

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 140 (1989)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Gasförmige Immissionen an Waldstandorten im Kanton Zürich  
**Autor:** Sommer, Hansjörg  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-764240>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Gasförmige Immissionen an Waldstandorten im Kanton Zürich

Von *Hansjörg Sommer* Oxf.: 425:(494.34)  
(Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, CH-8090 Zürich)  
und *Jürg Thudium*  
(ökoscience, CH-7099 Trin)

## 1. Einleitung

Wie gross ist die Schadstoffbelastung in den Waldgebieten des Kantons Zürich? Kann sie in einen ursächlichen Zusammenhang mit den Waldschäden gebracht werden? So lauteten zwei zentrale Fragestellungen im immissions-ökologischen Projekt.

Über die Immissionsbelastung abseits von Siedlungen und Strassenzügen lagen bis Projektbeginn so gut wie keine Kenntnisse vor. Es galt deshalb, mit einem ausgedehnten Messprogramm Aufschluss über die Luftqualität zu gewinnen.

## 2. Messstandorte

Um das Schadstoffangebot, dem der Wald ausgesetzt ist, zu erfassen, kamen entweder Messungen über dem Kronendach oder im vorgelagerten Freiland in Frage. Da im Waldesinnern kaum je Messtürme und leistungsfähige Stromanschlüsse zur Verfügung stehen, konnte die erste, an sich exaktere Variante nur an einem einzigen Standort, auf dem Gubrist, realisiert werden. Für die übrigen Standorte wurden Freiflächen gesucht, die der beobachteten Waldfläche nach Möglichkeit in Hauptwindrichtung, also westlich, vorgelagert waren und nicht den Emissionen spezifischer Einzelquellen ausgesetzt waren.

Am Standort Wallisellen wurde auf die Daten der bereits bestehenden Dauermessstation zurückgegriffen. In Hinwil wurden keine Immissionsmessungen durchgeführt. Auf dem Bachtel-Kulm wurde am 1. April 1987 eine kontinuierliche Messstation in Betrieb genommen.

### 3. Messprogramm

Aus Kapazitätsgründen war es nicht möglich, an allen Standorten während der ganzen Projektdauer kontinuierliche Messungen durchzuführen. Deshalb wurde mit den vier zur Verfügung stehenden Messwagen ein Stichprobenprogramm abgewickelt, das in der Regel aus drei bis vier einmonatigen, auf verschiedene Jahreszeiten verteilten Messphasen pro Standort und Jahr bestand. In Wallisellen betreibt das ATAL eine feste Messstation, so dass für diesen Standort kontinuierliche Messdaten zur Verfügung standen. An einzelnen Standorten konnte aus unterschiedlichen Gründen nicht während der ganzen vierjährigen Projektdauer gemessen werden. Dennoch wurden insgesamt rund 1 Million Halbstundenwerte ermittelt. Aus diesen Daten wurden Tagesmittelwerte, mittlere Tagesverläufe, Maximalwerte (Stundenmittelwerte für  $O_3$ , 24-Stunden-Mittel für  $NO_2/SO_2$ ), Häufigkeitsverteilungen und Echtzeitvergleiche zwischen verschiedenen Standorten abgeleitet. Anhand spezieller Schätzverfahren wurden auch die Jahresmittelwerte hochgerechnet. Schliesslich konnten gewisse Einzelepisoden genauer studiert werden sowie am Standort Gubrist ein Vergleich zwischen den Belastungen über und unter den Baumkronen gezogen werden.

### 4. Messkomponenten

Die Messungen beschränken sich auf die wichtigsten gasförmigen Leitschadstoffe

Schwefeldioxid	( $SO_2$ )
Stickstoffdioxid	( $NO_2$ )
Stickstoffmonoxid	(NO)
Ozon	( $O_3$ )
Kohlenmonoxid	(CO)

Die CO-Konzentrationen waren während der gesamten Messzeit auf so niedrigem Niveau nahe der Nachweisgrenze, dass in der Folge auf eine Weiterverarbeitung der Daten verzichtet wurde.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Jahresmittelwerte

Die Jahresmittelwerte sind in den *Abbildungen 1 bis 3* grafisch dargestellt für die Jahre 1985 bis 1987. Mit Ausnahme von Wallisellen, wo echte Messwerte vorliegen, handelt es sich um hochgerechnete Jahresmittelwerte aus Stichproben. Wo die Stichprobengrösse ungenügend war, wurde auf die Hochrechnung verzichtet. Für  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_2$  sind zum Vergleich die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV) angegeben. Für  $\text{O}_3$  existiert kein Langzeitgrenzwert. Die  $\text{SO}_2$ - und  $\text{NO}_2$ -Werte weisen das für primäre Schadstoffe typische Stadt-Land-Gefälle auf. Die höchste Belastung wurde jeweils in Wallisellen, Winterthur und auf dem Zürichberg registriert, die niedrigste auf dem Bachtel und an den peripheren Standorten Stammheim und Rafz. Die Immissionsgrenzwerte für  $\text{SO}_2$  wurden in den drei Jahren an keinem Standort erreicht. Demgegenüber wurde der Langzeitgrenzwert für  $\text{NO}_2$  ( $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) an den Standorten Wallisellen, Zürichberg, Winterthur und Gubrist jeweils eindeutig überschritten. Im Bereich des Grenzwertes bewegte sich der  $\text{NO}_2$ -Pegel auch in Rafz, Höri, Brütten und Männedorf.

Gerade umgekehrt sieht das Bild, was die Dauerbelastung betrifft, für  $\text{O}_3$  aus. Die höchsten Jahresmittelwerte weist in allen drei Jahren der Bachtel auf, auch in Männedorf und Brütten wurden eher hohe Werte ermittelt. Die niedrigsten Jahreswerte traten in Stadtnähe auf (Zürichberg, Wallisellen, Winterthur).

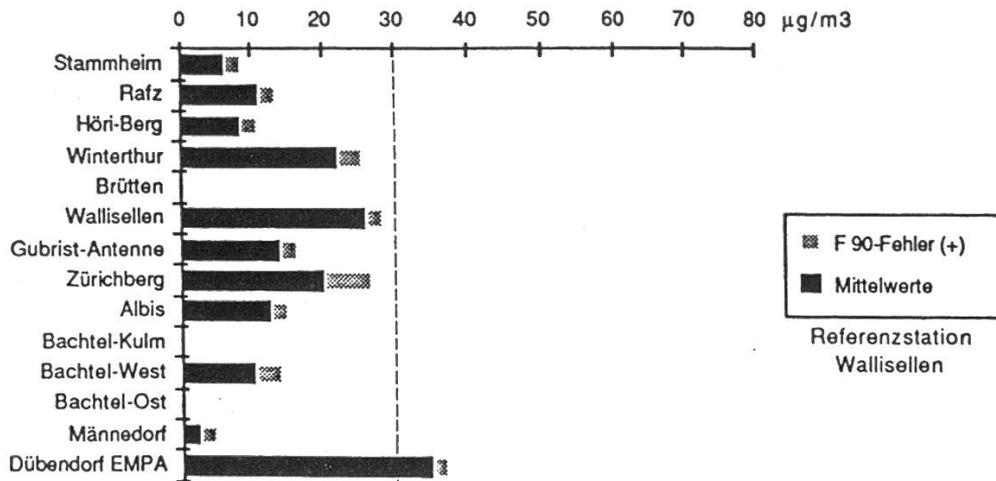
### 5.2 Tagesmittelwerte

Für  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_2$  gibt die LRV Grenzwerte an, die höchstens einmal im Jahr überschritten werden dürfen. Übertretungen dieser Kurzzeitgrenzwerte kommen überall vor, am häufigsten in Stadtnähe, bei bestimmten meteorologischen Episoden, aber auch an ländlichen Stationen und sogar auf dem Bachtel. Bei  $\text{SO}_2$  betragen diese Überschreitungen bis zu 50% des Grenzwertes, bei  $\text{NO}_2$  sogar bis 100%. Bei diesen Angaben handelt es sich nicht um Schätzungen, sondern um effektive Messergebnisse.

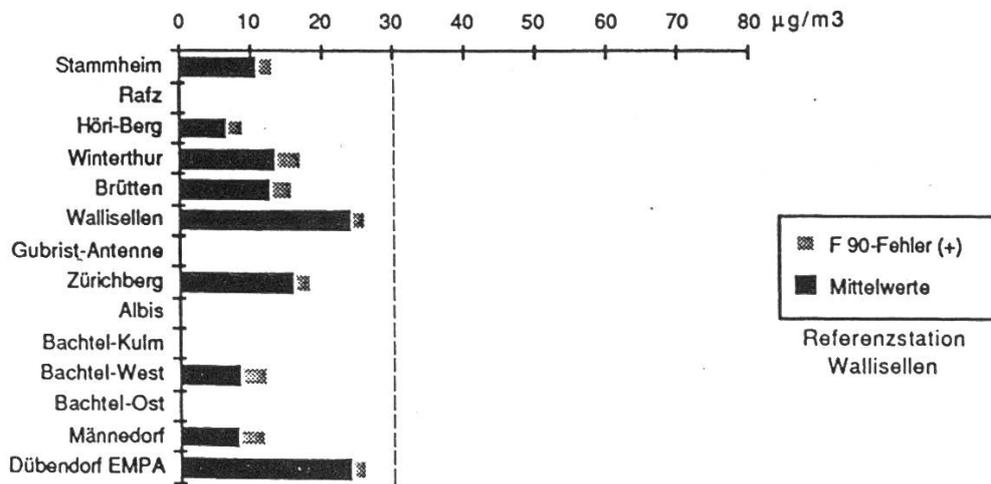
### 5.3 Maximalwerte

Für  $\text{O}_3$  definiert die Luftreinhalteverordnung einen maximalen Stundenmittelwert von  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  sowie einen monatlichen 98%-Wert der Summenhäufigkeit von  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ . In *Tabelle 1* sind die höchsten gemessenen Stundenmittelwerte für jeden Standort aufgeführt. Es gilt wiederum zu beachten, dass die Stichprobenmessungen nicht an allen Standorten in der Zeit der maximalen

### SO<sub>2</sub> Messperiode 1985



### SO<sub>2</sub> Messperiode 1986



### SO<sub>2</sub> Messperiode 1987

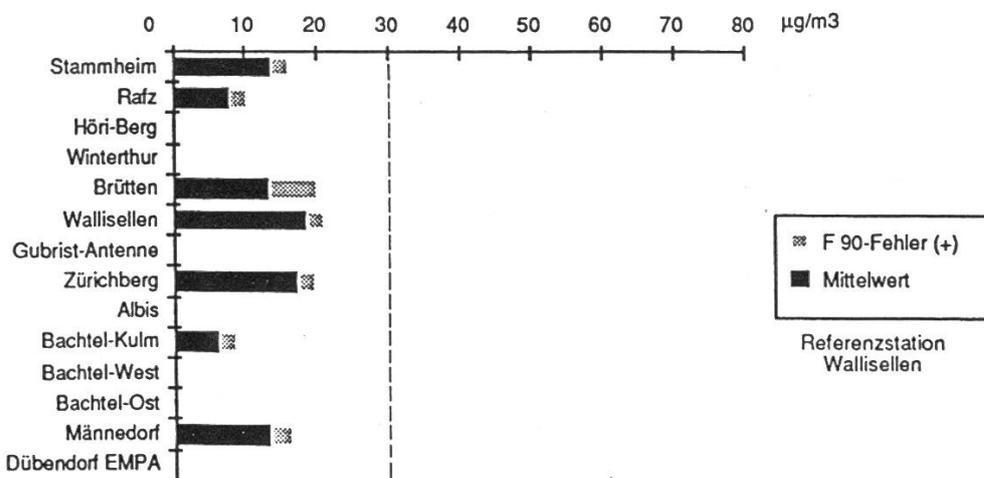
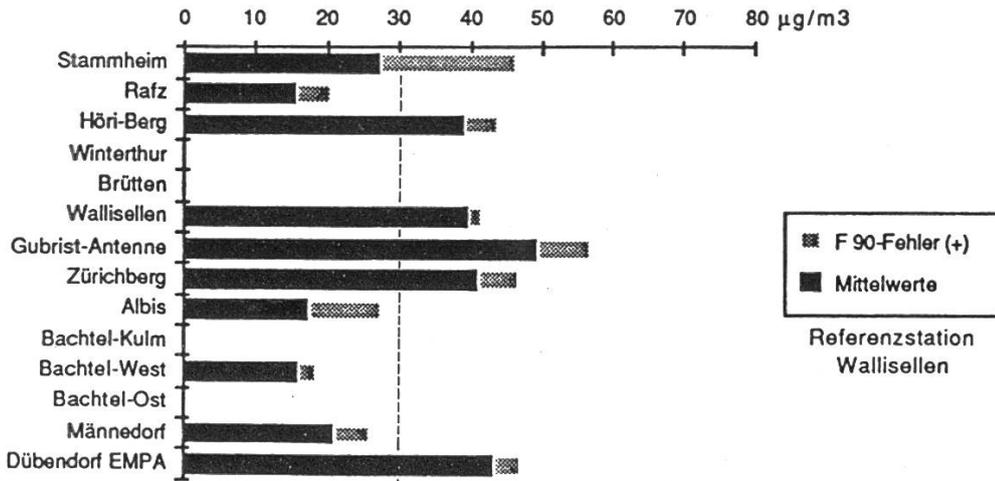
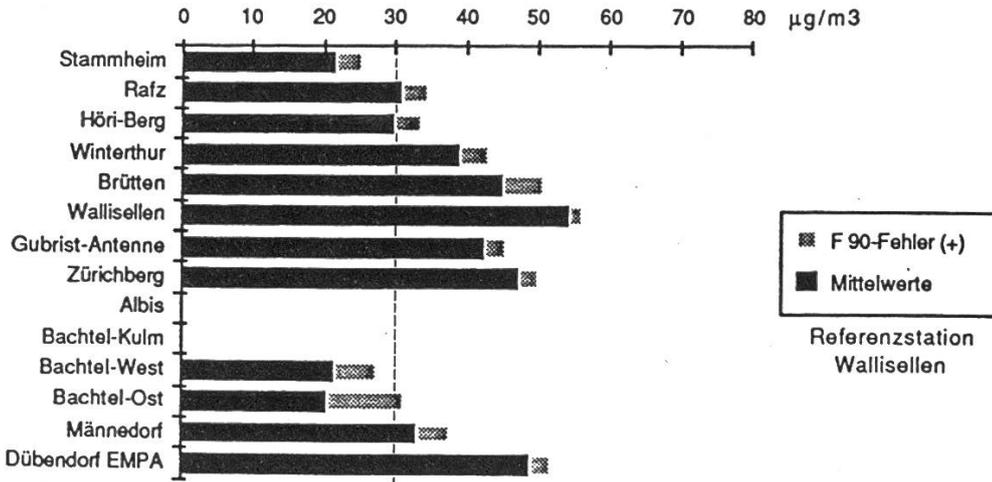


Abbildung 1. SO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte. --- = Immissionsgrenzwert LRV.

### NO<sub>2</sub> Messperiode 1985



### NO<sub>2</sub> Messperiode 1986



### NO<sub>2</sub> Messperiode 1987

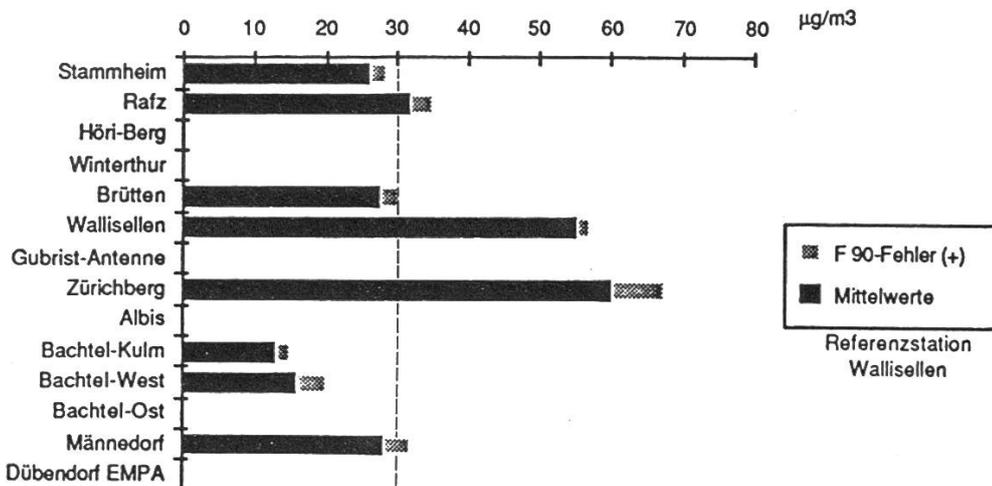
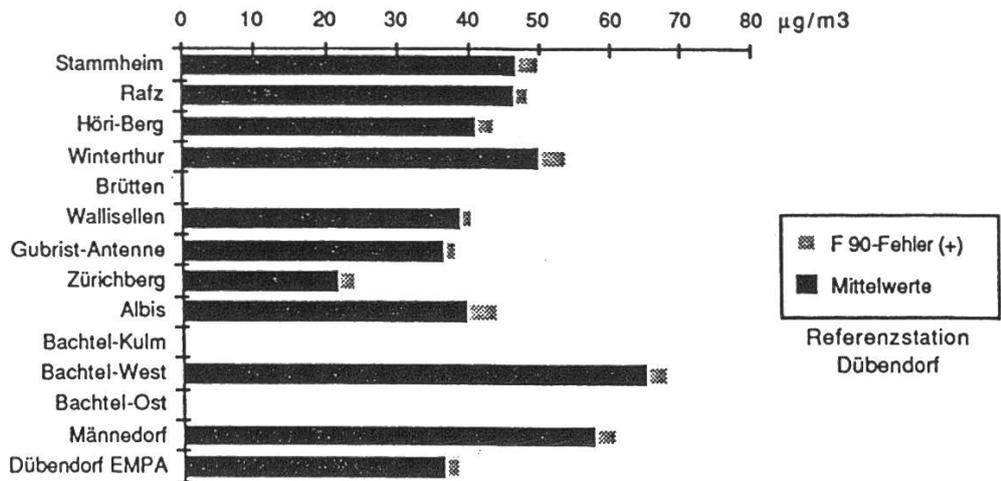
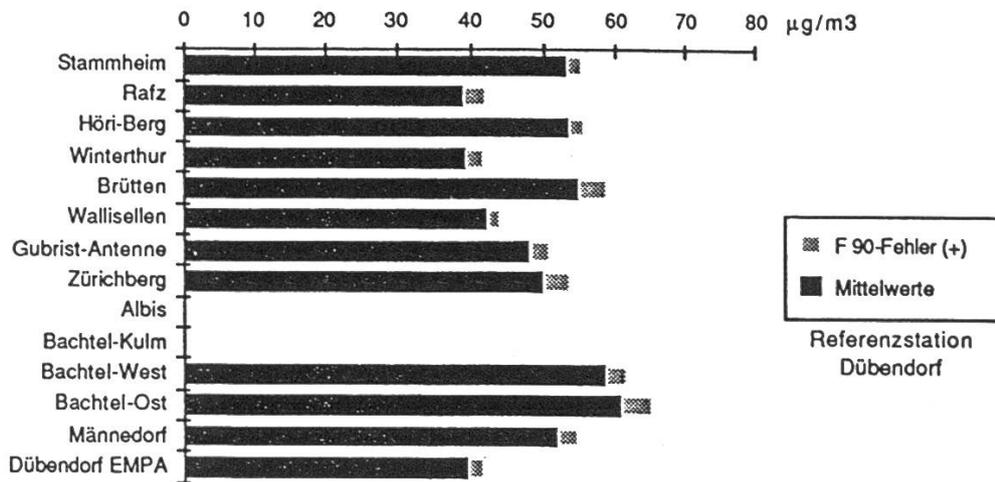


Abbildung 2. NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte. --- = Immissionsgrenzwert LRV.

### O<sub>3</sub> Messperiode 1985



### O<sub>3</sub> Messperiode 1986



### O<sub>3</sub> Messperiode 1987

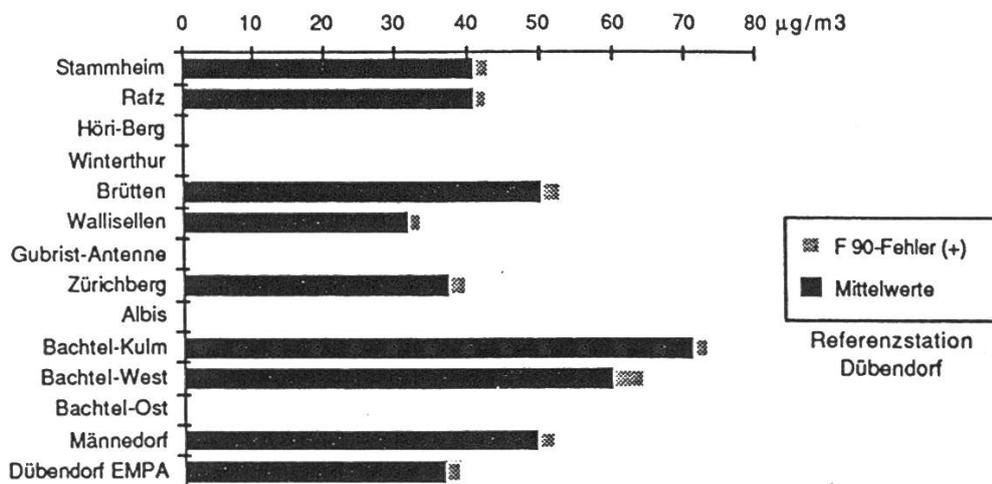


Abbildung 3. O<sub>3</sub>-Jahresmittelwerte.

Tabelle 1. Maximale Ozon-Stundenmittelwerte 1984 bis 1987.

Standort	Max. 1 h-Wert O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	Jahr
Stammheim	179	1986
Rafz	193	1985
Höri	223	1985
Winterthur	220	1985
Brütten	172	1987
Wallisellen	208	1987
Gubrist	161	1984
Zürichberg	188	1987
Albis	215	1984
Bachtel	183	1985
Bachtel Ost	193	1985
Bachtel Kulm *	195	1987
Männedorf	218	1985

\* Dauermessstation, ab 1. April 1987 in Betrieb

Ozonbelastung stattfanden. Dennoch zeigt sich, dass in allen vier Messjahren auf dem gesamten Kantonsgebiet Spitzenwerte über 200 µg/m<sup>3</sup> auftraten. Auch die 98%-Werte wurden im Sommerhalbjahr – unabhängig vom Standort – regelmässig um bis zu 50% überschritten.

Maximalwerte bzw. Perzentilwerte für die andern Schadstoffe können aus den Stichprobendaten nicht zuverlässig abgeleitet werden. Stattdessen sei auf die extreme Kälteperiode im Januar 1985 verwiesen, die zu maximalen SO<sub>2</sub>-Halbstundenwerten von 400 µg/m<sup>3</sup> führte. Diese Episode blieb jedoch ein Einzelereignis, das sich in der gesamten Projektphase nie mehr wiederholte.

#### 5.4 Linienmessungen

Während kurzen, ein- bis zweiwöchigen Perioden wurden an mehreren auf einer Linie liegenden Standorten zeitgleiche Messungen durchgeführt. Im August 1985 war dies auf der Linie Rafz–Höri–Wallisellen–Uster–Bachtel der Fall, im Messjahr 1986/87 auf der Linie Zürichberg–Wallisellen–Brütten–Winterthur–Stammheim. Ausgewertet wurden jeweils die für die Jahreszeit charakteristischen Schadstoffe.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Abhängigkeit des O<sub>3</sub>-Tagesverlaufes von der Distanz zur Stadt mit sehr ausgeprägtem Tagesgang am Stadtrand (Wallisellen), praktisch nicht erkennbarer Ganglinie auf dem Bachtel und verschiedenen Zwischenstufen in der Region. Die nachmittäglichen Maxima sind demgegenüber an allen fünf Stationen sehr ähnlich.

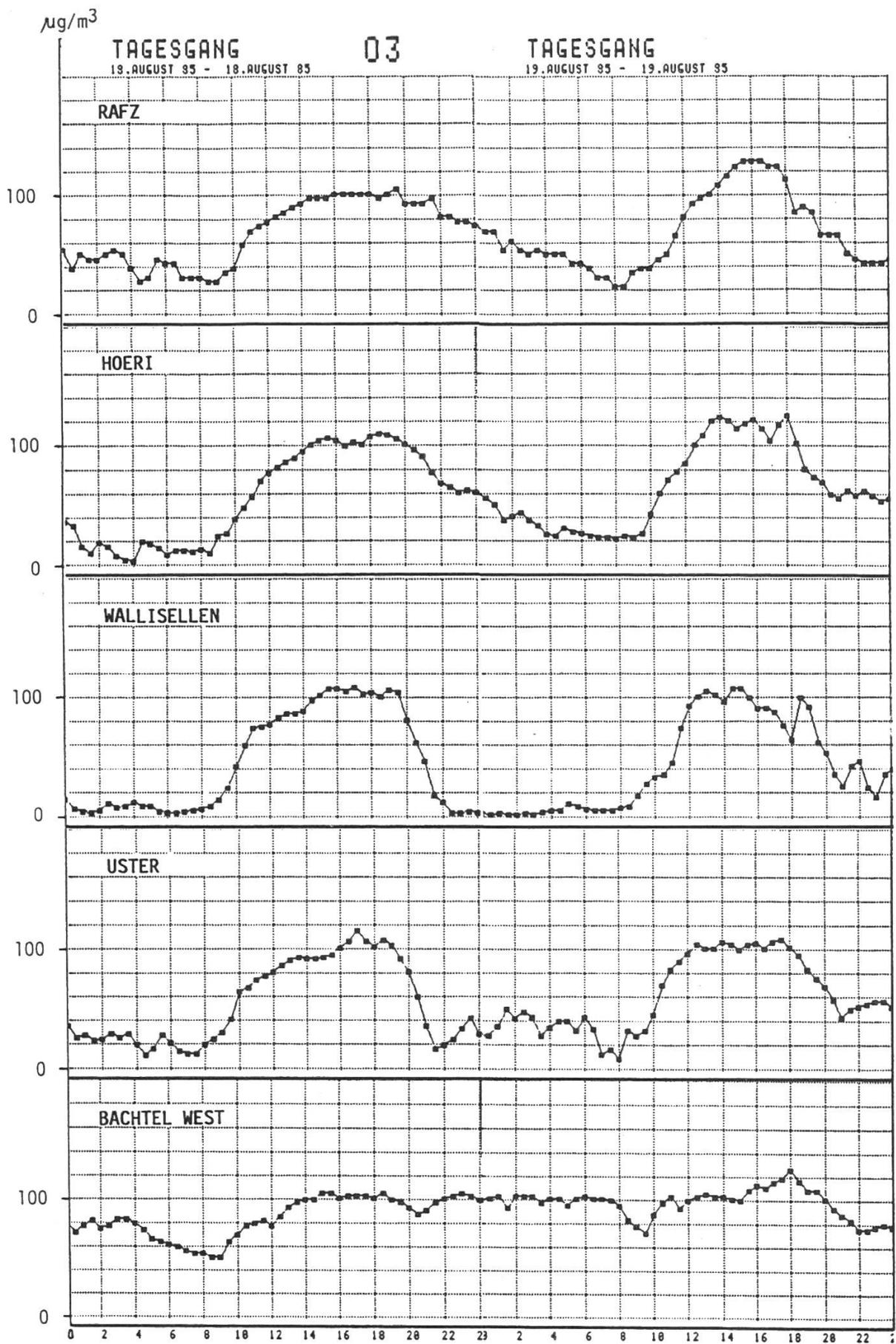


Abbildung 4. Ozon-Tagesverläufe an fünf Messstellen im Glattal.

### 5.5 *Nebelepisoden*

Messungen am Bachtel während einzelner Nebelepisoden zeigten, dass im Bereich der Schichtgrenze teilweise erhöhte Immissionskonzentrationen auftreten, die ein Mehrfaches derjenigen in darüber- oder darunterliegenden Luftschichten betragen können.

### 5.6 *Bestandesmessungen Gubrist*

Der Standort Gubrist bot die Möglichkeit, sowohl die Immissionen innerhalb des Bestandes als auch jene über den Baumkronen (etwa 40 Meter über Boden) zu messen. Die Messungen erfolgten mit dem gleichen Gerät über gleich lange Ansaugleitungen bei jeweils viertelstündlicher Umschaltung der Probenahme. Ermittelt wurden diese Vergleichswerte für  $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_2$  und CO, nicht aber für  $\text{O}_3$ , da für diesen Fall die Probenahmeverrichtung nicht genügte. Die gemessenen Unterschiede sind gering. Sie betragen für  $\text{NO}_2$  und  $\text{SO}_2$  nur wenige Mikrogramm/ $\text{m}^3$ , für die inerteren Schadstoffe NO und CO werden überhaupt keine Differenzen sichtbar.

## 6. Kommentar

Im Rahmen des immissionsökologischen Programms wurden erstmals Immissionsmessungen in Waldgebieten, also abseits der grossen Quellen, durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die bis anhin gehegte Vorstellung, im Grünen wäre die Luft noch sauber, in einigen Punkten korrigiert werden muss. Nimmt man die Immissionsgrenzwerte der LRV als Beurteilungskriterium, so sind im ganzen Kanton und in jedem Beobachtungsjahr massive übermässige Belastungen festgestellt worden. Die Ozongrenzwerte wurden während des Sommerhalbjahres jeweils an allen Standorten deutlich überschritten. Zu hohe Immissionen wurden auch bei  $\text{NO}_2$  registriert, wo vorab der Langzeitgrenzwert an einigen Standorten deutlich überschritten wurde. Deutlich geringer war die Belastung mit  $\text{SO}_2$ ; nur während einzelner Episoden wurden die Kurzzeitgrenzwerte erreicht. Der Verlauf der Immissionen über die vier Messjahre war uneinheitlich. Für  $\text{SO}_2$  wurde der allgemein abnehmende Trend auch an den Waldstationen registriert. Bei  $\text{NO}_2$  wurde eine solche Abnahme bis 1987 nicht beobachtet. An der einzigen kontinuierlichen Messstation, in Wallisellen, stieg der Pegel während der Projektphase deutlich an, an den übrigen Messstellen streute er in einer gewissen Bandbreite ohne eindeutig erkennbare Tendenz. Auch für die Ozonbelastung kann aus den vorhandenen Daten kein Trend herausgelesen werden, hingegen widerspiegelt sich darin der klimatische Charakter der jeweiligen Jahre.

Für alle gemessenen Schadstoffe gilt, dass sie unter bestimmten meteorologischen Bedingungen — insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen — kurzfristig in fünf- bis zehnmal höheren Konzentrationen auftreten als im Jahresdurchschnitt. Diese Episoden erhalten zusätzlich besondere Bedeutung, wenn sie gekoppelt sind mit anderen Stressfaktoren wie säurehaltigem Nebel oder grossen Temperatursprüngen.

Auch die räumliche Differenzierung des Immissionspegels hängt vom Schadstoff ab. Für  $\text{SO}_2$  wurden in Stadtnähe deutlich höhere Werte registriert als an abgelegenen Standorten. Auch bei  $\text{NO}_2$  wurde diese Abstufung sichtbar, allerdings weniger deutlich. Anders die Ozon-Spitzenbelastung, die nahezu homogen über das ganze Kantonsgebiet verteilt auftrat. Dieser Effekt lässt sich damit erklären, dass Ozon als sekundärer Schadstoff langsam aus einem Gemisch von Vorläufersubstanzen aufgebaut wird und sich in dieser Zeit über grössere Strecken verfrachten kann. Nun ist — gemessen an den LRV-Grenzwerten — gerade Ozon der kritische Parameter mit den höchsten Überschreitungen. Um der Bedeutung dieser übermässigen Immissionen für den Wald weiter nachzugehen, wurden die gemessenen Ozonwerte mit den in der Fachliteratur zitierten Schädigungsschwellen verglichen. *Abbildung 5* zeigt, dass alle gemessenen Ozonkonzentrationen innerhalb eines Bereiches liegen, welcher durch die literaturbezogenen Schwellenwerte definiert und durch eine unterbrochene Linie symbolisch begrenzt wird. Mit anderen Worten: Im ganzen Kanton wurden  $\text{O}_3$ -Konzentrationen gemessen, bei welchen in Experimenten bereits Schadenssymptome an Bäumen beobachtet wurden. Sollte Ozon auch eine massgebende Grösse für die Schädigung der Waldbäume sein, so müsste konsequenterweise erwartet werden, dass auch diese Schadenssymptome grossräumig auftreten. Wie andere Kapitel des Berichtes zeigen, ist dies zu einem grossen Teil der Fall. Auch die Ozonbelastung weist indessen Standortunterschiede auf, nicht was die Spitzenwerte betrifft, wohl aber bei der Dauerbelastung. Diese wird geprägt durch die nächtlichen Minima, die am Stadtrand nahe bei Null, in abgelegenen Gebieten aber häufig nur knapp unter den tagsüber gemessenen Werten liegen. Unklar ist bis heute, ob diese Differenz eine pflanzenphysiologische Bedeutung hat.

Ein ähnlicher Vergleich der  $\text{SO}_2$ -Messwerte mit einer Schadenskala aus der Literatur führte zu einer anderen Bewertung. Gemäss *Tabelle 2* bewegt sich der  $\text{SO}_2$ -Pegel teilweise knapp, teilweise deutlich unterhalb der Schädigungsgrenze, die übrigens etwas tiefer angesetzt ist als die Immissionsgrenzwerte der LRV. Auch für  $\text{NO}_2$  lässt sich auf diesem vergleichenden Weg kein direkter Schädigungsnachweis erbringen. Dennoch bestätigen die gefundenen  $\text{NO}_2$ -Werte im Sinne eines Leitschadstoffes, dass auch an Waldstandorten mit einer gewissen Luftbelastung zu rechnen ist.

Schliesslich sei nochmals darauf hingewiesen, dass im vorliegenden Projekt die Immissionskonzentration — also das Schadstoffangebot — gemessen wurde. Diese Grösse ist ein guter Indikator für den Zustand der Luft, sie sagt

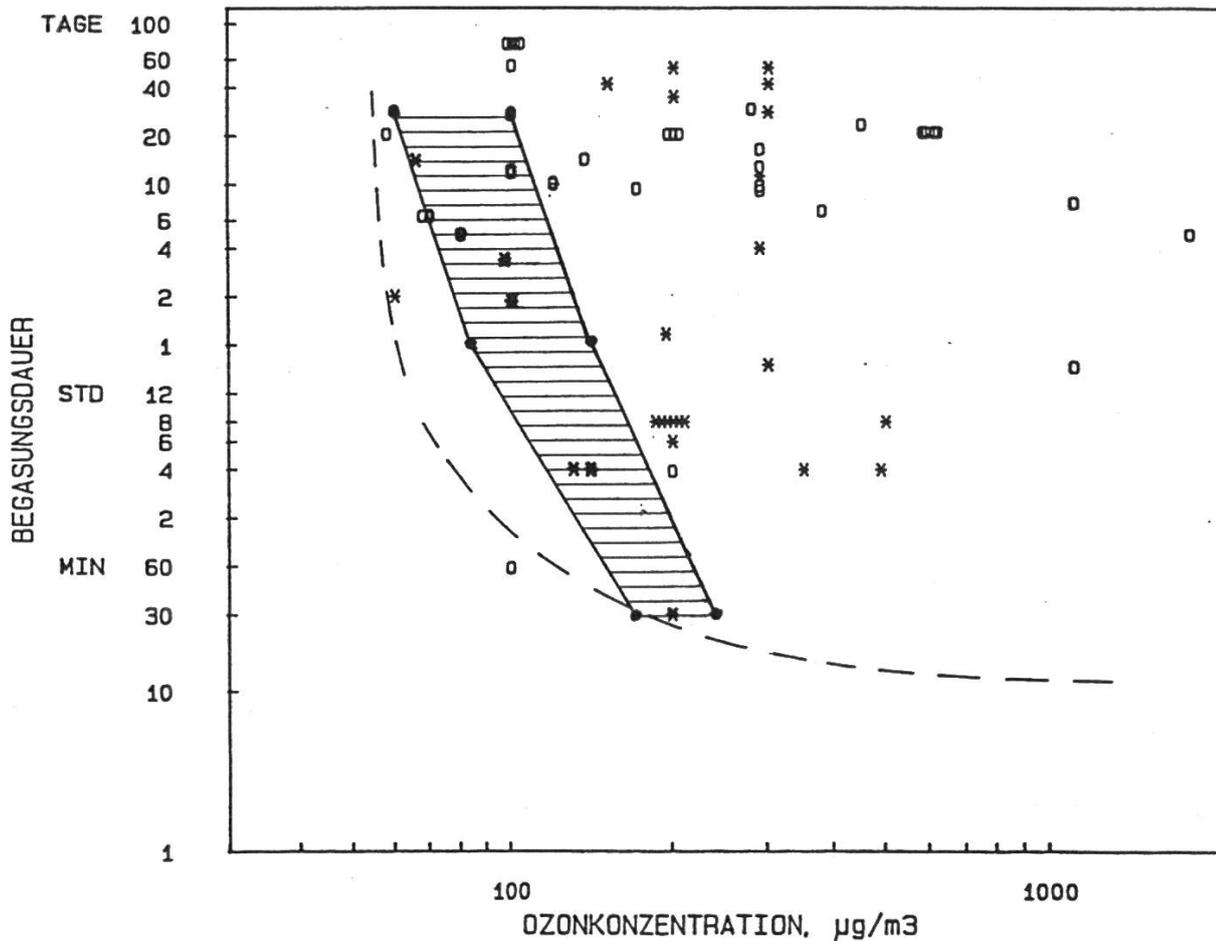


Abbildung 5. Vergleich der gemessenen Ozonwerte (schraffierte Fläche) mit den in der Literatur zitierten Schädigungsschwellen (Punkte, Sterne).

Tabelle 2. Vergleich der gemessenen  $\text{SO}_2$ -Werte mit in der Literatur zitierten Schädigungsschwellen an Nadelbäumen.

Jahresdurchschnitts- konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{SO}_2$	Risiko	Standorte Kanton Zürich
15	Schutz der Koniferen überall garantiert	übrige
20	Schädigungsschwelle in den mittleren Höhenlagen der Gebirge; Frosthärte durch Immissionen vermindert	Brütten, Stammheim
30	Leichte chronische Schäden bei Fichte und Föhre auf armen Standorten; Weisstanne stirbt	Wallisellen, Winterthur, Zürichberg
40	Deutliche Schäden in den Höhenlagen und Prädisposition für Schäden in der Ebene	
50	Schadensschwelle auf guten Standorten der Ebene	
60	Chronische Immissionsschäden auf guten Standorten, Zuwachsverluste	

aber nach übereinstimmender Meinung der Fachwelt noch nicht viel aus über den tatsächlichen Stoffaustausch zwischen dem Baum und der Atmosphäre. Trotzdem wurde auf eigentliche Interzeptionsmessungen verzichtet, weil dafür noch kaum normierte Verfahren zur Verfügung stehen, weil der Aufwand unverhältnismässig viel grösser wäre, weil vergleichende Aussagen über Standorte oder Zeitverläufe auch mit «einfachen» Immissionsmessungen möglich sind und weil schliesslich diese Messwerte auch in Relation zur geltenden Luftreinhalteverordnung gesetzt werden können und somit von allgemeiner Bedeutung für die Beurteilung der Luftqualität sind.

## Résumé

### Immissions gazeuses dans des stations forestières

Pour toutes les stations, des valeurs annuelles moyennes ont été estimées à l'aide d'un procédé statistique testé empiriquement, en recourant à des valeurs journalières moyennes relevées par échantillonnage. Les stations sont comparées entre elles sur la base de ces valeurs estimées.

### *Literatur*

*Wentzel, K. F.* (1981): Maximale Immissionswerte zum Schutze der Wälder. Mitt. forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 137: 175–180.