

Wenn im Sommer die Temperaturen ansteigen, wird in jedem Wetterbericht gebetsmühlenartig immer wieder vor dem „gefährlichen Ozon“ gewarnt. Um das Vielfache überschrittene Grenzwerte, deren Festsetzung nie hinterfragt wurde, werden als extreme Gesundheitsgefährdung hingestellt. Und die Hauptursache für das „Ozongift“ sei der Straßenverkehr. Wie es sich mit dem bodennahen Ozon wirklich verhält, können Sie in der folgenden Studie über die Lage in der Schweiz nachlesen.

Bodennahes Ozon – wie die Fakten einer umstrittenen Theorie angepaßt wurden

Von René Weiersmüller

Nach gängiger Meinung sind Stickoxide und damit vor allem der Straßenverkehr die Ursache der hohen sommerlichen Ozongehalte in der Luft. Die amtliche Ozonverminderungsstrategie zielt denn auch seit rund 20 Jahren und mit sehr großem finanziellem Aufwand auf eine massive Reduktion der Stickoxidemissionen ab. So erfreulich sich die Maßnahmen hinsichtlich verminderter Stickoxidbelastung bis heute ausgewirkt haben: Bei der Ozonbelastung ist ein entsprechender Erfolg nicht in Sicht. Die Spitzenwerte sind immer noch etwa gleich hoch wie vor 15 Jahren, während die Mittelwerte durchschnittlich sogar um rund 20 Prozent gestiegen sind. Letzteres vor allem als Folge des geringeren Ozonabbaus durch die kleiner gewordene Luftverschmutzung.

Wenn schon die bisherige Halbierung der Stickoxide ohne nachweisbare Auswirkungen auf die Ozonspitzenwerte geblieben ist, dürfte die Einhaltung der Grenzwerte selbst bei einer weiteren Halbierung der Stickoxide völlig illusorisch sein (Teil 1). Dies um so mehr, als diese nochmalige Halbierung bereits seit Jahrzehnten Tatsache ist: An den schwächer mit Stickoxiden belasteten Wochenenden sind aber keine geringeren Ozonspitzenwerte feststellbar als an den stärker mit Stickoxiden belasteten Werktagen (Teil 2). Hingegen sind an den stickoxidärmeren Wochenenden selbst im Sommerhalbjahr die Ozonminimalwerte höher als unter der Woche. Damit ist herleitbar, daß der beklagte Anstieg der Ozonmittelwerte weitgehend auf die in den beiden letzten Jahrzehnten sauberer gewordene Luft zurückzuführen ist. Zur Diskussion gestellt wird ferner die Hypothese, wonach die Temperaturinversion beim Ozon eine gleiche zentrale Rolle spielt wie bei anderen

Luftschadstoffen (Teil 3). Wird demzufolge aus den höheren Luftschichten kein Ozon nachgeschoben, sinken die Ozonwerte in Bodennähe je nach Randbedingungen unterschiedlich stark ab – sowohl im Sommer wie im Winter, am Tag wie in der Nacht. Umgekehrt steigen die Bodenozonewerte bei einem großen Temperaturgradient (und hohen Ozonwerten in den höheren Luftschichten) auf maximale Werte an. Wird diese Hypothese bestätigt, sind die geltenden Ozongrenzwerte mitsamt den amtlichen Ozonbekämpfungsstrategien ebenso in Frage zu stellen wie die immer wieder vorgebrachten schädlichen Einflüsse des Ozons auf die Gesundheit.

Der erste und zweite Teil dieser Arbeit beruhen auf Fakten, bei deren Überprüfung jedermann zwangsläufig zu denselben Resultaten kommen sollte. Die Ergebnisse decken sich zudem mit der Ozonrealität, das sind die Ozonmeßwerte sowie deren zeitlicher Verlauf. Im dritten Teil werden neue Ansätze im Sinne von zu diskutierenden und zu verifizierenden Hypothesen vorgeschlagen.

Die hier vorgenommenen Untersuchungen beschränken sich im wesentlichen auf das nordöstliche Mittelland der Schweiz sowie den sich zum Glücksfall entwickelten Ozonsommer 2003. Die Daten stammen vorwiegend vom NABEL-Meßnetz, sind aber auch durch Daten von kantonalen Fachstellen ergänzt. Um dem Vorwurf der Datenmanipulation zuvorzukommen, sind sämtliche übermittelte Daten unverändert übernommen worden, ausgenommen die gänzlich undenkbaren Werte (sofern sie bemerkt wurden). Trotz großer Sorgfalt bei den Auswertungen sind Fehler im Einzelfall aus unterschiedlichen Gründen jedoch nie völlig auszuschließen.

1. Die Auswirkung verminderter Stickoxidemissionen aus Sicht der EKL

Für Fragen der Luftreinhaltung ist in der Schweiz die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene EKL federführend. Die EKL ist ein Gremium von 14 Experten, welche wissenschaftliche Berichte, Empfehlungen, Stellungnahmen und Anträge zuhanden der Regierung und der Verwaltung erarbeitet. Als Folge des extremen Ozonsommers 2003 veröffentlichte die EKL einen Bericht [1] mit der Hauptbotschaft, die Ozonwerte seien nach wie vor zu hoch, weil sich die Stickoxidemissionen immer noch auf unakzeptabel hohem Niveau bewegten.

Diese Behauptung steht im Gegensatz zur amtlicherseits seit 20 Jahren versprochenen Ozonreduktionen als Folge verminderter Stickoxidemissionen. Sie ist trotz eines Aufwands, der sich (allein in der Schweiz) im zweistelligen Milliardenbereich bewegt, bislang ausgeblieben: So mußten Amtsstellen im Ozonsommer 2003 statt Erfolge in der Ozonbekämpfungsstrategie - nach kommunikativen Anlaufschwierigkeiten - dauernd neue Rekorde von Grenzwertüberschreitungen vermelden. Selbst unter Fachleuten herrschte Erklärungsnotstand [2, 3].

Der beachtliche Erfolg hinsichtlich erreichter Stickoxidreduktion ist dabei unbestritten. Diese ist auch aus andern Gründen sehr erwünscht, hat aber nach den meßbaren Realitäten das Gewollte hinsichtlich des Ozons (O₃) nichts gebracht. Andere Interpretationen setzen «den Griff in die statistische Trickkiste» voraus, so wie im nachfolgend auszugsweise verifizierten EKL-Bericht. Weitergehende Erläuterungen zu den Schadstoff- und Grenzwerten sowie deren statistischen Definitionen sind dabei im Anhang 1 aufgeführt.

Zum Kapitel «Ozonbelastung und Trends 1989-2003» des EKL-Berichtes

Eingegangen wird nachfolgend auf drei der vier Abschnitte dieses Kapitels – dem eigentlichen Fundament des EKL-Berichtes:

Zur «Ozonbelastung in der Schweiz»

Mit Blick auf *Abbildung 1* meint die EKL, die jährliche Anzahl Überschreitungen des 1h-Immissionsgrenzwertes hätte sich in den letzten zehn Jahren kaum verändert, ausgenommen im Jahr 2003 als Folge des Hitzesommers. Dem ist zuzustimmen. Wenn diese hohen Ozonwerte nach EKL aber keinen Trend haben, kann folglich nicht behauptet werden, die Reduktion der Vorläufersubstanzen hätten zu einer Reduktion der Spitzenwerte geführt. Das tut die EKL aber im folgenden Abschnitt «Ozonbelastung 2003».

Erwähnenswert ist ferner, daß die Werte in *Abbildung 1* anhand der zugänglichen Quellen nicht exakt verifizierbar sind und von den beiden bestehenden Stationen auf der Alpensüdseite, Lugano und Magadino, die Überschreitungswerte von Magadino erst ab 1992 verfügbar sind. Die Meßstation Lugano ist zudem mit unbekanntem Auswirkungen anfangs der 90er Jahre zweimal und 2001 ein drittes Mal verlegt worden. Dasselbe trifft auch für die Meßstationen Zürich (einmal verlegt 1997) und Bern zu (zweimal Ende der 90er Jahre verlegt).

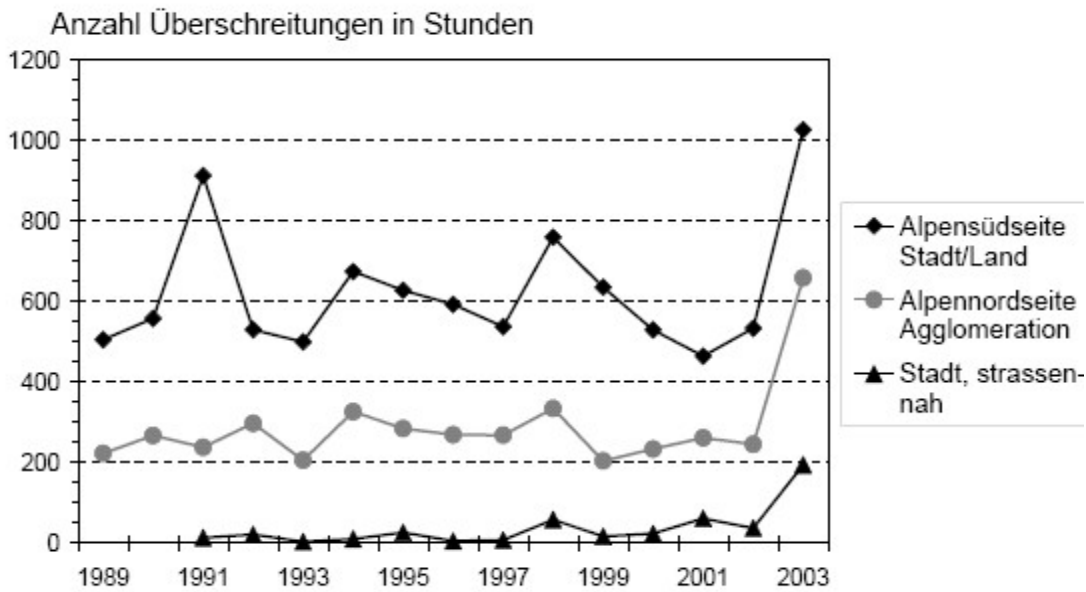


Abbildung 1: Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwertes von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an verschiedenen Standorttypen des NABEL 1989-2003 aus [1].

Zur «Ozonbelastung 2003»

Dazu behauptet die EKL, die erreichte Emissionsreduktion zeige einen Effekt auf die Ozonbildung. Dies, weil nach *Abbildung 2* im Jahr 2003 die maximalen Stundenmittelwerte auf der Alpennordseite nur wenig höher waren als in den Vorjahren, während die maximalen Stundenmittelwerte auf der Alpensüdseite im Jahr 2003 sogar tiefer waren als in den Jahren zuvor.

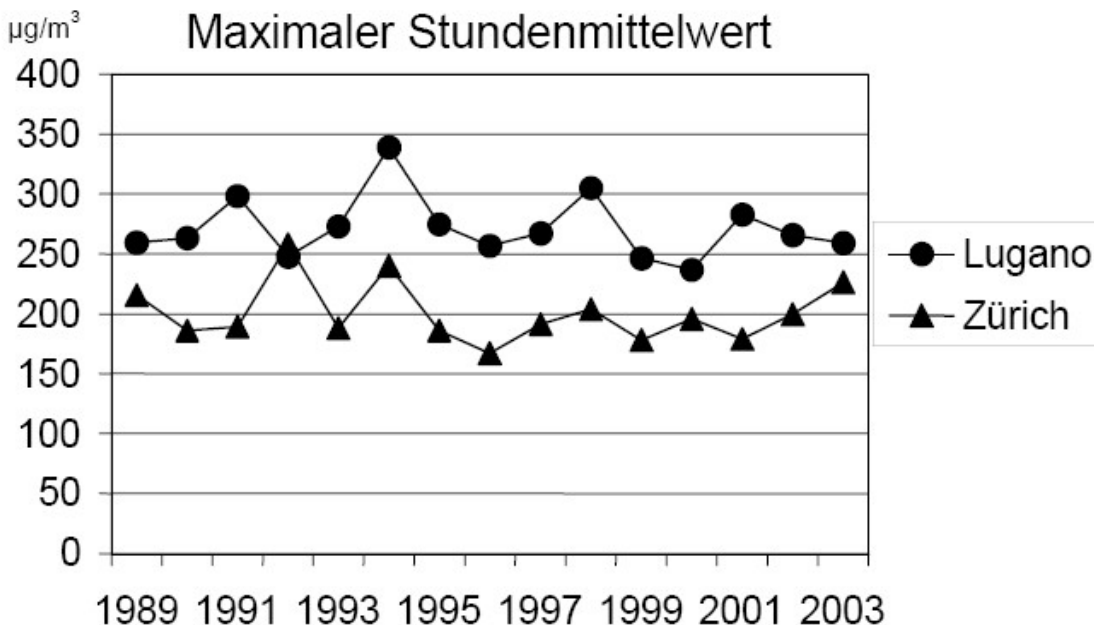


Abbildung 2: Maximaler Stundenmittelwert in Zürich und Lugano 1989-2003 aus [1].

Mit Verlaub: Das Resultat einer viele Milliarden kostenden Emissionsreduktion aus einer einzigen Zahl – nämlich der Differenz zweier einzelner und damit ebenfalls zufallsbehafteten Maximalwerte vom Jahr 2003 – nachweisen zu wollen, ist Unsinn. Die Maxima des Jahres 2003 wurden in der

Vergangenheit in Lugano wie in Zürich sowohl über- als auch schon unterschritten. Unklar ist ebenfalls, wieso die Maximalwerte der beiden Stationen Zürich und Lugano erst ab 1989 ausgewiesen werden. Vorhanden sind sie nämlich seit 1985 (Zürich) sowie 1987 (Lugano), siehe die vollständigen Zeitreihen mit den dazugehörigen Trends nach *Abbildungen 3 und 4*.

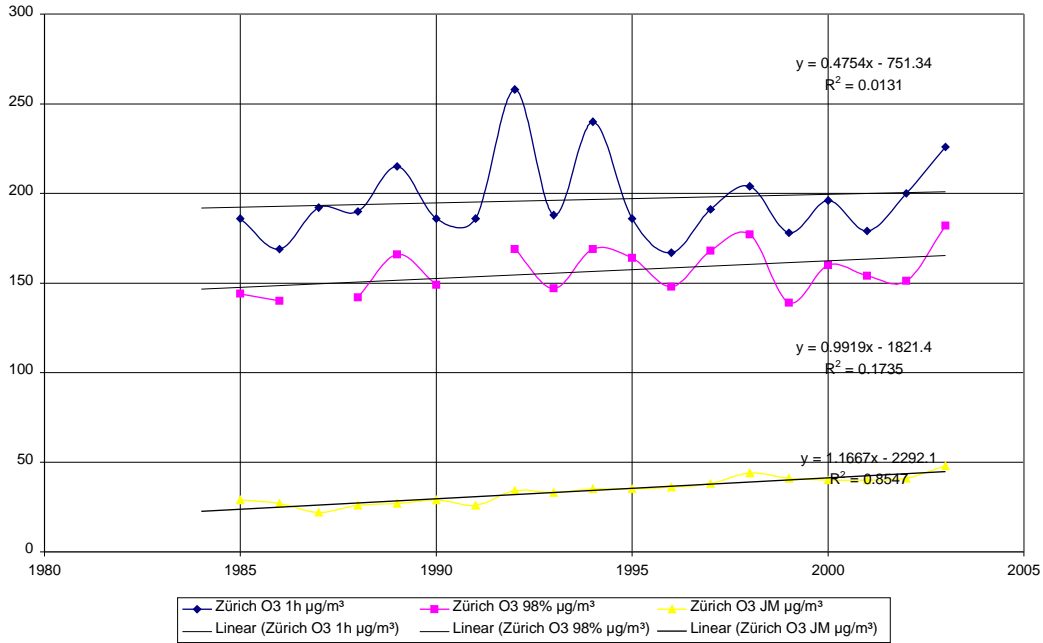


Abbildung 3: Maximal-, 98%- und Ozonjahresmittelwerte JM der NABEL-Station Zürich mit Regressionen von 1985 bis 2003. Stationsstandort 1997 verändert (Datenquelle BAFU/NABEL).

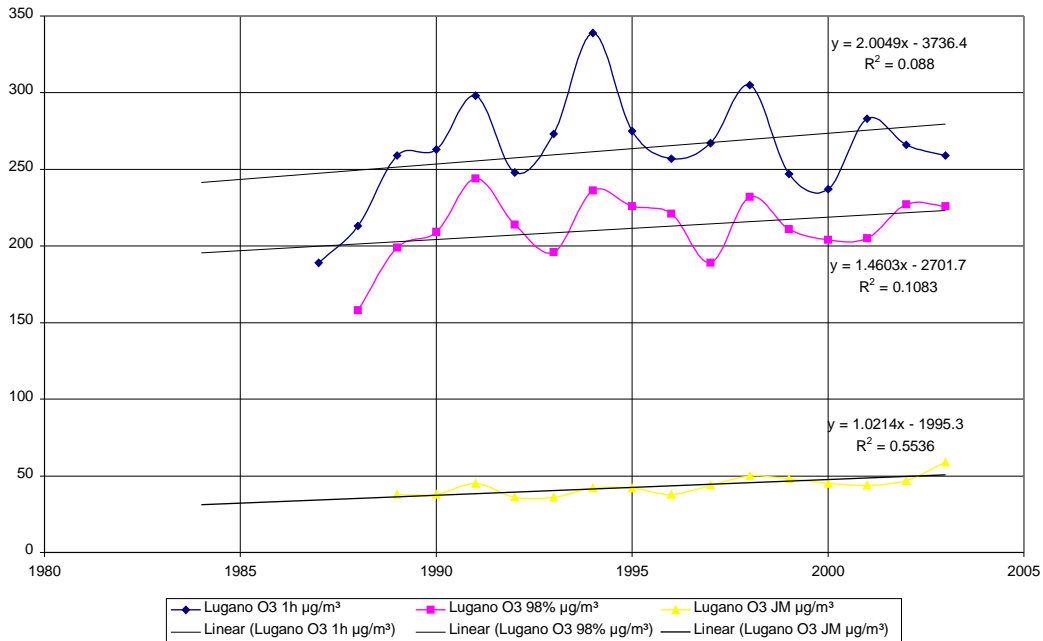


Abbildung 4: Maximal-, 98%- und Ozonjahresmittelwerte JM der NABEL-Station Lugano mit Regressionen von 1987 bis 2003. Stationsstandort 1991, 1992 und 2001 verändert (Datenquelle BAFU/NABEL).

Für eine verlässliche Trendaussage völlig ungenügend sind selbst die Bestimmtheitsmaße der 98%-Trendlinien; einmal abgesehen vom ungewissen Einfluß der wiederholten Verlegungen der Meßstationen. Die Unhaltbarkeit der EKL-Behauptung ist ebenfalls anhand von *Abbildung 1* mit der Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwertes ersichtlich. Ganz abgesehen davon, daß ein ozonreicher Sommer sich kaum in den Spitzenwerten wie insbesondere den Maximalwerten oder den 98%-Werten niederschlägt: Um diese hochzutreiben, genügen normalerweise einige besonders heiße Tage!

Wird in der Studie noch beiläufig erwähnt, im Jahr 2003 sei in Chiasso sogar ein Spitzenwert von $345 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen worden, so relativiert dies die Aussage eines auf der Alpensüdseite tieferen Maximalwertes 2003 als Folge verminderter Stickoxidemissionen noch weiter.

Zu «Zeitliche Entwicklung der Ozonbelastung»

Hier werden mit *Abbildung 5* die verschiedenen Quantile der Meßstelle Zürich als Zeitreihe aufgeführt. Dazu die EKL: «Das Beispiel zeigt zwei gegenläufige Trends: die Spitzenbelastung (maximales 1h-Mittel) ist rückläufig, die tieferen Belastungen (Quantile unter 75%-Wert, Median und Jahresmittel) hingegen steigen deutlich an. Der Anstieg der niedrigeren Belastung ist primär Ausdruck der abnehmenden Stickoxid-Konzentration in den städtischen Gebieten. In ländlichen Gebieten besteht eine ähnliche Tendenz...».

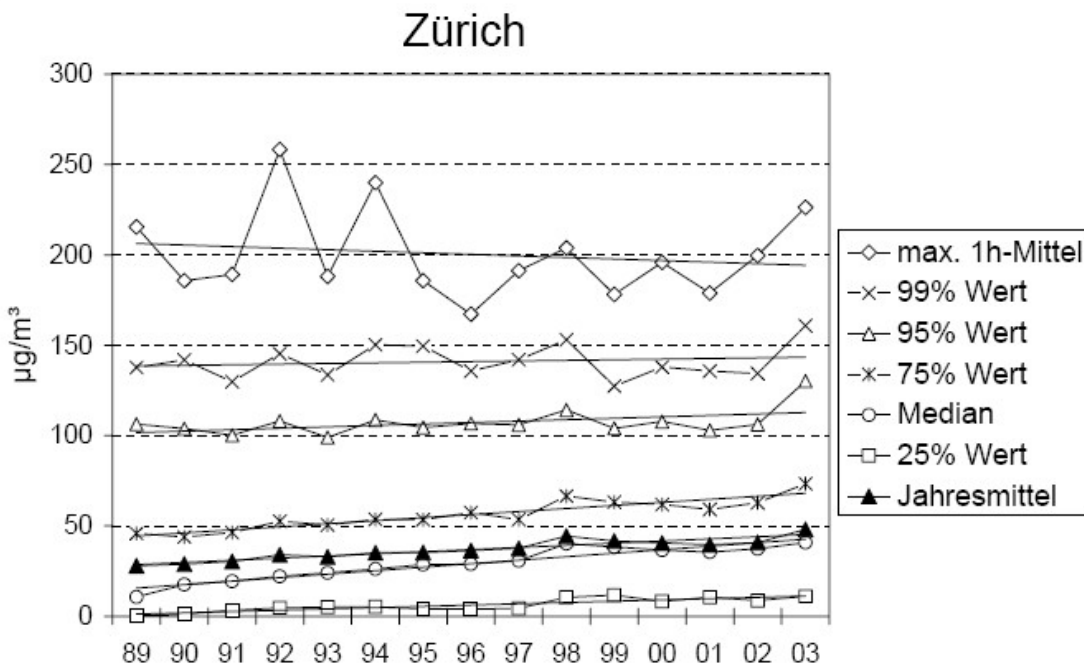


Abbildung 5: Verschiedene Quantile der Stundenmittelwerte in Zürich 1989-2003 aus [1].

Es wird der EKL nicht unterstellt, sie habe das Beispiel Zürich nur gewählt, um die gewünschte Aussage zu erreichen. Trotzdem ist nicht von der Hand zu weisen: Die einzige sinkende Ozontendenz ist nur mit dem (wie bereits erwähnt statistisch wenig sinnvollen) maximalen 1h-Mittelwert – also einer einzigen Zahl pro Jahr – «herbeizuzaubern». Der Korrelationskoeffizient als Maß für die Bestimmtheit eines Zusammenhanges ist dabei praktisch Null (0 entspricht keine Abhängigkeit, 1 bedeutet eine exakte Beziehung). Das heißt, die sonst schon weitgehend wertlosen maximalen Stundenwerte sind zudem noch ohne gesicherten Trend. Siehe dazu auch *Abbildung 2* (mit derselben Darstellung der maximalen 1h-Mittel von Zürich), dem zugehörigen Text sowie *Abbildung 3*.

Alle anderen Quantile sind zwar teils aussagekräftiger - aber eben leider von steigender Tendenz. Diese steigende Tendenz (der Jahresmittelwerte) ist freilich größtenteils die Folge der generell kleineren Stickoxidbelastung, welche vor allem die Ozonwerte in den Wintermonaten beziehungsweise die sommerlichen Nachtwerte anhebt und daher nichts mit Ozonbildung zu tun hat. Wie auf diese Weise der Einfluß verminderter Emissionen auf die höheren Ozonwerte nachweisbar sein soll, ist ebenso unklar wie der erst ab 1989 erfolgende Beginn der Zeitreihen.

Auch diese Daten sind nämlich bereits ab 1985 zugänglich, und das sieht dann aus wie schon in *Abbildung 3* dargestellt: Demnach ist selbst die Trendlinie der Maximalwerte ansteigend; der Korrelationskoeffizient respektive das Bestimmtheitsmaß ist allerdings fast Null. Selbst wenn das extreme Ozonjahr 2003 unberücksichtigt bleibt, ergibt sich nahezu dasselbe Resultat. Allerdings sei nochmals nachdrücklich darauf hingewiesen: Solche Statistiken geben nichts Beweiskräftiges her. Außer vielleicht – milde ausgedrückt –, wie verantwortungsvoll einige EKL-Experten mit dem Zahlenmaterial umgehen.

Spitzenwerte um 10-20 % tiefer?

In diesem Zusammenhang behauptet die EKL auch, seit 1990 hätten die Ozonspitzenwerte in den Agglomerationen und an ländlichen Standorten beidseits der Alpen um 10-20% abgenommen. Worauf sich diese Äußerung stützt, ist nicht bekannt, und sie ist widerlegbar:

Erst seit 1992 verfügt NABEL über 16 Meßstationen. Von den für die EKL-Behauptung relevanten 11 Stationen (in der Agglomeration oder auf ländlichem Standort) waren 1990 auf der Alpensüdseite keine, auf der Alpennordseite sieben Stationen in Betrieb. 1991 kamen zwei und 1992 nochmals zwei für einen Vergleich geeignete Stationen dazu. Die für diese Stationen ab 1990 bestimmten und bis 2003 reichenden Trends ergeben bei den 1h-Spitzenwerten in 6 von 11, bei den etwas eher gesicherten 98%-Werten in 8 von 11 Fällen *ansteigende* Werte. Werden die Trends bis 2004 berechnet, sind bei den 1h-Spitzenwerten 6 von 11 Stationen ansteigend, bei den 98%-Werten sogar 9 von 11. Als Folge des Wetters sowie (vor allem früheren) Meßungenauigkeiten etc. sind die Korrelationen allerdings auch hier durchwegs schlecht.

Für Trendaussagen aussagekräftiger ist hingegen die jährliche Anzahl der Grenzwertüberschreitungen, reagieren doch diese wegen der Hebelwirkung besonders sensibel auf sinkende oder steigende Spitzenwerte. So läßt sich beispielsweise anhand der provisorischen Daten von 2005 berechnen, daß nur schon um 10% kleinere Spitzenwerte die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen beim heutigen Ozonpegel im Mittel nahezu halbieren würde. Man vergleiche diesen Sachverhalt nun mit der auf dem Internet zugänglichen *Abbildung 6*: Nach den Spitzenwerten des Jahres 2003 hat sich die Zahl der Grenzwertüberschreitungen aller NABEL-Standorttypen durchwegs wieder etwa auf dem früheren Niveau eingependelt, und Auswirkungen eines 10- oder gar 20%igen Ozonrückganges in Form von praktisch einer halb so großen Zahl von Grenzwertüberschreitungen sind auch bei bestem Willen nicht auszumachen.

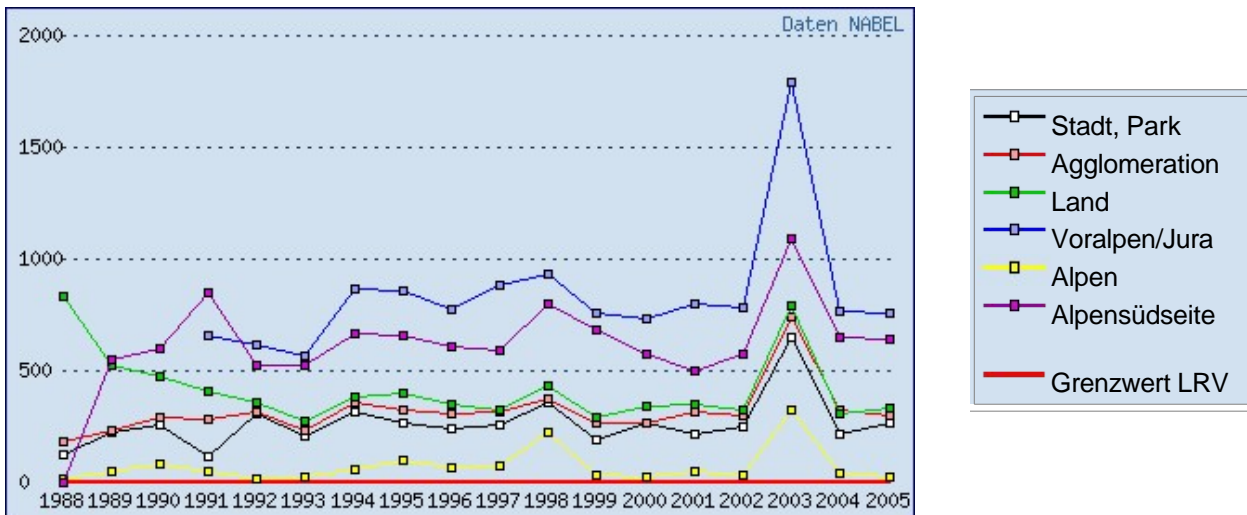


Abbildung 6: Anzahl Grenzwertüberschreitungen (Stunden > 120 µg/m³ Ozon) pro Jahr; Entwicklung seit 1988 (Bildquelle BAFU).

Fazit: Die vorgebrachte Beweisführung der EKL, die Ozonspitzenwerte seien als Folge verminderter Stickoxidemissionen gesunken, ist nicht nachvollziehbar. Die korrekte Auswertung der Meßdaten zeigt vielmehr, daß die Ozonspitzenwerte trotz wesentlich kleinerer Stickoxidemissionen praktisch unverändert hoch geblieben sind. Das deckt sich einerseits mit dem längerfristigen Trend vom Hohen Peissenberg (Anhang 3), bedeutet aber andererseits, daß die von der EKL eigentlich mit zu verantwortende, milliardenschwere amtliche Ozonbekämpfungsstrategie – wie bereits anfangs 90er Jahren gemutmaßt [15, 16] – auf falschen Voraussetzungen beruht und somit hinsichtlich Ozonverminderung erfolglos bleiben wird.

2. Zum Einfluß der Vorläufersubstanzen auf die Ozonbildung

Wie in Anhang 2 «Besonderheiten im Falle des Ozons» aufgeführt, ist die Ozonbildung wesentlich an die Meteorologie gekoppelt – wobei vieles trotz kostenintensiver Forschungsaktivitäten jedoch bis jetzt immer noch unklar ist. Um die jahrzehntelang behauptete Auswirkung der Vorläufersubstanzen Stickoxide NO₂ und NO sowie der Kohlenwasserstoffe auf die Ozonbildung zu ergründen, müßte die Ozonbildung bei weitgehend gleicher Wetterlage, aber möglichst unterschiedlicher Belastung mit diesen Vorläufersubstanzen untersucht werden. Das wurde mit dem damaligen Tempoversuch mittels zweimonatiger Geschwindigkeitsbegrenzung auf Autobahnen angestrebt [4], welcher allerdings voraussehbar mißlang: Einerseits waren die meteorologischen Gegensätze zu groß, andererseits die Unterschiede in den emittierten Primärschadstoffen zu klein und zudem immissionsseitig viel zu uneinheitlich, das heißt zu stark schwankend [14]. Inoffiziell eruieren ließ sich mit dem Tempoversuch lediglich die *ungesicherte* Tendenz, daß nämlich dort, wo die Stickstoffdioxidwerte (immer als Leitsubstanz der durch den Straßenverkehr verursachten Luftverschmutzung) sanken, umgekehrt die Ozonwerte stiegen. Was jedoch nicht den politischen Zielsetzungen des Tempoversuches entsprach.

Andere Auswertungen der beim Tempoversuch erhobenen Daten ergaben hingegen eine ausgeprägte negative Korrelation zwischen den *Monatsmittelwerten* von Ozon und Stickstoffdioxid [15]. Der Einbezug zusätzlicher Meßwerte verbesserte die Korrelation weiter [16], zeigte aber auch, daß in den ausgewerteten Sommermonaten Juli und August der Jahre 90/91 zwischen den *98%-Monatsmittelwerten* (also den hohen Ozonwerten) und dem mittleren Stickstoffdioxidgehalt als Maß für die Belastung durch Vorläufersubstanzen kein signifikanter Zusammenhang besteht. Diese Ansätze wurden von der Fachwelt zuerst kritisiert und dann ignoriert.

Die bereits vor 25 Jahren gemachten Erfahrungen [5] sowie die darauf basierenden Vorschläge [17, 18, 14] sind jedoch erfolgsversprechender als Tempoversuche. Zudem sind Befunde ohne kostspielige Versuchsanlage bzw. ohne entsprechend aufwendige Auswertung durch externe Stellen zu haben: An Werktagen sind nämlich die Stickoxidemissionen im Sommer durchschnittlich rund doppelt so hoch wie am Wochenende. Dies wegen des fehlenden Berufsverkehrs sowie des sonntäglichen Lastwagenfahrverbotes. Unter der Annahme, die durchschnittliche Wetterlage sei während des für die Ozonbildung relevanten Sommerhalbjahres an den Wochenenden etwa ähnlich wie an Werktagen, können so die Einflüsse der Stickoxidemissionen auf die Ozonwerte bei praktisch identischer Meteorologie ausgelotet werden. Von diesen Vorteilen war die EKL ebenfalls überzeugt [1], wenn auch die entsprechenden Auswertungen der EKL Fragen aufwerfen.

Nach *Abbildung 7* sind die Stickoxidwerte (NO und NO₂) an den Wochenenden wie erwartet signifikant kleiner; das ist auch in Straßennähe bei entsprechend höherer Vorbelastung mit Stickoxiden so. Ebenso klar ersichtlich ist allerdings, daß sich die Ozonwerte (O₃) am stickoxidärmeren Wochenende nicht im gewünschten Sinne vermindern – obwohl das aufgeführte Beispiel aus dem besonders ozonreichen Jahr 2003 stammt. Oder umgekehrt, trotz größerer Stickoxidbelastung von Montag bis Freitag sind die Ozonwerte praktisch unverändert. Eine entsprechende Tendenz ist auch aus den statistisch eher wertlosen Maximalwerten (O₃ MAX) nicht ersichtlich. Wenn somit an einem extremen Ozonsommerhalbjahr der behauptete Zusammenhang nicht belegbar ist, so trifft das für ein normales Sommerhalbjahr wohl noch viel eher zu. Weitere detaillierte Auswertungen wie beispielsweise der Wochengang der Standardabweichung (als Maß für die Streuung) erhärten die Resultate (und die Absenz eines Problems gemäß *Abbildung 11* im Anhang 1).

Hingegen besteht ein mittlerer Wochengang für ein Sommerhalbjahr nur aus theoretisch maximal 27 Werten je Zeiteinheit (hier Halbstundenmittelwerte). Wenn daher beispielsweise anstelle einer gleichmäßigen Verteilung der Regentage auf die einzelnen Wochentage gleich zwei Regentage auf den Samstag statt auf den Freitag fallen, wird die Interpretation mit einer so schmalen Datenbasis schwieriger. Verfälschungen sind ebenfalls durch auf Werktage fallende Feiertage möglich. Eine gute Abstützung ist trotzdem erreichbar, wenn nämlich die Wochengänge verschiedener Jahre von mehreren Meßstationen ausgewertet und miteinander verglichen werden.

Dafür ist der *relative* Verlauf eines Wochenganges praktischerweise weitgehend unempfindlich hinsichtlich fast jeder Art von Meßfehlern. Erst ein Vergleich mit andern Meßreihen (wie beispielsweise nachfolgend in *Abbildung 8*) kann in solch einem Fall zu Fehlinterpretationen verführen.

Variante 1: Mittlerer Wochengang Rigi 02. April - 30. Sept. 2003 (Datenquelle BUWAL/NABEL)

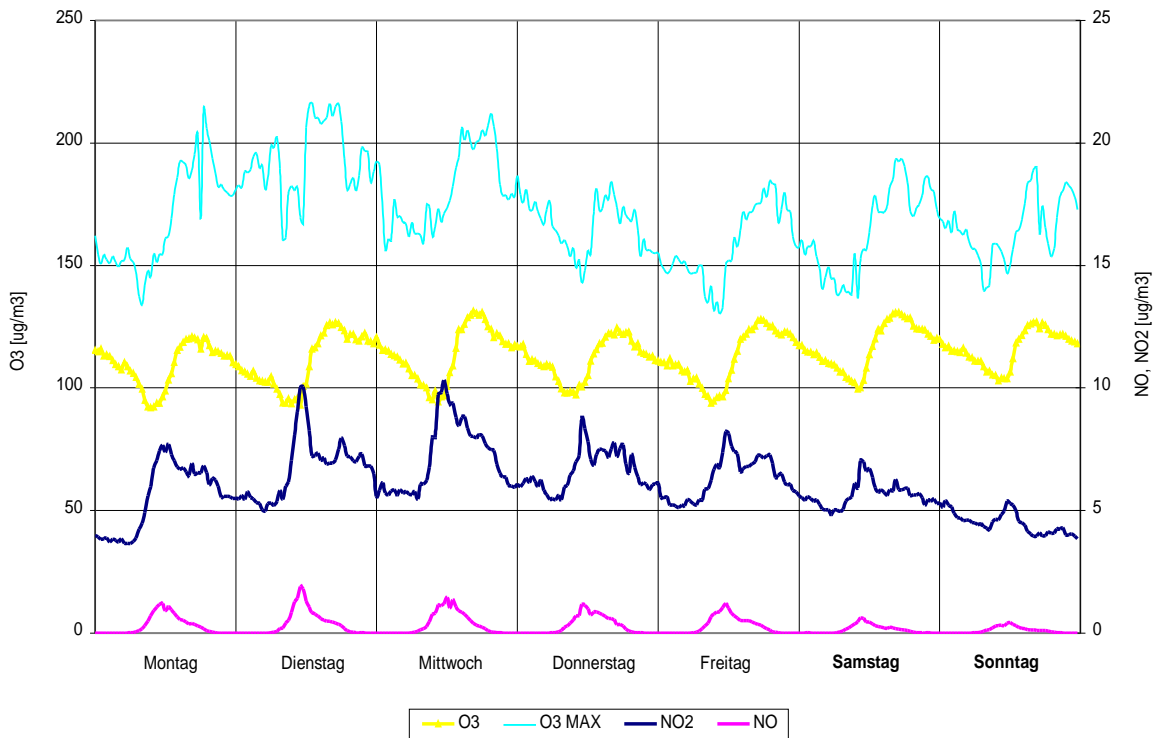


Abbildung 7: Mittlere Wochengänge Rigi (1031 m ü. M.), 02. April – 30. Sept. 2003, Umrechnungsfaktor Ozon 1.95 (Datenquelle BAFU/NABEL).

Verschiedene Standorte – ähnlicher Ozon-Wochengang

Es überrascht bei den vielen nicht vermeidbaren Unsicherheiten und Ungenauigkeiten, was sich aus den übereinander gelegten Wochengängen mehrerer, nicht unmittelbar beisammen liegender Meßstationen alles veranschaulichen läßt (Abbildung 8). So sind die mittleren täglichen Ozonhöchstwerte (Peaks) je nach Wochentag zwar verschieden hoch, der relative Verlauf der Station untereinander hingegen ähnlich: Im Sommerhalbjahr 2003 sind bei allen fünf unter 2000 m ü. M. liegenden Stationen die Ozonpeaks vom Mittwoch und Samstag am höchsten, am tiefsten sind die vom Montag und Donnerstag. Der Verlauf der Ozonpeaks steht bemerkenswerterweise mit dem mittleren Temperaturverlauf in besserer Übereinstimmung als mit dem der Globalstrahlung.

Im weniger ozonaktiven Sommerhalbjahr 2002 sind die Ozonwerte dagegen am Dienstag, Donnerstag und Freitag am höchsten. Wahrscheinlich als Folge der gegenüber dem Sommerhalbjahr 2003 weniger ausgeprägten (europaweiten) Schönwetter-Hochdrucklagen ist die Gleichheit etwas geringer als 2003. Eine gesamtschweizerische Stichprobe von Meßstationen inklusive der italienischen und der französischen Schweiz ergaben für das Sommerhalbjahr 2005 sogar ein ausreichend übereinstimmendes Peakmuster aller untersuchten Ozonwochengänge.

Im Sommerhalbjahr 2002 waren ferner die Ozonwerte auf dem Jungfraujoch im Vergleich zum Sommerhalbjahr 2003 nur unwesentlich kleiner, bei den andern Stationen jedoch deutlich tiefer. Denkbar sind dafür zwei Ursachen: Entweder findet die Ozonproduktion in heißen Sommern bevorzugt in den Luftmassen unterhalb etwa 3500 m ü. M. statt. Oder durch die Lage mitten in den Alpen ist die Station Jungfraujoch für die Ozonwerte der freien Atmosphäre nicht ausreichend repräsentativ, siehe dazu Teil 3.

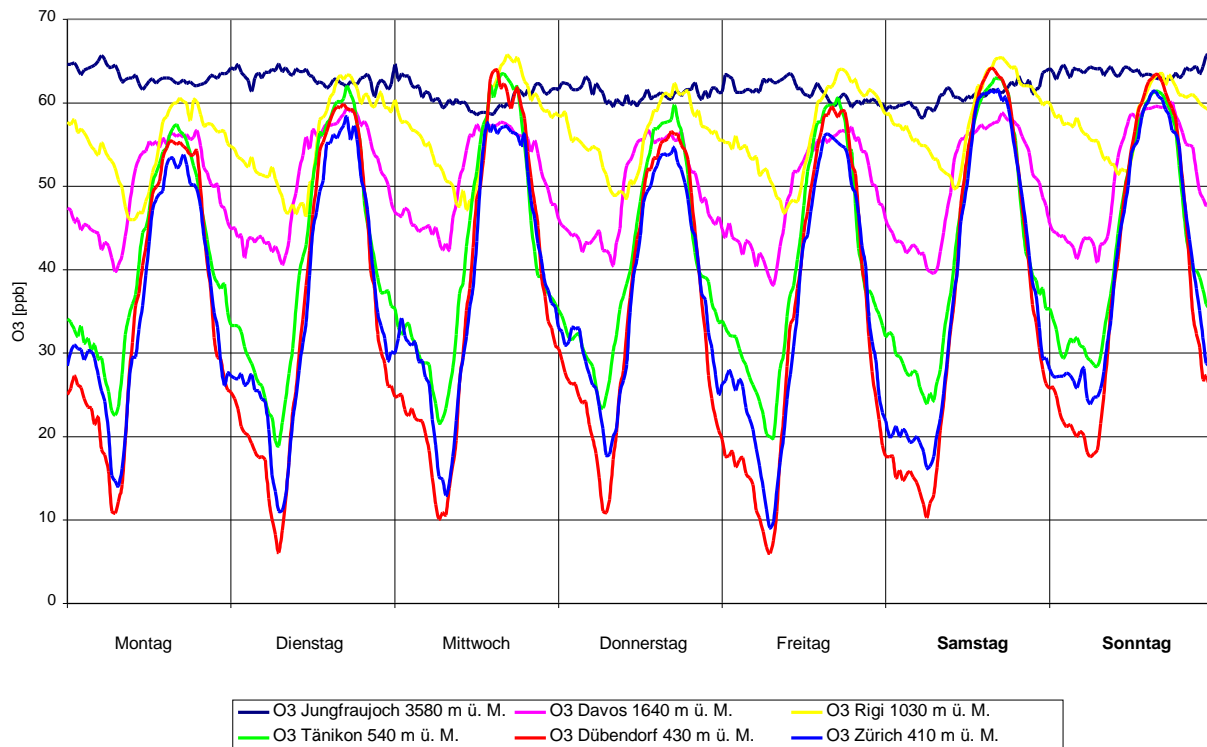


Abbildung 8: Verschiedene Ozonwochengänge unterschiedlich mit Stickoxiden vorbelasteten Stationen vom Sommerhalbjahr 2003. Ozoneinheiten in ppb aus Gründen der Vergleichbarkeit (Höhenlage resp. Druck und Temperatur). Datenquelle BAFU/NABEL.

Die in *Abbildung 8* aufgeführten Stationen unterscheiden sich hinsichtlich der Stickoxidvorbelastung (selbst ohne Jungfrauoch) erheblich voneinander, unter Einbezug der Wochenenden fast um eine Zehnerpotenz (!). Dies ist ein weiteres Indiz, daß den Stickoxiden nicht der ihnen zugesprochene Stellenwert zukommen kann. Wäre dem so, müßten bei den mit mehr Stickoxiden belasteten Stationen ein Wochengang mit entsprechend höheren Ozonwerten resultieren. Dies ist nicht der Fall; die mittleren täglichen *Ozonspitzen* sind auf die je nach Station unterschiedlichen Stickoxidbelastungen kaum anfällig (nur sehr stark mit Stickoxiden beziehungsweise Stickstoffmonoxid vorbelastete NABEL-Stationen wie beispielsweise Bern oder Lausanne haben deutlich andere, aber tiefere mittlere Tagesspitzen).

Anders die täglichen Minimalwerte: Diese sind sowohl an den weniger vorbelasteten Stationen als auch bei den stickoxidärmeren Wochenenden tendenziell höher. Ozon wird in der Nacht also nachweislich durch (vor allem verkehrsbedingte) Stickoxide und deren Begleitsubstanzen abgebaut; an Tagen mit kleinerer Stickoxidbelastung (Wochenende) sind deshalb die *Tagesmittel* höher. Vielleicht ist das auch die Ursache des uns seit Jahrzehnten beschäftigenden Ozonogmas: Je höher die Belastung mit «Vorläufern», um so mächtiger die Tagesamplituden, und je sauberer die Luft, desto flacher die Tagesspitzen (bei allerdings sonst ohnehin hohen Grundwerten). Dieser massive Ozonabbau durch Stickoxide erinnert übrigens an die vor Jahrzehnten ausgetragenen Kontroversen hinsichtlich der durch Flugzeugabgase in etwa zehn Kilometer Höhe gefährdeten Ozonschicht und macht nachdenklich.

Ungenügende Vorläuferreduktion?

Es könnte nun eingewendet werden, für eine nachweisbare Ozonreduktion sei die Verminderung der Stickoxidemissionen immer noch viel zu klein: Seit der Einführung der Autokatalysatoren vor rund 20 Jahren ist jedoch der Stickoxidausstoß im Sommer nahezu europaweit auf rund die Hälfte

gefallen, d.h. an den Wochenenden beträgt er somit noch etwa ein Viertel. Andererseits liegen die Ozonspitzenwerte seit etwa 20 Jahren unverändert im Bereich von etwa 200 bis 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – sowohl an Werktagen wie auch am Wochenende. Dies bei einem einzuhaltenden Grenzwert von lediglich 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon, welcher einmal im Jahr für eine Stunde überschritten werden darf. Da dürfte doch eine Grenzwerteinhaltung selbst bei einer Stickoxidreduktion um eine Zehnerpotenz völlig illusorisch sein.

Oder das Verhältnis der Stickoxidvorbelastung bei den Stationen Rigi, Tänikon und Dübendorf (*Abbildung 8*) ist im Sommer etwa 1 zu 2 zu 4. Selbst bei einer nochmaligen Halbierung der Stickoxidvorbelastung hätten die beiden Stationen Tänikon und Dübendorf immer noch die gleiche (Tänikon) respektive die doppelte (Dübendorf) Stickoxidvorbelastung wie heute die Station Rigi. Mit andern Worten, selbst bei zukünftigen – vorderhand im Ausmaß noch unrealistischen – Stickoxidreduktionen wird es dann immer noch Meßstationen geben, bei denen der Ozonwochengang (trotz halben Stickoxidemissionen am Wochenende) den heutigen Verhältnissen entspricht und damit ausgeglichen ist.

Die nachmittäglichen Ozonverläufe vieler Meßstationen während eines ausgesprochenen Ozontags (europaweit schönes und extrem heißes Wetter), sind ferner weitgehend unabhängig von der Stickoxidbelastung. Die Tauglichkeit gutgemeinter Vorschläge zur Ozonreduktion wie ein Rasenmäherverbot an heißen Tagen oder eine Temporeduktion auf Autobahnen ist daher schon allein aus diesem Grund fraglich.

Gegen Mitte der 80er Jahre erfolgten in Begleitung der Waldsterbediskussion die ersten konzertierten Alarmrufe, die Ozonwerte seien als Folge der größeren Stickoxidemissionen plötzlich dramatisch gestiegen – und unverzüglich wurden strengste Grenzwerte erlassen. Dieser herbeigeredete Ozonanstieg konnte später recht glaubhaft (und bis heute unwiderlegt) unter anderem als Folge von Fehlmessungen erklärt werden. Der jetzige Rückgang der Stickoxidemissionen (mit seinen fehlenden Auswirkungen auf den Ozonrückgang) ist jedoch nichts anderes als die Umkehrung des früheren Stickoxidanstiegs bis Mitte der 80er Jahre. Was letztlich nahelegt, daß der in den 80er Jahren trotz dürftigster Datenbasis [8, 9] ausgerufene Ozonnotstand (siehe dazu auch Anhang 1) auf derselben Fiktion beruhen könnte wie die heute dekretierte Ozonverminderung.

3. Zum Einfluß der Meteorologie und der Stickoxide auf das Ozon

Stickoxide fördern also nicht wie angenommen die Ozonbildung (Teil 2). Entmystifizierbar sind auch die oft vorgebrachten Resultate von Laborversuchen und Ozonmodellrechnungen (Anhang 3). Unhaltbar ist ebenfalls die Behauptung, als Folge der seit 1990 etwa halbierten Stickoxidemissionen sei ein Trend zu weniger hohen Ozonwerten in der Luft nachweisbar (Teil 1). Ohne den Ballast dieser (ideologisch-politischen?) Altlasten könnte ein Neuanfang etwa so aussehen:

In der Schweiz sind exakte Wetterprognosen wegen der Westwindzone und der Alpen bekanntermaßen oft schwierig. Davon ausgenommen sind Extreme wie beispielsweise europaweiter Dauerregen oder eine kontinentale Hochdrucklage mit der entsprechenden Sonneneinstrahlung. Problematisch sind die dazwischen liegenden, häufiger auftretenden Fälle. Die sind es auch, wo die Diskrepanzen zwischen den Ansichten der Meteorologen und den Betroffenen offensichtlich werden: Der Meteorologe findet seine Vorhersage vereinfacht gesagt richtig, wenn er sie irgendwo in der Schweiz bestätigt findet. Der Einzelne, welcher die Vorhersage auf seinen Standort bezieht, ist dagegen von der Prognosegenauigkeit oft weniger überzeugt.

Ozonwerte sind wesentlich vom Wetter geprägt und können folglich von vielen, sich teils überlagernden sowie gegenseitig beeinflussenden Faktoren abhängig sein. Dazu gehören beispielsweise Sonnenstrahlung, Luft- und Bodentemperaturen, Bodenbeschaffenheit, Topographie oder Hangausrichtung, Bodenbewuchs, Inversionen, Nebel, Windstärken und -richtungen, Lokalwinde wie Berg- und Tal- sowie Land- und Seewinde, Nord- oder Südföhn, Aufwinde und Fallwinde, Niederschläge, Bewölkung. Neben der in der Schweiz ausgeprägten regionalen Klimavariabilität ist zudem das Mikroklima nicht zu vernachlässigen, welches kleinräumige

Veränderungen gegenüber dem Normalfall aufweist. Im Falle des Ozons kommt hinzu, daß der Ozongehalt nicht allein von der Ozonbildung abhängig ist; er verändert sich auch durch Mischung mit ozonreichen oder ozonarmen Luftmassen und/oder durch Abnahme oder Zunahme ozonabbauender Luftbestandteile. Diese Vorgänge können parallel ablaufen, sind wie gesagt vom Wetter mitgeprägt und deshalb mit vernünftigem Aufwand auch kaum immer den einzelnen Einflußgrößen zuzuordnen. Immerhin sind Tendenzen herleitbar:

Vertikaler Temperaturgradient – zentraler Faktor auf das bodennahe Ozon

Auf der Alpennordseite sinkt die Lufttemperatur im Mittel etwa um 0,6 K je 100 m Höhenzunahme [6]. Bleibt der Aggregatzustand der Luftfeuchtigkeit unverändert, ergibt sich ein trocken-adiabatischer Gradient von theoretisch 1 K/100 m. Ein Gradient größer als 1 K/100 m weist auf eine instabile Atmosphäre hin: Es entstehen Konvektionsströmungen, die der Atmosphäre durch Zufuhr wärmerer Luft in die höheren Schichten zu einem stabileren Gradienten verhelfen (wollen). Die Atmosphäre ist stabil, wenn der Gradient kleiner als 1 K/100 m ist. Bei den auch im Sommer morgens oft vorhandenen Inversionen (den sogenannten Kaltluftseen) ist der Temperaturgradient sogar negativ – als Folge der nächtlichen Bodenabkühlung ist die bodennahe Lufttemperatur am Morgen tiefer als diejenige in der Höhe. Die Intensität der Inversion und ihre Obergrenze lassen sich anhand der Temperaturmessungen von verschiedenen hoch gelegenen Meßstationen abschätzen.

Die Inversion verhindert den Austausch mit sauberer (und damit ozonhaltiger) Luft. Innerhalb solcher Inversionsschichten konzentrieren sich daher die ozonabbauenden Luftverunreinigungen wie Stickoxide, Kohlenmonoxid, Staub usw. auf. Die Inversion löst sich auf, wenn der Temperaturgradient zu steigen beginnt respektive einen bestimmten Wert überschreitet. Synchron dazu klettern die Ozongehalte bis nahe der (Bodenstations-)Werte der höheren Luftschicht, eventuell je nach vertikalem Temperaturprofil sogar darüber. Durch den vertikalen Luftaustausch wird die Luft in Bodennähe sauberer – die Stickoxidwerte usw. sinken. An den höher gelegenen Meßstationen steigen dagegen die Stickoxide zeitverzögert, wegen der Verdünnung allerdings nur geringfügig. In *Abbildung 9* sind als Beispiel die *mittleren* Wochengänge des Temperaturgradienten zwischen der Meßstation Rigi (1030 m ü. M.) und der rund 50 km entfernten Station Dübendorf (430 m ü. M.) sowie die zugehörigen Ozonwerte vom Sommerhalbjahr 2003 dargestellt. Andere Stationspaare und andere Jahre ergeben ähnliche Bilder.

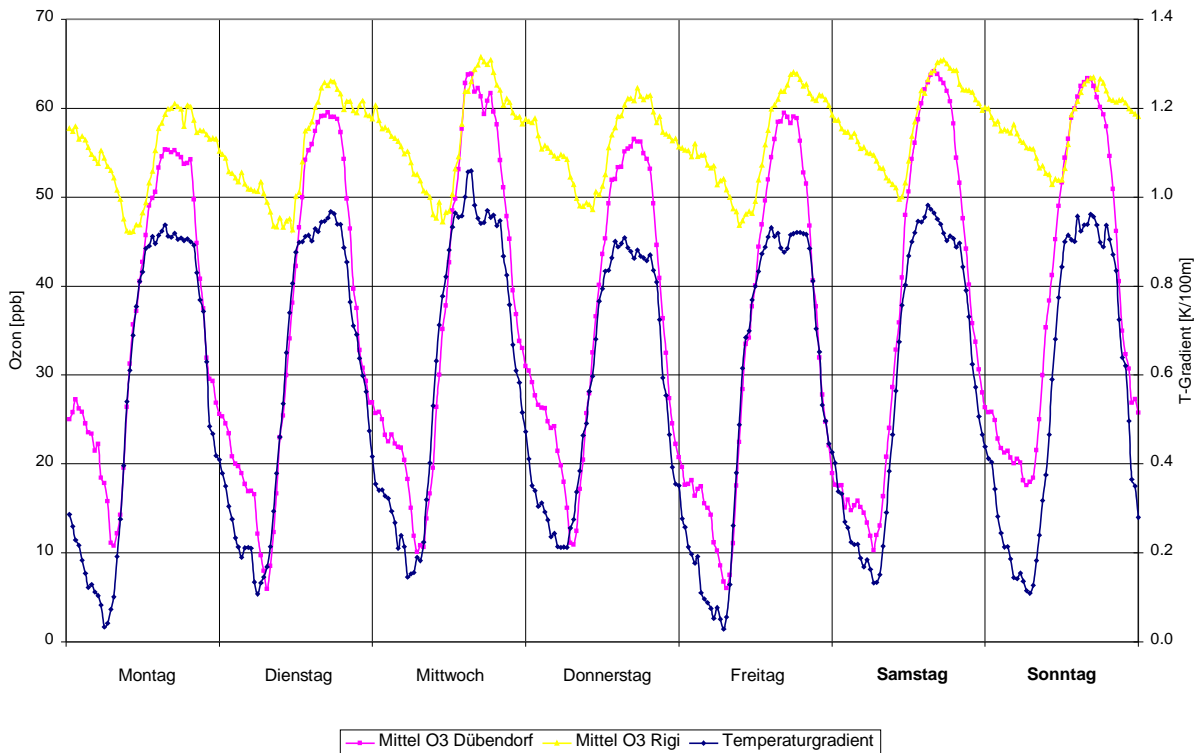


Abbildung 9: Mittlere Wochengänge des Temperaturgradienten (rechte Ordinate) zwischen Rigi und Dübendorf sowie der entsprechenden Ozonwerte vom Sommerhalbjahr 2003 (linke Ordinate), alle aus Halbstundenmittelwerten. Datenquelle: BAFU/NABEL.

Abbildung 10 zeigt die Korrelation der Ozonwerte beider Meßstationen auf, wenn am Nachmittag der mittlere Temperaturgradient, die vertikale Durchmischung sowie die Ozonwerte am höchsten sind. Trotz unterschiedlicher Stickoxidvorbelastung der beiden aufgeführten Stationen im Verhältnis von etwa 1:4 ist die Trendgerade der Korrelation in *Abbildung 10* signifikant; durch Einführung zusätzlicher Parameter könnte die Signifikanz noch weiter verbessert werden. Dasselbe wäre möglich durch Entfernen einiger der deutlichen «Ausreißer», denen klare und atypische Ursachen nachzuweisen sind.

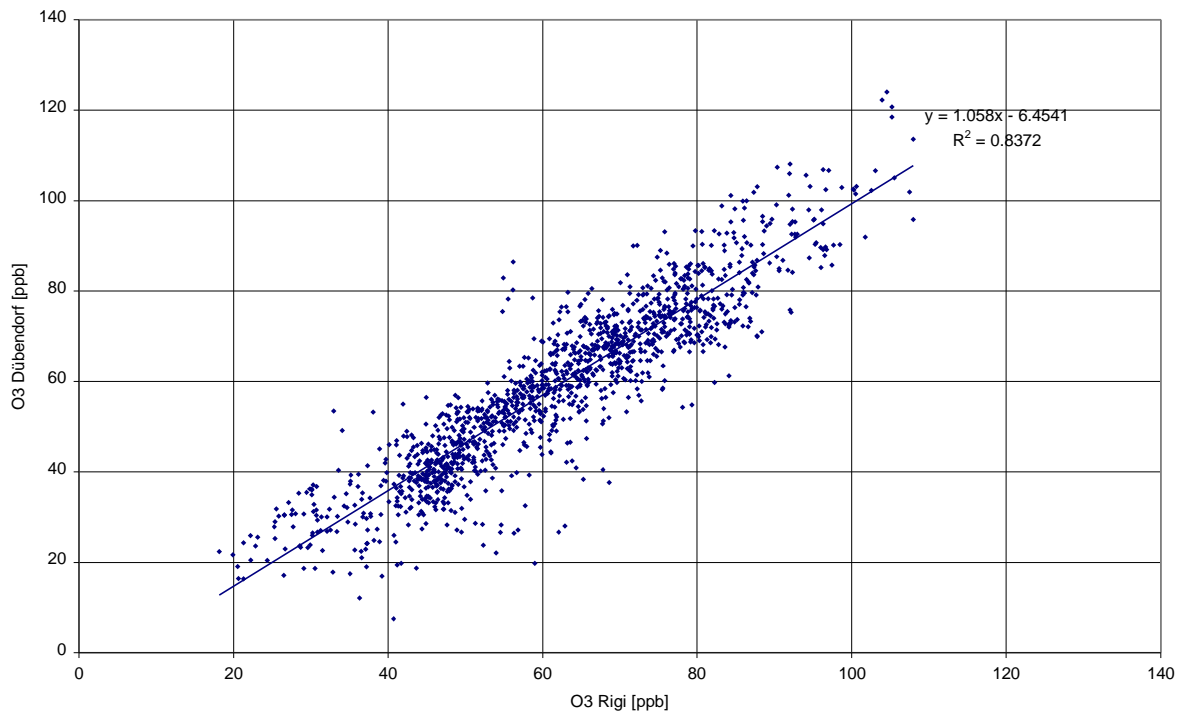


Abbildung 10: Korrelation O₃ Rigi zu O₃ Dübendorf, alle Werte 13.00 -17.00 h des Sommerhalbjahres 2003; Entfernung der Stationen rund 50 km (Datenquelle: BAFU/NABEL).

Ozonbildung und/oder Ozonverfrachtung?

Mit den für die Allgemeinheit zugänglichen Daten ist das jetzt noch nicht abschließend zu beantworten. So ist bei allen in Frage kommenden Hypothesen stets mit mindestens einem unpassenden «Mosaikstein» zu rechnen. Fakt ist: Die Ozongehalte der auf 1000 bis 1500 m ü. M. liegenden Meßstationen sind nachts praktisch immer und tagsüber oft etwas höher als die in den tieferen Lagen (wo das Ozon je nach Temperaturgradient und Luftverschmutzung abgebaut wird). Für Vorhersagen kann häufig von den Werten der höchsten Meßstation Jungfrauoch auf 3580 m ü. M. ausgegangen werden; tiefer liegende Luftmassen haben dann in erster Näherung maximal den gleichen Ozongehalt. Die Ausnahmen – d.h. tiefere Stationen haben höhere Ozongehalte als die Station Jungfrauoch – sind vorwiegend an einen ausgeprägten positiven Temperaturgradienten und damit an eine eher instabile Atmosphäre gekoppelt. Solche Verhältnisse gibt es vor allem nachmittags an extremen Hitzetagen. Stickoxide (und Begleiter) wirken in solchen Fällen, wenn überhaupt, nur noch in hohen Konzentrationen ozonabbauend.

Dies könnte nun alles dahingehend gedeutet werden, daß es in Bodennähe gar keine wesentlich ins Gewicht fallende Ozonbildung gibt, oder anders gesagt, daß es sich bei dem Ozon in Bodennähe hauptsächlich um aus der Atmosphäre herbeigeschafftes Ozon handelt. Allerdings müßten dann die höher gelegenen Stationen wie vor allem Davos (1640 m ü. M.) und Jungfrauoch (3580 m ü. M.) praktisch immer mindestens die gleich hohen Werte ausweisen wie die die tiefer liegenden Stationen, und das ist wie vorhin erwähnt eindeutig nicht immer der Fall.

Als Ursache für diese an heißen Tagen höheren Bodenwerte denkbar ist zwar auch eine nachmittäglichen Ozonbildung in Bodennähe (dort ist die Temperatur am höchsten) oder einer solchen in etwa 1000 m ü. M. (die Temperatur ist dort allerdings nicht so hoch, dafür ist die Luft sauberer). Mit diesem örtlich gebildeten Ozon würde das (als Folge der labilen Atmosphäre sich einstellende) vertikale Austauschsystem noch zusätzlich mit Ozon angereichert.

Wahrscheinlicher ist aber eine je nach Wetterlage ungenügende Repräsentativität der beiden Höhenstationen Jungfrauoch und Davos für die freie Atmosphäre: So könnte vor allem durch die Lage mitten in den Alpen eine Art Behinderung des vertikalen Austauschvorganges möglich sein. Dies im Gegensatz zu beispielsweise einer großen Stadt im Flachland oder an einem Südhang, welche mikroklimabedingt höhere Nachmittagstemperaturen als unbebautes Gebiet erreicht und sich auch damit ein vertikaler Austauschstrom unbehindert bis in große Höhen ausbreiten kann. Man vergleiche das (im kleineren Maßstab) mit dem Abgaskamin einer Kehrlichtverbrennungsanlage: die durch kinetische Energie bedingte Abgasgeschwindigkeit geht nach Austritt aus dem Kamin sofort gegen Null – der thermische Auftrieb bewirkt hingegen eine oft weitgehende vertikale Verfrachtung der (früher schlecht gefilterten und damit optisch wahrnehmbaren) Rauchgase oder gar ein Durchstoßen der Inversionsobergrenze.

Diese Hypothese einer praktisch ausbleibenden Ozonbildung in Bodennähe – das sei hier zugegeben – steht auch im Gegensatz zu einigen früheren und anders lautenden Veröffentlichungen des Verfassers. Jene wird aber mittlerweile aufgrund der zugänglichen Meßresultate und deren Interpretation als eher wahrscheinlich angesehen. Für diese Hypothese spricht ferner, daß die Ozonwerte der tiefer liegenden Stationen selbst an kalten Wintertagen bei einem ausreichend hohen Temperaturgradienten stark ansteigen, dann also, wenn eine nennenswerte Ozonbildung in Bodennähe von allen Seiten her kaum ernsthaft in Erwägung gezogen wird. Der Zusammenhang ist aber nicht so ausgeprägt wie im Sommerhalbjahr. Dies auch, weil der Ozongehalt der höheren Luftschichten im Winter nicht so hoch ist.

Wie erwähnt korrelieren die Ozonwerte besser mit der Temperatur als mit der Globalstrahlung. Dies stützt die Verfrachtungs-Hypothese weiter; die Abhängigkeit der Ozonbildung von der Strahlung (beziehungsweise die Höhe der Werte!) dürfte dann – wie diejenige mit der relativen Feuchtigkeit – auf Scheinkorrelationen beruhen. Diesbezüglich aufschlußreicher wären jedenfalls eine oder zwei Meßstationen auf den eher freistehenden Bergen Pilatus (2137 m ü. M.), dem Säntis (2502 m ü. M.) oder auf dem Rigigipfel (1798 m ü. M.). Trotz unterschiedlicher Meßgenauigkeiten und Querempfindlichkeiten wären aber auch stichprobenartige Wertvergleiche mit den vorhandenen Daten der Ballonsondierungen von Payerne denkbar. Die Probleme der sich aus der unterschiedlichen geographische Lage sowie des Mikroklimas ergebenden Inhomogenitäten hinsichtlich Temperaturen und Ozongehalte bleiben allerdings so oder so ungelöst.

Seit Anfang der 90er Jahre existieren in der Schweiz rund 100 (!) Ozonmeßstationen. Davon sind viele Paare oder Gruppen, mit denen interessanteste Auswertungen möglich sind, so auch in der italienischen und der französischen Schweiz. Aufschlußreiche Vergleiche sind ferner beispielsweise bei den jährlich zweimaligen Zeitumstellungen, zusammen mit den Ozonpeakanstiegen resp. der Peakverläufe möglich. Vorteilhafter wäre dann allerdings eine höhere Zeitauflösung der Meßdaten wie etwa als Viertelstundenmittelwerte. Trotz Unmengen von Auswertungen ist im übrigen nie ein Hinweis aufgetaucht, welcher für die ozonfördernde Wirkung der Stickoxide sprechen würde. Trotzdem – für Überraschungen könnte die Sache zukünftig immer noch gut genug sein.

Literaturverzeichnis

- [1] Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL): Sommersmog 2003. Bern (Juni 2004).
- [2] Wächter über die Luftqualität. *Neue Zürcher Zeitung* (20.01.04).
- [3] Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich: Tätigkeitsbericht 2004.
- [4] Elektrowatt Ingenieurunternehmen AG: Begleituntersuchung zum Tempoversuch 70/100. Zusammenfassender Schlußbericht. Zürich (24. Dezember 1991).
- [5] Buchmann-Steiner, R., Egli, R. und Strähl, Ch.: Luftbelastung in der Stadt Zürich 1982/83. *Umweltschutz/Gesundheitstechnik*, 4 (1984).
- [6] Eichenberger, W.: *Flugwetterkunde*. Zürich (1969).
- [7] Eidgenössisches Departement des Innern: Waldsterben und Luftverschmutzung. Bern (Sept. 1984).
- [8] Kontroverse um das Ozon in der Umgebungsluft. *Neue Zürcher Zeitung* (21. April 1989).
- [9] Janach, W. und Dütsch, H.U.: Um wieviel hat das Ozon in unserer Luft zugenommen? *Neue Zürcher Zeitung* (16./17. Dez. 1989).
- [10] Enke, W.: Analyse historischer Datenreihen und Entwicklung einer Methode zur quasiwetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon. Teilbericht 2; Validierung von Ozonmeßreihen. Umweltbundesamt (Mai 2000).
- [11] Sommer, HJ., Wehrli, T. und Meier, M.: Immissionsmessungen-Ringversuch. *Umweltschutz/Gesundheitstechnik*, 4 (1986).
- [12] Gehrig, R., Schilter, T., und Sommer, HJ.: Wie genau sind Immissionsmessungen?. *Neue Zürcher Zeitung* (18. Jan. 1989).
- [13] Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes. Bodennahes Ozon: Anstieg der Mittelwerte, aber kein Anstieg der Maxima seit 1971. Ausgabe Nr. 34 (30. Oktober 1996).
- [20] Der Wald ist gesund und ungenügend genutzt. *Tages-Anzeiger* (13. September 2005).

Außerdem sind vom Verfasser erschienen:

- [14] Der Tempoversuch und seine wissenschaftliche Fehlinterpretation. *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 32 (1992).
- [15] Sauberere Luft – steigende Ozonwerte. *Neue Zürcher Zeitung* (5. März 1993).
- [16] Behördliche Ozonstrategie mit ungewissem Ausgang. Pressekonferenz AGVS vom 7. Juli 1993 in Zürich.
- [17] Ist wirklich mehr Ozon in der Luft als früher? *Basler Zeitung* (22. Sept. 1989).
- [18] Smog durch Verkehrsbehinderung. *Tages-Anzeiger* (6. Juli 1991).
- [19] Waldsterben: Aussagekraft üblicher Schadenangaben. *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 51-52 (1986).

Anhang 1: Schadstoffwerte und Grenzwerte

Um das mit *Abbildung 11* umrissene Mittelwertproblem zu umgehen, werden Schadstoffkonzentrationen in der Lufthygiene mit dem Mittelwert und – zur Illustration der höheren Werte – beispielsweise auch mit dem 95%-Wert (95%-Quantil) ausgewiesen. Ein 95%-Wert von 1000 Halbstundenmittelwerten bedeutet, daß 95% oder 950 Werte unter diesem bestimmten 95%-Wert liegen und dementsprechend 5% (oder 50 Werte) diesen 95%-Wert übertreffen.



Schadstoffdatenverteilungen bewegen sich meist innerhalb statistischer Gesetzmäßigkeiten; die Luftbelastung ist folglich mit Angabe des Mittel- und des 95%-Wertes normalerweise ausreichend dokumentiert. Das kann auch ein 90%-Wert oder eine Anzahl Überschreitungen von einem bestimmten Wert sein. Wichtig ist nur, daß – um den Zufallsfaktor zu minimieren – nicht gleich das ganze Datenkollektiv auf einige wenige Werte aufkonzentriert wird. Einen einzigen Minimal- oder Maximalwert eines Jahres auszuweisen, ist deshalb besonders ungünstig. Dies auch wegen möglicher Meßfehler, welche sich oft in sehr tiefen oder extrem hohen Werten ausdrücken.

Abbildung 11: Angenehm ist nur der berechnete Mittelwert... (Zeichnung Emil Obrecht, Schlieren).

Die Ozongrenzwerte der Schweiz sind diesbezüglich auch problematisch und zudem so tief angesetzt, daß sie ohnehin nie einhaltbar sein werden. Der Verfasser hat darauf schon ab Ende der 80er Jahre hingewiesen [17,18, 15]. Übrigens glaubten Ozonspezialisten damals immer noch an eine baldige Einhaltung der (einige Jahre zuvor nach vorwiegend politisch-ideologischen Kriterien ausgehandelten) Grenzwerte: 98% der $\frac{1}{2}$ -h-Mittelwerte eines Monats – das sind lediglich etwa 30 Halbstundenwerte je Jahr – dürfen $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreiten und der 1-h-Mittelwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ darf höchstens einmal im Jahr überschritten werden. Vergleicht man solche Werte mit der gemessenen Ozonrealität (siehe *Abbildungen 2 bis 6*), wird selbst dem Laien klar, wie weit wir von diesen Wunschvorstellungen entfernt sind. Beim «Waldsterben» der 80er Jahre war die damalige Schadensbeurteilung anhand der Nadel-/Blattverluste das prioritäre (wissenschaftliche) Problem [19]; beim Ozon ist es heute die Beurteilung anhand der Grenzwerte!

Im EKL-Bericht (Teil 1) wird nun schwerpunktmäßig in allen denkbaren Varianten auf den hohen Ozonbelastungen seit 1989 «herumgeritten». Doch wenn beispielsweise der $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Immissionsgrenzwert an einer Meßstelle stark überschritten ist, können redundant dazu auch

- die Überschreitungen des höchsten monatlichen 98%-Quantilwertes von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- die jährliche Anzahl der Überschreitungen des 1h-Immissionsgrenzwertes,
- die jährliche Anzahl der Überschreitungen des Stundenmittelwertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- die jährliche Anzahl der Überschreitungen des Stundenmittelwertes von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und
- ein hoher maximaler Stundenmittelwert an dieser Meßstelle

beanstandet werden. Auf diese Art wird eine durch unrealistische Grenzwerte scheinbar starke Luftbelastung zahlenmäßig und im PR-Stil gleich zu sechs Hiobsbotschaften aufgebläht.

Dabei ist nicht außer Acht zu lassen: In früheren Jahren beklagte man keineswegs allein maximale Spitzenwerte, sondern generell die zu hohe Ozonbelastung, das heißt die hohen Mittelwerte. Den steigenden Trend der mittleren Ozonbelastung (welcher wie gesagt früher nicht nachweisbar war, heute jedoch als Folge sinkender Stickoxidemissionen zur unbequemen Realität geworden ist) belegte man jedenfalls noch in den 80er und anfangs der 90er Jahre mit Mittelwert-Zeitreihen, um damit den Handlungsbedarf auf den verschiedensten Ebenen zu begründen [7, 8]. Das bezeugt auch folgendes Zitat (wörtlich): «... Ein Vergleich mit heutigen Messungen ist aber durchaus möglich und zeigt eindeutig, daß die Ozonkonzentration im Mittel beträchtlich zugenommen hat. Ozonspitzenwerte sind stark wetterabhängig und dauern nur einige Stunden, sie sind daher für Vergleiche weniger geeignet als Monatsmittelwerte ...» [9].

Alle diese Meßreihen haben sich jedoch wie erwähnt fast durchgehend als fragwürdig herausgestellt. Dies unter anderem wegen offensichtlicher Meßfehler oder dann wegen veränderter Stickoxid-Grundbelastung [10, 17]. Der heutige Trend eines ansteigenden Ozon*mittelwertes* war ferner ebenso voraussehbar [17, 15, 16, 18] wie die dadurch von einer Ozonlobby notwendig werdende Verlagerung der Beweisführung auf eine exzessive Spitzenwert-Argumentation. Sie hat sich in den seit 25 Jahren erscheinenden NABEL-Berichten des BAFU jedenfalls auch durchgesetzt.

Anhang 2: Ozon – ein besonderer Luftschadstoff

Der Ozongehalt der Luft unterliegt einem typischen Jahresgang, das heißt einem jahreszeitlichen Verlauf mit tiefen Winter- und hohen Sommerwerten. Neben starken, vom Wetter verursachten Schwankungen kommt als Folge der sonstigen Luftverschmutzung oft ein extremer Tagesgang mit Höchstwerten am Nachmittag und Tiefstwerten am frühen Morgen dazu. Gleiches ist daher zwingend immer Gleichem gegenüberzustellen: Ein Jahresmittelwert, bei dem beispielsweise zwei Wintermonate (mit tiefen Ozonwerten) fehlen, darf nicht mit einem Jahresmittelwert verglichen werden, bei dem ein Sommermonat (mit hohen Ozonwerten) fehlt. Das Ergebnis einer mehrwöchigen Meßkampagne ist daher praktisch ebenso wertlos wie ein paar Stichprobenmessungen, selbst wenn sämtliche meteorologischen Parameter sowie die übrige Luftverschmutzung bekannt sind. Solche Resultate – auch wenn sie mit Nachkommastellen angegeben werden – sind allenfalls grobe Vergleichswerte, als Beweis jedoch unbrauchbar.

Dazu kommt die Problematik der Ozonmessung selbst [11, 12, 8, 17]: Eine etwas verschmutzte Ansaugleitung oder ungeeignete Materialien können das zu analysierende Ozon fast vollständig abbauen. Und wer weiß noch, wie sauber beispielsweise die Ansaugleitung bei einer Ozonmessung vor 20, 50 oder gar vor 100 Jahren war? Oder welche Meßwertverfälschungen als Folge von Querempfindlichkeiten, beispielsweise durch Schwefeldioxid auftraten? Nicht zu reden von der Repräsentativität der Messung: So zeigen zwei nebeneinander stehende und optimal gewartete Ozonmeßgeräte kaum je dauernd einen selbst in den Vorkommastellen identischen Meßwert an. Insbesondere wenn in Straßennähe die Probeluftentnahmen auch nur einige Meter auseinander liegen, vergleiche dazu die verschiedenen Verlegungen der NABEL-Meßstellen.

Wo das Wetter eine wesentliche Rolle spielt, ist es mit exakten Ursache-Wirkungs-Beziehungen ohnehin vorbei. Es gibt jedoch Dinge, wo gewisse Ungenauigkeiten einfach akzeptiert werden müssen (sofern der Gesamtüberblick dadurch nicht allzu stark getrübt wird). In diesen Fällen werden Mittelwerte gebildet, was nicht immer ganz unproblematisch ist, siehe *Abbildung 11* in Anhang 1. Ungenaue Werte können zudem insbesondere bei der Differenzbildung zu absurden Ergebnissen führen.

Im Falle der Ozonmessungen kommen noch andere mögliche Komplikationen dazu (siehe dazu auch Anhang 1): Die zu den Anfangszeiten des «Waldsterbens» kolportierten Ozonmessungen und -meßreihen mit ihren dramatischen Verläufen sind jedenfalls wie angetönt fast ausnahmslos von der Bildfläche verschwunden. Dies im Gegensatz zu den darauf basierenden Grenzwerten, welche uns bis zu deren ersatzloser Streichung noch einige Jahrzehnte erhalten bleiben dürften.

Im Unterschied zu früher haben die Ozonmessungen inzwischen eine bemerkenswerte Qualität erreicht, insbesondere die von NABEL SCHWEIZ. Und es ist der Güte dieser Messungen zu verdanken, daß die Zusammenhänge in der hier beschriebenen Art überhaupt erarbeitet werden können. Das alleinige Abstützen auf Bodenstationen ist zwar für die Vorgänge in der freien Atmosphäre nicht zu 100% repräsentativ. Dazu wären Vertikalsondierungen, wenn möglich gleichzeitig an mehreren Orten und in schneller Abfolge zur Erreichung quasikontinuierlicher Profile notwendig. Dies ist allerdings kaum finanzierbar (und vielleicht auch nicht mehr nötig). Demgegenüber sind Meßwerte vorhandener Meßstation aus unterschiedlichen geographischen Lagen – zusammen mit den gegebenen Inhomogenitäten – als Behelfersatz einzustufen. Dafür fallen die Meßwerte kontinuierlich an und sind für den interessierten Außenstehenden erst noch umsonst zugänglich.

Anhang 3: Die Ozonmeßreihe vom Hohen Peissenberg und die Ozonmodelle

Europas einzige längerfristige und verlässliche Ozonmeßreihe dürfte diejenige vom Hohen Peissenberg auf 990 m ü. M. sein. Dieser liegt etwa 50 km südwestlich von München; gemessen wird dort seit 1971. Nach dem (allerdings gut dokumentierten) Wechsel des Meßverfahrens sowie der Stilllegung eines nahegelegenen Heizkraftwerkes (was sich wahrscheinlich kaum auf die Spitzenwerte auswirkte) dürfte die Meßreihe nach Mitte der 70er Jahre höchsten Ansprüchen genügen. Die Trends der monatlichen Mittel- und Maximalwerte wurden im Zeitraum von 1971 bis 1995 untersucht (Abbildung 12). Zwar sind die *Mittelwerte* bis Mitte der 70er Jahre wie eben dargelegt mit Vorbehalt aufzunehmen [8], und die eingezeichnete Trendgerade ist vielleicht etwas zu voreilig bis zum Jahr 1971 durchgezogen. Anstelle der *Spitzenwerte* wären auch 98%- oder 95%-Werte aussagekräftiger. Zudem reicht die Auswertung nur bis 1995; sie wurde bisher nicht weitergeführt – was aus wissenschaftlicher Sicht völlig unverständlich ist und daher Fragen aufwirft. Die Botschaft ist trotzdem klar: Seit den 70er Jahren bis 1995 steigen die Mittelwerte an und die Maxima haben keinen sinkenden Trend (der leichte *Anstieg* der Maxima-Trendgerade ist mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,01 nicht signifikant). Dies deckt sich sinngemäß mit den in der Schweiz seit den 80er Jahren gemessenen Ozonwerten.

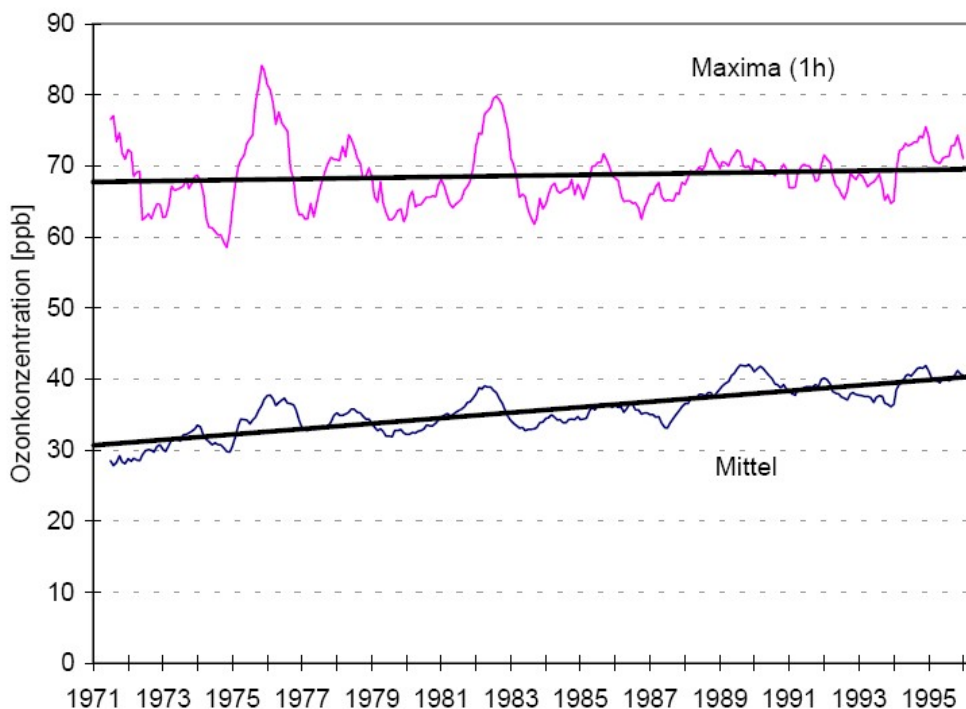


Abbildung 12: Gleitende Monatswerte des bodennahen Ozons vom Meteorologisches Observatorium Hohenpeissenberg. Aus [13].

Die Aussagen der Ozonmodelle

Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang die immer wieder vorgebrachten Hinweise auf Ozonmodelle oder Laborexperimente, auf theoretisch zu erwartende Ozonentwicklungen und Resultate von Modellrechnungen. So wird in den letzten acht der jährlich neu erscheinenden NABEL-Berichte mit dem praktisch identischen Textbaustein auf den Zusammenhang zwischen der sinkenden Vorläuferbelastung und der angeblich ebenfalls sinkenden Ozonbelastung hingewiesen, welcher mit den Aussagen von Ozonmodellen sowie den Resultaten von Modellrechnungen gut übereinstimmen soll.

Ähnliches war bereits im Jahr 1991 bei der Auswertung des immerhin wissenschaftlich begleiteten Tempoversuches [4] zu lesen (wörtlich): *«Der Rückgang der Ozonbelastung um durchschnittlich gut 2 % bei den Mittelwerten und um knapp 6 % bei den Spitzenwerten (98%-Werte) steht unter Berücksichtigung der chemischen Umwandlungsprozesse in sehr guter Übereinstimmung mit den Emissionsreduktionen der beiden Vorläufersubstanzen NO_x und VOC um je etwa 7-7,5 %.»*

Einmal abgesehen von der generell unhaltbaren Resultate-Interpretation [14]: Man beachte insbesondere, daß die Modelle bei abnehmender Vorläuferbelastung rechnerisch zu tieferen Ozonmittelwerten führten, und das erst noch in sehr guter (!) Übereinstimmung. Nimmt man eine näherungsweise lineare Wechselbeziehung zwischen Stickoxiden und Ozon an, würden diese Modelle als Folge der bis heute realisierten 50%igen Stickoxidverminderung also etwa 14 % tiefere Ozonmittelwerte und etwa 40 % tiefere 98%-Werte ergeben. In Tat und Wahrheit sind die gemessenen 98%-Werte seit 15 Jahren praktisch unverändert und die Mittelwerte sind sogar rund 20 Prozent höher. Peinlicher wäre nur noch die Behauptung, die Modelle ergäben in Übereinstimmung mit den gemessenen Werten und als Folge einer geringeren Stickoxidbelastung einen Rückgang der hohen Ozonwerte – welcher in den gemessenen Werten jedoch imaginär ist.

Anhang 4: Persönliche Ansichten

Der Forstdirektor des Bundesamtes für Umwelt gestand im Herbst 2005 öffentlich ein, das «Waldsterben» sei ein großer Irrtum gewesen [20]. So stimmt das nicht ganz: Das Waldsterben war vielmehr, wie sich einer der Initiatoren vor gut 15 Jahren noch brüstete, eine «generalstabsmäßig geplante Aktion». Sie diene zur Deblockierung anstehender Probleme – also zur Erschleichung von Leistungen. Politik zu betreiben unter dem «wissenschaftlich ausgebreiteten Deckmantel des Umweltschutzes» ist jedoch intellektuell höchst unredlich und somit prinzipiell unakzeptabel. Egal, ob die Interessen von einer Industrielobby oder von einem Teil der Lobby der Umweltverwalter vertreten werden. Ebenso belanglos ist, ob vom Nutzen einer solchen Aktion lediglich die eine Klientel profitiert oder – natürlich nebst der Zweckdienlichkeit für die Drahtzieher – diese auch von Vorteil für die gesamte Bevölkerung ist.

Mit Ohnmacht mußte damals der zwar nicht interessengebundene, aber neugierige Bürger mit ansehen, wie mit Unterstützung vorab der elektronischen Medien Amtstellen schummelten und die Wissenschaft schönte. Diese Symbiose scheint mittlerweile gut eingespielt zu sein, wenn es darum geht, die Volksmeinung zu manipulieren. Mit Blick auf eigene, im wesentlichen uneigennützig vorstöße des Verfassers unter anderem im Energiebereich sei behauptet: Die Umweltschutzgesetzgebung, die Bahnprojekte S-Bahn, Bahn 2000 und NEAT, Einschränkungen und Umlagerungen beim motorisierten Verkehrsaufkommen, Autokatalysatoren usw. wären auch ohne Waldsterben realisiert worden, vielleicht nicht so schnell und in etwas redimensionierter Form. Dafür könnten sich die Verantwortlichen auch heute noch in die Augen schauen, die Wissenschaft hätte ihre Glaubwürdigkeit behalten, und die (feinstaubemittierende) Entsorgung ganzer Bibliotheken voller ehemals kostspieliger, aber heute wertloser Studien sowie weltuntergangsbreitender Zeitungsausschnitte würde sich erübrigen.

Im Falle des Ozons sind teils dieselben Leistungsempfänger wie beim Waldsterben involviert. Im ähnlichen Stil wird auch manipuliert: Wenn die Theorie (die Ozondoktrin) nicht mit den Fakten (den Meßwerten) übereinstimmt, werden kurzerhand die Fakten der Theorie angepaßt, siehe [1]. Doch Theorien, für deren Stützung die Fakten hingebogen werden müssen, sind als Ausgangspunkt für eine wirklich wissenschaftliche Problemlösung unbrauchbar! Wie beim Waldsterben sind zudem die Demagogien ziemlich durchsichtig, und es wäre eigentlich davon auszugehen, daß das eine oder das andere auch einem der darauf spezialisierten Wissenschaftler aufgefallen sein könnte. Wer jedoch Mißstände bemerkt und dazu schweigt, macht sich mitschuldig, selbst wenn es um Umweltschutz geht bzw. dann erst recht. Oder sind wir schon soweit, daß Interessen die Forschungsergebnisse der (Umwelt-)Wissenschaft bestimmen?

Wenn es einigen Amtsstellen um die Rechtfertigung von Grenzwerten, die Desorientierung der Bevölkerung sowie der Medien oder um die Verfolgung politischer Ziele geht, stehen größere Geldbeträge zur Vergabe externer Studien sofort und diskussionslos zur Verfügung. Für andere Meinungen werden Gelder nur zur Abblockung mißliebiger Ansätze aufgewendet. Der Verfasser führte die vorliegende Untersuchung mangels entsprechender Unterstützung zum weitaus größten Teil auf eigene Kosten durch. Als Interessierter, jedoch von keinen fremden Interessen Abhängiger betrachtet er es daher als Anmaßung, die Mühe und Kosten der Verifikation der vorstehenden Hypothesen auch noch übernehmen zu müssen. Dazu sind diejenigen motivierter, welche eigene Interessen an der Ozon- oder Umweltschutzproblematik haben, sind das finanzielle, politische, ideelle oder andere. Wie beispielsweise die Pflicht für das Verfassen einer Arbeit zur Erlangung eines Diploms, eines Dokortitels oder einer Professur.