

KLEINRÄUMIGE VERTEILUNG VON STICKSTOFFDIOXID

**UNTERSUCHUNGEN IN UNTERSCHIEDLICH
BELASTETEN REGIONEN UND AUSARBEITUNG VON
KONZEPTEN FÜR IMMISSIONSMESSUNGEN.
ERHEBUNGEN IM RAHMEN DER SCHWEIZER STUDIE
LUFTVERSCHMUTZUNG UND ATEMWEGS-
ERKRANKUNGEN BEI ERWACHSENEN (SAPALDIA).**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

vorgelegt von
HERMANN HEGNER
dipl. natw. ETH
geboren am 4. Mai 1958
von Zürich

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. sc. nat. H.U. Wanner, Referent
Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. H. Krueger, Korreferent
Dr. W. Stahel, Korreferent

Zusammenfassung

Kenntnisse über die kleinräumige Verteilung von Luftschadstoffen eines Gebietes bilden eine wichtige Grundlage zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung. Diese Informationen werden einerseits zur Planung von Massnahmen und andererseits für epidemiologische Studien gebraucht. Dabei stellt sich die Frage, wieviele Messungen notwendig sind, um Aussagen über die räumliche und zeitliche Verteilung der Schadstoffimmissionen machen zu können.

In der vorliegenden Arbeit ging es darum, am Beispiel von Stickstoffdioxid die Einflussgrössen zu erfassen, die für die in einer Region vorkommenden unterschiedlichen Belastungen massgebend sind. Dazu wurden die Ergebnisse von Luftschadstoff-Messungen, die im Rahmen des Nationalfonds-Projektes SAPALDIA (Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults) durchgeführt wurden, detailliert ausgewertet. Zudem wurde ein statistisches Modell zur Beschreibung der Unterschiede zwischen den Messstellen einer Region entwickelt.

Die Untersuchungsorte der SAPALDIA-Studie waren Aarau mit der Agglomerationsgemeinde Suhr, Basel mit den Gemeinden Riehen und Bettingen, Davos, Lugano, Montana mit den umliegenden Gemeinden Randogne, Mollens, Lens, Chermignon und Icogne, Payerne, Waid mit der Gemeinde Dürnten und Genève. Diese Orte unterscheiden sich hinsichtlich Luftqualität, Sonnenscheindauer, Temperatur und Nebelexposition. Städtische und ländliche Gebiete waren gleichermassen vertreten.

In allen acht Regionen wurden an einer zentralen Stelle kontinuierlich Stickstoffdioxid und weitere Luftschadstoffe sowie meteorologische Parameter gemessen. Zusätzlich erfolgten Messungen mit Passivsammlern an 3 - 16 Stellen, je nach Grösse der Region. Die Passivsammler-Messungen erfolgten gleichzeitig während je vier Wochen in jeder Jahreszeit.

Die auf Grund der vier Messperioden geschätzten **NO₂-Jahresmittelwerte 1991** der acht Regionen bewegen sich zwischen 17 (Montana) und 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Genève). Die Variationskoeffizienten liegen zwischen 22.1% (Genève) und 70.6% (Davos), wobei diese im Winter meist niedriger sind als im Sommer. Der tiefste Wochenmittelwert einer Messstelle beträgt 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Davos und Montana), der höchste 157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lugano). Die Wochen- und Saisonmittelwerte zeigen mehr oder weniger deutlich den bekannten Jahresverlauf. Im Winter treten die höchsten Werte auf und im Sommer die niedrigsten. Die Korrelationskoeffizienten für den Vergleich der kontinuierlichen Messstellen mit den am gleichen Ort angebrachten Passivsammlern liegen in neun der 14 Fälle über 0.8.

Für die **NO₂-Jahresmittelwerte** wurden die bestimmenden **Einflussgrössen** für die Variation der Konzentrationen zwischen und innerhalb der Regionen ermittelt. Am Beispiel von Payerne, das als allgemeiner Fall betrachtet wurde, konnten aus den 22 ursprünglich in die Untersuchung einbezogenen Variablen drei bestimmende Einfluss-

grössen für die Variation der Jahresmittelwerte **innerhalb der Region** bestimmt werden. Die **logarithmierte Distanz zur nächsten Hauptstrasse**, die **Verkehrsmenge auf der nächsten Hauptstrasse entgegen der Hauptwindrichtung** und die **Distanz zum Ortszentrum** können 93% der Variation erklären. Dabei zeigte sich, dass die Distanzvariablen in der Regel wichtiger sind als die Verkehrsmenge. Für die Beurteilung der Verkehrsbelastung genügt oft eine relativ grobe Abschätzung.

Zur Erklärung der Variation der Jahresmittelwerte **zwischen den Regionen** wurden die regionalen Variablen **Jahresmitteltemperatur oder Höhe ü. M.**, **mittlere jährliche Windgeschwindigkeit** und **Siedlungstyp** dazugenommen. Der Siedlungstyp stellte sich dabei als beste Variable heraus. Sie ist einfach zu erheben und ermöglicht eine sichere Unterscheidung respektive Zuordnung von verschiedenen Regionen. Die Jahresmitteltemperatur oder die Höhe ü. M. sowie die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit können als zusätzliche Kriterien beigezogen werden.

Aufgrund der Untersuchungen in allen acht Regionen wurde mit den oben erwähnten sechs Variablen ein **statistisches Modell** entwickelt, zur Berechnung des NO_2 -Jahresmittelwertes an einem beliebigen Ort in der Schweiz. Mit Hilfe der bestimmenden Einflussgrössen der einzelnen Regionen wurden Modelle für einige typische Regionen angepasst. Dieser Ansatz kommt ohne weitere Messungen aus. Die Ergebnisse der Untersuchungen können auch dazu verwendet werden, um eine Einteilung einer Region in eine bestimmte Anzahl Zonen mit ähnlichen NO_2 -Jahresmittelwerten vorzunehmen. Für diese Zonen können dann gezielt Messungen durchgeführt werden. In diesem Falle ist eine neue Messung pro Zonentyp nötig.

Ausserdem wurden einige **Empfehlungen** zur Planung von NO_2 -Messkampagnen erarbeitet.

Die Messstellen in **Städten und grösseren Ortschaften** sollten in der Regel in verschiedenen Distanzen vom Ortszentrum angeordnet werden und gleichzeitig auch in verschiedenen Distanzen von stark befahrenen Strassen. Dabei können Paare von Messstellen in verschiedenen Distanzen zu Strassen mit unterschiedlicher Verkehrsfrequenz gebildet werden. Auf diese Weise wird mit grosser Wahrscheinlichkeit auch der Ort der maximalen Belastung erfasst. Die minimale Belastung wird durch Messstellen in ruhigen Wohnquartieren erfasst.

Für langgezogene Siedlungen (Strassendörfer) lässt sich ein Messkonzept für NO_2 auf unterschiedliche Distanzen von der wichtigsten Längsachse reduzieren. Die Messstellen sollten auf beiden Seiten der Hauptstrasse in geringer, mittlerer und grosser Distanz plziert werden. In einer dünnbesiedelten Region mit vielen, weitverstreuten Siedlungen sollte vor allem auf die Lage der Messstellen an Strassen geachtet werden. Dabei müsste in jeder Siedlung mindestens eine Messstelle eingerichtet werden. Ebenfalls zu berücksichtigen sind grosse Höhenunterschiede innerhalb von Siedlungsgebieten. In einer **kleineren Ortschaft** kann die Variation der NO_2 -Jahresmittelwerte schon mit wenigen sorgfältig plzierten Messstellen sehr gut erfasst werden.

Summary

Knowledge of the small scale distribution of air pollutants is important for exposure assessment of residential populations. This information can be used in the planning of regulations or epidemiological studies. The question then arises, how many measurements are necessary to make valid statements on the temporal and spatial distribution of air pollutants.

This work deals with the determining influences which control the different loads of nitrogen dioxide (NO₂) within a specific region. For this purpose the results of several air pollution measurement campaigns carried out within the framework of the Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults (SAPALDIA), have been examined. A statistical model for the variation in the load of NO₂ between the measuring sites within a region has been developed.

The regions of investigation for the cross-sectional study were Aarau/Suhr, Basel/Riehen, Davos, Lugano, Montana, Payerne, Wald/Dürnten and Geneva. These regions differ according to air quality, hours of sunshine, temperature and frequency of fog. Urban and rural regions were equally represented. The small scale distribution of NO₂ was simultaneously measured by means of passive sampling devices and continuous monitoring over a four-week period in each season of 1991.

The estimated annual means for NO₂ in the regions lie between 17 (Montana) and 67 µg/m³ (Geneva). The coefficients of variation range from 22.1% (Geneva) to 70.6% (Davos). *In winter the variation is usually lower than in summer. The lowest weekly mean of a single measuring site is 4 µg/m³ (Davos and Montana); the highest is 157 µg/m³ (Lugano). The weekly and the seasonal means show the well known annual course with the highest values in winter and the lowest in summer. The correlation between the passive samplers and the continuous monitoring is mostly good.*

With the annual means of NO₂ the determining influences on the variation in the concentration between and within the regions were examined. In the region of Payerne, which was used as the general case, the three most important influences of the variation within the region were found. The logarithmic distance to the next main road, amount of traffic and distance from the local centre can explain 93% of the variation. The variables of distance are more important than the amount of traffic.

The annual mean temperature, or the height above sea level, the annual mean wind speed and the type of settlement dominate the variation between the regions. The type of settlement is most important. It is the easiest to determine and provides a valid distinction between urban, suburban and rural regions. The annual mean temperature, or the height above sea level, and the annual mean wind speed can be used as additional criteria.

Based on the examinations of all eight regions a general statistical model, with the above mentioned variables, has been developed to calculate annual averages of NO₂ for every site in Switzerland. Using the factors determining variation of concentration within the individual regions, models for some typical cases have been detailed such that no further measurements are needed. The results of the investigations can also be used to identify within a region zones with similar annual mean concentrations of NO₂. Within each zone targeted measurements can be taken such that only one measurement per zone is necessary.

Furthermore some recommendations for the planning of measuring campaigns for NO₂ were produced.

In towns and bigger villages measuring sites should be arranged at different distances from the local centre and simultaneously at different distances from much frequented roads. Pairs of measuring sites with different spatial relationships can be placed on roads with differing traffic frequency. So the area of peak load can be elucidated. The minimum load is to be found in quiet residential sites. In villages built along a single street the concept of measurement can be reduced to sites at different distances from the main road. The measurement equipment should be placed on both sides of the street at a short, medium and large distance. In thinly populated regions with scattered settlements attention should be paid to the location of measuring sites on roads. There should be a measuring site in every settlement. Large ranges of elevation within settlements should be considered. The variation of annual mean concentrations of NO₂ in small villages can be adequately assessed with only a few measuring sites.