

**Nr.47**

Kohlenwasserstoffbelastungen  
- in Ahlen  
- eine statistische Analyse -

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6

D-4300 Essen 1

1984

ISSN 0720-8499

Kohlenwasserstoffbelastungen in Ahlen  
- eine statistische Analyse -

*Einhold*  
Dr. R. Beier  
✓

*0-1200*

*1200*

*1200*

Inhalt:

Zusammenfassung

Summary

1. Einleitung
2. Probenahme und Analytik
3. Mittlere KW-Profile einzelner Meßpunkte
  - 3.1. Winter 1980/81
  - 3.2. Sommer 1981
4. Vergleich der mittleren KW-Profile aller Meßpunkte - Clusteranalyse
  - 4.1. Methode
  - 4.2. Ergebnisse
    - 4.2.1. Winter 1980/81
    - 4.2.2. Sommer 1981
  - 4.3. Diskussion
5. Korrelationsanalyse der Änderungsraten
6. Ursachenanalyse
7. Schlußbetrachtung

Schrifttum

Tabellen-, Bild- und Programmanhang

Dr. R. Beier

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Simultane Messungen von 13 Kohlenwasserstoffen im Stadtgebiet von Ahlen wurden mit Hilfe verschiedener statistischer Methoden analysiert. Die Anwendung einer clusteranalytischen Technik führte zur Identifikation von Klassen ähnlicher Kohlenwasserstoff(KW)-Profile. Beobachtete Reduktionen der Konzentrationen im Sommerhalbjahr 1981 korrelierten gut mit Verringerungen der Konzentrationen in der Nähe einer Kokerei. Bedeutende Verringerungen erfuhren dabei die Stoffe Ethan, Ethen, Ethin, i-Pentan, Benzol und Toluol.

### S u m m a r y

Simultaneous measurements of 13 hydrocarbon compounds within the city of Ahlen have been analyzed by different methods of statistics. Applying a cluster-analytical technique different classes of profiles have been identified. The observed reductions of concentrations in the summerperiod 1981 are well correlated to reductions of concentrations near a coking-plant. Significant reductions were observed on ethane, ethene, acetylene, i-pentane, benzene and toluene.

## 1. Einleitung

Zu den Luftschadstoffen, welche in Ballungsräumen von Bedeutung sind, gehört neben den weithin bekannten anorganischen Schadgasen  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{O}_3$ , Staub und Schwermetallen im Staub auch die große Klasse der Kohlenwasserstoffe. Diese umfaßt eine Vielzahl verschiedener Verbindungen; in [1] sind mehr als 500 aufgeführt. Freigesetzt werden Kohlenwasserstoffe durch menschliche Aktivitäten hauptsächlich bei der Verarbeitung und Verbrennung von Kohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Holz und anderen organischen Materialien. Bedeutsame Quellen von Kohlenwasserstoffen sind verarbeitende Industriebetriebe wie Raffinerien und Kokereien, der Straßenverkehr sowie Hausfeuerungen, und zwar in besonderem Maße solche, die mit Kohle oder Erdöl befeuert werden. So zahlreich wie die in Frage kommenden Verbindungen sind auch die möglichen Belastungstypen. Welche Vielfalt schon bei Beschränkung auf 16 Kohlenwasserstoffe auftritt, konnte in einer vorangehenden Arbeit [2] durch Anwendung einer clusteranalytischen Auswertemethode aufgezeigt werden. Bei der genannten Arbeit [2] handelte es sich um eine großräumig angelegte Untersuchung von vergleichsweise geringer räumlicher Auflösung (ca. 8 km). In der vorliegenden Arbeit werden simultane Messungen von 13 aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen ausgewertet, die mit einer räumlichen Auflösung von 500 m im Stadtgebiet von Ahlen im Zeitraum Oktober 1980 bis September 1981 durchgeführt worden sind. Diese Messungen umfaßten die Komponenten Ethan, Ethen, Propan, Propen, n-Butan, i-Butan, Ethin, n-Pentan, i-Pentan, Benzol, Toluol, Ethylbenzol und m/p-Xylol. Ziel der Arbeit war es, die kleinräumigen Strukturen der durch diese Komponenten verursachten Belastungen in einem vermutlich relativ hoch belasteten Stadtgebiet zu analysieren. Dabei gelangt wiederum die bereits in [2] eingesetzte clusteranalytische Auswertemethodik zum Einsatz. Nach einer kurzen Beschreibung der Erhebungsstrategie und der chemischen Analytik (Abschnitt 2) wird zunächst gezeigt, wie umständlich eine Auswertung bei Verzicht auf clusteranalytisches Instrumentarium wird (Abschnitt 3).

In Abschnitt 4 findet sich eine ausführliche Beschreibung des benutzten clusteranalytischen Algorithmus und eine Darstellung der gewonnenen Resultate sowie eine Diskussion derselben.

In Abschnitt 5 schließt sich eine Korrelationsanalyse der ermittelten Änderungsraten vom Winter 1980/81 auf den Sommer 1981 an. In Abschnitt 6 werden mögliche Ursachen für die gefundenen Kohlenwasserstoff-Belastungen diskutiert. Abschließend wird in Abschnitt 7 ein Resümee gegeben. Im Anhang finden sich neben Tabellen und Abbildungen auch Abdrucke der benutzten FORTRAN-Programme.

## 2. P r o b e n a h m e   u n d   A n a l y t i k

Die Probenahme erfolgte durch 10minütige Belüftung zuvor evakuierter Glaskolben mit einem Volumen von 250 cm<sup>3</sup> an 32 zuvor festgelegten Meßpunkten im Stadtgebiet von Ahlen. Die Lage und Kennzeichnung der Meßpunkte ist in Abb. 1 wiedergegeben. Sie überdecken ein Areal von 2,5 x 2,5 km<sup>2</sup> in einem nahezu quadratischen Raster 500 m Maschenweite. Das Meßgebiet umfaßt im nordwestlichen Quadranten den Stadtkern von Ahlen, im südöstlichen das Werksgelände der Zeche Westfalen und der nahegelegenen Kokerei. An jedem der angegebenen Meßpunkte wurden in der Zeit von Oktober 1980 bis September 1981 ca. 25 Luftproben entnommen. Die Festlegung der Meßzeiten erfolgte durch Zufallsauswahl aus einer Gleichverteilung an Werktagen zwischen 8.00 und 16.00 Uhr.

Die chemische Analyse der entnommenen Luftproben wurde in den Laboratorien der Landesanstalt für Immissionsschutz in Essen unter Leitung von DR. P. BRUCKMANN mit Hilfe der Kapillargaschromatographie ausgeführt (Gerät: Packard 407 Säule: 50 m beschichtet mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Detaillierte Beschreibungen des Analyseverfahrens wurden bereits an anderer Stelle gegeben [3, 4]. Der quantitative Nachweis erstreckte sich auf die Volumenkonzentrationen der folgenden 13 Kohlenwasserstoffe (in der Reihenfolge ihrer Retentionszeiten):

1. Ethan
2. Ethen
3. Propan
4. Propen
5. i-Butan
6. n-Butan
7. Ethin
8. i-Pentan
9. n-Pentan
10. Benzol
11. Toluol
12. Ethylbenzol
13. m/p-Xylol.

Im folgenden werden die genannten Komponenten häufig durch ihren Platz in dieser Anordnung gekennzeichnet.

### 3. M i t t l e r e   K W - P r o f i l e   e i n z e l n e r M e ß p u n k t e

In diesem Abschnitt wird exemplarisch gezeigt, wie umständlich die Auswertung der gewonnenen multivariaten Daten bei Verzicht auf clusteranalytisches Instrumentarium wird.

Da gegebenenfalls Auswirkungen zwischenzeitlich eingetretener Veränderungen erkennen zu können, wurden Auswertungen getrennt für das Winterhalbjahr 1980/81 (Oktober 1980 - März 1981) und das Sommerhalbjahr 1981 (April 1981 - September 1981) ausgeführt.

Als Vergleichsgröße wurden für jeden Meßpunkt die Mittelwerte der 13 registrierten Kohlenwasserstoffe für die beiden genannten Halbjahreszeiträume ermittelt. Die so gewonnenen mittleren Kohlenwasserstoff(KW)-Profile sind in den Tabellen 1 und 3 wiedergegeben.

Um den Vergleich dieser Mittelwerte untereinander zu erleichtern, wurden in den Tabellen 2 und 4 den Meßpunkten komponentenweise Rangzahlen zugeordnet. Der am stärksten belastete Meßpunkt erhielt jeweils die Rangzahl 1, die geringer belasteten entsprechend höhere Rangzahlen in aufsteigender Reihenfolge.

### 3.1. Winter 1980/81

Betrachtet man die durchschnittlichen Konzentrationen im Winterhalbjahr 80/81 (Tabellen 1, 2), so fällt sofort der Meßpunkt 22 auf, der für 9 der 13 erfaßten Kohlenwasserstoffe die Spitzenstellung einnimmt, und zwar bei

- Ethen (55,5 ppb)
- Propan (12,4 ppb)
- i-Butan (16,4 ppb)
- n-Butan (30,9 ppb)
- i-Pentan (20,1 ppb)
- n-Pentan (15,3 ppb)
- Benzol (40,9 ppb)
- Toluol (24,8 ppb)
- m/p-Xylol (11,5 ppb).

Der Meßpunkt 22 liegt an der nördlichen Grenze des Kokereigeländes etwa 100 m von der Ofenbatterie entfernt. Die Auffälligkeit dieses Meßpunktes ist aus der in der letzten Spalte der Tabelle 2 angegebenen Rangsumme von 23 erkennbar.

Die übrigen in der Nachbarschaft der Kokerei gelegenen Meßpunkte 23 und 29 zeigten im Winter 80/81 keine vergleichbare Auffälligkeit. Festzustellen ist jedoch, daß der benachbarte Meßpunkt 23 mit 11,3 ppb die zweithöchste mittlere Benzol-Konzentration aufwies. Auf Platz 3 mit 10 ppb Benzol folgte der etwa 1,5 km westlich der Kokerei gelegene Meßpunkt 25. Am Meßpunkt 18 wurde mit 9 ppb im Winter 80/81 die vierthöchste durchschnittliche Benzol-Konzentration registriert.

Der Meßpunkt 29, knapp 500 m südöstlich der Kokerei gelegen, fiel im Winter 80/81 durch die höchste durchschnittliche Ethan-Konzentration (47,4 ppb) auf. Auch die durchschnittliche Propan-Konzentration (9,7 ppb) gehörte zu den höchsten (4. Platz).

An den Rangsummen (Tabelle 2) wird deutlich , daß im Winter 80/81 hinsichtlich der mittleren Kohlenwasserstoff-Belastungen die Meßpunkte 8 und 2 nach dem Meßpunkt 22 die auffälligsten waren. Beide Punkte liegen in der Nähe des Stadtkerns ca. 2 km nordwestlich des Kokereigeländes. Dabei fiel der Meßpunkt 8 im besonderen auf durch die Mittelwerte von

- i-Butan (13,0 ppb)
- n-Butan (20,1 ppb)
- i-Pentan (16,0 ppb)
- n-Pentan (11,6 ppb).

Der Meßpunkt 2 zeigte dagegen besonders hohe Mittelwerte der Komponenten

- Ethin (44,2 ppb)
- Toluol (17,4 ppb)
- m/p-Xylol ( 8,2 ppb).

Auf der Skala der Auffälligkeit der Mittelwerte (Tabelle 2) folgten im Winter 80/81 des weiteren die Meßpunkte 25, 18 und 6.

Der Meßpunkt 25, etwa 1,5 km westlich der Kokerei gelegen, fiel dabei durch folgende Mittelwerte auf:

- Ethen (26,0 ppb)
- Ethin (21,4 ppb)
- Benzol (10,1 ppb)
- Toluol (19,0 ppb)
- Ethylbenzol ( 7,5 ppb).

Am Meßpunkt 18, etwa 700 m nordöstlich der Kokerei in einem Wohngebiet gelegen, wiesen folgende Kohlenwasserstoffe besonders hohe Mittelwerte auf:

- Propan (10,4 ppb)
- Propen ( 6,3 ppb).

### 3.2. Sommer 1981

Vergleicht man die im Winter 1980/81 festgestellten Mittelwerte mit den im Sommer 1981 registrierten, so zeigen sich folgende Unterschiede:

Der im Winter 80/81 besonders aufgefallene Meßpunkt 22 in der Nähe der Kokerei liegt im Sommer 1981 mit einer Rangsumme von 153 (Tabelle 4) auf Platz 13 der Auffälligkeitsskala der Mittelwerte. Einen Spitzenplatz nimmt er nur noch hinsichtlich der Toluol-Konzentration (28,5 ppb) ein, welche die im Winterhalbjahr dort registrierte leicht übertrifft. Alle anderen registrierten Kohlenwasserstoffe zeigten im Sommer 1981 dort deutlich geringere Durchschnittskonzentrationen als im Winter 80/81.

Im einzelnen waren am Meßpunkt 22 folgende Änderungsraten zu verzeichnen:

1. Ethan:	- 72 %
2. Ethen:	- 82 %
3. Propan:	- 60 %
4. Propen:	- 73 %
5. i-Butan:	- 72 %
6. n-Butan:	- 81 %
7. Ethin:	- 63 %
8. i-Pentan:	- 62 %
9. n-Pentan:	- 76 %
10. Benzol:	- 90 %
11. Toluol:	+ 15 %
12. Ethylbenzol:	- 59 %
13. m/p-Xylol:	- 65 %.

Reduktionen um mehr als 80 % erfuhren dabei die Komponenten Ethen, n-Butan und Benzol.

Am auffälligsten in der Nachbarschaft der Kokerei war im Sommer 1981 der Meßpunkt 29 auf Platz 6 der Auffälligkeitsskala der Mittelwerte. Bis auf die Komponenten Ethan und Propan zeigten alle übrigen Komponenten im Sommer 1981 hier höhere Durchschnittswerte als im Winter 80/81. Die mittlere Ethan-Konzentration ist mit 41,4 ppb immer noch die höchste registrierte, die Propan-Konzentration mit 9,4 ppb nun die zweithöchste.

Im einzelnen wurden am Meßpunkt 29 folgende Änderungsraten festgestellt:

1. Ethan:	- 11 %
2. Ethen:	+ 25 %
3. Propan:	- 3 %
4. Propen:	+ 40 %
5. i-Butan:	+ 58 %
6. n-Butan:	+ 23 %
7. Ethin:	+ 39 %
8. i-Pentan:	+ 232 %
9. n-Pentan:	+ 169 %
10. Benzol:	+ 61 %
11. Toluol:	+ 110 %
12. Ethylbenzol:	+ 63 %
13. m/p-Xylol:	+ 62 %.

Offen bleibt die Frage nach den Ursachen der hier beobachteten, teilweise drastischen Erhöhungen der Kohlenwasserstoff-Belastungen.

Bis auf die bereits erwähnten Konzentrationen von Ethan und Propan gehören aber auch die im Sommer 1981 am Meßpunkt 29 registrierten Durchschnittskonzentrationen nicht zu den höchsten in Ahlen registrierten.

Auffälliger als die in der Nachbarschaft der Kokerei gelegenen Meßpunkte waren im Sommer 1981 bezüglich der Mittelwerte die Meßpunkte 2, 6, 4, 3, 20 (vergl. Tabelle 4), welche näher am Stadtkern gelegen sind. Die Spitzenstellung nimmt dabei der Meßpunkt 2 im Stadtkern mit einer Rangsumme von 47 ein. Hier wurden im Sommer 1981 die höchsten Durchschnittswerte folgender Komponenten registriert.

- Ethen (33,4 ppb)
- Ethin (31,3 ppb)
- Benzol ( 9,2 ppb)
- Ethylbenzol ( 3,5 ppb)
- m/p-Xylol (10,2 ppb).

Gegenüber dem Winterhalbjahr zeigen die Durchschnittskonzentrationen der folgenden Kohlenwasserstoffe deutliche ( $\leq - 20 \%$ ) Verringerungen

- Ethan: - 36 %
- Propan: - 48 %
- Ethin: - 29 %.

Die deutlichsten ( $\geq 20 \%$ ) Zunahmen waren festzustellen bei

- Ethen: + 44 %
- Propen: + 52 %
- i-Butan: + 29 %
- n-Butan: + 28 %
- i-Pentan: + 32 %
- Ethylbenzol: + 21 %
- Xylol: + 25 %.

Bis auf die Komponenten Ethan, Propan und Toluol zeigte der Meßpunkt 2 im Sommer 1981 höhere Durchschnittskonzentrationen als der Meßpunkt 22. Die durchschnittliche Toluol-Konzentration war mit 18,1 ppb am Meßpunkt 2 die zweithöchste im Sommer 1981 nach derjenigen am Meßpunkt 22. Dies ist ein Hinweis darauf, daß für diese Komponenten neben der Kokerei in der Nähe des Stadtkerns andere wesentliche Quellen zu vermuten sind.

Auf Platz 2 der Auffälligkeitsskala der Mittelwerte (Tabelle 4) lag im Sommer 1981 der Meßpunkt 6. Obschon er in einem weniger dicht besiedelten Wohngebiet etwa 1,5 km nördlich der Kokerei liegt, hatte er bereits im Winterhalbjahr 80/81 eine hohe Auffälligkeit (Platz 6) gezeigt. Hier wurde, wie bereits im Winter 80/81, mit 14,6 ppb die höchste mittlere Propen-Konzentration registriert. Im Winterhalbjahr waren es 10,6 ppb gewesen. Im einzelnen ergaben sich dort folgende Änderungsraten:

- Ethan:	- 23 %
- Ethen:	+ 3 %
- Propan:	- 27 %
- Propen:	+ 37 %
- i-Butan:	+ 27 %
- n-Butan:	+ 1 %
- Ethin:	- 37 %
- i-Pentan:	+ 75 %
- n-Pentan:	+ 8 %
- Benzol:	- 23 %
- Toluol:	- 25 %
- Ethylbenzol:	+ 2 %
- m/p-Xylol:	+ 2 %.

Deutlich verringerte Durchschnittswerte ( $\leq - 20$  %) wiesen im Sommer 1981 am Meßpunkt 6 folgende Komponenten auf: Ethan, Propan, Ethin, ~~i-Pentan~~, Benzol und Toluol. Wesentliche Zunahmen ( $\geq 20$  %) gegenüber dem Winter 80/81 ergaben sich demgegenüber bei Propen, <sup>i-Pentan</sup> und i-Butan.

Auf Platz 3 der Auffälligkeitsskala (Tabelle 4) folgt im Sommer 1981 der Meßpunkt 4, etwa 1,5 km nördlich der Kokerei nahe dem Stadtkern gelegen. Hier wurden im Sommer 1981 die zweithöchsten durchschnittlichen Konzentrationen folgender Kohlenwasserstoffe registriert:

- Ethin:	25,3 ppb
- Ethylbenzol:	3,5 ppb
- m/p-Xylol:	8,7 ppb.

Gegenüber dem Winter 1980/81 haben sich an diesen Meßpunkten nur die Belastungen durch folgende Komponenten reduziert:

- Ethan:	- 48 %
- Propan:	- 38 %.

Alle übrigen registrierten Kohlenwasserstoffe zeigten hier im Sommer 1981 erhöhte Durchschnittswerte. Die deutlichsten ( $> 50$  %) Zunahmen werden registriert bei:

- Ethen:	+ 92 %
- Propen:	+ 86 %
- n-Butan:	+ 56 %
- Ethin:	+ 239 %
- i-Pentan:	+ 71 %
- n-Pentan:	+ 91 %
- Benzol:	+ 97 %
- Toluol:	+ 83 %
- Ethylbenzol:	+ 171 %
- m/p-Xylol:	+ 131 %.

Inwieweit diese Entwicklung auf andere Quellen als die Kokerei hindeutet, wird in folgendem noch zu untersuchen sein.

Auf Platz 4 der Auffälligkeitsskala (Tabelle 4) folgt mit dem Meßpunkt 3 im Sommer 1981 ein weiterer Meßpunkt aus dem Innenstadtbereich. Die hier im Sommer 1981 registrierten durchschnittlichen Konzentrationen von i-Pentan (18,6 ppb) und n-Pentan (10,1 ppb) gehören zu den höchsten im Meßgebiet festgestellten, insbesondere sind sie höher als die in Kokereinähe im Sommer 1981 registrierten Konzentrationen. Erhöht haben sich hier im Vergleich zum Winter 1980/81 die Konzentrationen folgender Kohlenwasserstoffe:

- i-Pentan           + 68 %
- n-Pentan:       + 14 %
- Benzol:           + 17 %
- Toluol:           + 30 %
- m/p Xylol:       + 44 %.

Dabei handelt es sich mit Ausnahme von Toluol um Komponenten, die in Kokereinähe (Meßpunkt 22) gegenläufige Entwicklungen zeigten.

Auf Platz 5 der Auffälligkeitsskala hinsichtlich der Mittelwerte folgt im Sommer 1981 der Meßpunkt 20, etwa 1 km westlich der Kokerei gelegen. Im Winterhalbjahr hatte er auf Platz 7 der Auffälligkeitsskala gelegen. Dieser Meßpunkt weist, nach dem Meßpunkt 2 im Stadtkern, im Sommer 81 mit 7,8 ppb die zweithöchste mittlere Benzol-Konzentration auf. Deutlich verringert ( $\leq - 20 \%$ ) haben sich am Meßpunkt 20 folgende Belastungen:

- Propan:           - 26 %
- i-Butan:          - 43 %
- n-Butan:          - 22 %
- n-Pentan:       - 24 %
- Ethylbenzol:     - 28 %
- m/p-Xylol:       - 33 %.

In Tabelle 5 sind die prozentualen Änderungsraten auch für alle übrigen Meßpunkte wiedergegeben.

#### 4. Vergleich der mittleren KW-Profile aller Meßpunkte - Clusteranalyse

##### 4.1. Methode

Man könnte die in den vorangehenden Abschnitten durchgeführten exemplarischen Vergleiche einzelner Meßpunkte hinsichtlich ihrer mittleren Kohlenwasserstoff (KW)-Profile und deren Änderungen auch auf die bislang noch nicht diskutierten Meßpunkte in gleicher Weise ausdehnen. Um den Aufwand aber möglichst gering

zu halten, empfiehlt es sich, zuvor zu prüfen, ob man nicht einige Meßpunkte zusammenfassend diskutieren kann, indem man ihnen ein gemeinsames mittleres KW-Profil zuordnet. Man fragt also zunächst einmal, ob es innerhalb des Meßgebietes Meßpunkte gibt, die sich hinsichtlich ihres mittleren KW-Profiles überhaupt signifikant voneinander unterscheiden. Einige Vermutungen könnte man hierüber aufgrund des Vorangehenden schon haben. Mit Hilfe von Methoden der Clusteranalyse kann man solche Vermutungen nachprüfen und objektivieren.

Die Clusteranalyse ist ein Zweig der multivariaten Statistik. Ihr Ziel ist die Auffindung charakteristischer Strukturen mehrdimensionaler Meßgrößen. In der monovariaten Statistik wird dies durch die Häufigkeitsverteilung der Stichprobenwerte erreicht. Zur Verdeutlichung stelle man sich die registrierten KW-Profile bestehend aus  $M$  (= 13) verschiedenen Komponenten (Variablen) als Vektoren in einem  $M$ -dimensionalen Raum vor. Eine Menge, bestehend aus  $N$  derartigen Vektoren kann in dem zugehörigen Vektorraum als eine Punktwolke dargestellt werden. Mit Hilfe der Clusteranalyse kann nun geprüft werden, ob eine derartige Punktwolke Strukturen aufweist, d.h., ob sie zerlegt werden kann in disjunkte (elementfremde) Teilmengen, die deutlich voneinander separiert sind, etwa wie kompakte Sternhaufen innerhalb einer Galaxis.

Zur Erfüllung dieser Aufgabenstellung wird ein Distanzmaß  $d(i,j)$  benötigt, um die Abstände zwischen Vektoren  $\underline{X}_i$  und  $\underline{X}_j$  in besagtem Raum messen zu können. Ein geringer Abstand soll dabei zum Ausdruck bringen, daß die verglichenen Vektoren (KW-Profile) einander ähnlich sind und ein großer Abstand, daß sie sich deutlich voneinander unterscheiden. Je nach Fragestellung sind unterschiedliche Distanzmaße denkbar [5].

Im Bereich der Luftreinhalteung erscheint es sinnvoll, von einer Klasse ähnlicher Belastungsprofile zu sprechen, wenn diese sich, gemittelt über die Komponenten, um nicht mehr als einen bestimmten, möglichst geringen Prozentsatz unterscheiden. Das zugehörige Distanzmaß ist die sog. "Canberra-Metrik", gegeben durch

$$d(i,j) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \frac{|X_{ik} - X_{jk}|}{X_{ik} + X_{jk}},$$

wobei  $X_{ik}$  mit  $k = 1, \dots, M$  die  $M$  Komponenten des Vektor  $\underline{X}_i$  darstellen.

Dieses Distanzmaß findet in der vorliegenden Arbeit Verwendung.

Nach der Auswahl eines geeigneten Distanzmaßes ist man in der Lage, alle Distanzen von je 2 Vektoren aus der betrachteten Menge zu ermitteln. Der nächste Schritt besteht nun darin, einen Algorithmus anzugeben, welcher die Berechnung und Bewertung dieser  $N(N-1)/2$  Distanzen in einer zweckmäßigen Art und Weise organisiert und eine Auswahl wichtiger Distanzen vornimmt. Der hier benutzte Algorithmus SURVEY baut auf graphentheoretischen Überlegungen auf.

Wie der Minimalbaum-Algorithmus von PRIM [5,6] basiert auch SURVEY darauf,  $N$  gegebene Vektoren (Knoten) der Dimension  $M$  durch ein Netzwerk (Gerüst) aus  $N-1$  Wegstücken (Kanten) im  $M$ -dimensionalen Raum miteinander zu "verbinden". Die Längen (Gewichte) der ermittelten Kanten sind dabei Maße für die Ähnlichkeit der verbundenen Knoten. Je ähnlicher zwei Vektoren sind, desto geringer wird ihr Abstand sein. Eigenschaften spezieller Gerüste können für clusteranalytische Zwecke herangezogen werden. So konstruiert der PRIM-Algorithmus [5,6] beispielsweise das Gerüst geringster Gesamtlänge, den sog. Minimalbaum. Die Konstruktion dieses Baumes erfolgt in einer trickreich verschachtelten Struktur. Dadurch wird erreicht, daß die Rechenzeiten mit  $N^2$  skalieren und nicht mit  $N^3$  wie bei vergleichbaren Algorithmen [7,8]. Das Verständnis des PRIMschen Algorithmus setzt jedoch einige Erfahrungen voraus.

Das Konstruktionsprinzip kann folgendermaßen skizziert werden: Beginnend bei einem beliebigen Start-Knoten entsteht der Minimalbaum iterativ durch Hinzufügen (Verbinden) weiterer Knoten, und zwar jeweils desjenigen geringster Distanz gegenüber den bereits verbundenen Knoten. Besteht die zu untersuchende Menge von Vektoren (Knoten) beispielsweise aus zwei deutlich voneinander separierten Teilmengen, so enthält der Minimalbaum genau eine Kante von auffälliger Länge. Ist die Anzahl deutlich separierter Teilmengen größer, so erhöht sich die Anzahl längerer Kanten entsprechend. Diese Eigenschaft des Minimalbaumes macht ihn interessant für die Clusteranalyse.

Der Algorithmus SURVEY konstruiert ein weniger ausgezeichnetes Gerüst mit ähnlicher Eignung für die Clusteranalyse, welches von der Skalierung des Rechenaufwandes dem Algorithmus von PRIM gleichwertig ist und zudem den Vorzug besitzt, mit geringerem Aufwand nachvollziehbar zu sein.

Ausgangspunkt ist die alltägliche Erfahrung, daß man etwas über die Struktur von Punkten im Raum erfahren kann, indem man sie nacheinander aufsucht. Man wählt einen beliebigen Startpunkt und steuert der Einfachheit halber jeweils den nächstgelegenen noch nicht besuchten Punkt an. Die Reihenfolge der besuchten Punkte und die zurückgelegten Distanzen zwischen aufeinanderfolgenden Punkten geben Aufschluß über die räumlichen Strukturen. In graphentheoretischer Notation entspricht dies der Ermittlung eines "Weges", welcher von einem gegebenen Startpunkt aus die Knoten (Vektoren) der betrachteten Menge in einer solchen Reihenfolge nacheinander verbindet, daß die einzelnen Wegstücke (Kanten) zwischen aufeinanderfolgenden Knoten möglichst kurz sind. Der entstehende Graph wird im folgenden ein "kürzester Weg erster Ordnung" genannt, um ihn von der Lösung des bekannten "traveling salesman problems" [7,9] abzuheben. Der resultierende Weg wird zunächst benachbarte Knoten miteinander verbinden, bevor er eine Verbindung zu weiter entfernten Knoten herstellt. Dies ermöglicht eine eindeutige Zerlegung (Partition) der untersuchten Menge in Teilmengen, wenn deren Abstände untereinander größer sind als ihre größten Durchmesser.

In SURVEY wird jedoch jeweils noch ein Schritt mehr getan, um auch im Fall geringerer Abstände zwischen den Teilmengen eindeutige Partitionen zu ermöglichen. Aufgrund seiner Lage in einem kürzesten Weg erster Ordnung kann man jedem Knoten eine Anzahl von "Vorgängern" zuordnen, das sind diejenigen Knoten, welche vom Startpunkt aus gerechnet vor dem betrachteten Knoten besucht werden. In entsprechender Weise gehört zu jedem Knoten auch eine Anzahl von "Nachfolgern", die nach ihm aufgesucht werden. Wie zur Ermittlung eines kürzesten Weges erster Ordnung wird vom jeweils erreichten Knoten aus zunächst der nächste Nachfolger ermittelt. Dieser wird nun mit seinem nächstgelegenen Vorgänger verbunden. Dies kann ein anderer Knoten sein als der, mit dem er im ermittelten kürzesten Weg erster Ordnung verbunden würde. So wird sichergestellt, daß wie im entsprechenden Minimalbaum auch hier zu jedem Knoten der nächste Nachbar angegeben werden kann. Gleichzeitig wird dadurch erreicht, daß zwei Teilmengen mittels SURVEY schon dann eindeutig separiert werden, wenn ihr Abstand den benachbarter Elemente (Knoten) aus derselben Teilmenge deutlich übertrifft. Nach diesem Kriterium erfolgen auch Partitionen auf der Basis von Minimalbaum-Algorithmen. Die von SURVEY gelieferten Abstände zwischen separierten Teilmengen können jedoch größer ausfallen als im zugehörigen Minimalbaum. Dies kann als kontrastverstärkende Eigenschaft von Nutzen sein.

Der Algorithmus SURVEY wurde als SUBROUTINE in FORTRAN 4 realisiert. Bei Aufruf erwartet SURVEY folgende Angaben:

- Anzahl N der Vektoren (Elemente)
- Anzahl M der Variablen (Dimension)
- Die Vektoren in einer willkürlichen Reihenfolge in einem eindimensionalen Feld (FDATA) der Länge  $N \cdot M$
- Stationskennungen ISTAT in einem eindimensionalen Feld der Länge N in der Reihenfolge der Anordnung der Vektoren in FDATA
- Distanzmaß DIMA als SUBROUTINE.

Für die Ausgabe der Ergebnisse sind zusätzlich vier weitere eindimensionale Felder der Länge N bereitzustellen.

- DIPATH: Distanzfolge des kürzesten Weges
- DITREE: Distanzen des resultierenden Baumes
- IBR: Pfadplatz der Anknüpfungen von Ästen des Baumes, welche vom Pfad abzweigen.

SURVEY ordnet die N Elemente (Vektoren) derart um, daß sich folgende Reihenfolge ergibt:

$$(\underline{X}_1, \underline{X}_2, \dots, \underline{X}_N) \quad \text{mit} \quad d(i, i+1) = \min_{j > i} d(i, j).$$

Diese Umordnung und auch alle übrigen Operationen erfolgen in einer übergreifenden Schleife, welche (N-1) mal durchlaufen wird (Index: i).

Zur Verdeutlichung seien einige Schritte näher erläutert. Als Startelement  $\underline{X}_1$  wird der erste Vektor aus dem Feld FDATA herangezogen. Beim ersten Durchlaufen der genannten Schleife wird das zu  $\underline{X}_1$  nächstgelegene Element gesucht. Dies finde sich auf dem Platz  $n_1$  in der Reihenfolge der Eingabe der Vektoren. Es gilt folglich

$$d(1, n_1) = \min_{j > 1} d(1, j).$$

Wenn dies herausgefunden ist, werden die Elemente der Plätze 2 und  $n_1$  in der ursprünglichen Anordnung ausgetauscht. Zugleich werden auch die zugehörigen Element-Kennungen ausgetauscht. Danach gilt in der resultierenden Anordnung

$$d(1, 2) = \min_{j > 1} d(1, j).$$

Als Distanz des ersten Teilstückes des gesuchten Pfades wird nur abgespeichert

$$\text{DIPATH}(2) = d(1, 2) = d_1.$$

Dieses Teilstück ist mit Sicherheit auch Teil des zu ermittelnden Baumes, da das Element  $\underline{X}_2$  zweifellos nächster Nachbar des Elementes  $\underline{X}_1$  ist. Deshalb gilt auch

$$\text{DITREE}(2) = d(1, 2).$$

(Es wird gesetzt:  $\text{DITREE}(1) = 0$  und  $\text{DIPATH}(1) = 0$ ).

Beim zweiten Durchlauf der übergreifenden Schleife (i=2) werden nun zunächst die Distanzen  $d(2, j)$  für  $j > 2$  berechnet und verglichen. Gesucht wird das Element  $n_2$  mit

$$d(2, n_2) = \min_{j > 2} d(2, j).$$

Nun erfolgt wiederum ein Austausch von Elementen, und zwar der Elemente  $i + 1 = 3$  und  $n_2$ . Anschließend gilt also

$$d(i, i+1) = \min_{j > i} d(i, j) \text{ für } i = 2.$$

Damit ist neben dem Endpunkt des zweiten Teilstückes des Pfades auch seine Länge bekannt, abgespeichert als

$$\text{DIPATH}(3) = d(2, 3).$$

Für  $i > 2$  werden jeweils anschließend noch folgende Operationen durchgeführt. Gesucht wird

$$d(i+1, m) = \min_{j < i} d(i+1, j).$$

Dies erlaubt es, zu prüfen, ob es im bereits existierenden Teil des Pfades ein Element gibt, welches näher beim Element  $i+1$  liegt als das Element  $i$ . Ist dies nicht der Fall, gilt also

$$\text{DIPATH}(i+1) < d(i+1, m),$$

so wird gesetzt

$$\text{DITREE}(i+1) = \text{DIPATH}(i+1) \text{ und } \text{IBR}(i+1) = 0.$$

Gilt dagegen

$$d(i+1, m) < d(i, i+1),$$

so wird gesetzt

$$\text{DITREE}(i+1) = d(i+1, m) \text{ und } \text{IBR}(i+1) = m.$$

In letzterem Fall ist also das Element auf dem Pfadplatz  $m$  das nächstgelegene unter den Vorgängen des Elementes  $i+1$ . Der Pfadknoten  $m$  ist also ein Verzweigungspunkt des gesuchten Baumes und wird deshalb registriert. Die für  $i=2$  beschriebenen Operationen wiederholen sich nun für  $2 \leq i \leq N-1$ . Hiernach sind die  $N$  Elemente der zu analysierenden Menge in der Reihenfolge angeordnet, in welcher der ermittelte kürzeste Weg erster Ordnung sie verbindet. In derselben Reihenfolge sind die Längen der verbindenden Wegstücke im Feld  $\text{DIPATH}$  abgelegt. Mit Hilfe dieser Pfaddaten und der im Feld  $\text{IBR}$  abgespeicherten Verzweigungspunkte kann der gesuchte Baum konstruiert werden. Die zugehörigen Distanzen sind im Feld  $\text{DITREE}$  festgehalten.

Ausgehend von diesen Informationen kann man nun mögliche Klassierungen analysieren und vergleichen. Da diese durch die längsten Distanzen aus  $\text{DITREE}$

bestimmt werden, ist zu prüfen, wie viele von diesen sich deutlich von den übrigen unterscheiden. Hierbei handelt es sich offensichtlich um eine statistische Fragestellung. Dieser kann man sich anhand der Häufigkeitsverteilung der Distanzen aus DITREE nähern. Deshalb gehört eine Abschätzung derselben zu den Ergebnissen von SURVEY. Diese werden vom Hauptprogramm PFAD in zwei Tabellen ausgedruckt.

FORTRAN-Listen des Hauptprogramms PFAD und der benutzten Unterprogramme SURVEY und PROCL finden sich im Anhang. Das Unterprogramm PROCL dient zur klassenweisen Auswertung der gemessenen Profile.

#### 4.2. Ergebnisse

Mit Hilfe von SURVEY wurden Clusteranalysen der mittleren KW-Profile der 32 Meßpunkte durchgeführt sowohl für das Winterhalbjahr 1980/81 als auch für das Sommerhalbjahr 1981. Dabei zeigten sich im Winterhalbjahr sechs Klassen und im Sommer sieben Klassen unterschiedlicher Kohlenwasserstoffprofile in Ahlen. Dies kann man den Tabelle 6-9 entnehmen. Dort sind die Daten der ermittelten "Pfade" (DIPATH) und "Bäume" (DITREE) wiedergegeben sowie die Häufigkeitsverteilungen der Distanzen innerhalb dieser Bäume (Tab. 7, 9). Die angegebenen Klassenzahlen bestimmen sich aus Minima dieser Häufigkeitsverteilungen. In Tabelle 10 a, b sind die mittleren KW-Profile der vorgefundenen Klassen wiedergegeben. Diese wurden vom Unterprogramm PROCL ermittelt.

In der letzten Spalte dieser Tabellen ist angegeben, welche Meßpunkte sie umfassen. Bei der in der vorletzten Spalte der Tabelle 10 a, b angegebenen Inhomogenität handelt es sich um die Streuung der Stationsprofile der betreffenden Klasse gemittelt über alle Komponenten. Eine Inhomogenität von 0,10 bedeutet folglich, daß die Streuung der registrierten Komponenten in dieser Klasse im Mittel 10 Prozent beträgt.

##### 4.2.1. Winter 1980/81

In Abb. 3 ist die räumliche Verteilung der im Winter 1980/81 vorgefundenen Klassen im Stadtgebiet von Ahlen wiedergegeben, wobei die Klassenzugehörigkeit durch die eingeschriebenen Zahlen angegeben ist. Zur Orientierung ist diese Darstellung mit Abb. 1 zu vergleichen.

Die Klasse 1 umfaßt die Meßpunkte 11 und 35, welche etwa 1 km nordnordöstlich bzw. südsüdöstlich des Kokereigeländes gelegen sind. Das zugehörige mittlere Klassenprofil, sowie die Spannweiten der mittleren Konzentrationen sind in Abb. 4 dargestellt. Es handelt sich, wie man auch aus Tabelle 8a entnehmen kann, um die Klasse mit der geringsten mittleren Kohlenwasserstoffbelastung im Winter 1980/81.

Die Klassen 2 und 3 umfassen jeweils einen Meßpunkt in unmittelbarer Nähe des Kokereigeländes. Die zugehörigen Klassenprofile sind in den Abb. 5 und 6 wiedergegeben. Der Meßpunkt 22 (Klasse 2) war schon bei den Betrachtungen des Abschnitts 3.1 durch extrem hohe Belastungen aufgefallen, nicht so sehr dagegen der Meßpunkt 29 (Klasse 3). Die durchgeführte Clusteranalyse zeigt über die Darstellungen des Abschnitts 3 hinausgehend, daß sich ein dominierender Einfluß der Kokerei auf die beiden Meßpunkte 22 und 29 beschränkt. Die mittleren Kohlenwasserstoffprofile, welche an den benachbarten Meßpunkten registriert wurden, unterscheiden sich nämlich nicht signifikant von denen, welche im übrigen Stadtgebiet von Ahlen vorherrschen (Klasse 6), oder gehören sogar zur Klasse 1, welche die geringste KW-Belastung aufweist.

Erhöhte Kohlenwasserstoffbelastungen zeigt auch das Profil der Klasse 4 an (Abb. 7), welche den Meßpunkt 8 umfaßt. Im Vergleich zur gering belasteten Klasse 1 treten hier teilweise um mehr als den Faktor 5 erhöhte Konzentrationen auf. Ähnlichkeit mit dem Kokereiprofil der Klasse 2 haben hier die Verhältnisse der Butane und Pentane untereinander, nicht dagegen das Verhältnis von Benzol und Toluol zueinander. Auch Ethan und Ethen zeigen im Verhältnis zu den Butanen und Pentanen geringere Konzentrationen als im Kokereiprofil (Klasse 2). Charakteristisch für die Klasse 4 ist auch die hohe Konzentration von Ethin (17,3 ppb). Die Beschränkung dieses Profils auf den Meßpunkt 8, etwa 1,5 km nordwestlich des Kokereigeländes gelegen, spricht jedoch gegen eine maßgebliche Verursachung durch die Kokerei. Es ist daher davon auszugehen, daß der Einfluß lokaler Quellen, seien sie stationär oder bewegt, am Meßpunkt 8 überwiegt.

Ganz anders stellt sich dagegen das mittlere Profil der Klasse 5 dar (Abb. 8), welche die Meßpunkte 6 und 18 umfaßt. Diese liegen in 1 bzw. 1,5 km Entfernung nordöstlich des Kokereigeländes in weniger dicht besiedelten Wohngebieten. Hier dominieren die Belastungen durch Ethan, Ethen und Toluol mit Konzentrationen, welche 10 ppb deutlich übertreffen. Aber auch die übrigen Komponenten zeigen im Vergleich zur Klasse 1 deutlich höhere Werte. Trotz ihrer geringen Besiedlungsdichte gehören die Meßpunkte 6 und 18 zu den am stärksten durch Kohlenwasserstoffe belasteten im Winter 1980/81. Auch hier deutet sich in Lage und Begrenzung der Klasse der Einfluß nahegelegener Quellen an. Eine weitergehende Bewertung wird nach Analyse der Sommermessung möglich.

Die übrigen Teile des Meßgebietes, entsprechend 78 Prozent, werden der Klasse 6 zugeordnet. Das mittlere KW-Profil dieser Klasse sowie die zugehörigen Spannweiten sind in Abb. 9 wiedergegeben.

Im Profil der Klasse 6 lassen sich bereits gewisse Ähnlichkeiten zum Profil des städtischen Backgrounds (Abb. 2) aus dem Ruhrgebiet erkennen. Unterschiede zeigen sich jedoch in der höheren Belastung durch Ethen, die Pentane, Benzol und Toluol. Dies sind Komponenten, welche im Kokereiprofil (Klasse 2) dominierend sind.

Auf die Frage, inwieweit damit eine ursächliche Erklärung für die erhöhten Kohlenwasserstoffbelastungen in Klasse 6 vorliegt, wird nach Analyse der Sommermessungen eingegangen.

#### 4.2.2. Sommer 1981

Die räumliche Verteilung der sieben vorgefundenen Klassen im Stadtgebiet von Ahlen ist in Abb. 10 wiedergegeben. Dabei fällt sofort auf, daß der Meßpunkt 22, welcher im Winterhalbjahr 1980/81 durch den Kokereieinfluß besonders aufgefallen war, nunmehr unauffällig ist. Die größte Auffälligkeit besitzt nun der Meßpunkt 6 (Klasse 1). Das zugehörige Klassenprofil (Abb. 11) kennzeichnet ihn auch im Sommer 1981 als relativ hoch belastet, insbesondere durch Ethan, Ethen, Propen und i-Pentan. Wie schon in Abschnitt 3.2 dargestellt, liegen am Meßpunkt 6 im Sommer 1981 durchweg höhere Kohlenwasserstoffbelastungen vor als am Meßpunkt 22. Dies erhärtet die Vermutung für das Vorhandensein lokaler KW-Quellen in der Nähe des Meßpunktes 6. Ein Einfluß der Kokerei auf die im Winter beobachteten höheren Benzol- und Toluol-Werte ist jedoch nicht auszuschließen.

Die Klasse 2, welche im Sommer 1981 die Meßpunkte 7 und 19 umfaßt, fällt dagegen durch erhöhte Konzentrationen der Butane und Pentane auf (Abb. 12).

Als gering belastet erwiesen sich im Sommer 1981 auch die Meßpunkte 11, 12, 21, 24, 34, 35, welche gemeinsam die Klasse 3 bilden. Das zugehörige Klassenprofil ist in Abb. 13 dargestellt. Auffallend ist, daß diese Klasse von Meßpunkten gebildet wird, welche maximal etwa 1 km vom Kokereigelände entfernt liegen. Auch im Winter schon hatten diese Meßpunkte nicht zu den am höchsten belasteten gehört.

Als stark belastet erweist sich die Klasse 4, welche von den Meßpunkten 2, 4 und 20 gebildet wird. Das zugehörige Klassenprofil ist in Abb. 14 dargestellt. Diese innerstädtischen Punkte zeichnen sich durch besonders hohe Konzentrationen der Komponenten Ethen, Ethin, i-Pentan und Toluol aus. Als Verursacher kommen nahegelegene Industriebetriebe und der Straßenverkehr in Frage.

Gering belastet sind auch die Meßpunkte 5, 8, 14, 16, 18, 27, 32, 33, welche gemeinsam die Klasse 5 bilden. Das zugehörige mittlere Profil ist in Abb. 15 wiedergegeben.

Charakteristisch ist die mit 8,7 ppb gegenüber den übrigen Komponenten erhöhte i-Pentan-Konzentration.

Die Klasse 6 enthält allein den Meßpunkt 29. Das zugehörige Profil (Abb. 16) ist gekennzeichnet durch erhöhte Konzentration ( $> 10$  ppb) der Komponenten Ethan, Ethen und i-Pentan, wobei Ethan mit 42,4 ppb

die dominierende Rolle spielt. Bis auf die Komponente Toluol liegen die Durchschnittskonzentrationen am Meßpunkt 29 im Sommer 1981 über denen am Meßpunkt 22. Der Meßpunkt 29 liegt an der südöstlichen Begrenzung des Kokereigeländes.

Die Meßpunkte der Klasse 7, welche 34 % des Meßgebietes umfaßt, weisen durchgehend höhere Kohlenwasserstoffbelastungen auf als die gering belastete Klasse 3, insbesondere aber bei den Komponenten i-Pentan und Toluol. Auch Benzol weist etwa doppelt so hohe Werte auf wie in der Klasse 3.

Vergleicht man jedoch die Klasse 7 des Sommers 1981 (Abb. 17) mit der Klasse 6 des Winters 1980/81, so erkennt man, daß bis auf i-Pentan im Sommer 1981 geringere Konzentrationen angetroffen wurden als im Winter 1980/81. Dies gilt in besonderem Maße für die Komponenten Ethen, Propan, Ethin und Benzol.

#### 4.3. Diskussion

Stellt man die Ergebnisse der vorgestellten Auswertungen nebeneinander, so werden ihre methodischen Schwerpunkte und Unterschiede deutlich. In Abschnitt 3 wurden die Kohlenwasserstoff-Profile einzelner Meßpunkte entsprechend einer wenig spezifischen Auffälligkeitsskala diskutiert. In diesem Rahmen wäre eine Diskussion aller Meßpunkte ein wenig überschaubares Unternehmen gewesen, geschweige denn ein Vergleich aller Profile untereinander. Nicht so im vorliegenden Abschnitt 4. Die hier benutzte clusteranalytische Methodik vergleicht zunächst die mittleren Profile der Meßpunkte mittels eines vorgegebenen Ähnlichkeitsmaßes untereinander und erlaubt in der Folge Zusammenfassungen zu Klassen "großer Ähnlichkeit".

Auf diese Art und Weise konnten unterschiedliche Belastungstypen hinsichtlich der 13 registrierten Kohlenwasserstoffe und ihre räumlichen Ausdehnungen im Stadtgebiet von Ahlen aufgedeckt werden. Hierbei wurden die beiden Meßpunkte 11 und 35 im Winter 1980/81 vor allen anderen auffälligen Strukturen als gering belastete Klasse ausgewiesen. Erwartungsgemäß bestätigt die Clusteranalyse die bereits in Abschnitt 3 festgestellte Auffälligkeit des Meßpunktes 22, liefert darüberhinaus die Information, daß im Stadtgebiet von Ahlen kein ähnliches Kohlenwasserstoffprofil gefunden wurde. Dies besagt, daß dieser unmittelbare Kokereieinfluß sich auf den Meßpunkt 22 beschränkte. Über Abschnitt 3 hinausgehend weist die Clusteranalyse als weitere auffällige Klasse in Kokereinähe das Profil des Meßpunktes 29 aus. Hierin zeigt sich die größere Empfindlichkeit des zur Clusteranalyse benutzten Ähnlichkeitsmaßes im Vergleich zur Rangsumme des Abschnittes 3. Auch in der Umgebung des Meßpunktes 29 findet sich kein ähnliches Profil. Die unmittelbaren Auswirkungen der Kokereiemissionen beschränken sich also auf die engste Umgebung der Kokerei.

Die in Abschnitt 3 festgestellte Auffälligkeit der Meßpunkte 8, 2, 25, 18 und 6 im Winter 1980/81 bestätigt sich bei der differenzierten Analyse des Abschnitts 4 nur teilweise. So unterscheiden sich die im Winter 1980/81 registrierten Kohlenwasserstoff-Profile der Meßpunkte 2 und 25 weder untereinander noch von denen benachbarter Meßpunkte so deutlich, um als eigene Klasse ausge-

wiesen werden zu können. Sie werden der unauffälligen Klasse 6 zugeordnet. Die Auffälligkeit der Meßpunkte 6 und 18 im Winter 1980/81 wird durch die Clusteranalyse bestätigt, sie sind untereinander jedoch so ähnlich, daß sie eine gemeinsame Klasse bilden, die sich von allen übrigen deutlich unterscheidet.

Von den 6 ihrer Rangsumme nach auffälligsten Meßpunkten des Sommers 1981 weist die Clusteranalyse die drei Meßpunkte 2, 4 und 20 als untereinander sehr ähnlich einer gemeinsamen Klasse zu. Von den übrigen dreien werden zwei weitere bei der Clusteranalyse ebenfalls als auffällig ausgewiesen. Es handelt sich dabei um die Profile der Meßpunkte 6 und 29. Beide unterscheiden sich von den übrigen und untereinander so sehr, daß sie jeweils eine eigene Klasse bilden. Darüberhinaus deckt die Clusteranalyse im Sommer 1981 weitere auffällige Strukturen auf: Neben zwei relativ umfangreichen Klassen geringer Belastung (Klassen: 3,5) wird eine weitere Klasse hoher Kohlenwasserstoff-Belastung erkannt (Klasse 2). Diese wird von den Profilen der Meßpunkte 7 und 19 gebildet.

#### 5. Korrelationsanalyse der Änderungsraten

Wie die voranstehenden Auswertungen zeigen, wurden im Bereich der Kokerei (Meßpunkt 22) im Sommer 1981 deutlich geringere Durchschnittskonzentrationen registriert als im Winter 1980/81.

Im folgenden wird untersucht, inwieweit an benachbarten Meßpunkten ähnlich zu bewertende Veränderungen der Kohlenwasserstoff-Belastung zu verzeichnen waren. Dazu werden die in Tabelle 5 wiedergegebenen Änderungsraten  $p_k(i)$  zweier Meßpunkte  $i$  und  $j$  über alle Komponenten  $k$  verglichen. Dies geschieht mit Hilfe des folgenden Korrelationskoeffizienten:

$$r(i,j) = \frac{\sum_{k=1}^{13} p_k(i) \cdot p_k(j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{13} p_k^2(i) \cdot \sum_{k=1}^{13} p_k^2(j)}}$$

Zeigen zwei Meßpunkte  $i$  und  $j$  über alle 13 Komponenten identische Änderungsraten, so ergibt sich, wie man leicht nachprüfen kann,  $r(i,j) = 1$ . Weisen die beiden verglichenen Meßpunkte überwiegend gegenläufige Änderungsraten auf, so erhält man einen negativen Korrelationskoeffizienten,  $-1 \leq r(i,j) < 0$ . Je größer also der Korrelationskoeffizient ausfällt, desto ähnlicher sind die Änderungsraten der verglichenen Meßpunkte. Eine große Ähnlichkeit, beispielsweise  $r > 0,7$ , kann verschiedene Ursachen haben: Zum einen kann dies durch das Dominieren jahreszeitlicher Einflüsse an den verglichenen Meßpunkten hervor-

gerufen werden. Zum anderen kommen gleichartige Veränderungen an verschiedenen, die jeweiligen Meßpunkte beaufschlagenden, hinsichtlich der Emissionen jedoch gleichartigen Quellen in Frage. Zum dritten kann dies aber auch die Auswirkung geänderter Emissionen an einer dominierenden Quelle sein, welche beide Meßpunkte beaufschlagt.

In diesem Zusammenhang erweist sich das Quadrat des Korrelationskoeffizienten (1) als eine besonders nützliche Größe [10],  $r^2(i,j)$  gibt nämlich direkt den Anteil gleichartiger Änderungen an den verglichenen Meßpunkten an. Übertrifft  $r^2(i,j)$  den Wert 0,5 und kommt nur eine Quelle am Ort  $i$  in Frage, so wird man den Einfluß dieser Quelle auf die Belastungen am Ort  $j$  für dominierend halten können. Dies insbesondere dann, wenn andere in Frage kommende Quellen zu gegenläufigen Veränderungen der Belastungen führten.

Abb. 18 zeigt die räumliche Verteilung der Korrelationskoeffizienten  $r(22,j)$ . Gemeinsamer Bezugspunkt ist hier der am stärksten durch die Kokerei beaufschlagte Meßpunkt 22. Punktiert dargestellt ist das Feld der Meßpunkte mit  $r(22,j) > 0,71$  was gleichbedeutend ist mit  $r^2(22,j) > 0,5$ . In diesem Feld überwiegen also ähnliche Änderungen der Kohlenwasserstoff-Belastung wie am Meßpunkt 22.

Auffällig ist, daß das beschriebene Feld einige Inseln (11, 15) mit negativen Korrelationskoeffizienten aufweist, was besagt, daß an diesen Meßpunkten gegenläufige Änderungen aufgetreten sind. Bei den betroffenen Meßpunkten 11 und 15 handelt es sich um gering belastete.

Um diese Ergebnisse zu prüfen, kann man fragen, ob sich ähnliche oder diesen Resultaten eventuell widersprechende Strukturen zeigen, wenn man einen anderen Bezugspunkt wählt, beispielsweise den Meßpunkt 2, an welchem innerstädtische Einflüsse dominieren. Die räumliche Verteilung der Korrelationskoeffizienten  $r(2,j)$  ist in Abb. 19 wiedergegeben.

Man erkennt, daß ähnlich hohe ( $> 0,7$ ) Korrelationen wie in Abb. 18 hier nicht zu finden sind. Zwar weisen die benachbarten Meßpunkte 3, 4 und 7 positive Korrelationen auf, diese überschreiten jedoch nicht den Wert 0,4. Die größte Ähnlichkeit zur zeitlichen Änderung der Belastung am Meßpunkt 2 ist am Meßpunkt 6 zu beobachten. Dies bestätigt, daß die in Abb. 18 dargestellten Korrelationskoeffizienten nicht zufälligerweise hohe Werte aufweisen.

Interpretiert man die Änderungen der Belastungen im Stadtkern als jahreszeitlich bedingt und unterstellt man Ähnlichkeit der jahreszeitlichen Entwicklung im gesamten Meßgebiet, so zeigt sich, daß die Auswirkungen dieses Einflusses im Gebiet hoher Korrelation mit den Änderungen am Meßpunkt 22 (siehe Abb. 18) im Vergleich zu den dort festgestellten Verringerungen unbedeutend sind.

Diese Schlußfolgerung wird zumindest für die Komponente Benzol unterstützt durch Benzol-Messungen der Landesanstalt für Immissionsschutz während des Winterhalbjahres 1981/82 [11]. Danach blieben die Benzol-Konzentrationen in Ahlen

auch im Winter 1981/82 auf dem niedrigen Niveau des Sommers 1981.

## 6. Ursachenanalyse

Fragt man, um etwas über die verursachenden Quellen zu erfahren, inwieweit die beobachteten Belastungsstrukturen (Klassen) des Sommers 1981 denjenigen des Winters 1980/81 entsprechen bzw. sich von diesen unterscheiden, so kann folgendes festgestellt werden: Der in unmittelbarer Kokereinähe gelegene Meßpunkt 22, welcher im Winter 1980/81 durch die höchsten Kohlenwasserstoff-Belastungen in Ahlen gekennzeichnet war, zeigt im Sommer 1981 ein unauffälliges Profil und wird deshalb der Klasse 7 zugeordnet. Dies deutet auf eine Verringerung der Kohlenwasserstoff-Emissionen im Bereich der Kokerei hin.

Auffällig ist jedoch weiterhin der Meßpunkt 29, im Sommer 1981 jedoch nicht nur durch eine enorme Ethan-Konzentration, sondern auch durch höhere Konzentrationen der Butane, des Ethens, der Pentane, des Benzols und Toluols als im Winter 1980/81. Kokereiverursachte Belastungen zeigten sich also im Sommer 1981 stärker am Meßpunkt 29 als am Meßpunkt 22.

Neben der unmittelbaren Umgebung der Kokerei fällt wie schon im Winter 1980/81 auch im Sommer 1981 der Meßpunkt 6 durch erhöhte Kohlenwasserstoff-Belastungen auf. Die hohen Ethan- und Ethen-Konzentrationen haben sich gegenüber dem Winter 1980/81 hier kaum verändert. Erhöht haben sich die Konzentrationen dagegen von Propen und i-Pentan. Deutliche Verringerungen erfuhren an diesem Meßpunkt allein die Konzentrationen von Benzol und Toluol.

Es liegt nahe, dies als Folge der geringeren Kokerei-Emissionen aufzufassen. Ein ursächlicher Zusammenhang läßt sich jedoch aufgrund des vorliegenden Datenmaterials nicht herausstellen. Offenkundig ist jedoch am Meßpunkt 6 in einer relativ gering belasteten Umgebung der Einfluß lokaler Quellen festzustellen. Emittiert werden in der näheren Umgebung offenbar insbesondere Ethan, Ethen, Propen und i-Pentan. Durch besonders hohe i-Pentan-Konzentrationen fallen neben dem Meßpunkt 6 im Sommer 1981 auch die Meßpunkte 7 und 19 auf, welche gemeinsam die Klasse 2 bilden. In der Nähe dieser Meßpunkte gibt es offenbar Quellen, welche große Mengen von Pentanen, aber auch Butane, emittieren. Im Winter 1980/81 hatte sich dies am Meßpunkt 8 manifestiert. Das i-Pentan spielt aber nicht nur an den genannten Meßpunkten, sondern in weiten Teilen des Stadtgebietes von Ahlen eine wesentliche Rolle als Luftschadstoff. Dies gilt in stärkerem Maße noch für den Sommer 1981 als den Winter 1980/81, wie die Profile der geringer belasteten Klassen 5 und 7 des Sommers 1981 und der Klasse 6 des Winters 1980/81 zeigen. Im innerstädtischen Bereich (Klasse 4 des Sommers 1981) sind aber auch Verkehrseinflüsse an den hohen auftretenden Konzentrationen beteiligt. Dies zeigt sich insbesondere an den Komponenten Ethen, Ethin, aber auch Benzol und Toluol.

## 7. S c h l u ß b e t r a c h t u n g

Simultane Messungen von 13 Kohlenwasserstoffen, von der LIS im Zeitraum Oktober 1980 bis September 1981 im Stadtgebiet von Ahlen durchgeführt, wurden zunächst komponentenweise ausgewertet. Dabei zeigten 11 der 13 Kohlenwasserstoffe im Winterhalbjahr 1980/81 in der Nähe der Kokerei erhöhte Konzentrationen ( $> 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Im darauffolgenden Sommerhalbjahr 1981 wurden am selben Meßort (Nr.22) mit Ausnahme von Toluol deutlich geringere Konzentrationen registriert. Inwieweit im übrigen Meßgebiet ähnliche Kohlenwasserstoff-Profile vorlagen, konnte mit einer clusteranalytischen Methode herausgearbeitet werden. Dabei zeigte sich eine große räumliche Differenzierung der KW-Profile, insbesondere in der näheren Umgebung der Kokerei. Im Winterhalbjahr 1980/81 deckte die Clusteranalyse sechs und im Sommerhalbjahr 1981 sieben Klassen unterschiedlicher Kohlenwasserstoff-Belastung in Ahlen auf. Im Winter unterschied sich das in Kokereinähe (Meßpunkt 22) festgestellte mittlere KW-Profil deutlich von allen übrigen und zwar sowohl hinsichtlich der Anteile als auch hinsichtlich der Konzentrationen. Dies zeigt, daß ein dominierender Kokereieinfluß nur in unmittelbarer Nähe derselben festzustellen war. Das im Sommer 1981 am Meßpunkt 22 vorgefundene mittlere KW-Profil unterscheidet sich dagegen nicht signifikant von einem größeren Teil der im Stadtgebiet von Ahlen registrierten Profile. Im Vergleich zu dem im Rhein-Ruhr-Gebiet vorherrschenden KW-Profil (Abb.2), traten fast im gesamten Meßgebiet in Ahlen im Winter 1980/81 erhöhte Kohlenwasserstoff-Konzentrationen auf, insbesondere bei den Komponenten Ethan, Ethen, den Pentanen, Benzol und Toluol. Im Sommer 1981 zeigen dagegen nur noch die Konzentrationen von i-Pentan und Toluol in Teilen des Meßgebietes erhöhte Werte. Zu den beobachteten erhöhten Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Innenstadtbereich trugen Kokereieinflüsse höchstens unwesentlich bei. Dies zeigt eine Korrelationsanalyse der Änderungsraten. Dieser Analyse konnte gleichzeitig entnommen werden, daß aufgetretene Verringerungen der Kohlenwasserstoff-Belastung vom Winter 1980/81 auf den Sommer 1981 in einer größeren Umgebung der Kokerei gut mit den dort festgestellten Verringerungen korrelieren.

## S c h r i f t t u m

- [1] GRAEDEL, T. E.:  
"Chemical Compounds in the Atmosphere",  
New York, San Franzisko, London: Academic Press 1978.
- [2] BEIER, R. und P. BRUCKMANN:  
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-  
Ruhrgebiet  
LIS-Berichte Nr. 32 (1983) der Landesanstalt für Immissions-  
schutz des Landes NW, 55 Seiten.
- [3] SCHNEIDER, W., T.C. FROHNE und H. BRUDERRECK:  
Determination of Hydrocarbons in the Part per 10<sup>9</sup> Range Using  
Glass Capillary Columns Coated with Aluminium Oxide.  
J. Chromatog., 155 (1978), S. 311 - 327.
- [4] BRUCKMANN P. und W. MUELDER:  
Immissionsmessungen von Kohlenwasserstoffen mit Hilfe der  
Kapillargaschromatographie (Schneider-Frohne-Verfahren).  
Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz des  
Landes NW, Heft 55, S. 29 - 41, Verlag W. Girardet, Essen 1982.
- [5] STEINHAUSEN, D. und K. LANGER:  
"Clusteranalyse".  
Walter de Gruyter, Berlin 1977.
- [6] PRIM, R.C.:  
Shortest Connection Matrix Network and some Generalizations.  
Bell System Tech. J., 36 (1957), S. 1389 - 1401.
- [7] KRUSKAL, J.B.:  
On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and a Traveling  
Salesman Problem.  
Proc.Amer.Math.Soc., 7 (1956), S. 48 - 50.
- [8] GOWER, J.C. und G.J.S. ROSS:  
Minimum Spanning Trees and Single Linkage Cluster Analysis.  
Appl.Stat., 18 (1969), S. 54 - 64.
- [9] LIN, S. und B.W. KERNIGHAN:  
An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Sales-  
man Problem.  
Operation Research, 21 (1972), S. 498 - 516.

- [10] VAN DER WAERDEN:  
"Mathematische Statistik".  
Dritte Auflage, Springer Verlag, Berlin 1971.
- [11] BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Penzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen.  
LIS-Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des  
Landes NW, H. 36 (1983), 59 Seiten.

T a b e l l e n - , B i l d - u n d  
P r o g r a m m a n h a n g

Tabelle 1: Mittlere Konzentrationen (ppb) der Komponenten 1 - 13 im Winter 1980/81 an den Meßpunkten 2 - 35.

MEßSPUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	N
2	13.63	23.20	7.79	5.62	5.49	10.14	44.23	13.18	9.19	8.60	17.43	2.87	8.16	13
3	12.76	18.01	9.65	3.48	5.34	13.27	9.40	11.07	8.87	6.25	11.17	3.34	4.95	13
4	13.03	13.78	6.04	3.43	4.19	5.96	7.44	5.62	3.58	3.29	8.00	1.28	3.75	13
5	9.27	15.31	6.36	3.18	4.83	7.54	9.79	8.45	7.01	6.39	9.59	2.02	5.44	14
6	27.02	31.31	11.64	10.62	4.23	9.92	11.79	8.25	6.78	7.27	13.76	2.07	6.02	13
7	6.38	10.50	3.91	1.62	3.62	6.82	10.79	7.23	4.17	3.62	6.73	1.13	3.71	12
8	13.61	21.24	9.56	6.26	12.95	20.11	18.65	15.99	11.64	7.71	16.41	3.04	8.14	14
9	6.58	12.21	4.02	2.58	4.12	8.01	10.47	11.19	11.06	6.84	11.22	2.42	5.75	11
10	25.42	15.35	8.78	3.85	6.62	7.85	14.27	8.31	6.42	5.74	12.15	2.06	6.58	13
11	4.78	5.93	2.91	.84	1.14	2.84	5.49	2.55	1.73	1.93	3.91	.87	2.95	11
12	19.65	14.88	7.99	4.70	3.33	7.66	12.83	5.56	4.25	4.54	9.93	1.62	5.55	13
13	7.80	12.81	6.81	2.78	4.05	6.04	6.99	8.60	7.01	6.26	10.51	2.03	5.62	14
14	12.77	14.71	6.77	4.26	4.17	7.19	8.07	6.16	4.39	4.13	8.34	1.35	4.09	14
15	7.14	12.44	5.99	2.27	3.83	8.01	9.31	6.24	5.09	4.49	7.07	1.18	3.73	14
16	9.69	19.45	5.86	5.80	3.47	8.99	24.39	13.55	5.89	7.19	14.18	2.32	7.26	14
17	11.66	15.06	6.21	3.05	4.56	5.33	6.16	6.55	4.96	6.33	8.19	1.52	4.61	13
18	26.63	23.16	10.44	6.29	5.45	11.93	7.76	10.18	8.73	9.03	16.78	2.20	6.60	12
19	7.78	13.93	4.05	2.74	4.03	10.26	17.41	10.38	7.33	6.85	12.95	2.29	7.19	12
20	9.73	24.27	5.01	6.19	6.12	6.35	20.23	11.45	7.49	7.25	15.20	2.94	9.02	16
21	5.59	8.17	3.58	1.56	3.68	6.88	9.46	9.70	6.83	5.40	11.94	2.37	6.65	11
22	35.22	55.49	12.42	9.28	16.38	30.93	16.51	20.08	15.25	40.85	24.83	3.26	11.55	13
23	12.60	20.85	4.07	2.89	3.90	9.78	11.89	9.84	8.10	11.33	13.10	1.98	6.50	11
24	14.18	8.53	5.77	2.21	3.53	6.85	9.47	4.62	3.39	3.42	8.04	1.88	5.35	13
25	9.61	25.99	6.95	6.11	5.61	12.05	21.39	12.62	10.69	10.06	19.05	7.47	7.18	15
26	13.83	19.53	6.60	4.92	4.37	9.10	9.49	9.22	6.57	6.26	12.80	1.88	5.77	13
27	10.85	14.96	6.56	3.75	5.50	8.93	9.30	8.22	6.40	6.48	8.61	1.70	4.59	13
29	47.37	9.94	9.71	1.76	2.75	5.23	6.83	3.35	2.34	3.28	3.98	1.05	2.89	14
30	12.57	13.49	5.35	3.90	3.04	7.15	7.24	6.75	5.64	5.51	12.36	2.35	5.75	13
32	6.43	10.96	3.98	2.70	2.66	3.70	8.71	5.16	3.73	3.63	7.26	1.68	4.75	11
33	7.66	7.97	4.79	1.48	3.41	4.59	5.69	5.26	3.96	3.39	6.57	1.46	3.92	14
34	7.11	8.80	4.44	2.05	3.38	5.38	8.42	4.14	3.08	3.41	7.41	1.69	4.88	12
35	8.42	5.27	3.10	.99	1.45	2.44	4.42	2.48	1.79	2.12	3.87	.70	2.47	13

Tabelle 2: Rangplätze der im Winter 1980/81 gemessenen mittleren Konzentrationen (vergl. Tab. 1).

MESSPUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	RANGSUMME
2	9	5	9	8	7	7	1	4	5	5	3	6	3	72
3	13	11	5	15	9	3	18	8	6	17	16	2	20	143
4	11	19	17	16	14	25	25	24	27	29	23	27	27	284
5	21	13	15	17	10	17	14	15	12	13	19	16	18	200
6	3	2	2	1	13	8	11	17	14	7	8	13	12	111
7	30	25	29	28	22	22	12	19	24	25	28	29	29	322
8	10	7	6	4	2	2	5	2	2	6	5	4	4	59
9	28	23	27	23	16	13	13	7	3	11	15	7	15	201
10	5	12	7	13	3	15	8	16	16	18	13	14	10	150
11	32	31	32	32	32	31	31	31	32	32	31	31	30	408
12	6	16	8	10	27	16	9	25	23	21	18	23	17	219
13	23	21	11	20	17	24	27	14	11	15	17	15	16	231
14	12	17	12	11	15	18	23	23	22	23	21	26	25	248
15	26	22	18	24	20	14	19	22	20	22	27	28	28	290
16	19	10	19	7	24	11	2	3	18	9	7	10	5	144
17	16	14	16	18	11	27	29	21	21	14	22	24	23	256
18	4	6	3	3	8	5	24	10	7	4	4	12	9	99
19	24	18	26	21	18	6	6	9	10	10	10	11	6	175
20	18	4	22	5	4	23	4	6	9	8	6	5	2	116
21	31	29	30	29	21	20	17	12	13	20	14	8	8	252
22	2	1	1	2	1	1	7	1	1	1	1	3	1	23
23	14	8	25	19	19	9	10	11	8	2	9	17	11	162
24	7	28	20	25	23	21	16	28	28	26	24	18	19	283
25	20	3	10	6	5	4	3	5	4	3	2	1	7	73
26	8	9	13	9	12	10	15	13	15	16	11	19	13	163
27	17	15	14	14	6	12	20	18	17	12	20	20	24	209
29	1	26	4	27	29	28	28	30	30	30	30	30	31	324
30	15	20	21	12	28	19	26	20	19	19	12	9	14	234
32	29	24	28	22	30	30	21	27	26	24	26	22	22	331
33	25	30	23	30	25	29	30	26	25	28	29	25	26	351
34	27	27	24	26	26	26	22	29	29	27	25	21	21	330
35	22	32	31	31	31	32	32	32	31	31	32	32	32	401

Tabelle 3: Mittlere Konzentrationen (ppb) der Komponenten 1 - 13 im Sommer 1981 an den Meßpunkten 2 - 35.

MESSPUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	8.75	33.40	4.03	8.56	7.08	12.94	31.33	17.44	9.05	9.18	18.14	3.48	10.20
3	7.30	7.56	4.25	1.49	4.94	12.05	6.31	18.62	10.15	7.30	14.51	2.54	7.14
4	6.76	26.46	3.73	6.39	4.22	9.32	25.27	9.62	6.84	6.48	14.72	3.46	8.67
5	9.72	6.74	2.83	.84	3.35	2.73	3.94	10.35	4.75	2.56	4.84	.91	2.60
6	20.68	32.40	8.55	14.58	5.38	10.05	7.41	14.41	7.33	5.63	10.33	2.12	6.12
7	5.95	7.06	3.77	1.66	13.78	24.27	7.01	31.45	15.25	4.42	8.50	1.32	3.58
8	4.24	5.95	3.09	1.28	4.28	3.91	5.17	7.23	3.42	2.13	5.13	.87	2.67
9	4.33	8.72	2.82	2.03	2.79	12.59	10.40	10.68	4.69	5.98	7.45	1.38	5.93
10	11.55	7.41	5.11	2.09	3.38	4.35	5.54	7.68	6.63	6.01	12.90	2.31	5.94
11	7.82	5.09	2.43	.82	1.48	2.90	4.88	4.29	1.90	1.93	3.80	.73	1.87
12	6.03	3.91	2.60	.65	1.20	2.80	3.49	3.18	1.71	2.32	3.78	.86	2.18
13	3.41	5.98	2.64	1.28	2.14	5.72	7.37	13.27	6.15	2.47	7.65	1.58	4.49
14	4.60	5.70	3.13	.69	3.20	6.24	5.20	6.04	3.16	2.30	5.35	1.21	3.54
15	9.45	9.27	3.52	1.35	6.64	9.03	10.40	11.86	6.47	4.24	10.85	1.26	3.78
16	6.14	5.19	4.38	.85	4.43	7.70	5.16	8.62	4.28	2.85	6.95	1.35	3.99
17	11.73	6.72	3.75	.98	2.08	4.96	6.08	6.89	4.02	3.94	7.98	1.38	4.09
18	10.33	4.96	4.65	.79	5.67	4.45	4.46	14.15	6.23	2.56	5.05	1.08	3.49
19	3.83	8.45	13.31	1.82	14.71	25.84	12.47	18.26	9.36	4.71	7.09	1.14	3.32
20	11.30	21.71	3.73	5.92	3.48	4.95	21.09	13.60	5.70	7.57	16.71	2.13	6.06
21	7.92	3.00	3.27	.97	1.77	2.98	2.59	3.73	1.87	1.35	3.95	.94	1.86
22	9.92	9.94	5.02	2.53	4.67	5.75	6.16	7.66	3.73	4.07	28.53	1.35	4.03
23	14.78	7.38	3.67	1.08	2.95	5.45	6.46	7.33	3.58	4.25	7.31	.75	2.45
24	8.00	2.76	2.99	.29	1.46	3.13	2.82	4.05	2.06	2.25	4.93	1.27	2.85
25	5.52	9.36	4.02	2.05	4.19	8.67	6.70	14.12	7.08	4.77	10.18	1.63	3.94
26	6.83	13.51	3.31	2.86	4.35	6.13	9.98	9.72	5.35	4.40	10.66	2.01	5.56
27	9.02	6.31	3.02	1.33	1.53	3.73	5.08	4.70	2.40	2.50	15.68	.92	2.31
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	42.35	12.38	9.40	2.46	4.34	6.45	9.49	11.12	6.30	5.27	8.35	1.71	4.68
30	12.50	9.28	4.13	2.01	3.11	6.26	9.33	8.54	4.67	3.57	7.58	1.48	3.90
32	6.15	8.99	2.78	1.67	1.23	2.50	8.62	4.13	2.68	2.68	7.23	.95	2.64
33	5.22	3.85	3.59	.75	4.38	8.22	3.32	14.56	5.88	2.15	6.59	.78	2.11
34	10.13	4.00	3.13	.53	1.30	2.38	3.94	3.08	1.68	1.25	3.01	.67	1.47
35	4.60	3.51	2.12	.62	1.11	2.14	3.13	3.67	1.60	1.54	4.81	.93	2.68

Tabelle 4: Rangplätze der im Sommer 1981 gemessenen mittleren Konzentrationen (vergl. Tab. 3).

MESSPUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	RANGSUMME
2	14	1	10	2	3	3	1	4	4	1	2	1	1	47
3	18	14	8	15	7	5	16	2	2	3	6	3	3	102
4	20	3	14	3	14	7	2	16	7	4	5	2	2	99
5	11	18	26	24	18	29	26	14	16	21	26	26	25	280
6	2	2	3	1	6	6	11	6	5	7	10	6	4	69
7	24	17	12	14	2	2	13	1	1	11	12	16	17	142
8	30	22	23	18	13	23	21	22	23	28	24	27	23	297
9	29	12	27	10	22	4	6	13	17	6	17	13	7	183
10	6	15	4	8	17	22	19	19	8	5	7	4	6	140
11	17	25	31	25	27	27	24	26	28	29	30	31	30	350
12	23	28	30	29	31	28	28	31	30	24	31	28	28	369
13	32	21	29	19	23	17	12	10	12	23	15	10	10	233
14	28	23	22	28	19	14	20	24	24	25	23	19	13	287
15	12	10	18	16	4	8	5	11	9	14	8	18	16	149
16	22	24	7	23	9	11	22	17	19	18	21	14	13	220
17	5	19	13	21	24	19	18	23	20	16	14	12	11	215
18	8	26	6	26	5	21	25	7	11	20	25	21	19	220
19	31	13	1	12	1	1	4	3	3	10	20	20	20	139
20	7	4	15	4	16	20	3	9	14	2	3	5	5	107
21	16	31	20	22	25	26	32	29	29	31	29	23	31	344
22	10	7	5	6	8	16	17	20	21	15	1	15	12	153
23	3	16	16	20	21	18	15	21	22	13	18	30	26	239
24	15	32	25	32	28	25	31	28	27	26	27	17	21	334
25	25	8	11	9	15	9	14	8	6	9	11	9	14	148
26	19	5	19	5	11	15	7	15	15	12	9	7	8	147
27	13	20	24	17	26	24	23	25	26	22	4	25	27	276
28	33	34	33	34	33	34	33	34	34	34	34	33	34	437
29	1	6	2	7	12	12	8	12	10	8	13	8	9	108
30	4	9	9	11	20	13	9	18	18	17	16	11	15	170
32	21	11	28	13	30	30	10	27	25	19	19	22	24	279
33	26	29	17	27	10	10	29	5	13	27	22	29	29	273
34	9	27	21	31	29	31	27	32	31	32	32	32	32	366
35	27	30	32	30	32	32	30	30	32	30	28	24	22	379

Tabelle 5: Prozentuale Änderungsraten der Kohlenwasserstoff-Belastungen im Vergleich Sommer 1981 gegenüber Winter 1980/81.

Meßpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	-36	44	-48	52	29	28	-29	32	- 2	7	4	21	25
3	-43	-58	-56	-57	- 7	- 9	-33	68	14	17	30	-24	44
4	-48	92	-38	86		56	239	71	91	97	83	171	131
5	5	-56	-55	-74	-31	-64	-60	22	-32	-60	-50	-55	-52
6	-23	3	-27	37	27	1	-37	75	8	-23	-25	2	2
7	- 7	-33	- 4	3	281	256	-35	335	266	22	26	17	- 3
8	-69	-72	-68	-79	-67	-81	-72	-55	-71	-72	-69	-71	-67
9	-34	-29	-30	-21	-32	57	- 1	- 5	-58	-13	-34	-43	3
10	-55	-52	-42	-46	-49	-45	-61	- 8	3	5	6	12	-10
11	64	-14	-16	- 3	30	2	-11	68	7	0	- 3	-17	-37
12	-69	-74	-67	-86	-64	-63	-73	-43	-60	-49	-62	-47	-61
13	-56	-53	-61	-54	-47	- 5	5	54	-12	-61	-27	-22	-20
14	-64	-61	-54	-84	-23	-13	-36	- 2	-28	-44	-36	-10	-13
15	32	-25	-41	-40	73	13	12	90	27	- 6	53	6	2
16	-37	-73	-25	-85	28	-14	-79	-36	-27	-60	-52	-42	-45
17	1	-55	-40	-68	-54	- 7	- 1	5	-19	-38	- 3	- 9	-11
18	-61	-79	-56	-87	4	-63	-42	39	-29	-72	-70	-51	-47
19	-51	-39	229	-34	265	152	-28	76	28	-31	-45	-50	-54
20	16	-11	-26	- 4	-43	-22	4	19	-24	4	10	-28	-33
21	42	-63	- 9	-38	-52	-57	-73	-62	-73	-75	-67	-60	-72
22	-72	-82	-60	-73	-72	-81	-63	-62	-76	-90	15	-59	-65
23	17	-65	-10	-63	-24	-44	-46	-25	-56	-62	44	-62	-62
24	-44	-68	-48	-87	-59	-54	-70	-12	-39	-34	40	-32	-47
25	-43	-64	-42	-66	-25	-28	-69	12	-34	-53	-47	-78	-45
26	-51	-31	-50	-42	- 1	-33	5	5	-19	-30	-17	7	- 4
27	-17	-58	-54	-64	-72	-58	-45	-43	-62	-61	82	-46	-50
29	-11	25	- 3	40	58	23	39	232	169	61	110	63	62
30	- 1	-31	-23	-48	2	-12	29	27	-17	-35	-39	-37	-32
32	- 4	-18	-30	-38	-54	-32	- 1	-20	-29	-26		-43	-44
33	-32	-52	-25	-49	29	79	-42	177	48	-37		-47	-46
34	42	-55	-29	-74	-62	-56	-53	-26	-46	-63	-59	-61	-70
35	-45	-33	-32	-38	-24	-13	-29	48	-11	-28	24	33	8

Tabelle 6: SURVEY - Ergebnisse - Winter 1980/81: Daten des Pfades (DIPATH) und des Baumes (DITREE).

I	INO	DIPATH	IBR	DITREE	IRANG	ISTAT
1	1	0,000	0	0,000	0	2
2	24	,111	0	,111	9	25
3	19	,133	1	,111	8	20
4	15	,116	0	,116	6	16
5	18	,104	0	,104	13	19
6	8	,079	0	,079	23	9
7	12	,103	0	,103	14	13
8	4	,043	0	,043	30	5
9	26	,038	0	,038	31	27
10	16	,058	0	,058	29	17
11	13	,068	0	,068	27	14
12	3	,072	10	,072	26	4
13	23	,095	0	,095	17	24
14	31	,062	0	,062	28	34
15	29	,080	0	,080	22	32
16	30	,091	0	,091	19	33
17	6	,112	14	,093	18	7
18	14	,076	0	,076	24	15
19	28	,143	9	,100	15	30
20	25	,111	9	,099	16	26
21	22	,103	5	,087	20	23
22	2	,146	20	,110	10	3
23	17	,125	0	,125	5	18
24	5	,108	0	,108	12	6
25	9	,129	20	,113	7	10
26	11	,123	11	,083	21	12
27	20	,211	6	,108	11	21
28	27	,357	16	,199	3	29
29	32	,253	0	,253	1	35
30	10	,074	0	,074	25	11
31	7	,654	1	,128	4	8
32	20	,230	0	,230	2	22

Tabelle 7: SURVEY - Ergebnisse -

Winter 1980/81: Verhältnis der Distanzen (DITREE) aufeinanderfolgender Rangplätze

Rang	DITREE	Platz	Verhältnis	Dichte
1	0,253	29	1,100	43,59
2	,230	32	1,158	31,91
3	,199	28	1,552	14,14
4	,128	31	1,028	287,63
5	,125	23	1,072	119,69
6	,116	4	1,028	320,84
7	,113	25	1,023	400,84
8	,111	3	1,001	15640,08
9	,111	2	1,008	1077,57
10	,110	22	1,016	583,71
11	,108	27	1,001	7255,69
12	,108	24	1,041	235,61
13	,104	5	1,005	1839,66
14	,103	7	1,027	372,61
15	,100	19	1,010	1052,46
16	,089	20	1,042	247,17
17	,095	13	1,020	534,56
18	,093	17	1,022	501,64
19	,091	16	1,048	238,92
20	,087	20	1,048	249,97
21	,083	26	1,040	309,13
22	,080	15	1,013	994,16
23	,079	6	1,044	302,52
24	,078	18	1,024	562,02
25	,074	30	1,026	539,88
26	,072	12	1,063	234,84
27	,068	11	1,102	159,18
28	,062	14	1,066	263,51
29	,058	10	1,342	67,97
30	,043	8	1,121	214,55
31	,038	9	0,000	0,00

Tabelle 8: SURVEY - Ergebnisse -  
Sommer 1981: Daten des Pfades (DIPATH) und des Baumes (DITREE)

I	INO	DIPATH	IBR	DITREE	IRANG	ISTAT
1	1	0,000	0	0,000	0	2
2	3	,128	0	,128	20	4
3	19	,131	0	,131	17	20
4	25	,162	0	,162	4	26
5	24	,129	0	,129	19	25
6	14	,099	0	,099	27	15
7	28	,120	0	,120	21	30
8	16	,104	0	,104	26	17
9	22	,097	0	,097	28	23
10	7	,159	0	,159	5	8
11	13	,093	0	,093	30	14
12	15	,112	0	,112	23	16
13	17	,136	0	,136	15	18
14	4	,111	0	,111	24	5
15	30	,170	12	,140	12	33
16	12	,216	8	,140	13	13
17	8	,174	7	,147	11	9
18	27	,212	4	,159	6	29
19	5	,198	0	,198	1	6
20	2	,244	5	,152	9	3
21	9	,168	4	,155	8	10
22	21	,160	7	,129	18	22
23	26	,235	10	,152	10	27
24	29	,137	0	,137	14	32
25	11	,178	23	,175	3	12
26	32	,079	0	,079	31	35
27	31	,131	25	,115	22	34
28	10	,120	25	,094	29	11
29	20	,109	0	,109	25	21
30	23	,134	25	,132	16	24
31	6	,432	5	,183	2	7
32	18	,155	0	,155	7	19

Tabelle 9: SURVEY - Ergebnisse -  
Sommer 1981: Verhältnis der Distanzen (DITREE)  
aufeinanderfolgender Rangplätze

Rang	DMB	Platz	Verhältnis	Dichte
1	0,198	19	1,080	68,01
2	,183	31	1,046	124,97
3	,175	25	1,079	78,33
4	,162	4	1,017	369,86
5	,159	10	1,003	2061,03
6	,159	18	1,026	248,42
7	,155	32	1,001	8176,40
8	,155	21	1,016	412,57
9	,152	20	1,003	2528,58
10	,152	23	1,031	216,29
11	,147	17	1,052	136,67
12	,140	15	1,001	8569,25
13	,140	16	1,018	401,87
14	,137	24	1,013	579,13
15	,136	13	1,025	306,81
16	,132	30	1,010	740,92
17	,131	3	1,013	609,45
18	,129	22	1,001	5644,83
19	,129	5	1,013	596,22
20	,128	2	1,065	127,89
21	,120	7	1,037	234,34
22	,115	27	1,032	279,25
23	,112	12	1,009	960,73
24	,111	14	1,017	545,04
25	,109	29	1,044	218,44
26	,104	8	1,057	176,26
27	,099	6	1,021	487,02
28	,097	9	1,034	313,99
29	,094	28	1,004	2906,24
30	,093	11	1,176	71,85
31	,079	26	0,000	0,00

Tabelle 10 a: Mittlere Konzentrationen (ppb) der Komponenten 1 - 13 in den Klassen 1 - 6 im Winter 1980/81

Klasse	Mittelwerte (ppb) des Komponenten													Mittel über die Komp.	Inhomogenität	Meßpunkte
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	6,6	5,6	3,0	0,7	1,2	1,8	3,4	2,6	1,8	2,0	3,9	0,6	2,6	2,8	0,07	11,35
2	35,2	55,5	12,4	9,3	16,4	23,8	12,7	20,1	15,2	40,8	24,8	3,3	11,6	21,6	-	22
3	47,4	9,9	9,7	1,6	2,6	3,1	4,1	3,3	2,3	3,3	4,0	0,8	2,7	7,3	-	29
4	13,6	21,2	9,6	6,3	13,0	18,7	17,3	16,0	11,6	7,7	16,4	2,8	8,1	12,5	-	8
5	26,8	27,2	11,0	8,4	4,8	8,8	7,8	9,2	7,8	8,2	15,3	2,2	6,3	11,1	0,11	6,18
6	10,9	15,0	5,9	3,2	4,1	5,9	9,5	8,4	6,2	5,9	10,8	2,0	5,6	7,2	0,09	alle übrigen

Tabelle 10 b: Mittlere Konzentrationen (ppb) der Komponenten 1 - 13 in den Klassen 1 - 7 im Sommer 1981

Klasse	Mittelwert (ppb) der Komponenten													Mittel über die 13 Komp.	Inhomogenität	Meßpunkte
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	19,0	29,7	8,6	14,6	5,4	9,2	6,8	14,4	7,3	5,6	10,3	2,1	6,1	10,7	-	6
2	4,9	7,8	8,6	1,8	14,2	24,1	9,5	24,8	12,3	4,6	7,8	1,2	3,2	9,6	0,16	7,19
3	7,4	3,7	2,7	0,6	1,4	2,6	3,4	3,7	1,8	1,8	4,0	0,9	2,1	2,8	0,08	11, 12, 21, 24, 34, 35
4	7,9	25,5	3,8	7,0	4,9	8,6	24,4	13,5	7,2	7,8	16,5	3,0	8,3	10,7	0,13	2, 4, 20
5	6,6	5,8	3,4	1,0	3,5	4,4	4,5	8,7	4,1	2,5	7,1	1,0	2,9	4,3	0,12	5, 8, 14, 16, 18, 27, 32, 33
6	42,4	12,4	9,4	2,5	4,3	6,5	9,5	11,1	6,3	5,3	8,3	1,7	4,7	9,6	-	29
7	8,5	8,5	3,8	1,8	3,8	6,6	6,9	10,6	5,7	4,6	11,4	1,6	4,6	6,0	0,10	alle übrigen

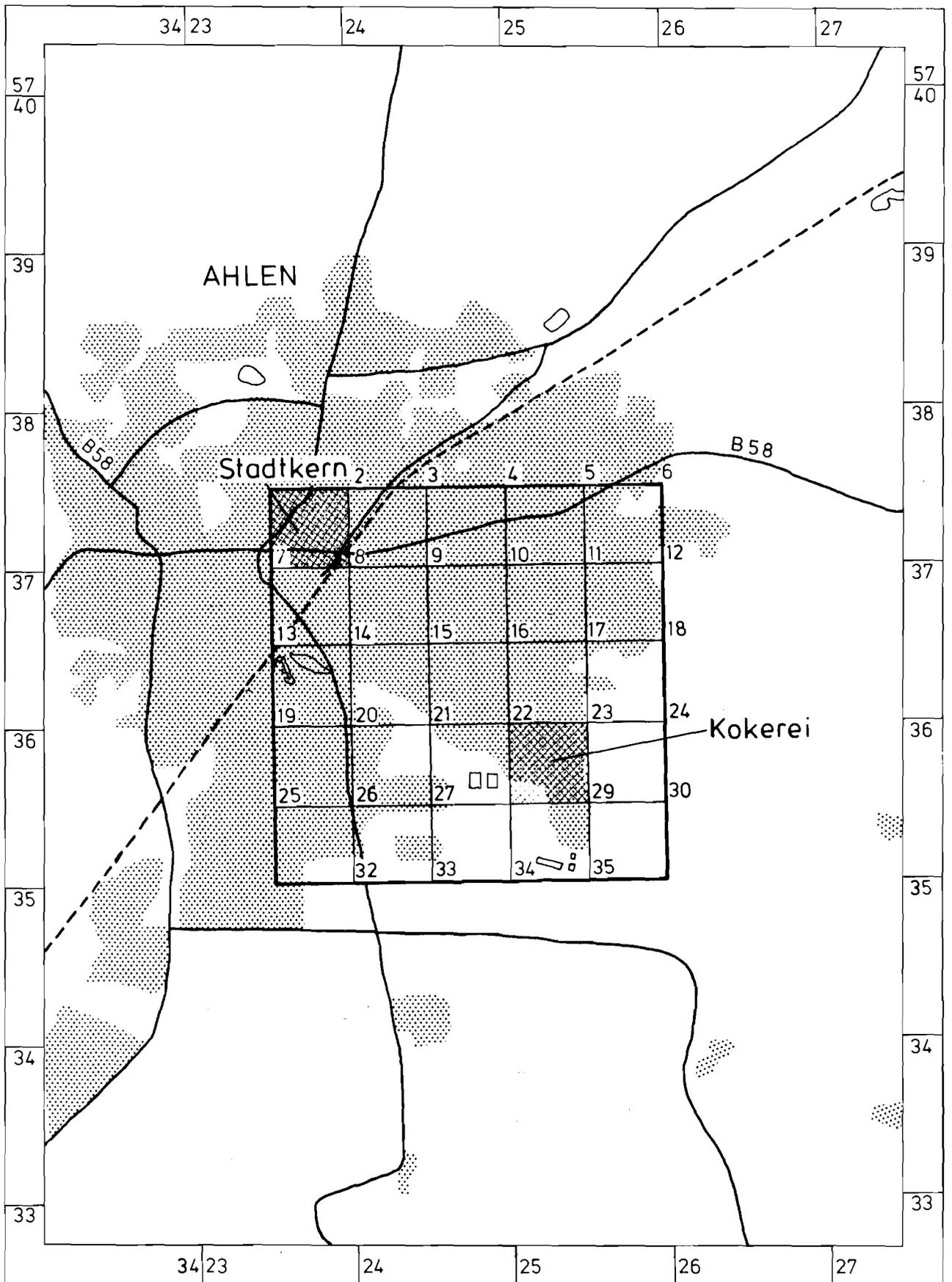


Abb. 1: Ortslagen der Meßpunkte im Stadtgebiet von Ahlen.

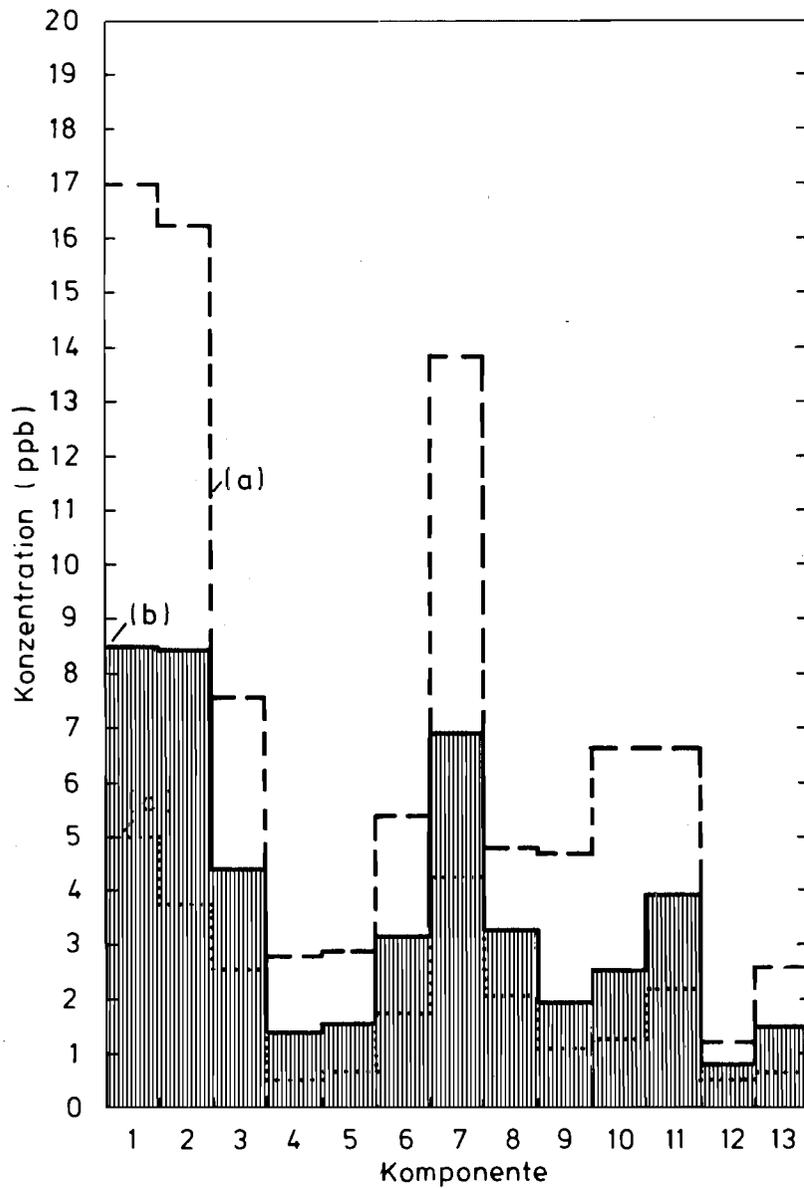


Abb. 2: Vorherrschendes KW-Profil im Rhein-Ruhr-Gebiet [2].

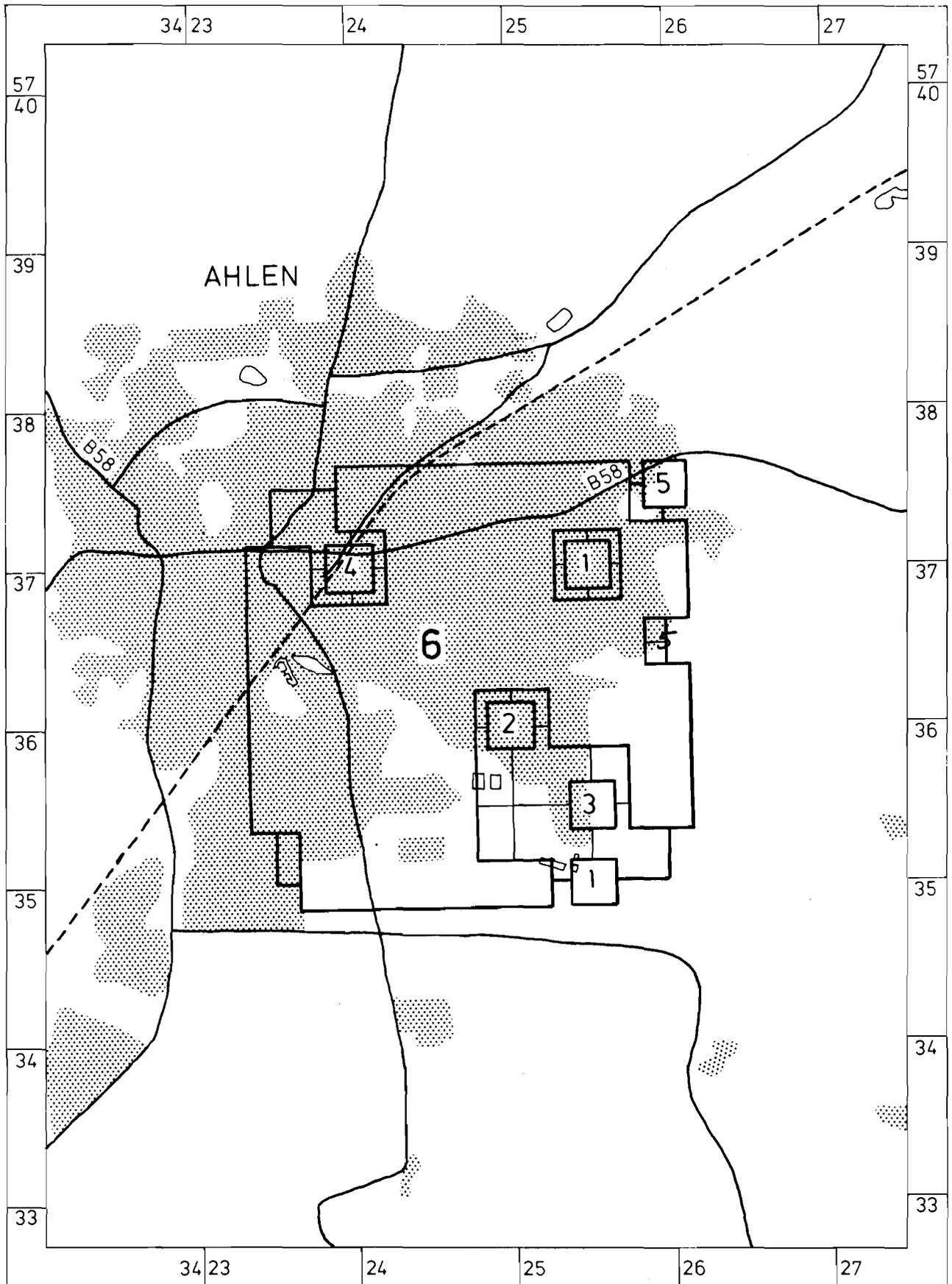


Abb. 3: Räumliche Verteilung der 6 Ähnlichkeitsklassen im Winter 1980/81.

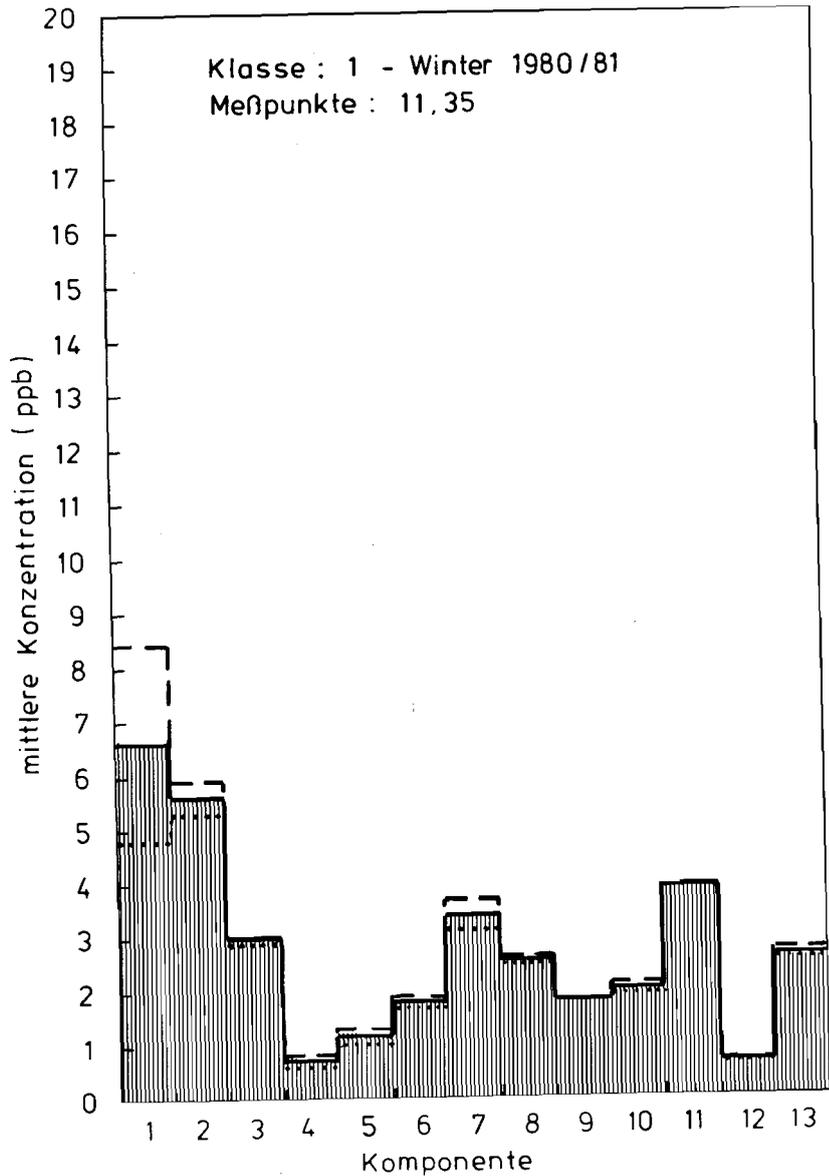


Abb. 4: Mittleres KW-Profil der Klasse 1 des Winters 1980/81 und Variationsbereich.

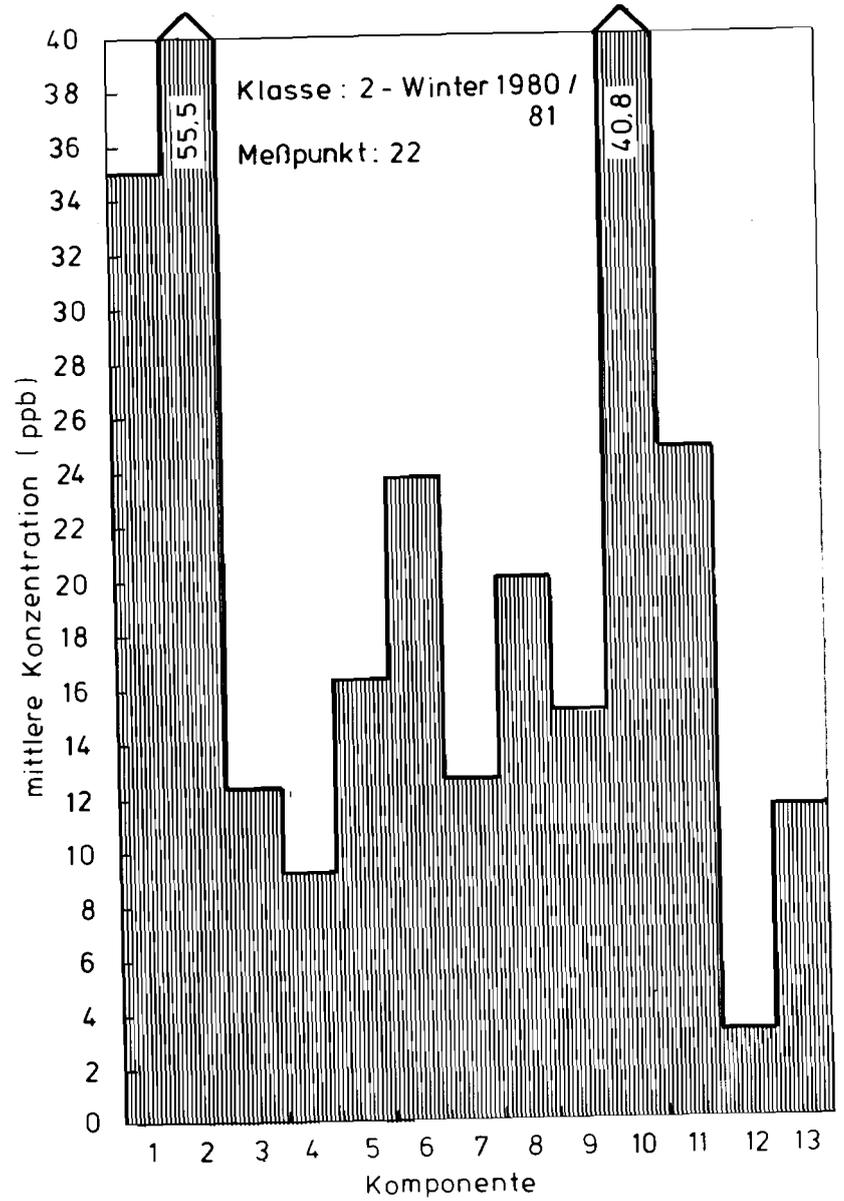


Abb. 5: Mittleres KW-Profil der Klasse 2 des Winters 1980/81.



Abb. 6: Mittleres KW-Profil der Klasse 3 des Winters 1980/81.

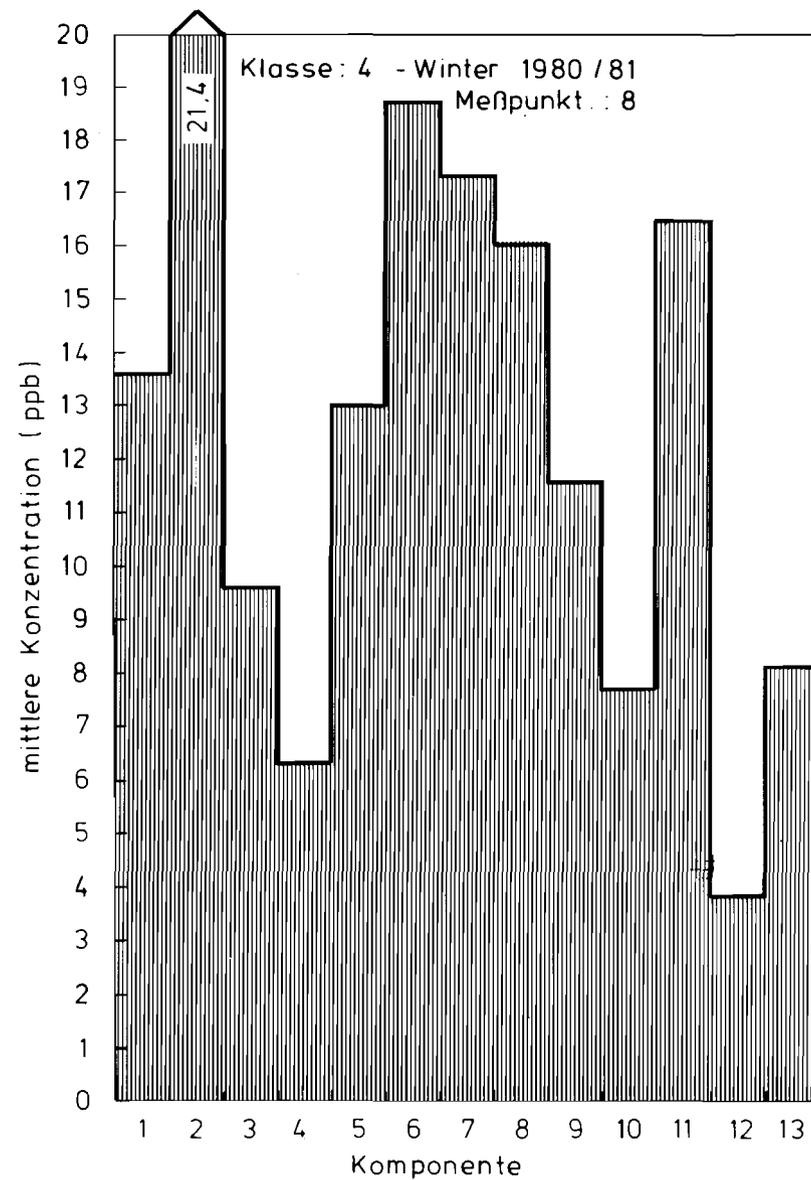


Abb. 7: Mittleres KW-Profil der Klasse 4 des Winters 1980/81.

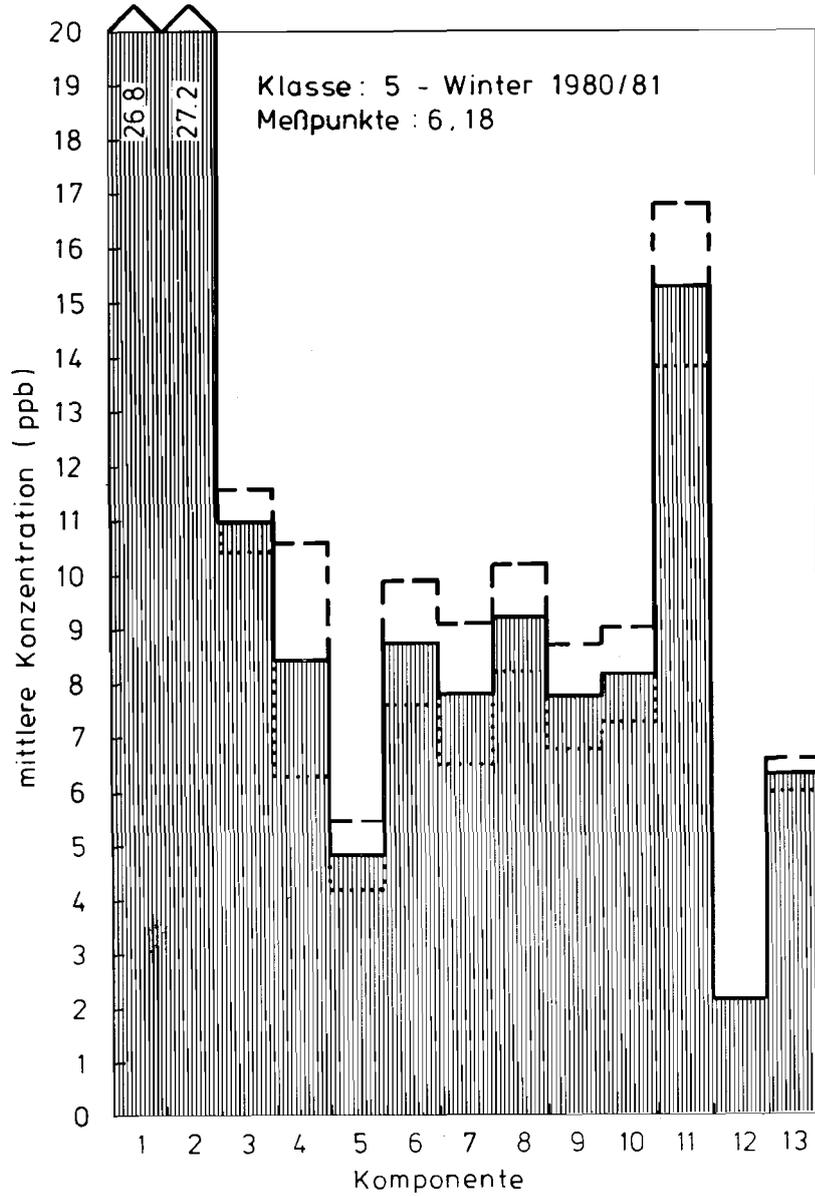


Abb. 8: Mittleres KW-Profil der Klasse 5 des Winters 1980/81 und Variationsbereich.

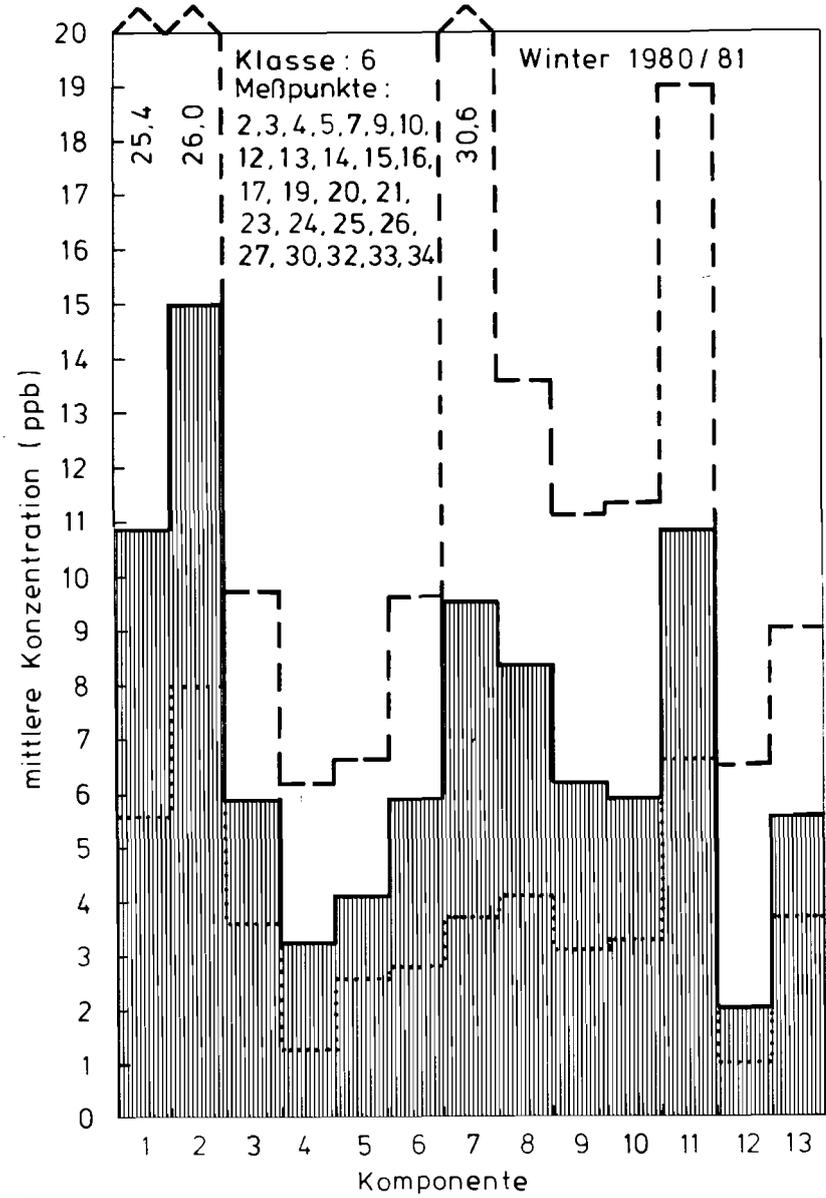


Abb. 9: Mittleres KW-Profil der Klasse 6 des Winters 1980/81 und Variationsbereich.

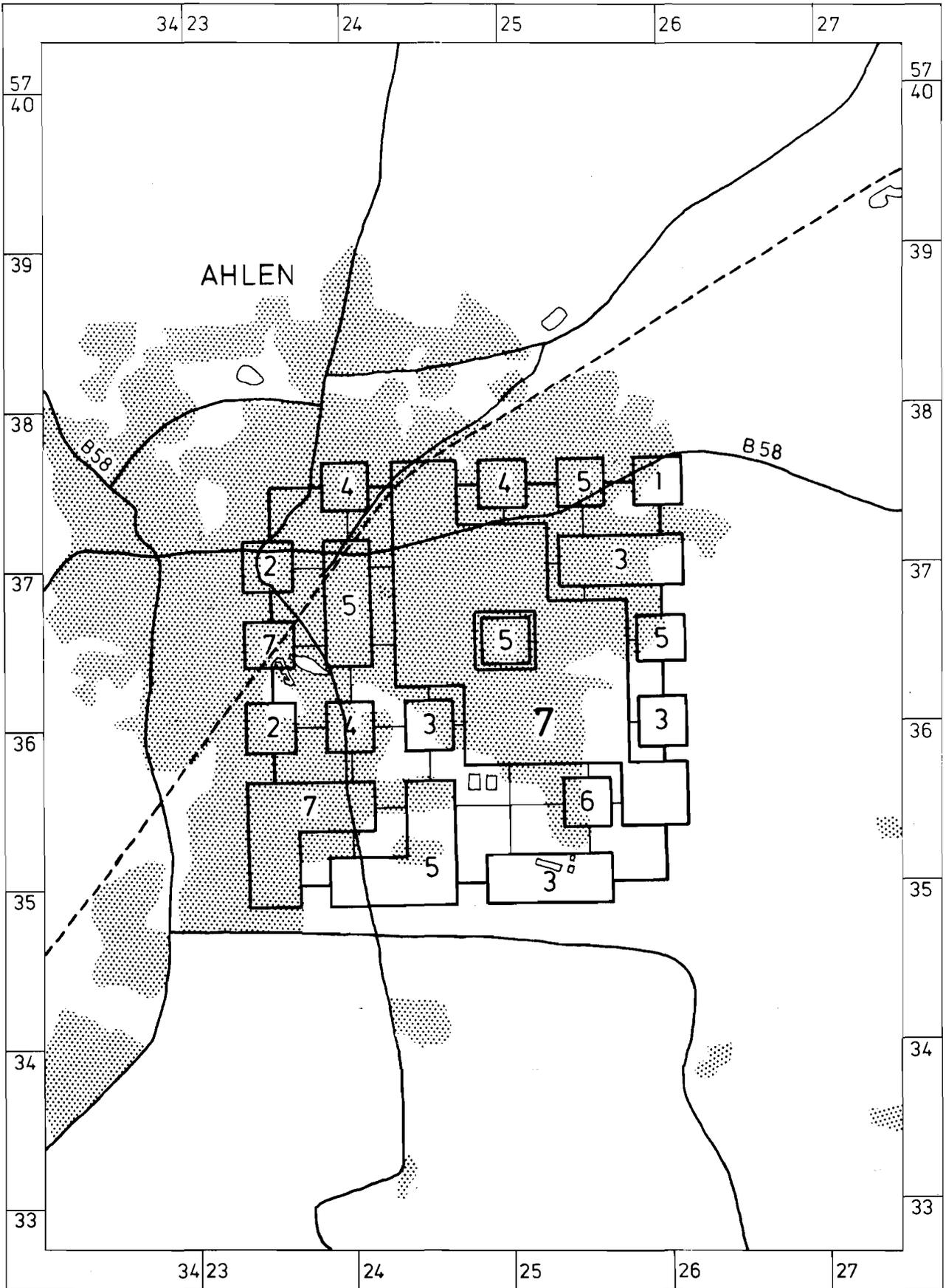


Abb. 10: Räumliche Verteilung der 7 Ähnlichkeitsklassen im Sommer 1980/81.

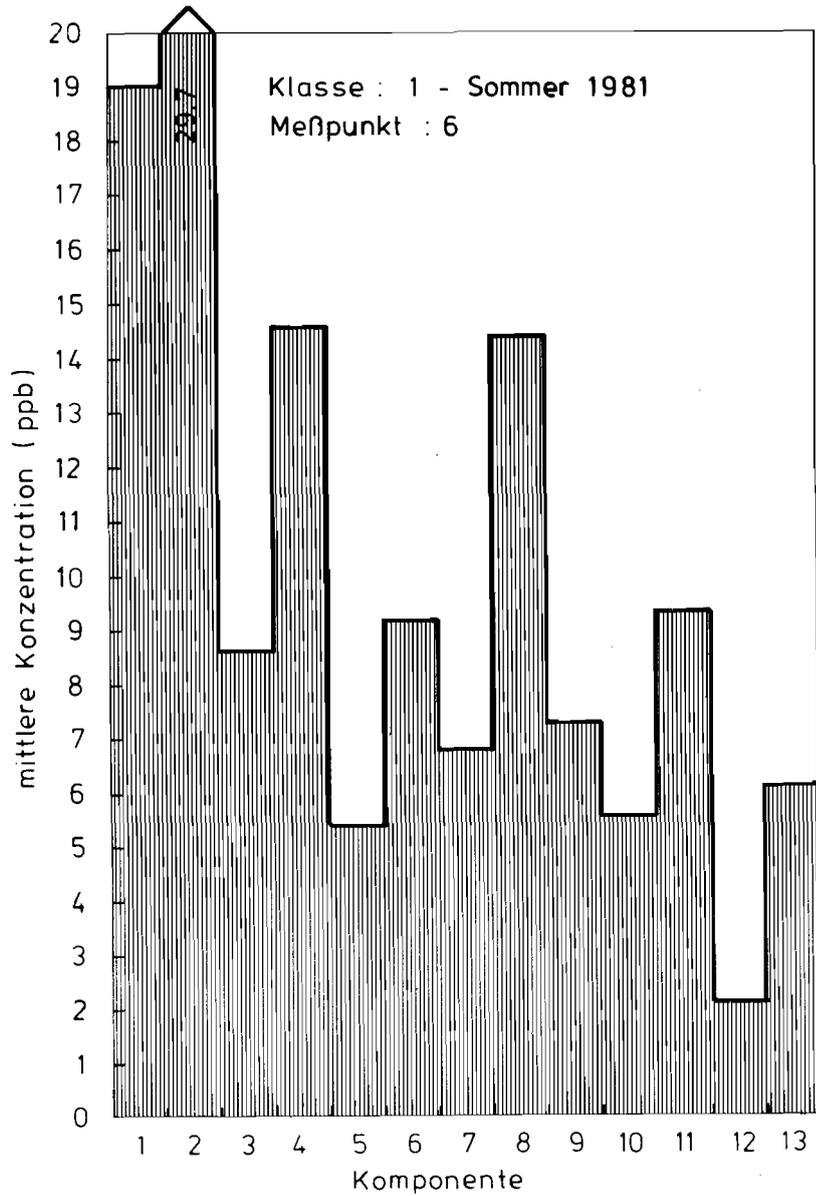


Abb. 11: Mittlerer KW-Profil der Klasse 1 des Sommers 1981.

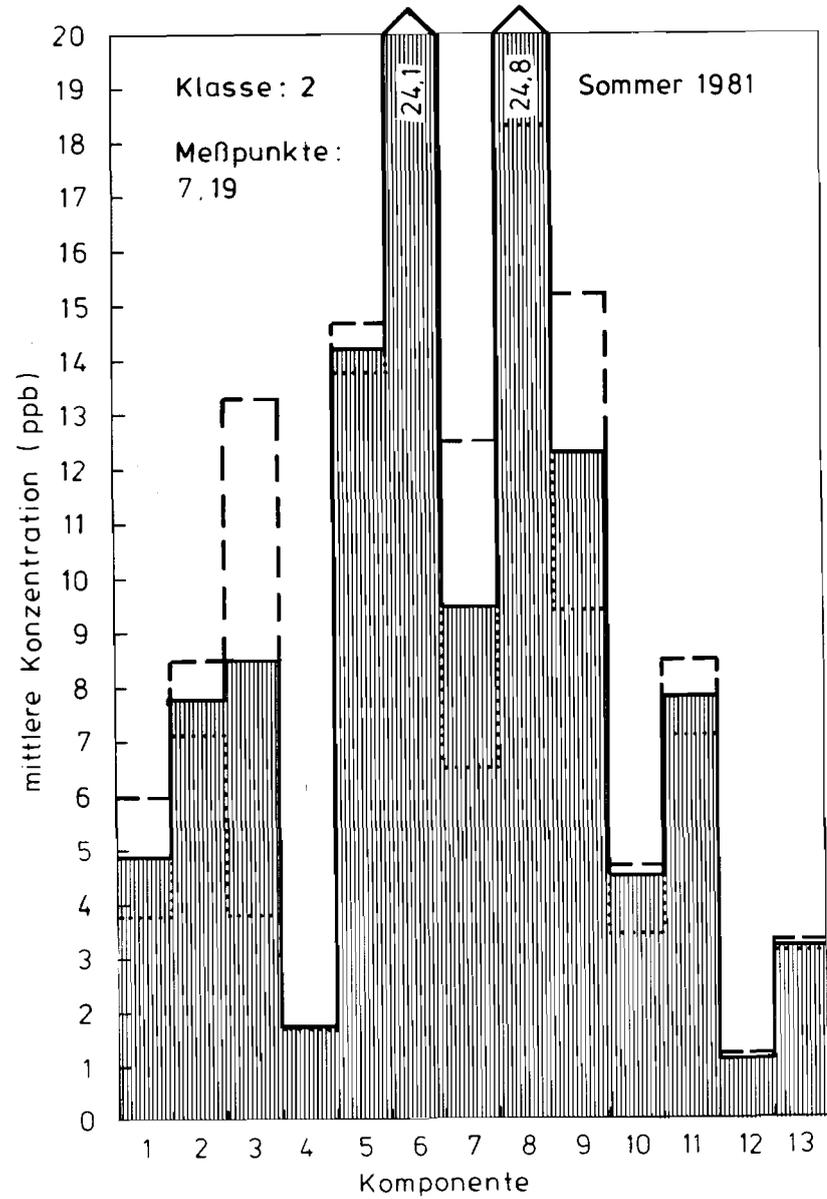


Abb. 12: Mittleres KW-Profil der Klasse 2 des Sommers 1981.

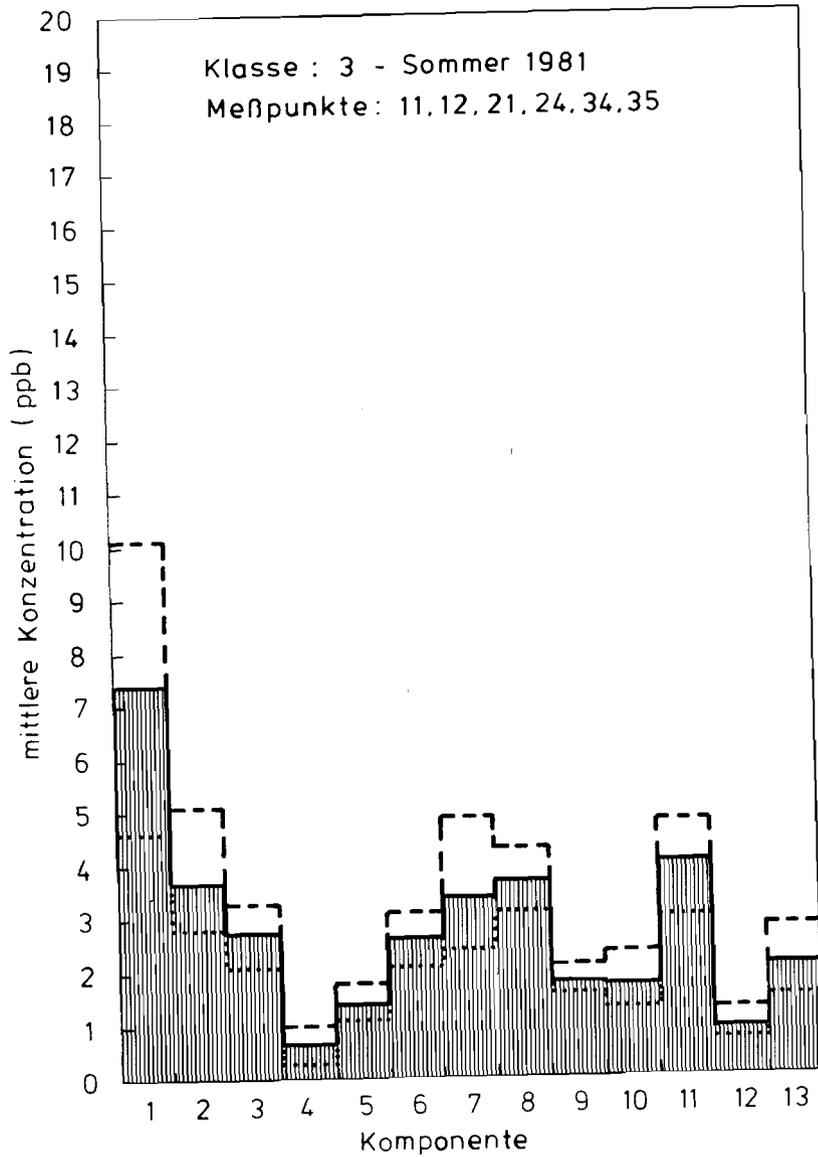


Abb. 13: Mittleres KW-Profil der Klasse 3 des Sommers 1981.

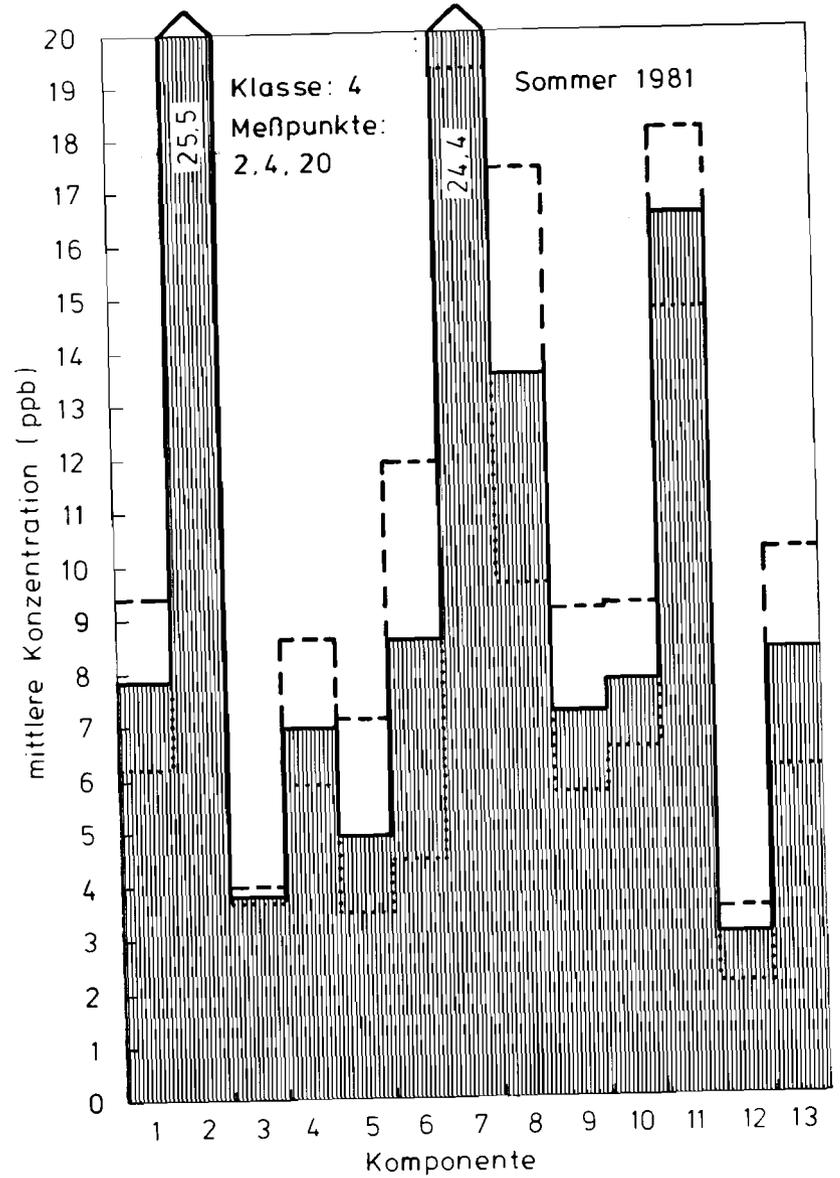


Abb. 14: Mittleres KW-Profil der Klasse 4 des Sommers 1981 und Variationsbereich.

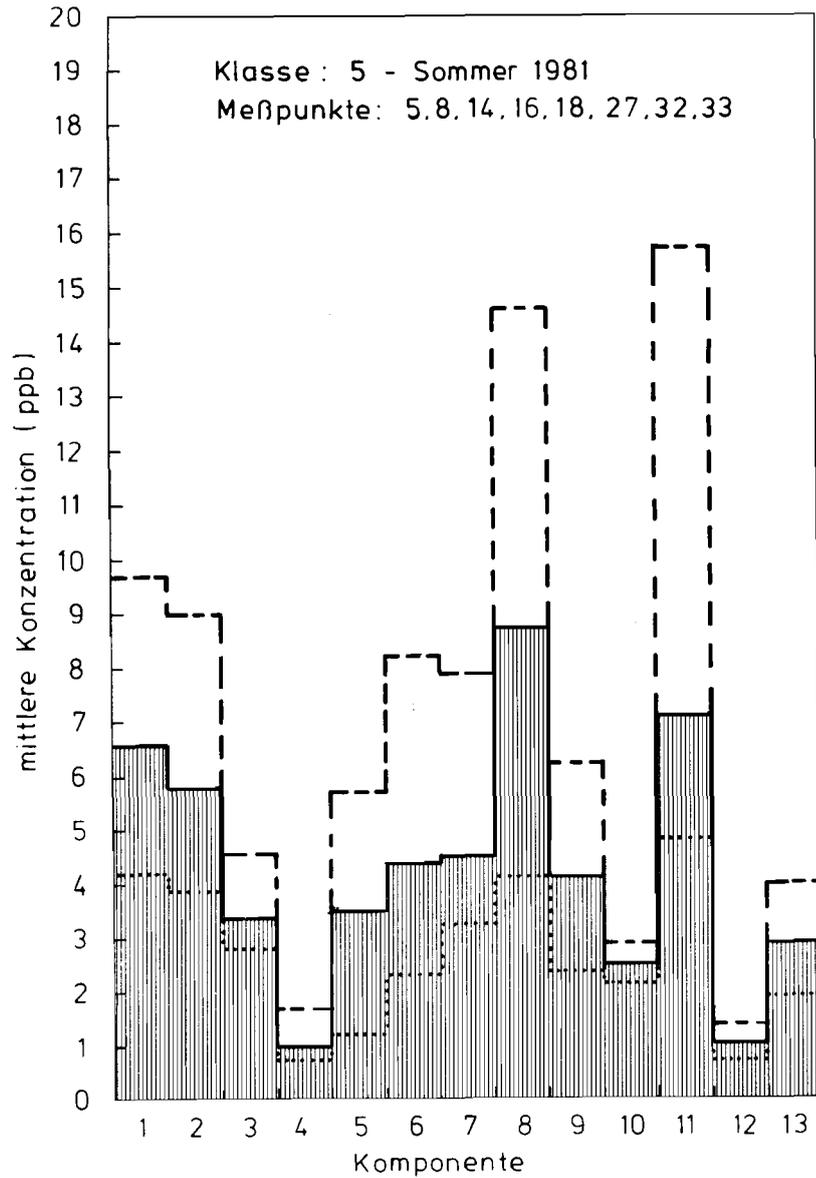


Abb. 15: Mittleres KW-Profil der Klasse 5 des Sommers 1981 und Variationsbereich.

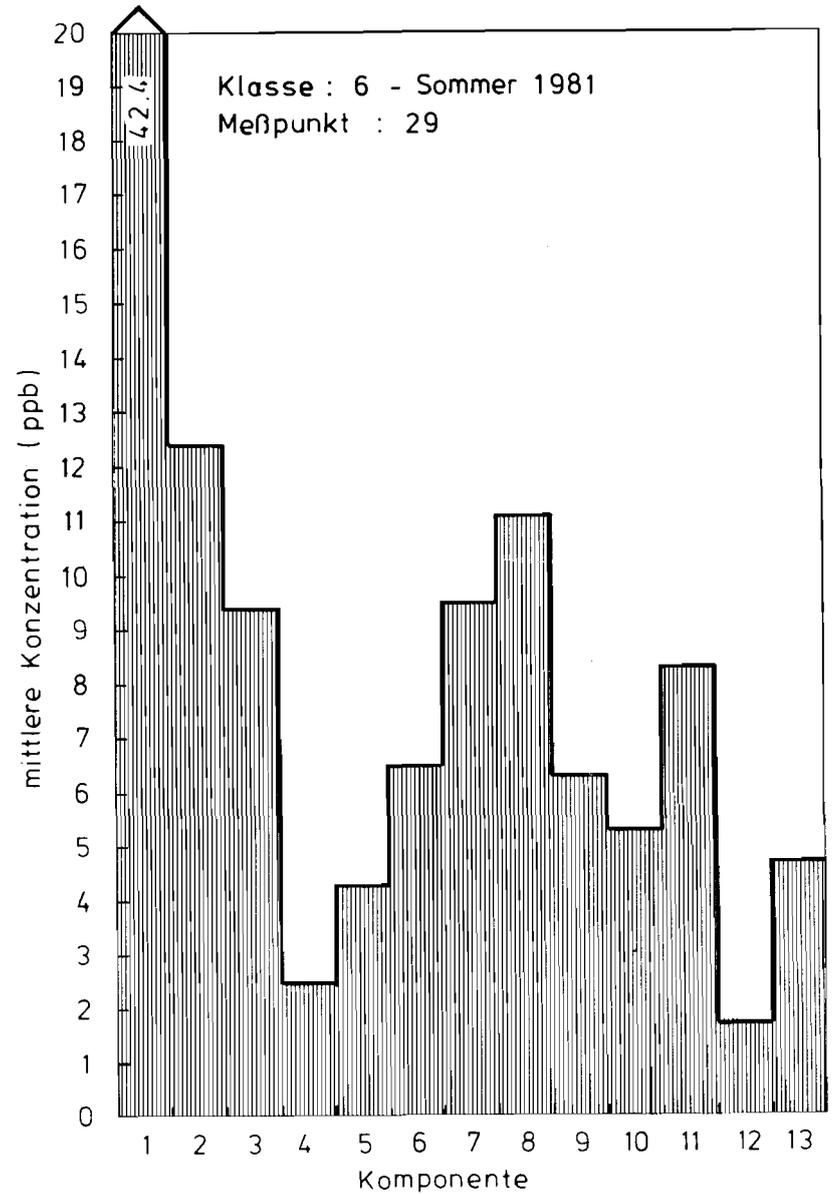


Abb. 16: Mittleres KW-Profil der Klasse 6 des Sommers 1981 und Variationsbereich.

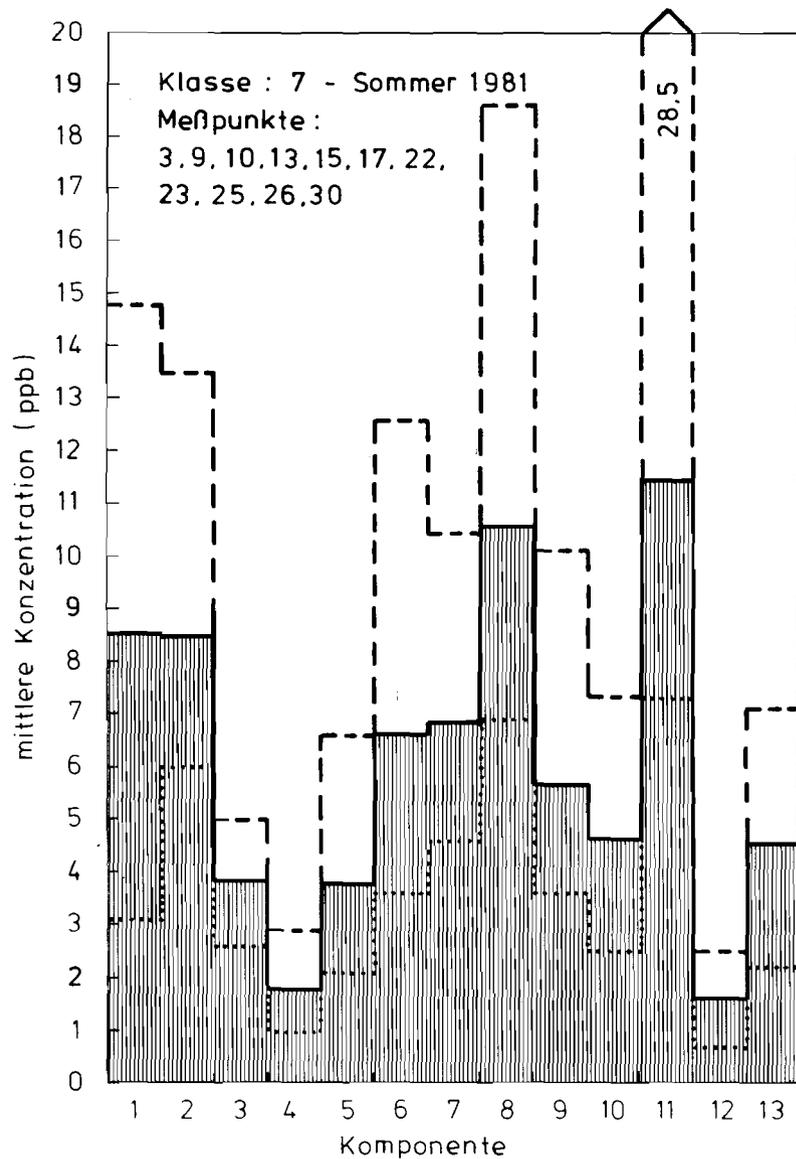


Abb. 17: Mittleres KW-Profil der Klasse 7 des Sommers 1981 und Variationsbereich.

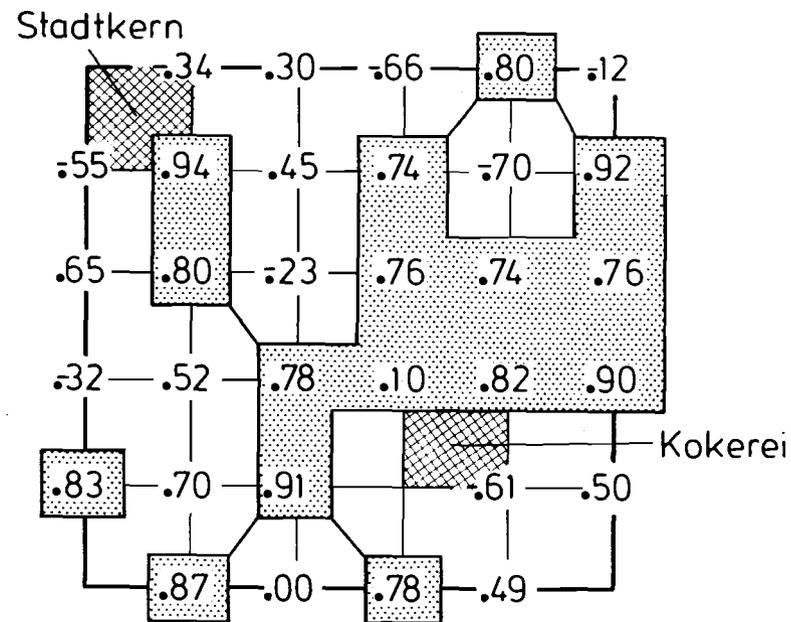


Abb. 18: Korrelation der Änderungsraten im Meßgebiet Bezugspunkt: Meßpunkt 22.

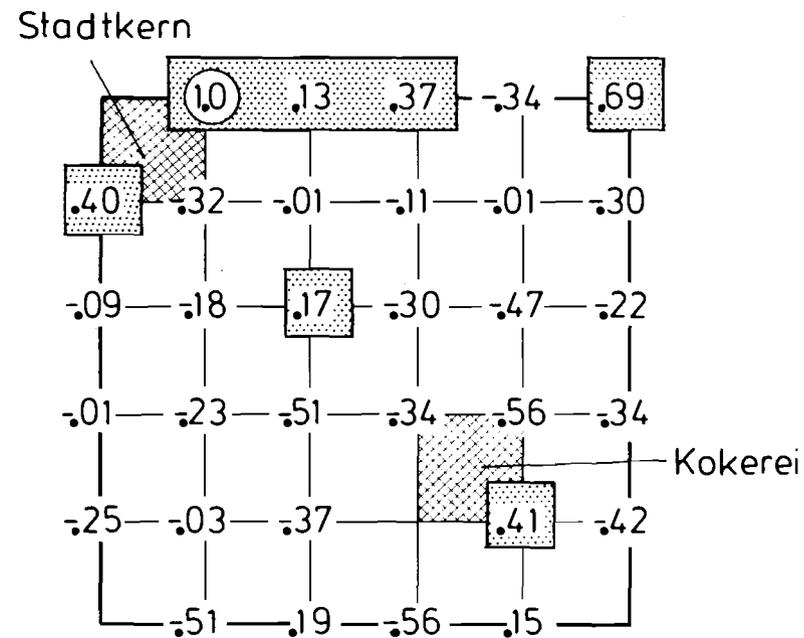


Abb. 19: Korrelation der Änderungsraten im Meßgebiet Bezugspunkt: Meßpunkt 2.

```

PROGRAM PFAD6 (INPUT,OUTPUT,TAPE 60=INPUT,TAPE6=OUTPUT,TAPE1,TAPE2)
C
C
C *****
C PRAGRAM PFAD6 (INPUT,OUTPUT,TAPE60=INPUT,TAPE6=OUTPUT,TAPE1,TAPE2)
C HAUPTPROGRAMM ZUR CLUSTERANALYSE MITTELS SURVEY
C UND AUSWERTUNG MITTELS PROCL
C
C INPUT:
C
C TITEL          TITEL DER UNTERSUCHUNG (40 ZEICHEN)
C EINH           EINHEITEN DER VARIABLEN (30 ZEICHEN)
C M             ANZAHL DER VARIABLEN(LE.20)
C NK           ANZAHL DER KLASSEN. FALLS NK=0, SO ERFOLGT KEINE
C              KLASSENWEISE AUSWERTUNG.
C IS           SYMBOLISCHE GERÄTENUMMER FUER AUSGABEEINHEIT
C ISTAT(I)     STATIONSKENNZIFFER DER ELEMENTE I
C XEIN(K),K=1,M DIE M VARIABLEN DES ELEMENTES I
C APRFITSPARAMETER:
C N           ANZAHL DER ELEMENTE (LE.500)
C INO(I)       ELEMENTKENNUNG, WIRD GESETZT
C
C OUTPUT/DRUCKERPROTOKOLL:
C
C 1.)          TABELLE DER ELEMENTE
C 2.)          TABELLE DER ERGEBNISSE VON SURVEY
C 3.)          HAEUFIGKEITSVERTEILUNG DER ZUP KLASSIERUNG
C              NUTZBAREN DISTANZEN
C *****
C INTEGER INO(500),IRANG(500),ISTAT(500),IBR(500),IPATH(500)
C INTEGER TITEL(4),EINH(3)
C REAL XEIN(20),FDATA(10000),DIPATH(500),DITREE(500),DIHELP(500)
C REAL DENSI(500),RADI(500)
C DATA IW/6/
C
C READ (60,3) TITEL,EINH
C 3 FORMAT (4A10,3A10)
C READ (60,8) M,NK,IS
C 8 FORMAT (3I5)
C
C EINLESEN DER ELEMENTE
C
C WRITE (IS,4) TITEL,EINH
C 4 FORMAT (1H1///5X,4A10,/5X,3A10)
C WRITE (IS,7) M
C 7 FORMAT (1H0//8X,*INO*,2X,*STATION*,3X,*KOMPONENTEN: 1 - *,I2/)
C I=0
C 40 I=I+1
C   INO(I) = I
C 42 READ (2,1) ISTAT(I),(XEIN(K),K=1,M)
C 1 FORMAT (I2,13X,13F5.2)
C   IF (EOF(2).NE.0) GOTO 41
C   IF (I.LE.100) WRITE (IS,2) I,ISTAT(I),(XEIN(K),K=1,M)
C 2 FORMAT (1H ,5X,2I5,5X,16F7.3)
C   DO 50 K = 1,M
C     IK=(I-1)*M+K
C 50   FDATA(IK) = XEIN(K)
C   GOTO 40
C 41 N=I-1
C   WRITE (IS,9) N,M,NK
C 9 FORMAT (1H1///5X,
C 1*ANZAHL DER ELEMENTE*,3X,I5,/5X,
C 2*ANZAHL DER KOMPONENTEN*,I5,/5X,*ANZAHL DER KLASSEN*,4X,I5/)

```

```

CALL SURVEY (N,M,FDATA,INO,DIPATH,IBR,DITREE)
C
C ZUFORDNUNG VON KANZAHLEN
C
C DO 55 I=1,N
C   DIHELP(I)=DITREE(I)
C 55   IPATH(I)=I
C   CALL FSORTP (DIHELP,IPATH,2,N,IER)
C
C FSORTP ORDNET DIE PAARE (DIHELP(I),IPATH(I)) IN AUFSTEIGENDER
C RFIFENFOLGE VON DIHELP
C
C DO 60 I=2,N
C   IRA=N+1-I
C   IP=IPATH(I)
C 60   IPANG(IP)=IRA
C
C DO 70 I=2,N
C   J=N+2-I
C   IF (J.LE.I) GOTO 72
C   DIH=DIHELP(I)
C   DIHELP(I)=DIHELP(J)
C   DIHELP(J)=DIH
C   IPA=IPATH(I)
C   IPATH(I)=IPATH(J)
C   IPATH(J)=IPA
C 70   CONTINUE
C
C AUSDRUCKEN DER TABELLE: SURVEY-ERGEBNISSE
C
C 72 WRITE (IS,5) TITEL
C 5 FORMAT (1H1/10X,*SURVEY-ERGEBNISSE:*,/10X,4A10,///10X,
C 2*I*,6X,*INO*,4X,*DIPATH*,6X,*IBR*,3X,*DITREE*,4X,*IRANG*,4X,
C 3*STATION*/)
C IZEIL = 0
C DO 80 I=1,N
C   INOI=INO(I)
C   WRITE (IS,10) I,INO(I),DIPATH(I),IBR(I),DITREE(I),IRANG(I),
C 1   ISTAT(INOI)
C 10  FORMAT (1H ,5X,I5,I9,F9.3,I9,F9.3,2I9)
C   IZEIL=IZEIL+1
C   IF (IZEIL.LT.60)GOTO 80
C   IZEIL=0
C   WRITE (IS,5) TITEL
C 80   CONTINUE
C
C AUSDRUCKEN DER TABELLE: HAEUFIGKEITSVERTEILUNG VON DITREE
C
C WRITE (IS,6) TITEL
C 6 FORMAT (1H1//5X,*TABELLE: HAEUFIGKEITSVERTEILUNG VON DITREE*,
C 1/14X,4A10,///10X,*IRANG*,4X,*DITREE*,4X,*PLATZ*,2X,*VERHAELTNIS*,
C 26X,*DICHTE*/)
C N2=60
C IF (N.LT.60) N2=N
C DO 90 I=2,N2
C   DFNSI(I)=1./(DIHELP(I)-DIHELP(I+1))
C   RADI(I)=DIHELP(I)/DIHELP(I+1)
C   WRITE (IS,11) I,DIHELP(I),IPATH(I),RADI(I),DENSI(I)
C 11  FORMAT (1H ,8X,I5,F10.3,5X,I5,F10.3,2X,F12.2)
C 90   CONTINUE
C
C IF (NK.EQ.0) GOTO 999
C CALL PROCL (FDATA,N,M,NK,DITREE,IRANG,IBR,ISTAT)
C
C 999 STOP
C END

```





```

      KL*1 = KL-1
      IA = 1
      IF (KL.EQ.1) GOTO 21
      IA = JPL(KL*1)
21     IE = JPL(KL)- 1
      IF (KL.EQ.K) IE = N
C
C     KLA(I) : KLASSENKENNUNG DES ELEMENTES MIT PFADPLATZ I
C
      KLA(IA) = KL
      IKL = KLA(IA)
      IAP1 = IA+1
      IF (IE.EQ.1A) GOTO 2
      DO 3 I = IAP1,IE
          NN = ID(I)
          IF (NN.NE.0) IKL = KLA(NN)
          KLA(I) = IKL
3     CONTINUE
2     CONTINUE
C     PRINT 30, (I,KLA(I),I=1,N)
30    FORMAT (1H, (5X,5(2I5,5X)))
C
C     SORTIEREN NACH KLASSENKENNUNG
C     IZ: PFADPLATZFOLGE
C     CALL ISORTP (KLA,IZ,1,N,IER)
C
C     KLASSENWEISE AUSWERTUNG
C
      I = 1
      DO 4 KL = 1,K
          DO 5 KO = 1,M
              NX(KO) = 0
              XMI(KO) = 1E07
              XMA(KO) = 0.
              SXX(KO) = 0.
              SX(KO) = 0.
5          DO 8 L = 1,70
              NEK(L) = 0.
              NE = 0
              SD = 0.
              SDD = 0.
41         IF (KLA(I).NE.KL) GOTO 42.
              NE = NE + 1
              IP = IZ(I)
              ISTAT = ISTAT(IP)
              NEK(IST) = NEK(IST)+1.
              DIP = DMIN(IP)
              SD = SD+DIP
              SDD = SDD+DIP**2.
          DO 6 KO = 1,M
              IKO = (IP-1)*M+KO
              XIKO = X(IKO)
              IF (XIKO.LT.0.) GOTO 6
              IF (XIKO.LT.XMI(KO)) XMI(KO) = XIKO
              IF (XIKO.GT.XMA(KO)) XMA(KO) = XIKO
              SXX(KO) = SXX(KO)+XIKO**2.
              SX(KO) = SX(KO)+XIKO
              NX(KO) = NX(KO)+1
6          CONTINUE
              I = I + 1
              IF (I.LE.N) GOTO 41
42         DO 7 KF = 1,M
              NXKO = NX(KO)
              XMKO = 0.
              IF (NXKO.GT.0) XMKO = SX(KO)/NXKO
          SOA = SXX(KO)-XMKO**2.*NXKO
          SXKO = 0.
          IF (NXKO.GT.1.AND.SOA.GE.0.) SXKO=SOA/(NXKO-1)/NXKO
C
C     XM(KO) : MITTELWEPT DER KOMPONENTE KO
C     SX(KO) : STANDARDABWEICHUNG DER KOMPONENTE KO
C
      XM(KO) = XMKO
      SX(KO) = SXKO/XMKO
7     CONTINUE
      DO 9 J = 1,ISTMAX
          IF (NEL(J).GT.0.) NEK(J)=NEK(J)/NFL(J)
9     CONTINUE
      AN = 100.*FLOAT(NE)/FLOAT(N)
      WRITE (IS,10) CRT, KL,K,NE,N,AN
10    FORMAT (1H1//,5X,*PROMST: *,4A10,
1       /4X,* KLASSE*,I3,* (VON*,I3,* KLASSEN) ENTHAELT*,
2       I5,* VON*,I5,* ELEMENTEN(*,F6.2,* PROZENT)*,//7X,*K*,8X,
3       ***,10X,*SX*,7X,*MIN*,7X,*MAX*/)
      WRITE (IS,20) (KO, XM(KO), SX(KO), XMI(KO), XMA(KO), KO=1,M)
20    FORMAT (1H,2X,I5,4F10.2)
      CALL KETTE (XM,M,IS)
      JJ=0
      DO 16 J=ISTMIN,ISTMAX
          IF(NEK(J).GT.0.) GOTO 17
          GOTO 16
17         JJ=JJ+1
          JST(JJ)=J
16         CONTINUE
          WRITE (IS,11) (JST(J),J=1,JJ)
11        FORMAT (1H0,10X,*STATIONEN:*,10I5,(/21X,10I5))
4         CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE KETTE(X,N,IS)
CCC
C *****
C SUBROUTINE KETTE (X,N,IS)
C
C KETTE FERTIGT VON DER GROESSE X EIN DRUCKERPPROTOKOLL
C UEBER DIE VERTEILUNG VON X IN K KLASSEN AN
C AUFLUESUNG : 1/50 DES MAXIMALWERTES
C
C UEBERGABEPARAMETER:
C REAL:
C X          ZU ZEICHNENDE GROESSE
C INTEGER:
C N          ANZAHL DER WERTE VON X
C IS        NUMMER DER AUSGABEEINHEIT
C
C LIMITS:    0 < N < 1000
C *****
C
C REAL X(1),XH(1000)
C INTEGER STERN
C
C DATA STERN/10H*****/
C
C DO 11 I = 1,N
11  XH(I) =X(I)
    CALL FSORT(XH,1,N,IER)
    XM = XH(N)
    IF (XM.EQ.0.) GOTO 99
C
C WRITE(IS,1) XM
C
C 1 FORMAT(1H0/,5X,+VERTEILUNG DER VARIABLE X AUF K WERTE*/
29X,**,8X,*X*,5X,*--- REL. GROESSE VON X ---**//
365X,*NMAX= *,F8.3/24X,1HI,10(5H....I))
C
C XMM=0.
DO 100 K=1,N
    XM = X(K)
    XMM=XMM+XM
    XZ = (XM/XM)*50.
    IXZ= XZ+.5
    IF(IXZ.EQ.0) GOTO 771
    IZ = XZ/10.
    I = IZ+1
    L = IXZ-IZ*10
    IF(IXZ.LT.1) GOTO 777
    IF(L.NE.0) GOTO 77
    L=10
    I=I-1
C
C
C 77  GOTO (10,20,30,40,50) I
10  WRITE(IS,2) K,X(K),L,STERN
    2  FORMAT(1H ,5X,I5,F10.2, 3X,2HI ,A=)
    GOTO 100
20  WRITE(IS,3) K,X(K),STERN,L,STERN
    3  FORMAT(1H ,5X,I5,F10.2, 3X,2HI ,A10,A=)
    GOTO 100
30  WRITE(IS,4) K,X(K),STERN,STERN,L,STERN
    4  FORMAT(1H ,5X,I5,F10.2, 3X,2HI ,2A10,A=)
    GOTO 100
40  WRITE(IS,5) K,X(K),STERN,STERN,STERN,L,STERN
    5  FORMAT(1H ,5X,I5,F10.2,3X,2HI ,3A10,A=)
    GOTO 100
50  WRITE(IS,6) K,X(K),STERN,STERN,STERN,STERN,L,STERN
    6  FORMAT(1H ,5X,I5,F10.2,3X,2HI ,4A10,A=)
    GOTO 100
777  WRITE(IS,7) K,X(K)
    7  FORMAT(1H ,5X,I5,F10.2, 4X,1H*)
    GOTO 100
771  WRITE(IS,8) K,X(K)
    8  FORMAT(1H ,5X,I5, F10.2 ,4X,1H.)
100  CONTINUE
C
C AA=N
C XMIT=XMM/AA
C
C SS=0.
C
C WRITE(IS,9) XM,XMIT
    9  FORMAT(1H ,23X,1HI,10(5H....I)/65X,*NMAX= *,F8.3/
+1H0,5X,60(1H*)/
21H0,5X,*MITTELWERT VON X: *,F8.3/1H0,5X,40(1H*))
C
C 99 RETURN
    END
    
```

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Einzelexemplare werden Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6  
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:  
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.  
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:  
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:  
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:  
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:  
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:  
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:  
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:  
(vergriffen) Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:  
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:  
(vergriffen) Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung -Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANN, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:  
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:  
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:  
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:  
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:  
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohrofen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B. und E. KOCH:  
Umweltpolitik und technologische Entwicklung in der VR China (1984).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:  
(vergriffen) Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:  
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:  
Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:  
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:  
Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:  
(vergriffen) Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:  
(vergriffen) Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:  
(vergriffen) Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:  
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:  
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:  
(vergriffen) Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:  
Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).
- Berichte-Nr. 30: MANNS, H. und H. GIES:  
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).

- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:  
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft (1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:  
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:  
(vergriffen) Ermittlung von Verkehrsgeräusch-Immissionen  
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:  
(vergriffen) Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:  
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:  
Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahme rate des IRMA-Gerätes bei verschiedenen Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:  
(vergriffen) Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:  
Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene Wärmepumpen (1983).
- Berichte-Nr. 40: BRÖKER, G. und B. SCHILLING:  
Schwermetallemissionen bei der Verbrennung kommunaler Klärschlämme (1983).
- Berichte-Nr. 41: HILLEN, R.:  
Über Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität von Schießgeräuschmessungen im Immissionsbereich (1983).
- Berichte-Nr. 42: KLEIN, M.:  
Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien - Ziele, Physik der Schallausbreitung, Vorgehensweise, Ergebnisse - (1983).
- Berichte-Nr. 43: PFEFFER, H.-U., S. KÜLSKE und R. BEIER:  
Jahresbericht 1981 über die Luftqualität an Rhein und Ruhr.  
Ergebnisse aus dem telemetrischen Immissionsmeßnetz TEMES in Nordrhein-Westfalen. (1984)
- Berichte-Nr. 44: BUCK, M., H. IXFELD und R. BEIER:  
Immissionsbelastung durch Fluor-Verbindungen in der Nachbarschaft der Aluminiumhütte LMG in Essen. (1984).
- Berichte-Nr. 45: STRAUCH, H. und R. HILLEN:  
Geräuschimmissionen in Großstädten; Flächenbezogene Kennzeichnung dieser Geräuschimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 46: BUCK, M. und P. BRUCKMANN:  
Air quality surveillance in the Federal Republic of Germany (1984).

Anmerkung:

Die LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Ausleihe bzw. Einsichtnahme zur Verfügung.