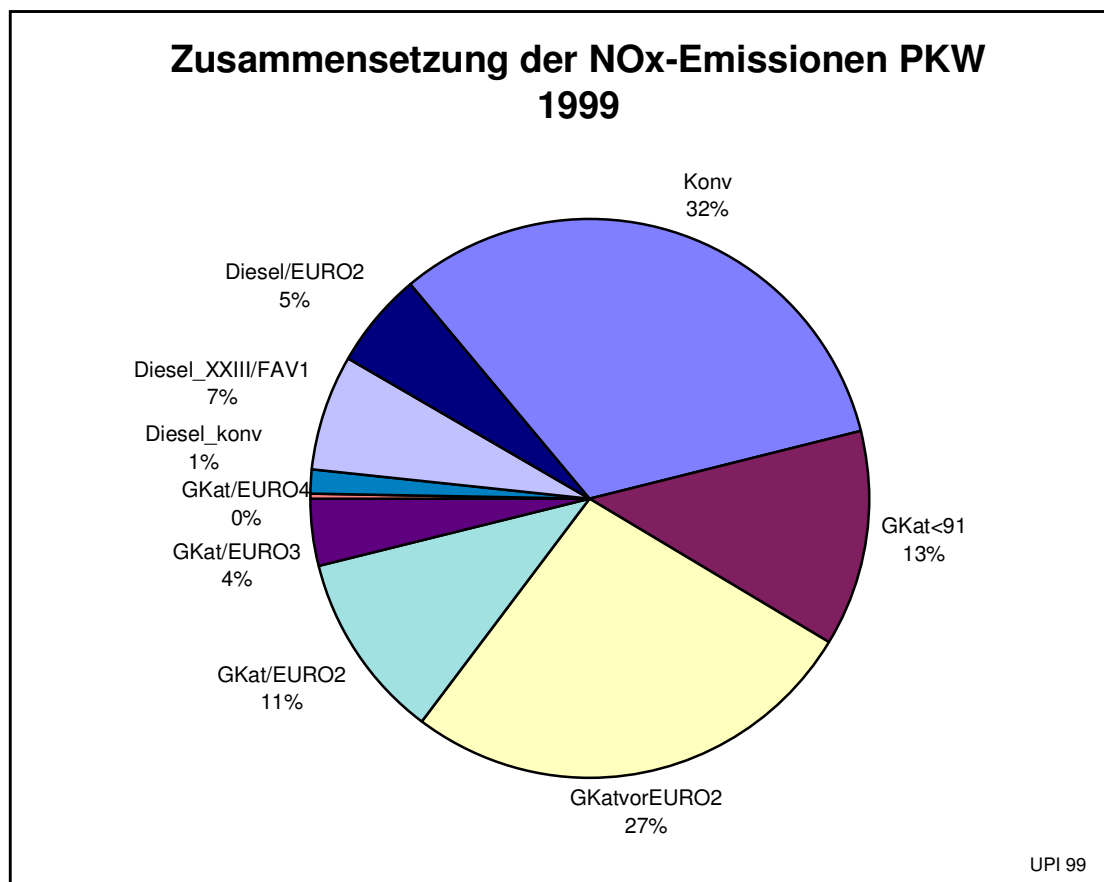
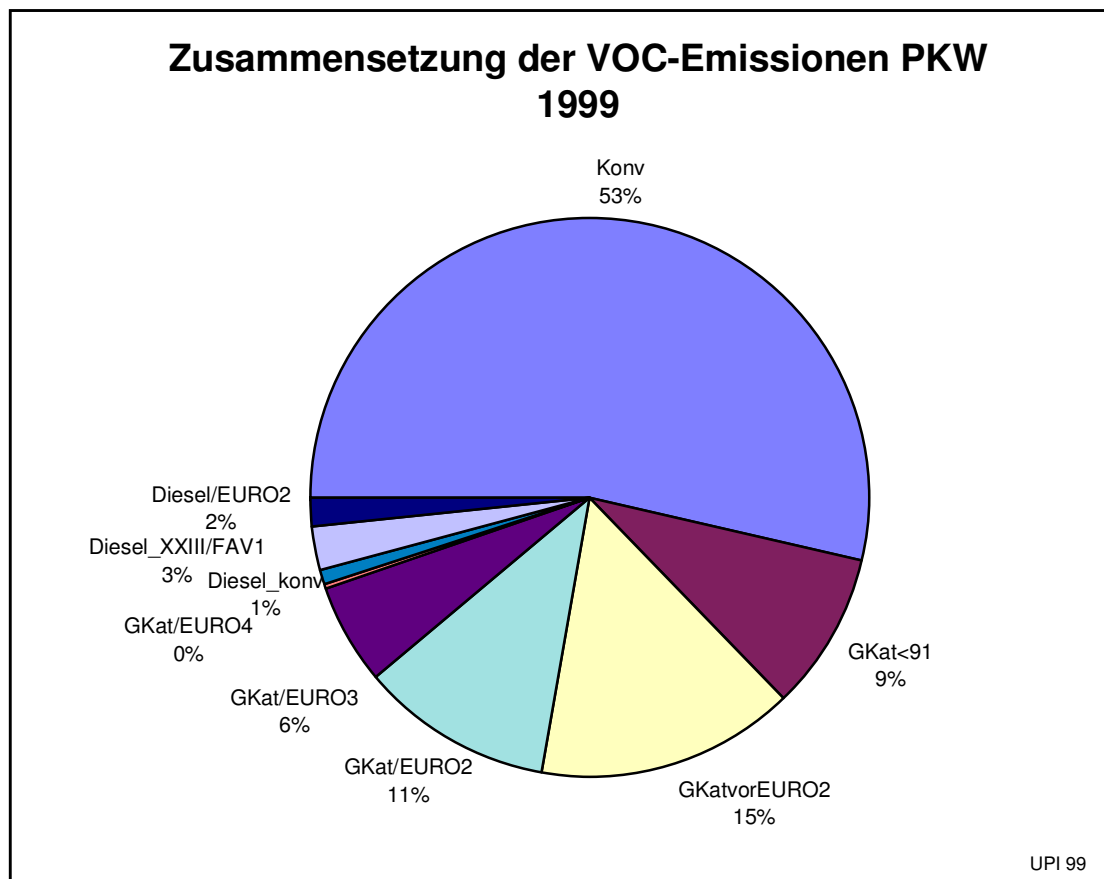


Tabelle 5 zeigt die Emissionen des PKW-Verkehrs, die Grafiken „Zusammensetzung der NOx-Emissionen PKW 1999“ und „Zusammensetzung der VOC-Emissionen PKW 1999“ die Anteile der einzelnen Fahrzeugkategorien an den Emissionen.

|                   | Gesamtfahrleistung PKW |        | NOx   |        | VOC   |        |
|-------------------|------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                   | 1999                   | Anteil | kt/a  | Anteil | kt/a  | Anteil |
| Konv              |                        | 8,18%  | 97,5  | 32,0%  | 157,5 | 53,5%  |
| GKat<91           |                        | 9,24%  | 38,2  | 12,5%  | 26,9  | 9,1%   |
| GKatvorEURO2      |                        | 25,92% | 81,1  | 26,6%  | 44,1  | 15,0%  |
| GKat/EURO2        |                        | 22,11% | 32,2  | 10,6%  | 33,0  | 11,2%  |
| GKat/EURO3        |                        | 16,58% | 12,2  | 4,0%   | 17,0  | 5,8%   |
| GKat/EURO4        |                        | 1,43%  | 0,7   | 0,2%   | 1,0   | 0,3%   |
| Diesel_konv       |                        | 1,37%  | 4,2   | 1,4%   | 1,9   | 0,7%   |
| Diesel_XXIII/FAV1 |                        | 6,88%  | 20,6  | 6,7%   | 7,4   | 2,5%   |
| Diesel/EURO2      |                        | 6,96%  | 16,6  | 5,4%   | 5,0   | 1,7%   |
| Diesel/EURO3      |                        | 1,05%  | 1,9   | 0,6%   | 0,6   | 0,2%   |
| PKW-Verkehr       |                        |        | 305,2 |        | 294,5 |        |

Tabelle 5: Emissionen des PKW-Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland 1999, UPI 99



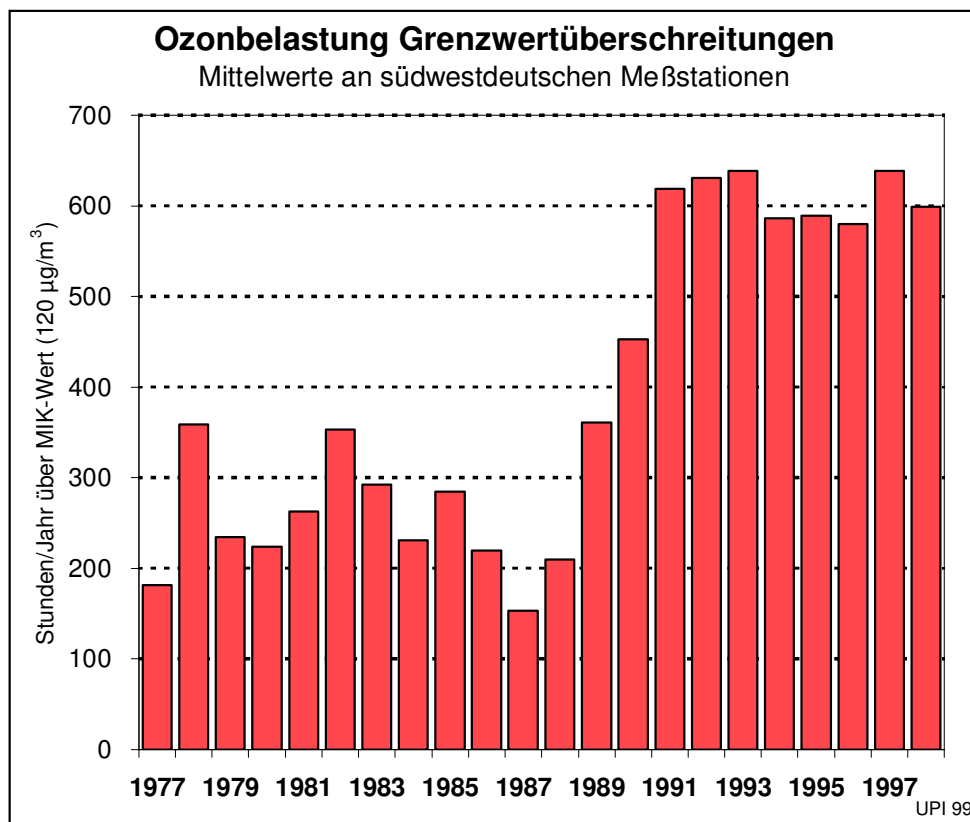
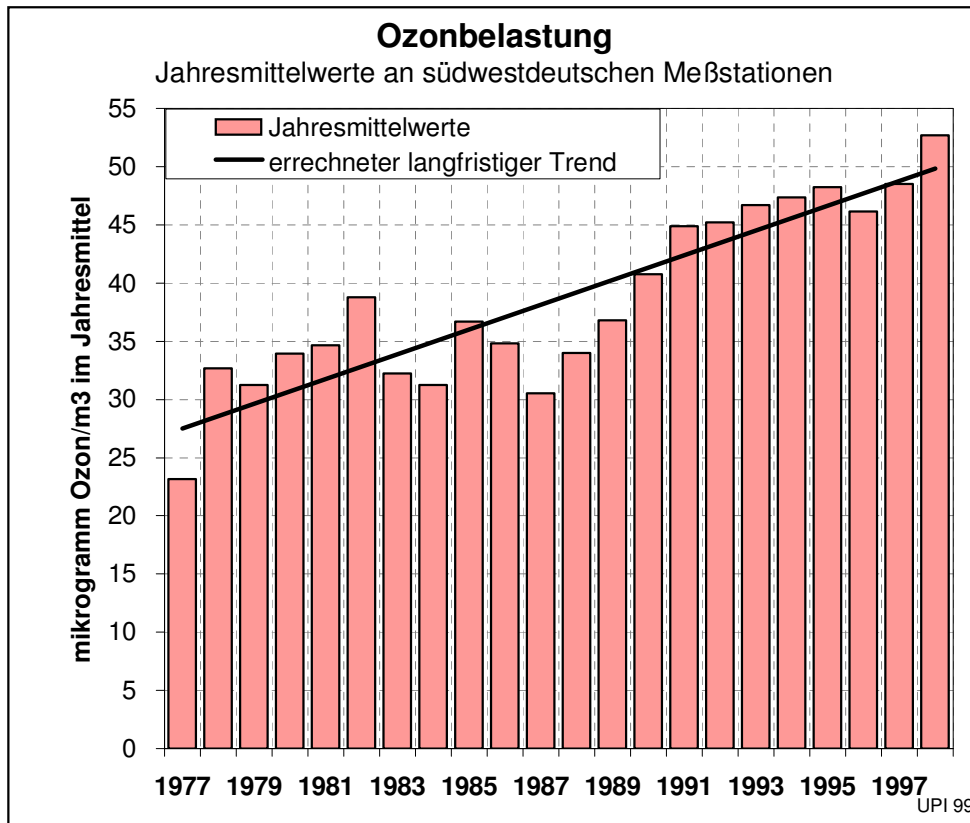


## Langfristiger Trend

Zur Analyse der langfristigen Entwicklung der Ozonbelastung werden vom UPI-Institut seit einigen Jahren südwestdeutsche Meßstationen ausgewertet. Insgesamt wurde aus ca. 9 Millionen Einzelmeßwerten ein Trend über einen Zeitraum von zwei Jahrzehnten berechnet. Die Berechnung ergibt im Durchschnitt einen zunehmenden Trend (siehe nachfolgende Grafik „Ozonbelastung, Jahresmittelwerte an südwestdeutschen Meßstationen“) <sup>3</sup>.

Die Grafik „Ozonbelastung, Grenzwertüberschreitungen, Mittelwerte an südwestdeutschen Meßstationen“ zeigt die Überschreitungszeit des VDI-Richtwertes für Ozon von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (identisch mit dem Schweizer Ozon-Grenzwert) an denselben Meßstellen. Die dargestellte Stundenzahl gibt dabei an, wieviel Stunden in dem betreffenden Jahr die Ozon-Konzentrationen im Durchschnitt der Meßstellen über dem Ozon-Richtwert von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lag.

<sup>3</sup> UPI-Bericht 26, "Ozon - Entwicklung der Sommersmogbelastung, Ursachen und Folgen", Juni 1993



Vergleiche mit Ozonmessungen im vorigen Jahrhundert zeigen, daß sich die Ozonkonzentrationen in der bodennahen Umgebungsluft in den letzten 100 Jahren im Jahresmittel etwa verdoppelt und die Ozonspitzenwerte in den Sommermonaten etwa verfünffacht haben.<sup>4</sup>

## Sommersmog-Gesetz

Zur Abwehr gesundheitsschädlicher Ozon-Konzentrationen in den Sommermonaten erließ die Hessische Landesregierung im Juli 1993 eine „Verordnung zur Bekämpfung der Luftverschmutzung durch Ozon“, in der ab Konzentrationen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Geschwindigkeitsbeschränkungen von 90 km/h auf Bundesautobahnen sowie 80 km/h auf sonstigen Straßen angeordnet wurden. Im Juli 1994 wurde der Auslösegrenzwert von 240 auf  $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$  herabgesetzt. Daraufhin kam es im Juli und August 1994 in Hessen dreimal zur Auslösung von Ozon-Alarm. Unter dem Druck der Hessischen Ozon-Verordnung legte die Bundesregierung im Jahr 1995 einen Entwurf für ein bundesweites Sommersmog-Gesetz vor.

In dieser Studie wird mit Hilfe des Datenbestandes der ca. 350 Ozon-Meßstationen in der Bundesrepublik Deutschland aus den letzten Jahren untersucht, welche Wirksamkeit das Sommersmog-Gesetz hat und wie es verbessert werden kann. Grundlage dieser Auswertung sind die an den Meßstellen der Bundesländer<sup>5</sup> und des Umweltbundesamtes in den Jahren 1990 bis 1995 erhobenen Ozon-Meßwerte. Diese wurden vom Umweltbundesamt einheitlich auf photometrische Kalibrierung und eine Normierung auf  $20^\circ\text{C}$  umgerechnet und dem UPI-Institut auf Datenträger zur Verfügung gestellt.

---

<sup>4</sup> Volz, A. and Kley, D., Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century, Nature, Vol. 332, p240ff, 17.3.1988

<sup>5</sup> Quelle der Meßdaten:

Baden-Württemberg: UMEG GmbH, Daimlerstraße 5b, 76185 Karlsruhe  
Bayern: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Rosenkavalierplatz 3, 81925 München  
Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz; Lentzeallee 12-14, 14195 Berlin  
Brandenburg: Landesumweltamt Brandenburg, Berliner Str. 21-25, 14467 Potsdam  
Bremen: Senator für Umweltschutz und Stadtentwicklung, Am Wall 177, 28196 Bremen  
Hamburg: Umweltbehörde Hamburg, Marckmannstraße 129b 20539 Hamburg  
Hessen: Hessische Landesanstalt für Umwelt, Rheingaustraße 186, 65203 Wiesbaden  
Mecklenburg-Vorpommern: Landesamt für Umwelt und Natur, Boldeucker Weg 3, 18276 Güstrow-Gülzow  
Nordrhein-Westfalen: Landesumweltamt, Wallneyer Str. 6, 45133 Essen-Bredeney  
Niedersachsen: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Göttinger Str. 14, 30449 Hannover  
Rheinland-Pfalz: Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht, Rheinallée 97 - 101, 55118 Mainz  
Saarland: Staatliches Institut für Gesundheit und Umwelt, Malstatter Str. 17; 66117 Saarbrücken  
Sachsen: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wasastr. 50, 01445 Radebeul  
Sachsen-Anhalt: Landesamt für Umweltschutz, Reideburger Str. 47 - 49, 06116 Halle  
Schleswig-Holstein: Gewerbeaufsichtsamt Itzehoe, Ölixdorfer Str. 2, 25524 Itzehoe  
Thüringen: Thüringér Landesanstalt für Umwelt, Prüssing Str. 25, 07745 Jena  
Umweltbundesamt, Bismarckplatz I, 14193 Berlin-Grünwald  
Umweltbundesamt Pilotstation Frankfurt, Frankfurter Str. 135, 63067 Offenbach

## Reduktionsmöglichkeiten für Ozon

Ein häufig kontrovers beurteilter Sachverhalt im Vorfeld des Sommersmog-Gesetzes war die Frage, ob und wie stark die sommerlichen Ozon-Konzentrationen durch Reduktion der Vorläufersubstanzen Stickoxide und Kohlenwasserstoffe reduziert werden können. Auf der Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit des Deutschen Bundestages zum Sommersmog-Gesetz im Juni 1995 behauptete z.B. der Direktor des Meteorologischen Instituts der Universität Karlsruhe, Prof. Dr. Fiedler, als meteorologischer Sachverständiger, die normalen, verkehrsbedingten Reduktionen der Vorläufersubstanzen an Wochenenden hätten keinen signifikanten Einfluß auf die Ozon-Konzentrationen. Daraus sei ableitbar, daß Maßnahmen wie Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Fahrverbote keinen Einfluß auf die Ozon-Konzentrationen hätten.<sup>6</sup>

Eine Aufschlüsselung aller in den letzten 6 Jahren gemessenen Ozon-Werte an allen Ozon-Meßstationen der Bundesrepublik Deutschland ergibt folgendes Bild:

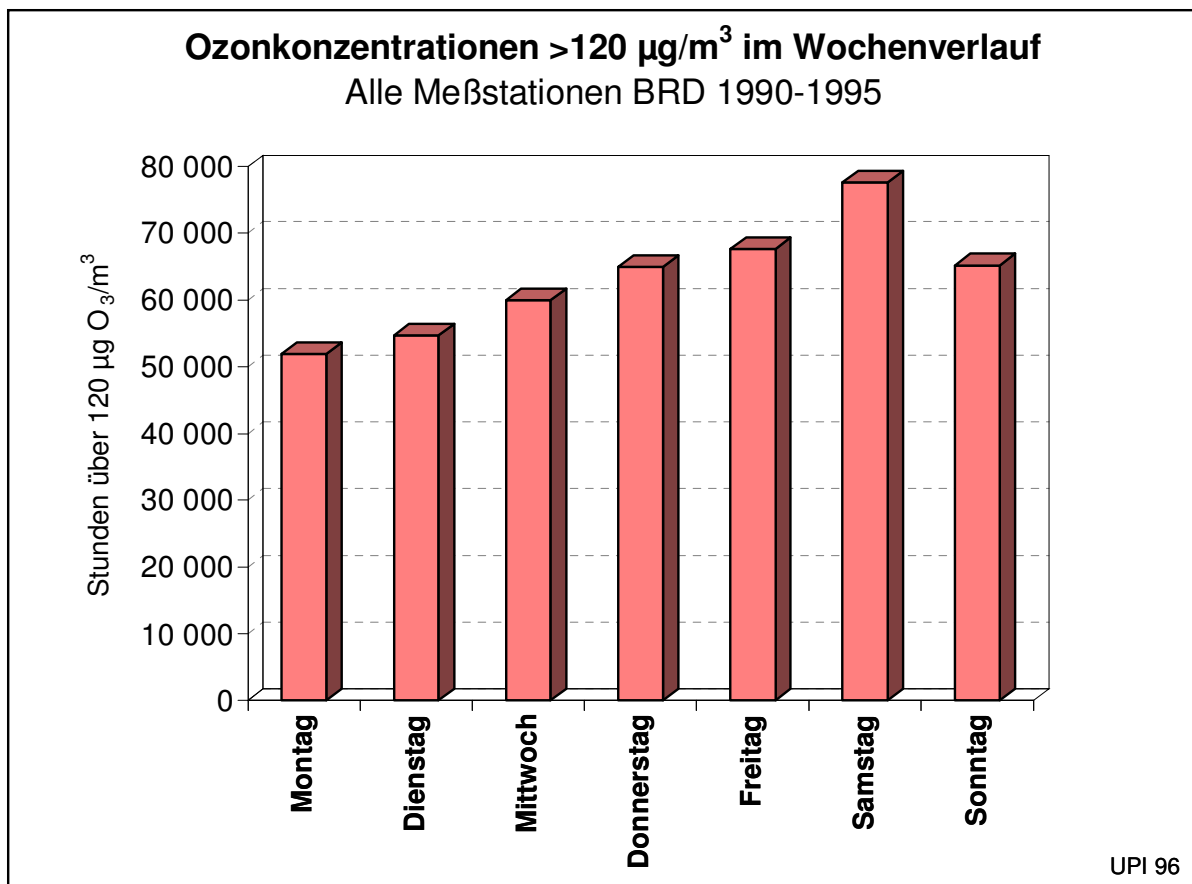
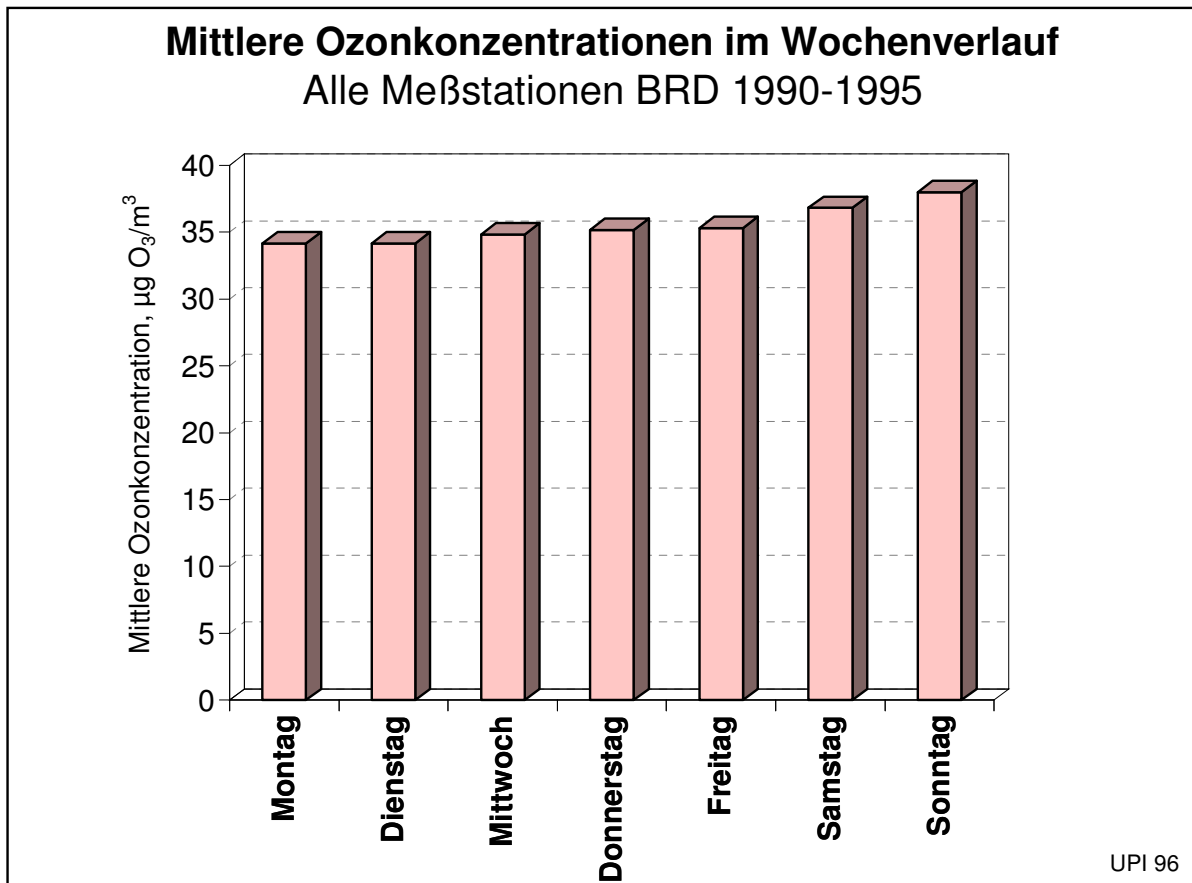
Während die durchschnittlichen Ozon-Konzentrationen nur einen geringen Einfluß des Wochentages zeigen (Grafik „Mittlere Ozon-Konzentrationen im Wochenverlauf“), steigt die Abhängigkeit vom Wochentag mit zunehmender Konzentration der Ozon-Meßwerte deutlich an. (Tabelle 6; Grafiken „Ozon-Konzentrationen >120 µg/m<sup>3</sup> im Wochenverlauf“ und folgende). Je höher die Ozon-Konzentrationen sind, umso stärker steigen sie im Wochenverlauf von Montag bis Freitag (kontinuierlich hohe Emission der Vorläufersubstanzen) an und erreichen am Samstag ihr Maximum. Danach fallen sie am Sonntag und Montag wieder ab, um danach wieder erneut anzusteigen. Diese Änderungen der Ozon-Konzentrationen im Wochenverlauf sind aufgrund der hohen Zahl der Meßwerte statistisch hoch signifikant.

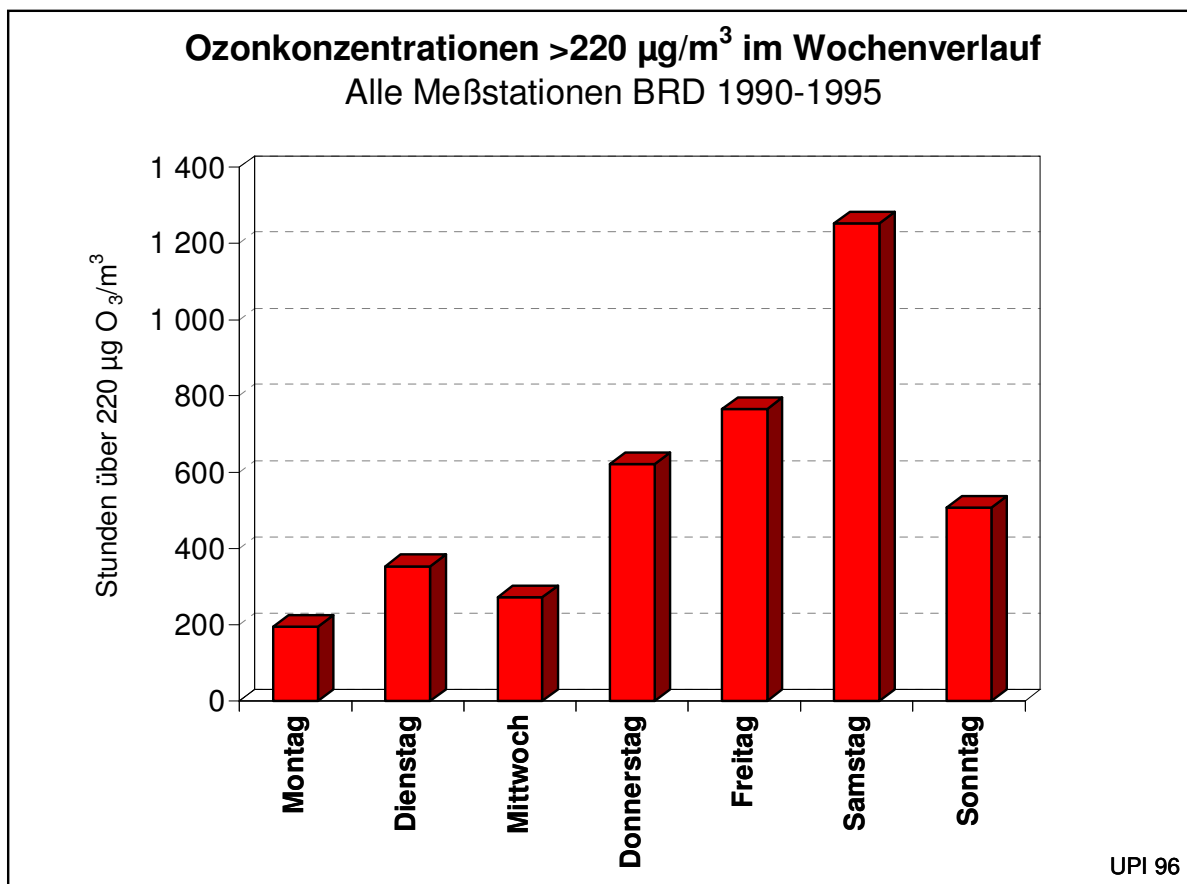
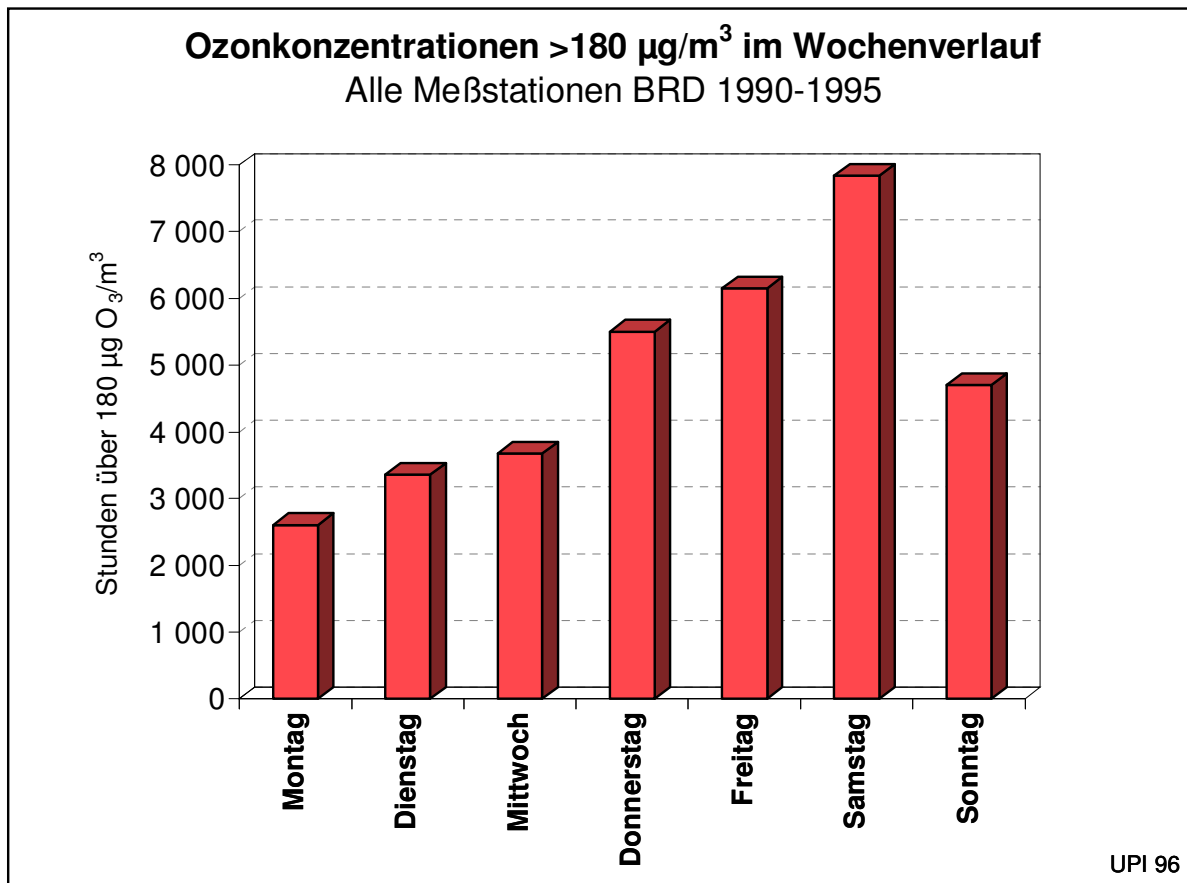
| 1990-1995                    | Montag | Dienstag | Mittwoch | Donnerstag | Freitag | Samstag | Sonntag |
|------------------------------|--------|----------|----------|------------|---------|---------|---------|
| Mittelwert µg/m <sup>3</sup> | 34,2   | 34,2     | 34,8     | 35,2       | 35,3    | 36,8    | 38,0    |
| Überschreitung 120 µg, Std   | 51 892 | 54 698   | 60 039   | 64 956     | 67 639  | 77 645  | 65 204  |
| Überschreitung 180 µg, Std   | 2 608  | 3 365    | 3 681    | 5 500      | 6 154   | 7 839   | 4 701   |
| Überschreitung 220 µg, Std   | 195    | 354      | 272      | 622        | 766     | 1 252   | 508     |

Tabelle 6: Wochenverlauf der Ozonmittelwerte und Überschreitungshäufigkeiten von Ozonkonzentrationen als Summe aller Meßstationen im Bundesgebiet in den Jahren 1990 bis 1995

<sup>6</sup> Deutscher Bundestag, Ausschuß für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, stenografisches Protokoll der 14.Sitzung, 19. Juni 1995



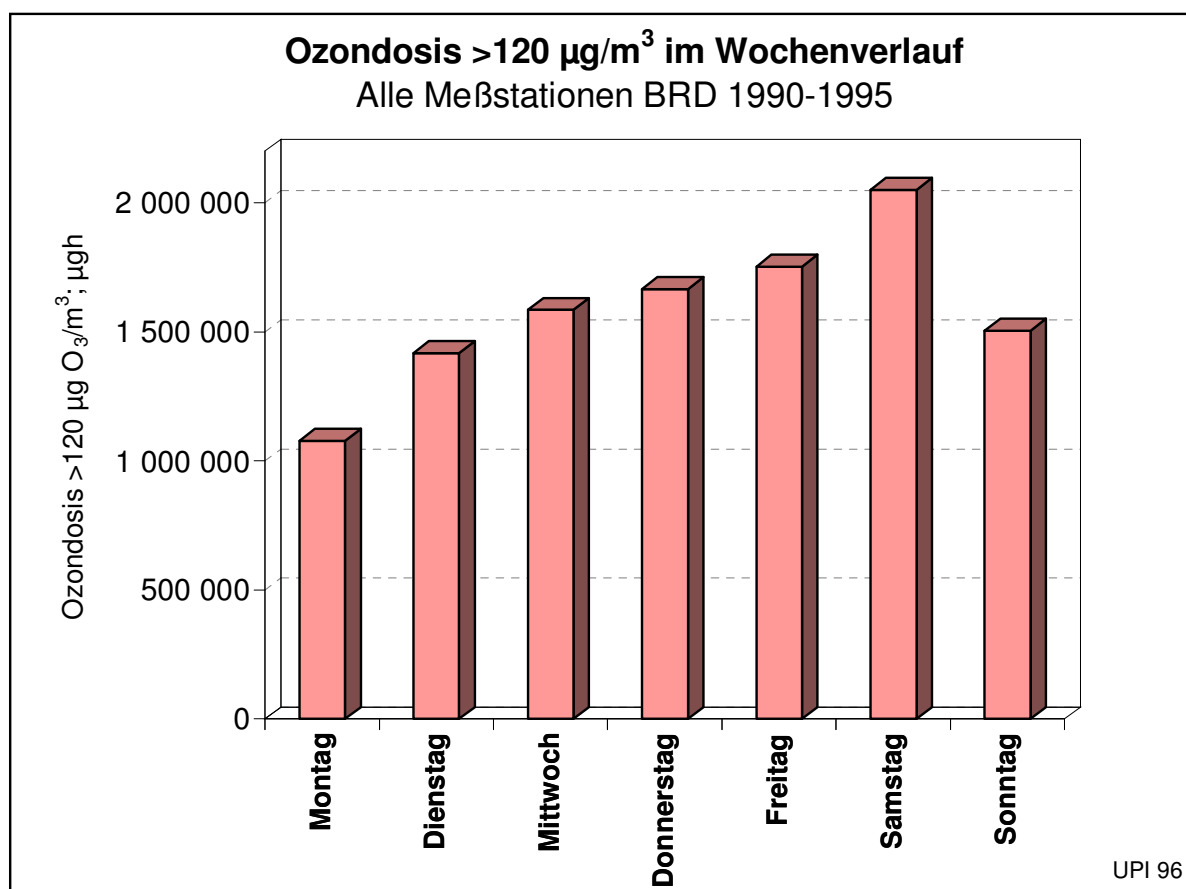




Noch deutlicher wird die Abhängigkeit der Ozon-Konzentrationen vom Wochenverlauf, wenn statt der Überschreitungshäufigkeit bestimmter Ozonkonzentrationen das Integral der Ozondosis oberhalb bestimmter Ozonkonzentrationen betrachtet wird.

Diese Ozon-Grenzwertüberschreitungs-Dosis ist gleichzeitig das beste Maß für die Ozon-Spitzenbelastung und deren medizinische Relevanz. Die Ozondosis besitzt die Einheit  $\mu\text{g} \cdot \text{Stunden}$  oder  $\mu\text{gh}$  (z.B.  $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sie wird so berechnet, daß für jede Meßstelle bei einer Überschreitung z.B. des Ozonrichtwertes von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  die Differenz zwischen dem Meßwert und  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit der Stundenzahl der Grenzwertüberschreitung multipliziert und das Ergebnis über ein Jahr oder länger aufsummiert wird.

Die Grafik „Ozondosis  $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Wochenverlauf“ zeigt beispielhaft den Verlauf der Ozondosis  $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Tabelle 7 die Wochentagswerte der mittleren Ozonkonzentrationen und der Ozondosen in den Jahren 1990 bis 1995.



| 1990-1995           | Montag    | Dienstag  | Mittwoch  | Donnerstag | Freitag   | Samstag   | Sonntag   |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Ozondosis > 120 µgh | 1 076 722 | 1 417 488 | 1 584 626 | 1 665 783  | 1 751 813 | 2 050 626 | 1 503 627 |
| Ozondosis > 180 µgh | 40 128    | 88 520    | 81 511    | 104 479    | 103 755   | 150 063   | 89 530    |
| Ozondosis > 220 µgh | 2 689     | 10 267    | 8 439     | 12 332     | 9 671     | 19 124    | 7 463     |

Tabelle 7: Wochenverlauf der Ozondosen; Durchschnitt aller Meßstationen im Bundesgebiet in den Jahren 1990 bis 1995

Da sich Werktagen und Wochenendtagen weder im Wettergeschehen noch im Strahlungshaushalt der Atmosphäre unterscheiden, können die Unterschiede in den Ozonbelastungen ihre Ursache nur in einer Änderung der Emissionsbedingungen der Vorläufersubstanzen haben.

Tabelle 8 zeigt die Höhe der Emissionen der Vorläufersubstanzen im Vergleich zwischen Werktagen und Wochenendtagen.

|                 | Emission an einem Werktag | durchschnittlichen Wochenendtag |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------|
| NO <sub>x</sub> | 100%                      | 70%                             |
| VOC             | 100%                      | 79%                             |
| CO              | 100%                      | 84%                             |
| CO <sub>2</sub> | 100%                      | 82%                             |

Tabelle 8: Verhältnis der Emissionen der Vorläufersubstanzen Stickoxide, VOC und Kohlenmonoxid in der Bundesrepublik Deutschland; Werktagen und Wochenendtagen

Bedingt durch das geringere Verkehrsaufkommen und das Fehlen des LKW-Verkehrs an Wochenenden liegen die Gesamtemissionen an NO<sub>x</sub> um 30%, an VOC-Emissionen um 21% und an Kohlenmonoxid um 16% niedriger als an Werktagen.

Wie die Grafiken über den Wochenverlauf der Ozon-Konzentrationen zeigen, bauen sich die Ozonkonzentrationen durch die erhöhten Werktags-Emissionen der Vorläufersubstanzen während der Woche von Montag bis Samstag auf und erreichen am Samstag ihr Maximum. Die verringerten Emissionen am Wochenende erreichen am Samstag noch keine Wirkung. Erst am Sonntag liegen die Ozon-Spitzen niedriger und erreichen einen Tag nach dem Wochenende am Montag ihr Minimum.

Auf diesem Wege läßt sich errechnen, wie stark die Ozon-Konzentrationen durch Verringerung der Vorläufersubstanzen gesenkt werden können.

Aus dem Meßkollektiv der letzten 6 Jahre ergibt sich, daß die Ozonwerte am Montag (ein bis zwei Tage nach der verringerten Emission der Vorläufersubstanzen am Wochenende)

im Vergleich zum Freitag (letzter Tag der 5 Werkzeuge mit hohen Emissionen der Vorläufer-substanzen) um folgende Werte niedriger liegen:

|   | Montag zu Freitag |
|---|-------------------|
| Mittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$       | -3,3%             |
| Ozondosis >120 $\mu\text{gh}/\text{Jahr}$ | -38,5%            |
| Ozondosis >180 $\mu\text{gh}/\text{Jahr}$ | -61,3%            |
| Ozondosis >220 $\mu\text{gh}/\text{Jahr}$ | -72,2%            |

Tabelle 9: Reduktion der Ozonwerte am Montag im Vergleich zum Freitag; alle Meßwerte 1990-1995

Daraus ergeben sich die in Tabelle 10 errechneten Reduktionen der Ozon-Werte ein bis zwei Tage nach einer Reduktion der Vorläufersubstanzen um 10%.

Eine Reduktion der Vorläufersubstanzen  $\text{NO}_x$  und VOC um jeweils 10% reduziert

| die                           | um      |
|-------------------------------|---------|
| Ozon-Mittelwerte              | -1,3 %  |
| Ozondosis $\mu\text{gh} >120$ | -15,2%  |
| Ozondosis $\mu\text{gh} >180$ | -24,1 % |
| Ozondosis $\mu\text{gh} >220$ | -28,4 % |

Tabelle 10: Ozon-Reduktion durch eine Verringerung der Vorläufersubstanzen um 10% nach einer Zeitverzögerung von ein bis zwei Tagen (UPI 96, errechnet aus allen Ozonmeßwerten in der BRD 1990-1995)

## Wirksamkeit des Sommersmog-Gesetzes von 1995

Das Sommersmog-Gesetz sieht vor, daß Ozon-Alarm in einem Bundesland dann ausgelöst wird, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

1. Ein Grenzwert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nach der neuen Berechnung muß an mindestens drei Meßstellen überschritten sein.
2. Die Meßstellen müssen mindestens 50 km auseinander liegen und dürfen nicht weiter als 250 km voneinander entfernt sein.
3. In dem betroffenen Bundesland muß an mindestens zwei Meßstellen der Grenzwert überschritten sein. Im Falle der Länder Berlin, Bremen und Hamburg genügt eine Meßstelle mit Grenzwert-Überschreitung.
4. Aufgrund der meteorologischen Situation müssen Ozon-Konzentrationen über  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auch am nächsten Tag zu erwarten sein.

Sind alle diese Kriterien erfüllt, wird in dem betreffenden Bundesland am nächsten Tag Ozon-Alarm mit Fahrverboten ausgelöst. Die durch das Fahrverbot bewirkte Reduzierung der Vorläufersubstanzen wirkt jedoch, wie aus der Analyse der Ozon-Situationen im letzten Kapitel ersichtlich, erst ein bis zwei Tage später. Das Sommersmog-Gesetz der Bundesregierung kann also, unabhängig von seiner quantitativen Wirkung, aus prinzipiellen Gründen die Ozon-Konzentration erst zwei bis drei Tage nach Auftreten der Ozon-Spitzenwerte über  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beeinflussen.

Mit Hilfe des Datenmaterials aller Ozon-Meßstationen der letzten Jahre wurde untersucht, wie häufig die oben beschriebenen Bedingungen des Sommersmog-Gesetzes zur Auslösung von Ozon-Alarm in den einzelnen Bundesländern vorlagen.

Tabelle 11 zeigt das Ergebnis der Auswertungen als Tage mit Ozon-Alarm in den einzelnen Bundesländern. Obwohl zwischen 1990 und 1995 der Grenzwert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  insgesamt 496 mal überschritten wurde und dabei Spitzenkonzentrationen bis  $336 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen wurden, wäre nach dem Sommersmog-Gesetz der Bundesregierung in diesem Zeitraum nur für 1 Tag (9.8.1992) und beschränkt auf zwei Bundesländer Ozon-Alarm ausgelöst worden.

|                        | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | Summe 1990-95 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|---------------|
| Baden-Württemberg      | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1             |
| Bayern                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Hessen                 | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1             |
| Rheinland-Pfalz        | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| NRW                    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Niedersachsen          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Saarland               | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Schleswig-Holstein     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Bremen                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Berlin                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Hamburg                | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Thüringen              | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Sachsen                | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Sachsen-Anhalt         | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Brandenburg            | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |
| Mecklenburg-Vorpommern | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0             |

Tabelle 11: Zahl und Verteilung der Tage, an denen die Kriterien zur Auslösung des Ozon-Alerts nach dem Sommersmog-Gesetz erfüllt gewesen wären (Auswertung aller Meßwerte aller Meßstationen der Bundesrepublik Deutschland)

Als Maß für die Ozon-Spitzenbelastung kann die Ozon-Grenzwertüberschreitungs-Dosis berechnet werden. Diese besitzt die Einheit  $\mu\text{gh}$ . Sie wird so berechnet, daß für jede Meßstelle bei einer Überschreitung des Gesundheitsgrenzwertes der EU in Höhe von  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  die Differenz zwischen dem Meßwert und  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit der Stundenzahl der Grenzwertüberschreitung multipliziert und das Ergebnis über ein Jahr oder länger aufsummiert wird. Der in der Einheit  $\mu\text{gh}$  erhaltene Wert ist einer Ozon-Dosis oberhalb des EU-Grenzwertes gleichzusetzen, die als Maß für die Schädlichkeit einer Ozon-Belastung verwendet werden kann. Im Zeitraum der letzten 6 Jahre betrug die Ozon-Dosis (größer  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) im Durchschnitt aller Meßstationen der Bundesrepublik Deutschland 63 505  $\mu\text{gh}$ , in Baden-Württemberg 86 597  $\mu\text{gh}$  und in Hessen 59 139  $\mu\text{gh}$ . (siehe Tabelle 13 und Tabelle 15)

| <b>Ozondosis &gt;110 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> | <b>1990</b> | <b>1991</b> | <b>1992</b> | <b>1993</b> | <b>1994</b> | <b>1995</b> | <b>Su. 1990-95</b> |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| Durchschnitt Bundesgebiet                                    | 10 607      | 10 607      | 11 304      | 7 638       | 12 171      | 11 178      | 63 505             |
| Baden-Württemberg  | 11 935      | 17 718      | 16 677      | 12 652      | 13 652      | 13 964      | 86 597             |
| Bayern   | 4 869       | 3 660       | 4 997       | 5 286       |             | 7 742       | 26 554             |
| Hessen   | 5 929       | 3 349       | 10 473      | 10 195      | 13 991      | 15 202      | 59 139             |
| Rheinland-Pfalz  | 14 857      | 10 793      | 8 987       | 6 081       | 11 713      | 13 872      | 66 304             |
| NRW  | 12 777      | 5 276       | 11 317      | 6 175       | 12 539      | 12 763      | 60 846             |
| Niedersachsen  | 9 842       | 5 447       | 15 238      | 5 555       | 14 909      | 11 840      | 62 831             |
| Saarland   | 11 250      | 3 451       | 3 826       | 3 697       | 8 601       | 10 662      | 41 487             |
| Schleswig-Holstein   | 4 822       | 2 088       | 5 261       | 2 222       | 6 952       | 5 329       | 26 673             |
| Bremen   | 2 867       | 585         | 3 002       | 2 000       | 3 003       | 3 789       | 15 246             |
| Berlin   | 7 404       | 7 893       | 15 268      | 6 715       | 11 145      | 9 870       | 58 295             |
| Hamburg  | 1 838       | 292         | 580         | 1 469       | 7 682       | 5 555       | 17 416             |
| Thüringen  |             | 4 092       | 18 035      | 7 148       | 8 267       | 11 282      | 48 823             |
| Sachsen  |             | 2 147       | 5 522       | 5 308       | 8 727       | 6 563       | 28 268             |
| Sachsen-Anhalt   |             | 4 235       | 9 053       | 2 721       | 12 955      | 7 303       | 36 266             |
| Brandenburg  |             | 14 820      | 9 845       | 4 689       | 11 228      | 6 460       | 47 043             |
| Mecklenburg-Vorpommern                                       |             |             | 8 984       | 1 850       | 3 721       | 2 393       | 16 948             |
| Region Süd   | 10 270      | 6 906       | 10 616      | 7 319       | 11 460      | 12 212      | 55 679             |
| Region Nord  | 5 355       | 4 688       | 8 084       | 3 614       | 8 925       | 6 567       | 34 332             |

Tabelle 12: Ozondosis >110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in den Jahren 1990 bis 1995, aufgeschlüsselt als Mittelwerte der Stationen in den einzelnen Bundesländern

| <b>Ozondosis &gt;180 µg/m<sup>3</sup></b> | <b>1990</b> | <b>1991</b> | <b>1992</b> | <b>1993</b> | <b>1994</b> | <b>1995</b> | <b>Su. 1990-95</b> |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| Durchschnitt Bundesgebiet                 | 3 278       | 2 397       | 2 527       | 1 404       | 2 708       | 2 233       | 14 547             |
| Baden-Württemberg                         | 3 931       | 5 088       | 3 970       | 2 302       | 2 894       | 3 224       | 21 408             |
| Bayern                                    | 566         | 353         | 512         | 422         |             | 613         | 2 466              |
| Hessen                                    | 1 146       | 621         | 2 318       | 2 297       | 3 483       | 3 926       | 13 792             |
| Rheinland-Pfalz                           | 3 224       | 1 290       | 1 920       | 521         | 2 878       | 2 485       | 12 318             |
| NRW                                       | 5 027       | 525         | 2 264       | 1 111       | 3 852       | 3 419       | 16 198             |
| Niedersachsen                             | 2 646       | 1 123       | 3 015       | 346         | 3 112       | 1 485       | 11 726             |
| Saarland                                  | 2 135       | 262         | 434         | 229         | 726         | 1 137       | 4 922              |
| Schleswig-Holstein                        | 257         | 9           | 66          | 2           | 197         | 84          | 615                |
| Bremen                                    | 642         |             | 161         |             | 435         | 149         | 1 387              |
| Berlin                                    | 2 277       | 1 584       | 2 902       | 173         | 1 696       | 1 302       | 9 933              |
| Hamburg                                   | 286         |             |             |             | 806         | 523         | 1 615              |
| Thüringen                                 |             | 184         | 5 651       | 847         | 274         | 697         | 7 652              |
| Sachsen                                   |             | 220         | 827         | 455         | 1 562       | 434         | 3 497              |
| Sachsen-Anhalt                            |             | 2 096       | 772         | 284         | 2 788       | 781         | 6 720              |
| Brandenburg                               |             | 3 537       | 1 144       |             | 2 102       | 375         | 7 158              |
| Mecklenburg-Vorpommern                    |             |             | 4 368       |             | 284         | 608         | 5 260              |
| Region Süd                                | 2 671       | 1 189       | 2 438       | 1 104       | 2 351       | 2 214       | 11 251             |
| Region Nord                               | 1 221       | 1 428       | 1 657       | 252         | 1 442       | 638         | 5 323              |

Tabelle 13: Ozondosis >180 µg/m<sup>3</sup> in den Jahren 1990 bis 1995, aufgeschlüsselt als Mittelwerte der Stationen in den einzelnen Bundesländern

Wie in Kapitel „Reduktion der Vorläufersubstanzen“ berechnet, könnten die Fahrverbote des Ozongesetzes die Emission der Vorläufersubstanzen im Sommer 1999 um folgende Werte reduzieren:

| Schadstoff               | Reduktion der Gesamtemissionen |
|--------------------------|--------------------------------|
| Stickoxide               | -6,3 %                         |
| Kohlenwasserstoffe (VOC) | -9,1 %                         |

Tabelle 14: Reduktion der Vorläufersubstanzen durch die Maßnahmen des Ozongesetzes bei Smogalarm im Sommer 1999

Damit kann das bestehende Sommersmog-Gesetz heute die Ozon-Dosis >110 µg/m<sup>3</sup> durchschnittlich um ca. 50 µgh verringern. Dies entspricht einer Senkung der Überschreitungen des EU-Grenzwertes durch das Sommersmog-Gesetz um ca. 0,015 %. Die Ozon-Spitzenbelastungen (über 180 µg/m<sup>3</sup>) kann das Sommersmog-Gesetz heute um 0,017 % senken.



Die Ursache für diese völlig zu vernachlässigende Wirksamkeit des Sommersmog-Gesetzes liegt vor allem an der Höhe des Auslöse-Grenzwertes von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dieser Grenzwert, der mehr als 100% über dem EU-Grenzwert für den Gesundheitsschutz liegt, ist so hoch, daß damit bei fast allen in den letzten 10 Jahren vorgekommenen Sommersmog-Perioden die Auslösekriterien für Ozon-Alarm nicht erreicht wurden. Da Gesundheitsschäden bereits ab  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auftreten und, wie die Analyse der Ozonbelastungen der letzten Jahre gezeigt hat, eine Verringerung der Ozonbelastungen durch eine Verringerung der Vorläufersubstanzen erst mit einer Verzögerungszeit von ein bis zwei Tagen erreicht werden kann, müssen Maßnahmen zur Emissions-Reduktion bereits wesentlich früher eingeleitet werden. Notwendig ist dazu ein gestaffeltes Verfahren mit mehreren Alarmstufen, wie es bereits Anfang der 70er Jahre in der Bundesrepublik Deutschland in den Wintersmog-Verordnungen realisiert wurde.

## Reduktion der Vorläufersubstanzen

Zur Beurteilung weitergehender Maßnahmen zur Emissionsreduktion wurden vom UPI-Institut verschiedene Szenarien zur Reduktion der Vorläufersubstanzen durchgerechnet. Grundlage dafür sind die neuen Emissionsfaktoren, die vom TÜV Rheinland unter Mitarbeit des ADAC und des Touring-Club der Schweiz (Beschaffung der Testfahrzeuge) in den letzten Jahren im Auftrag des Umweltbundesamtes gemessen und berechnet wurden.<sup>7 8</sup> Diese Emissionsfaktoren lösen die bisherigen Emissionsfaktoren bei der Berechnung von Emissionen aus dem Kraftfahrzeugbereich ab. Sie wurden deshalb vom UPI-Institut bei der Berechnung der Szenarien zugrunde gelegt. Dies geschieht jedoch mit Einschränkungen, da die neuen Emissionsfaktoren eine Reihe von Ungereimtheiten aufweisen, von denen die meisten zu einer Unterschätzung der Emissionen bei hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten führen. Die wichtigsten sind:

1. Fahrgeschwindigkeiten über 145 km/h werden im Modell der neuen Emissionsfaktoren nicht berücksichtigt, die Maximalgeschwindigkeit von PKW auf Autobahnen beträgt in dem Modell 145 km/h.
2. Die LKW-Geschwindigkeit auf Autobahnen wird prinzipiell mit  $v_m = 85,9 \text{ km/h}$  angenom-

---

<sup>7</sup> Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Abgasemissionsfaktoren von PKW in der Bundesrepublik Deutschland, Abschlußbericht, TÜV im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dezember 1993

<sup>8</sup> Umweltbundesamt, Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, CD Rom, Version 1.2, Januar 1999

men, obwohl Messungen<sup>9</sup> zeigen, daß LKW das gesetzliche Tempolimit auf Autobahnen deutlich überschreiten.

3. Die Fahrgeschwindigkeit von PKW auf Autobahnen bleibt in dem Rechenmodell über die Jahre hinweg konstant (1996 gleiche Freifahrt-Geschwindigkeit wie 1986), obwohl Messungen der Bundesanstalt für Straßenwesen zeigen, daß die Freifahrtgeschwindigkeiten auf den Autobahnen aufgrund der zunehmenden Motorleistung kontinuierlich ansteigen (ca. + 1 km/h pro Jahr).<sup>10</sup>

Aufgrund dieser Unzulänglichkeiten wird die Wirkung von Geschwindigkeitsbeschränkungen bei Anwendung des neuen Rechenmodells der Emissionsfaktoren unterschätzt.

Zur Bewertung der Möglichkeiten einer Reduktion der Vorläufersubstanzen für Ozon wurden im Rahmen dieser Studie folgende Szenarien berechnet:

1. **„Ohne“**: Emissionssituation im Sommer 1999 in der Bundesrepublik Deutschland
2. **„TL-BMU“**: Tempolimitvorschlag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)<sup>11</sup>: BAB: PKW 100, LKW 60; AOS: PKW 80, LKW 50. Für das Tempolimit wird ein Befolgungsgrad von 80% angenommen.
3. **„Fahrverbot PKW konv.“**: Fahrverbot für konventionelle PKW ohne geregelten Katalysator und alte Diesel-PKW. Für dieses wie die folgenden Fahrverbote wird ein Befolgungsgrad von 90% angenommen.
4. **„Fahrverbot Kfz konv.“**: Fahrverbot für konventionelle KFZ ohne Abgasreinigung (PKW ohne geregelten Katalysator und alte Diesel-PKW) und für LKW, die die EURO-Norm 1 nicht einhalten).
5. **„Fahrverbot PKW-Otto vor Euro2“**: Fahrverbot für Otto-PKW bis EURO-Norm 2 und alte Diesel-PKW.

---

<sup>9</sup> z.B. UPI-Bericht 16, Geschwindigkeitsänderung von PKW und LKW nach Anordnung von Tempo-100 auf der A-5 bei Heidelberg, im Auftrag des Landesamts für Straßenwesen Baden-Württemberg, 1989

<sup>10</sup> siehe z.B. UPI-Bericht 31 "Analyse der Verkehrsemissionsprognosen 1992-2002 für den Rhein-Neckar-Raum", März 1994

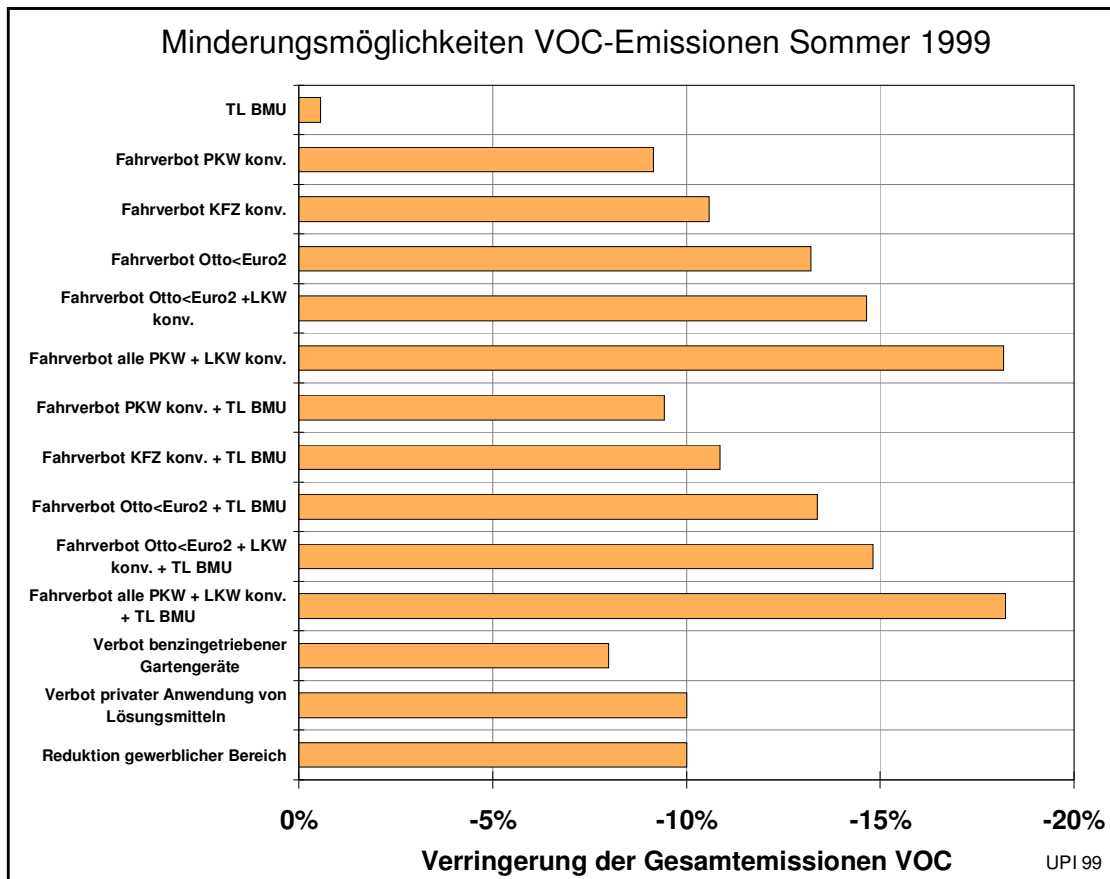
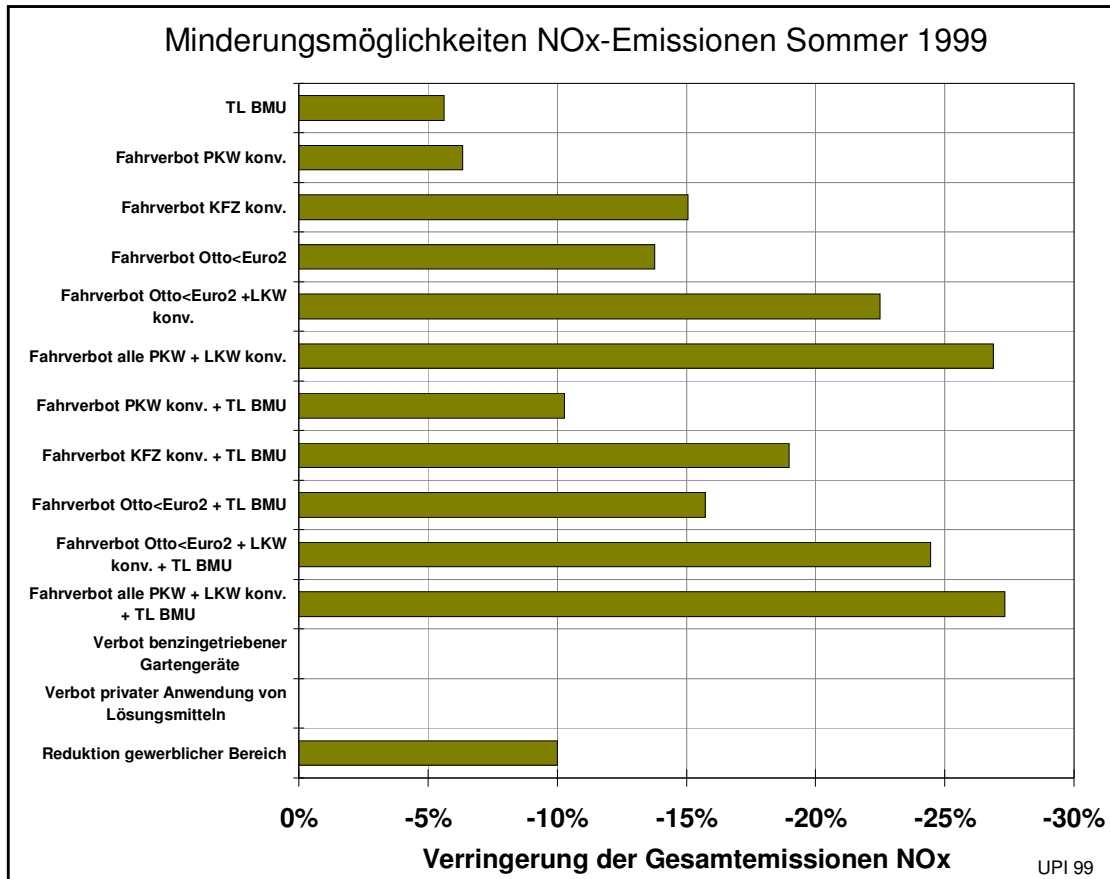
<sup>11</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Strategiepapier Bodennahes Ozon, BMU-IG I 3 -51140-4/16, 26.2.1999

6. **„Fahrverbot PKW-Otto vor Euro2 + LKW konv.“**: Fahrverbot für Otto-PKW bis Euro-Norm 2, alte Diesel-PKW und für LKW, die die EURO-Norm 1 nicht einhalten.
7. **„Fahrverbot alle PKW + LKW konv.“** Fahrverbot für alle PKW und für LKW, die die EURO-Norm 1 nicht einhalten..
8. **Fahrverbot PKW konv. + TL BMU“**: Fahrverbot für konventionelle PKW ohne geregelten Katalysator, alte Diesel-PKW + Tempolimit
9. **„Fahrverbot Kfz konv. + TL BMU“**: Fahrverbot für konventionelle KFZ ohne Abgasreinigung (PKW ohne geregelten Katalysator, alte Diesel-PKW und LKW, die die EURO-Norm 1 nicht einhalten) + Tempolimit.
10. **„Fahrverbot PKW-Otto vor Euro2 + TL BMU“**: Fahrverbot für Otto-PKW bis Euro-Norm 2, alte Diesel-PKW + Tempolimit.
11. **„Fahrverbot PKW-Otto vor Euro2 + LKW konv. + TL BMU“**: Fahrverbot für PKW bis Euro-Norm 2, alte Diesel-PKW und für LKW, die die EURO-Norm 1 nicht einhalten + Tempolimit.
12. **„Fahrverbot alle PKW + LKW konv. + TL BMU“** Fahrverbot für alle PKW und für LKW, die die EURO-Norm 1 nicht einhalten + Tempolimit.
13. **„Ozon-Gesetz“**: Maßnahmen aufgrund des Sommersmog-Gesetzes der Bundesregierung: Im wesentlichen Fahrverbot für konventionelle Kraftfahrzeuge. Ausgenommen sind alle PKW mit geregelter Kat; Diesel-PKW, die nach dem 1.1.1993 zugelassen wurden; alle LKW, die die Euro-Norm 1 oder 2 einhalten oder jünger als 5 Jahre sind. Konventionelle PKW erhalten Ausnahmegenehmigungen für Fahrten zum Beruf und in den Urlaub, konventionelle LKW für Tier- und leichtverderbliche Lebensmitteltransporte etc. Für die Berechnung wird optimistisch unterstellt, daß bei konventionellen PKW und LKW nur 25% die Ausnahmegenehmigungen in Anspruch nehmen.

Die Ergebnisse der Szenarienberechnungen sind für die Ozon-Vorläufersubstanzen NO<sub>x</sub> und VOC in Tabelle 15 und den 2 nachfolgenden Grafiken als Emission pro Tag im Sommerhalbjahr 1999 dargestellt.

| <b>Änderung der Gesamtemissionen im Sommer 1999</b>      | <b>NOx</b> | <b>CxHy</b> |
|--|------------|-------------|
| Tempolimit (jeweils 80% Befolgung):                      |            |             |
| TL BMU: BAB: PKW 100, LKW 60; AOS: PKW 80, LKW 50        | -5,6%      | -0,6%       |
| Fahrverbote (jeweils 90% Befolgung):                     |            |             |
| Fahrverbot nicht schadstoffarme PKW                      | -6,3%      | -9,1%       |
| Fahrverbot nicht schadstoffarme PKW + LKW konv.          | -15,1%     | -10,6%      |
| Fahrverbot PKW-Otto vor Euro2                            | -13,8%     | -13,2%      |
| Fahrverbot PKW-Otto vor Euro2 +LKW konv.                 | -22,5%     | -14,7%      |
| Fahrverbot alle PKW + LKW konv.                          | -26,9%     | -18,2%      |
| Tempolimit und Fahrverbote:                              |            |             |
| Fahrverbot nicht schadstoffarme PKW + TL BMU             | -10,3%     | -9,4%       |
| Fahrverbot nicht schadstoffarme PKW + LKW konv. + TL BMU | -19,0%     | -10,9%      |
| Fahrverbot PKW-Otto vor Euro2 + TL BMU                   | -15,7%     | -13,4%      |
| Fahrverbot PKW-Otto vor Euro2 + LKW konv. + TL BMU       | -24,5%     | -14,8%      |
| Fahrverbot alle PKW + LKW konv. + TL BMU                 | -27,3%     | -18,2%      |
|  |            |             |
| Verbot benzingetriebener Gartengeräte                    | 0%         | -8%         |
| Verbot privater Anwendung von Lösungsmitteln             | 0%         | -10%        |
| Reduktion gewerblicher Bereich                           | -10%       | -10%        |

Tabelle 15: Minderung der Vorläufersubstanzen durch kurzfristige Maßnahmen



## Vorschlag des BMU für eine neue Sommersmogverordnung

In einem Strategiepapier<sup>12</sup> vom 26. Februar 1999 schlägt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vor, Maßnahmen gegen Sommersmog in einer neuen Rechtsverordnung zu regeln. Danach sollen anstelle von Fahrverboten Tempolimits für PKW und LKW und Maßnahmen im Bereich Lösemittel, Gartengeräte und gewerblicher Bereich bei Überschreiten der Auslöse-Grenzwerte durchgeführt werden.

Ozonalarm soll nach dem Strategiepapier nach einem neuen Schema ausgelöst werden: Die Bundesrepublik wird in zwei Maßnahmenggebiete (Nord- und Süd-Bundesländer) eingeteilt. Die Grenze zwischen den Gebieten soll den nördlichen Landesgrenzen von Nordrhein-Westfalen, Hessen und Thüringen entsprechen. Zuständig für die Auslösung und Durchführung des Alarms sind die Länder. Für die Wetterprognose soll der Deutsche Wetterdienst, für die Ozonprognose das Umweltbundesamt verantwortlich sein. Die maximalen Ozonkonzentrationen aller Meßstellen eines Maßnahmenggebietes werden täglich registriert. Liegt die mittlere Ozonkonzentration der obersten 25% dieser Werte über  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1 h-Mittel) und ist für den nächsten Tag mit einer andauernden sommerlichen Wetterlage bei gleichbleibend hohen Ozonkonzentrationen zu rechnen, dann wird für diesen Tag Ozonalarm ausgelöst.

Maßnahmen im Falle eines Ozonalarms sind:

- Tempolimit von 80 km/h und 100 km/h für PKW auf Landstraßen und Autobahnen und von 50 km/h und 60 km/h für Lastwagen auf Landstraßen und Autobahnen.
- Im Bereich nicht gewerblicher Gartengeräte soll der Betrieb benzinbetriebener Geräte verboten werden.
- Im privaten Bereich soll der Verbrauch von Lösemitteln verboten werden.
- Der gewerbliche Bereich soll „durch Regelungen, die dem Verhältnismäßigkeitsprinzip entsprechen, dazu angehalten werden, auch seine Emissionen während des Ozonalarms einzuschränken.“

Das Strategiepapier schlägt eine zeitliche Befristung der neuen Sommersmogverordnung auf 5 Jahre vor.

Im Durchschnitt der Jahre 1990-1995 wäre nach diesen Auslösekriterien im Maßnahmenggebiet Nord an 9 Tagen im Jahr und im Maßnahmenggebiet Süd an 16 Tagen im Jahr Ozonalarm ausgelöst worden.

---

<sup>12</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Strategiepapier Bodennahes Ozon, BMU-IG I 3 -51140-4/16, 26.2.1999

Tabelle 16 zeigt für die einzelnen Jahre die Zahl der Tage mit Ozonalarm nach dem Auslösekriterium  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

| Region | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | Mittel 1990-1995 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| Nord   | 7    | 2    | 7    | 1    | 17   | 19   | 9                |
| Süd    | 18   | 10   | 11   | 10   | 24   | 22   | 16               |

Tabelle 16: Tage mit Ozonalarm nach dem Vorschlag BMU  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabelle 17 zeigt die Ozondosen über  $110$  bzw.  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den Maßnahmegebieten Nord und Süd in den Jahren 1990-1995.

| $\mu\text{gh}>110$ | 1990   | 1991  | 1992   | 1993  | 1994   | 1995   |
|--------------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| Region Nord        | 5 355  | 4 688 | 8 084  | 3 614 | 8 925  | 6 567  |
| Region Süd         | 10 270 | 6 906 | 10 616 | 7 319 | 11 460 | 12 212 |
| $\mu\text{gh}>180$ |        |       |        |       |        |        |
| Region Nord        | 1 221  | 1 428 | 1 657  | 252   | 1 442  | 638    |
| Region Süd         | 2 671  | 1 189 | 2 438  | 1 104 | 2 351  | 2 214  |

Tabelle 17: Ozondosis, aufgeschlüsselt als Mittelwerte der Stationen in den Maßnahmegebieten Nord und Süd, UPI 99, berechnet aus Meßdaten der Länder

Durch ein Tempolimit in der vom BMU vorgeschlagenen Staffelung könnten bei einer 80%igen Befolgung die gesamten Stickoxidemissionen um 5,6% und die VOC-Emissionen um 0,6% gesenkt werden. Zusammen mit den in Tabelle 10 (Seite 19) berechneten Reduktionsfaktoren für Ozonspitzen lassen sich daraus die in Tabelle 18 enthaltenen Reduktionen der Ozonspitzendosen errechnen:

|                        | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995   | Mittel 1990-1995 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------------|
| $\mu\text{gh}>110$     |       |       |       |       |       |        |                  |
| Nord                   | -139  | -40   | -139  | -20   | -337  | -376   | -175             |
| Süd                    | -357  | -198  | -218  | -198  | -475  | -436   | -314             |
| $\mu\text{gh}>180$     |       |       |       |       |       |        |                  |
| Nord                   | -37   | -11   | -37   | -5    | -91   | -101   | -47              |
| Süd                    | -96   | -53   | -59   | -53   | -128  | -117   | -84              |
| $\mu\text{gh}>110, \%$ |       |       |       |       |       |        |                  |
| Nord                   | -2,6% | -0,8% | -1,7% | -0,5% | -3,8% | -5,7%  | -2,5%            |
| Süd                    | -3,5% | -2,9% | -2,1% | -2,7% | -4,1% | -3,6%  | -3,1%            |
| $\mu\text{gh}>180, \%$ |       |       |       |       |       |        |                  |
| Nord                   | -3,1% | -0,7% | -2,3% | -2,1% | -6,3% | -15,9% | -5,1%            |
| Süd                    | -3,6% | -4,5% | -2,4% | -4,8% | -5,4% | -5,3%  | -4,3%            |

Tabelle 18: Reduktion der Ozonspitzendosen durch ein Tempolimit

Im Durchschnitt würde das vom BMU vorgeschlagene Tempolimit nach den vorgeschlagenen Auslösekriterien die Ozonspitzendosen über  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  um 2,5 - 3,1 % und die Ozonspitzendosen über  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  um 4,3 - 5,1 % im Mittel der Jahre 1990-1995 reduzieren.

Das BMU-Strategiepapier gibt an, daß durch

- die Einstellung des Betrieb benzinbetriebener Geräte im privaten Gartenbereich die Gesamt-VOC-Emissionen um 8% reduziert
- das Verbot der Anwendung von Lösemitteln Im privaten Bereich die Gesamt-VOC-Emissionen um 10% reduziert wird.
- „Durch Regelungen, die dem Verhältnismäßigkeitsprinzip entsprechen, soll der gewerbliche Bereich dazu angehalten werden, auch seine Emissionen während des Ozonalarms einzuschränken.“ Dadurch sollen die  $\text{NO}_x$ - und die VOC-Gesamtemissionen um je 10% reduziert werden.

Zur Berechnung der Wirksamkeit des BMU-Vorschlags werden diese Abschätzungen der Emissionsreduktion hier übernommen.

Durch alle vom BMU vorgeschlagenen Maßnahmen könnten die Gesamtemissionen an Stickoxiden im Sommer 1999 damit um 15,6% und die VOC-Emissionen um 25% verringert werden. Tabelle 19 zeigt die dadurch möglichen Reduktionen der Ozonspitzendosen in den Jahren 1990-1995 bei dem vorgeschlagenen Auslösekriterium „ $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ “. Insgesamt hätten die Ozonspitzendosen über  $110 \mu\text{g}$  im Durchschnitt der Jahre 1990 bis 1995 um 16,7-20,6% und die Ozonspitzendosen über  $180 \mu\text{g}$  um 27,8-28,0% verringert werden können.

|                        |        |        |        |        |        |         |                  |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|------------------|
|                        | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   | 1995    | Mittel 1990-1995 |
| $\mu\text{gh}>110$     |        |        |        |        |        |         |                  |
| Nord                   | -913   | -261   | -913   | -130   | -2 217 | -2 478  | -1 152           |
| Süd                    | -2 348 | -1 304 | -1 435 | -1 304 | -3 130 | -2 869  | -2 065           |
| $\mu\text{gh}>180$     |        |        |        |        |        |         |                  |
| Nord                   | -245   | -70    | -245   | -35    | -596   | -666    | -310             |
| Süd                    | -631   | -351   | -386   | -351   | -841   | -771    | -555             |
|                        |        |        |        |        |        |         |                  |
| $\mu\text{gh}>110, \%$ | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   | 1995    | Mittel 1990-1995 |
| Nord                   | -17,1% | -5,6%  | -11,3% | -3,6%  | -24,8% | -37,7%  | -16,7%           |
| Süd                    | -22,9% | -18,9% | -13,5% | -17,8% | -27,3% | -23,5%  | -20,6%           |
| $\mu\text{gh}>180, \%$ |        |        |        |        |        |         |                  |
| Nord                   | -20,1% | -4,9%  | -14,8% | -13,9% | -41,3% | -104,4% | -28,0%           |
| Süd                    | -23,6% | -29,5% | -15,8% | -31,8% | -35,8% | -34,8%  | -27,8%           |



Tabelle 19: Reduktion der Ozonspitzendosen durch die vom BMU vorgeschlagenen Maßnahmen.

## Bewertung des BMU-Vorschlags

Der BMU-Vorschlag stellt zweifellos eine deutliche Verbesserung im Vergleich zum bestehenden Sommersmoggesetz dar. Die vorgeschlagenen Verbesserungen reichen jedoch nicht aus, massive gesundheitliche Schäden in der Bevölkerung durch Sommersmog zu verhindern. Notwendig ist ein gestaffeltes Vorgehen, welches bei einer ersten Warnstufe bei niedrigeren Konzentrationen mit „weichen“ Maßnahmen beginnt und in einer zweiten Warnstufe die Vorläuferemissionen stärker drosselt.

Dies zeigt auch eine Auswertung der Sommersmogperioden in den Jahren 1990 und 1991. Hätte damals dieses Auslösekriterium bereits gegolten, wäre z.B. an folgenden Tagen mit sehr hohen Ozonkonzentrationen kein Ozonalarm ausgelöst worden, weil der Mittelwert der obersten 25% der Meßstationen nicht über  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lag:

| Datum     | Meßstation                             | Ozonkonzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|-----------|--|---|
| 2.6.1990  | Duderstadt (Niedersachsen)             | 256   |
| 14.8.1990 | Berlin                                 | 268   |
| 2.7.1991  | Stuttgart/Heilbronn/Neckarsulm/Rastatt | Werte über 200 mit Spitzenwerten von 295      |
| 3.7.1991  | Heidelberg/Wiesloch/Stuttgart          | über 200                                      |
| 6.7.1991  | Neckarsulm/Ulm                         | Werte über 220                                |
| 8.7.1991  | Stuttgart                              | 230   |
| 10.7.1991 | Mannheim/Wiesloch                      | Werte über 220                                |
| 13.7.1991 | Heilbronn/Neckarsulm/Ulm               | über 200, Spitzenwert 267                     |
| 21.7.1991 | Ludwigsburg/Weil/Esslingen             | über 220, Spitzenwert 264                     |
| 28.7.1991 | Neuwied                                | 257   |

Tabelle 20: Sommersmogsituationen in den Jahren 1990 und 1991 ohne Ozonalarm nach  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  BMU-Auslösekriterium

Das vom BMU vorgeschlagene neue Auslöseverfahren für Smogalarm könnte in der Praxis Probleme bereiten. Es erfordert in der Zusammenarbeit von Behörden mehrerer Bundesländer, daß an einem Tag mit hohen Ozonkonzentrationen zunächst alle Meßwerte aller Meßstationen der Bundesländer vorliegen, bevor die Berechnung („mittlere

Ozonkonzentration der obersten 25% aller Meßwerte aller Meßstationen über  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) festgestellt werden kann. Die Entscheidung, ob am nächsten Tag Sommersmog-Alarm ausgerufen wird, müßte spätestens bis zu den Abendnachrichten vorliegen. Es ist fraglich, ob dies nach diesem Verfahren gelingen kann.

Es wäre deshalb praktikabler, ein anderes Verfahren zu wählen, bei dem nicht alle Meßwerte aller Stationen benötigt werden. Ein solches Auslösekriterium könnte z.B. sein:

„Überschreitung des Auslösegrenzwertes an 3 oder 5 Meßstationen des Maßnahmengebietes“. Ein solches Verfahren böte den Vorteil, daß bereits bei Erreichen des Auslösegrenzwertes an der entsprechenden Zahl von Meßstationen die Entscheidung für einen Ozonalarm am nächsten Tag getroffen werden könnte, ohne daß die Meßwerte aller Stationen zwischen den einzelnen Bundesländern ausgetauscht werden müßten. Dies erscheint auch in bezug auf eine praktikable Abwicklung des Ozonalarms durch die betroffenen Behörden notwendig. Nicht zuletzt wäre ein solches Auslöseverfahren medizinisch geboten: Für das Auslösen von Gesundheitsschäden durch Ozon am Menschen ist einzig und allein die Ozonkonzentration am Wohnort maßgebend, nicht Durchschnittswerte über mehrere Bundesländer, die durch niedrige Konzentrationen in anderen Regionen nach dem Vorschlag des BMU rechnerisch verringert werden können.

## **Langfristige Entwicklung: Prognose**

Das Strategiepapier des Bundesumweltministeriums geht davon aus, daß die Gesamtstickoxidemissionen in der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1990-2000 um 45% und bis 2010 um 77%, die VOC-Emissionen bis 2000 um 77% und bis 2010 um 88% reduziert werden. Daraus wird abgeleitet, daß das Problem des Sommersmogs in Zukunft in entsprechendem Maße zurückgehen wird. Diese Erwartung erscheint aus folgenden Gründen zu optimistisch:

## **Vorläufersubstanzen**

1. Die Prognosen der Emissionen der Vorläufersubstanzen sind zu optimistisch:

Bei der Prognose der Emissionsentwicklung werden eine Reihe optimistischer Annahmen getroffen, die in der Realität nicht gegeben sind. Dies betrifft besonders

- den Wirkungsgrad von Katalysatoren. Es wird unterstellt, daß auch ältere Fahrzeuge die jeweiligen Emissionsgrenzwerte einhalten. Es ist bekannt, daß der Wirkungsgrad mit der Laufleistung zurückgeht und daß bei einzelnen Fahrzeugen die Funktion des Katalysators weitgehend ausfällt.

- die Emission von LKW. Es wird unterstellt, daß alle LKW die in Europa geltenden Emissions-Normen einhalten. Für Fahrzeuge aus Ostländern, über die ein zunehmender Teil des Güterverkehrs abgewickelt wird, gelten diese Grenzwerte nicht.
- die Geschwindigkeit der PKW. Es wird angenommen, daß die Fahrgeschwindigkeiten der PKW auf Bundesautobahnen konstant bleiben. Messungen der Bundesanstalt für Straßenwesen zeigen jedoch eine Zunahme der PKW-Geschwindigkeiten auf Bundesautobahnen ca. 1 km/h pro Jahr.
- die Geschwindigkeit der LKW. Diese wird unabhängig von der Geschwindigkeitsregelung auf Autobahnen konstant angenommen. Messungen zeigen jedoch, daß auch LKW-Geschwindigkeiten abhängig von der Temporegelung sind und auf Bundesautobahnen deutlich über der für LKW zulässigen und der bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren angenommenen Geschwindigkeit liegen, siehe z.B. <sup>13</sup>

Diese Überschätzung des Einflusses von Emissionsminderungstechnologien dürfte auch der Grund dafür sein, daß der in den Emissionsstudien des BMU seit Ende der 80er Jahre prognostizierte deutliche Rückgang der Emissionen in den Meßergebnissen der ca. 400 Meßstellen in der Bundesrepublik Deutschland bisher nicht sichtbar ist.

## UV-Strahlung

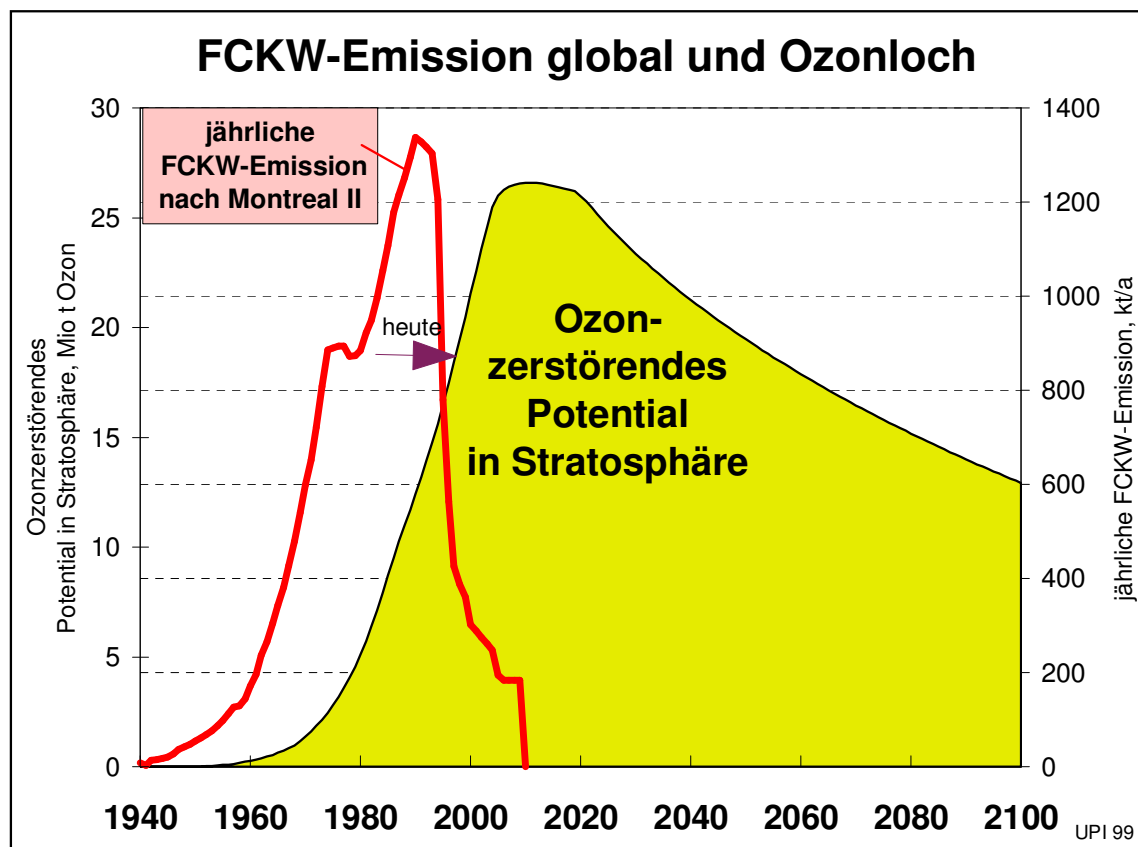
2. Photooxidantien entstehen aus den Vorläufersubstanzen NO<sub>x</sub> und VOC durch Einwirkung von UV-Strahlung. Die Ozonprognosen des BMU nehmen an, daß die UV-Strahlung in Zukunft konstant bleibt. Die Einstrahlung der UV-Strahlung in Bodennähe ist jedoch nicht konstant, sondern nimmt seit Jahren zu und wird auch in Zukunft weiter zunehmen.

Die Grafik "FCKW-Emission global und Ozonloch" zeigt den Verlauf der jährlichen FCKW-Emissionen von 1940 bis heute und den nach dem 2. Montrealer Abkommen zu erwartenden Rückgang der Emissionen. (Durchgezogene Linie, rechte Skala). Die gepunktete Fläche (linke Skala) geben die durch die FCKW's in der Stratosphäre freigesetzte Chlormenge an.

---

<sup>13</sup>

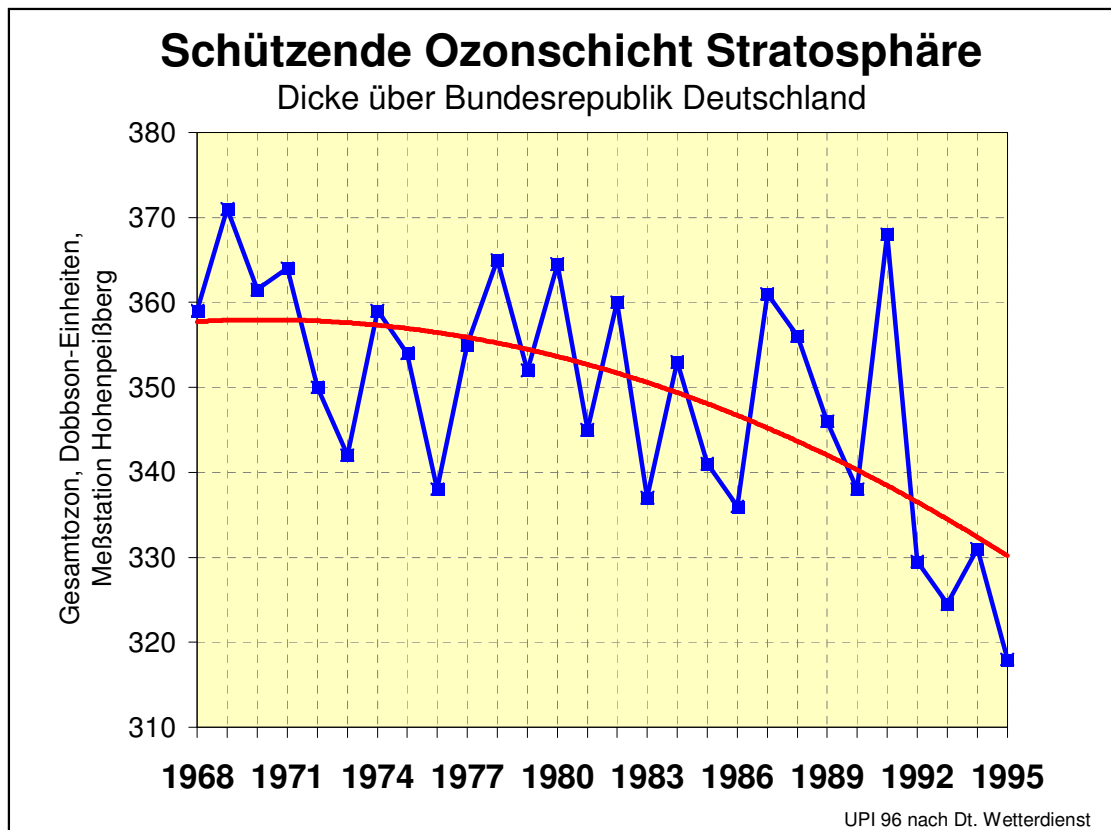
Teufel, D., et al., Geschwindigkeitsänderungen von PKW und LKW nach Anordnung von Tempo 100 auf der A 5 bei Heidelberg", im Auftrag des Landesamtes für Straßenwesen Baden-Württemberg, 1989



Aus der Grafik ist ersichtlich, daß trotz Rückgang der jährlichen FCKW-Emissionen die Chlor-Konzentration in der Stratosphäre zunächst noch mehrere Jahrzehnte weiter ansteigen wird, um in den ersten beiden Jahrzehnten des nächsten Jahrhunderts ein Maximum zu erreichen. Dies bedeutet, daß der Ozon-Abbau in der Stratosphäre in den nächsten Jahrzehnten weiter ansteigen wird und erst in rund fünf Jahrzehnten wieder auf den heutigen Stand absinken wird. Ursache für diesen dramatischen Anstieg des Chlorgehalts in der Stratosphäre sind die Verzögerungszeiten beim Aufstieg der FCKW und die lange Lebensdauer der verschiedenen FCKW-Arten im Bereich von Jahrzehnten bis Jahrhunderten. Dadurch wird die UV-Strahlung in Bodennähe und damit die von ihr beeinflusste Bildung von Ozon in Zukunft weiter zunehmen. Bereits heute zeigen Messungen der letzten Space-Shuttle-Flüge, daß die schützende stratosphärische Ozonschicht auf der Nordhalbkugel um ca. 20 % abgenommen hat. Mit jedem Prozent weniger Ozon in der Stratosphäre erhöht sich die UV-Strahlung an der Erdoberfläche um den doppelten Prozentsatz.

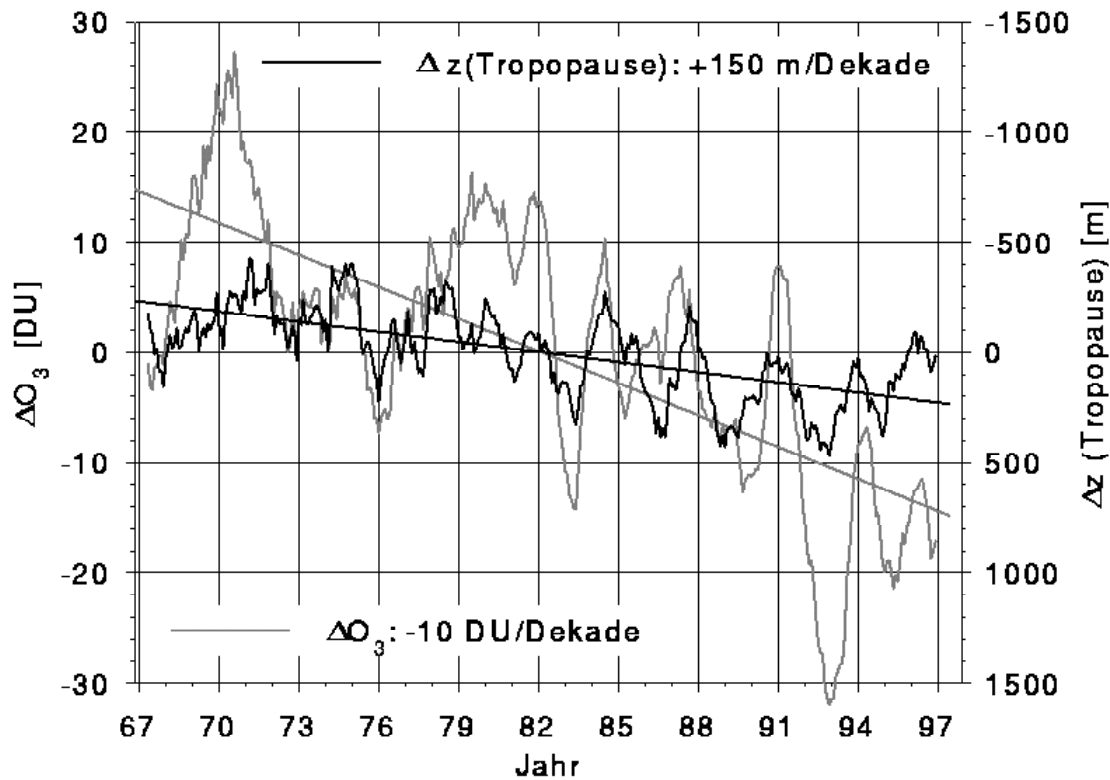
Durch die mehr als 30 Jahre zurückreichende Meßreihe am Hohenpeißenberg sind für das Gesamt Ozon verlässliche Trendaussagen möglich. Es ergibt sich hierbei eine Abnahme im Jahresmittel um 3% pro Dekade mit einer Beschleunigung des Trends in den letzten zehn Jahren.

Die Grafik „Schützende Ozonschicht Stratosphäre - Dicke über Bundesrepublik Deutschland“ zeigt die Abnahme der Ozonschicht im Zeitraum 1968 bis 1995<sup>14</sup>, die daran anfolgende Grafik die Änderungen pro Jahr von Gesamtozon (grau, linke Skala) und Tropopausenhöhe (schwarz, rechte Skala) am Hohenpeißenberg über einen längeren Zeitraum.<sup>15</sup> Pro Jahrzehnt nimmt das Gesamtozon um 10 DU ab, wobei sich der Trend in den neunziger Jahren deutlich verstärkte.



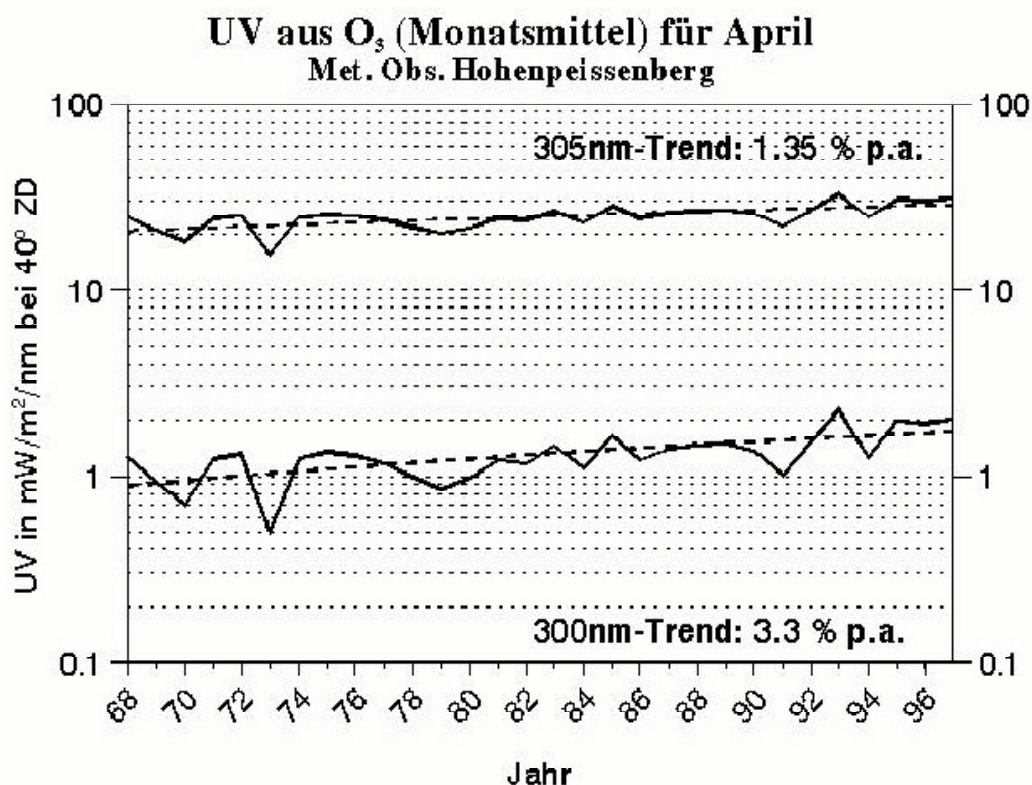
<sup>14</sup> Claude, H., Köhler, U., Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, Wieder Tiefstwerte beim Gesamtozon, Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Ausgabe Nr. 53, Erscheinungstermin: 17. Juli 1995

<sup>15</sup> Wolfgang Steinbrecht & Hans Claude, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, Veränderungen von Gesamtozon und Tropopausenhöhe, Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Ausgabe Nr. 53, Erscheinungstermin: 28. Mai 1998



Die Entwicklung der UV-B-Strahlung in den letzten 30 Jahren zeigt die Grafik „UV aus O<sub>3</sub> (berechnet)“ des Deutschen Wetterdienstes<sup>16</sup>. Die kurzwellige UV-Strahlung mit einer Wellenlänge von 300 nm nimmt im Durchschnitt um 3,3% pro Jahr zu.

16 Gantner, Leonhard, Köhler, Ulf, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, Starker Anstieg der kurzwelligen UV-B-Strahlung durch langfristige Ozonabnahme im Frühjahr, Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Ausgabe Nr. 52, Erscheinungstermin: 28. April 1998



### Hochdruckwetterlagen

3. Die BMU-Prognosen unterstellen, daß die Zahl und Dauer sommerlicher Hochdrucksituationen in Zukunft konstant bleiben wird. Durch den anthropogenen Treibhauseffekt ist jedoch zu erwarten, daß auch die Zahl und Dauer sommerlicher Hochdrucksituationen in Zukunft weiter zunehmen wird. Genaue Statistiken liegen hierzu bisher nicht vor.

Eine ähnliche Bewertung gilt für die Aussagen der Prognos-Studie „Aktionsprogramm und Maßnahmenplan Ozon“ im Auftrag des Umweltbundesamtes.<sup>17</sup> Die Prognos-Studie prognostiziert bis zum Jahr 2005 eine Abnahme der Ozonspitzenwerte bis zu 40% (gegenüber 1990). Auch bei dieser Prognose wurde jedoch weder mit einer Änderung der UV-Strahlung noch mit einer Änderung der Temperaturen oder der Zahl sommerlicher Hochdruckwetterlagen gerechnet.

17 Prognos-Europäisches Zentrum für Wirtschaftsforschung und Strategieberatung, Aktionsprogramm und Maßnahmenplan Ozon (Sommersmog), Ermittlung und Bewertung der Effekte von lokalen, regionalen und überregionalen Emissionsminderungsstrategien auf bodennahen Ozonkonzentrationen in hochsommerlichen Episoden, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Dezember 1997

Im übrigen läßt sich dieser prognostizierte Rückgang der Ozonwerte auch in keiner Weise an den in den letzten Jahren gemessenen Ozonkonzentrationen ablesen (siehe Grafiken „Ozonbelastung, Jahresmittel an 60 Meßstationen“).

Die Prognos-Studie macht zu ihrem Verfahren die Aussage: „Die einzige Möglichkeit zur vorherigen Überprüfung der Wirkung geplanter Maßnahmen zur Bekämpfung hoher Konzentrationen von Photooxidantien ist der Einsatz von Computer-Modellen, die die komplexen Zusammenhänge zwischen der Emission der Vorläuferstoffe, deren Transport und chemische Umwandlung in der Atmosphäre und die daraus folgende Bildung von Photooxidantien simulieren.“ Diese Aussage ist so nicht richtig. Die Simulation des Geschehens in der Atmosphäre mit Hilfe physikalisch-chemischer Gleichungen ist ein Verfahren, mit dem versucht werden kann, die komplexen chemischen Vorgänge in der Atmosphäre zu simulieren. Damit können jedoch prinzipiell nur die bekannten physikalisch-chemischen Vorgänge und Substanzen berücksichtigt werden.

Die in dieser Studie vorgenommene Ableitung des Zusammenhangs zwischen Vorläufersubstanzen und Ozonbildung aus allen in der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1990-1995 stattgefundenen Sommersmogperioden stellt eine Alternative dar und bietet demgegenüber den Vorteil, automatisch auch alle möglicherweise in der Realität vorhandenen unbekanntem Faktoren mit einzubeziehen und die in der Bundesrepublik Deutschland vorliegenden atmosphärischen Prozesse mit der größtmöglichen Genauigkeit abzubilden. Dieses auf realen Meßwerten beruhende Verfahren ist Computermodellen mit der theoretischen Simulation physikalisch-chemischer Prozesse deshalb deutlich überlegen.

## Greenpeace-Vorschlag für ein neues Sommersmoggesetz

Unter Abwägung der medizinischen Erfordernisse und der ökonomischen Folgen von Fahrverboten schlägt Greenpeace Deutschland folgende Staffelung der Alarmstufen, Grenzwerte und Maßnahmen vor:

|  |  |
|--|--|
| Alarmstufe 1: ab 120 µg/m <sup>3</sup> | Fahrverbot für konventionelle PKW *<br>Verbot benzingetriebener Gartengeräte<br>Verbot privater Anwendung von Lösungsmitteln |
| Alarmstufe 2: ab 180 µg/m <sup>3</sup> | Fahrverbot für alle PKW vor Euro II und konventionelle LKW **<br>Reduktion gewerblicher Bereich                              |

Tabelle 21: Auslösekriterien für Ozonalarm; Vorschlag Greenpeace

\* = Fahrverbote PKW wie in Ozongesetz (bei 240 µg/m<sup>3</sup>), restriktivere Regelung der Ausnahmen



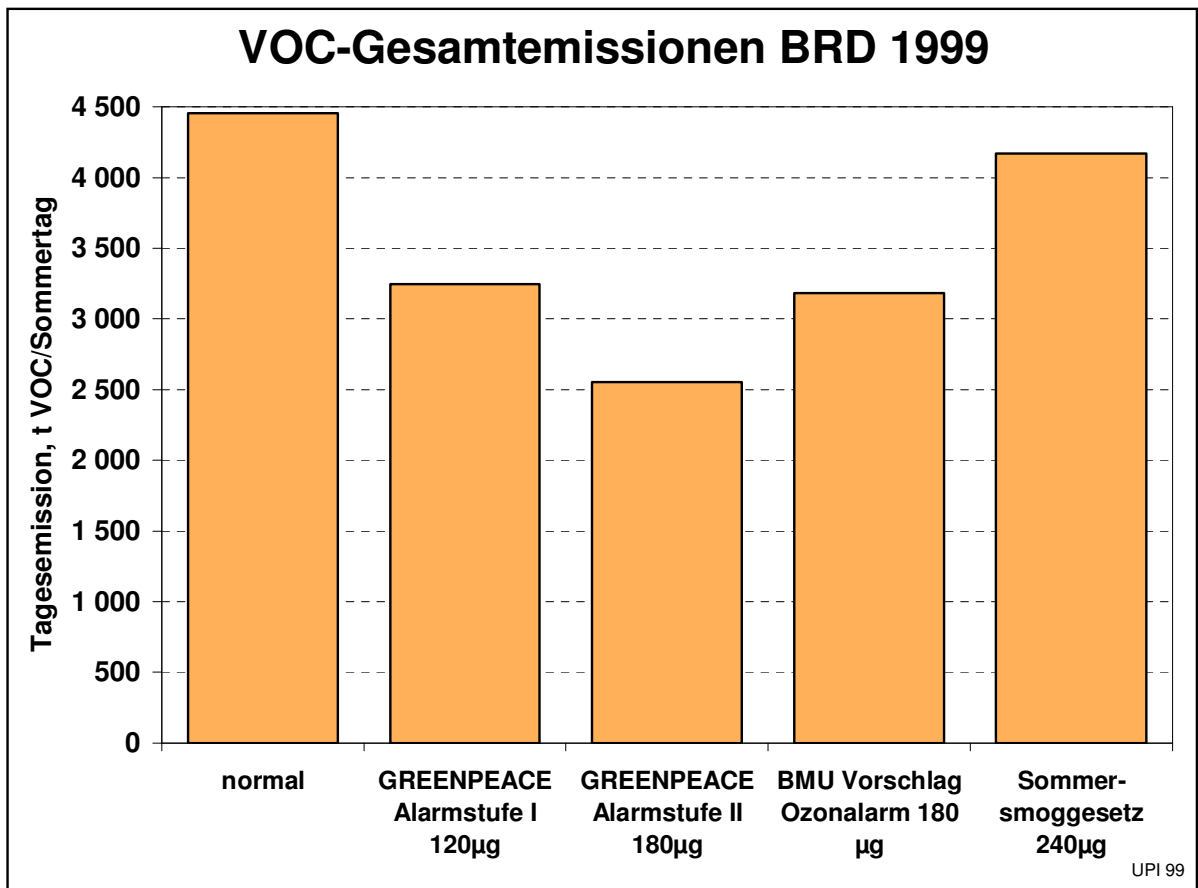
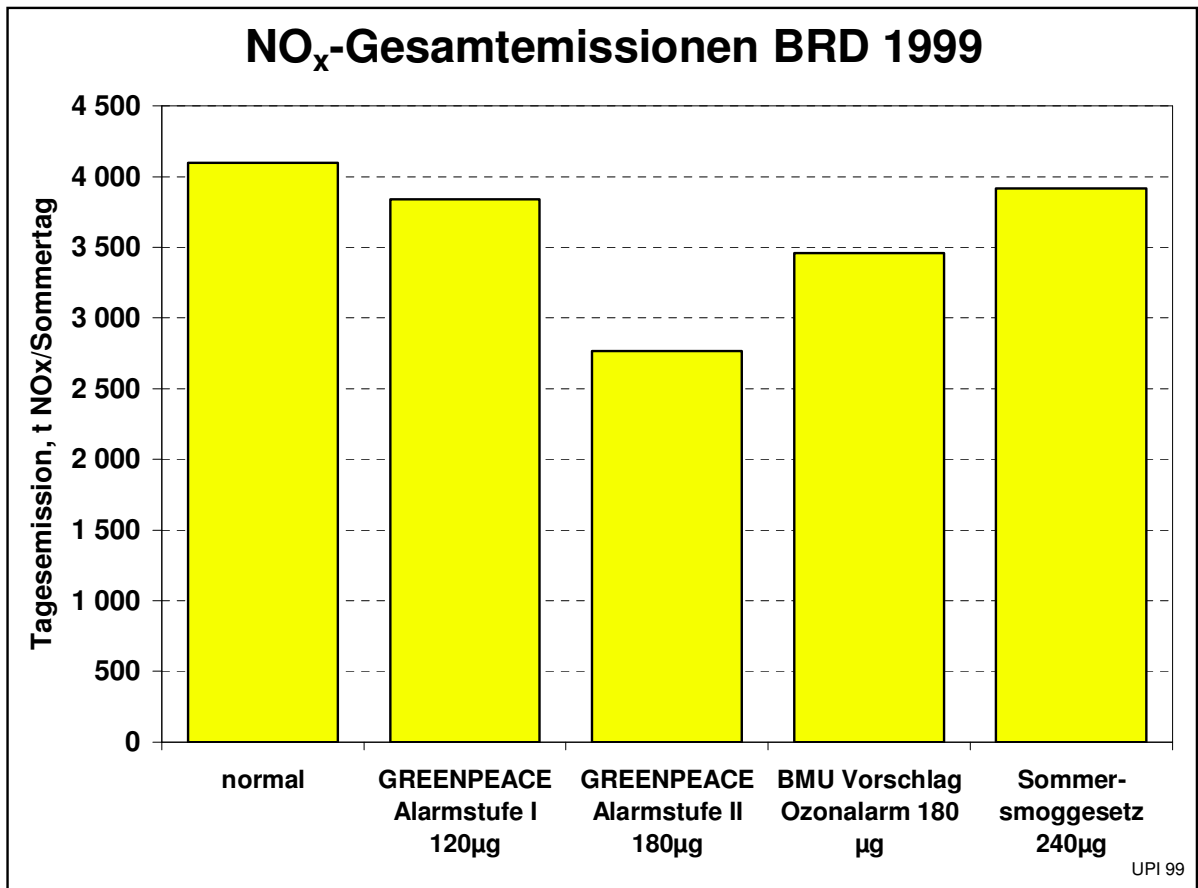
\*\* = bei Fahrverboten für alle PKW vor Euro II Ausnahmeregelungen für ca. 10 % der PKW; Fahrverbote LKW wie in Ozongesetz, gleiche Regelung der Ausnahmen

Damit könnten die Vorläufersubstanzen um folgende Anteile gesenkt werden:

| <b>Reduktion der Emissionen</b> | <b>NOx</b> | <b>VOC</b> |
|---------------------------------|------------|------------|
| Alarmstufe 1 Verkehrsmaßnahmen  | -6,3%      | -9,1%      |
| Alarmstufe 1 Alle Maßnahmen     | -6,3%      | -27,1%     |
|                                 |            |            |
| Alarmstufe 2 Verkehrsmaßnahmen  | -22,5%     | -14,7%     |
| Alarmstufe 2 Alle Maßnahmen     | -32,5%     | -42,7%     |

Tabelle 22: Senkung der Vorläufersubstanzen für Ozon nach Ozonalarm Greenpeace

Die nachfolgenden beiden Grafiken zeigen die Emissionsreduktion der Vorläufersubstanzen im Vergleich zwischen dem Greenpeacevorschlag, dem Vorschlag des BMU für eine neue Sommersmogverordnung und dem bestehenden Ozongesetz. Bei letzterem muß berücksichtigt werden, daß die in dem Balken „Sommersmoggesetz“ dargestellte Emissionsminderung mehr oder weniger fiktiv ist, da sie aufgrund des hohen Auslösegrenzwertes fast nie realisiert wird.



## Wirksamkeit des Greenpeace-Vorschlags

Mit Hilfe der in Kapitel „Reduktionsmöglichkeiten für Ozon“ beschriebenen Auswertung der Meßergebnisse der letzten 6 Jahre (Tabelle 10 auf Seite 19) läßt sich berechnen, wie stark die Ozonbelastungen eines durchschnittlichen Jahres durch das Greenpeace-Maßnahmenpaket reduziert werden könnten.

Dazu wurde erhoben, wie häufig im Durchschnitt der Jahre 1990-1995 in den einzelnen Bundesländern an mindestens 3 Meßstationen die Auslösewerte von 120 bzw. 180 µg Ozon/m<sup>3</sup> für die Dauer von mindestens 2 Tagen überschritten wurden.

Tabelle 23 zeigt als Ergebnis die Zahl der Tage in den einzelnen Bundesländern. Die Spalten „Kriterium, ohne Ozonalarm: Alarmstufe 1“ und „Kriterium, ohne Ozonalarm: Alarmstufe 2“ geben an, an wieviel Tagen im Durchschnitt der letzten 6 Jahre die Kriterien der Alarmstufen 1 und 2 (ohne die Wirkung von Ozonalarm) erfüllt waren. Die Spalten „Ozonalarm wirksam: Alarmstufe 1“ und „Ozonalarm wirksam: Alarmstufe 2“ geben die Überschreitungshäufigkeiten an, wenn in dieser Zeit bereits Ozonalarm nach dem Vorschlag von Greenpeace wirksam gewesen wäre. Darin ist die Reduktion der Ozonspitzen durch den Ozonalarm eingerechnet. Die Unterschiede der beiden Spalten zeigen die Wirksamkeit eines frühzeitigen Ozonalarms und den Vorteil mehrerer Alarmstufen.

| Tage/Jahr              | Kriterium, ohne Ozonalarm | Ozonalarm    | Ozonalarm wirksam |              |
|------------------------|---------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Bundesland             | Alarmstufe 1              | Alarmstufe 2 | Alarmstufe 1      | Alarmstufe 2 |
| Baden-Württemberg      | 84                        | 17           | 52                | 9            |
| Bayern                 | 28                        | 2            | 18                | 1            |
| Hessen                 | 58                        | 11           | 38                | 6            |
| Rheinland-Pfalz        | 66                        | 10           | 44                | 5            |
| NRW                    | 64                        | 13           | 40                | 7            |
| Niedersachsen          | 66                        | 9            | 45                | 6            |
| Saarland               | 39                        | 4            | 24                | 2            |
| Schleswig-Holstein     | 20                        | 0            | 12                | 0            |
| Bremen                 | 16                        | 2            | 10                | 1            |
| Berlin                 | 41                        | 8            | 26                | 4            |
| Hamburg                | 18                        | 3            | 11                | 1            |
| Thüringen              | 52                        | 3            | 32                | 2            |
| Sachsen                | 36                        | 3            | 22                | 2            |
| Sachsen-Anhalt         | 46                        | 6            | 28                | 3            |
| Brandenburg            | 49                        | 6            | 30                | 3            |
| Mecklenburg-Vorpommern | 19                        | 5            | 12                | 3            |

Tabelle 23: Tage mit Überschreitung der Auslösewerte von 120 bzw. 180 µg Ozon/m<sup>3</sup> an mindestens 3 Meßstationen in Sommersmogperioden von mindestens 2 Tagen Dauer; mit und ohne Ozonalarm nach Vorschlag Greenpeace; Durchschnitt der Jahre 1990 - 1995

Tabelle 24 zeigt die absolute Reduktion der Ozondosen >110 µg/m<sup>3</sup> bzw. >180 µg/m<sup>3</sup> durch die Maßnahmen der einzelnen Alarmstufen für ein durchschnittliches Jahr.

|            | 1. Alarmstufe | 2. Alarmstufe | beide Alarmstufen |
|------------|---------------|---------------|-------------------|
| µgh>110    |               |               |                   |
| Nord       | -1 570        | -1 493        | -3 062            |
| Süd        | -2 554        | -2 676        | -5 229            |
| µgh>180    |               |               |                   |
| Nord       | -422          | -401          | -823              |
| Süd        | -686          | -719          | -1 406            |
|            |               |               |                   |
| µgh>110, % |               |               |                   |
| Nord       | -25,3%        | -24,1%        | -49,4%            |
| Süd        | -26,1%        | -27,3%        | -53,4%            |
| µgh>180, % |               |               |                   |
| Nord       | -38,1%        | -36,3%        | -74,4%            |
| Süd        | -34,4%        | -36,1%        | -70,5%            |

Tabelle 24: Reduktion der Ozondosen pro Jahr durch Ozonalarm Greenpeace

Als Alternative wird das 2-Stufen-Konzept von Greenpeace mit einem Tempolimit nach BMU-Vorschlag ab der 1. Alarmstufe kombiniert. Dies ergibt die in Tabelle 25 dargestellten Emissionsreduktionen.

| Reduktion der Verkehrsemissionen | NOx    | VOC    |
|----------------------------------|--------|--------|
| Alarmstufe 1 Verkehrsmaßnahmen   | -10,3% | -9,4%  |
| Alarmstufe 1 Alle Maßnahmen      | -10,3% | -27,4% |
|                                  |        |        |
| Alarmstufe 2 Verkehrsmaßnahmen   | -24,5% | -14,8% |
| Alarmstufe 2 Alle Maßnahmen      | -34,5% | -42,8% |

Tabelle 25: Senkung der Vorläufersubstanzen für Ozon nach 2-Stufen-Ozonalarm-Konzept + Tempolimit

Tabelle 26 zeigt die daraus berechnete Reduktion der Ozondosen >110 µg/m<sup>3</sup> bzw. >180 µg/m<sup>3</sup> für ein durchschnittliches Jahr.

|            | <b>1. Alarmstufe</b> | <b>2. Alarmstufe</b> | <b>beide Alarmstufen</b> |
|------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| µgh>110    |                      |                      |                          |
| Nord       | -1 767               | -1 535               | -3 302                   |
| Süd        | -2 875               | -2 751               | -5 626                   |
| µgh>180    |                      |                      |                          |
| Nord       | -475                 | -413                 | -888                     |
| Süd        | -773                 | -740                 | -1 512                   |
| µgh>110, % |                      |                      |                          |
| Nord       | -28,5%               | -24,7%               | -53,2%                   |
| Süd        | -29,3%               | -28,1%               | -57,4%                   |
| µgh>180, % |                      |                      |                          |
| Nord       | -42,9%               | -37,3%               | -80,2%                   |
| Süd        | -38,7%               | -37,1%               | -75,8%                   |

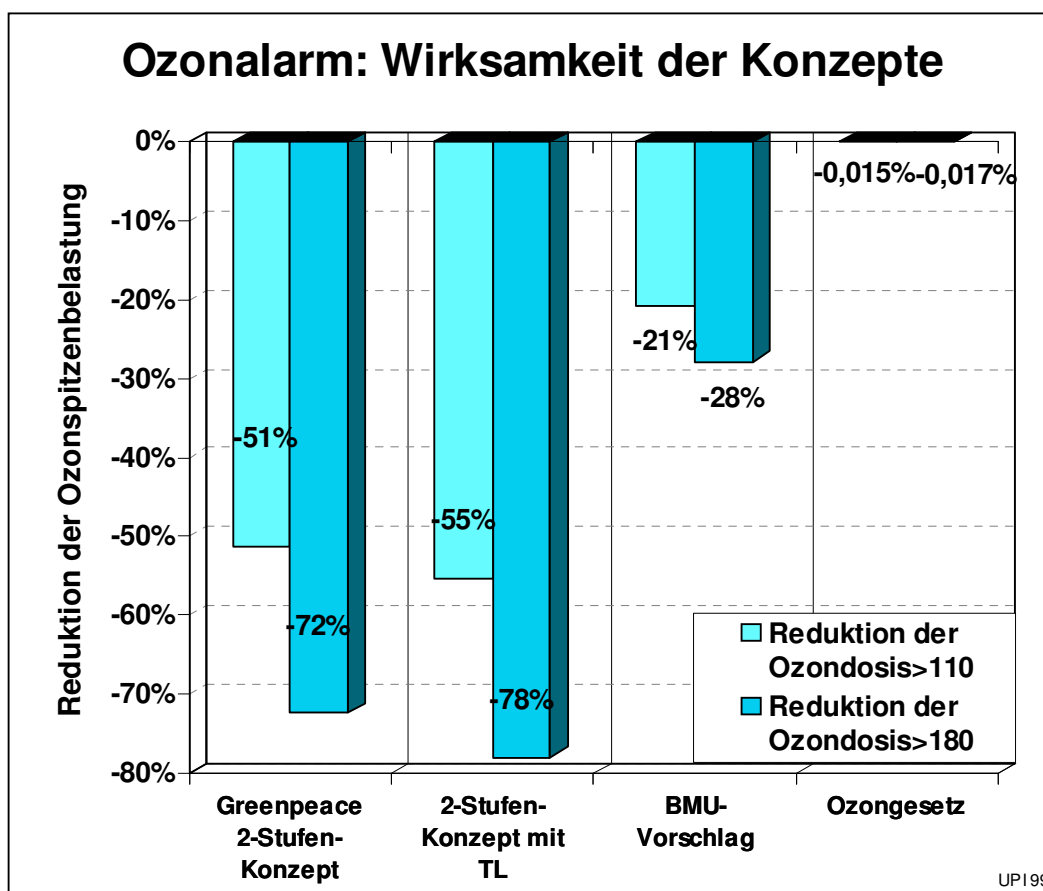
Tabelle 26: Reduktion der Ozondosen pro Jahr nach 2-Stufen-Ozonalarm-Konzept + Tempolimit

Die Wirksamkeit eines Ozonalarms nach dem Vorschlag von Greenpeace kann verglichen werden mit der Wirksamkeit des Sommersmog-Gesetzes der Bundesregierung (siehe Kapitel „Wirksamkeit des Sommersmog-Gesetzes“). Dabei ergibt sich, daß das Maßnahmenpaket nach dem Vorschlag von Greenpeace die Überschreitungen des EU-Grenzwertes von 110 µg/m<sup>3</sup> über 3 000 mal und das Auftreten von Ozonspitzenwerten über 180 µg/m<sup>3</sup> über 4 000 mal stärker reduzieren würde als das bestehende Sommersmoggesetz.

| Vergleich                                     | <b>Greenpeace<br/>2-Stufen-Konzept</b> | <b>2-Stufen-<br/>Konzept mit TL</b> | <b>BMU-<br/>Vorschlag</b> | <b>Ozongesetz</b> |
|---|--|-------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Reduktion der Ozondosis>110                   | -51%                                   | -55%                                | -21%                      | -0,015%           |
| Reduktion der Ozondosis>180                   | -72%                                   | -78%                                | -28%                      | -0,017%           |
| Wirksamkeit Reduktion Grenzwertüberschreitung | 3 400                                  | 3 700                               | 1 400                     | 1                 |
| Wirksamkeit Reduktion Ozonspitzen             | 4 300                                  | 4 600                               | 1 600                     | 1                 |

Tabelle 27: Vergleich der Wirksamkeit des Maßnahmenpakets nach dem Vorschlag von Greenpeace mit der Wirksamkeit des Ozon-Gesetzes der Bundesregierung und dem Vorschlag des BMU für eine neue Sommersmogverordnung

Die Ursache für diese deutlichen Unterschiede liegen nicht so sehr in unterschiedlichen Maßnahmen als vor allem in der durch niedrigere Grenzwerte ermöglichten früheren Auslösung von Ozonalarm und damit früheren Reduktion der Vorläufersubstanzen in den Vorschlägen des BMU und von Greenpeace.



## Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Auswertung aller Ozonmeßwerte des Bundesgebietes aus den Jahren 1990 - 1995 zeigt, daß zwischen den im Wochenverlauf schwankenden Emissionen der Vorläufersubstanzen für Ozon und den Ozonkonzentrationen signifikante Zusammenhänge bestehen. Steigende Emissionen der Vorläufersubstanzen bewirken steigende Ozonkonzentrationen, absinkende Emissionen reduzieren die Ozonbelastungen mit einer

Zeitverzögerung von 1 bis 2 Tagen. Die Zusammenhänge sind dabei umso ausgeprägter, je höher die Ozonkonzentrationen sind. Damit ist bewiesen, daß die in den letzten Jahren gestiegene Sommersmogbelastung durch kurzfristige Reduktionen der Vorläufersubstanzen wirksam verringert werden könnte.

Im Jahr 1995 verabschiedete die Bundesregierung das Sommersmoggesetz, das in Perioden mit hoher Ozonbelastung durch Ausrufung eines Ozonalarms die Bevölkerung vor gesundheitsschädlichen Ozonspitzenkonzentrationen schützen soll.

Zum erstenmal wurde im Sommer 1998 in mehreren Bundesländern Ozonalarm ausgelöst, der zu einem Fahrverbot für nicht-schadstoffarme Autos führte. Die Wirkungen des Ozonalarms waren jedoch nicht meßbar, da der Ozonalarm durch zu hohe Grenzwertregelungen zu spät ausgelöst und die Maßnahmen mit zahlreichen Ausnahmemöglichkeiten versehen waren.

Das Ozongesetz war von Anfang an aus diesen Gründen der Kritik ausgesetzt.

Anfang 1999 legte der neue Bundesumweltminister Jürgen Trittin ein Diskussionspapier zur Novellierung des Sommersmog-Gesetzes vor. Darin wird ein niedrigerer Auslösegrenzwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , eine gleichzeitige Wirksamkeit des Ozonalarms in allen südlichen bzw. nördlichen Bundesländern der Bundesrepublik und ein Tempolimit auf Autobahnen und Außerortsstraßen als emissionsmindernde Maßnahme vorgeschlagen. Ein zweiter Vorschlag zur Novellierung des Sommersmoggesetzes wurde von Greenpeace vorgelegt. Darin werden, ähnlich wie in den früheren Wintersmogverordnungen, zwei Alarmstufen vorgesehen: Alarmstufe 1 ab  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit einem Fahrverbot für konventionelle PKW und eine Alarmstufe 2 ab  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit einem Fahrverbot für alle PKW, die die Euro-Abgas-Norm 2 nicht einhalten und für konventionelle LKW. Zusätzlich sind in beiden Vorschlägen weitere Maßnahmen wie ein Verbot benzinbetriebener Gartengeräte, ein Verbot der privaten Anwendung von Lösungsmitteln und Emissionsreduktionen im gewerblichen Bereich enthalten.

Um diese Vorschläge zu bewerten, berechnete das UPI-Institut die Wirksamkeit des bestehenden Sommersmoggesetzes und der beiden Novellierungsvorschläge anhand der Meßwerte aller ca. 350 Ozonmeßstationen in der Bundesrepublik Deutschland aus den Jahren 1990-1995. Die Ergebnisse zeigt die Grafik „Ozonalarm: Wirksamkeitsvergleich der Konzepte“ auf Seite 44. Während das bestehende Sommersmoggesetz aus dem Jahr 1995 die Ozonspitzenkonzentrationen im Durchschnitt der Jahre lediglich um 0,015-0,017% reduzieren kann, würde der Vorschlag des Bundesumweltministers, vor allem aufgrund des niedrigeren Auslösegrenzwertes, zu einer Absenkung der Ozonspitzenwerte um 21-28% führen. Im Vergleich dazu könnten mit dem Zweistufenkonzept von Greenpeace die Ozonspitzenbelastungen um 51-72% verringert werden. Würde das Zweistufen-Konzept

durch ein Tempolimit ab der ersten Alarmstufe ergänzt werden, könnten die Ozonspitzenwerte um 55-78% verringert werden.

Eine Revision des Ozongesetzes ist deshalb dringend notwendig. Der von dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in einem Diskussionspapier vorgelegte Vorschlag für eine neue Sommersmogverordnung wäre dazu prinzipiell geeignet. Es sollte jedoch ergänzt werden durch den von Greenpeace vorgelegten Vorschlag einer Splittung der Maßnahmen in 2 Alarmstufen. Der Vorschlag von Greenpeace stellt einen Kompromiß zwischen gesundheitlichen Erfordernissen und ökonomischen Bedingungen dar. Er könnte die Ozonbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland über 3 000 mal besser reduzieren als das Ozongesetz der Bundesregierung.

## Tabellenverzeichnis

|   | Seite |
|---|-------|
| Tabelle 1: Stromerzeugung in öffentlichen Kraftwerken im Jahresverlauf 1997, GWh netto, nach VDEW, 1998 .....   | 3     |
| Tabelle 2: NO <sub>x</sub> -Emissionen Bundesrepublik Deutschland, 1999 .....   | 5     |
| Tabelle 3: VOC-Emissionen Bundesrepublik Deutschland, 1999.....   | 5     |
| Tabelle 4: PKW-Bestand der Bundesrepublik Deutschland 1994 und 1998, nach Kraftfahrtbundesamt 1999 .....  | 7     |
| Tabelle 5: Emissionen des PKW-Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland 1999, UPI 9910   |       |
| Tabelle 6: Wochenverlauf der Ozonmittelwerte und Überschreitungshäufigkeiten von Ozonkonzentrationen als Summe aller Meßstationen im Bundesgebiet in den Jahren 1990 bis 1995 .....   | 14    |
| Tabelle 7: Wochenverlauf der Ozondosen; Durchschnitt aller Meßstationen im Bundesgebiet in den Jahren 1990 bis 1995.....  | 18    |
| Tabelle 8: Verhältnis der Emissionen der Vorläufersubstanzen Stickoxide, VOC und Kohlenmonoxid in der Bundesrepublik Deutschland; Werkstage und Wochenendtage   | 18    |
| Tabelle 9: Reduktion der Ozonwerte am Montag im Vergleich zum Freitag; alle Meßwerte 1990-1995.....   | 19    |
| Tabelle 10: Ozon-Reduktion durch eine Verringerung der Vorläufersubstanzen um 10% nach einer Zeitverzögerung von ein bis zwei Tagen (UPI 96, errechnet aus allen Ozonmeßwerten in der BRD 1990-1995).....                           | 19    |
| Tabelle 11: Zahl und Verteilung der Tage, an denen die Kriterien zur Auslösung des Ozon-Alerts nach dem Sommersmog-Gesetz erfüllt gewesen wären (Auswertung aller Meßwerte aller Meßstationen der Bundesrepublik Deutschland) ..... | 20    |



---

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 12: Ozondosis >110 µg/m <sup>3</sup> in den Jahren 1990 bis 1995, aufgeschlüsselt als Mittelwerte der Stationen in den einzelnen Bundesländern .....   | 21 |
| Tabelle 13: Ozondosis >180 µg/m <sup>3</sup> in den Jahren 1990 bis 1995, aufgeschlüsselt als Mittelwerte der Stationen in den einzelnen Bundesländern .....   | 22 |
| Tabelle 14: Reduktion der Vorläufersubstanzen durch die Maßnahmen des Ozongesetzes bei Smogalarm im Sommer 1999 .....  | 22 |
| Tabelle 15: Minderung der Vorläufersubstanzen durch kurzfristige Maßnahmen .....   | 26 |
| Tabelle 16: Tage mit Ozonalarm nach dem Vorschlag BMU 180 µg/m <sup>3</sup> .....  | 29 |
| Tabelle 17: Ozondosis, aufgeschlüsselt als Mittelwerte der Stationen in den Maßnahmegebieten Nord und Süd, UPI 99, berechnet aus Meßdaten der Länder .....   | 29 |
| Tabelle 18: Reduktion der Ozonspitzendosen durch ein Tempolimit .....  | 29 |
| Tabelle 19: Reduktion der Ozonspitzendosen durch die vom BMU vorgeschlagenen Maßnahmen .....   | 31 |
| Tabelle 20: Sommersmog-situationen in den Jahren 1990 und 1991 ohne Ozonalarm nach 180 µg/m <sup>3</sup> BMU-Auslösekriterium .....  | 31 |
| Tabelle 21: Auslösekriterien für Ozonalarm; Vorschlag Greenpeace .....   | 38 |
| Tabelle 22: Senkung der Vorläufersubstanzen für Ozon nach Ozonalarm Greenpeace .....   | 39 |
| Tabelle 23: Tage mit Überschreitung der Auslösewerte von 120 bzw. 180 µg Ozon/m <sup>3</sup> an mindestens 3 Meßstationen in Sommersmogperioden von mindestens 2 Tagen Dauer; mit und ohne Ozonalarm nach Vorschlag Greenpeace; Durchschnitt der Jahre 1990 - 1995 ..... | 42 |
| Tabelle 24: Reduktion der Ozondosen pro Jahr durch Ozonalarm Greenpeace .....  | 42 |
| Tabelle 25: Senkung der Vorläufersubstanzen für Ozon nach 2-Stufen-Ozonalarm-Konzept + Tempolimit .....  | 42 |
| Tabelle 26: Reduktion der Ozondosen pro Jahr nach 2-Stufen-Ozonalarm-Konzept + Tempolimit .....  | 43 |
| Tabelle 27: Vergleich der Wirksamkeit des Maßnahmenpakets nach dem Vorschlag von Greenpeace mit der Wirksamkeit des Ozon-Gesetzes der Bundesregierung und dem Vorschlag des BMU für eine neue Sommersmogverordnung .....   | 44 |

Die UPI-Berichte Nr. 47 „Neue medizinische Erkenntnisse über die gesundheitlichen Auswirkungen von Sommersmog, Berechnung der durch Ozon verursachten Todesfälle in der Bundesrepublik Deutschland“ (Juli 1999, DM 10,-) und Nr. 48 „Bodennahes Ozon - Vorschläge zu einer Novellierung des Sommer-Smog-Gesetzes“ (Juni 1999, DM 15,-) können beim UPI-Institut, Handschuhsheimer Landstr.118a, D-69121 Heidelberg, Tel: 06221/45 50 55, Fax: -56, Internet: [www.upi-institut.de/UPIBerichte.htm](http://www.upi-institut.de/UPIBerichte.htm) oder email: [upi@upi-institut.de](mailto:upi@upi-institut.de) bezogen werden.