LIS-Berichte

Nr. 101

Räumliche Übertragbarkeit und Interpolation von Luftqualitätsdaten im Meßnetz TEMES

Herausgeber

Landesanstalt für Immissionsschutz
LIS Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Straße 6 D 4300 Essen 1 Tel. (0201)7995-0

ISSN 0720-8499

1992

100 % Altpapier, chlorfrei gebleicht

Räumliche Übertragbarkeit und Interpolation von Luftqualitätsdaten im Meßnetz TEMES

Dr. Reinhold Beier und Alfred Doppelfeld

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Zusammenfassung		7
Summary		8
1.	**Einleitung**	9
2.	**Methodik**	10
2.1	Die modifizierte Strukturfunktion	10
2.2	Isolinien des Übertragungsfehlers	12
2.3	Einfluß der Integrationszeit	14
2.4	Interpolation	17
2.5	Interpolationsfehler	19
2.6	Rechentechnische Umsetzung	20
3.	**Ermittelte Übertragungsfehler**	23
3.1	Schwefeldioxid - Jahresmittelwerte (1990)	24
3.2	Stickstoffdioxid - Jahresmittelwerte (1990)	26
3.3	Schwebstaub - Jahresmittelwerte (1990)	26
3.4	Ozon-2-Std-Mittel > 180 $\mu g/m^3$ (1990)	27
4.	**Ergebnisse der Interpolation**	27
4.1	Schwefeldioxid - Jahresmittelwerte (1990)	27
4.2	Stickstoffdioxid - Jahresmittelwerte (1990)	28
4.3	Schwebstaub - Jahresmittelwerte (1990)	28
4.4	Ozon-2-Std-Mittel > 180 $\mu g/m^3$ (1990)	29
5.	**Diskussion**	29
Literatur		32
Tabellen-und Bildanhang		
A	- Tabellen	33
B	- Abbildungen	39
C	- Dokumentation zum PC-Programmpaket	87

Räumliche Übertragbarkeit und Interpolation von Luftqualitätsdaten im Meßnetz TEMES

Dr. Reinhold Beier und Alfred Doppelfeld

Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist die räumliche Repräsentativität von Meßdaten der Luftqualität, welche in automatischen Meßnetzen gewonnen werden. Ausgangspunkt war die Frage, mit welcher Zuverlässigkeit die räumliche Verteilung von Kenngrößen der untersuchten Stoffe in der Atmosphäre aus den Meßdaten eines automatischen Meßnetzes abgeleitet werden kann. Diese Frage stellt sich sowohl für Jahresmittelwerte als auch für Kurzzeitwerte in Episoden erhöhter Stoff-Konzentrationen. In der vorliegenden Arbeit wird eine bereits an anderer Stelle beschriebene Methode angewandt und erweitert, um die räumliche Repräsentativität von Luftqualitätsdaten aus dem an Rhein und Ruhr vorhandenen Meßnetz TEMES zur Untersuchung der Stoffe Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Schwebstaub und Ozon zu analysieren und grafisch darzustellen. Dies gelingt durch Isolinien des Übertragungsfehlers von stationsbezogenen Kenngrößen auf Orte in der Nachbarschaft. Als Kenngrößen betrachtet werden dabei für die Stoffe Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Schwebstaub Jahresmittelwerte und für Ozon 2-Stundenmittelwerte, welche die Schwelle 180 $\mu g/m^3$ überschreiten. Als ein gemeinsames Ergebnis kann festgestellt werden, daß die räumliche Repräsentativität der Meßorte von der betrachteten Luftverunreinigung abhängt und im allgemeinen anisotrop ist, d.h. richtungsabhängig unterschiedlich ausfällt.

Darüber hinaus wird gezeigt, in welcher Weise die Anisotropie der räumlichen Repräsentativität genutzt werden kann, um räumliche Interpolationen von Kenngrößen in einem Meßnetz durchzuführen und die resultierenden Interpolationsfehler zu bewerten. Die Resultate geben erstmals eine vollständige Übersicht darüber, wie repräsentativ die im Rhein-Ruhr-Gebiet vorhandenen Luftverunreinigungen in der Außenluft durch das vorhandene Meßnetz TEMES erfaßt werden. Die Schätzfehler der durch Interpolation ermittelten Jahreskenngrößen sind kleiner als 25 Prozent, diejenigen der interpolierten 2-Std-Werte von Ozon im Episodenfall nicht größer als 11 Prozent. Mit dieser Methodik kann geprüft werden, inwieweit ein gegebenes Luftqualitätsmeßnetz Anforderungen hinsichtlich der Repräsentativität der Erfassung räumlicher Strukturen der untersuchten Stoffe erfüllt. Mit dieser Methode können existierende Luftqualitätsmeßnetze so optimiert werden, daß die Interpolationsfehler vorgegebene Höchstwerte einhalten.

Spatial Transfer and Interpolation of Air Quality Data in the Monitoring Network TEMES

Summary

Subject of the present paper is the spatial representativity of air quality data recorded in automatic monitoring networks. The starting point was to find out the reliability of spatially distributed air quality data derived by an automatic monitoring network. This question is of interest for yearly mean values as well as for short time values in episodes of increased concentrations. In the present paper a method, yet described by the authors in another paper, is applied to analyse and present grafically the spatial representativity of the TEMES-network established in the Rhine-Ruhr district with respect to sulfur dioxide, nitrogen dioxide, total suspended particulates and ozone. This goal is reached by plotting isolines of transfer errors of monitored local air quality data to places in the neighborhood of the monitoring site. Air quality data considered are yearly mean values for sulfur dioxide, nitrogen dioxide and total suspended particulates and 2-hour-mean values exceeding 180 $\mu g/m^3$ for ozone. As a common result it has to be stated that the spatial representativity of monitoring sites depends on the pollutant considered and is in general unisotropic.

In addition, it is shown in which way the unisotropic spatial representativity of air quality data can be used for spatial interpolation of air quality data within a network and the assessment of estimation errors of interpolated values. The results for the first time give a complete impression of the spatial reliability of air quality data recorded in the network TEMES. The estimation errors of the considered yearly mean values of sulfur dioxide, nitrogen dioxide and total suspended particulates are less than 25 percent, those of interpolated 2-hour-means of ozone in episodes are not larger than 11 percent. Using this method, existing air quality monitoring networks can be optimized with respect to estimation errors.

1. Einleitung

Die Ausbreitung von luftverunreinigenden Stoffen in der Atmosphäre wird zum einen bestimmt von den Standorten und Aktivitäten emittierender Quellen sowie den physikalisch-chemischen Eigenschaften der emittierten Stoffe und zum anderen von den Zuständen der Wind- und Turbulenzfelder im Ausbreitungsgebiet. Meßaufgaben zur Untersuchung der räumlichen Verteilung von luftverunreinigenden Stoffen in der unteren Troposphäre weisen deshalb Ähnlichkeiten mit Meßaufgaben aus dem Bereich der Meteorologie auf. Meßnetze mit unterschiedlicher räumlicher Dichte gelangen zum Einsatz, um meteorologische Zustände der Atmosphäre oder Konzentrationen von luftverunreinigenden Stoffen zu erfassen und Vorhersagen zu ermöglichen. Hier wie dort spielt **die Frage nach der Zuverlässigkeit, mit der die zeitlich veränderlichen räumlichen Strukturen der untersuchten Felder durch die eingesetzten Meßnetze erfaßt werden, d.h. die räumliche Repräsentativität der Untersuchungen**, eine wichtige Rolle. Erst durch die Kenntnis dieser Zuverlässigkeit werden quantitative Vergleiche zwischen Meßdaten und interpolierten Werten möglich.

Im Bereich der Meteorologie wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche derartige Ansätze unter der Überschrift "objektive Analyse" realisiert /1/. Wichtige Impulse hierzu stammen aus dem Bereich der Geostatistik /2/. Anwendungen im Bereich der Untersuchung von luftverunreinigende Stoffen in der unteren Troposphäre wurden zunehmend in den letzten Jahren bekannt /3-7/. Vor diesem Hintergrund wurde in /8,9/ eine einfach anzuwendende und leicht zu interpretierende Methode zur statistischen Analyse der räumlichen Repräsentativität von Daten aus Luftqualitätsmeßnetzen beschrieben.

In der vorliegenden Arbeit wird diese Methode benutzt, um die räumliche Repräsentativität von Meßdaten aus dem nordrhein-westfälischen Meßnetz **TEMES** /10/ für Schwefeldioxid, Schwebstaub, Stickstoffdioxid und Ozon zu analysieren und grafisch darzustellen. Ferner wird beschrieben, wie die Methodik genutzt werden kann, um räumliche Interpolationen in dem Meßnetz **TEMES** durchzuführen und quantitativ zu bewerten.

In Abschnitt 2 wird die statistische Methodik im Detail dargestellt. Wer weniger am mathematischen Aufbau der Methodik als an den Ergebnissen interessiert ist, der kann Abschnitt 2 überspringen und direkt die in den Abschnitten 3 und 4 zusammengestellten Ergebnisse studieren.

2. Methodik

2.1 Die modifizierte Strukturfunktion

Betrachtet werde ein Luftqualitätsmeßnetz bestehend aus m Meßstationen an den Meßorten x_i (i=1,2,..,m). Innerhalb eines vorgegebenen Meßzeitraums (z.B. 1 Jahr) werde an jedem Meßort x_i (i=1,2,..m) eine Zeitreihe von Konzentrationswerten $C_i(t_k)$ mit $t_k = k*Dt$ (k=1,2,..,N) einer interessierenden Luftverunreinigung registriert. Das Zeitintervall **Dt** beschreibt die betrachtete Mittelungszeit, beispielsweise gilt für Tagesmittelwerte **Dt = 24 h**. Fehlende oder fehlerhafte Meßwerte werden im folgenden der Einfachheit halber durch Null ersetzt. Validen Meßwerten unterhalb der meßtechnischen Nachweisgrenze wird ein fester von Null verschiedener Wert zugeordnet, in der vorliegenden Arbeit 0,5*Nachweisgrenze.

Da die Meßwerte in Luftqualitätsmeßnetzen in der Regel überwiegend signalproportionale Fehleranteile enthalten, findet anstelle der bekannten Strukturfunktion /3/ folgende **modifizierte Strukturfunktion MOST** Verwendung /7/:

$$MOST(x_j,x_i) = 1/M \sum_{\substack{k=1 \\ C_i(t_k) > h}}^{N} (C_j(t_k) / C_i(t_k) - 1)^2 \qquad (1)$$

M: Anzahl der berücksichtigten Wertepaare $C_i(t_k), C_j(t_k)$ (Minimum M = 30)

Anstelle absoluter Abweichungsquadrate in der üblichen Strukturfunktion finden hier relative Abweichungsquadrate Verwendung. Berechnet werden kann die MOST-Funktion für Paare von Meßorten x_i und x_j, an denen die Konzentrationen $C_i(t_k)$ und $C_j(t_k)$ des betrachteten luftverunreinigenden Stoffes im interessierenden Zeitraum erfaßt wurden. Wertepaare mit $C_i(t_k) < h$ werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Die Schwelle **h** erlaubt es, gezielt die modifizierte Strukturfunktion hoher Konzentrationswerte zu betrachten. Im Fall **h = 0** werden alle validen Wertepaare $C_i(t_k)$, $C_j(t_k)$ aus dem Meßzeitraum berücksichtigt.

Ausgangspunkt der nachfolgenden Betrachtungen ist folgende Fragestellung:

Mit welchem Übertragungsfehler (Schätzfehler) ist die Schätzung der Konzentration an einem Aufpunkt x (ohne Meßstation) durch einen Meßwert $C_i(t_k)$ von einem nahe gelegenen Meßort x_i verbunden?

Die zugrundeliegende Schätzung lautet:

$$C_x(t_k) = C_i(t_k). \qquad (2)$$

Mit Hilfe der modifizierten Strukturfunktion **MOST** kann das mittlere Quadrat der relativen Abweichung $(rse)^2$ dieser Schätzung vom wahren Wert abgeschätzt werden durch

$$rse(C_x)^2 = MOST(\underline{x}_j,\underline{x}_i) = 1/M \sum_{\substack{k=1 \\ c_i(t_k) > h}}^{m} (C_x(t_k)/C_i(t_k) - 1)^2 \qquad (3)$$

wobei $C_x(t_k)$ die unbekannte Konzentration am Aufpunkt x ist.

Da die Betrachtungen sich auf Meßwerte mit vorwiegend signal-proportionalen Meßfehlern beziehen, ist die Verwendung relativer Abweichungsquadrate zweckmäßig /7/.

Als geeignetes Maß für die Zuverlässigkeit der Schätzung (2), vergleichbar der üblichen Standardabweichung, findet im folgenden die Wurzel aus dem mittleren Quadrat der relativen Abweichung als **Standard-Übertragungsfehler rse** Verwendung:

$$rse(C_x) = \sqrt{MOST(x_j,x_i)} \qquad (4)$$

Das realisierte PC-Programm-Paket enthält ein Programm **STRUCTUR**, welches Meßreihen $C_i(t)$ eines vorgegebenen Zeitraums (< = 1 Jahr) von bis zu **100** Meßstationen einliest und die modifizierte Strukturfunktion **MOST** gemäß Gl.(1) für alle möglichen Stationspaare **j, i** des eingelesenen Datenfeldes ermittelt. Das Programm kann Meßdaten beliebiger Integrationszeiten **Dt** zwischen **0,5** und **24** Stunden verarbeiten. Die Ergebnisse werden zur Ausgabe und Weiterverarbeitung in Tabellenform gespeichert.

2.2 Isolinien des Übertragungsfehlers

Ziel ist es, die räumliche Übertragbarkeit (Repräsentativität) von Meßdaten einer Meßstation x_i auf Orte in der Nachbarschaft zu ermitteln und durch Linien gleichen Übertragungsfehlers rse grafisch zu veranschaulichen.

Dazu ist es erforderlich, den Wert $MOST(x_j,x_i)$ durch Interpolation zwischen berechneten Werten $MOST(x_j,x_i)$ benachbarter Stationspaare x_i, x_j zu schätzen.

Zu diesem Zweck empfiehlt es sich, Polarkoordinaten einzuführen. Ausgehend vom Meßort x_i als Ursprung werden die räumlichen Abhängigkeiten durch den radialen Abstand $d = d(x_i,x)$ des Aufpunktes x vom Meßort x_i, sowie durch den Winkel w zwischen der Nordrichtung und dem Vektor $(x-x_i)$ im Uhrzeigersinn beschrieben.

$$MOST(x_j,x_i) = MOST(d,w) \qquad (5)$$

Die Aufgabe besteht folglich darin, $MOST(d,w)$ durch eine stetige Funktion des Winkels w und des Abstandes d zu approximieren. Hierfür sind aus dem Bereich der Geostatistik verschiedene Ansätze bekannt /2/. Im folgenden wird die räumlichen Abhängigkeit der modifizierten Strukturfunktion durch ein lineares Modell erster Ordnung beschrieben:

$$MOST(d,w) = a(w) * d + b(w) \quad \text{für } d < R_{krit} \qquad (6)$$

mit folgenden Abkürzungen:

$d = d(x,x_i)$:	Betrag des Abstandsvektors $(x-x_i)$.
w:	Richtungsklasse (Breite: 10 Grad), in welcher der Abstandsvektor $(x-x_i)$ liegt.
R_{krit}:	Grenzabstand für die Anwendung des Modells

In der Regel kann der Achsenabschnitt b(w) vernachlässigt werden. Dies ergibt sich aus seiner Bedeutung als Grenzwert der MOST-Funktion für $d(x_i,x_j) \dashrightarrow 0$. Denn es gilt

$$b(w) = \lim_{j \to i} MOST(x_j,x_i) = 1/N \sum_{k=1}^{N} \left(DC(t_k) / C_i(t_k) \right)^2 \qquad (7)$$

mit $DC(t_k) = \lim_{j->i} (C_j(t_k)-C_i(t_k))$.

$DC(t_k)/C_i(t_k)$ ist als relativer Fehler des Meßwertes $C_i(t_k)$ zu interpretieren. $b(w)$ ist folglich gegeben durch das mittlere Quadrat des relativen Meßfehlers von $C_i(t_k)$. Unterstellt man hierfür einen maximalen Wert von **0,0025** entsprechend einer relativen Standardabweichung von 5 Prozent, so kann der Achsenabschnitt $b(w)$ sicherlich vernachlässigt werden, wenn man sich für den Bereich $MOST(x_j,x_i) >= 0{,}01$ interessiert. Das vereinfachte Modell lautet

$$MOST(x_j,x_i) = a(w) * d(x,x_i). \qquad (8)$$

Im Rahmen des vereinfachten Modells (Gl.8) kann die Abschätzung des Parameter $a(w)$ in folgender Weise erfolgen:

$$a(w) = 1/Nw \sum_{j}^{Nw} MOST(x_j,x_i) / d(x_j,x_i) \qquad (9a)$$

Hierbei gibt Nw die Anzahl der benachbarten Meßorte x_j in der Richtungsklasse w an, die berücksichtigt werden, d.h. für deren Abstand vom Meßort x_i gilt $d(x_j,x_i) < R_{krit}$.

Im Grenzfall Nw = 1 erhält man

$$a(w) = MOST(x_j,x_i) / d(x_j,x_i). \qquad (9b)$$

Die Variante **(9b)** ist im Programmpaket standardmäßig vorgesehen. Folglich wird bei der Bestimmung von $a(w)$ jeweils nur die der Referenzstation x_i nächstgelegene Nachbarstation x_j in der Richtungsklasse w berücksichtigt, sofern $d(x_j,x_i) < R_{krit}$. Dies hat den Vorzug, daß die Interpolation in jedem Schritt leicht nachvollziehbar ist.

Die Eignung des benutzten Modells kann geprüft werden durch grafische Darstellung der berechneten Werte $MOST(x_j,x_i)$ als Funktion des Abstandes $d(x_j,x_i)$ vom Referenz-Meßort x_i. Diese Prüfmöglichkeit ist im realisierten Programm-Paket standardmäßig vorgesehen. In Abschnitt 3 finden sich Beispiele. Anhand derartiger grafischer Darstellungen läßt sich zudem auf einfache Weise der kritische Abstand R_{krit} bestimmen, bis zu dem das Modell anwendbar ist.

Auf der Basis der im vorangehenden Abschnitt vorgestellten Schätzung der modifizierten Strukturfunktion $MOST(x_j,x_i)$ in der Umgebung einer Meßstation x_i

mittels Gl.(8) können Isolinien des Standard-Übertragungsfehlers $rse(C_x)$ gewonnen werden als Lösungen der Gleichung

$$rse(C_x) = \sqrt{MOST(x_j,x_i).} \qquad (10)$$

Sucht man die Isolinie zu einem vorgegebenen Standard-Übertragungsfehler **rse**, beispielsweise **rse=0,10**, so erhält man für den radialen Abstand $d_S(i,w)$ dieser Isolinie vom Meßort x_i als Funktion des Winkels **w** die Relation

$$d_S(i,w) = (rse)^2 / a(w) \ . \qquad (11)$$

Im PC-Programm-Paket wird zunächst mit Hilfe der Gl.(11) in jeder von 36 möglichen Winkelklassen **w** eine Stützstelle der gesuchten Isolinie bestimmt, die innerhalb des kritischen Abstandes R_{krit} eine benachbarte Meßstation aufweist. In leeren Winkelklassen, ohne Nachbarstation innerhalb des Abstandes R_{krit}, wird eine Stützstelle für die gesuchte Isolinie des Übertragungsfehlers durch Interpolation zwischen (mit Nachbarn) besetzten Winkelklassen bestimmt, sofern die Anzahl aufeinanderfolgender leerer Winkelklassen eine festgelegte Anzahl (hier: 12) nicht übertrifft. Sofern genügend Nachbarstationen in der Umgebung des Meßortes x_i vorhanden sind ($>=4$), erhält man auf diese Weise eine geschlossene Isolinie des Übertragungsfehlers **rse**.

Die ermittelten Stützstellen der betrachteten Isolinie des Übertragungsfehlers werden für alle Meßstationen einer betrachteten Umgebung im erstellten Grafik-Programm durch Linienzüge verbunden.

2.3 Einfluß der Integrationszeit

Die berechneten Isolinien des Standard-Übertragungsfehlers **rse** beschreiben die räumliche Repräsentativität eines Meßwertes $C_i(t_k)$ der **betrachteten Integrationszeit** im Mittel über den zugrundeliegenden Meßzeitraum.

Innerhalb einer solchen Isolinie kann die maximale Abweichung lokaler Vergleichswerte $C_x(t_k)$ vom Meßwert $C_i(t_k)$ der Meßstation x_i geschätzt werden durch **2*rse*100** Prozent (auf einem Konfidenzniveau von ca.95 Prozent) /7/.

Durch geeignete Wahl der Schwelle $h > 0$ kann die räumliche Repräsentativität der Meßwerte bei hohen Konzentrationen untersucht werden. Entsprechende Ergebnisse beschreiben die räumliche Repräsentativität eines Meßnetzes in Episoden erhöhter Konzentrationen luftverunreinigender Stoffe. Diese Ergebnisse lassen sich auch auf zugehörige 98-%-Werte übertragen /7/.

Von Interesse ist darüber hinaus die Frage nach der räumlichen Repräsentativität von Werten längerer Integrationszeiten wie Wochen-, Monats- und Jahresmittelwerten. Erwartungsgemäß sollten die Übertragungsfehler bei längeren Integrationszeiten geringer werden.

Die MOST-Funktion von 24-Stunden-Werten liefert hierfür eine erste Näherung, von welcher zu erwarten ist, daß sie die räumlichen Übertragungsfehler der Jahresmittelwerte aus einem Meßnetz deutlich überschätzt /7/. Zur Weiterentwicklung dieser Näherung wurden MOST-Funktionen von Schwefeldioxid für Integrationszeiten zwischen 24 Stunden und 28 Tagen exemplarisch berechnet.

Versuchsweise wurde das Verhältnis der MOST-Funktionen zweier Meßstationen x_i und x_j für zwei Integrationszeiten Dt und Dt_1 beschrieben durch die Relation

$$\frac{MOST(x_j,x_i,Dt)}{MOST(x_j,x_i,Dt_1)} = (Dt_1 / Dt)^a \quad . \qquad (12)$$

Zur Bestimmung des Exponenten a wurden für eine Gruppe von Meßstationen MOST-Funktionen (Ruhrgebiet-Mitte) der Stoffe Schwefeldioxid, Schwebstaub und Stickstoffdioxid für Tagesmittel-, Wochenmittel- und Monatsmittelwerte berechnet. Zugrundegelegt wurde dabei das Meßjahr 1990. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 1-3 im Anhang zusammengestellt.

Der Exponent a ergibt sich als Steigung in einer doppelt-logarithmischen Darstellung entsprechend der Relation

$$\log\left(\frac{MOST(x_j,x_i,Dt)}{MOST(x_j,x_i,Dt_1)}\right) = a * \log(Dt_1 / Dt) \qquad (13)$$

Die Abbildungen 2.3.1 bis 2.3.3 zeigen, in welcher Weise der gewählte Ansatz (13) im Intervall **1 d < = Dt < = 28 d** die Abhängigkeit der MOST-Funktion von der Integrationszeit beschreibt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Exponent **a** und seine Standardabweichung

Stoff	**a**	Standardabw.
Schwefeldioxid (SO2)	-0,51	0,2
Schwebstaub (SSTR)	-0,46	0,2
Stickstoffdioxid (NO2)	-0,38	0,3

Damit wird folgende grobe Abschätzung des Standard-Übertragungsfehler von Vierwochen-Mittelwerten möglich, ausgehend von den Standard-Übertragungsfehlern der entsprechenden Tagesmittelwerte:

SO2: rse(28d) = 0,43 * rse(1d)
SSTR: rse(28d) = 0,46 * rse(1d)
NO2: rse(28d) = 0,53 * rse(1d)

Man erkennt, daß der Standard-Übertragungsfehler **rse** von Vierwochen-Mittelwerten der betrachteten Luftverunreinigungen Schwefeldioxid, Schwebstaub und Stickstoffdioxid **im Mittel über alle betrachteten Meßstationen** etwa halb so groß ist wie derjenige der zugehörigen Tagesmittelwerte.

Interessiert man sich für die räumliche Repräsentativität von Jahresmittelwerten, so sind verschiedene Wege denkbar: Liegen hinreichend lange Zeitreihen (> = **10** Jahre) vor, so können MOST-Funktionen auf der Basis von Jahresmittelwerten berechnet werden. Sollen auf der Basis kürzerer Meßzeiträume (1 Jahr) Aussagen über die räumliche Repräsentativität von Jahresmittelwerten getroffen werden, so empfiehlt es sich im Einzelfall von Vierwochen-Mittelwerten auszugehen.

Unterstellt man die Anwendbarkeit von Gl.(12) bis zu Integrationszeiten **Dt = 365 d = 1 Jahr**, so können Standard-Übertragungsfehler von Jahresmittelwerten aus den Standard-Übertragungsfehlern der entsprechenden Vierwochen-Mittelwerte folgendermaßen abgeschätzt werden:

SO_2: rse(365d) = 0,52 * rse(28d) **(14a)**
SSTR: rse(365d) = 0,55 * rse(28d) **(14b)**
NO_2: rse(365d) = 0,61 * rse(28d) **(14c)**

Es ist davon auszugehen, daß diese Abschätzungen im statistischen Mittel **obere** Grenzen für den Standard-Übertragungsfehler von Jahresmittelwerten der betrachteten

Luftverunreinigungen Schwefeldioxid (SO_2), Schwebstaub (SSTR) und Stickstoffdioxid (NO_2) liefern. Wären aufeinanderfolgende Monatsmittelwerte im statistischen Sinne voneinander unabhängig, so ließe sich der Übertragungsfehler des Jahresmittelwertes folgendermaßen abschätzen:

$$\mathbf{rse(365d) = rse(28d) / \sqrt{12} = rse(28d) * 0{,}29}$$

Dies ist eine **untere** Grenze für den Standard-Übertragungsfehler des Jahresmittelwertes, da die Bedingung der statistischen Unabhängigkeit der Monatsmittelwerte wegen vorhandener Jahresgänge bestenfalls näherungsweise erfüllt ist. Im Folgenden finden die in Gl.(14a,b,c) angegebenen Näherungen Anwendung.

2.4 Interpolation

Jede räumliche Interpolation von Meßwerten oder abgeleiteten Kenngrößen stellt im statistischen Sinne eine Schätzung dar und ist deshalb mit Unsicherheiten behaftet. Die Bewertung derartiger Interpolationen setzt eine Abschätzung der damit verbundenen Schätzvarianz bzw. des Standardfehlers der Schätzung voraus.

Ausgangspunkt ist die folgende, allgemeine Interpolationsvorschrift:

$$C_x(t) = \sum_j g_i * C_i(t) \qquad \text{mit} \quad \sum_i g_i = 1 \qquad (15)$$

$C_x(t)$ ist ein Schätzwert für den gesuchten Meßwert oder die gesuchte Kenngröße am Aufpunkt x zur Zeit t. Dies kann ein Jahres-, Monats-, Tages- oder ein n-Stundenmittelwert sein. $C_i(t)$ beschreibt den entsprechenden Wert zur Zeit t am Meßort x_i (in der Umgebung des Aufpunktes x) und g_i das Gewicht, mit dem der Meßort x_i bei der Interpolation am Aufpunkt x berücksichtigt wird. Die Summation erstreckt sich prinzipiell über alle vorhandene Meßorte, kann jedoch durch geeignete Wahl der Gewichtsfunktion g_i auf die nähere Umgebung des Aufpunktes x beschränkt werden.

Die Anwendung der sogenannten Kriging-Methode /2/ führt zur Bestimmung von Gewichten g_i, welche die Schätzvarianz minimieren, sofern die Annahme einer isotropen Strukturfunktion berechtigt ist. Wie die vorliegenden Ergebnisse (vgl. Abschnitt 3) zeigen, ist diese Annahme bei der Untersuchung von

luftverunreinigenden Stoffen in der Regel nicht erfüllt. Von daher sind Verfahren, welche mit anisotroper Gewichtsfunktion arbeiten, vorzuziehen. Dies ist umso eher möglich, als die hier beschriebene Methodik in der Anwendung wesentlich einfacher ist. Gesucht wird zunächst eine einfach zu handhabende Gewichtsfunktion g_i, welche dem anisotropen Charakter der Isolinien des Standard-Übertragungsfehlers der Meßstationen Rechnung trägt.

Folgender Ansatz wurde gewählt:

$$g_i = \exp(-(r(x_i,x) / r_S(i,w))^2) \qquad (16)$$

mit

$r(x_i,x)$: Abstand des Meßortes x_i vom Aufpunkt x,

$r_S(i,w)$: radiale Ausdehnung einer ausgewählten $s*100$-Prozent-Isolinie des Übertragungsfehlers des Wertes $C_i(t)$ in der Richtungsklasse w, in welcher die Verbindungslinie zwischen dem Aufpunkt x und dem Meßort x_i liegt.

Für die Bestimmung von $r_S(i,w)$ werden im Folgenden jeweils Isolinien des Standardfehlers $s = 0{,}10 = 10$ Prozent herangezogen. Auf diese Weise wird erreicht, daß bei der gleitenden Mittelung gemäß Gl. (15,16) Meßstationen vernachlässigt werden ($g_i < 0{,}02$), deren Standard-Übertragungsfehler am Aufpunkt x mehr als 14 Prozent beträgt.

Eine andere, von der Wirkung her ähnliche Gewichtsfunktion ist die folgende:

$$g_i' = (2 * r_S(i,w) - r(x_i,x)) / (2 * r_S(i,w) + r(x_i,x)) \qquad (17)$$

Tabelle 5 zeigt eine Gegenüberstellung von Werten der Gewichtsfunktionen g_i und g_i'.

Im realisierten PC-Programm findet die in Gl. (16) beschriebene anisotrope Gewichtsfunktion bei der Interpolation Anwendung. Ermittelt werden von diesem Programm interpolierte Kenngrößen für gitterförmig angeordnete Stützstellen, wobei die Rasterweite des orthogonalen Gitters frei wählbar ist (näheres findet sich in Anhang C). Zum Vergleich wurde auch die isotrope Gewichtsfunktion $1/r(x_i,x)$ betrachtet (siehe Abschnitt 4.5).

Tabelle 5: Gegenüberstellung zweier Gewichtsfunktionen

r/r_S	g_i	g_i'
0,0	1,0	1,0
0,1	0,99	0,90
0,2	0,96	0,82
0,5	0,78	0,60
1,0	0,37	0,33
1,5	0,11	0,14
2,0	0,02	0,00

2.5 Interpolationsfehler

Mit Hilfe der Methodik aus Abschnitt **2.1** kann der Fehlerbeitrag jedes Meßortes x_i am Aufpunkt x abgeschätzt werden. Darauf aufbauend läßt sich der Gesamtfehler der Interpolation (Gl. 15) angeben durch die (absolute) Schätzvarianz / 2/.

$$S_e(x)^2 = \sum_i g_i * MOST(x, x_i) * C_i(t)^2 + R, \qquad (18)$$

mit

$$R = 1/2 \sum_j \sum_i g_j * g_i * MOST(x_j, x_i) * C_i(t)^2 . \qquad (19)$$

Aus Gründen der rechnerischen Vereinfachung wurde die Näherung $R = 0$ gewählt. Dies ist zulässig, da das Restglied **R** von zweiter Ordnung in den Gewichten g_i ist und außerdem $R < 0$ gilt. Die Vernachlässigung des Restgliedes durch die Näherung $R = 0$ führt folglich zu einer geringfügigen **Überschätzung** des Wertes von $S_e(x)$.

Die Schätzvarianz einer Interpolation kann mittels Gl.(18) und $R = 0$ auf einfache Weise als gewichtetes Mittel der Beiträge der beteiligten Meßorte abgeschätzt werden. Der relative Standardfehler der Interpolation (Gl.15) ist dann gegeben durch

$$rse(x) = S_e(x) / \sum_i a_i * C_i(t). \qquad (20)$$

Im realisierten PC-Programm wird bei der Ausführung einer Interpolation standardmäßig der zugehörige Schätzfehler gemäß Gl.(20) bestimmt und grafisch dargestellt.

2.6 Rechentechnische Umsetzung

Um die vorstehend beschriebenen Methodenbausteine auf vorhandene Datenbestände anwenden zu können, war es erforderlich, geeignete DV-Rechenprogramme zu erstellen. Die Entwicklung der Programme wurde zunächst an einer Großrechenanlage vom Typ Cyber 960-11 durchgeführt ausgehend von Meßdaten mit einer Integrationszeit von 0,5 Std. Später wurden für Meßdaten mit Integrationszeiten von 0,5 Stunden bis 28 Tagen Versionen ergänzt, welche auf Personal Computern mit mathematischem Coprozessor lauffähig sind. Diese PC-Versionen der erstellten Programme werden im folgenden näher beschrieben.

Das Programmpaket umfaßt 4 selbstständige Programme, welche von einer zentralen Steuerdatei **STRUK** aus in einfacher Weise gehandhabt werden, jedoch auch einzeln gestartet werden können. **Abb. 2.6.1** (Anhang C) gibt eine Übersicht über die Architektur des Programmpaketes. Im einzelnen gehören dazu die Programme

- **STRUCTUR** zur Berechnung der modifizierten Strukturfunktion,
- **MOSTPLO** zur grafischen Darstellung der ermittelten modifizierten Strukturfunktionen,
- **ISOPLOT** zur grafischen Darstellung von Isolinien des Übertragungsfehlers,
- **INPOL** zur räumlichen Interpolation von Kenngrößen der Immission, sowie der zugehörigen Interpolationsfehler.

Nach dem Start der Steuerdatei **STRUK** wird zunächst das Programm **STRUCTUR** aktiviert. Dieses fragt im Dialog folgende Informationen ab:

- **Name** der Datei, welche die zu analysierenden Meßdaten enthält,
- **Schwelle h**, unterhalb der Meßwerte nicht berücksichtigt werden,
- **maximale Distanz**, bis zu der die modifizierte Strukturfunktion ermittelt wird
- **Interpolationsradius**: Abstand, bis zu dem die Modellfunktion (Gl.8) Anwendung findet,
- **rse** relativer Standard-Übertragungsfehler, zu dem Isolinien ermittelt werden sollen.

Nach Eingabe des Datei-Namen prüft das Programm, ob diese Datei den Anforderungen hinsichtlich der Struktur (siehe Anhang) entspricht und gibt Informationen über den Inhalt der Datei oder eine Fehlermeldung auf den Bildschirm. Das Programm **STRUCTUR** ist so angelegt, daß es Zeitreihen von bis zu 100 Meßstationen verarbeiten kann. Die Länge der Zeitreihen ist auf ein Jahr begrenzt.

Nach Bestätigung und Eingabe der genannten Zusatzinformationen berechnet das Programm **STRUCTUR** für alle gefundenen Stationspaarungen aus der Input-Datei, welche die gesetzten Randbedingungen erfüllen, die modifizierte Strukturfunktion. Die Ergebnisse werden zur weiteren Nutzung in 4 Dateien abgelegt:

- Ergebnisdatei **LIS___.PRN**,
- Ergebnisdatei **MOST.DAT**,
- Ergebnisdatei **STR.DAT**,
- Ergebnisdatei **ISOLINES.DAT**.

LIS___.PRN ist ein Druckerfile, welcher die Ergebnisse der Berechnungen in tabellarischer Form enthält. Ein Beispiel ist in **Abb. 2.6.2** wiedergegeben.

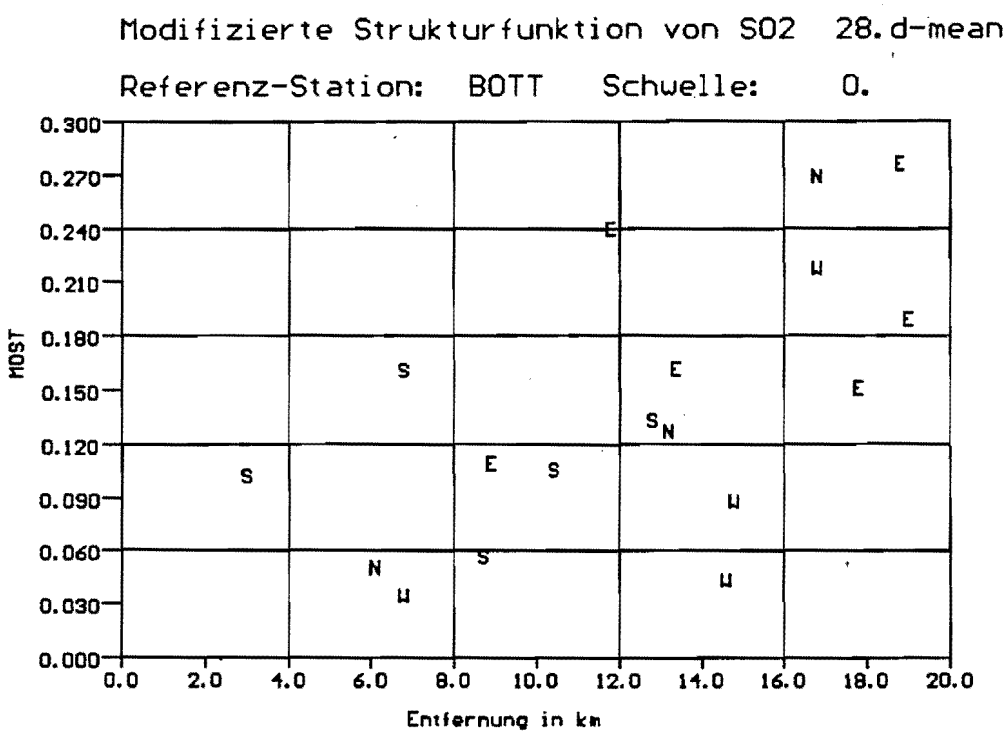
Die Datei **MOST.DAT** enthält im wesentlichen dieselben Informationen wie **LIS___.PRN**, jedoch in einer Form, welche eine grafische Darstellung der modifizierten Strukturfunktion mit Hilfe des nachgeschalteten Programmes **MOSTPLO** ermöglicht. Ein Aufruf des Programmes **MOSTPLO** führt zur grafischen Darstellung der ermittelten modifizierten Strukturfunktionen sämtlicher Meßstationen aus der Input-Datei auf dem Bildschirm. Mit einer geeigneten Print-Screen-Utility können sie über einen Drucker ausgegeben werden. Ein Beispiel, basierend auf den in **Abb. 2.6.2** zusammengestellten Daten, ist in **Abb. 2.6.3** gegeben.

Abb. 2.6.2: Tabelle der modifizierten Strukturfunktion (Beispiel)

Station i: BOTT Zeitraum: 01/01/90-31/12/90
Daten: 28d-Werte, Schwefeldioxid

Station j	d (km)	w (Grad)	M	MOST(i,j)	MOST(i,j)/d
GLAD	6.3	18.4	13	.052	.008
POLS	13.4	26.6	12	.129	.010
HERT	13.6	54.0	12	.163	.012
RECK	19.2	62.1	13	.191	.010
GELS	9.1	83.7	13	.111	.012
HERN	18.0	86.8	12	.153	.008
BOCH	19.0	108.4	12	.278	.015
LEIT	12.0	131.6	13	.241	.020
VESN	8.9	153.4	13	.059	.007
EVOG	3.2	161.6	13	.104	.033
LISE	13.0	180.0	13	.135	.010
ALTE	7.0	180.0	12	.162	.023
STYR	10.6	221.2	12	.107	.010
MEID	14.8	241.7	13	.045	.003
OSTE	7.0	270.0	13	.036	.005
WALS	15.0	270.0	12	.090	.006
BRUC	17.0	298.1	13	.219	.013
DORS	17.0	360.0	13	.271	.016

Abb. 2.6.3:



In **Abb. 2.6.3** erkennt man gut die lineare Abhängigkeit der dargestellten Strukturfunktion vom Abstand. Anhand derartiger Darstellungen kann die Modelleignung auf einfache Weise geprüft werden.

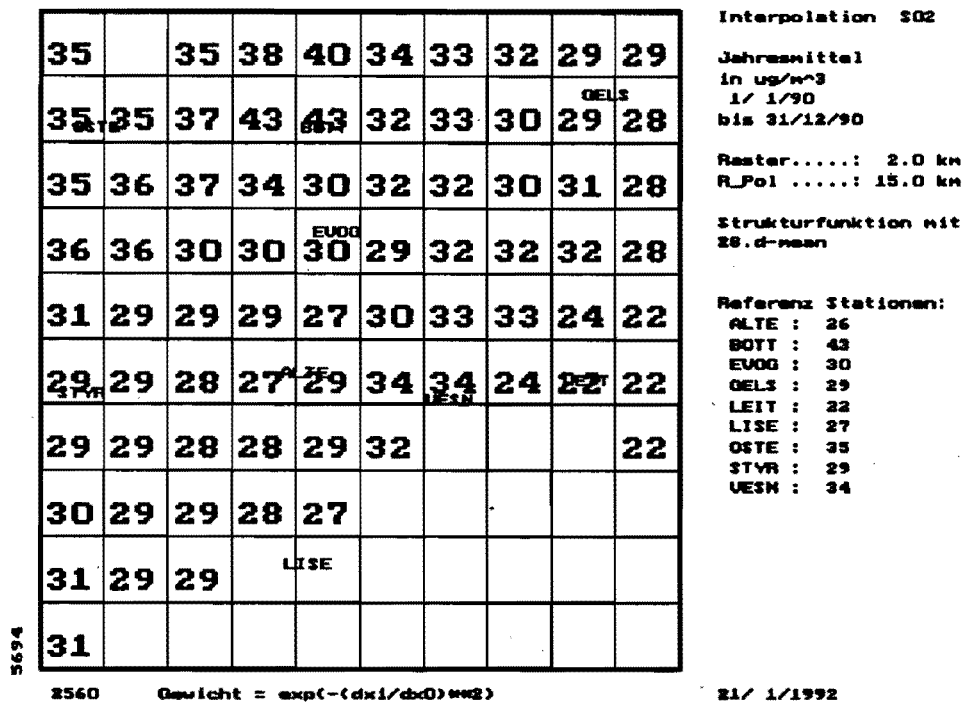
Die Datei **ISOLINES.DAT** enthält die Informationen, welche im nachgeschalteten Programm **ISOPLOT** zur grafischen Darstellung von Isolinien zum Übertragungsfehler **rse** benötigt werden. Ein Aufruf des Programmes **ISOPLOT** führt zur grafischen Darstellung der Isolinien zum Standard-Übertragungsfehler **rse** für alle Meßstationen, welche in einem wählbaren Gebiet von 40 km x 40 km Fläche liegen. Die Auswahl des Gebietes erfolgt über den Namen einer Meßstation aus der Input-Datei, welche im Zentrum des Gebietes angeordnet wird.

Die Datei **STR.DAT** enthält für jede in der Input-Datei aufgeführte Meßstation in 36 Winkelklassen von 10 Grad Weite den Radius der 10-%-Isolinie des Übertragungsfehlers der untersuchten Meßdaten. Diese Informationen werden benötigt, um im nachgeschalteten Programm **INPOL** richtungsabhängige Gewichte für die räumliche Interpolation von Immissionskenngrößen zu bestimmen. Zusätzlich erwartet das Interpolationsprogramm **INPOL** eine Eingabedatei mit den Kenngrößen und Koordinaten der Meßstationen, zwischen denen interpoliert werden soll. Ermittelt werden interpolierte Kenngrößen und die zugehörigen Interpolationsfehler für gitterförmig angeordnete Stützstellen, wobei die Schrittweite (in km) frei wählbar ist. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für ein wählbares quadratisches Gebiet, dessen

Seitenlänge der 10-fachen Schrittweite entspricht. Die Auswahl des Gebietes erfolgt über die Koordinaten des südwestlichen Eckpunktes. Das Programm bietet 5 verschiedene Gewichtsfunktionen zur Auswahl an. Ein Beispiel für eine Darstellung interpolierter Kenngrößen und der zugehörigen Interpolationsfehler im 2 x 2-km^2-Raster ist in **Abb. 2.6.4** gegeben.

Weitere Detail-Informationen zur Handhabung der PC-Programme enthält der Dokumentationsfile **README.TXT**, welcher im Anhang zu finden ist.

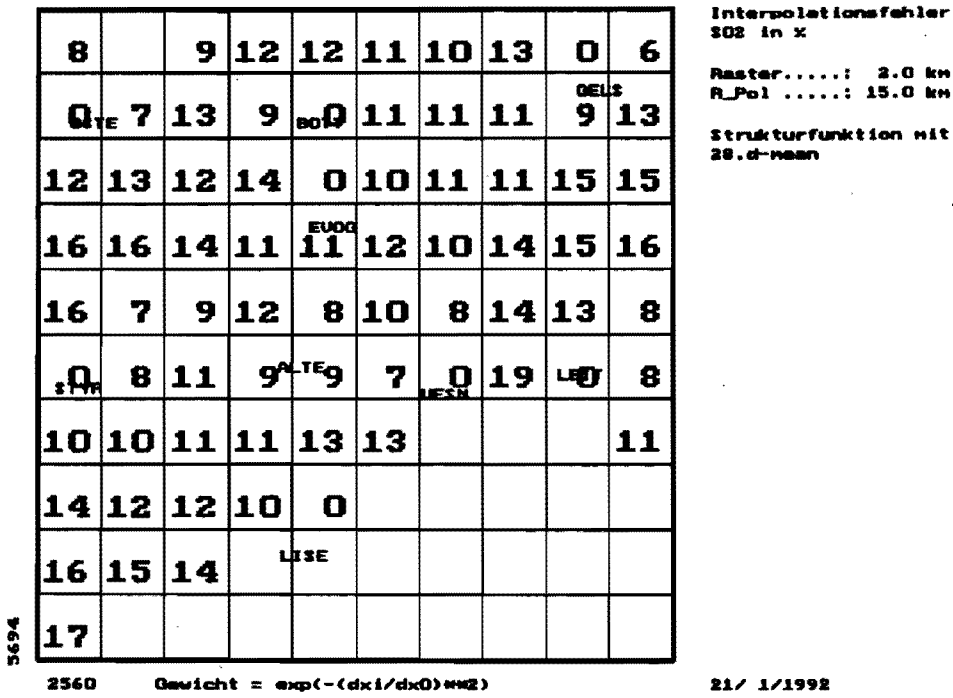
Abb. 2.6.4a: Interpolation Schwefeldioxid Ruhrgebiet-Mitte



3. Ermittelte Übertragungsfehler

In den Abbildungen 3.1.1 - 3.4.5 (siehe Anhang) sind für die Meßgebiete Ruhrgebiet-Ost (RUO), Ruhrgebiet-Mitte (RUM), Ruhrgebiet-West (RUW), Rheinschiene-Mitte (RHM) und Rheinschiene-Süd (RHS) jeweils Isolinien der Übertragungsfehler der betrachteten Meßdaten des Jahres **1990** aus dem Meßnetz **TEMES** /10/ dargestellt.

Abb. 2.6.4b: Interpolationsfehler Schwefeldioxid Ruhrgebiet-Mitte



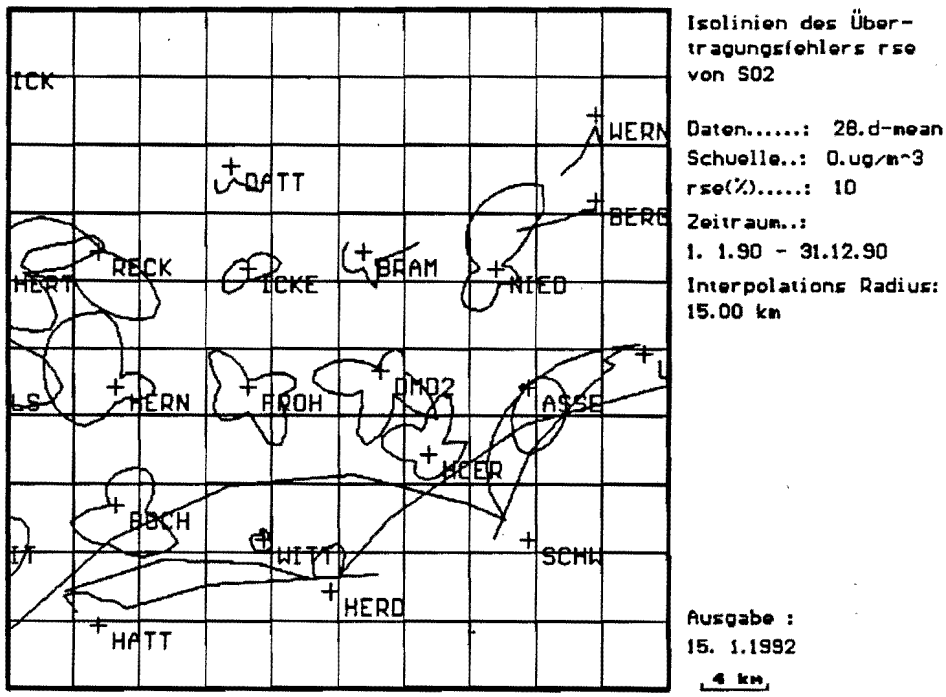
3.1 Schwefeldioxid - Jahresmittelwerte (1990)

In den Abbildungen 3.1.1 - 3.1.5 (siehe Anhang) sind die Isolinien zum Standard-Übertragungsfehler rse = 0,10 = 10 Prozent für Vierwochen-Mittelwerte von Schwefeldioxid für das Jahr 1990 dargestellt. Dabei wurden benachbarte Meßstationen bis zu einem Abstand von **15 km** berücksichtigt (Interpolationsradius = **15 km**). Auf diese Weise wird sichergestellt, daß bei der durchschnittlichen Maschenweite des Meßnetzes von 8 **km** jeweils nur die benachbarten Meßstationen berücksichtigt werden und so das unterstellte lineare Modell der Strukturfunktion nicht überstrapaziert wird. Ergeben sich auf diese Weise Isolinien mit radialer Ausdehnung von mehr als **15 km**, so ist eine besondere Prüfung ihrer Schlüssigkeit erforderlich. In Abbildung 3.1.1 ist dies der Fall für die Randstationen in Hattingen (HATT), Herdecke (HERD) und Schwerte (SCHW).

Zur Bewertung und zum Vergleich der dargestellten Isolinien sind jeweils die zugehörigen Jahresmittelwerte unterhalb der Abbildung angegeben. Für die Meßstation Schwerte (SCHW) mit einem Jahresmittelwert von 19 $\mu g/m^3$ erhält man ein nicht-schlüssiges Ergebnis, da die zugehörige 10-%-Isolinie die Meßstation WITT mit einem Jahresmittel von 15 $\mu g/m^3$ umfaßt. Wie die nachfolgende Abbildung 3.1.1a zeigt, kommt man mit einem Interpolationsradius von **20 km** für die Randstationen Hattingen (HATT), Herdecke (HERD) und Schwerte (SCHW) zu

schlüssigeren Ergebnissen. Für die übrigen Meßstationen wird die Interpretation der Ergebnisse beim Interpolationsradius von **20 km** jedoch schwieriger. Ein Vergleich zeigt jedoch, daß man mit dem Interpolationsradius von **15 km** zu konservativen Abschätzungen der räumlichen Repräsentativität der Meßdaten gelangt, d.h. eher zu Unterschätzungen der durch die Meßstation repräsentierten Fläche als zu Überschätzungen.

Abb 3.1.1 a: Schwefeldioxid Ruhrgebiet Ost



Die Wahl der **10**-Prozent-Isolinien erfolgte willkürlich, um möglichst übersichtliche Darstellungen zu gewinnen. Das wichtigste festzustellende Merkmal dieser Isolinien ist ihre Verschiedenartigkeit und die unterschiedliche Ausdehnung in unterschiedliche Richtungen (Anisotropie).

Eine besonders dichte Überdeckung des Meßgebietes durch die von den dargestellten Isolinien eingeschlossenen Flächen ist gegeben zwischen den Meßstationen in Herten (HERT), Recklinghausen (RECK), Gelsenkirchen (GELS) und Herne (HERN) sowie im Raum Essen durch die Meßstationen in Vogelheim (EVOG), Altendorf (ALTE) und Essen-Ost (VESN). Auch im Raum Düsseldorf sowie im Raum Köln, Leverkusen zeigen die vorhandenen Meßstationen eine große räumliche Repräsentativität für Monatsmittel von Schwefeldioxid. Teilweise ist es jedoch nicht leicht, die dargestellten Isolinien den vorhandenen Meßstationen zuzuordnen.

3.2 Stickstoffdioxid - Jahresmittelwerte (1990)

In den Abbildungen 3.2.1-3.2.5 (siehe Anhang) sind die Isolinien des Standard-Übertragungsfehlers **rse = 0,07 = 7** Prozent der Vierwochen-Mittelwerte von Stickstoffdioxid des Jahres **1990** dargestellt. Auch hier fand ein Interpolationsradius von **15 km** Verwendung, da an allen vorhanden TEMES-Stationen Stickstoffdioxid gemessen wird. Die zugehörigen Jahresmittelwerte sind unterhalb der Abbildungen zusammengestellt. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß diese Ergebnisse in der Regel nicht für den Nahbereich stark befahrener Straßen übertragbar sind.

Die Auswahl der 7-Prozent-Isolinien erfolgte willkürlich, um möglichst übersichtliche Darstellungen zu gewinnen. Die entsprechenden Isolinien zum Standard-Übertragungsfehler **rse = 10** Prozent hätten dieselbe Gestalt, jedoch die doppelte radiale Ausdehnung und wären deshalb teilweise schwierig zuzuordnen.

Auch bei Stickstoffdioxid wird die stark ausgeprägte Richtungsabhängigkeit der dargestellten Isolinien deutlich. Auch die eingeschlossenen Flächen als Zeichen der Flächenrepräsentanz weisen große Unterschiede zwischen den Meßstationen auf. Die größte Flächenrepräsentanz weisen die Meßstationen im mittleren Ruhrgebiet (Abb. 3.2.2) und im westlichen Ruhrgebiet (Abb. 3.2.3) auf. Die verkehrsnahe Meßstation in Essen (VESN) weist interessanterweise eine vergleichsweise große räumliche Repräsentativität auf, während die verkehrsnahe Meßstation in Düsseldorf (VDDF) eine sehr geringe räumliche Repräsentativität aufweist.

Nach den Ausführungen in Teil 2 ist für Orte innerhalb der dargestellten Isolinien der Standard-Übertragungsfehler des Jahresmittelwertes von Stickstoffdioxid der eingeschlossenen Meßstation kleiner als 3,5 Prozent.

3.3 Schwebstaub - Jahresmittelwerte (1990)

In den Abbildungen 3.3.1-3.3.5 (siehe Anhang) sind die Isolinien des Standard-Übertragungsfehlers **rse = 0,05 = 5** Prozent der Vierwochen-Mittelwerte für Schwebstaub des Jahres **1990** dargestellt. Da Schwebstaub an allen TEMES-Stationen gemessen wird, fand auch hier ein Interpolationsradius von **15 km** Verwendung. Die Auswahl der 5-Prozent-Isolinien erfolgte willkürlich, um möglichst übersichtliche Darstellungen zu gewinnen. Die entsprechenden Isolien zum Standardfehler **10** Prozent hätten die vierfache radiale Ausdehnung und wären deshalb teilweise schwierig zuzuordnen.

Auch bei Schwebstaub erkennt man große Unterschiede in der räumlichen Repräsentativität der Meßstationen sowie in den Richtungsabhängigkeiten. Nach den Ausführungen in Teil 2 ist für Orte innerhalb der dargestellten Isolinien der Standard-Übertragungsfehler des Jahresmittelwertes von Schwebstaub der eingeschlossenen Meßstation auf jeden Fall kleiner als 2,5 Prozent.

3.4 Ozon-2-Std-Mittel > 180 $\mu g/m^3$ (1990)

Aus Wirkungsgründen werden bei Ozon nicht die Jahresmittelwerte, sondern 2-Std-Mittelwerte, welche die Schwelle 180 $\mu g/m^3$ überschreiten, als Grundlage für die Berechnungen gewählt. In Episoden, welche diese Bedingungen erfüllen, werden in NRW empfindlichen Personengruppen über die Medien Verhaltensregeln übermittelt. Die räumliche Repräsentativität des vorhandenen Meßnetzes in derartigen Episoden ist deshalb von besonderem Interesse. Die resultierenden Isolinien zum Standard-Übertragungsfehler rse = 0,10 = 10 Prozent für 2-Std-Mittel oberhalb von 180 $\mu g/m^3$ sind in den Abbildungen 3.4.1-3.4.5 (siehe Anhang) zusammengestellt. Die Abbildungen enthalten Ergebnisse für diejenigen Meßstationen des TEMES-Netzes, an denen 1990 Ozon mindestens 9 Monate gemessen wurde. Bei der Ermittlung wurden Meßstationen bis zu einem Abstand von 30 km von der Referenzstation berücksichtigt.

Im Vergleich zu den übrigen betrachteten Komponenten erkennt man die sehr viel größere räumliche Repräsentativität der registrierten 2-Std-Werte von Ozon, sofern diese die Schwelle 180 $\mu g/m^3$ überschreiten.

4. Ergebnisse der Interpolation

In den Abbildungen 4.1.1-4.4.5 (siehe Anhang) sind für die Meßgebiete Ruhrgebiet-Ost (RUO), Ruhrgebiet-Mitte (RUM), Ruhrgebiet-West (RUW), Rheinschiene-Mitte (RHM) und Rheinschiene-Süd (RHS) jeweils folgende Ergebnisse, basierend auf Meßdaten des Jahres 1990 aus dem Meßnetz TEMES /10/, grafisch dargestellt:

(a) Interpolierte Kenngrößen,
(b) Interpolationsfehler in Prozent.

4.1 Schwefeldioxid - Jahresmittelwerte (1990)

In den Abbildungen 4.1.1 - 4.1.5 (siehe Anhang) sind die interpolierten Jahresmittelwerte für die durch das angegebene 4x4-km^2-Gitter definierten Schnittpunkten zusammengestellt. Zugrundegelegt wurden dabei Gewichte entsprechend Gl. (16), wobei als Bezug $r_S(i,w)$ die 10-%-Isolinien des Übertragungsfehlers von Monatsmittelwerten herangezogen wurden.

Die angegebenen Interpolationsfehler (jeweils Abb.4.1..,b) der Jahresmittelwerte liegen zwischen 0 und 23 Prozent. Ein Fehler von 0 Prozent ist angegeben, wenn die betrachtete Kenngröße von einer in unmittelbarer Nachbarschaft gelegenen TEMES-Station (Abstand kleiner als 1km) herangezogen wurde. Bei den angegebenen Interpolationsfehlern ist zu berücksichtigen, daß es sich um obere Grenzen handelt,

wie in Abschnitt 2.3 dargestellt. Gemessen am IW1-Wert von 140 $\mu g/m^3$ erscheinen die ermittelten Interpolationsfehler bei einem Niveau der Jahresmittelwerte zwischen 20 und 35 $\mu g/m^3$ vertretbar.

4.2 Stickstoffdioxid - Jahresmittelwerte (1990)

In den Abbildungen 4.2.1 - 4.2.5 (siehe Anhang) sind die interpolierten Jahresmittelwerte für die durch das angegebene 4x4-km^2-Gitter definierten Schnittpunkten zusammengestellt. Zugrundegelegt wurden dabei Gewichte entsprechend Gl.(16), wobei als Bezug r_S die 10-%-Isolinien des Übertragungsfehlers von Monatsmittelwerten herangezogen wurden.

Die angegebenen Interpolationsfehler (jeweils Abb.4.2..,b) der Jahres-mittelwerte liegen zwischen 0 und 17 Prozent. Ein Fehler von 0 Prozent ist angegeben, wenn die betrachtete Kenngröße von einer in unmittelbarer Nachbarschaft gelegenen TEMES-Station (Abstand kleiner als 1km) herangezogen wurde. Bei den angegebenen Interpolationsfehlern ist zu berücksichtigen, daß es sich um obere Grenzen handelt, wie in Abschnitt 2.3 dargestellt. Bei einem Konzentrationsniveau zwischen ca. 30 und 60 $\mu g/m^3$ für den Jahresmittelwert erscheinen die angegebenen Interpolationsfehler vertretbar gemessen am IW1-Wert von 80 $\mu g/m^3$. Interessant ist, daß in der Nachbarschaft der berücksichtigten verkehrsnahen Meßstationen in Essen (VESN) und in Düsseldorf (VDDF) die ermittelten Interpolationsfehler keine besonderen Auffälligkeiten zeigen.

4.3 Schwebstaub - Jahresmittelwerte (1990)

In den Abbildungen 4.3.1 - 4.3.5 (siehe Anhang) sind die interpolierten Jahresmittelwerte für die durch das angegebene 4x4-km^2-Gitter definierten Schnittpunkten zusammengestellt. Zugrundegelegt wurden dabei Gewichte entsprechend Gl.(16), wobei als Bezug r_S die 10-%-Isolinien des Übertragungsfehlers von Monatsmittelwerten herangezogen wurden.

Die angegebenen Interpolationsfehler (jeweils Abb.4.3..,b) der Jahresmittelwerte liegen zwischen 0 und 23 Prozent. Ein Fehler von 0 Prozent ist angegeben, wenn die betrachtete Kenngröße von einer in unmittelbarer Nachbarschaft gelegenen TEMES-Station (Abstand kleiner als 1km) herangezogen wurde. Bei den angegebenen Interpolationsfehlern ist dabei zu berücksichtigen, daß es sich hierbei um obere Grenzen handelt, wie in Abschnitt 2.3 dargestellt. Bei einem Konzentrationsniveau zwischen ca. 40 und 65 $\mu g/m^3$ für den Jahresmittelwert erscheinen die angegebenen Interpolationsfehler vertretbar gemessen am IW1-Wert von 150 $\mu g/m^3$.

4.4 Ozon-2-Std-Mittel > 180 $\mu g/m^3$ (04.08.1990)

In den Abbildungen 4.4.1 - 4.4.5 (siehe Anhang) sind beispielhaft interpolierte 2-Stundenmittelwerte für die durch das angegebene 4x4-km^2-Gitter definierten Schnittpunkten zusammengestellt. Betrachtet wurde die durch erhöhte Ozon-Konzentrationen charakterisierte Situation am 4. August 1990 um 16:00 Uhr. Zugrundegelegt wurden dabei Gewichte entsprechend Gl. (16), wobei als Bezug r_S die 10-%-Isolinien des Übertragungsfehlers von 2-Stundenmittelwerten, welche die Schwelle 180 $\mu g/m^3$ übertreffen, herangezogen wurden.

Die angegebenen Interpolationsfehler (jeweils Abb.4.4..,b) der Jahresmittelwerte liegen zwischen 0 und 11 Prozent. Ein Fehler von 0 Prozent ist angegeben, wenn die betrachtete Kenngröße von einer in unmittelbarer Nachbarschaft gelegenen TEMES-Station (Abstand kleiner als 1km) herangezogen wurde. Man erkennt so deutlich, daß durch die bestehenden Ozon-Meßstellen im Rhein-Ruhrgebiet in Episoden erhöhter Konzentration die räumliche Verteilung der Ozon-Konzentrationen im Meßgebiet mit großer Zuverlässigkeit abgeschätzt werden kann.

5. Diskussion

Die Resultate der vorstehenden Analyse zeigen, daß die räumliche Repräsentativität der Meßdaten aus dem TEMES-Netz mit Hilfe der hier angewandten Methodik analysiert und veranschaulicht werden kann. Dabei zeigen sich **stoffabhängige, richtungsabhängige** und **ortsabhängige** Unterschiede bei den berechneten Isolinien des Standard-Übertragungsfehlers, welche zur Charakterisierung der räumlichen Repräsentativität herangezogen werden. Die Berücksichtigung dieser Unterschiede ist wichtig bei der Interpolation von Meßdaten und Kenngrößen innerhalb eines Meßnetzes.

Die vorgestellten Ergebnisse der räumlichen Interpolation zeigen, mit welchen geringen Unsicherheiten die Verteilung der untersuchten Luftverunreinigungen im Rhein-Ruhr-Gebiet durch Meßnetz TEMES erfaßt wird. Dies gilt insbesondere auch für die kurzzeitigen Konzentrationen von Ozon in sommertäglichen Episoden. Die angewandte Methodik erweist sich als ein geeignetes Instrumentarium zur quantitativen Analyse von Meßdaten aus ausgedehnten Meßnetzen zur Überwachung der Luftqualität. Insbesondere wird damit auch ein Vergleich der Aussagekraft von Meßdaten aus Luftqualitätsmeßnetzen möglich, die nach unterschiedlichen Kriterien konzipiert worden sind. Voraussetzung für die Anwendbarkeit der beschriebenen Methodik ist allein das Vorliegen zeitgleicher Meßdaten an den Stationen des zu untersuchenden Meßnetzes.

Der Vorteil der hier beschriebenen Methodik zur räumlichen Interpolation von Kenngrößen der Immissionsbelastung mit einer richtungsabhängigen Gewichtsfunktion wird deutlich, wenn man einen Vergleich mit einer üblichen richtungsunabhängigen Ge-

wichtsfunktion durchführt. Nachfolgende Abb. **4.1.1c** zeigt die Interpolation des Jahresmittelwertes von Schwefeldioxid mittels der Gewichtsfunktion $1/r(x_i,x)$ und die zugehörigen Interpolationsfehler für das östliche Ruhr-Gebiet (RUO). Ferner erkennt man deutlich, daß die in Abb. **4.1.1d** angegebenen Interpolationsfehler diejenigen aus Abb. **4.1.1.b** teilweise deutlich übertreffen. Aus der durchgeführten richtungsabhängigen Gewichtung mittels Gl.(16) resultieren folglich die geringeren Interpolationsfehler.

Die beschriebene Methodik der räumlichen Interpolation ermöglicht des weiteren eine Optimierung bestehender Meßnetze. Einerseits wird es möglich, zu erkennen, wo weitere Meßstationen zur Verringerung der Interpolationsfehler wünschenswert sein könnten. Andererseits kann durch gezielte Unterdrückung der Meßdaten bestimmter Stationen untersucht werden, welchen Einfluß eine Entfernung der betrachteten Meßstationen aus dem Meßnetz auf die Zuverlässigkeit der Erfassung der räumlichen Strukturen haben würde.

Abb 4.1.1c: Interpolation Schwefeldioxid Ruhrgebiet Ost

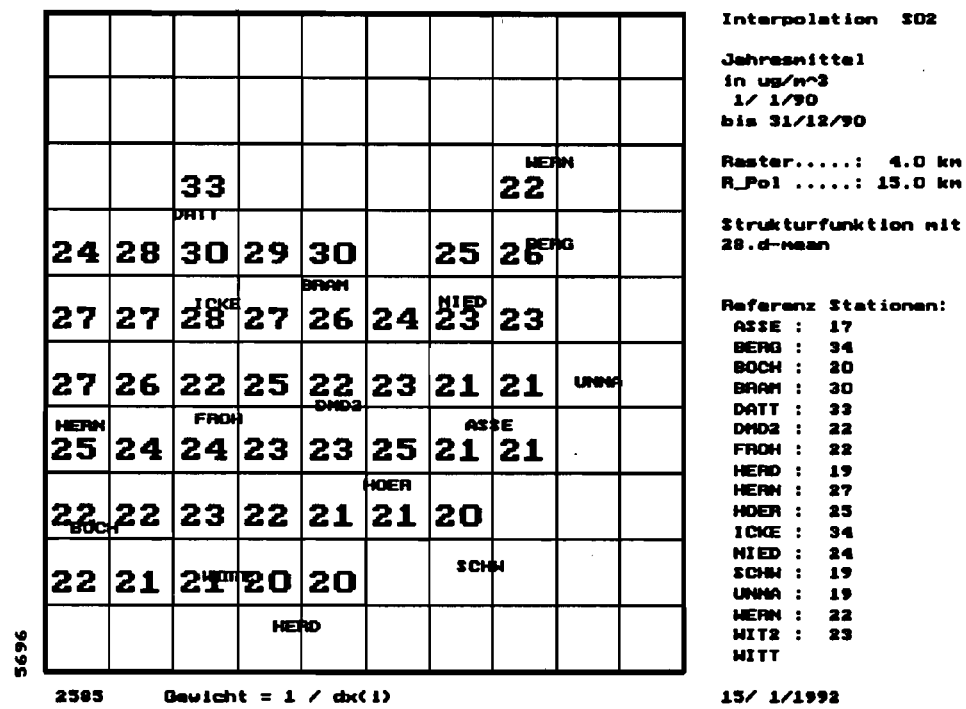
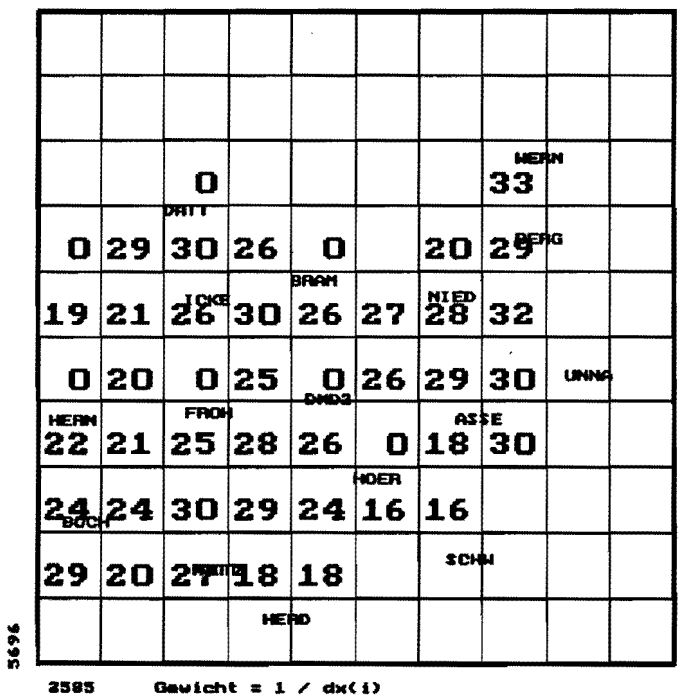


Abb 4.1.1.d : Interpolationsfehler Schwefeldioxid Ruhrgebiet Ost



Literatur:

/1/ Thiebaux, H.J. and M.A. Peddler: "Spatial Objective Analysis: with applications in atmospheric science", Academic Press,London 1987.

/2/ Dutter, R.: "Geostatistik", Teubner, Stuttgart (1985).

/3/ Munn, R.E.: "The Design of Air Quality Monitoring Networks", Macmillan Publishers Ltd.,London (1981).

/4/ Van Egmond, N.D. and D. Onderdelinden: Objective analysis of air pollution monitoring network data; spatial interpolation and network density , Atmospheric Environment, Vol. 15, 1035-1046 (1981)

/5/ Langstaff J., C. Seigneur and M-K. Liu: Design of an optimum Air Quality Monitoring Network for Exposure Assessments, Atmospheric Environment, Vol 21, 1393-1410 (1987)

/6/ Fedorov, V.V.: Kriging and other estimators of spatial field characteristics (with special reference to environmental studies) Atmospheric Environment, Vol. 23, 175-184 (1989).

/7/ Grimm, J.W. and Lynch J.A.: Statistical analysis of errors in estimation wet deposition using five surface estimation algorithms, Atmospheric Environment, Vol 25A, 317-327 (1991).

/8/ Beier, R. und A. Doppelfeld: Analyse der räumlichen Repräsentativität automatischer Meßnetze der Luftqualität, LIS-Berichte, Nr. 89, Essen (1989).

/9/ Beier, R., M. Buck and H.-U. Pfeffer: Air Quality Monitoring Network Veryfication in North Rhine-Westphalia, in L.J. Brasser and W.C. Mulder (Eds.), Man and his Ecosystem. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress 1989, The Hague, The Netherlands, Volume 3, 55-60.

/10/ Pfeffer, H.U.: Das Telemetrische Echtzeit Mehrkomponenten Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen, LIS-Berichte Nr. 19, Essen (1982).

Tabelle 1: Modifizierte Strukturfunktion MOST.
Komp: Schwefeldioxid Jahr: 1990 Gebiet: Ruhrgebiet Mitte

MOST(i,j,Dt)

Stationspaar i/j	Dt=24 h	Dt=7 d	Dt=14 d	Dt=28 d
OSTE/BOTT	0.586	0.112	0.088	0.065
OSTE/STYR	0.201	0.053	0.041	0.035
OSTE/EVOG	0.274	0.068	0.050	0.041
OSTE/ALTE	0.256	0.095	0.086	0.082
DORS/POLS	0.661	0.210	0.162	0.140
GLAD/BOTT	0.707	0.186	0.126	0.108
GLAD/EVOG	0.217	0.052	0.033	0.028
GLAD/POLS	0.211	0.095	0.069	0.065
GLAD/HERT	0.154	0.074	0.066	0.062
GLAD/GELS	0.222	0.043	0.033	0.025
BOTT/OSTE	0.120	0.050	0.041	0.036
BOTT/GLAD	0.214	0.072	0.057	0.052
BOTT/EVOG	0.192	0.120	0.108	0.104
BOTT/ALTE	0.224	0.167	0.163	0.165
BOTT/GELS	0.171	0.122	0.115	0.111
STYR/OSTE	0.343	0.111	0.076	0.062
STYR/EVOG	0.195	0.034	0.023	0.015
STYR/ALTE	0.141	0.033	0.025	0.022
STYR/LISE	0.184	0.045	0.020	0.017
EVOG/OSTE	0.610	0.163	0.121	0.086
EVOG/GLAD	0.322	0.096	0.070	0.059
EVOG/BOTT	1.356	0.511	0.398	0.326
EVOG/STYR	0.220	0.050	0.037	0.026
EVOG/ALTE	0.206	0.048	0.034	0.028
EVOG/GELS	0.206	0.069	0.047	0.032
EVOG/LEIT	0.260	0.107	0.095	0.091
ALTE/OSTE	0.628	0.281	0.218	0.187
ALTE/BOTT	1.453	0.741	0.604	0.547
ALTE/STYR	0.225	0.074	0.044	0.035
ALTE/EVOG	0.211	0.083	0.056	0.045
ALTE/LISE	0.229	0.078	0.041	0.042
ALTE/LEIT	0.159	0.072	0.048	0.036
LISE/STYR	0.158	0.040	0.027	0.023
LISE/ALTE	0.115	0.038	0.024	0.024
SICK/POLS	0.253	0.114	0.045	0.035
POLS/DORS	0.137	0.084	0.071	0.065
POLS/GLAD	1.144	0.293	0.167	0.146
POLS/SICK	0.270	0.080	0.044	0.032
POLS/HERT	0.329	0.089	0.039	0.022
HERT/GLAD	1.034	0.174	0.135	0.123
HERT/POLS	0.290	0.117	0.063	0.032
HERT/GELS	0.431	0.077	0.044	0.027
HERT/RECK	0.129	0.031	0.019	0.009
HERT/HERN	0.481	0.105	0.087	0.041
GELS/GLAD	0.417	0.081	0.060	0.042

Tabelle 1: Fortsetzung (Schwefeldioxid)
MOST(i,j,Dt)

Stationspaar i/j	Dt=24 h	Dt=7 d	Dt=14 d	Dt=28 d
GELS/BOTT	1.175	0.480	0.357	0.284
GELS/EVOG	0.218	0.060	0.039	0.029
GELS/HERT	0.133	0.052	0.027	0.017
GELS/LEIT	0.148	0.086	0.074	0.063
GELS/HERN	0.135	0.036	0.041	0.016
LEIT/EVOG	1.044	0.413	0.311	0.228
LEIT/ALTE	0.614	0.248	0.152	0.076
LEIT/GELS	0.788	0.354	0.211	0.124
LEIT/BOCH	0.304	0.094	0.047	0.026
LEIT/HATT	0.244	0.072	0.045	0.027
RECK/HERT	0.217	0.054	0.024	0.011
RECK/HERN	0.650	0.188	0.111	0.062
RECK/DATT	1.706	0.435	0.306	0.307
RECK/ICKE	2.104	0.445	0.271	0.232
HERN/HERT	0.182	0.062	0.035	0.026
HERN/GELS	0.220	0.041	0.034	0.021
HERN/RECK	0.174	0.059	0.043	0.030
HERN/BOCH	0.240	0.119	0.104	0.079
HERN/FROH	0.096	0.055	0.047	0.037
BOCH/LEIT	0.258	0.083	0.054	0.034
BOCH/HERN	0.655	0.292	0.232	0.165
BOCH/HATT	0.262	0.050	0.038	0.029
BOCH/WITT	0.177	0.085	0.067	0.049
HATT/LEIT	0.215	0.076	0.052	0.033
HATT/BOCH	0.311	0.111	0.074	0.046
DATT/RECK	0.186	0.114	0.091	0.084
DATT/ICKE	1.144	0.250	0.156	0.089
ICKE/RECK	0.161	0.105	0.093	0.089
ICKE/DATT	1.438	0.268	0.176	0.141
ICKE/FROH	0.189	0.145	0.133	0.127
FROH/HERN	0.367	0.132	0.126	0.064
FROH/ICKE	1.060	0.485	0.398	0.343
FROH/WITT	0.138	0.078	0.070	0.072
WITT/BOCH	0.787	0.341	0.207	0.099
WITT/FROH	0.525	0.166	0.151	0.145

Tabelle 2: Modifizierte Strukturfunktion MOST.
Komp: Schwebstaub Jahr: 1990 Gebiet: Ruhrgebiet Mitte

MOST(i,j,Dt)

Stationspaar				
i/j	Dt = 24h	Dt = 7d	Dt = 14d	Dt = 28d
OSTE/BOTT	0.076	0.054	0.031	0.026
OSTE/STYR	0.385	0.268	0.165	0.143
OSTE/EVOG	0.140	0.072	0.050	0.023
OSTE/ALTE	0.084	0.047	0.037	0.026
DORS/POLS	0.757	0.396	0.336	0.326
GLAD/BOTT	0.174	0.098	0.070	0.029
GLAD/EVOG	0.278	0.108	0.093	0.041
GLAD/POLS	0.098	0.031	0.022	0.016
GLAD/HERT	0.195	0.093	0.074	0.035
GLAD/GELS	0.380	0.176	0.133	0.057
BOTT/OSTE	0.039	0.028	0.020	0.018
BOTT/GLAD	0.055	0.036	0.029	0.019
BOTT/EVOG	0.074	0.037	0.033	0.016
BOTT/ALTE	0.090	0.074	0.066	0.059
BOTT/GELS	0.103	0.033	0.018	0.012
STYR/OSTE	0.099	0.080	0.072	0.069
STYR/EVOG	0.067	0.050	0.051	0.037
STYR/ALTE	0.144	0.129	0.125	0.120
STYR/LISE	0.084	0.055	0.045	0.044
EVOG/OSTE	0.074	0.038	0.056	0.017
EVOG/GLAD	0.120	0.057	0.065	0.027
EVOG/BOTT	0.110	0.074	0.083	0.021
EVOG/STYR	0.193	0.113	0.118	0.061
EVOG/ALTE	0.089	0.060	0.063	0.051
EVOG/GELS	0.110	0.044	0.055	0.011
EVOG/LEIT	0.067	0.031	0.043	0.012
ALTE/OSTE	0.209	0.087	0.074	0.040
ALTE/BOTT	0.360	0.206	0.151	0.119
ALTE/STYR	0.684	0.466	0.421	0.325
ALTE/EVOG	0.227	0.129	0.134	0.106
ALTE/LISE	0.435	0.210	0.143	0.117
ALTE/LEIT	0.248	0.109	0.087	0.065
LISE/STYR	0.450	0.129	0.088	0.084
LISE/ALTE	0.203	0.074	0.059	0.054
SICK/POLS	0.149	0.023	0.010	0.004
POLS/DORS	0.138	0.120	0.113	0.111
POLS/GLAD	0.094	0.034	0.025	0.020
POLS/SICK	0.066	0.017	0.010	0.004
POLS/HERT	0.168	0.050	0.046	0.035
HERT/GLAD	0.095	0.043	0.036	0.025
HERT/POLS	0.080	0.029	0.027	0.022
HERT/GELS	0.214	0.044	0.024	0.015
HERT/RECK	0.131	0.078	0.073	0.071
HERT/HERN	0.211	0.048	0.027	0.017
GELS/GLAD	0.095	0.055	0.044	0.030

Tabelle 2: Forstsetzung (Schwebstaub)

MOST(i,j,Dt)

Stationspaar i/j	Dt=24 h	Dt= 7d	Dt= 14d	Dt = 28d
GELS/BOTT	0.052	0.032	0.016	0.011
GELS/LEIT	0.046	0.026	0.019	0.016
GELS/HERN	0.048	0.018	0.009	0.005
LEIT/EVOG	0.069	0.031	0.032	0.014
LEIT/ALTE	0.074	0.047	0.041	0.036
LEIT/GELS	0.090	0.043	0.030	0.023
LEIT/BOCH	0.053	0.024	0.015	0.009
LEIT/HATT	0.072	0.051	0.047	0.042
RECK/HERT	0.734	0.247	0.218	0.189
RECK/HERN	1.098	0.362	0.289	0.254
RECK/DATT	0.124	0.043	0.038	0.029
RECK/ICKE	0.487	0.193	0.174	0.149
HERN/HERT	0.215	0.033	0.017	0.013
HERN/GELS	0.262	0.023	0.010	0.004
HERN/RECK	0.256	0.098	0.090	0.089
HERN/BOCH	0.303	0.018	0.011	0.009
HERN/FROH	0.251	0.040	0.035	0.033
BOCH/LEIT	0.036	0.016	0.011	0.008
BOCH/HERN	0.080	0.025	0.016	0.013
BOCH/HATT	0.072	0.054	0.052	0.048
BOCH/WITT	0.074	0.038	0.030	0.026
HATT/LEIT	0.194	0.099	0.089	0.074
HATT/BOCH	0.219	0.108	0.097	0.082
DATT/RECK	0.195	0.061	0.047	0.033
DATT/ICKE	0.912	0.337	0.272	0.192
ICKE/RECK	0.397	0.078	0.071	0.066
ICKE/DATT	0.139	0.099	0.096	0.082
ICKE/FROH	0.474	0.079	0.060	0.039
FROH/HERN	0.228	0.080	0.063	0.059
FROH/ICKE	0.370	0.131	0.092	0.068
FROH/WITT	0.163	0.068	0.056	0.062
WITT/BOCH	0.054	0.031	0.021	0.018
WITT/FROH	0.060	0.039	0.034	0.037
GELS/EVOG	0.050	0.026	0.026	0.008

Tabelle 3: Modifizierte Strukturfunktion MOST.
Komp: Stickstoffdioxid Jahr: 1990
Gebiet:Ruhrgebiet Mitte

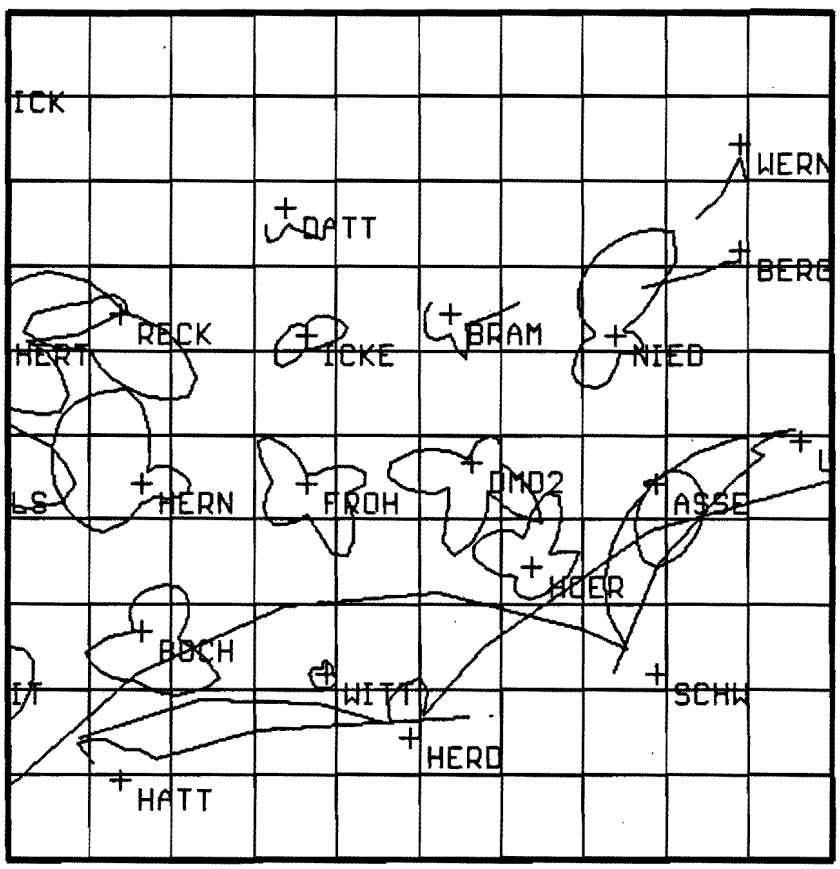
MOST(i,j,Dt)

Stationspaar i/j	Dt=24 h	Dt=7 d	Dt=14 d	Dt=28 d
OSTE/BOTT	0.083	0.029	0.021	0.012
OSTE/STYR	0.056	0.023	0.019	0.018
OSTE/EVOG	0.154	0.063	0.045	0.034
OSTE/ALTE	0.065	0.040	0.033	0.026
DORS/POLS	0.044	0.014	0.009	0.007
GLAD/BOTT	0.160	0.068	0.061	0.056
GLAD/EVOG	0.216	0.073	0.055	0.032
GLAD/POLS	0.046	0.016	0.008	0.004
GLAD/HERT	0.061	0.015	0.013	0.010
GLAD/GELS	0.165	0.075	0.073	0.067
BOTT/OSTE	0.050	0.019	0.016	0.010
BOTT/GLAD	0.058	0.037	0.035	0.033
BOTT/EVOG	0.128	0.062	0.050	0.034
BOTT/ALTE	0.067	0.048	0.045	0.037
BOTT/GELS	0.052	0.018	0.015	0.011
STYR/OSTE	0.095	0.042	0.034	0.029
STYR/EVOG	0.170	0.066	0.049	0.028
STYR/ALTE	0.050	0.017	0.015	0.011
STYR/LISE	0.034	0.015	0.014	0.012
EVOG/OSTE	0.862	0.453	0.354	0.088
EVOG/GLAD	0.369	0.181	0.106	0.028
EVOG/BOTT	0.643	0.357	0.223	0.084
EVOG/STYR	0.330	0.171	0.107	0.027
EVOG/ALTE	0.315	0.176	0.120	0.041
EVOG/GELS	0.625	0.393	0.246	0.077
EVOG/LEIT	0.296	0.144	0.092	0.027
ALTE/OSTE	0.157	0.084	0.067	0.048
ALTE/BOTT	0.187	0.100	0.088	0.064
ALTE/STYR	0.072	0.023	0.019	0.013
ALTE/EVOG	0.242	0.116	0.093	0.056
ALTE/LISE	0.045	0.021	0.019	0.015
ALTE/LEIT	0.062	0.026	0.022	0.015
LISE/STYR	0.076	0.024	0.021	0.017
LISE/ALTE	0.075	0.039	0.032	0.025
SICK/POLS	0.048	0.024	0.017	0.014
POLS/DORS	0.070	0.019	0.012	0.009
POLS/GLAD	0.060	0.016	0.008	0.004
POLS/SICK	0.098	0.035	0.025	0.019
POLS/HERT	0.100	0.035	0.026	0.018
HERT/GLAD	0.038	0.012	0.010	0.007
HERT/POLS	0.055	0.024	0.020	0.013
HERT/GELS	0.114	0.052	0.043	0.037
HERT/RECK	0.043	0.013	0.009	0.006
HERT/HERN	0.055	0.016	0.013	0.011
GELS/GLAD	0.073	0.040	0.040	0.039

Tabelle 3: Fortsetzung (Stickstoffdioxid)

	MOST(i,j,Dt)			
Stationspaar				
i/j	Dt=24 h	Dt=7 d	Dt=14 d	Dt=28 d
GELS/BOTT	0.065	0.016	0.014	0.009
GELS/EVOG	0.134	0.056	0.047	0.033
GELS/HERT	0.070	0.028	0.025	0.023
GELS/LEIT	0.084	0.051	0.049	0.047
GELS/HERN	0.070	0.038	0.037	0.037
LEIT/EVOG	0.219	0.078	0.062	0.034
LEIT/ALTE	0.081	0.026	0.021	0.014
LEIT/GELS	0.217	0.101	0.091	0.082
LEIT/BOCH	0.066	0.016	0.012	0.009
LEIT/HATT	0.062	0.013	0.007	0.004
RECK/HERT	0.071	0.015	0.010	0.007
RECK/HERN	0.079	0.016	0.011	0.008
RECK/DATT	0.034	0.007	0.006	0.004
RECK/ICKE	0.094	0.022	0.013	0.008
HERN/HERT	0.076	0.022	0.019	0.016
HERN/GELS	0.140	0.069	0.066	0.060
HERN/RECK	0.064	0.018	0.013	0.009
HERN/BOCH	0.051	0.013	0.010	0.008
HERN/FROH	0.040	0.012	0.011	0.009
BOCH/LEIT	0.065	0.015	0.011	0.008
BOCH/HERN	0.070	0.015	0.012	0.010
BOCH/HATT	0.065	0.018	0.012	0.010
BOCH/WITT	0.122	0.059	0.050	0.038
HATT/LEIT	0.046	0.013	0.007	0.005
HATT/BOCH	0.051	0.017	0.013	0.011
DATT/RECK	0.047	0.009	0.007	0.004
DATT/ICKE	0.132	0.034	0.023	0.015
ICKE/RECK	0.050	0.015	0.009	0.006
ICKE/DATT	0.051	0.019	0.014	0.010
ICKE/FROH	0.054	0.026	0.023	0.021
FROH/HERN	0.060	0.016	0.015	0.013
FROH/ICKE	0.117	0.042	0.036	0.031
FROH/WITT	0.138	0.065	0.058	0.050
WITT/BOCH	0.051	0.033	0.030	0.023
WITT/FROH	0.070	0.042	0.039	0.031

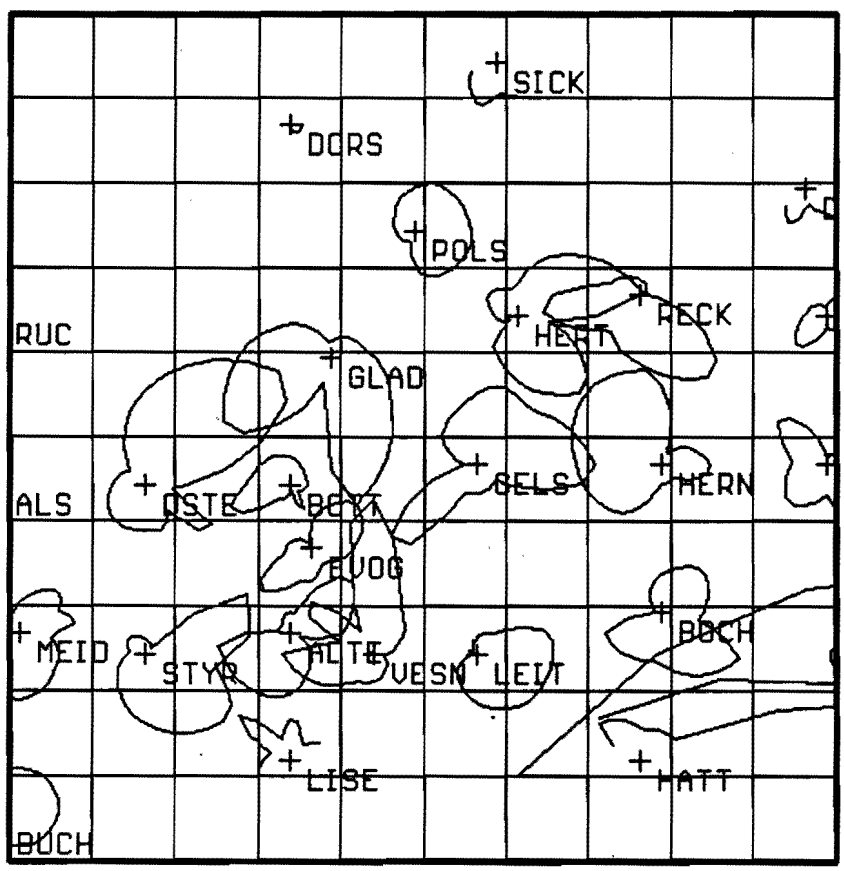
Abb 3.1.1 : Schwefeldioxid Ruhrgebiet Ost



Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

DATT : 33	WERN : 22	HERT : 26	RECK : 24
ICKE : 34	BRAM : 30	NIED : 24	BERG : 34
HERN : 27	FROH : 22	DMD2 : 22	ASSE : 17
HOER : 25	BOCH : 20	WITT : 15	SCHW : 19
HATT : 20	HERD : 19		

Abb. 3.1.2 : Schwefeldioxid Ruhrgebiet Mitte



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von SO2

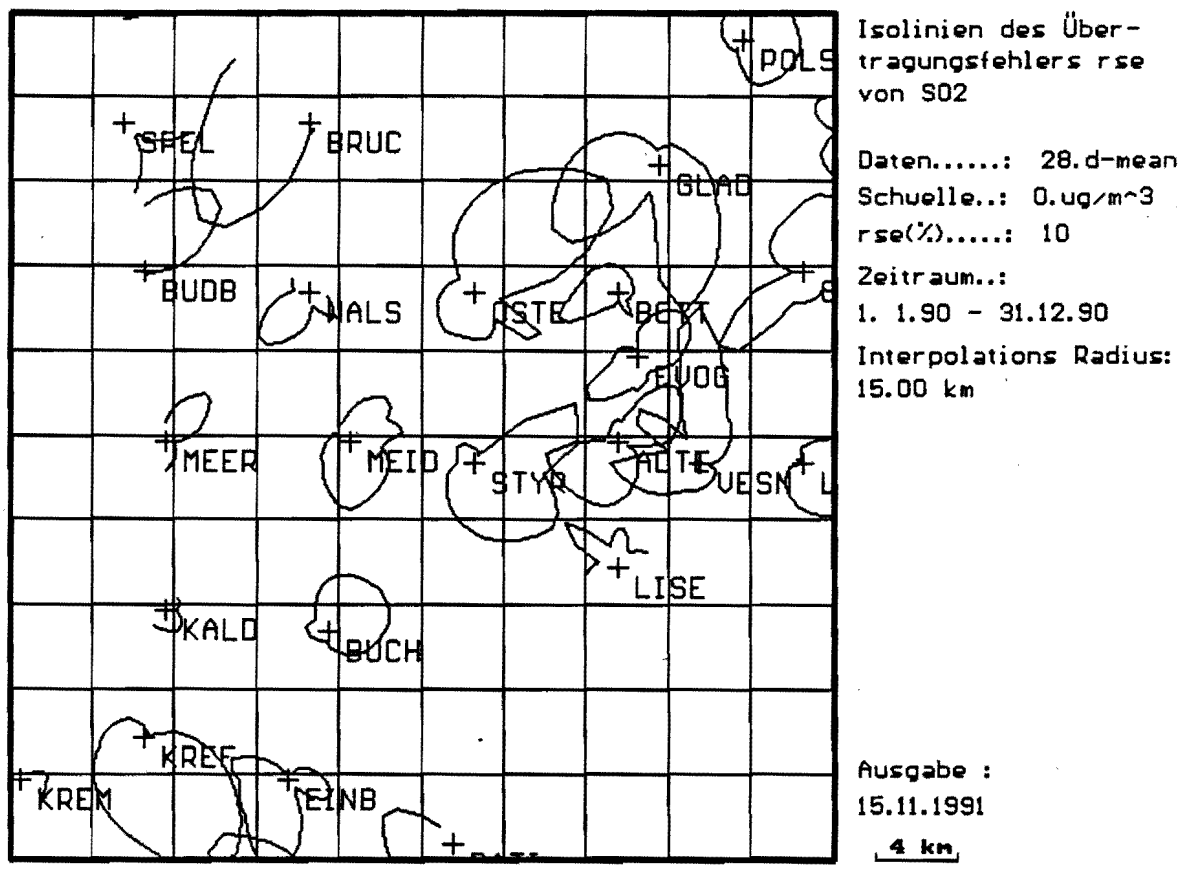
Daten.....: 28.d-mean
Schuelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 10
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

Ausgabe :
15.11.1991
4 km

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

ALTE : 26	BOCH : 20	BOTT : 43	DATT : 33
DORS : 21	EVOG : 30	FROH : 22	GELS : 29
GLAD : 34	HATT : 20	HERN : 27	HERT : 26
ICKE : 34	LEIT : 22	LISE : 27	OSTE : 35
POLS : 28	RECK : 24		

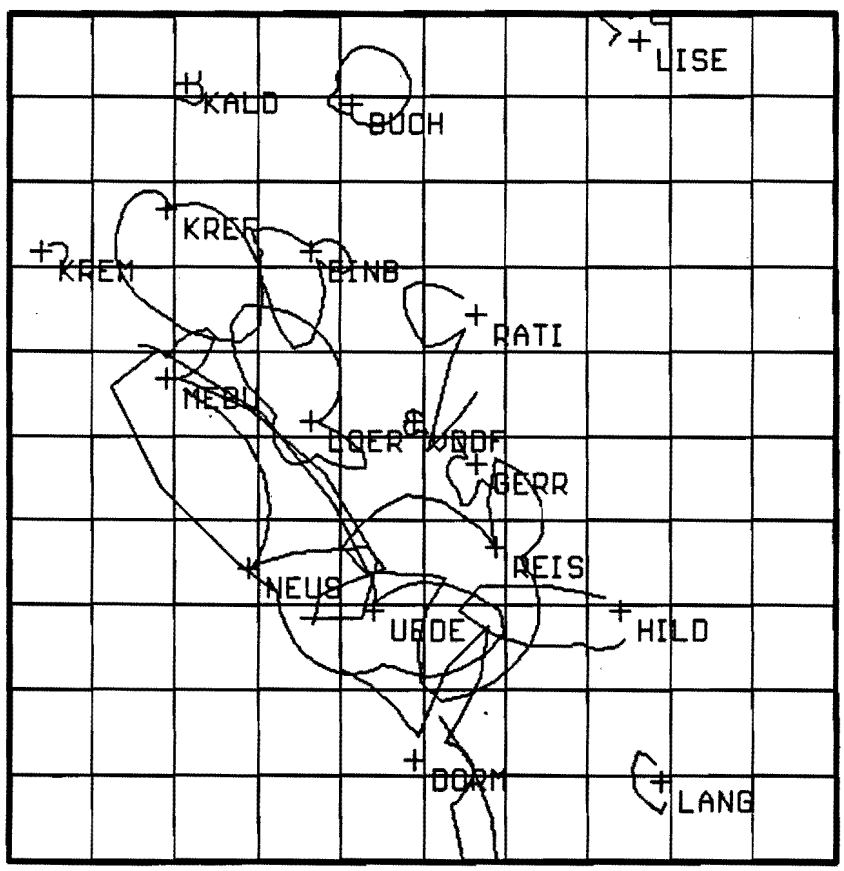
Abb. 3.1.3 : Schwefeldioxid Ruhrgebiet West



Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

SPEl : 22	BRUC : 23	POLS : 28	GLAD : 34
BUDB : 21	WALS : 31	OSTE : 35	BOTT : 43
EVOG : 30	MEER : 33	MEID : 36	STYR : 29
ALTE : 26	VESN : 34	KALD : 29	BUCH : 35
LISE : 27	KREM : 20	KREF : 22	EINB : 21

Abb. 3.1.4 : Schwefeldioxid Rheinschiene Mitte



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von SO2

Daten.....: 28.d-mean
Schwelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 10
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

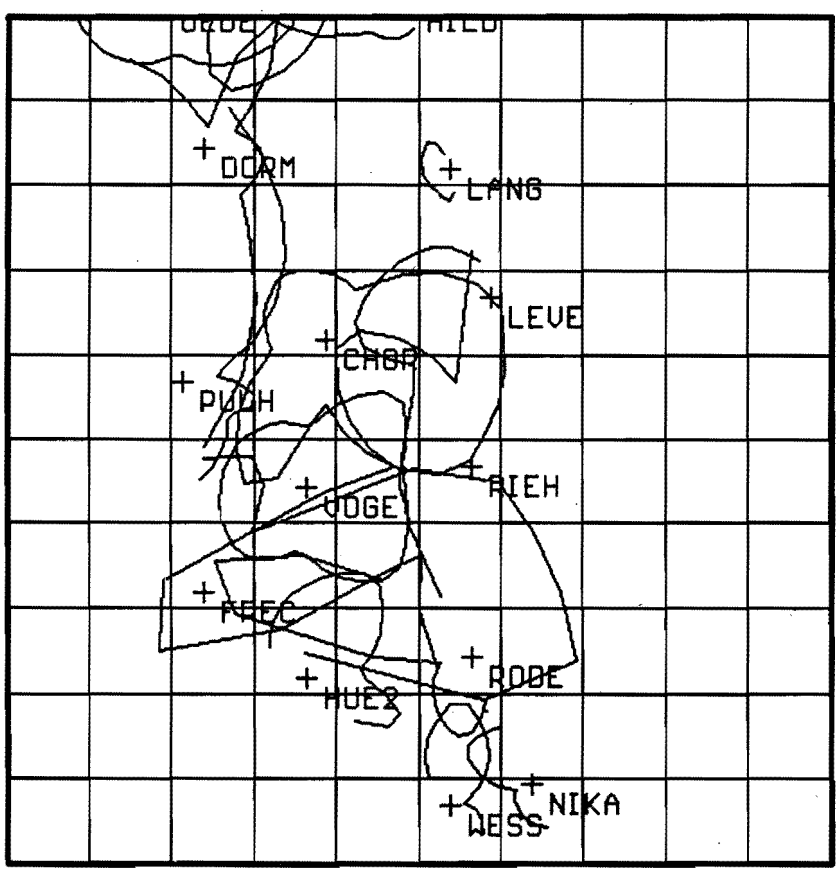
Ausgabe :
15.11.1991

4 km

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

KALD : 29	BUCH : 35	LISE : 27	KREM : 20
KREF : 22	EINB : 21	MEBU : 22	RATI : 24
LOER : 21	VDDF : 36	GERR : 29	NEUS : 21
UEDE : 23	HILD : 24	DORM : 21	LANG : 19

Abb. 3.1.5 : Schwefeldioxid Rheinschiene Süd



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von SO2

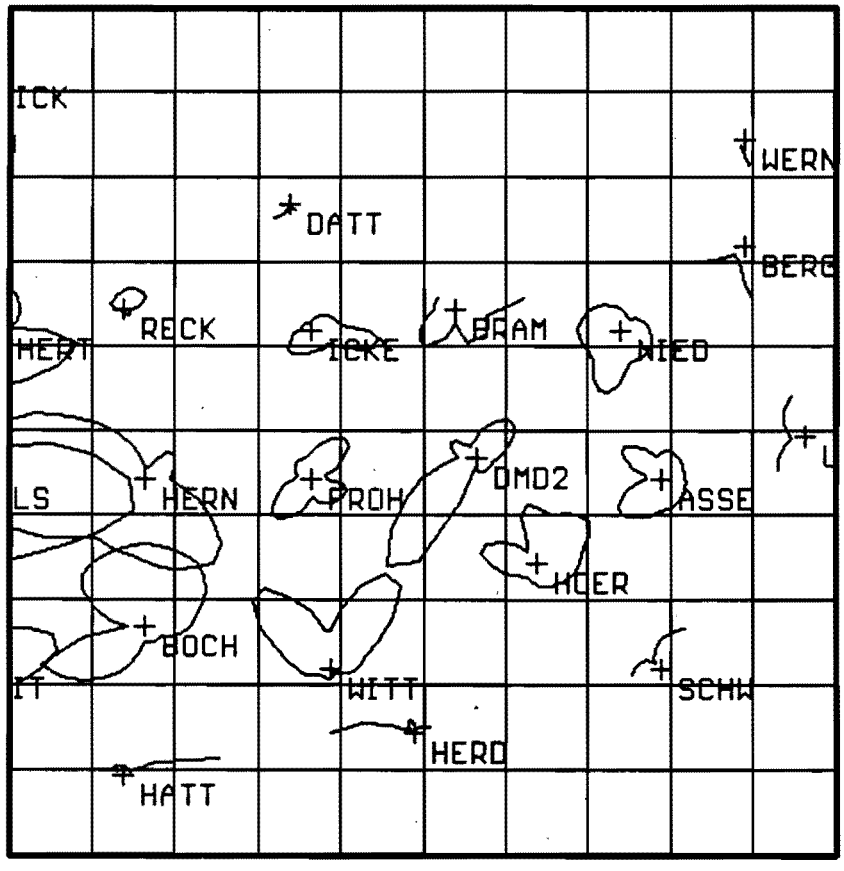
Daten.....: 28.d-mean
Schwelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 10
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

Ausgabe :
15.11.1991
4 km

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

DORM : 21	LANG : 19	PULH : 21	CHOR : 22
LEVE : 22	VOGE : 24	RIEH : 22	FREC : 22
HUE2 : 25	RODE : 22	WESS : 22	NIKA : 23

Abb 3.2.1 : Stickstoffdioxid Ruhrgebiet Ost



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von NO2

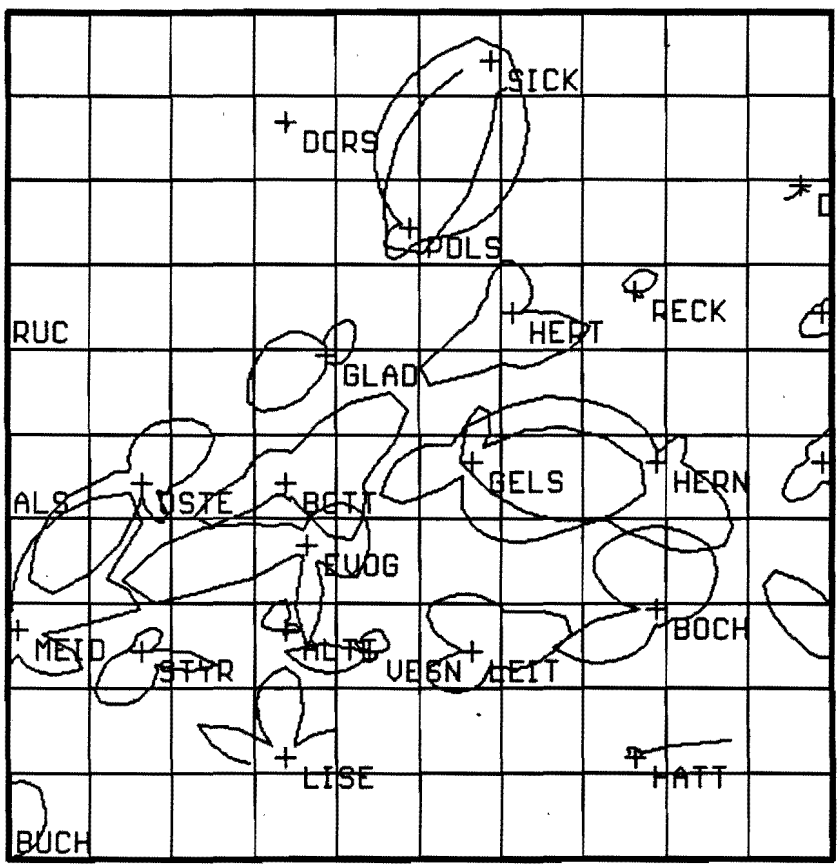
Daten.....: 28.d-mean
Schuelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 7
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

Ausgabe :
15.11.1991

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

WERN : 21	DATT : 32	HERT : 44	RECK : 33
ICKE : 42	BRAM : 38	NIED : 42	HERN : 45
FROH : 37	DMD2 : 47	ASSE : 39	BOCH : 41
HOER : 40	WITT : 45	SCHW : 35	HATT : 32
HERD : 31			

Abb. 3.2.2 : Stickstoffdioxid Ruhrgebiet Mitte



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von NO2

Daten.....: 28.d-mean
Schuelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 7
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

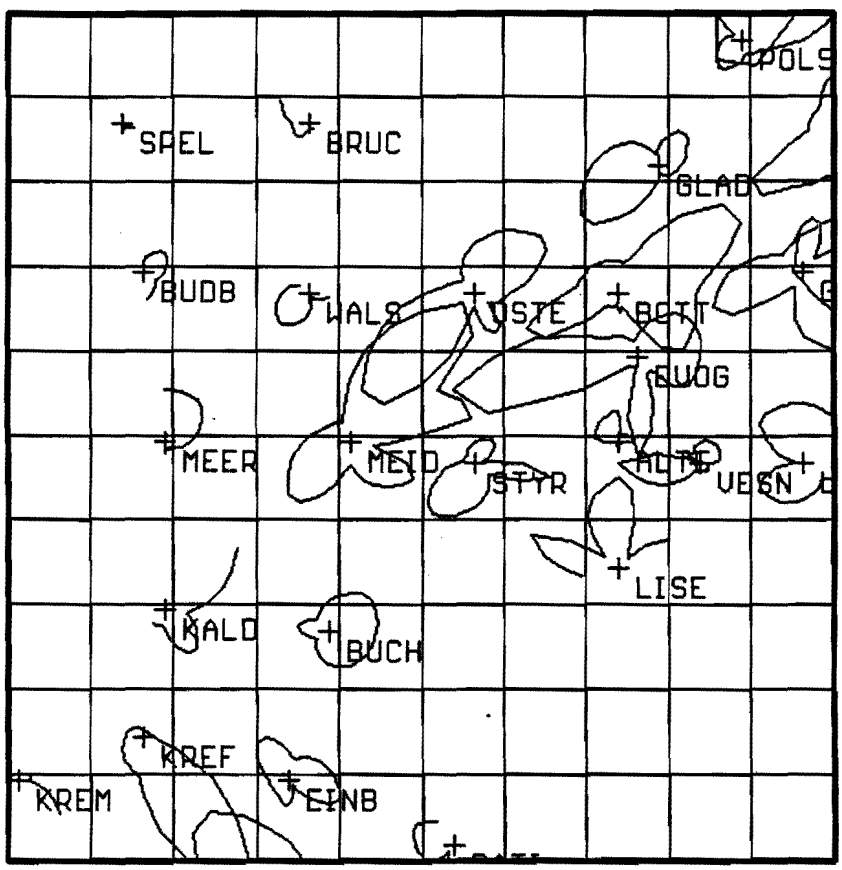
Ausgabe :
15.11.1991

4 km

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

SICK : 38	DORS : 26	POLS : 37	GLAD : 39
HERT : 44	RECK : 33	OSTE : 39	BOTT : 44
GELS : 44	HERN : 45	EVOG : 43	MEID : 40
STYR : 52	ALTE : 34	VESN : 51	LEIT : 40
BOCH : 41	BUCH : 48	LISE : 42	HATT : 32

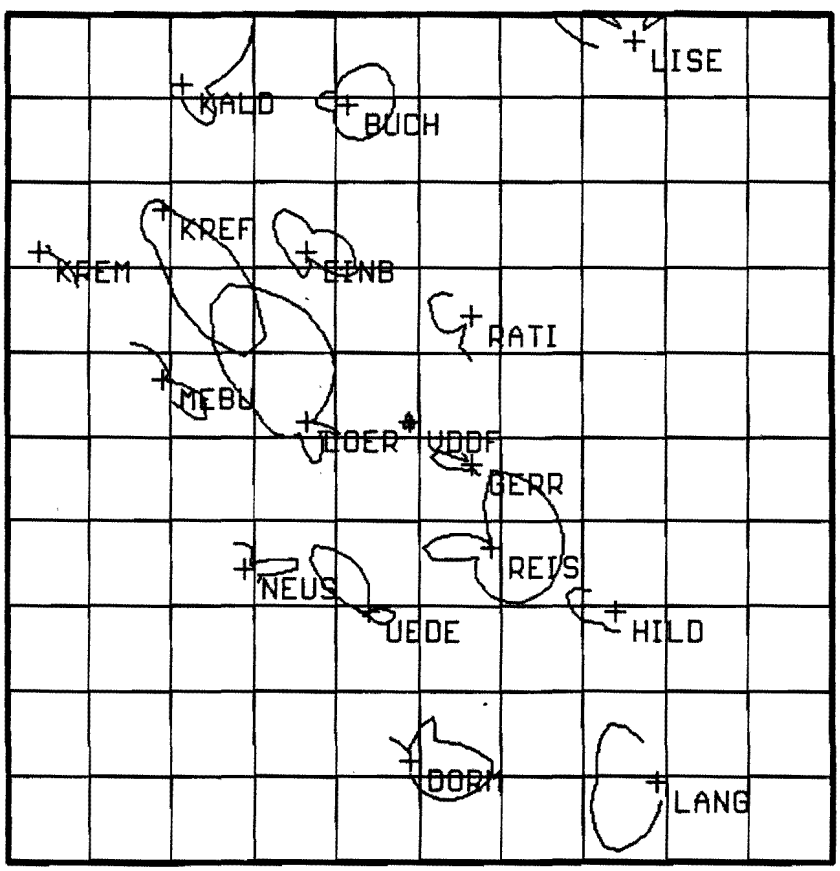
Abb. 3.2.3 : Stickstoffdioxid Ruhrgebiet West



Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

SPEL : 24	BRUC : 28	POLS : 37	GLAD : 39
BUDB : 33	WALS : 35	OSTE : 39	BOTT : 44
EVOG : 43	MEER : 36	MEID : 40	STYR : 52
ALTE : 34	VESN : 51	LISE : 42	KALD : 42
BUCH : 48	KREM : 34	KREF : 36	EINB : 41

Abb. 3.2.4 : Stickstoffdioxid Rheinschiene Mitte



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von NO2

Daten.....: 28.d-mean
Schuelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 7
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

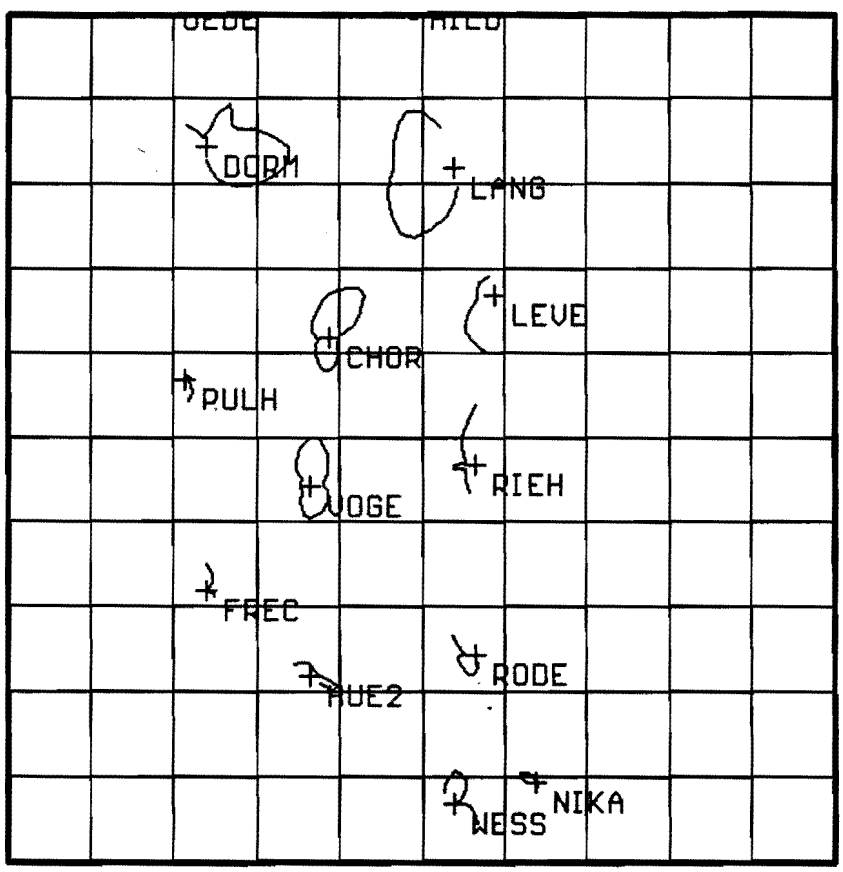
Ausgabe :
15.11.1991

4 km

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

KALD : 42	BUCH : 48	LISE : 42	KREM : 34
KREF : 36	EINB : 41	MEBU : 33	RATI : 41
LOER : 34	VDDF : 64	GERR : 37	NEUS : 39
REIS : 42	UEDE : 33	HILD : 38	DORM : 47
LANG : 44			

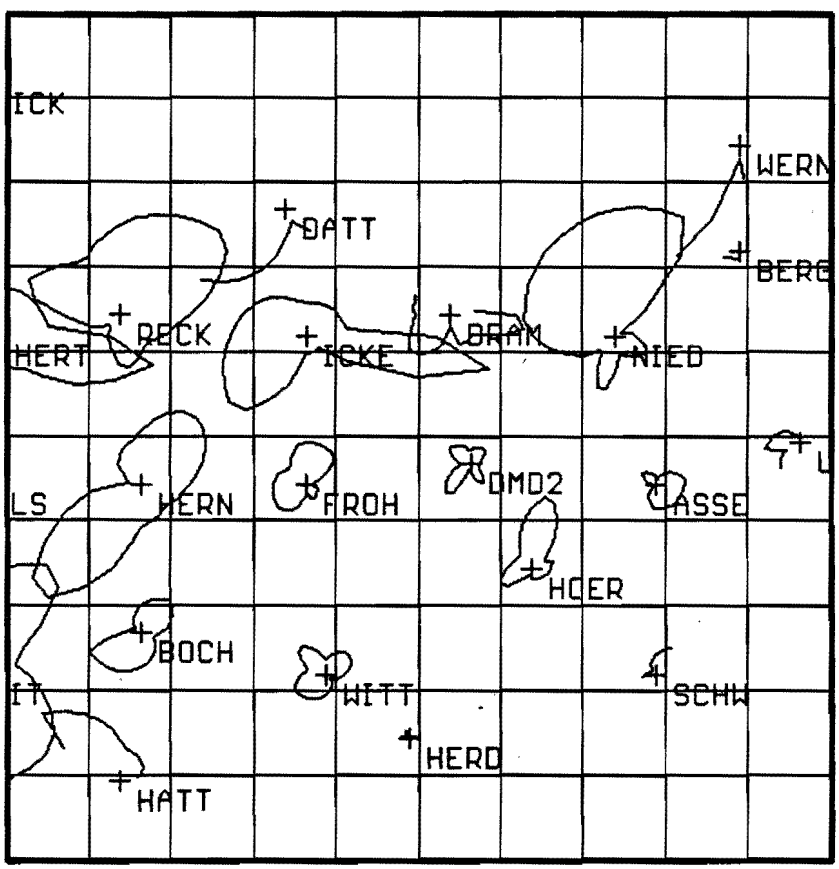
Abb. 3.2.5 : Stickstoffdioxid Rheinschiene Süd



Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

DORM : 47	LANG : 44	CHOR : 40	LEVE : 51
PULH : 32	VOGE : 45	RIEH : 53	FREC : 33
HUE2 : 39	RODE : 45	WESS : 53	NIKA : 32

Abb. 3.3.1 : Schwebstoffe Ruhrgebiet Ost



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von SSTR

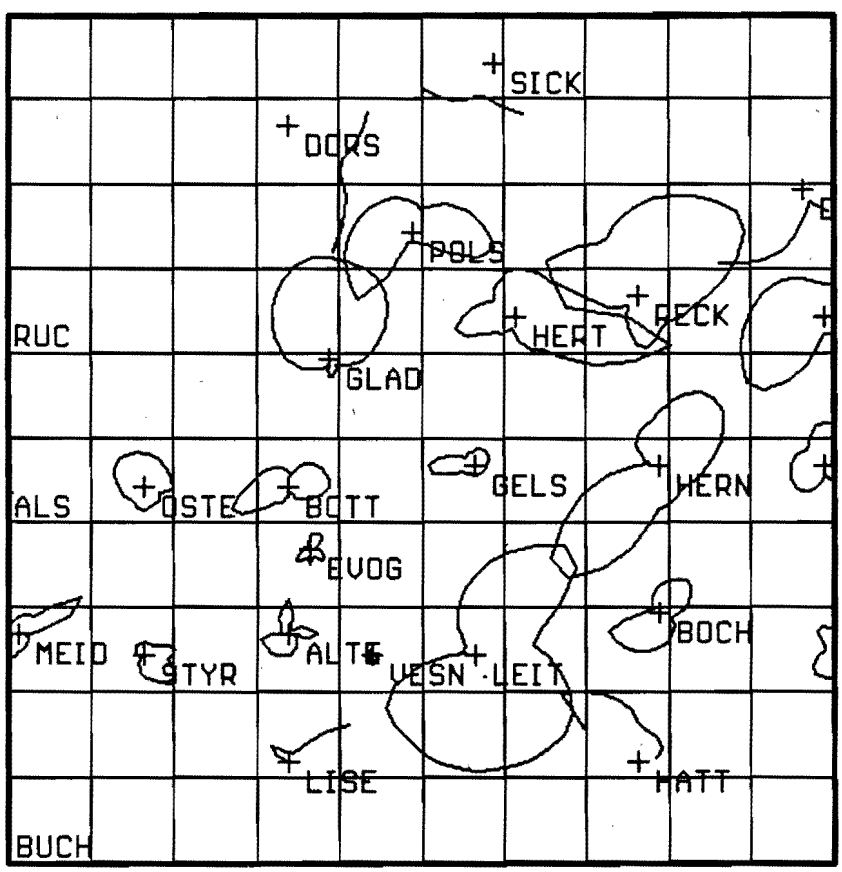
Daten.....: 28.d-mean
Schuelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 5
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

Ausgabe :
15.11.1991

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

DATT : 49	WERN : 52	HERT : 53	RECK : 51
ICKE : 53	BRAM : 51	NIED : 52	HERN : 50
FROH : 47	DMD2 : 60	ASSE : 43	HOER : 56
BOCH : 48	WITT : 54	SCHW : 46	HATT : 48
HERD : 38			

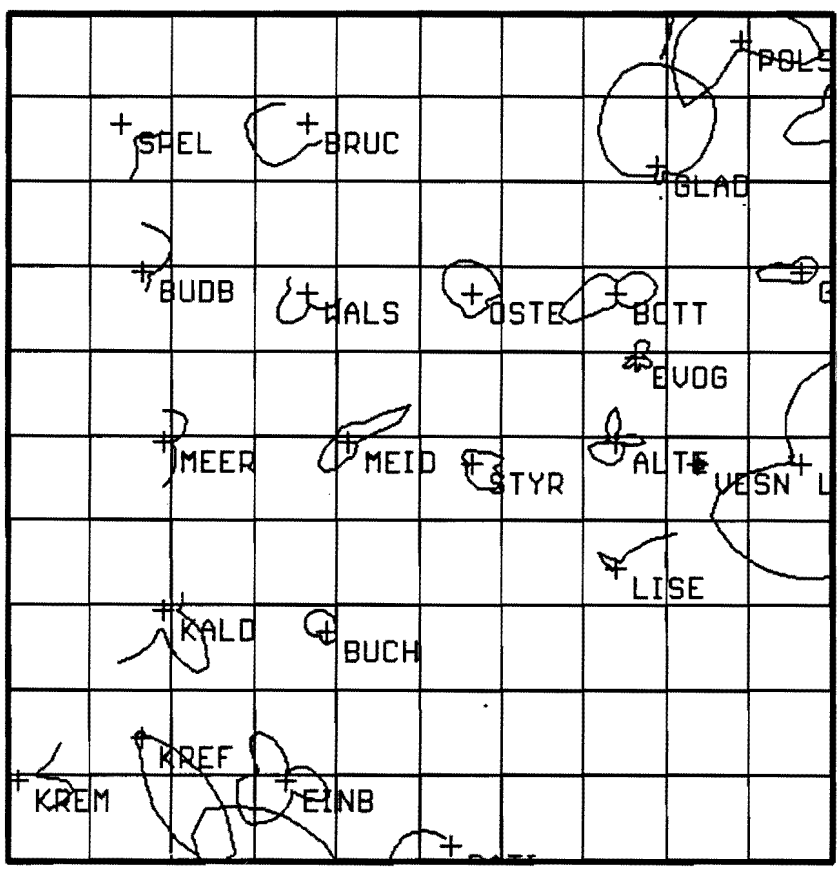
Abb. 3.3.2 : Schwebstoffe Ruhrgebiet Mitte



Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

DORS : 52	SICK : 54	POLS : 50	GLAD : 50
HERT : 53	RECK : 51	OSTE : 56	BOTT : 59
GELS : 62	HERN : 50	EVOG : 55	MEID : 64
STYR : 51	ALTE : 49	VESN : 50	LEIT : 49
BOCH : 48	LISE : 46	HATT : 48	

Abb. 3.3.3 : Schwebstoffe Ruhrgebiet West



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von SSTR

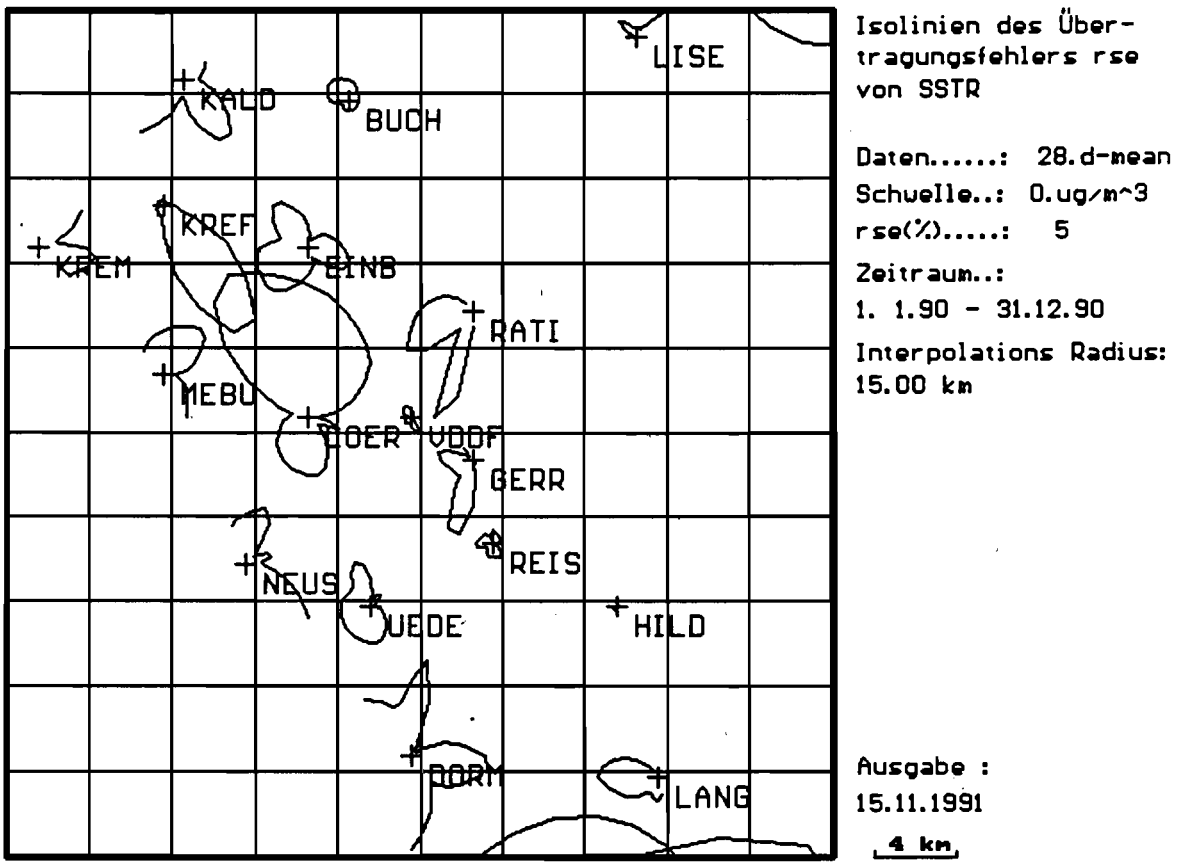
Daten.....: 28.d-mean
Schuelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 5
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

Ausgabe :
15.11.1991
4 km

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

SPEL : 52	BRUC : 53	POLS : 50	GLAD : 50
BUDB : 49	WALS : 56	OSTE : 56	BOTT : 59
EVOG : 55	MEER : 54	MEID : 64	STYR : 51
ALTE : 49	VESN : 50	LISE : 46	KALD : 56
BUCH : 62	KREM : 57	KREF : 46	EINB : 53

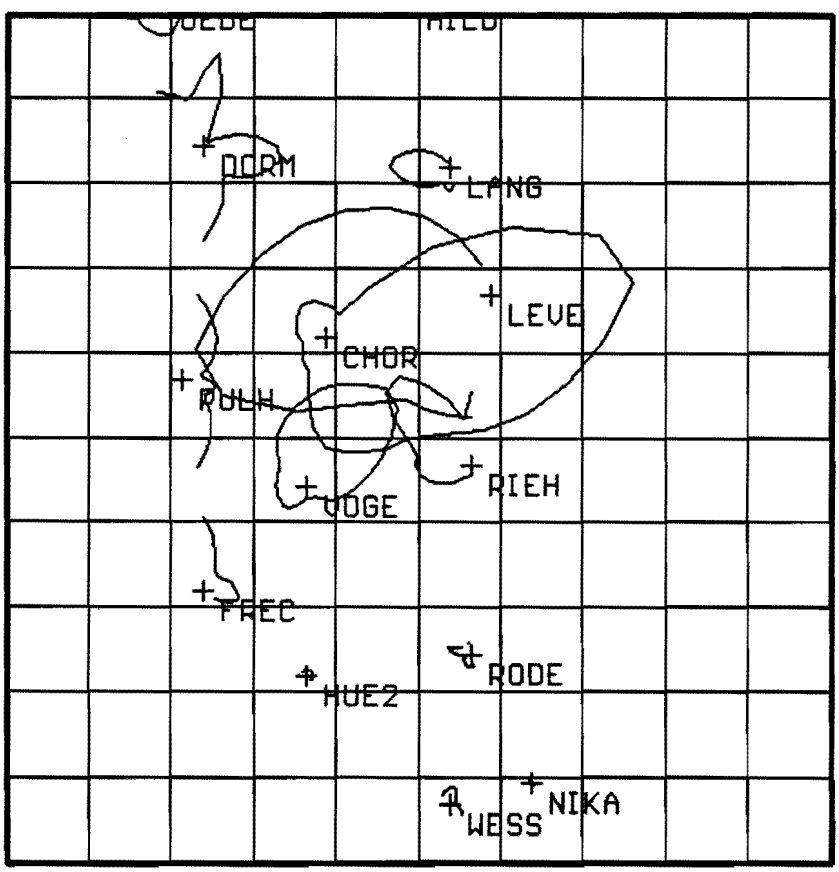
Abb. 3.3.4 : Schwebstoffe Rheinschiene Mitte



Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

KALD : 56	BUCH : 62	LISE : 46	KREM : 57
KREF : 46	EINB : 53	MEBU : 54	RATI : 48
LOER : 47	VDDF : 65	GERR : 46	NEUS : 50
REIS : 60	UEDE : 46	HILD : 33	DORM : 48
LANG : 46			

Abb. 3.3.5 : Schwebstoffe Rheinschiene Süd



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von SSTR

Daten.....: 28.d-mean
Schuelle..: 0.ug/m^3
rse(%).....: 5
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
15.00 km

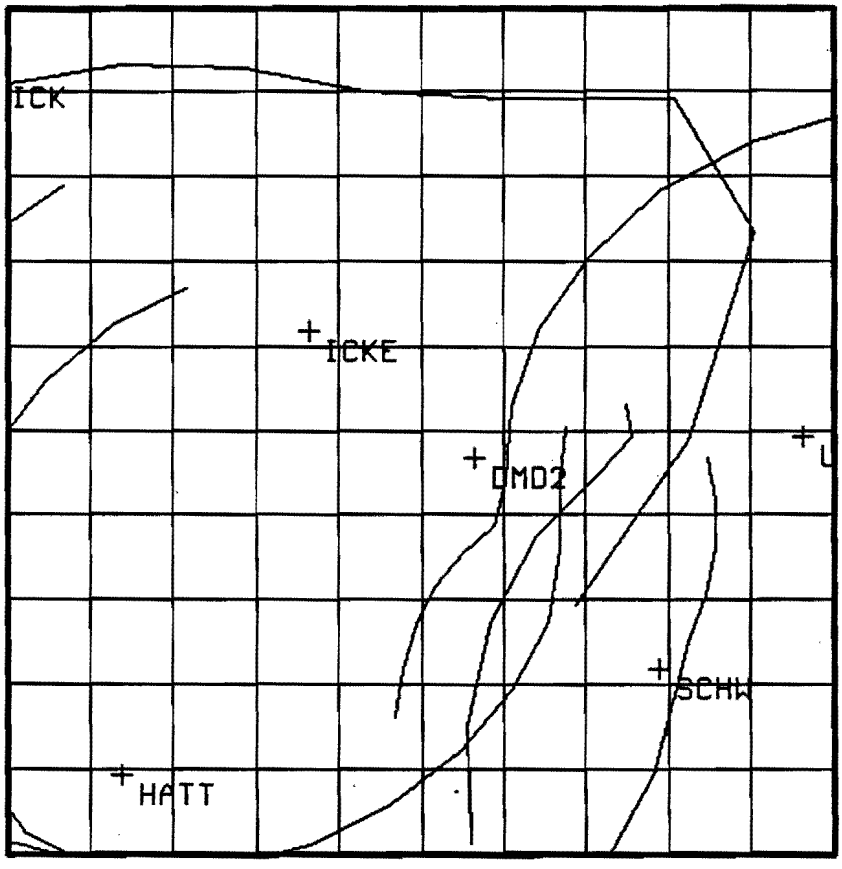
Ausgabe :
15.11.1991

4 km

Jahresmittel in $\mu g/m^3$:

DORM : 48	LANG : 46	PULH : 48	CHOR : 53
LEVE : 53	VOGE : 52	RIEH : 53	FREC : 47
HUE2 : 49	RODE : 42	WESS : 48	NIKA : 35

Abb. 3.4.1 : Ozon Ruhrgebiet-Ost



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von 03

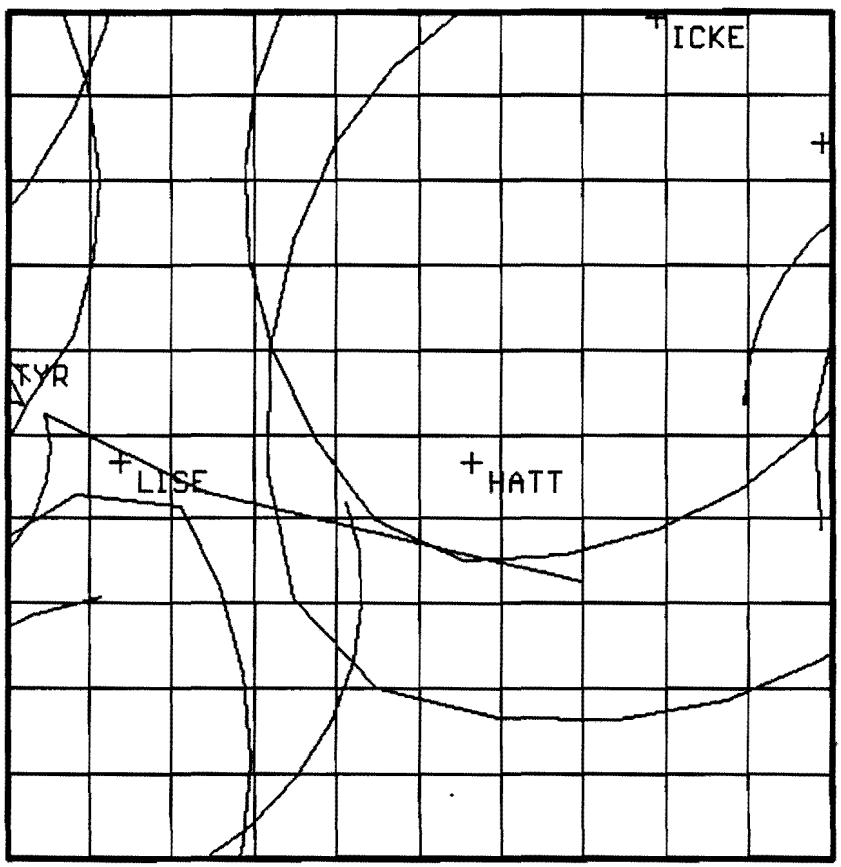
Daten.....: 2.h-mean
Schuelle..: 180.ug/m^3
rse(%).....: 10
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
30.00 km

Ausgabe :
4. 2.1992
4 km

2 Stundenmittel in µg/m3 :

ICKE : 256 DMD2 : 263 HATT : 282

Abb. 3.4.2 : Ozon Ruhrgebiet-Mitte



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von 03

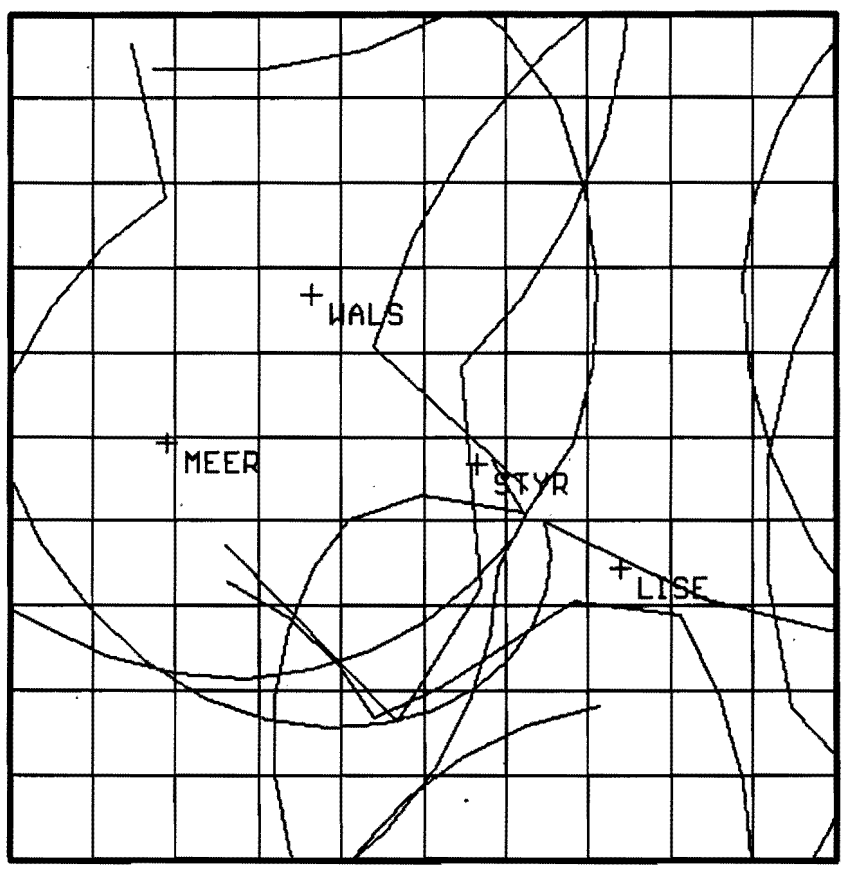
Daten.....: 2.h-mean
Schuelle..: 180.ug/m^3
rse(%).....: 10
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
30.00 km

Ausgabe :
4. 2.1992
4 km

2 Stundenmittel in µg/m3 :

ICKE : 258 STYR : 354 LISE : 315
HATT : 282

Abb. 3.4.3 : Ozon Ruhrgebiet West



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von O3

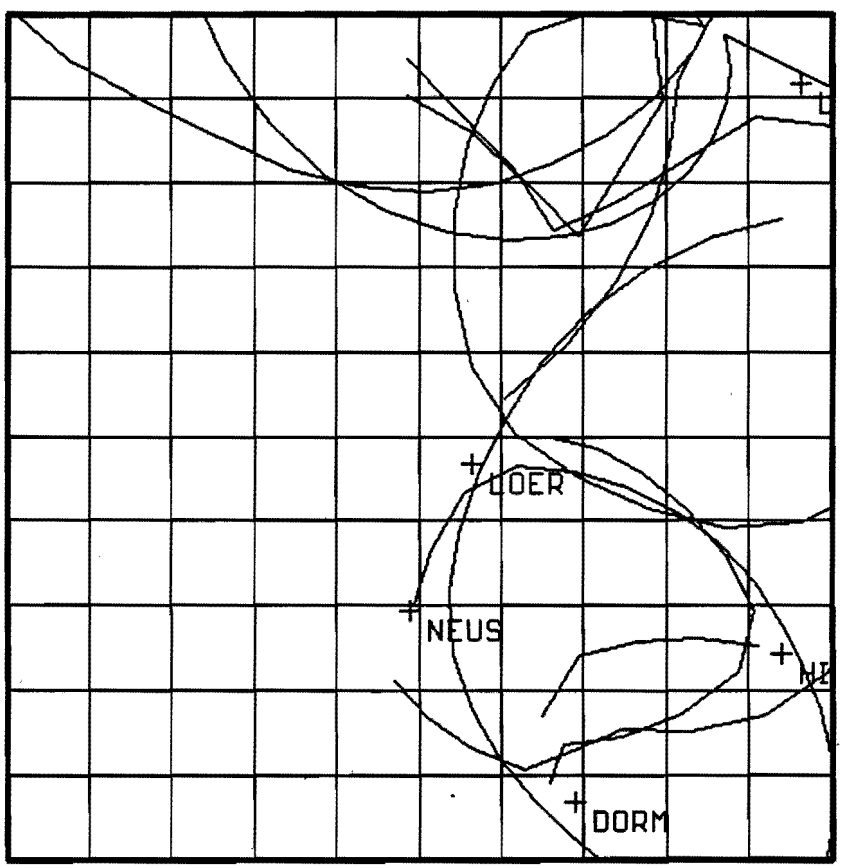
Daten.....: 2.h-mean
Schuelle..: 180.ug/m^3
rse(%).....: 10
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
30.00 km

Ausgabe :
4. 2.1992
4 km

2 Stundenmittel in µg/m3 :

WALS : 305 MEER : 312 STYR : 354
LISE : 315

Abb. 3.4.4 : Ozon Rheinschiene Mitte



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von O3

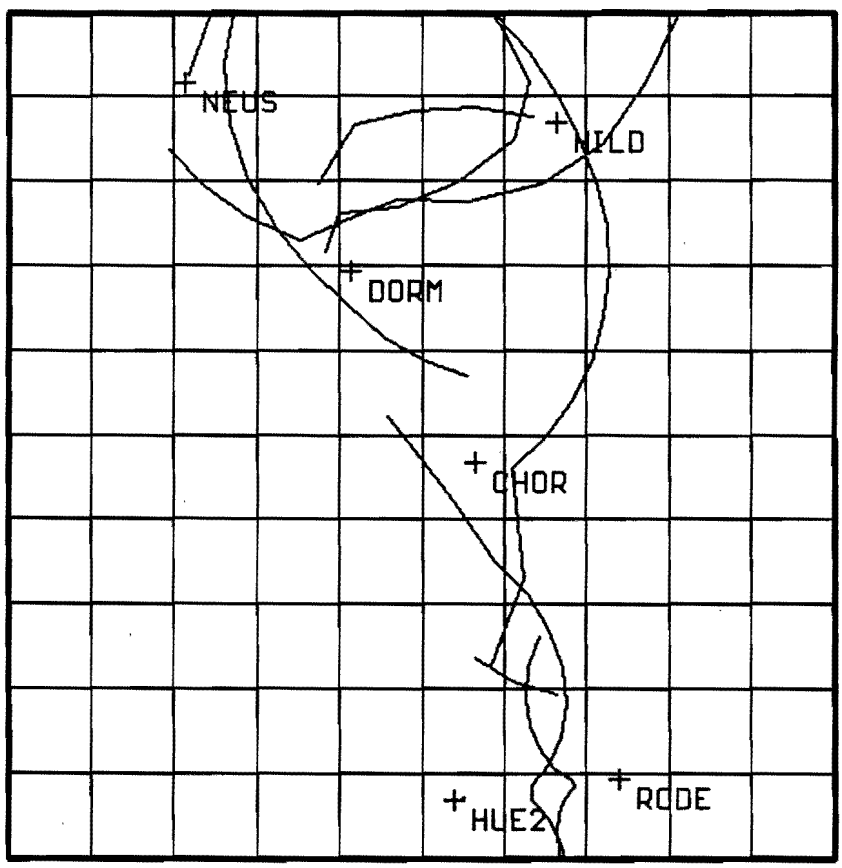
Daten.....: 2.h-mean
Schwelle..: 180.ug/m^3
rse(%).....: 10
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
30.00 km

Ausgabe :
4. 2.1992
4 km

2 Stundenmittel in µg/m3 :

LOER : 268 NEUS : 262 DORM : 264

Abb. 3.4.5 : Ozon Rheinschiene Süd



Isolinien des Übertragungsfehlers rse von 03

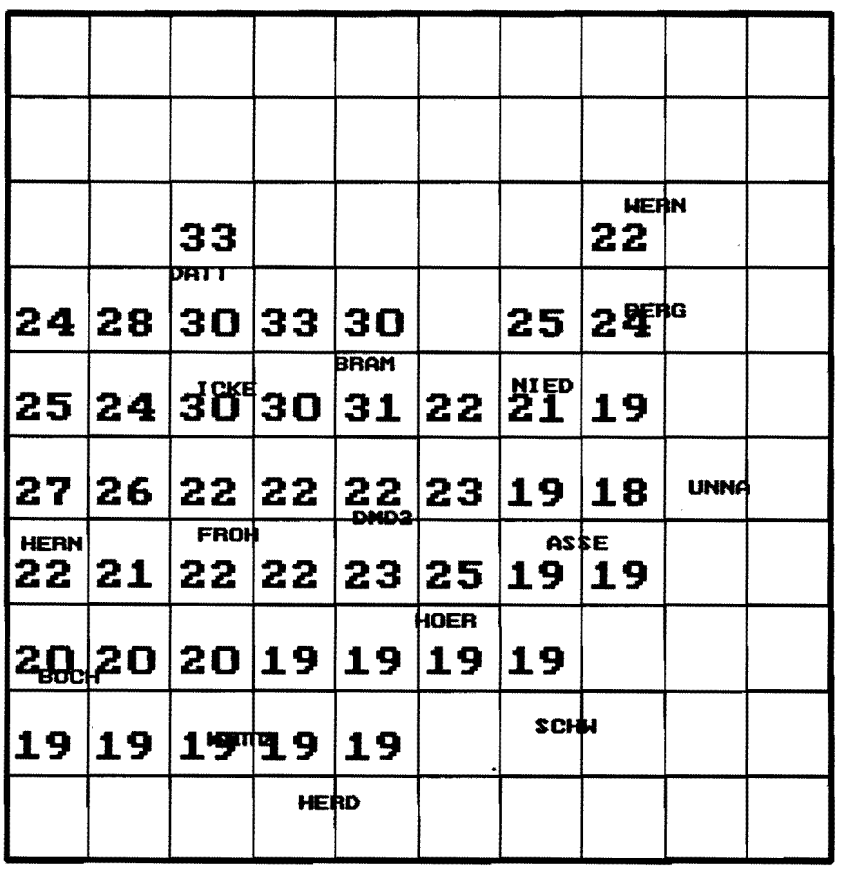
Daten.....: 2.h-mean
Schuelle..: 180.ug/m^3
rse(%).....: 10
Zeitraum..:
1. 1.90 - 31.12.90
Interpolations Radius:
30.00 km

Ausgabe :
4. 2.1992
4 km

2 Stundenmittel in µg/m3 :

NEUS : 262	DORM : 264	HILD : 299
CHOR : 290		
HUE2 : 236	RODE : 305	

Bild 4.1.1: Interpolation Schwefeldioxid Ruhrgebiet Ost



Interpolation SO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

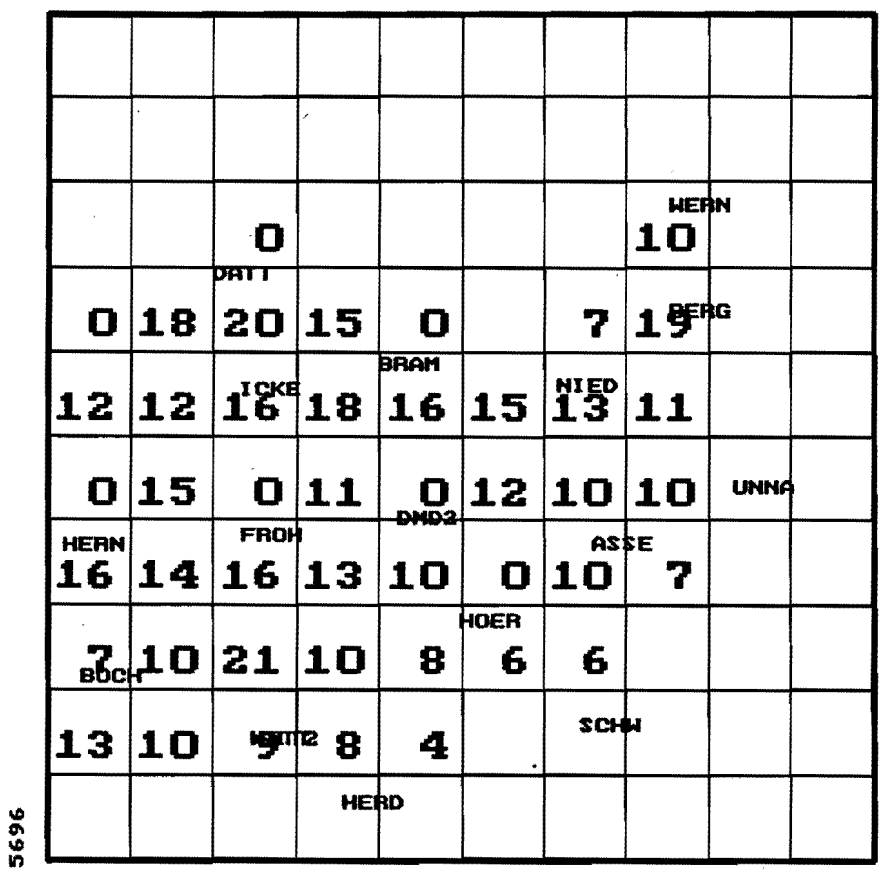
Referenz Stationen:

ASSE :	17
BERG :	34
BOCH :	20
BRAM :	30
DATT :	33
DMD2 :	22
FROH :	22
HERD :	19
HERN :	27
HOER :	25
ICKE :	34
NIED :	24
SCHW :	19
UNNA :	19
WERN :	22
WIT2 :	23
WITT :	15

2585 Gewicht = exp(-(dxi/dx0)**2)

25/11/1991

Bild 4.1.1 b: Interpolationsfehler Schwefeldioxid Ruhrgebiet Ost:



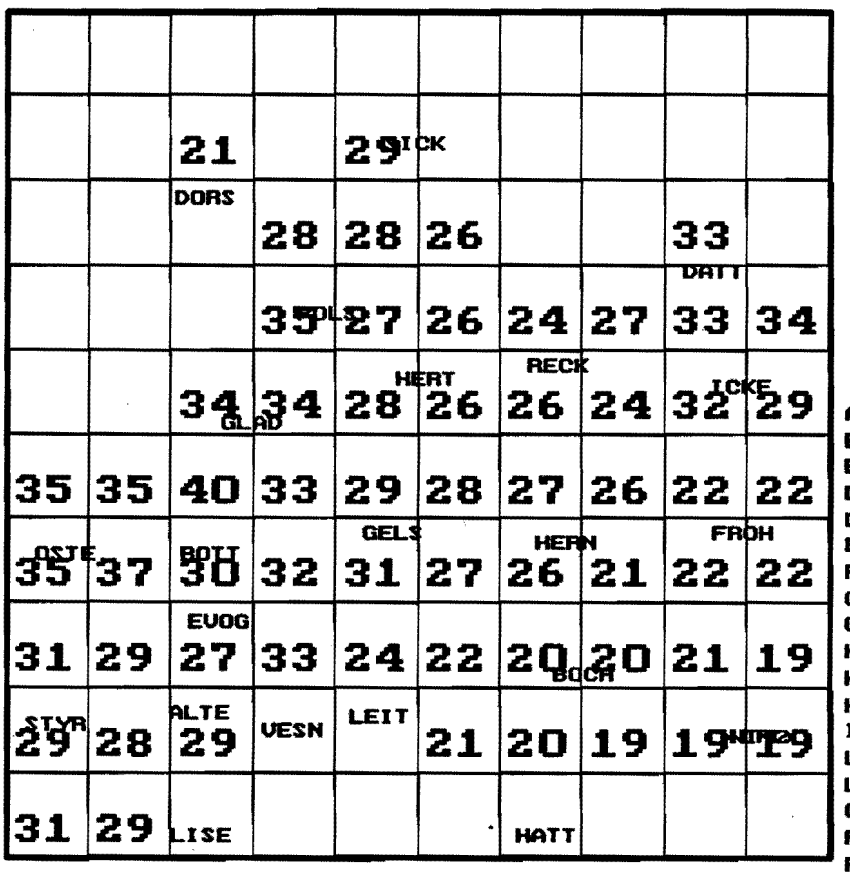
Interpolationsfehler
SO2 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb: 4.1.2 : Interpolation Schwefeldioxid Ruhrgebiet-Mitte



Interpolation SO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

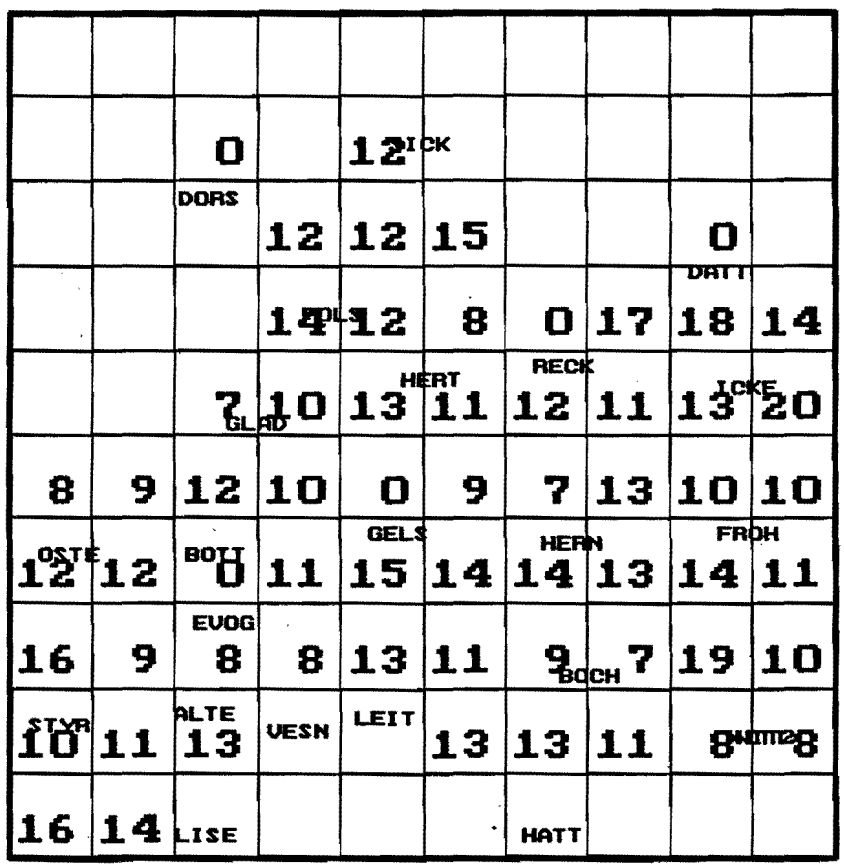
ALTE :	26	SICK :	29
BOCH :	20	STYR :	29
BOTT :	43	VESN :	34
DATT :	33	WIT2 :	23
DORS :	21	WITT :	15
EVOG :	30		
FROH :	22		
GELS :	29		
GLAD :	34		
HATT :	20		
HERN :	27		
HERT :	26		
ICKE :	34		
LEIT :	22		
LISE :	27		
OSTE :	35		
POLS :	28		
RECK :	24		

5696

2560 Gewicht = exp(-(dxi/dx0)**2)

25/11/1991

Abb. 4.1.2b : Interpolationsfehler Schwefeldioxid Ruhrgebiet-Mitte



Interpolationsfehler SO2 in %

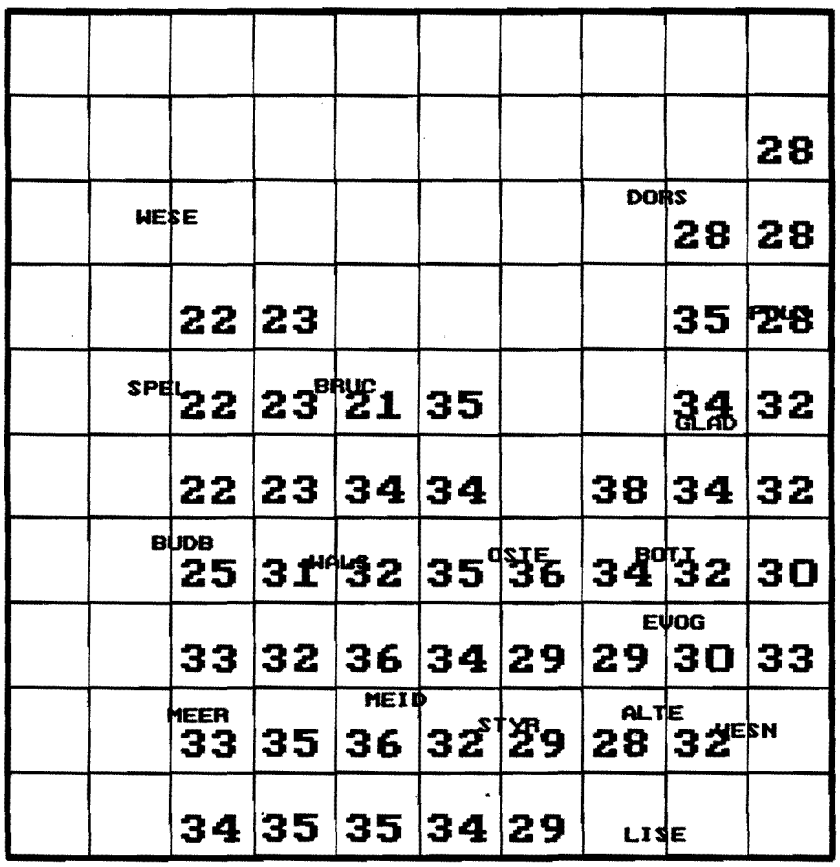
Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit 28.d-mean

2560 Gewicht = exp(-(dxi/dx0)**2)

25/11/1991

Abb. 4.1.3 : Interpolation Schwefeldioxid Ruhrgebiet-West



Interpolation SO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

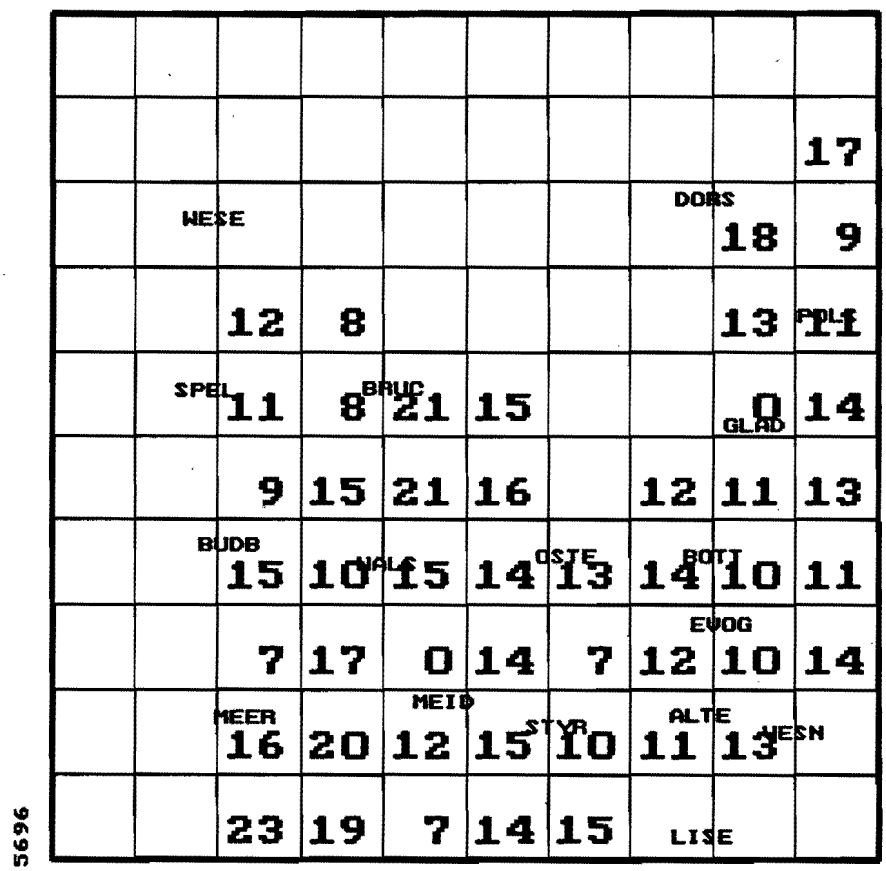
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

ALTE	26
BOTT	43
BRUC	23
BUDB	21
DORS	21
EVOG	30
GLAD	34
LISE	27
MEER	33
MEID	36
OSTE	35
POLS	28
SPEL	22
STYR	29
VESN	34
WALS	31
WESE	20

25/11/1991

Abb. 4.1.3b : Interpolationsfehler Schwefeldioxid
Ruhrgebiet-West



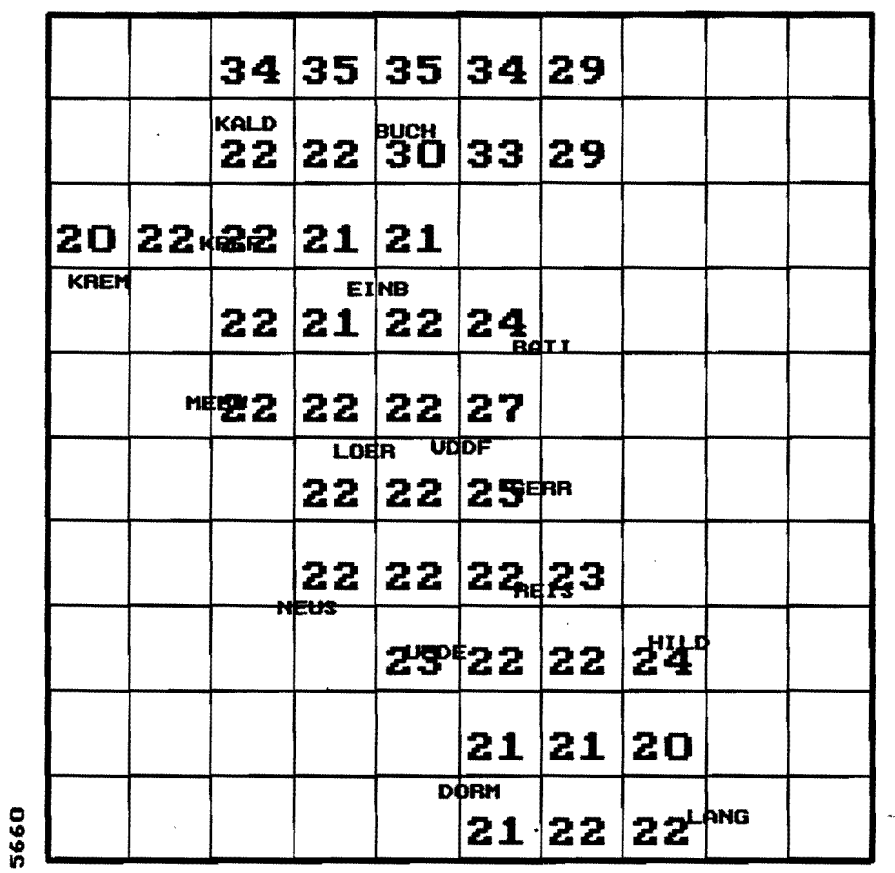
Interpolationsfehler
SO2 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb. 4.1.4 : Interpolation Schwefeldioxid Rheinschiene-Mitte



Interpolation SO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

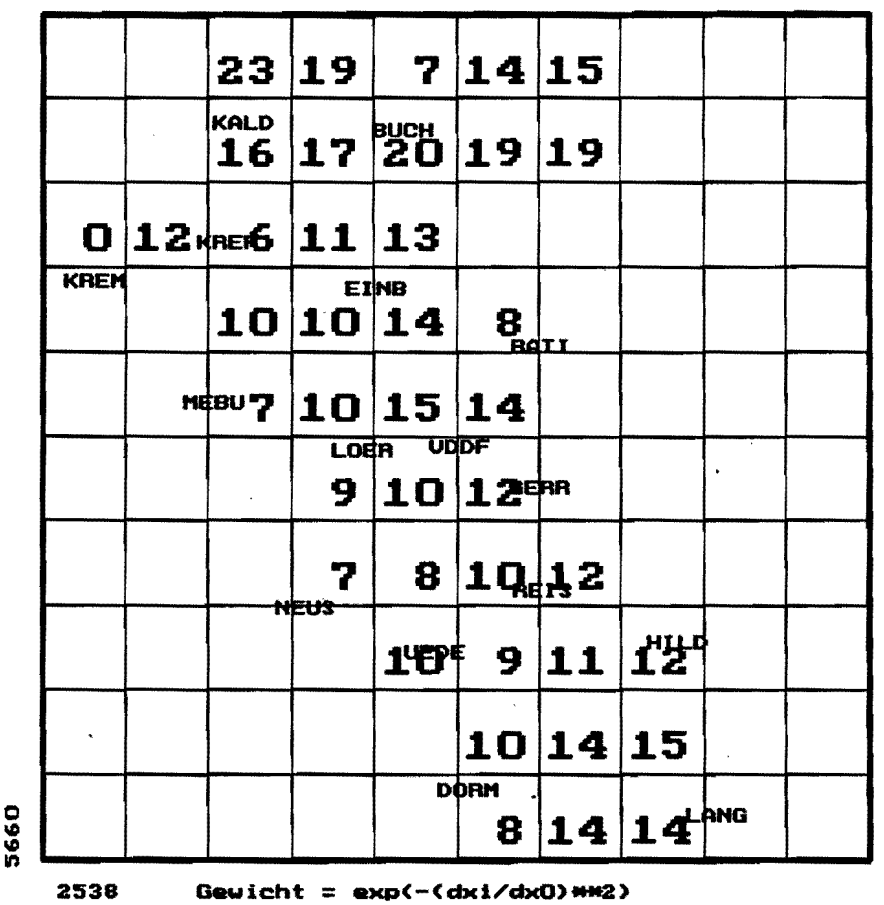
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

BUCH	35
DORM	21
EINB	21
GERR	29
HILD	24
KALD	29
KREF	22
KREM	20
LANG	19
LOER	21
MEBU	22
NEUS	21
RATI	24
REIS	21
UEDE	23
UDDF	36

25/11/1991

Abb. 4.1.4b : Interpolationsfehler Schwefeldioxid
Rheinschiene-Mitte



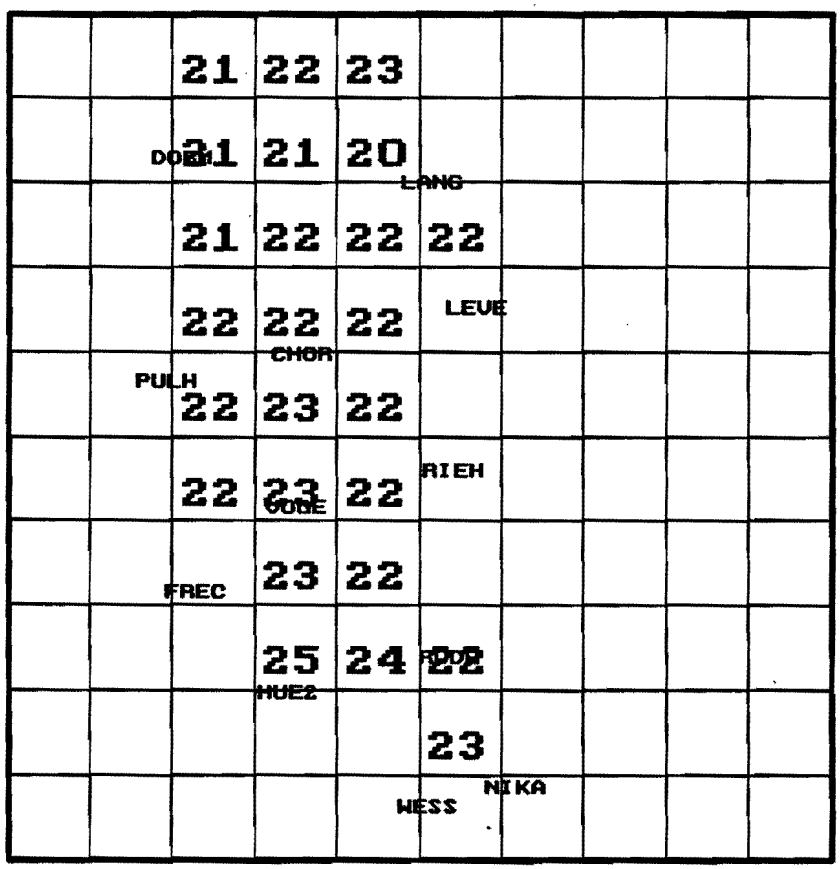
Interpolationsfehler
SO2 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb. 4.1.5 : Interpolation Schwefeldioxid Rheinschiene Süd



Interpolation SO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

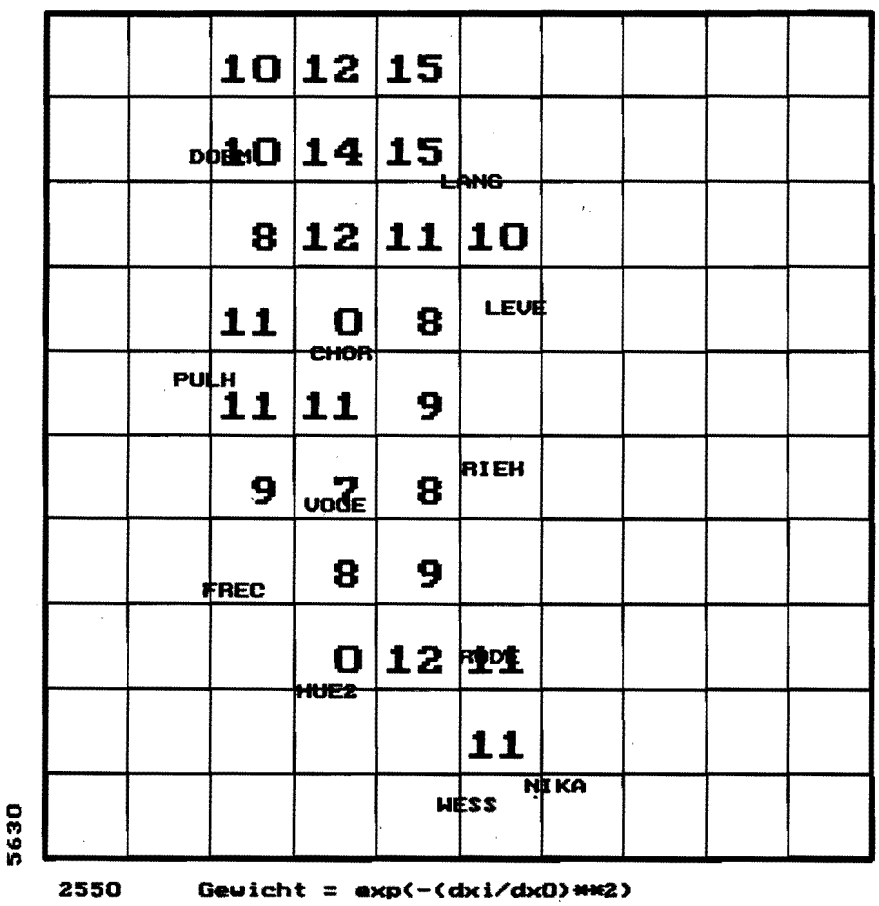
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

CHOR :	22
DORM :	21
FREC :	22
HUE2 :	25
LANG :	19
LEVE :	22
NIKA :	23
PULH :	21
RIEH :	22
RODE :	22
VOGE :	24
WESS :	22

25/11/1991

Abb 4.1.5b : Interpolationsfehler Schwefeldioxid
Rheinschien Süd



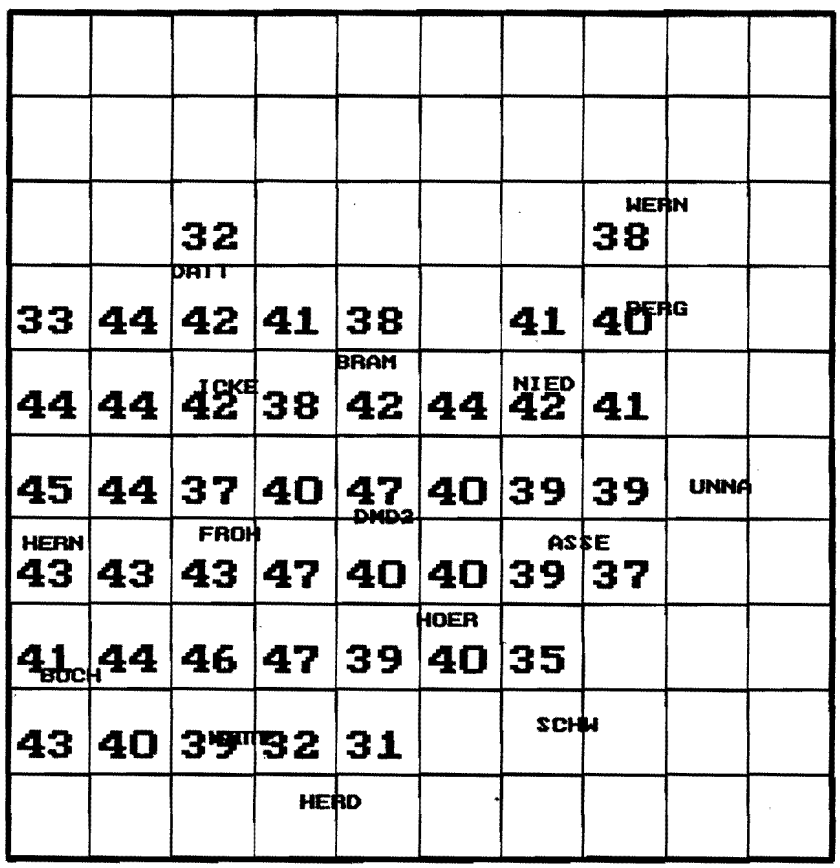
Interpolationsfehler
SO2 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb. 4.2.1 : Interpolation Stickstoffdioxid Ruhrgebiet-Ost



Interpolation NO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

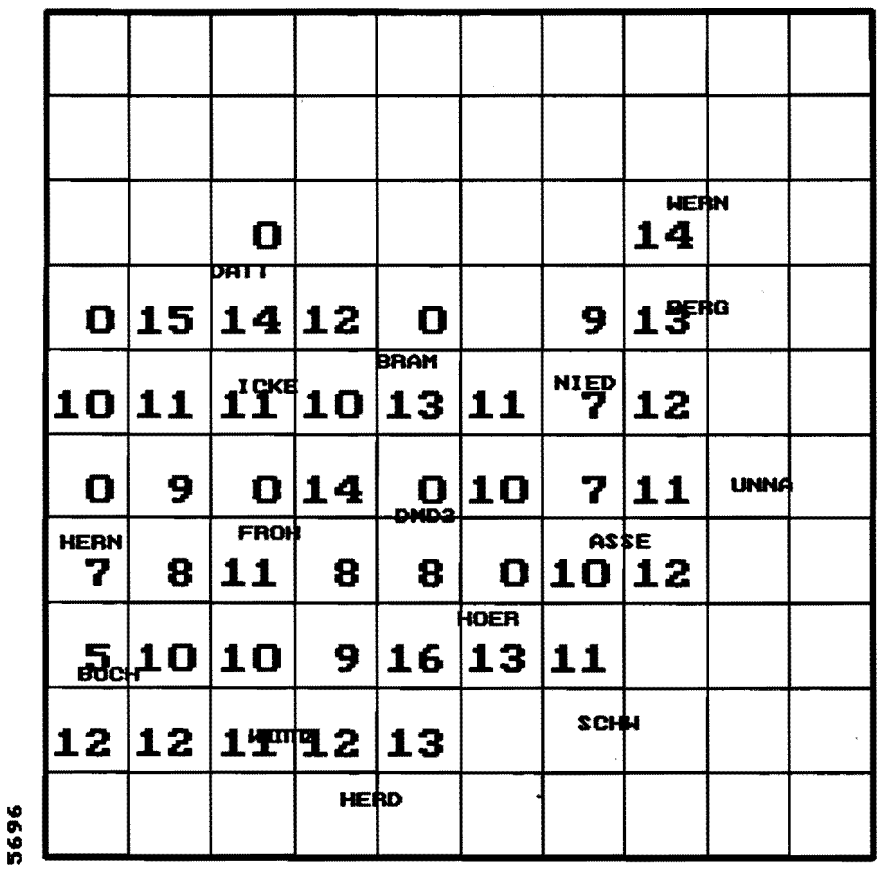
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

ASSE	39
BERG	36
BOCH	41
BRAM	38
DATT	32
DMD2	47
FROH	37
HERD	31
HERN	45
HOER	40
ICKE	42
NIED	42
SCHW	35
UNNA	35
WERN	31
WIT2	41
WITT	45

25/11/1991

Abb. 4.2.1 : Interpolationsfehler Stickstoffdioxid Ruhrgebiet-Ost



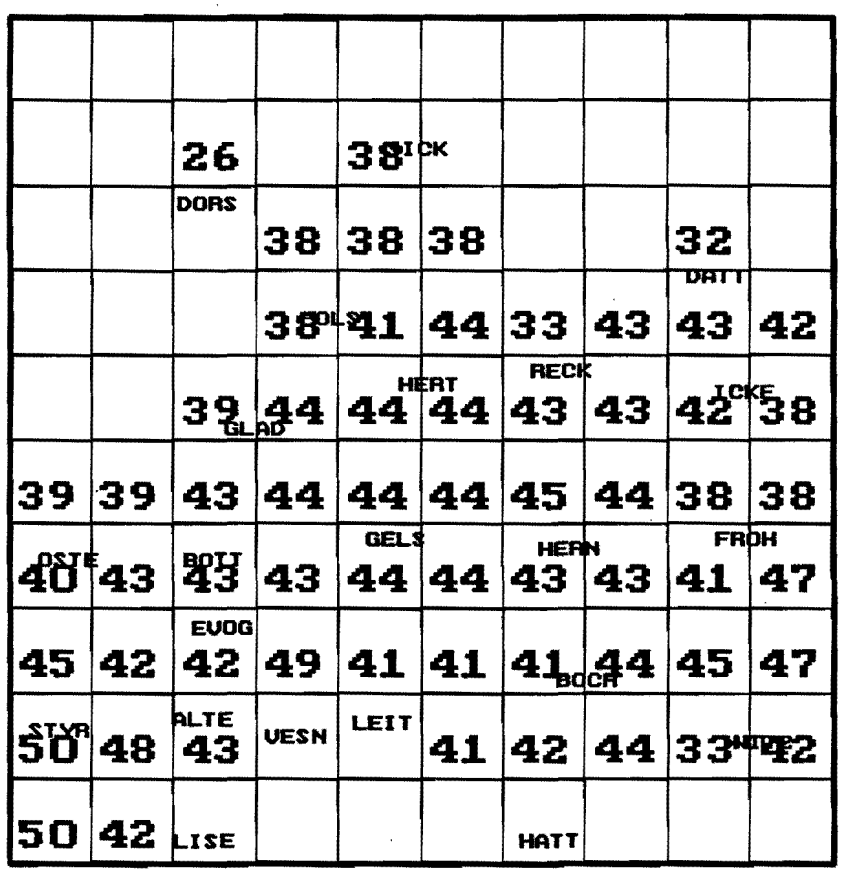
Interpolationsfehler
NO2 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb. 4.2.2 : Interpolation Stickstoffdioxid Ruhrgebiet-Mitte



5696

2560 Gewicht = exp(-(dxi/dx0)**2)

Interpolation NO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

ALTE :	34	SICK :	38
BOCH :	41	STYR :	52
BOTT :	44	VESN :	51
DATT :	32	WIT2 :	41
DORS :	26	WITT :	45
EVOG :	43		
FROH :	37		
GELS :	44		
GLAD :	39		
HATT :	32		
HERN :	45		
HERT :	44		
ICKE :	42		
LEIT :	40		
LISE :	42		
OSTE :	39		
POLS :	37		
RECK :	33		

25/11/1991

Abb. 4.2.2b : Interpolationsfehler Stickstoffdioxid
Ruhrgebiet-Mitte

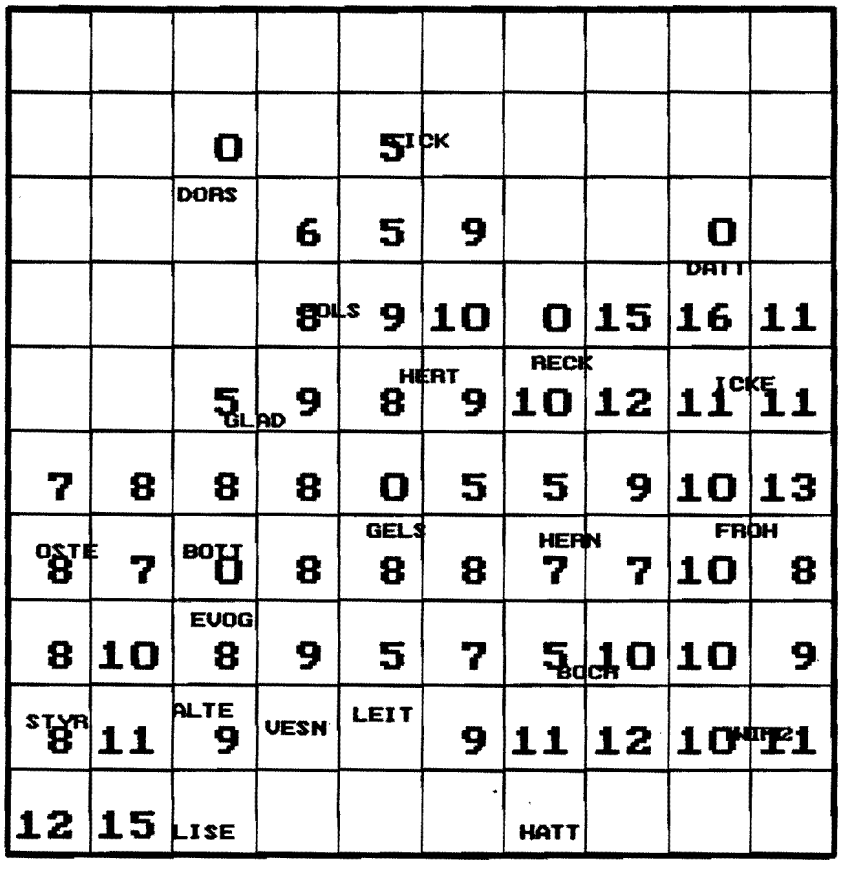
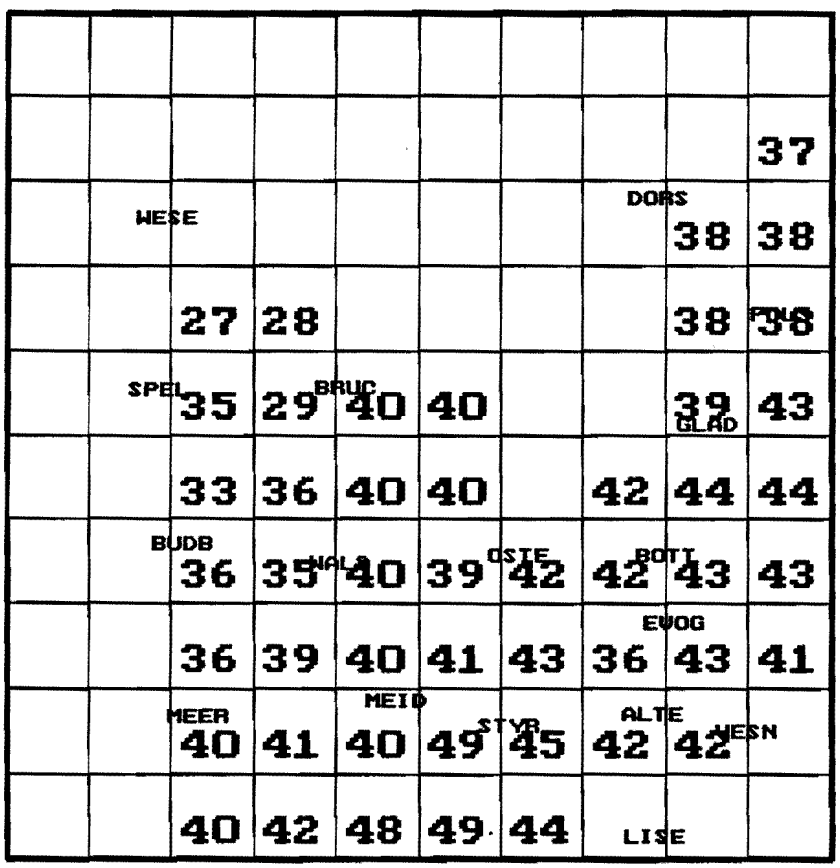


Abb. 4.2.3 : Interpolation Stickstoffdioxid Ruhrgebiet-West



Interpolation NO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

ALTE	34
BOTT	44
BRUC	28
BUDB	33
DORS	26
EVOG	43
GLAD	39
LISE	42
MEER	36
MEID	40
OSTE	39
POLS	37
SPEL	24
STYR	52
VESN	51
WALS	35
WESE	26

25/11/1991

Abb. 4.2.3b: Interpolationsfehler Stickstoffdioxid Ruhrgebiet-West

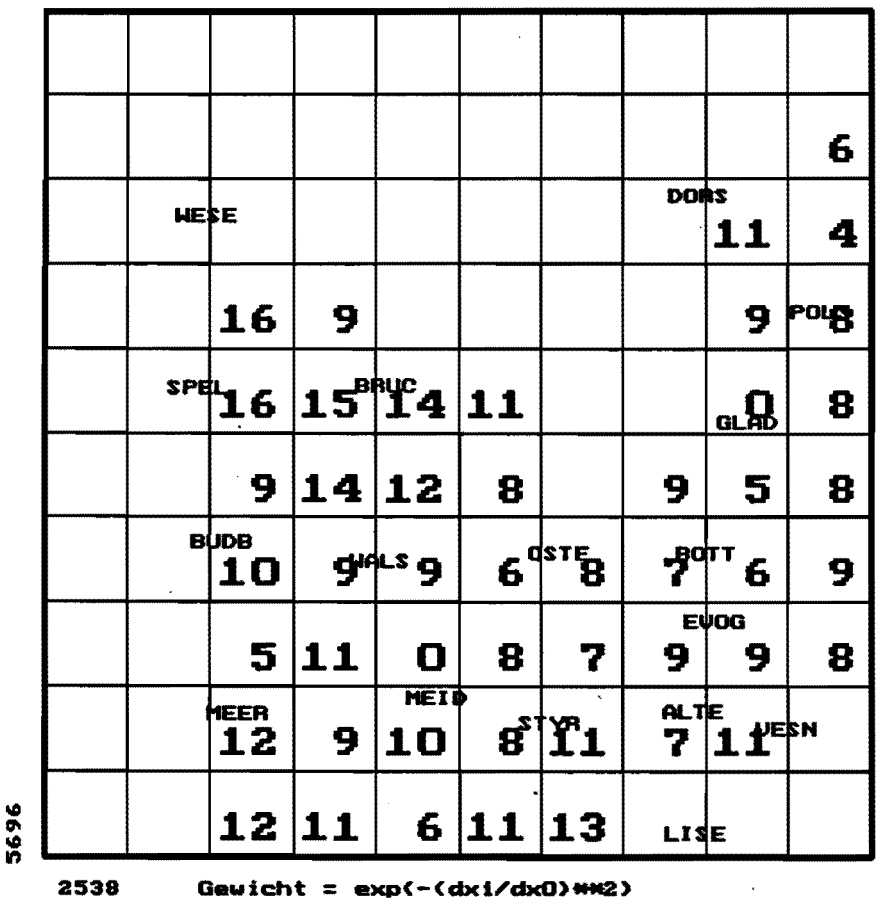
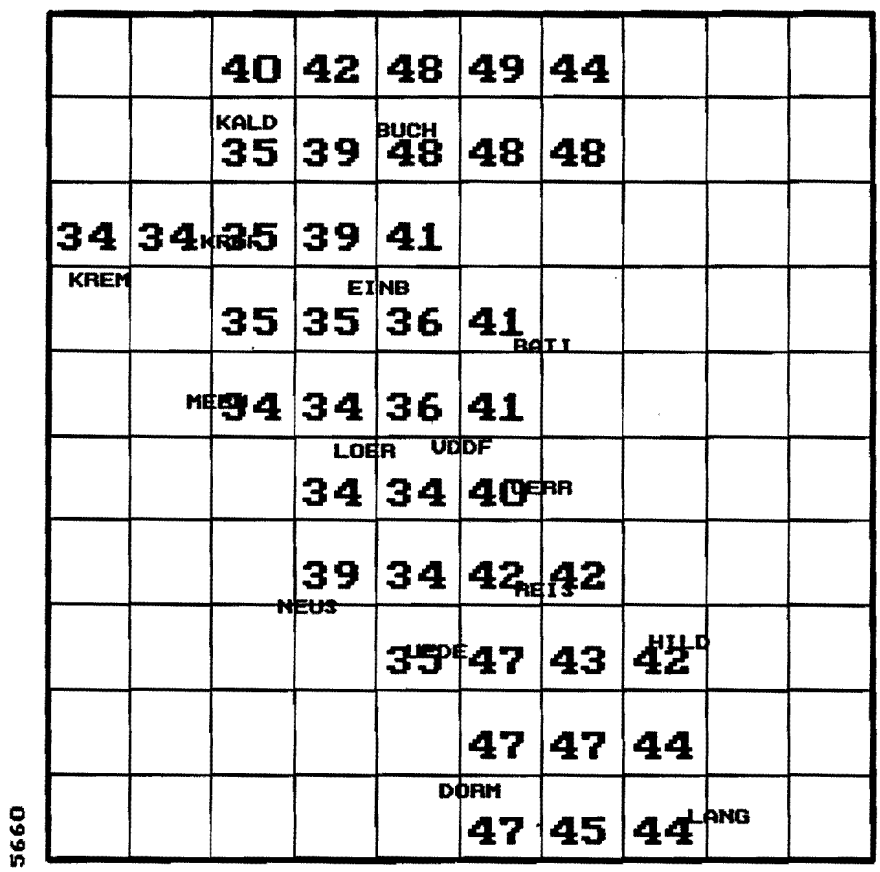


Abb. 4.2.4 : Interpolation Stickstoffdioxid Rheinschiene-Mitte



Interpolation NO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

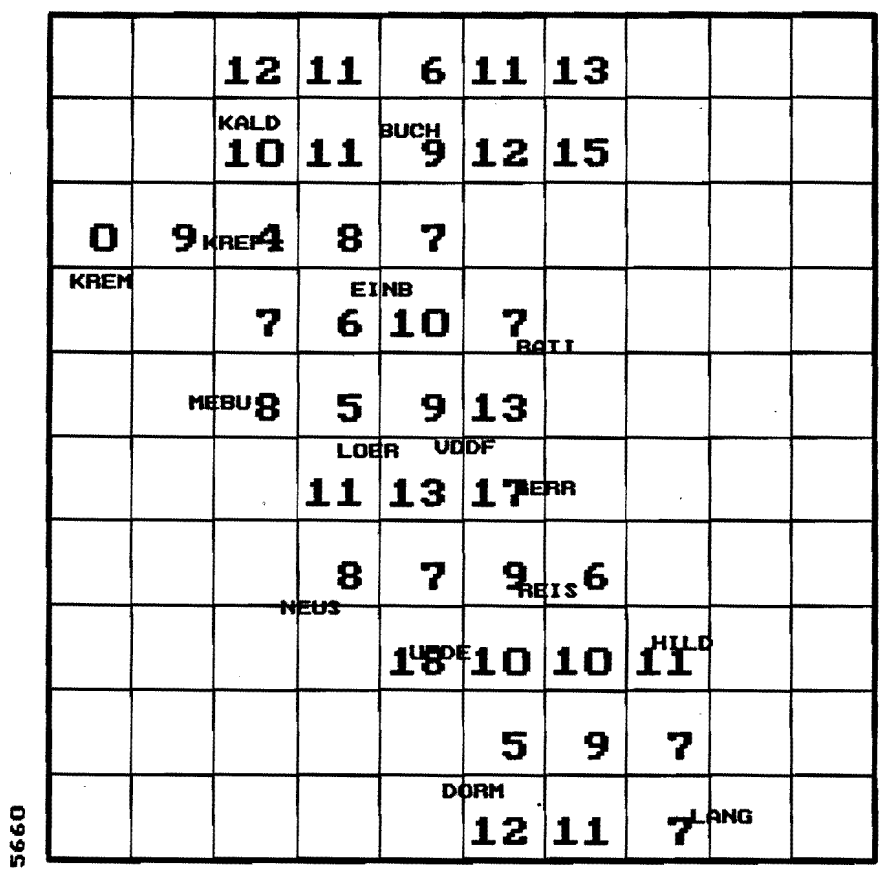
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

BUCH	48
DORM	47
EINB	41
GERR	37
HILD	38
KALD	42
KREF	36
KREM	34
LANG	44
LOER	34
MEBU	33
NEUS	39
RATI	41
REIS	42
UEDE	33
VDDF	64

25/11/1991

Abb. 4.2.4b : Interpolationsfehler Stickstoffdioxid Rheinschiene-Mitte:



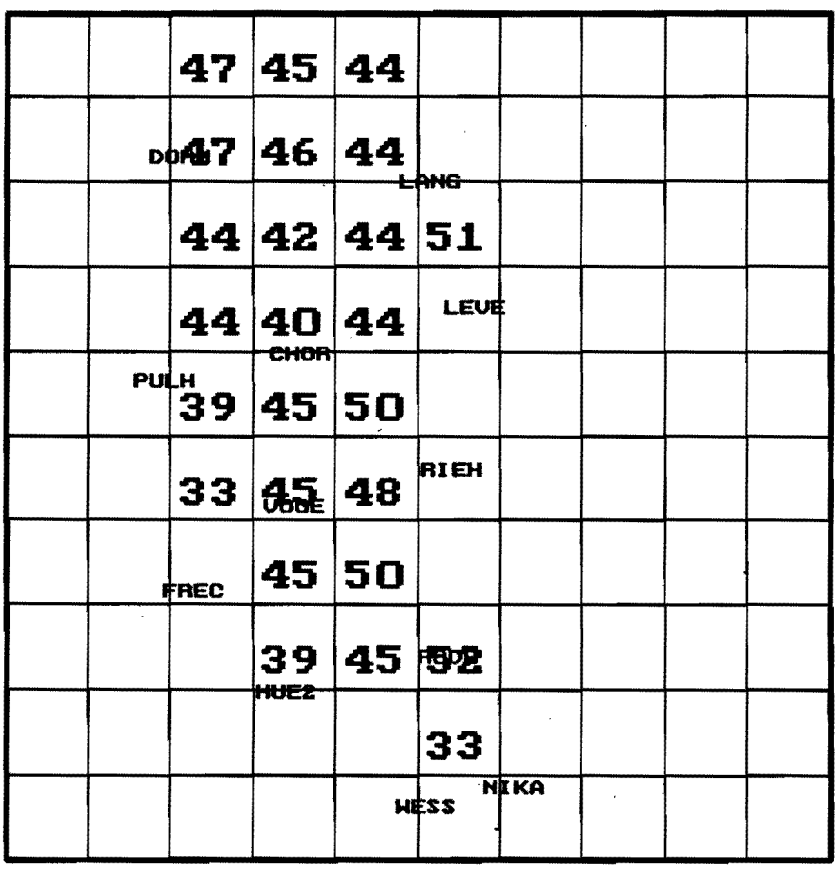
Interpolationsfehler
NO2 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb. 4.2.5 : Interpolation Stickstoffdioxid Rheinschiene-Süd:



Interpolation NO2

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

CHOR :	40
DORM :	47
FREC :	33
HUE2 :	39
LANG :	44
LEVE :	51
NIKA :	32
PULH :	32
RIEH :	53
RODE :	50
VOGE :	45
WESS :	53

25/11/1991

Abb. 4.2.5b : Interpolationsfehler Stickstoffdioxid Rheinschiene-Süd:

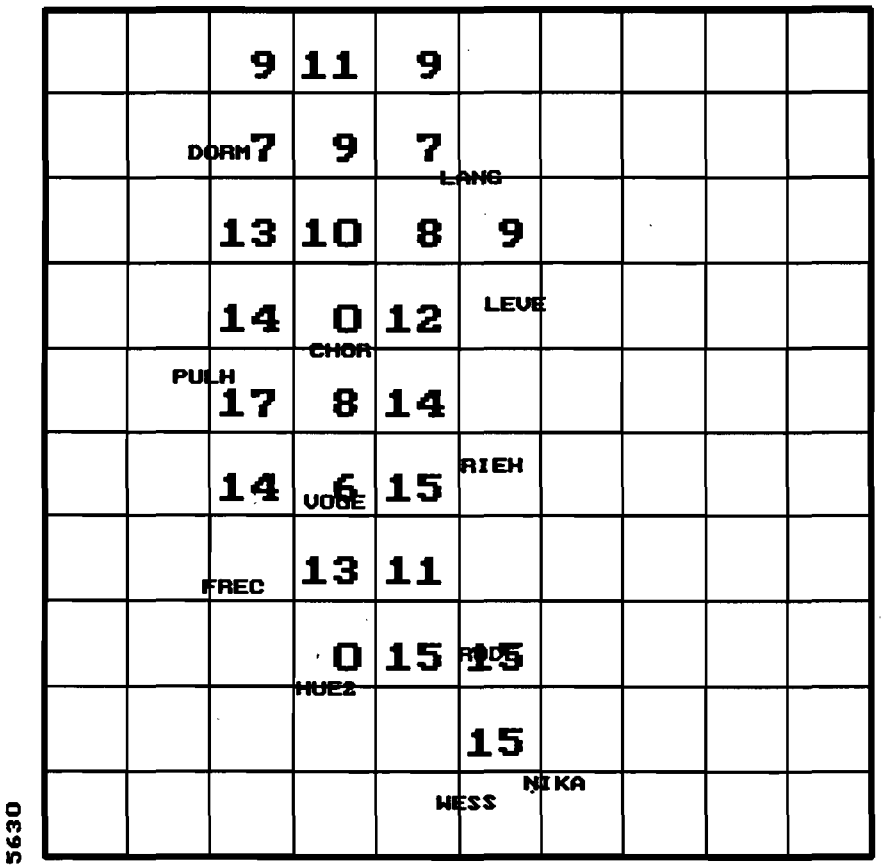
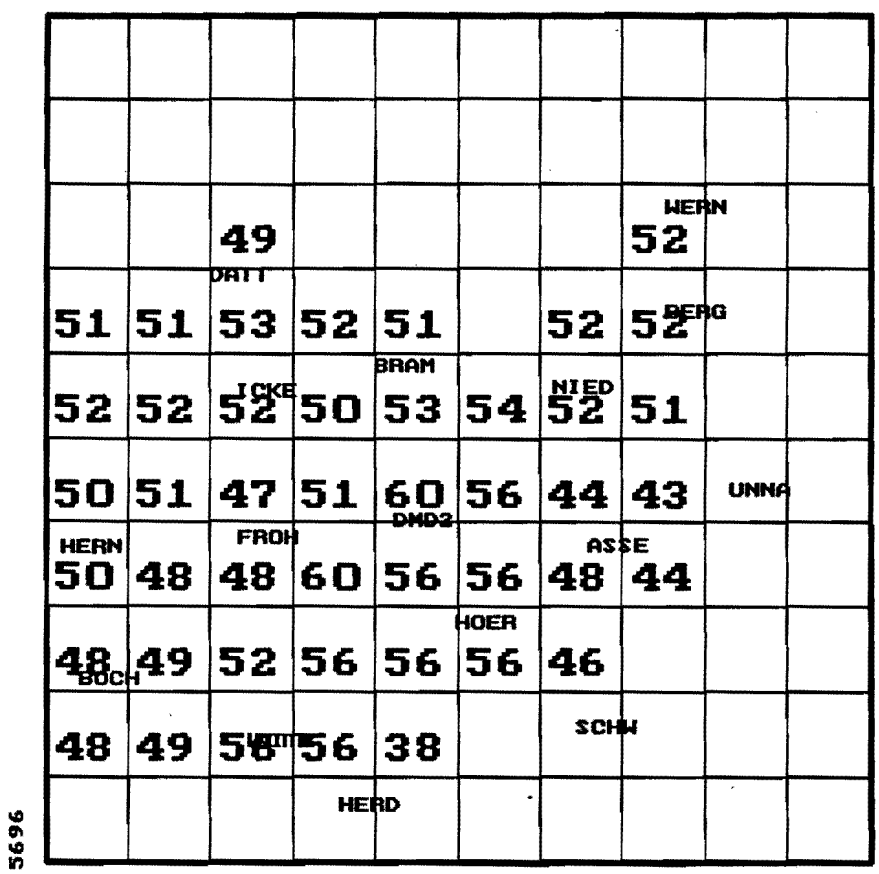


Abb. 4.3.1 : Interpolation Schwebstaub Ruhrgebiet-Ost:



Interpolation SSTR

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

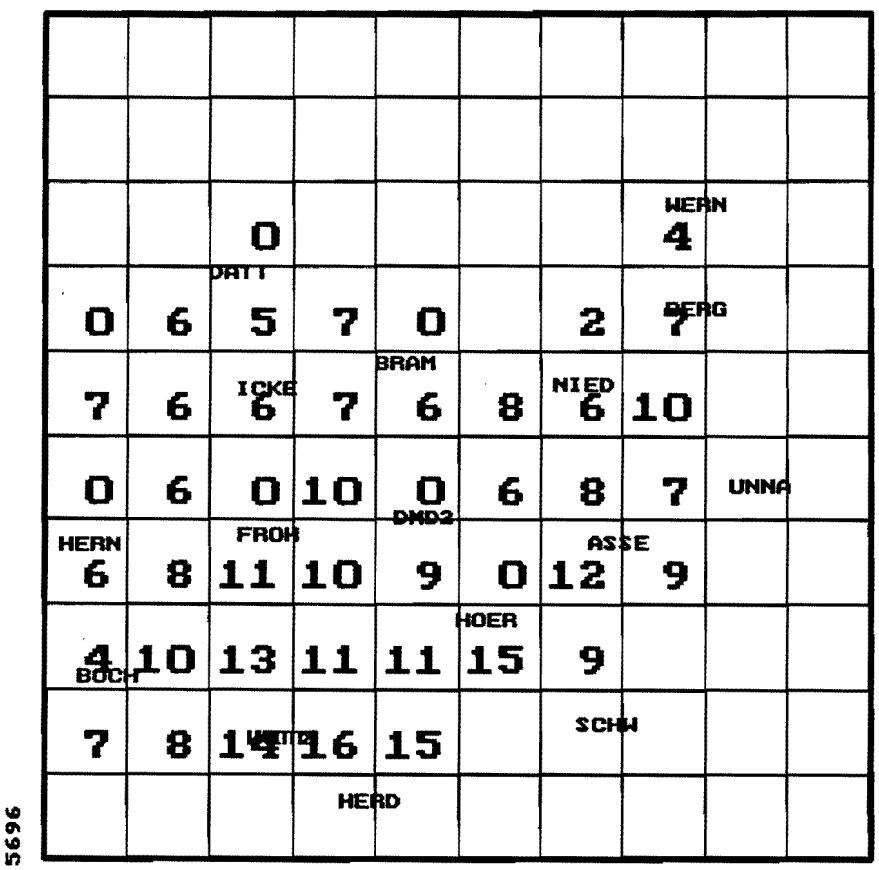
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

ASSE	43
BERG	59
BOCH	48
BRAM	51
DATT	49
DMD2	60
FROH	47
HERD	38
HERN	50
HOER	56
ICKE	53
NIED	52
SCHW	46
UNNA	46
WERN	52
WIT2	48
WITT	54

25/11/1991

Abb. 4.3.1 b : Interpolationsfehler Schwebstaub Ruhrgebiet-Ost:



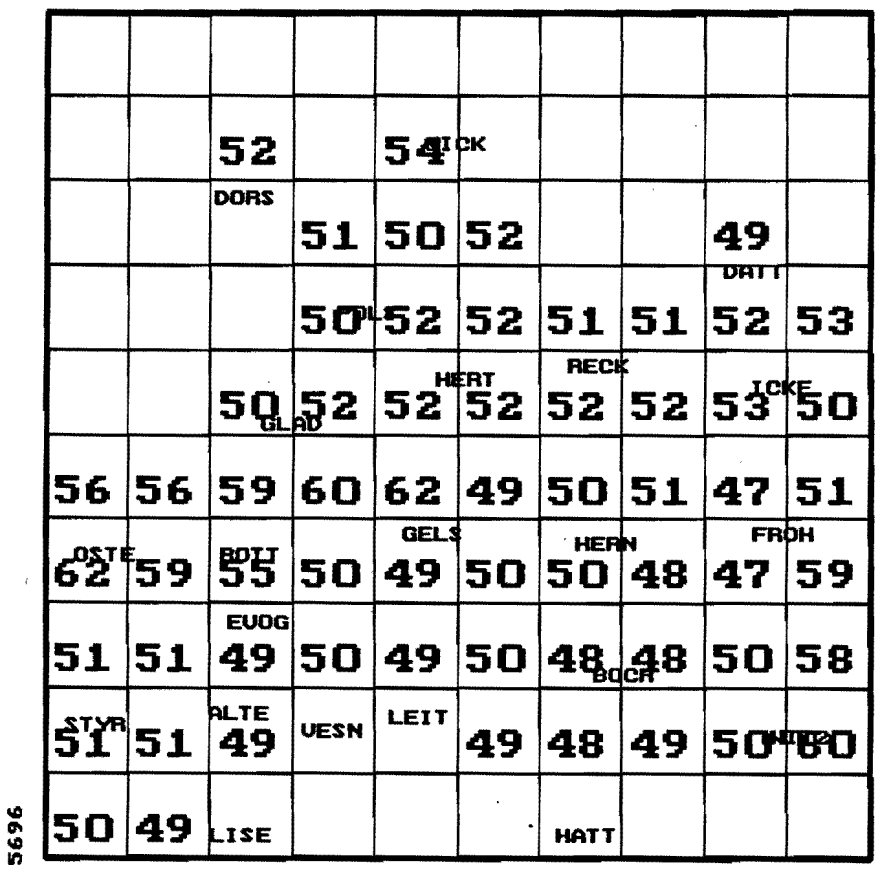
Interpolationsfehler
SSTR in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb. 4.3.2 : Interpolation Schwebstaub Ruhrgebiet-Mitte:



Interpolation SSTR

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

ALTE :	49	SICK :	54
BOCH :	48	STYR :	51
BOTT :	59	VESN :	50
DATT :	49	WIT2 :	48
DORS :	52	WITT :	54
EVOG :	55		
FROH :	47		
GELS :	62		
GLAD :	50		
HATT :	48		
HERN :	50		
HERT :	53		
ICKE :	53		
LEIT :	49		
LISE :	46		
OSTE :	56		
POLS :	50		
RECK :	51		

25/11/1991

Abb. 4.3.2 b : Interpolationsfehler Schwebstaub Ruhrgebiet-Mitte:

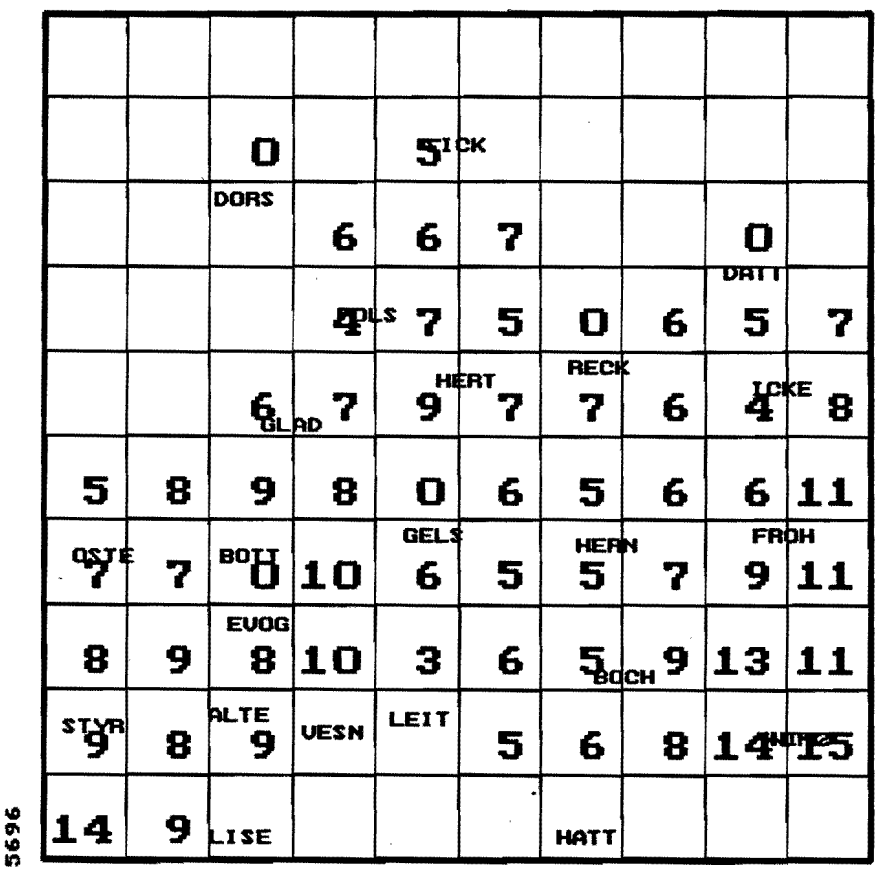
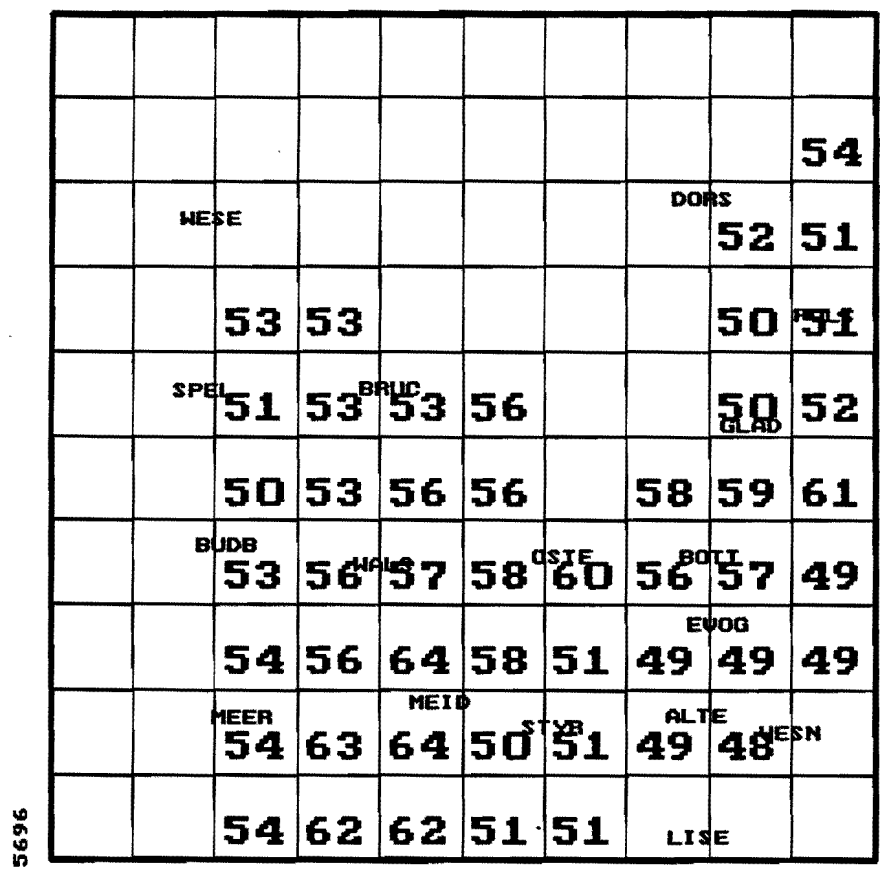


Abb. 4.3.3 : Interpolation Schwebstaub Ruhrgebiet-West:



Interpolation SSTR

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

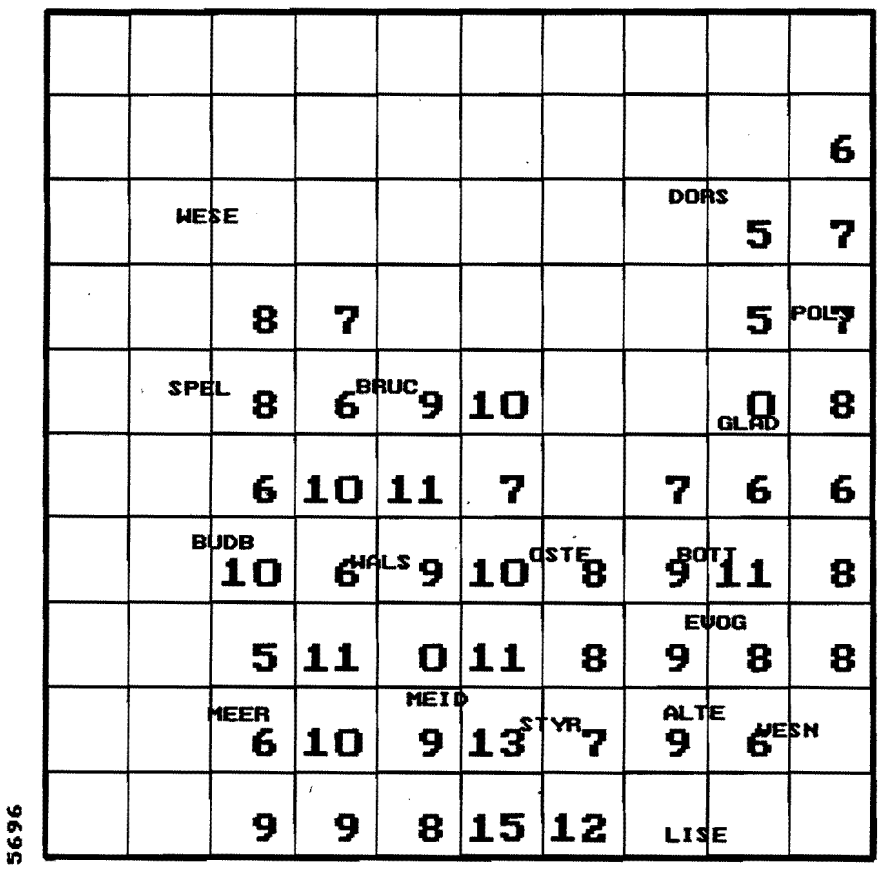
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

ALTE :	49
BOTT :	59
BRUC :	53
BUDB :	49
DORS :	52
EVOG :	55
GLAD :	50
LISE :	46
MEER :	54
MEID :	64
OSTE :	56
POLS :	50
SPEL :	52
STYR :	51
VESN :	50
WALS :	56
WESE :	45

25/11/1991

Abb. 4.3.3 b : Interpolationsfehler Schwebstaub Ruhrgebiet-West:



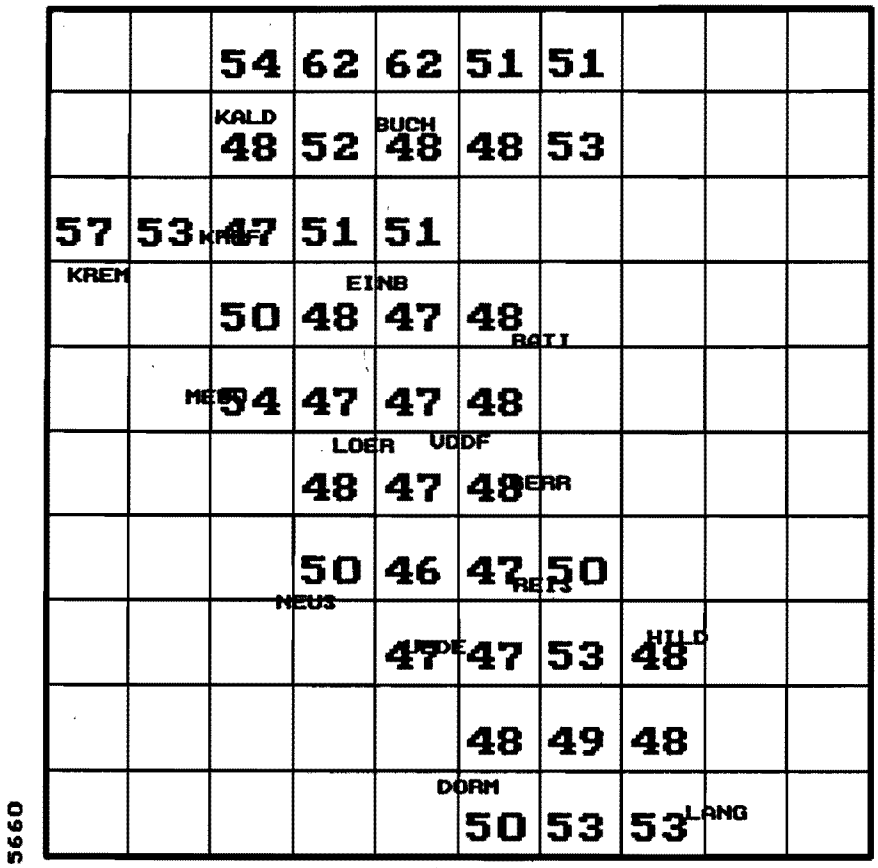
Interpolationsfehler
SSTR in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb. 4.3.4 : Interpolation Schwebstaub Rheinschiene-Mitte:



Interpolation SSTR

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

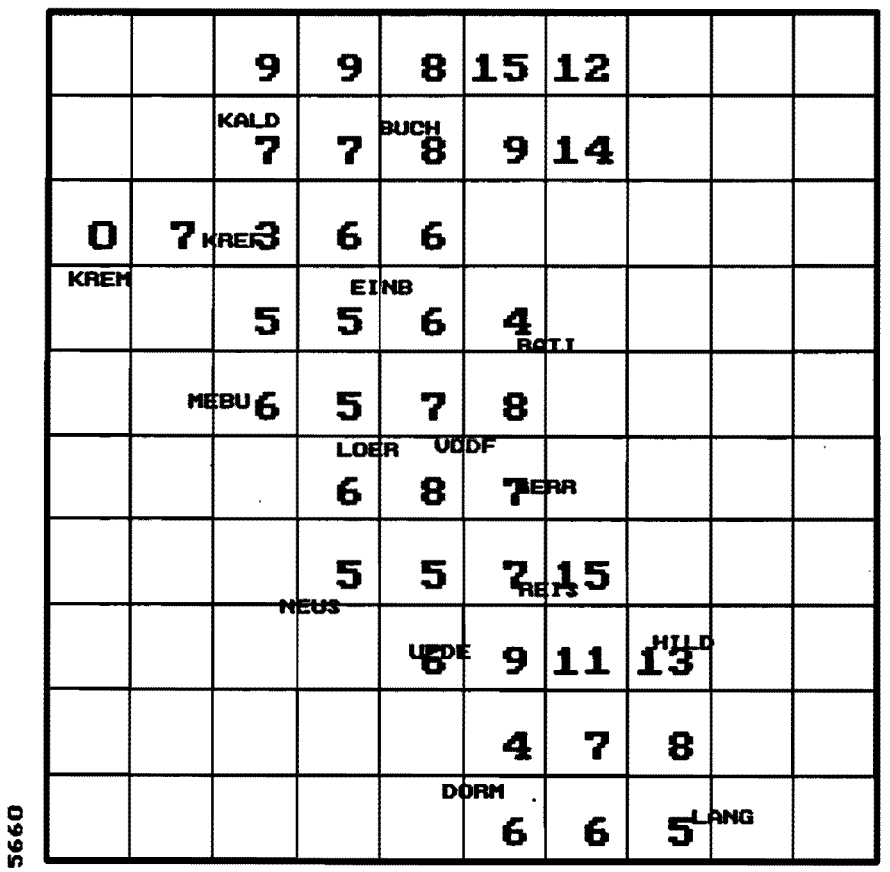
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

BUCH :	62
DORM :	48
EINB :	53
GERR :	46
HILD :	33
KALD :	56
KREF :	46
KREM :	57
LANG :	46
LOER :	47
MEBU :	54
NEUS :	50
RATI :	48
REIS :	60
UEDE :	46
VDDF :	65

25/11/1991

Abb. 4.3.4 b: Interpolationsfehler Schwebstaub Rheinschiene-Mitte:



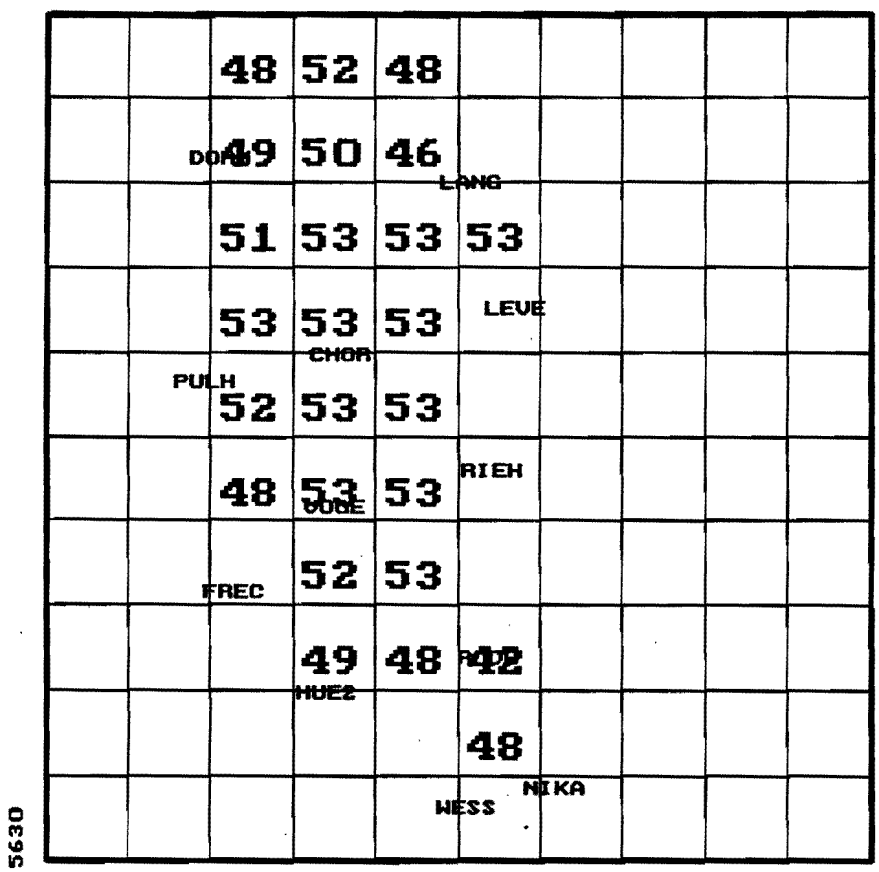
Interpolationsfehler
SSTR in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb. 4.3.5 : Interpolation Schwebstaub Rheinschiene-Süd:



Interpolation SSTR

Jahresmittel
in ug/m^3
1/ 1/90 bis
31/12/90

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

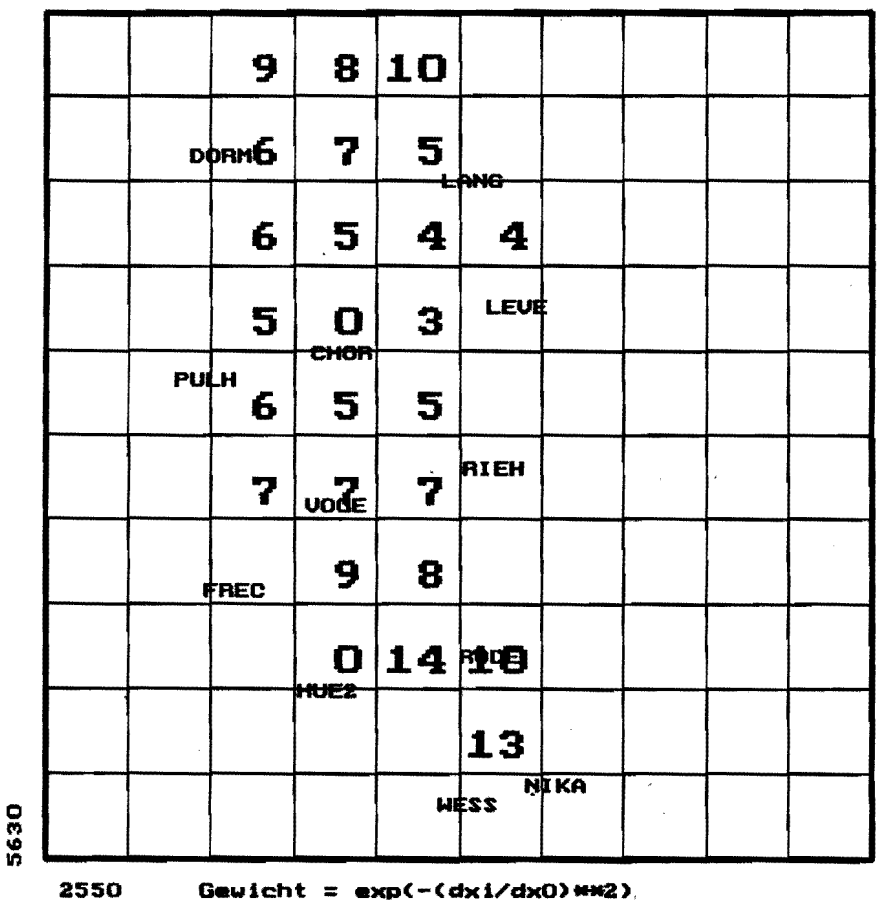
Strukturfunktion mit
28.d-mean

Referenz Stationen:

CHOR	53
DORM	48
FREC	47
HUE2	49
LANG	46
LEVE	53
NIKA	35
PULH	48
RIEH	53
RODE	42
VOGE	52
WESS	48

25/11/1991

Abb. 4.3.5 b: Interpolationsfehler Schwebstaub Rheinschiene-Süd:



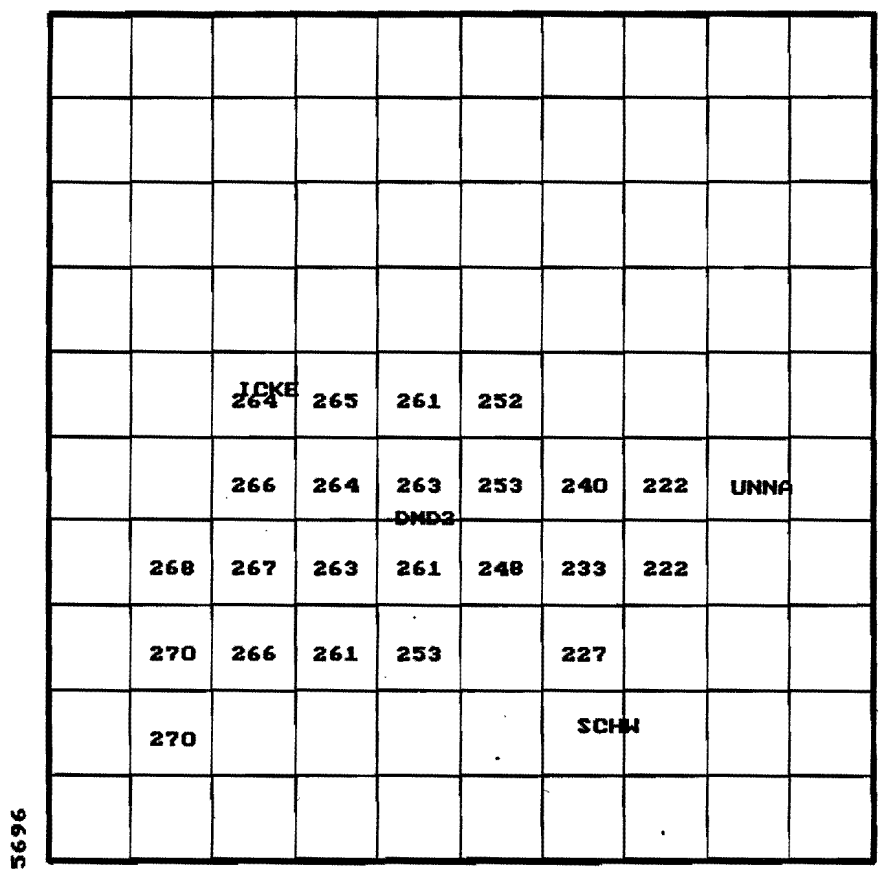
Interpolationsfehler
$STR in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 15.0 km

Strukturfunktion mit
28.d-mean

25/11/1991

Abb.4.4.1 : Interpolation Ozon Ruhrgebiet-Ost



Interpolation O3

2 Stundenmittel
in ug/m^3
4/ 8/90
16 Uhr

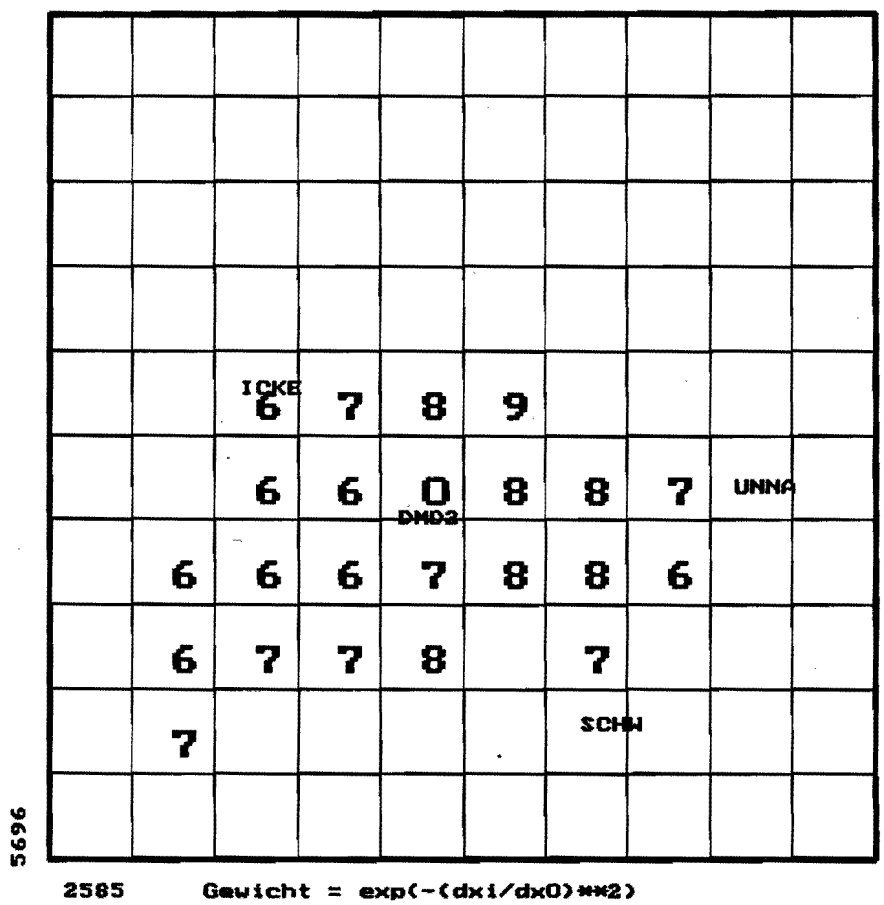
Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 30.0 km

Strukturfunktion mit
2.h-mean

Referenz Stationen:
DMD2 : 263
ICKE : 259
SCHW : 220
UNNA : 210

9/ 3/1992

Abb. 4.4.1b : Interpolationsfehler Ozon Ruhrgebiet-Ost



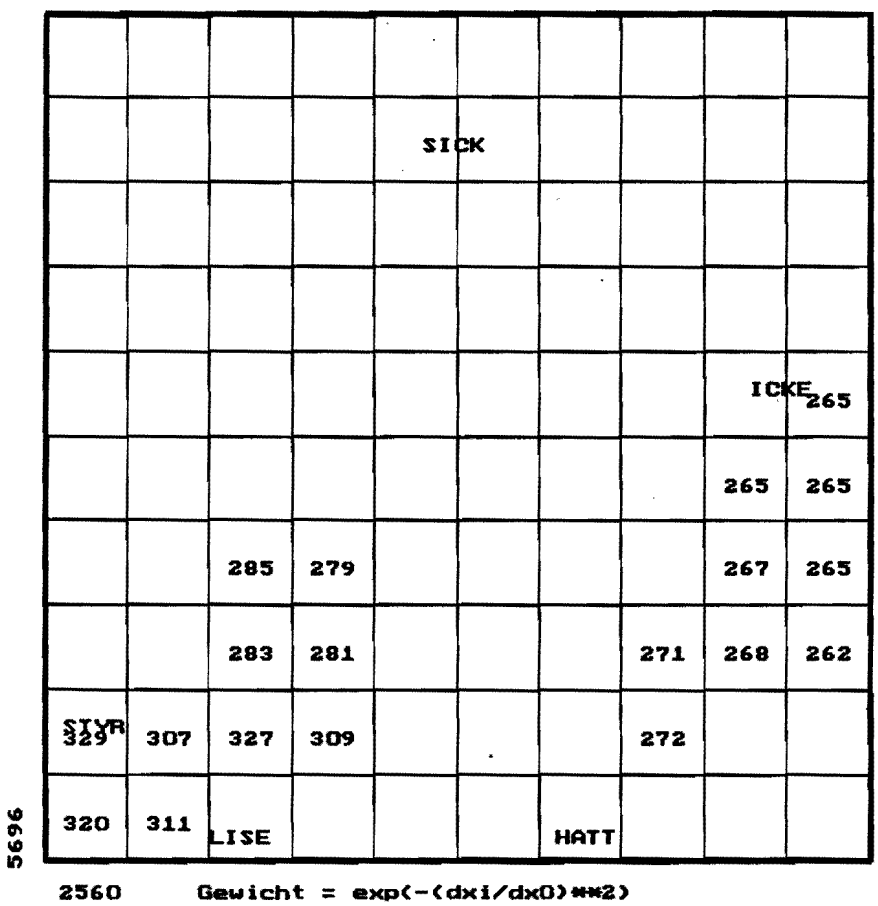
Interpolationsfehler
O3 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 30.0 km

Strukturfunktion mit
2.h-mean

9/ 3/1992

Abb. 4.4.2 : Interpolation Ozon Ruhrgebiet-Mitte:



Interpolation O3

2 Stundenmittel
in ug/m^3
4/ 8/90
16 Uhr

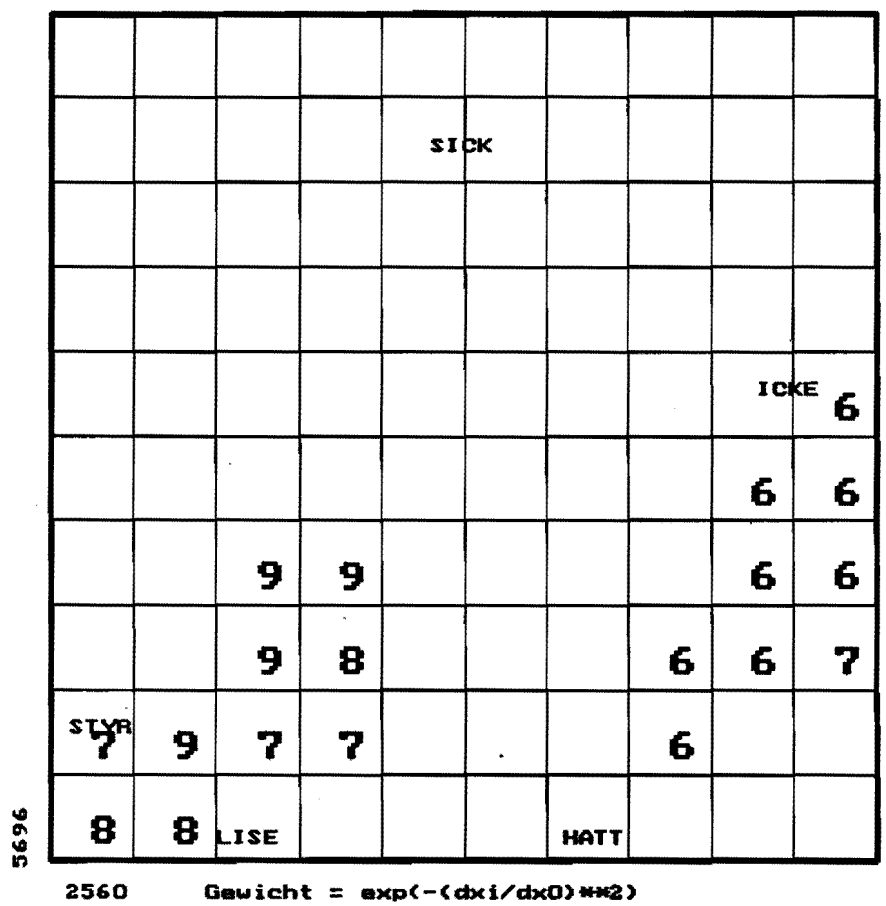
Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 30.0 km

Strukturfunktion mit
2.h-mean

Referenz Stationen:
HATT : 282
ICKE : 259
LISE : 315
SICK : 272
STYR : 354

9/ 3/1992

Abb. 4.4.2b : Interpolationsfehler Ozon Ruhrgebiet-Mitte:



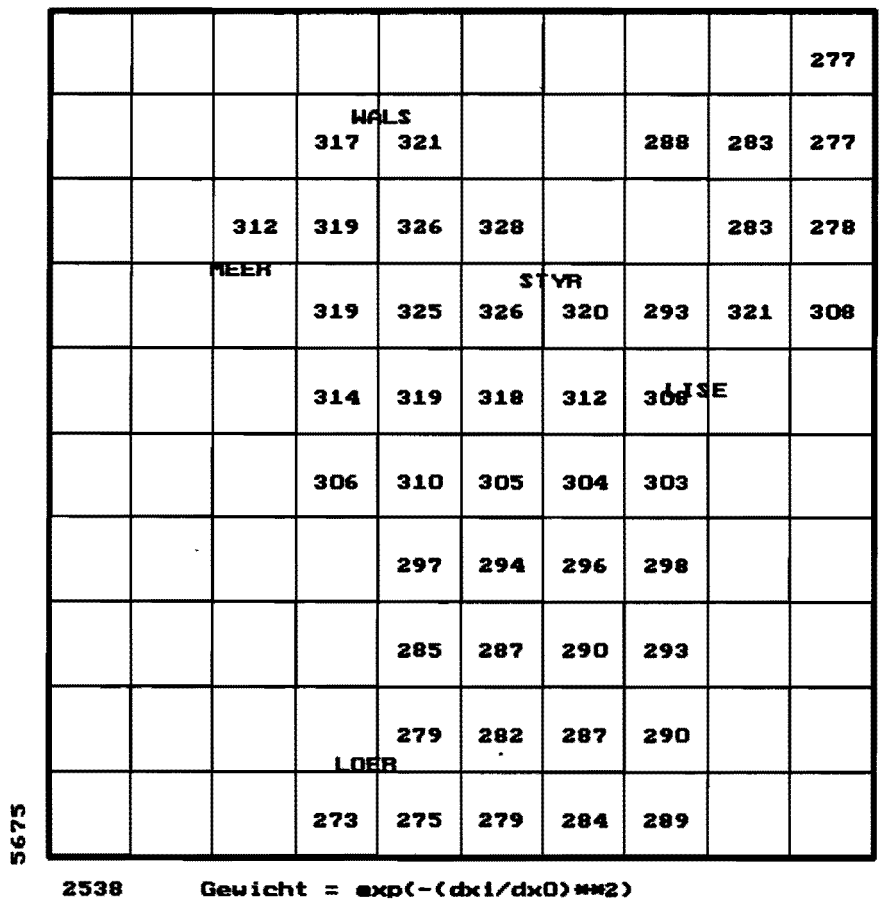
Interpolationsfehler
O3 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 30.0 km

Strukturfunktion mit
2.h-mean

9/ 3/1992

Abb. 4.4.3 : Interpolation Ozon Ruhrgebiet-West und Rheinschiene-Mitte:



Interpolation O3

2 Stundenmittel
in ug/m^3
4/ 8/90
16 Uhr

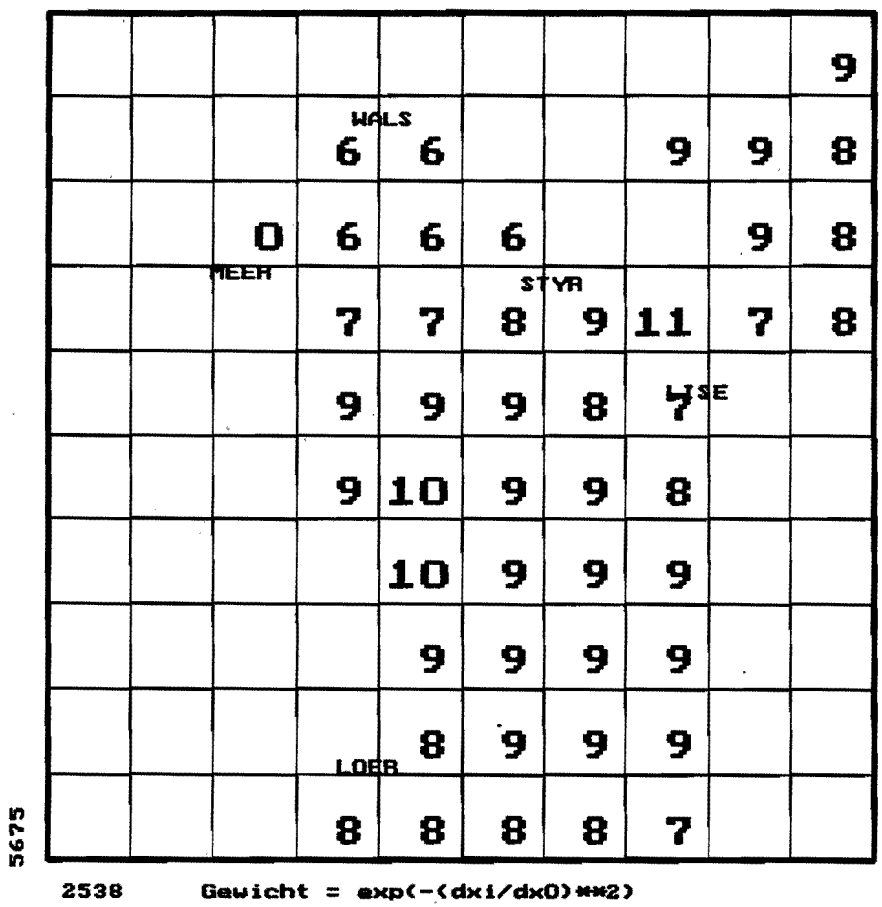
Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 30.0 km

Strukturfunktion mit
2.h-mean

Referenz Stationen:
LISE : 315
LOER : 268
MEER : 312
STYR : 354
WALS : 305

9/ 3/1992

Abb. 4.4.3b : Interpolationsfehler Ozon Ruhrgebiet-West und Rheinschiene-Mitte



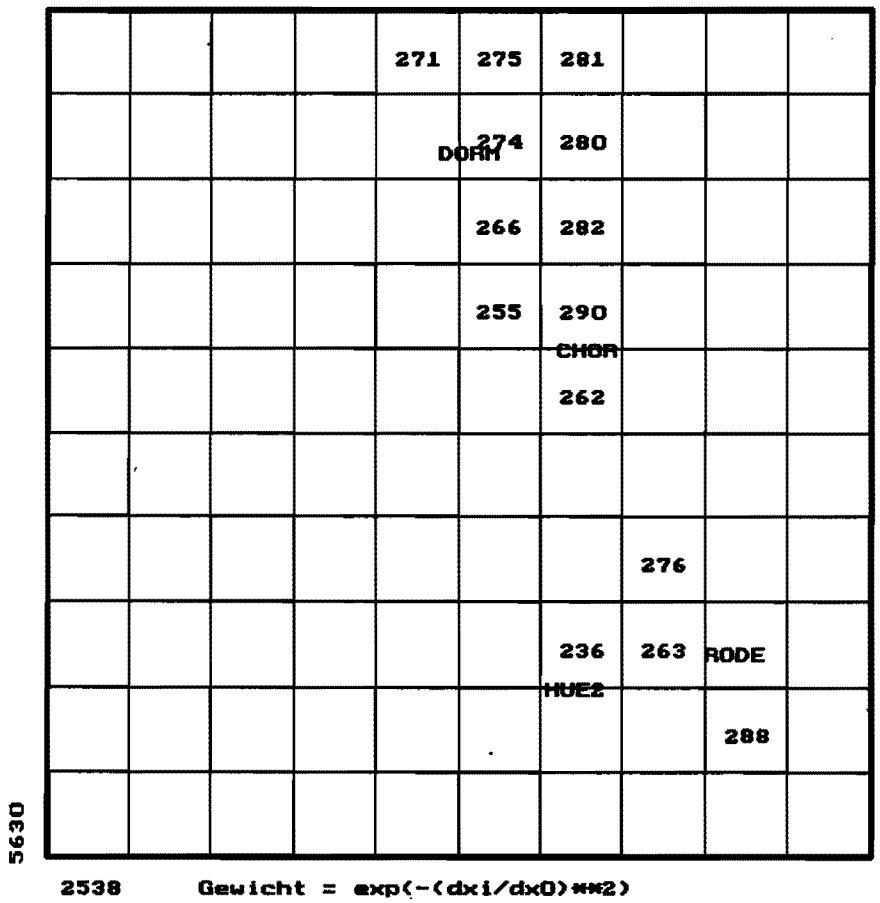
Interpolationsfehler
O3 in %

Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 30.0 km

Strukturfunktion mit
2.h-mean

9/ 3/1992

Abb. 4.4.4 : Interpolation Ozon Rheinschiene Süd:



Interpolation O3

2 Stundenmittel
in ug/m^3
4/ 8/90
16 Uhr

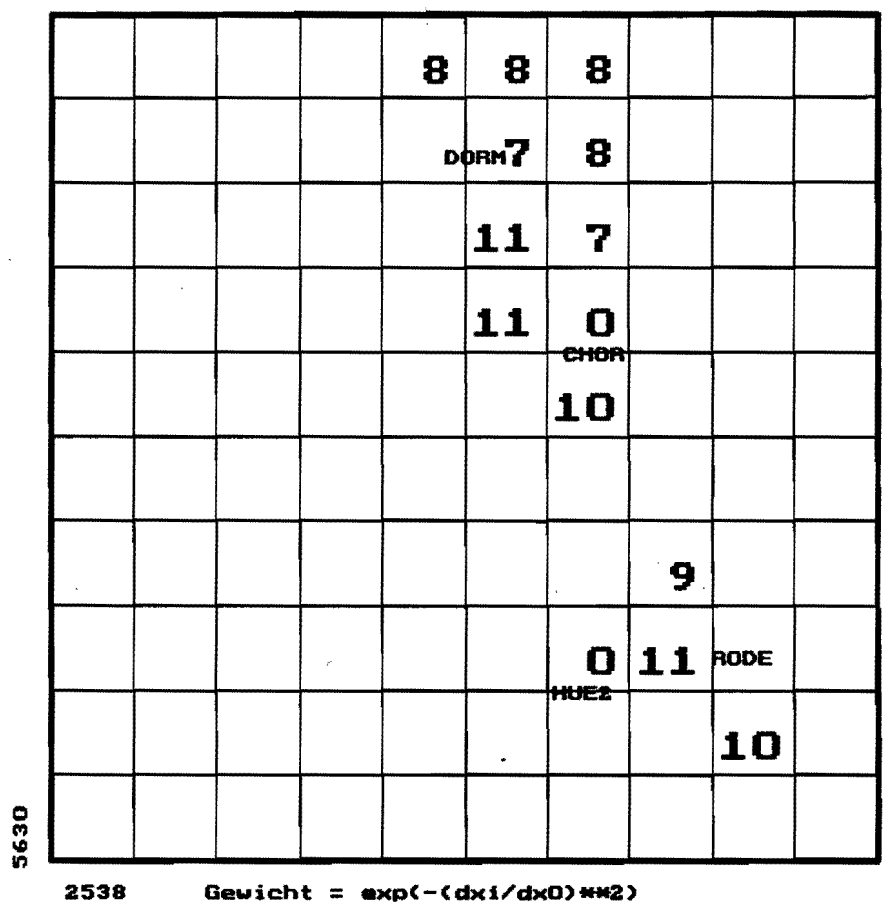
Raster.....: 4.0 km
R_Pol .....: 30.0 km

Strukturfunktion mit
2.h-mean

Referenz Stationen:
CHOR : 290
DORM : 264
HUE2 : 236
RODE : 305

9/ 3/1992

Abb. 4.4.4b : Interpolationsfehler Ozon Rheinschiene Süd:



Dokumentation der Procedure S T R U K
(Version vom 16.01.1992)

1) Programm **STRUCTUR**

Das Fortran-Programm **STRUCTUR** wurde auf einem COMPAQ-386 PC mit mathematischem Coprozessor entwickelt.

Vorzugeben sind in einer Eingabedatei mit frei wählbaren Namen:

1. Kurzname des betrachteten luftverunreinigenden Stoffes (4 Zeichen),
2. Einheit der Meßdaten (20 Zeichen),
3. Integrationszeit T der Meßdaten in Stunden bzw. Tagen
4. Anfangsdatum, Enddatum (JJMMTT) der Zeitreihen,
5. Kartesische Koordinaten der Stationen (Rechtswert, Hochwert)
6. Länge der Zeitreihe (< =366 Tage)
7. Kurznamen der Stationen

Die genaue Struktur der Ein- und Ausgabedateien wird weiter unten näher beschrieben.

Ferner werden folgende Angaben im Dialog abgefragt:

* Name der Eingabedatei
  (inkl. Pfad und Extension),
* Schwelle TH (Einheit der Meßwerte):
  zum Ausschluß kleinerer Meßwerte,
* Radius R_{max} (km):
  Abstand bis zu dem Nachbarstationen betrachtet werden
* Interpolationsradius
  Abstand, bis zu dem die Modellfunktion Anwendung findet
* RSE (Prozent):
  Übertragungsfehler, zu dem Isolinien berechnet werden.

Das Programm **STRUCTUR** umfaßt folgende Teile:

a) Berechnung der Modifizierten Strukturfunktion MOST

Die N Meßstationen werden nacheinander als Referenzstationen betrachtet. Zwischen der Referenzstation und benachbarten Meßstationen innerhalb des vorgegebenen Radius R_{max} wird berechnet (LIS - Berichte Nr.89):

$$MOST(i,j) = SUM [(c_j(t)/c_i(t)-1)^2] / M$$

mit

$c_j(t)$: Meßwert an der Meßstation j,
$c_i(t)$: Meßwert an der Referenzstation > TH,
M: Zahl der vollständigen Wertepaare $c_j(t), c_i(t)]$ mit $c_i(t) > TH$.

Unterhalb der Schwelle TH werden Meßwerte nicht berücksichtigt.

Erzeugt wird u.a. ein Printer-File LIS____, welcher für jede Meßstation der Eingabedatei eine Tabelle mit folgenden Angaben enthält :

Kurzname der Meßstation: i
Kurzname der Nachbarstation: j
Abstand zur Meßstation i: d(i,j)
Winkel zur Nordrichtung: w
Anzahl der betrachteten Wertepaare: M
Wert der Mod. Strukturfunktion: MOST(i,j)
Verhältnis: MOST(i,j) / d(i,j)

b) Ermittlung von Linien gleichen Standard-Schätzfehlers

Zu dem vorgegebenen Übertragungsfehler RSE (Prozent) werden Stützstellen (x,y) der zugehörigen Isolinie der modifizierten Strukturfunktion MOST berechnet durch Lösung der Gleichung

RSE = SQRT [MOST(i,x,y)].

Die berechneten Koordinaten (x,y) von maximal 36 Stützstellen der gewünschten Isolinie werden für jede Meßstation in der Datei **ISOLINES.DAT** abgelegt.
Die Koordinaten (x,y) der Isolinien werden durch lineare Interpolation in radialer Richtung in Sektoren von 10 Grad Weite bestimmt. Sind in einem Sektor keine Werte für MOST vorhanden, so wird eine lineare Interpolation in angularer Richtung durchgeführt, sofern der zu überbrückende Sektor 100 Grad nicht übertrifft (LIS-Berichte Nr.89).
Neben den Koordinaten der Islolinien werden die Entfernungen der Aufpunkte der Isolinien von der Referenzstation in die Datei **STR.DAT** geschrieben. Diese Datei ist zusammen mit einer Kenngrößendatei Eingabedatei für das Interpolationsprogramm **INPOL**.
Die Werte der mod. Strukturfuntion zwischen den Referenzstationen und den betrachteten Nachbarstationen werden auf eine Ausgabedatei **MOST.DAT** geschrieben.

2) Grafische Darstellung

2.1) Darstellung der Variogramme von MOST

Das Programm **MOSTPLO** stellt dar, wie die berechnete Strukturfunktion sich mit wachsender Entfernung zum betrachteten Aufpunkt verhält. Für jede Referenzstation wird ein Punkt-Diagramm der Funktion MOST = f(Distanz) erzeugt. Die gezeigten Symbole N,O, S,W geben in 90 ° Klassierung die Richtung der betrachteten Nachbarstationen an. Eingabedatei ist die vom Programm Struktur erzeugte Datei **MOST.DAT**.

2.2) Darstellung der Isolinien mit dem Programm ISOPLOT

Ein auf PC-Ebene lauffähiges Turbo-Pascal Plot-Programm wurde erstellt. Eingabedatei ist die von dem Programm **STRUCTUR** erzeugte Datei **ISOLINES.DAT**. Das Programm zeigt die berechneten Isolinien der Strukturfunktion in einem Fenster von 40 X 40 km (bzw. in den entsprechenden Einheiten der in den Eingabedateien angegeben Koordinaten), welches jeweils auf eine wählbare Station zentriert wird. Benötigt wird eine VGA-Graphik-Karte. Mit Hilfe einer geeigneten Print-Screen-Utility können die Bilder dann ausgedruckt werden.

2.3) Interpolation von Immissionskenngrößen und Darstellung in einer Rasterkarte mit dem Programm INPOL:

Die Interpolation erfolgt mit dem Turbo-Pascal Programm **INPOL**. Erwartet wird eine **Eingabedatei**, welche die zu interpolierenden Kenngrößen mit Koordinaten enthält, sowie die von dem Programm **STRUCTUR** erzeugte Datei **STR.DAT**.

interaktiv werden folgende Eingaben erwartet:

Name der Kenngrößendatei
Name der Strukturdatei
Interpolationsradius in km
Koordinaten der linken unteren Ecke des Interpolationsfensters
Schrittweite der Interpolation (Rasterweite in km)

Erzeugt werden zwei Rasterkarten der Größe 10 x 10 Rasterweite, welche die interpolierten Werte und deren prozentualen Fehler enthalten. Die Koordinaten des dargestellten Rasters beziehen sich immer auf die linke unter Ecke.

Folgende verschiede Gewichte sind bei der Interpolation wählbar:

1) $(2*dx_0-dx_i) / (2*dx_0+dx_i)$
2) (dx_0 / dx_i)
3) $(4*dx_0-dx_i) / (4*dx_0+dx_i)$
4) $\exp(-(dx_i/dx_0)^2)$
5) $1 / dx_i$

Optional können die interpolierten Werte zur weiteren Verarbeitung auch auf eine Ausgabedatei mit beliebigen Namen geschrieben werde. Die Struktur der Ausgabedatei für die interpolierten Werte wird im Punkt 9 dargestellt.

3) Ablauf

Die **Procedure STRUK.BAT** startet das Programm **STRUCTUR.EXE** und im Nachgang dazu automatisch die Programme **MOSTPLO.EXE, ISOPLOT.EXE** und **INPOL.EXE**. Die Programme arbeiten im Dialog. Die Eingabeparameter werden abgefragt. Bei der Eingabe von Zahlenwerten werden REAL-Größen erwartet.
Jedes der Programme ist auch einzeln lauffähig, sofern die benötigten Dateien vorhanden sind.

4.) Struktur der Eingabedatei

Dateiheader:

Komponente	(A4)
Dimension	(A20)
Integrationszeit T	(F4.0)
Anfangsdatum, Enddatum	(2I10)

Datensätze:

Rechtswert, Hochwert, Anzahl der Tage, Station
(2F10.1, I4, 1X, A4)

1. Meßwert	(F8.3)
2. Meßwert	(F8.3)

u.s.w

Ausfallkennziffer WERT = -99.

5.) Struktur der Ergebnis-Datei ISOLINES.DAT

Dateiheader:

''component''	
Komponente	(A4)
''data base''	
Data Base	(A20)
"threshold"	
XMIN	(F8.0)
"Circle"	
Radius	(F6.2)
''RSE-Deviation ''	
RSE	(F8.3)
"Episode''	
Anfangsdatum, Enddatum	(A20)

Datensätze:

Koordinaten der Referenzstation, Stationsname	(2F10.3,1X,A4)
36 mal	
Rechtswert, Hochwert, Iplot	(2F10.3,I3)

mit
(IPLOT=2 Linie zeichnen, IPLOT=3 Linie nicht zeichnen)

6.) Struktur der Ergebnis-Datei MOST.DAT:

Datei-Header:

''component''	
KOMP	(A4)
''data base''	
Titel	(A20)
''threshold''	
XMIN	(F6.0)
''circle''	
Radius	(F6.2)
''RSE''	
RSE	(F6.3)
''episode''	
Anfangsdatum, Enddatum (JJMMTT)	
ian, iend	(2I10)

Datensätze:

Zahl der Nachbarn, Referenzstation	(I3,1X,A4)
MOST, Abstand, Winkel, Station	(F6.3,1x,F5.1,1X,F5.1,1X,A4)

7.) Struktur der Ergebnis-Datei STR.DAT:

Datei-Header:

"component"	
KOMP	(A4)
"data base"	
String	(A20)
"threshold"	
XMIN	(F6.0)
"RSE"	
RSE	(F6.3)
"episode"	
IAN,IEN	(2I10)

Datensätze:

Rechtswert, Hochwert, Station	(2F7.1,1X,A4)
Entfernungen	36 mal (F5.1)

8.) Struktur der Kenngrößen-Datei:

Datei-Header:

KOMP	(Text)	(A)
Dimension	(Text)	(A)
Mittelungszeit	(Text)	(A)
Anfang, Ende	(Text)	(A)

Datensätze:

Rechtswert, Hochwert, Kenngröße, Station (2F10.1, 8.3,1X,A4)

9.) Struktur der Ausgabedatei für die Interpolierten Werte (optional) :

Dateiheader:

Komponente	(Text)
Dimension	(Text)
Zeitraum	(Text)
Umfeldradius	(Text)
Interpolationsverfahren	(Text)

Kopfzeile: Rechtswert, Hochwert, Wert, Fehler[%] (Text)

Die Angaben im Headers stammen aus den Informationen , die dem Programm INPOL bekannt sind.

Datensätze:

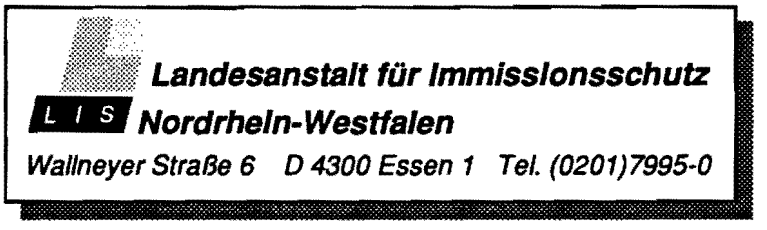
Rechtswert, Hochwert, Wert, Fehler (2F10.1,2F8.1)

LIS-Berichte

der Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Essen

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus dem Untersuchungs- und Forschungsprogramm der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Sie werden - soweit nicht vergriffen - Interessenten auf Anfrage hin kostenlos zur Verfügung gestellt. Alle LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Einsichtnahme und Ausleihe zur Verfügung.

Bestellungen sind zu richten an die



Die Titel der LIS-Berichte Nr. 1 bis 50 sind in einem Prospekt nachgewiesen, der auf Anfrage gerne zugeschickt wird. Diese Berichte sind, bis auf teilweise noch verfügbare Überstücke, vergriffen.

Berichte-Nr. 51: (vergriffen)
Herpertz, E., J. Assmann, D. Krane, E. Hartmann, B. Steck, E. Brewig und J. Krochmann:
Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).

Berichte-Nr. 52: (vergriffen)
Pfeffer, H.-U.:
Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions-Meß-und Erhebungsstellen in der Bundesrepublik Deutschland (STIMES).
Ergebnisse für die Komponenten SO_2, NO_x, O_3 und CO (1984).

Berichte-Nr. 53:
Beier, R.:
Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983 (1985).

Berichte-Nr. 54:
Bröker, G. und H. Gliwa:
Polychlorierte Dibenzo-Dioxine und -Furane in den Filterstäuben und Schlacken der 12 Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger Sondermüllverbrennungsanlagen (1985).

Berichte-Nr. 55:
Külske, S., J. Giebel, H.-U. Pfeffer und R. Beier:
Analyse der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.
Teil 1: Text- und Bildband (1985)
Teil 2: Meßergebnisse (1985).

Berichte-Nr. 56:
Splittgerber, H., M. Klein und P. Neutz:
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).

Berichte-Nr. 57: (vergriffen)
Prinz, B., J. Hradetzky, H.-U. Pfeffer, H.W. Zöttl und H.-K. Lichtenthaler:
Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden (1985).

Berichte-Nr. 58:
Giebel, J. und W. Stramplat:
Untersuchung über die Eignung des Korrelationsspektrometers COSPEC V zur Bestimmung des Transportes von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid (1986).

Berichte-Nr. 59: Prinz, B., D. Schwela, E. Koch, S. Ganser und T. Eikmann:
Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Häufigkeit von Pseudokrupperkrankungen im Stadtgebiet Essen (1986)..

Berichte-Nr. 60: Manns, H. und H. Gies:
Ergebnis der Erprobung des automatischen Ozon-Meßgerätes Dasibi, Typ 1008 AH (1986).

Berichte-Nr. 61: Splittgerber, H.:
Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen - Vergleich verschiedener Verfahren - (1986).

Berichte-Nr. 62: Buck, M. und P. Kirschmer:
Immissionsmessungen polychlorierter Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane in Nordrhein-Westfalen (1986).

Berichte-Nr. 62: Buck, M. und P. Kirschmer:
Measurements of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Outdoor Air (1987).(Übersetzung des 1986 erschienenen LIS-Berichtes Nr. 62)

Berichte-Nr. 63: (vergriffen) Giebel, J.:
Untersuchung über die praktische Anwendung eines numerischen Ausbreitungsmodells (K-Modell) für die Praxis der Immissionssimulation (1986).

Berichte-Nr. 64: (vergriffen) Winkler, H.D.:
Thalliumemissionen bei der Zementherstellung - Ursachen und Minderungsmaßnahmen - (1986).

Berichte-Nr. 65: (vergriffen) Wietlake, K.H.:
Erschütterungseinwirkungen durch Exzenter-Schmiedepressen und ihre Minderung durch Direktabfederung (1986).

Berichte-Nr. 66: Viertes Symposium über die Technik der Kernreaktorfernüberwachungssysteme am 8. und 9. Oktober 1985 in der LIS, Essen (1986).

Berichte-Nr. 67: (vergriffen) Assmann, J.:
Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (1986).

Berichte-Nr. 68: (vergriffen) Manns, H. und H. Gies:
Erprobung des Schwebstaubmeßgerätes FH 62 I 3 m^3/h für die automatisierte Immissionsmessung (1986).

Berichte-Nr. 69: (vergriffen) Beine, H.:
Phosphorsäureester und verwandte Verbindungen -
Umweltrelevanz und luftanalytische Bestimmung (1987).

Berichte-Nr. 70: Buck, M. und H.-U. Pfeffer:
Air Quality Surveillance in the State North-Rhine-Westphalia (F.R.G.).
(Vollständig neu bearbeitete Fassung LIS-Berichtes Nr. 46) (1987).

Berichte-Nr. 71: Wefers, H. und H. Katzer:
Zusammenstellung von zusätzlichen sicherheitstechnischen Anforderungen an Anlagen zur Lagerung von druckverflüssigtem Ammoniak in Kraftwerken (1987).

Berichte-Nr. 72: (vergriffen) Beier, R., J. Kohlert und M. Buck:
Entwicklung der Immissionsbelastung in der Umgebung der Aluminiumhütte im Essener Norden in den Jahren 1984 bis 1986 (1987).

Berichte-Nr. 73: (vergriffen) Schade, H.:
Erstellung eines Emissionskatasters und einer Emissionsprognose für Feuerungsanlagen im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher des Belastungsgebietes Ruhrgebiet Ost.
(1987).

Berichte-Nr. 74: (vergriffen)
Beier, R. und M. Buck:
Möglichkeit und Grenzen der Nutzung von Luftqualitätsdaten aus diskontinuierlichen Messungen gemäß TA-Luft (1988).

Berichte-Nr. 75:
Koch, E. und P. Altenbeck:
Prinzipien des prophylaktischen Immissionsschutzes (1988).

Berichte-Nr. 76:
Giebel, J.:
Eine vereinfachte Methode zur Immissionssimulation (1988).

Berichte-Nr. 77: (vergriffen)
Külske, S., R. Beier und H.-U. Pfeffer:
Die Smoglage vom 14. bis 22. Januar 1987 in Nordrhein-Westfalen und ihre Ursachen. (1988).

Berichte-Nr. 78: (vergriffen)
Geueke, K.-J. und H. Niesenhaus:
Bestimmung von Benzol in Abgasen (1988).

Berichte-Nr. 79: (vergriffen)
Wietlake, K.-H.:
Geräuschminderung durch Teilkapselung von Schmiedehämmern (1988).

Berichte-Nr. 80:
Krause, G.H.M. und B. Prinz:
Experimentelle Untersuchungen der LIS zur Aufklärung möglicher Ursachen der neuartigen Waldschäden (1989).

Berichte-Nr. 81: (vergriffen)
Goldberg, K.H.:
Untersuchungen zur Geräuschemission und -ausbreitung von Schußsignalen bei Kleinkaliberschießständen (1988).

Berichte-Nr. 82:
Buck, M. und K. Ellermann:
Die Immissionsbelastung durch Benzol in Nordrhein-Westfalen (1988).

Berichte-Nr. 83:
Wefers, H., S. Delling und T. Schulz:
Hinweise zur Erstellung und Prüfung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen nach der Störfall-Verordnung (1988).

Berichte-Nr.84: (vergriffen)
Wefers, H., T. Schulz und R. John:
Hinweise und Suchstrategien zu den Stoffen der Störfall-Verordnung (1988).

Hinweis: Die Grundlage des LIS-Berichtes bildet eine PC-Stoffliste, die von der LIS mit Hilfe einer relationalen Datenbank für Personalcomputer erstellt wurde. Die PC-Stoffliste kann auf PC mit Festplatte und dem Betriebssystem MS-DOS 3.3 (IBM-kompatibel) betrieben werden. Die PC-Stoffliste wird im Auftrag der LIS von der Fa. Colman, Essen (Tel.: 0201/790095) für DM 100,-- vertrieben

Berichte-Nr. 85: (vergriffen)
Krause, G.H.M.:
Untersuchungen zum Vegetationszustand im Umgebungsbereich der nordrhein-westfälischen Aluminiumhütten mit Hilfe der Falschfarbenfotografie (1988).

Berichte-Nr. 86: (vergriffen)
Katzer, H. und R. John:
Einsatz von Ammoniakwasser in katalytischen DeNO_x-Anlagen - Ergebnisse an einer Versuchsanlage - (1989).

Berichte-Nr. 87:
Kirschmer, P. und A. Gerlach:
Immissionsmessungen von Chlorkohlenwasserstoffen - Probenahme, Analyse, Ergebnisse - (1989).

Berichte-Nr. 88: (vergriffen)
Euteneuer, U., H. Katzer und H. Wefers:
Sicherheitstechnische Überprüfung einer verfahrenstechnischen Anlage nach einem modifizierten PAAG-Verfahren am Beispiel eines Flüssiggaslagers (1989).

Berichte-Nr. 89:
Beier, R. und A. Doppelfeld:
Analyse der räumlichen Repräsentativität automatischer Meßnetze der Luftqualität (1989).

Berichte-Nr. 90: Beier, R. und J. Kohlert:
Pilotstudie zur Überwachung von Tetrachlorethen in der Nachbarschaft von Chemisch-Reinigungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1989).

Berichte-Nr. 91: Buck, M. (Bearb.):
Asbest-Immissionsbelastung durch Abwitterung.
Fachkolloquium am 06. Juli 1989 in der LIS NRW, Essen,
Tagungsbericht. Gem. hrsg. von: Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Niedersächsisches Landesamt für Immissionsschutz, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen (1989).

Berichte-Nr. 92: Kirschmer, P. und P. Eynck:
Meßverfahren mit automatisierter Probenahme zur Bestimmung von Aldehyden in der Luft (1989).

Berichte-Nr. 93: Ehl, W. und A. Ertl:
Kriterien-Katalog zur "Prüftiefe" bei Sicherheitsanalysen am Beispiel eines Flüssiggaslagers. (1990).

Berichte-Nr. 94: Manns, H., G. Nitz und B. Striefler:
Weiterentwicklung und Erprobung von Immissionsmeßverfahren für gesundheitsgefährdende organische Stoffe. (1990).

Berichte-Nr. 95: Splittgerber, H. und R. Hillen:
Wahrnehmungsschwelle für Ganzkörperschwingungen in sitzender Körperhaltung.
(1991).

Berichte-Nr. 96: Mang, F. und F. Wolfmüller
Großvolumige Behälter zur erdgedeckten Lagerung von druckverflüssigtem Propan, Butan und Ammoniak (bearb. von W. v. Borries und H. Katzer).
(1991).

Berichte-Nr. 97: Hansmann, G. und H. Wefers:
Sicherheitstechnik bei Aktivkoksfiltern an Abfallverbrennungsanlagen
- Hinweise und Anforderungen aus der Sicht der Störfall-Verordnung
(1991)

Berichte-Nr. 98: Koch, E. und P. Altenbeck:
Umsetzung der Großfeuerungsanlagen-Richtlinie der EG in den Mitgliedstaaten.
(1992)

Berichte Nr. 99: Beisheim,K. , A. Ertl und H. Wefers:
Sicherheitsanalysen zu Pflanzenschutzmittellägern
- gutachterliche Bewertung zweier Beispiele.
(1992)

Berichte Nr. 100: Pfeffer, H.-U., H. Dobrick und R. Junker:
Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.
Anforderungen an die Telemetrischen Echtzeit-Immissionsmeßsysteme TEMES und MILIS in NRW.
(1992)