

# Raum- und Zeitverhalten von Ozon in den westlichen Stadtbezirken von Graz

Von Jürgen ADLMANSEDER  
Mit 8 Abbildungen

Angenommen am 28. Mai 1993

**Zusammenfassung:** Mithilfe von integralen Meßmethoden wurden im Auftrag der Stadt Graz vom Oktober 1990 bis Oktober 1991 innerhalb der westlichen Stadtbezirke von Graz die Luftschadstoffe Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) und Ozon ( $\text{O}_3$ ) erfaßt und unter Anwendung geostatistischer Verfahren räumlich und zeitlich untersucht. Die Ergebnisse zeigten einen deutlichen Wirkungszusammenhang der Emissionen von Stickstoffoxiden mit der Bildung und Verteilung von „urbanem“ Ozon. Relativ erhöhte Konzentrationen wurden vor allem an den unteren Hanglagen der Westumrandung des Grazer Beckens registriert.

## 1. Einleitung

Lufthygienische Untersuchungen waren jahrzehntelang von relativ einfachen Fragestellungen geprägt. Als Schadstoffe wurden bevorzugt Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Staub, beide vor allem aus Emissionen von Industrie und Hausbrand stammend, erfaßt, wobei zunächst lediglich die humanmedizinische Relevanz im Vordergrund stand. Gegen Ende der sechziger Jahre wurde im Zusammenhang mit dem Auftreten von Waldschäden der erste bewußte Schritt in den Raum getätigt.

Untersuchungsobjekt waren dabei relativ eindeutige Emittor-Rezeptor-Beziehungen unter Mitbeachtung der Transmission, jenes Ausbreitungsvorganges, der durch die natürliche Ausstattung eines Untersuchungsgebietes und die dort vorherrschenden Klimatelemente stark beeinflußt wird. Einfache Ausbreitungsberechnungen, zum Großteil auf der „Gaußschen Verteilung“ beruhend, und Messungen mittels unterschiedlicher Methoden in der Atmosphäre und am Rezeptor (vorwiegend Nadelanalysen) ließen einen monokausalen Zusammenhang zwischen Verursacher und Wirkung erkennen.

Am Beginn der achtziger Jahre ließen „neuartige Waldschäden“, die abseits großer Ballungsräume registriert wurden und wo mit Ausnahme der Deposition sauren Niederschlages aus Fernverfrachtungen keine nennenswerten Konzentrationen von Primärschadstoffen zu verzeichnen waren, auf „sekundäre Verursacher“ schließen. Als Hauptluftschadstoff wurde Ozon, als Leitsubstanz des photochemischen Smogs, festgestellt und einer intensiven Forschung unterzogen.

Der Trend bei der Entstehung von troposphärischem Ozon ist gerade in Mitteleuropa weiterhin im Steigen begriffen und hat mittlerweile Konzentrationen erreicht, die auch für die menschliche Gesundheit toxische Wirkungen vermuten lassen. Damit wurden auch städtische Agglomerationsräume und deren unmittelbare Peripherie Untersuchungsobjekt lufthygienischer Fragestellungen im Zusammenhang mit Ozon. Die Schlüsselrolle bei der Entstehung von Photoxidantien kommt dabei den Oxiden des Stickstoffes ( $\text{NO}_x$ ) zu, jenen Rückständen, die aus der Verbrennung eines Luft-Brennstoff-Gemisches resultieren und schließlich über einen komplexen Wirkungsmechanismus zu photochemischen Oxidantien reagieren. In städtischen Regionen bilden

Emissionen aus dem Straßenverkehr den Hauptbestandteil jener Primärsbstanzten, die je nach Konzentration, ihrem Verhältnis untereinander und Einstrahlung als Motor der Photolyse Ozonbildungs- und Abbaureaktionen bewirken. Aufgrund der Komplexität des Ozonkreislaufes soll der eigentlichen Bearbeitung der Fragestellung nach der Verteilung „urbanen Ozons“ innerhalb des Untersuchungsgebietes ein kurzer Abriss über die Entstehung troposphärischen Ozons vorangestellt werden.

## 2. Das urbane Ozon

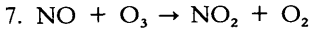
### 2.1 Das chemische Prinzip bei der Entstehung und des Abbaues von urbanem Ozon

Ozon, die dreiatomare Form des Sauerstoffes, ist ein v. a. in der Stratosphäre natürlich angereichertes Gas und erfüllt hier die Funktion eines globalen „Schutzmantels“ vor dem Eindringen „harter“ UV-Strahlung auf die Erdoberfläche. Diese „Ozonosphäre“ kann nur unter Energieeinfluß von UV-Strahlung mit einer Wellenlänge  $> 242$  nm entstehen, womit die Existenz von Ozon im untersten Stockwerk der Atmosphäre, der Troposphäre, nach diesem Prinzip ausgeschlossen ist, da nur langwelliges UV-Licht  $> 290$  nm in sie eindringt. Trotz des Fehlens solcher Photoreaktionen variiert der Volumsanteil des Ozons in der Troposphäre zwischen 10 und 100 ppb (parts per billion =  $10^{-9}$ ). Eine der Ursachen – bis vor kurzem die einzige Erklärung der Existenz von troposphärischem Ozon – ist ein Massenzufluß aus der Stratosphäre im Zusammenhang mit Veränderungen der Tropopause, die sich bei zyklonalen Wetterlagen nach unten verfallen und sogar durchbrochen werden kann (FABIAN 1984). Eine weitere, jedoch kurzzeitige Bildung von Ozon kann bei elektrischen Entladungen während Gewittern erfolgen.

Zu diesem natürlichen Vorkommen von Ozon in der Troposphäre kommen weitere photochemisch gesteuerte Prozesse, die ebenfalls zur Bildung von Ozon führen können. Dabei nehmen anthropogen emittierte Substanzen, v. a. aus dem Verkehr eine überragende Rolle ein (vgl. Kap 2.3.1). Das Abgas eines Kraftfahrzeuges enthält neben dem „idealen“ Verbrennungsprodukt Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) eine Reihe nur unvollständig oxidierter Substanzen, wobei Stickstoffmonoxid (NO) und Kohlenmonoxid (CO) als Primärsbstanzten stark in den Ozonkreislauf eingreifen und mit anderen, zum Teil nur kurzlebigen Verbindungen Reaktionen eingehen. Die wichtigsten dabei sind Kohlenwasserstoffe, Hydroxil- und Peroxiradikale, die Oxidationsvorgänge des NO zu  $\text{NO}_2$  (Stickstoffdioxid) in der Atmosphäre bewirken können, ohne daß Ozon abgebaut wird. Stickoxide sind also im Gegensatz zu Schwefeldioxid keine Verbrennungsprodukte einer Kraftstoffbeimengung, sondern der bei der Verbrennung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches verbrauchte Luftstickstoff. Für das Zustandekommen einer Photodissoziation ist ein dritter Partner M notwendig, der wieder aus dem Zyklus ausscheidet. Das Prinzip der Entstehung von urbanem Ozon ist in den untenstehenden Gleichungen dargestellt.

1.  $\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{H} + \text{CO}_2$
2.  $\text{H} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HO}_2 + \text{M}$
3.  $\text{HO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{OH} + \text{NO}_2$
4.  $\text{NO}_2 + \text{Licht} > 420 \text{ nm} \rightarrow \text{NO} + \text{O}$
5.  $\text{O} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$
6.  $\text{CO} + 2\text{O}_2 + \text{Licht} > 420 \text{ nm} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{O}_3$

Umgekehrt kann es zu Ozonabbaureaktionen kommen, wenn NO unter Abwesenheit oder nur geringer Konzentrationen anderer Radikale zu NO<sub>2</sub> oxidiert, wobei ein Sauerstoffatom entsprechend der Gleichung



verbraucht wird.

## 2.2 Das räumliche Verhalten von urbanem Ozon

Abgesehen von der für die Bildung von Photooxidantien notwendigen Strahlungsenergie sind im Bereich von städtischen Agglomerationen folgende Faktoren, die einen Einfluß auf die räumliche Verteilung nehmen, von Bedeutung (ADLMANSEDER 1992):

- Zeitlicher Verlauf der Emission von Primärsubstanzen
- Dichte, Quellhöhe und Konzentration der Emissionsquellen
- Lebensdauer der am Ozonkreislauf teilnehmenden Substanzen
- Das Verhältnis zwischen Präkursoremissionen und ihren reduzierenden Reaktanden untereinander
- Vorhandene Backgroundkonzentration
- Ausstattung des Untergrundes hinsichtlich seines Einflusses auf Turbulenz- und Diffusionsvorgänge
- Vorherrschende Wetterlage

Aus diesen Randbedingungen läßt sich ein Raummodell des urbanen Ozons (Abb. 1) konstruieren, das die Abhängigkeiten atmosphärenchemischer Reaktionen untereinander und die daraus resultierenden Verteilungen erklärt. Daraus ist abzuleiten, daß das troposphärische Ozon weniger eine Belastung der innerstädtischen, denn der peripheren Räume im Umkreis urbaner Regionen darstellt. Dieses Raumphänomen läßt sich auch am Ozon-Tagesgang zweier unterschiedlich situierter, dauerregistrierender Meßstationen innerhalb von Graz veranschaulichen.

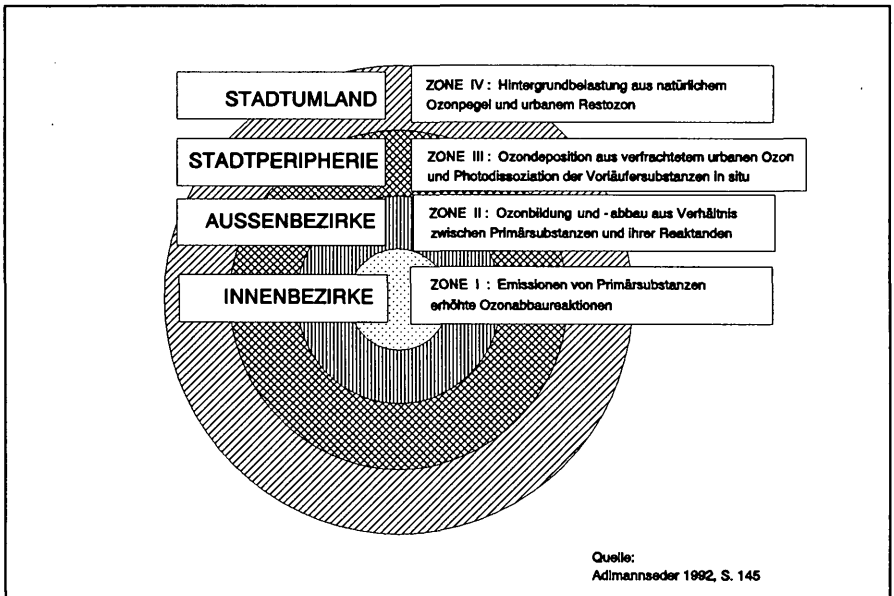


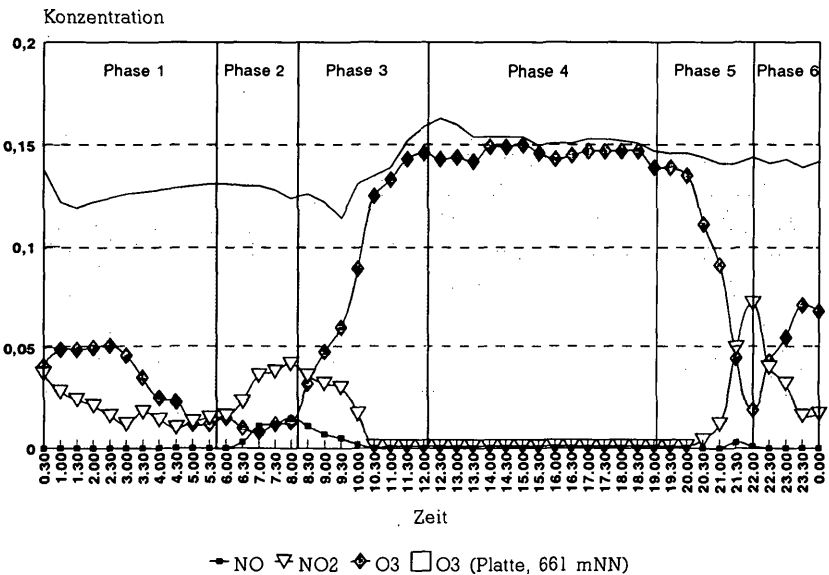
Abb. 1: Raummodell des urbanen Ozons

## 2.3 Zeitverhalten von Ozon

### 2.3.1 Tagesgang

Anhand des Tagesganges läßt sich der enge Zusammenhang zwischen Schwankungen von Primäremissionen, untereinander ablaufender, atmosphärenchemischer Reaktionen und der für photolytische Prozesse notwendigen Einstrahlung erkennen. Im Tagesablauf ergibt sich bei autochthoner Wetterlage für städtisch verbaute Bereiche eine typische Abfolge, die sich in insgesamt 6 Phasen gliedern läßt (Abb. 2):

- Phase 1: Nächtliches Restozon wird gegen die Morgenstunden durch negative Strahlungsbilanz und abnehmende Präkursorsubstanzen abgebaut.
- Phase 2: Einsetzen des Frühverkehrs (NO-Emissionen) führt zur Reduzierung von Ozon auf ein tageszeitliches Minimum; parallel dazu erfolgt die Oxidation des NO zu NO<sub>2</sub> (Kap. 2, Gleichung 7) innerhalb des unmittelbaren Emissionsbereiches. Die Ursache dafür liegt im Fehlen von zu dieser Tageszeit noch nicht ausgeprägten konvektiven Vorgängen und damit in herabgesetzten Ausbreitungsprozessen.
- Phase 3: Mit zunehmendem Sonnenstand und Einsetzen kräftiger Tageserwärmung erfolgt eine rasche Bildung von Ozon unter Verbrauch von NO<sub>2</sub>.
- Phase 4: Erreichen eines langandauernden Ozonmaximums, das durch Nachlieferung von NO<sub>2</sub> versorgt wird. Kohlenwasserstoffe und Peroxiradikale sorgen dafür, daß NO<sub>2</sub> als Präkursorsubstanz gebildet und unmittelbar verbraucht wird, ohne daß es zu einer Reduktion von Ozon kommt. Die nachmittägliche Verkehrsspitze läßt sich an einem Ansteigen der Primärsubstanzen nicht erkennen, da rasch ablaufende Photolyse und Konvektion dies verhindern.
- Phase 5: Ozonbildung wird durch die stark abnehmende Einstrahlung vermindert, gleichzeitig erfolgen Abbaureaktionen durch Primäremissionen, die wie-



Angaben in mg/m<sup>3</sup> Halbstundemittelwerte

Abb. 2: Der Tagesverlauf von Ozon und seiner Vorläufersubstanzen, Station Graz-Süd (345 mNN) am 25. 7. 1992 (Datenquelle: Amt der Steiermärkischen Landesregierung)

derum zu Vorläufersubstanzen oxidieren. Ebenso wie in Phase 2 erfolgt dieser Prozeß unter herabgesetzten Austauschbedingungen (Einsetzen nächtlicher Temperaturinversion), was zu einem kurzfristigen  $\text{NO}_2$ -Maximum führt.

Phase 6: Leichter Ozonanstieg durch zuvor angereicherte Präkursorsubstanzen und Fehlen von Abbaureaktionen. Nach Verbrauch dieser Restsubstanzen stellt sich ein nächtliches Gleichgewicht ein.

Der Vergleich der städtischen Meßstation am Talboden (Station Graz-Süd, 345 mNN) mit einer Hintergrundstation in Höhenlage im Grüngürtel der Stadt (Platte, 661 mNN) ohne nennenswertes Verkehrsaufkommen zeigt die überragende Einfluß-

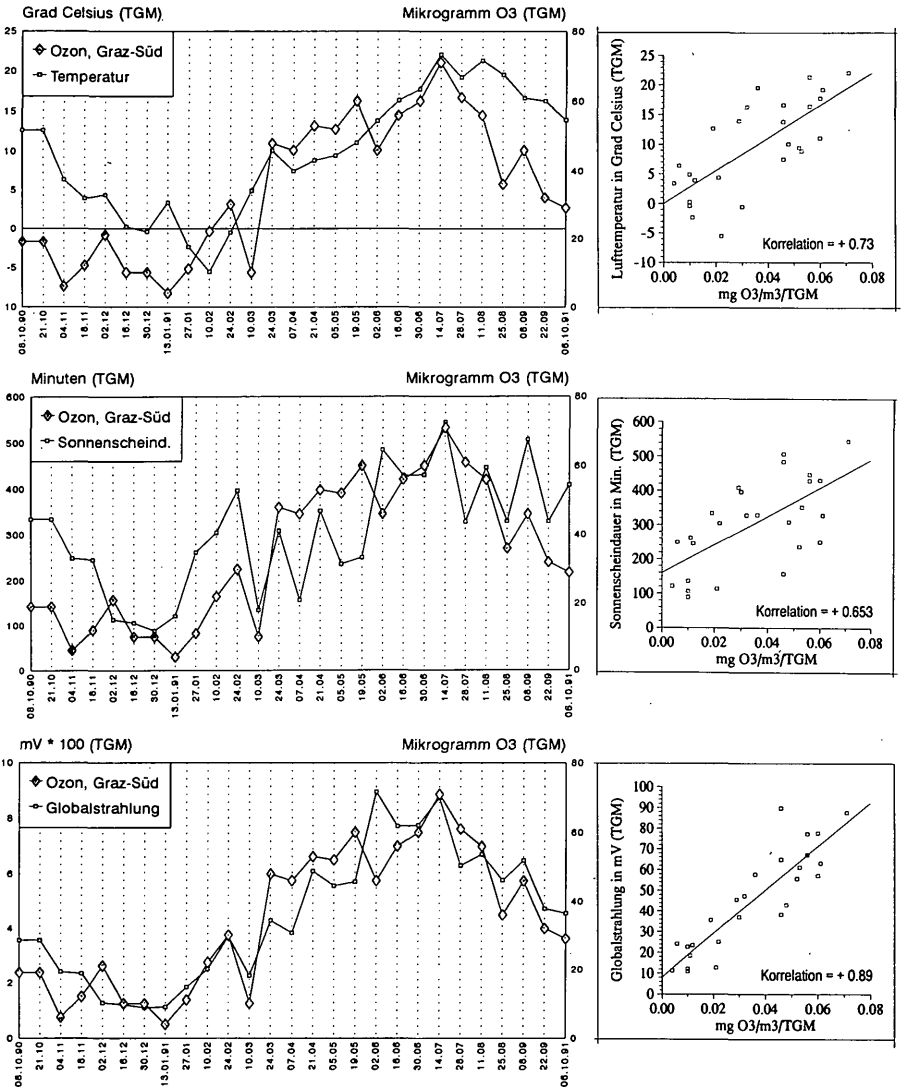


Abb. 3: Jahresverlauf der Ozonkonzentration in Abhängigkeit von Lufttemperatur, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung (Datenquelle: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Universität Graz), TGM = Tagesmittelwert.

nahme von Emissionen v. a. aus dem urbanen Verkehr in bezug auf Ozonabbaureaktionen und Bildung von für seine Bildung notwendigen Präkursorsubstanzen. Der Verlauf der Hintergrundstation ist wesentlich gedämpfter und verbleibt gemessen an den Werten der Stadt im relativ hohen Konzentrationsbereich v. a. während der Nachtstunden. Dieses Phänomen von nächtlich höheren Konzentrationen in höheren Lagen wird als „Ozonreservoir“ (PAFFRATH 1988) bezeichnet und kommt durch das Fehlen reduzierender Verbindungen und im Vergleich zum Talboden geringerer Abkühlung während der Nachtstunden zustande.

### 2.3.2 Der Jahresgang

Die enge Bindung von Einstrahlung als Motor der Photolyse und Bildung von Ozon ist auch jahreszeitlich gegeben. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch der Temperaturverlauf, der mit den gleichzeitig erfaßten Ozonkonzentrationen höher korreliert als der Faktor Sonnenscheindauer als Parameter der Einstrahlung (KOLB, RAU 1990). Die Ursache dafür wird in einer temperaturabhängigen Verdunstung der Präkursorsubstanzen (v. a. von Kohlenwasserstoffen) und einer durch Wärmezufuhr beschleunigten Reaktion vermutet. Die höchste Korrelation ergibt sich allerdings zwischen Ozon und Globalstrahlung, was die Abhängigkeit der Ozonbildung von der Strahlungsintensität und weniger von deren Dauer verdeutlicht. Die in Abb. 3 dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf 14tägige Mittelwerte (26 Untersuchungsperioden mit einer Dauer von je 2 Wochen).

## 3. Untersuchungsziele und Problemlösungsstrategie

Neben dem humanmedizinischen Aspekt, der die Toxizität von Luftschadstoffen innerhalb einer bestimmten Zeitspanne untersucht, ist im Zusammenhang mit Fragestellungen des Einflusses von Fremdsubstanzen auf das gesamte Ökosystem, die Einführung einer chorologischen Komponente notwendig geworden. Gesetzliche Reglementierungen (z. B. Smogalarmgesetz) und die Einbeziehung von ökologisch orientierten Standortfragen in die Raumplanung erfordern ebenfalls Kenntnisse über räumliche Verteilungsmuster und gegebenenfalls Optimierungen der zur Überprüfung des atmosphärischen Ad-hoc-Zustandes und Ergreifung von Präventivmaßnahmen notwendigen dauerregistrierenden Meßstationen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, eine über ein bestimmtes Untersuchungsgebiet flächendeckende Aussage treffen zu können.

Angesichts der Komplexität des Zustandekommens eines Ozonkreislaufes muß bei der Bearbeitung der räumlichen Informationsebene von einer einfach formulierten Arbeitshypothese ausgegangen werden. Diese besagt, daß innerhalb städtischer Agglomerationsräume Bereiche existieren, wo

- Emissionen von Primärschadstoffen stattfinden, die Ozonabbaureaktionen bewirken, die daraus resultierenden Präkursorsubstanzen in Abhängigkeit mehrerer Faktoren (Kap. 2.2) peripher verfrachtet werden, wobei Ozon je nach Verhältnis der daran beteiligten Substanzen untereinander gebildet und/oder abgebaut werden kann
- Zonen erhöhter Deposition bzw. Immission aufgrund des Fehlens reduzierender Stoffe auftreten.

Die Bearbeitung beider Fragestellungen erfordert eine multivariate Vorgangsweise, die folgende Arbeitsschritte beinhaltet:

- die Überprüfung des Meßverfahrens im Freiversuch und Erstellung einer Eichgeraden

- räumliche und zeitliche Evaluierung der Arbeitshypothese, Erstellung eines Stichprobenplanes unter Zugrundelegung geostatistischer Kriterien
- Erarbeitung eines Datenverarbeitungskonzeptes unter Einbeziehung eines Geographischen Informationssystems
- Herstellung von Verteilungskarten und deren Interpretation

#### 4. Das Untersuchungsgebiet – Untersuchungszeitraum

Innerhalb der Landeshauptstadt Graz, die durch ihre besondere topographische Situation (Beckenlage) in bezug auf Luftaustauschverhältnisse v. a. bei Inversionswetterlagen benachteiligt ist, wurden mittels Meßfahrten und dauerregistrierender Stationen relativ hohe Belastungen der Luft mit Stickstoffoxiden in Bereichen westlich der Mur registriert. Hier liegen nicht nur die Mehrzahl der wenigen großen, den Eisenbahnanschluß benötigenden Industrieanlagen der Stadt, sondern auch wichtige Einfahrtstraßen aus Richtung Süden (Autobahnzubringer, Zu- und Abfahrten für die Süd- und Pyhrnautobahn). Das ursprünglich große Raumangebot hat auch zur Ansiedlung einer Reihe von Betrieben aus dem tertiären Sektor (z. B. Einkaufszentren, Großhandelsbetriebe) mit großem (Park-)Platzbedarf geführt, was zu einer weiteren Verkehrsogwirkung aus anderen Stadtbezirken und der Peripherie beigetragen hat. V. a. in den südwestlich gelegenen Bezirken befinden sich relativ neue Wohnsiedlungen, deren Bewohner zum Großteil täglich in das Stadtzentrum einpendeln.

Da ein kausaler Zusammenhang zwischen der Bildung von Ozon und Emissionen von NO besteht, ist eine Untersuchung nach dem räumlichen Verhalten von Ozon vor dem Hintergrund der Lokalisation der Primärquellen auszurichten. Darüber hinaus waren Schwerpunktsetzungen, wie etwa der Frage nach der vertikalen Verteilung oder dem Einfluß von Punktemittenten auf das räumliche Verteilungsbild von Interesse. Somit ergaben sich als Hauptuntersuchungsgebiet die Stadtbezirke westlich der Mur, eine Erweiterung östlich wurde durch Situierung von Meßpunkten innerhalb des 1. (Innere Stadt) und 3. Bezirkes (Geidorf) bewirkt.

Um auch die Abhängigkeit der Ozonbildung von Temperatur- und Einstrahlung näher zu untersuchen und die räumliche Verteilung entsprechend der der Arbeitshypothese zu evaluieren, wurde die Beprobungszeit auf ein volles Jahr (von Herbst 1990 bis Herbst 1991) erstreckt. Somit ergab sich für die Interpretation ein jeweils vollständiges Winter- bzw. Sommerhalbjahr.

#### 5. Stichprobenplanung

Trotz des kostengünstigen Einsatzes von integral vorgenommenen Messungen ist eine unlimitierte Anzahl von Meßpunkten auch hinsichtlich der zu erwartenden Ergebnisse nicht sinnvoll. Da die Grundgesamtheit des Untersuchungsgebietes nie vollständig erfaßt werden kann, ist eine raumanalytische Vorgangsweise nur mittels Stichproben möglich. Insgesamt ergaben sich 68 Beprobungspunkte, 65 davon im eigentlichen Untersuchungsbereich. Zur Feststellung der Hintergrundbelastung wurden weitere 3 Punkte (St. Veit- Schirmleiten, Ragnitz-Schweinberg und Graz-Thondorf) in das Meßprogramm aufgenommen.

Die Entscheidungsgrundlage über die Lokalisation eines Meßpunktes ergibt sich einerseits aus seiner Repräsentativität für einen bestimmten Typ von Standort, andererseits aus seiner Lage zum nächsten Beprobungspunkt, um eine Interpolierbarkeit im Raum flächendeckend gewährleisten zu können. Der Repräsentativitätsbegriff wiederum läßt sich in einen häufigkeitsstatistischen und einen regionalstatistischen Aspekt trennen, wobei der letztere bei räumlich stark differenzierter Grundgesamtheit, wie sie eine städtische Agglomeration darstellt, der wichtigere ist (VETTER, SCHRÖDER,

FRÄNZLE 1986). Dies bedarf einer Gliederung der Beprobungspunkte, entsprechend der Problemstellung, nach emissionsrelevanten Standortmerkmalen, wobei die Anzahl einer realistischen Verteilung innerhalb des Beprobungsgebietes entsprechen sollte (Abb. 4, Abb. 5). Daraus ergibt sich folgende Gliederung:

- A: Beprobungsstandort im Bereich stark frequentierter Straßen mit tagsüber relativ gleichbleibender, hoher Verkehrsfrequenz
- B: Wie A, jedoch verringerte Immissionsbelastung von Primärschwebstoffen durch größere Distanz zu Emissionen
- C: Wohngebiete oder Freiflächen ohne nennenswerten Verkehr
- D: Nähe zu Punktemittenten aus dem industriell-gewerblichen Bereich

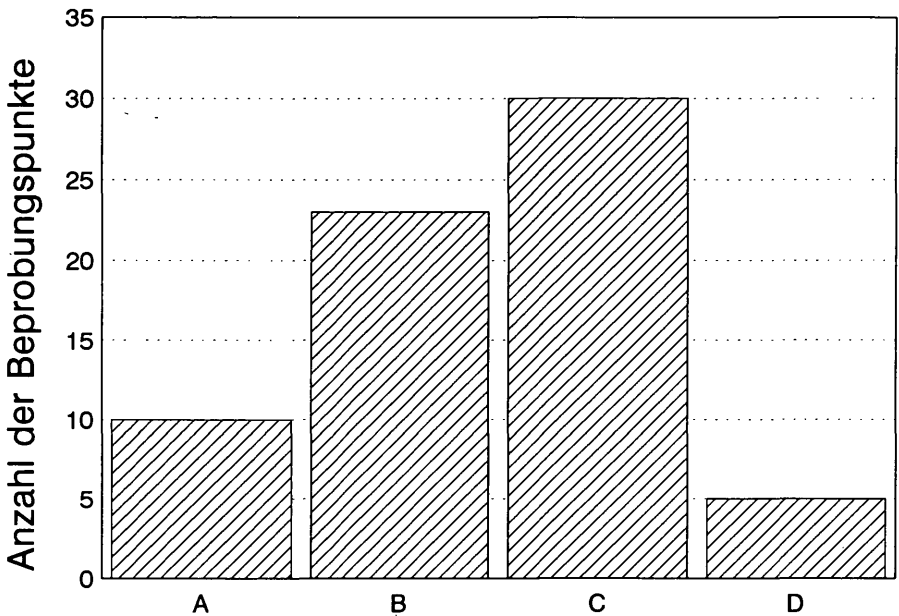


Abb. 4: Häufigkeit der Beprobungspunkte nach Raummerkmalen

Darüber hinaus kommen weitere Kriterien zur Anwendung, die ebenfalls hinsichtlich der Forderung nach Repräsentanz und Vergleichbarkeit entsprechen müssen:

- naturräumlich: absolute und relative Höhe, Exposition, natürliche Ausstattung hinsichtlich des Zustandekommens von Ausbreitungsvorgängen
- anthropogen: Mindestabstand von Emissionen, Dichte und Höhe der Verbauung
- pragmatisch: Erreichbarkeit, Schutz vor Diebstahl und Vandalenakten

Vor allem letzteres Kriterium läßt eine nach strengen Maßstäben angesetzte Stichprobenauswahl nicht zu. Es bedarf daher Kompromißlösungen, die dennoch eine Analyse der Grundgesamtheit zuläßt. Die Situierung der Beprobungspunkte im Zentrum des Untersuchungsgebietes, gegliedert nach Standortmerkmalen, ist in Abb. 5 dargestellt.

## 6. Meßmethode und Eichung

Um räumliche Aussagen von Schadstoffbelastungen vornehmen zu können, wurden sogenannte integrale Meßmethoden entwickelt. Diese in der Literatur vielfach als „Passivsammler“ oder „Kerzen“ bezeichneten Verfahren benutzen chemisch reaktive



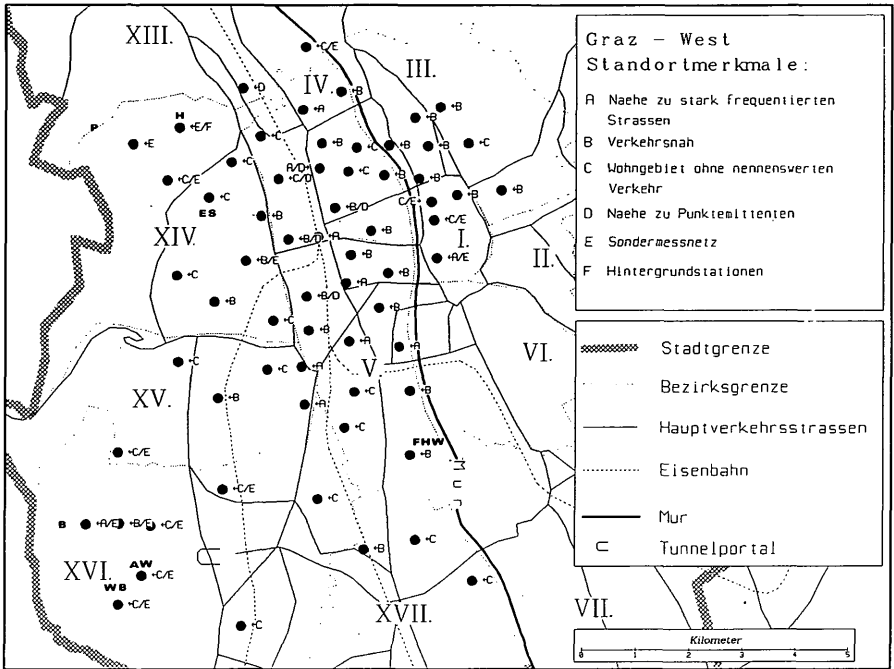


Abb. 5: Beprobungsstandorte nach Standortmerkmalen

Systeme, die mit den zu untersuchenden Luftschadstoffen zu stabilen Verbindungen reagieren, die im Labor quantitativ bestimmt werden können. Zum Schutz vor fallenden Niederschlägen werden diese unter Schutzglocken über einen bestimmten Zeitraum in ca. 2 m Höhe im Gelände ausgebracht und jeweils nach Ablauf der methodisch geforderten Expositionszeit (14 Tage) gegen neue ausgetauscht.

Vorteile dieser Methode sind neben der einfachen Handhabung die Energieunabhängigkeit und geringen Kosten, sodaß ein relativ dichtes Meßnetz errichtet werden kann. Als nachteilig erweist sich die summarische Aussage der erfaßten Schadstoffkonzentrationen über einen längeren Beprobungszeitraum, sodaß Einzelereignisse, z. B. kurzfristig wirkende Spitzenbelastungen nicht in eine Betrachtung miteinbezogen werden können. Diese Aufgabe übernehmen dauerregistrierende Stationen, mittels derer neben Echtzeitaufzeichnungen auch Präventivmaßnahmen (z. B. Smogalarmvorstufe) unternommen werden können. Beide Methoden konkurrieren sich also nicht, sondern ergänzen sich gegenseitig durch die Erfassung der Konzentration in der Zeit-(dauerregistrierend) und der Raumebene (integral).

Die integrale Messung von Ozon erfolgt über die Bildung von Isatin als Folge einer Kontamination von Ozon mit auf Chromatographiepapier beschichteter Indigosuspension (REMMLER, KOSMUS 1988). Die Auswertung erfolgt photometrisch, die gemessenen Konzentrationen werden über eine Eichgerade in  $\text{mg}/\text{m}^3/14$  Tage angegeben. Für die Eichung der integralen Methode zur Erfassung von Ozon konnten insgesamt 46 Datenpaare herangezogen werden, da innerhalb des Untersuchungsgebietes an zwei Standorten Ozon dauerregistrierend gemessen wird. Der Vergleich beider Methoden zeigt eine erstaunlich hohe Korrelation, womit die Eignung der Methode für raumanalytische Untersuchungen ausgewiesen ist (Abb. 6).

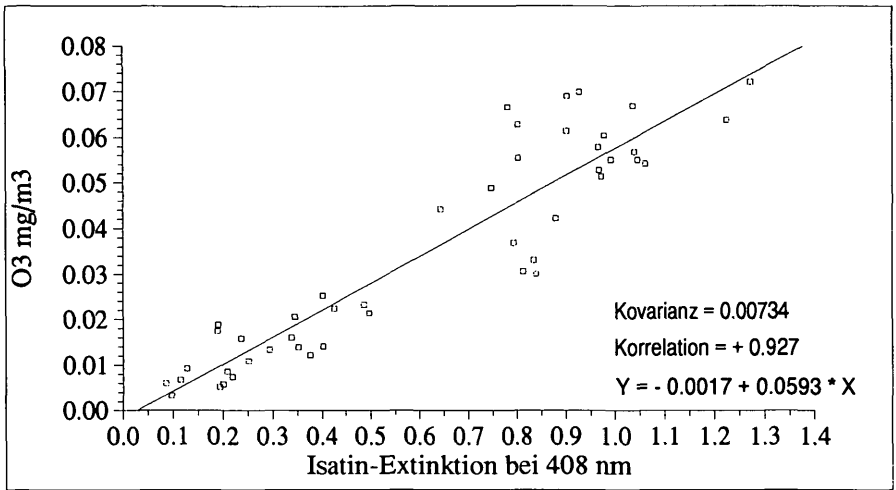


Abb. 6: Vergleich der erfaßten Ozonkonzentration mittels unterschiedlicher Meßmethoden, Eichung der „Indigomethode“

## 7. Datenverarbeitung und geostatische Auswertung

Eine räumliche Verarbeitung der Meßergebnisse macht ein nach mehreren Seiten hin offenes System notwendig, das den Datentransfer zwischen mehreren Bearbeitungsebenen problemlos ermöglichen muß. Den Systemkern stellt eine relationale Datenbank dar, die mit eigens entwickelten, internen Rechenprogrammen und Schnittstellen zu weiterverarbeitenden Programmen versehen wurde. Die digitale Erfassung der Beprobungspunkte erfolgt mittels eines Geographischen Informationssystems, die daraus gewonnenen Koordinaten werden in die Datenbank eingelesen. Die Datenmatrix, getrennt für jede Untersuchungsperiode, beinhaltet somit pro Meßpunkt folgende Datenfelder:

1. die Standortnummer,
2. die kartesischen Koordinaten zur räumlichen Verarbeitung,
3. die nähere Standortbezeichnung,
4. den Untersuchungszeitraum zur Erstellung einer Zeittrendanalyse,
5. die aus dem Photometer gewonnenen Extinktionswerte,
6. die in  $\text{mg}/\text{m}^3/14$  Tage durch die Eichung berechneten Konzentrationswerte,
7. die Klassenzugehörigkeit zur Bearbeitung des häufigkeitsstatistischen Aspektes.

Die Auswertung der im Labor ermittelten und über eine Eichung bestimmten Konzentrationen kann entsprechend der Problemstellung nur mittels einer multivariaten Datenanalyse erfolgen.

Daraus ergeben sich folgende Informationsebenen:

- Verteilungskarten für jeden Untersuchungszeitraum bzw. getrennt nach Winterhalb-/ Sommerhalb- und vollständigem Beobachtungsjahr in Form von Isolinien Darstellungen;
- lagerichtige Darstellung der Konzentrationen, gegliedert nach ihrer Klassenzugehörigkeit;
- Häufigkeitsverteilung der Klassen;
- Raum-Zeit-Matrix für jede Untersuchungsperiode und jeden Untersuchungspunkt.

Daneben ist eine Datenklassifizierung von wesentlichem Interesse, da sie Hin-

weise auf lokale Signifikanzen, v. a. wenn diese in einer Gesamtbetrachtung verloren gehen und sich damit unauffällig verhalten, gibt. Eine Häufigkeitsverteilung der höchsten/niedrigsten Klassen kann die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von hohen/niedrigen Konzentrationen veranschaulichen.

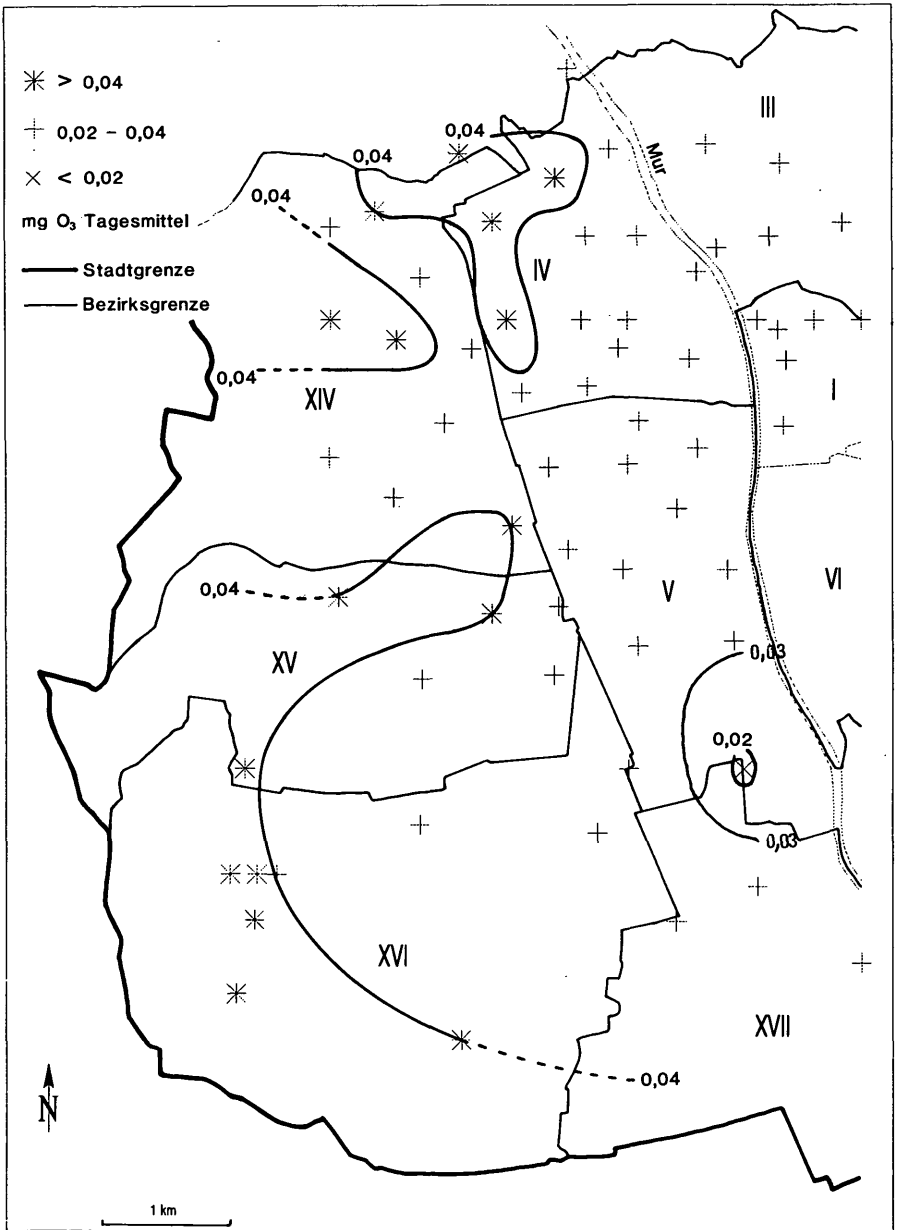


Abb. 7: Verteilung der Ozon-Immissionskonzentration im Tagesmittel innerhalb des Beobachtungsjahres 1990/91

### 8. Die Verteilung des bodennahen Ozons im Untersuchungsgebiet

Die Verteilung des bodennahen Ozons (Abb. 7) im Jahresmittel zeigt im Zusammenhang mit der Bildungsweise urbanen Ozons (Kap. 2.2):

- Geringe Konzentrationen beidseitig der Mur und in Bereichen hoher Verkehrsdichte. Emissionen von Primärschwebstoffen sorgen für erhöhte Ozonabbauereaktionen

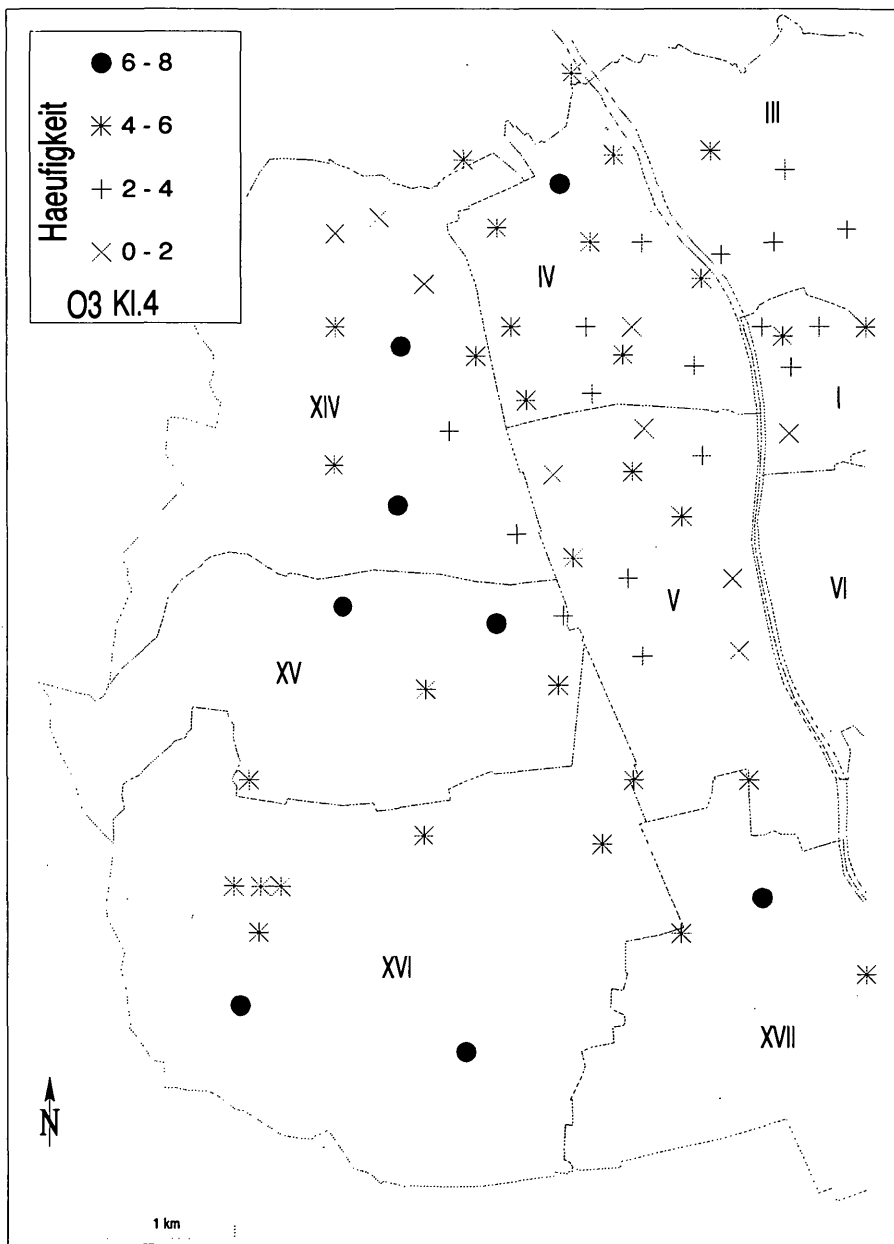


Abb. 8: Häufigkeit der Zugehörigkeit zur Klasse 4 (> 0,06 mg O<sub>3</sub> im Tagesmittel) aus 26 Untersuchungsperioden

und lokal begrenzte Senken (z. B. im unmittelbaren Umfeld des Fernheizwerkes, FHW, Werte bis 0,0017 mg O<sub>3</sub> im Tagesmittel).

- Depositionszonen außerhalb des eigentlichen Ballungsbereiches; verfrachtetes urbanes Ozon und Photodissoziation der Vorläufersubstanzen in situ bewirken erhöhte Ozonkonzentrationen.

Insgesamt lassen sich drei Bereiche erkennen:

1. Im Norden des Untersuchungsgebietes ein schmaler, nach Süden auslaufender Streifen beidseitig der Südbahntrasse; dieser Bereich umfaßt auch den Ostabhang der Hubertushöhe (H).
2. Der Hangfuß der Ostabdachung des Plabutsches (P) und der sich daran östlich anschließende, relativ unverbaute Bereich nördlich des Eggenberger Sportzentrums (ES).
3. Die Hanglagen des Buchkogels (B) und der sich nach Süden anschließenden Weblinger Bucht (WB), wo die höchsten Konzentrationen (Am Weinhang, AW) erfaßt wurden; im Norden dieser Zone schiebt sich ein schmaler Streifen relativ weit gegen Osten, endet allerdings mit zunehmender Nähe zu den Hauptausfallstraßen. (Die genannten Lokalitäten sind in Abb. 5 ersichtlich.)

Aus der Untersuchung nach der Häufigkeit der Zugehörigkeit zu Klassen von Tagesmitteln von insgesamt 26 Untersuchungsperioden ergibt sich ein gegenüber dem durch die Darstellung der Jahresmittel erzielten Verteilungsmuster abweichendes Bild: die höchsten Häufigkeiten werden nicht an den summarisch gesehen relativ am stärksten belasteten Punkten erzielt, sondern in unmittelbarer Nachbarschaft, noch außerhalb der durch Emissionen von NO<sub>x</sub> betroffenen Bereiche (Abb. 8). Es ist dies eine Übergangszone mit wechselnden Verhältnissen von Ozonbildungs- und -abbaureaktionen, die auch im Tagesgang der dauerregistrierenden Aufzeichnungen sichtbar werden.

## Literatur

- ADLMANSEDER, J. (1992): Messung und Raumanalyse von Photosmog im städtischen Raum. – In: Klagenfurter Geographische Schriften, 10: 129–146.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, Fachabteilung Ia (Hrsg.): Monatliche Luftgüteberichte September 1990 bis Oktober 1991 – Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, Fachabteilung Ia (Hrsg.) (1990): Ozonbericht, 78 S. – Graz.
- FABIAN, P. (1984): Atmosphäre und Umwelt, Berlin – 115 S.
- KOLB, H., RAU, J. (1990): Meteorologische Einflüsse auf das bodennahe Ozon. – In: Tagungsband Bodennahes Ozon: 37–44.
- REMMLER, P., KOSMUS, W. (1988): Integrale Langzeitmethoden zur Bestimmung von Ozon in der Atmosphäre. – In: Fresenius Zeitschr. f. Analytische Chemie 329: 871–874.
- VETTER, L., SCHRÖDER, W., FRÄNZLE, O. (1986): Wissenschaftstheoretische Aspekte der Hypothesenbildung und -operationalisierung. – In: Geoökologische Umweltbewertung, Kieler Geographische Schriften 64: 1–17.

Anschrift des Verfassers: Dr. Jürgen ADLMANSEDER, Institut für Geographie der Universität Klagenfurt, Universitätsstraße 65–67, A-9020 Klagenfurt.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: [123](#)

Autor(en)/Author(s): Adlmannseider Jürgen

Artikel/Article: [Raum- und Zeitverhalten von Ozon in den westlichen Stadtbezirken von Graz. 19-31](#)