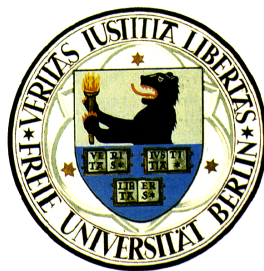


Abschlußbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
298 41 252 auf dem Gebiet des Umweltschutzes „Modellie-
rung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Be-
lastung durch Ozon“

**Klimatische Auswertung
von modellierten und
beobachteten Zeitreihen für
Ozon, NO₂, NO, SO₂ und PM10
in Deutschland
für die Jahre 1995-2001
und deren Charakterisierung
nach Immissionsregimes
mit einem Clusterverfahren**

Johannes Flemming



**Freie Universität Berlin
Institut für Meteorologie
Troposphärische Umweltforschung**

Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10
12165 Berlin

Februar 2003

Berichts-Kennblatt

BerichtsnummerUBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Klimatische Auswertung von modellierten und beobachteten Zeitreihen für Ozon, NO ₂ , NO, SO ₂ und PM ₁₀ in Deutschland für die Jahre 1995-2001 und deren Charakterisierung nach Immissionsregimes mit einem Clusterverfahren		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Flemming, Johannes	8. Abschlußdatum Februar 2003	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Institut für Meteorologie Freie Universität Berlin Carl-Heinrich becker Weg 6-10 12165 Berlin	UFOPLAN-Nr. 298 41 252	
	11. Seitenzahl 122 inkl. Anhang	
	12. Literaturangaben 30	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	13. Tabellen und Diagramme 3	
	14. Abbildungen 45	
	15. Zusätzliche Angaben Anhang mit der Klassifikation aller Stationen hinsichtlich aller gemessenen Stoffe für die Jahre 1995-2001	
16. Kurzfassung <p>Mit einem robusten hierarchischen Clusterverfahren werden die beobachteten Zeitreihen der deutschen Messstationen für Ozon, NO₂, NO, SO₂ und TSP/PM₁₀ aus den Jahren 1995-2001 in Immissionsregimes klassifiziert. Der typische Tagesmittelwert und die Tagesschwankung bilden die Grundlage für die Klassifikation. Die Klassifikation hinsichtlich Ozon stimmt gut mit der derzeitigen Klassifikation des UBA, die auf Ozonminima beruht, überein und verfeinert sie um die Regimes „Vorstadt“ und „Stadt, belastet“. Die Klassifikationen hinsichtlich der anderen Stoffe sind ein neuartiges Ergebnis und zeigen, dass eine alleinige Klassifikation hinsichtlich Ozon insbesondere für PM₁₀ und SO₂ nicht ausreichend ist.</p> <p>Die abgeleiteten Klassifikationsregeln werden auch für die Klassifikation von modellierten Zeitreihen verwendet. Auf dieser Basis wird dann ein umfangreicher Vergleich des typischen Tages, Wochen- und Jahresgangs sowie der interannuellen Variabilität hinsichtlich der unterschiedlichen Regimes von Beobachtung und Modellrechnung durchgeführt.</p>		
17. Schlagwörter Datenassimilation, Chemie Transport Modellierung, Optimale Interpolation, Kalman Filter, Kovarianzmodellierung, räumliche Statistik		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

Report No. UBA-FB BBBB	2. BBBB	3. BBBB
4. Report Title Climatic evaluation of modelled and observed time series for ozone, NO ₂ , NO, SO ₂ and PM10 in Germany for the years 1995-2001 and their characterisation in air quality regimes with a cluster procedure		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Flemming, Johannes		8. Report Date February 2003
6. Performing Organisation (Name, Address) Institut für Meteorologie Freie Universität Berlin Carl-Heinrich becker Weg 6-10 12165 Berlin		9. Publication Date
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin		10. UFOPLAN-Ref. No. 298 41 252
		11. No. of Pages 104
		12. No. of Reference 110
		13. No. of Tables, Diagrams 2
		14. No. of Figures 125
15. Supplementary Notes Appendix: List of all classifications per species and year (1995-2001)		
16. Abstract The time series of ozone, NO ₂ , NO, SO ₂ and TSP/PM10 from German measuring stations (1995-2001) are classified in air quality regimes by means of robust hierarchical clustering. The typical daily average and the daily variation form the basis for the classification. The classification regarding ozone agrees well with the present UBA classification, which is based on ozone minima, and refines it around the regimes "suburb" and "city, loaded". The classifications regarding the other species are a new result and show that an classification exclusively based on ozone is not sufficient for PM10 and SO ₂ . The derived classification rules are used also for the classification of modelled time series. On the basis of the derived observed and modelled regimes, an extensive comparison of the typical daily, week and yearly variation as well as the interannual variability is performed.		
17. Keywords air quality regimes , air quality climatology, model evaluation		
18. Price	19.	20.

**Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252
auf dem Gebiet des Umweltschutzes
„Modellierung und Prüfung von Strategien zur
Verminderung der Belastung durch Ozon“**

Abschlussbericht:

**Klimatische Auswertung
von modellierten und beobachteten Zeitreihen
für
Ozon, NO₂, NO, SO₂ und PM₁₀
in Deutschland für die Jahre 1995-2001
und deren
Charakterisierung nach Immissionsregimes mit einem
Clusterverfahren**

Johannes Flemming

Institut für Meteorologie
Freie Universität Berlin
Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10
12165 Berlin

für:

Umweltbundesamt
II 6.1
Postfach 33 00 22
14191 Berlin

Februar 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
	<i>Datenquellen.....</i>	<i>4</i>
	1.1.1 Die Beobachtungen.....	4
	1.1.2 Modellierung.....	6
	1.1.3 Charakterisierung der Immissionszeitreihen mit statistischen Parametern	8
	<i>Exkurs: Repräsentativität der Immissionsbeobachtung - Immissionsregimes und Beobachtungsfehlervarianz</i>	<i>10</i>
2	Die Klassifikation von Immissionsregimes.....	13
	<i>Methodik der Klassifikation von Immissionsmessstationen</i>	<i>13</i>
	<i>Bisherige Klassifikationen des Emissions- und Immissionsregimes in Deutschland 14</i>	
	2.1.1 Vergleich der verschiedenen Klassifikationen	15
	2.1.2 Notwendigkeit einer neuen Klassifikation.....	16
	<i>Ein Clusterverfahren zur Kategorisierung des Immissionsregimes</i>	<i>17</i>
	2.1.3 Clusterverfahren	17
	2.1.4 Strategie der Clusterung von Parametern der Immission	21
3	Klimatologie der Immissionsregimes von Beobachtung und Modellierung .	31
	<i>Methodik der Darstellung.....</i>	<i>31</i>
	<i>Regimes der Ozonimmission.....</i>	<i>32</i>
	<i>Vergleich mit der UBA-Klassifikation für die Ozon-Regimes</i>	<i>35</i>
	<i>Regimes der NO₂-Immission</i>	<i>36</i>
	<i>Regimes der NO-Immission</i>	<i>40</i>
	<i>Regimes der SO₂-Immission</i>	<i>43</i>
	<i>Regimes der PM₁₀ -Immission.....</i>	<i>46</i>
	<i>Vergleich der Regimes und Mediane verschiedener Spezies.....</i>	<i>49</i>
	<i>Zeitliche Variabilität.....</i>	<i>56</i>
	3.1.1 Tages- Wochen- und Jahresgang.....	57
	3.1.2 Zwischenjährliche Variabilität.....	64
4	Zusammenfassung	67
5	Literaturverzeichnis	69
6	Anhang.....	72

1 Einleitung

Die bodennahe Messung der Immission ist die wichtigste Informationsquelle für die Beurteilung der Luftgüte. Daneben steht die Ausbreitungsrechnung, die die Felder der Immission aufgrund der zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten unter Verwendung von Emissionsdaten und meteorologischen Daten modelliert. Die Modellierung liefert im Gegensatz zur Beobachtung kontinuierliche Felder, so dass auch Informationen an den Orten ohne Beobachtung bereitgestellt werden können.

Im Rahmen des FE-Vorhabens 298 41 252 werden gemessene Immissionsdaten für die Auswertung im Sinne der EU-Rahmenrichtlinie, für die Evaluierung der Modellrechnungen und für die geplante Anwendung von Techniken der Datenassimilation benötigt. Dazu werden stündliche Zeitreihen für Ozon, NO, NO₂, TSP (PM10) und SO₂ aus Deutschland und Europa verwendet.

Dazu wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Akquirierung der benötigten Zeitreihen für Deutschland und die mitteleuropäischen Länder mit möglichst großer Vollständigkeit
- Erstellen eines einheitlichen Formates für alle vorliegenden Beobachtungen
- Inventarisierung der vorhandenen Zeitreihen und Bestimmung der Anzahl der Fehlwerte
- Klassifikation gemessener und modellierter Jahreszeitreihen in Immissionsregimes mit Hilfe eines hierarchischen Clusterverfahrens
- Klimatologische Zusammenschau der Immission und ihrer zeitlichen Variabilität für die Immissionsregimes

Die ersten drei Arbeitspunkte stellen technische Vorleistungen dar, um die Messdaten für die Projektarbeit verfügbar zu machen. Der klimatische Überblick dient dazu, die Gesamtheit der Immissionszeitreihen zu veranschaulichen. Es wird dabei auf die mittlere und extreme Immission und deren Zyklen im Tages-, Wochen- und Jahresgang eingegangen. Weiterhin werden die jährlichen Unterschiede im Zeitraum 1995-2001 untersucht. Diese Untersuchung ist für die Wahl eines geeigneten Basisjahres für Szenariorechnungen von Bedeutung.

Die Klassifikation ist der inhaltliche Schwerpunkt dieses Berichtes. Für die deutschen Messstationen existierte vor dem Projektbeginn eine auf der Ozonimmission basierende Klassifikation (UBA-Klassifikation, Enke et al., 1998). Für einen großen Teil der Stationen liegen jedoch keine Ozonbeobachtungen vor. Weiterhin gibt die Ozonimmission das Regime anderer Spezies nur unzureichend wieder. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Projektes eine Klassifikation der Immissionsregimes für Ozon, NO, NO₂, PM10 und SO₂ mit Hilfe eines hierarchischen Clusterverfahrens durchgeführt.

Die Charakterisierung des Immissionsregimes einer Messstation erlaubt Rückschlüsse auf deren räumliche Repräsentativität. Dieses Kenntnis ist besonderes für die Modell-

evaluierung und die Datenassimilation von Bedeutung. Die Existenz von sehr unterschiedlichen Regimes ist eine Besonderheit der Immissionsfelder und ihrer Messung im Vergleich zu anderen atmosphärischen Variablen. Die Techniken der Datenassimilation sind für die Variablen der numerischen Wettervorhersage entwickelt worden. Um sie sachgerecht für Immissionsdaten anwenden zu können, müssen diese Besonderheiten berücksichtigt werden. Die Unterscheidung der Regimes bildet hierfür eine wichtige Grundlage. Die theoretischen Grundlagen der Datenassimilation können in Flemming (2003) gefunden werden. Eine erste Anwendung der Datenassimilation zur Einschätzung der Luftqualität 1999 auf der Basis von Messungen und Modellrechnungen ist in Stern und Flemming et al. (2001) beschrieben.

Datenquellen

Im Rahmen dieser Arbeit werden beobachtete und modellierte Zeitreihen methodisch gleichwertig behandelt. Anders als die Beobachtungen haben Modellergebnisse keinen „endgültigen“ Charakter. Sie sind immer das Resultat einer fortschreitenden Entwicklung und damit veränderlich. Die hier bearbeiteten Modellergebnisse repräsentieren daher einen Arbeitszustand und die gewonnenen Erkenntnisse über mögliche Defizite können erst in einer neuen Stufe der Modellentwicklung verwendet werden.

Die modellierten Zeitreihen werden durch bilineare Interpolation für den Messort gewonnen. Dieses Vorgehen erscheint für die Modellevaluierung problematisch, da Beobachtung und Messung unterschiedliche Skalen repräsentieren. Es kann jedoch gerechtfertigt werden, da nicht vorrangig der Vergleich von Stundenwerten, sondern von Parametern der gesamten Häufigkeitsverteilung im Vordergrund steht. Mit den ermittelten Regimes und den geschätzten Beobachtungsfehlern stehen jedoch Informationen über die Repräsentativität für eine angemessene Modellevaluierung zur Verfügung.

1.1.1 Die Beobachtungen

Die Beobachtungsdaten sind stündliche Zeitreihen der bodennahen Messung für Ozon (O_3), Stickstoffdioxid (NO_2), Stickstoffmonoxid (NO), Schwefeldioxid (SO_2), Staub (TSP^1) und Feinstaub (PM_{10}^2). Die Daten stammen zum größten Teil aus den Messnetzen der deutschen Bundesländer und des Umweltbundesamtes. Darüber hinaus sind Zeitreihen benachbarter Länder über den Datenaustausch der Europäischen Umweltbehörde bezogen worden (<http://etc-acc.eionet.eu.int/databases/airbase.html>).

Für die EU-Rahmenrichtlinie ist nur die Fraktion des Staubes mit einem Durchmesser kleiner $10\ \mu m$ (PM_{10}) von Interesse. PM_{10} -Messungen liegen jedoch erst seit 2000 in größerem Umfang vor. Aus diesem Grund wird die PM_{10} -Konzentration auch aus der TSP -Immission abgeleitet. Dabei wird ein Anteil von 80% ³ angenommen (Lenschow et al., 2001)

¹ Total suspended matter

² Particulate matter mit einem effektivem Radius von weniger als $10\ \mu m$

³ Trotz regionaler Unterschiede wird dieser Wert für Deutschland häufig verwendet. Für tropische Großstadt (Jakarta) wird z.B. ein Umrechnungsfaktor von 50% ausgegangen (Ostro, 1994)

Bei den verwendeten Beobachtungsdaten handelt es sich um offizielle und geprüfte Daten. Auf eine sinnvolle umfangreiche Datenqualitätsprüfung und eine Fehlwertersetzung wurde im Rahmen dieser Arbeit verzichtet. Dies kann mit dem hier verwendeten klimatologischen Ansatz vertreten werden, der die Betrachtung einzelner Stationsmessreihen nicht vordergründig beabsichtigt. Mögliche Fehler der Messreihen werden jedoch durch die Schätzung des Beobachtungsfehlers bzw. durch den Vergleich mit anderen Beobachtungen aufgedeckt.

Eine weitere Quelle der Datenunsicherheit ist in dem Umstand zu suchen, dass die Strategie der Immissionsmessung in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich ist, diese Unterschiede aber nicht dokumentiert sind. Dazu gehört die Festlegung der unteren Messbereichsschranke⁴ und das Verhältnis⁵ der Beobachtungsanzahl in ländlichen und belasteten Regimes.

Die Bestimmung der Häufigkeit von Fehlwerten ist notwendig, da die Daten statistisch bearbeitet werden. In den Tochterrichtlinien (EU, 2002; EU, 2000; EU, 1999) zur EU-Rahmenrichtlinie (EU, 1996) ist festgelegt, dass mindestens 90% der Daten einer kontinuierlichen Jahreszeitreihe (Ozon nur Sommerwerte, siehe EU, 2002) für die Ableitung der Luftgütekriterien vorhanden sein müssen. Um die Anzahl der verwendbaren Zeitreihen zu erhöhen, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Vollständigkeitskriterium von 85% angewendet. Dies ist insbesondere für die Nachtwerte von Bedeutung, da hier die Ausfallquote überproportional hoch ist. Eine Fehlwertersetzung wurde nicht durchgeführt. Für Ozon⁶, NO₂, TSP und SO₂ erfüllen mehr als 80% und für PM10 und NO weniger als die Hälfte der Zeitreihen das 85% Kriterium.

Tabelle 1 zeigt die Anzahl der vorliegenden Jahreszeitreihen aus Deutschland und Europa für die Jahre 1995-2001. Die räumliche Verteilung der Stationen wird in Abbildung 1 für Ozon gezeigt.

Anzahl	1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001	
	D	EU	D	EU	D	EU	D	EU	D	EU	D	EU	D	EU
O ₃	336	110	337	116	361	195	332	208	342	268	348	190	342	-
NO ₂	409	47	379	60	4234	110	410	120	418	181	423	-	420	-
NO	322	39	374	36	376	77	313	106	420	112	425	39	420	-
SO ₂	443	30	357	34	4261	84	360	80	406	107	398	-	381	-
TSP	232	1	342	1	340	-	341	-	288	-	129	-	104	-
PM10	-		-		36	20	38	21	34	23	98		155	

Tabelle 1 Anzahl vorliegenden Jahreszeitreihen, deren Vollständigkeit größer als 85% ist für Deutschland (D) und für Europa (E).

⁴ Für SO₂ in Brandenburg ist der kleinste mögliche Wert 3 µg/m³ während er in den benachbarten Bundesländern der häufig gemessene Minimalwert 1 µg/m³.

⁵ In Bayern finden PM10-Messungen nur in belasteten Regimes statt.

⁶ Die Datenqualitätsanforderung wirkt sich besonders auf die Ozonbeobachtungen aus, bei der nach diesem Kriterium nur 70% der Zeitreihen verwendet werden könnten

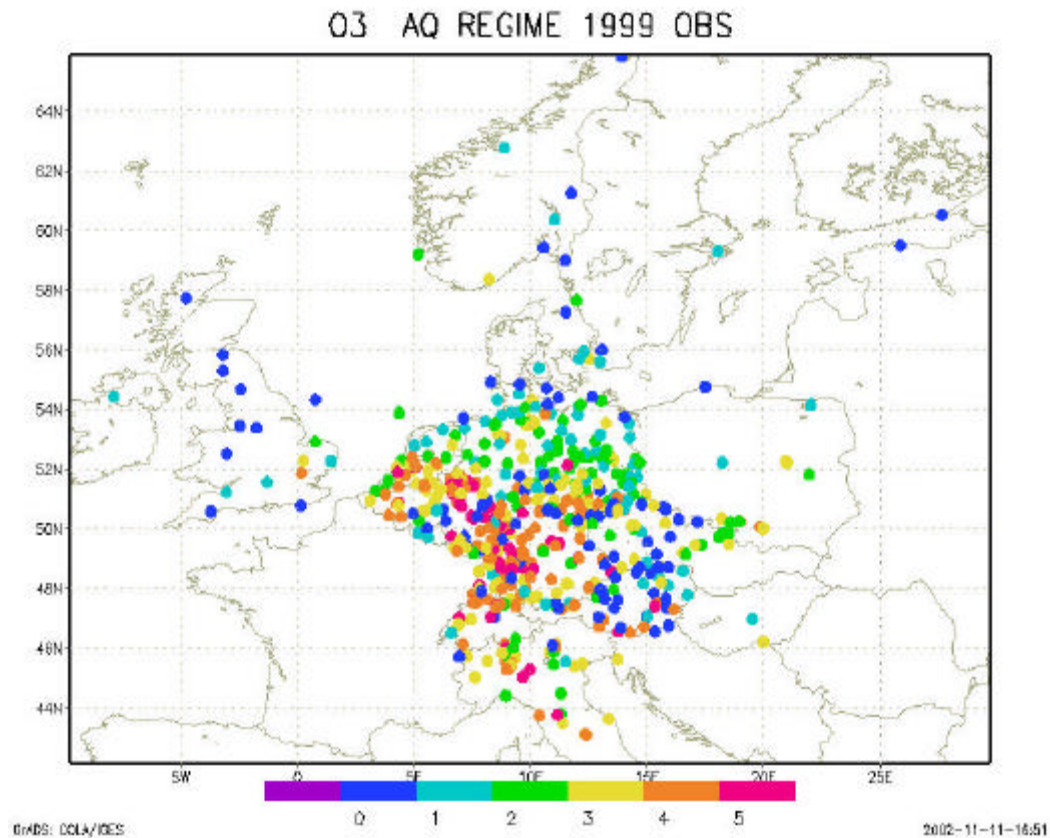


Abbildung 1 Messorte mit vollständigen (85%) Ozon-Jahreszeitreihen in Europa im Jahr 1999. Regime: 0=Berg/Küste, 1=Land, 2=Vorstadt, 3=Stadt, 4=belastete Stadt, 5=Verkehr. Zur Ableitung der Regimes siehe Kapitel 2.

1.1.2 Modellierung

Die modellierten stündlichen Immissionswerte wurden mit dem Modell REM/Calgrid (RCG) berechnet. Dieses Modell wurde im Rahmen dieses FE-Vorhabens aus den Modellen REM3⁷ und CALGRID⁸ entwickelt. Für eine ausführliche Beschreibung dieses Eulerschen Chemie-Transport-Modells (CTM) sei auf Stern (2003a) verwiesen. Hier werden nur wichtige Grundzüge erläutert.

CTM in Eulerscher Darstellung verwenden ein in Gitterboxen unterteiltes Modellgebiet. Für jeder Gitterbox wird die zeitliche Änderung der mittleren Konzentration c_i des Stoffes i auf Basis der Massenbilanzgleichung (1.1) berechnet. Die Massenbilanz beschreibt die zeitliche Konzentrationsänderung als Folge der Divergenz von mittleren und turbulenten Flüssen (\mathbf{v} = Windvektor) sowie der Emission (E), der chemische Umwandlung (R) und der Deposition (D):

⁷ Regional Eulerian Model with 3 chemical mechanism

⁸ Californian Grid Model

$$\frac{\partial \bar{c}_i}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\bar{c}_i \bar{\mathbf{v}}) + \bar{\nabla} \cdot (\overline{c_i \mathbf{v}'}) = R_i + E_i + D_i \quad (1.1)$$

Die Zusammenstellung der Volumenmittelwerte ergibt ein Konzentrationsfeld in Gitterpunktdarstellung. Das Ergebnis einer CTM-Rechnung ist stark von der gewählten räumlichen Auflösung, d.h. der Gitterboxgröße abhängig und entspricht damit nicht unbedingt der Konzentration an einem bestimmten Punkt. Das Modell simuliert die Immissionen hauptsächlich als Folge von Prozessen der räumlich aufgelösten Skala. Aufgrund der nichtlinearen Wechselwirkungen beeinflussen die subskaligen Phänomene die aufgelösten Prozesse (Lange, 2002). Für die turbulenten vertikalen Austauschprozesse existieren vielfältige Lösungsansätze⁹. Weitere „turbulente“ Phänomene in der Chemie-Transport-Modellierung, wie die Wirkung der Konzentrationsfluktuationen auf die Reaktionsgeschwindigkeit oder die Übergabe der kleinskaligen Emissionsquellen ins Modellgitter, harren ihrer Parametrisierung. Erste Ansätze sind in Stockwell (1995) zu finden.

Das Modell REM/CALGRID ist ein Ausbreitungsmodell für die Planetare Grenzschicht. Das Modellgebiet umfasst Mitteleuropa mit einer horizontalen Auflösung von 0.25°*0.5° (ca. 25*25 km²). Die gewählte horizontale Auflösung entspricht der Auflösung der zur Verfügung stehenden Emissionsdatenbasen (siehe Stern, 2003b). Ein besonderes Kennzeichen des RCG-Modells ist die Möglichkeit einer dynamischen vertikalen Auflösung, die in Abhängigkeit von der extern berechneten Mischungsschicht bestimmt wird (Abbildung 2). Dadurch wird der Tagesgang der Grenzschicht von der sich ändernden Modellgeometrie erfasst. Diese Modelloption wurde bei den hier durchgeführten Berechnungen verwendet. Die unterste Modellschicht hat eine Höhe von 20 m. Die Berechnungen für diese Schicht werden als Äquivalent der bodennahen Messung angesehen. Darüber befindet sich die Mischungsschicht, die zur genaueren Darstellung in zwei gleichgroße Schichten aufgeteilt wird. Über der Mischungsschicht und mit dieser nur durch Entrainment und vertikalen Winden, aber nicht durch turbulenten Austausch gekoppelt, befindet sich die oberste Modellschicht. Sie hat die Funktion eines Speichers und wird demzufolge als Reservoirschicht bezeichnet.

Der hier verwendete Chemismus des Modells ist eine fortgeschriebene Version des CBM4 (Gerty, 1989), der 36 Spezies mit ca. 90 verschiedenen chemischen Reaktionen umfasst (siehe auch Stern, 2003a). Im Rahmen dieses FE-Vorhabens wurde das Modell um ein Modul zur Aerosolberechnung erweitert (Stern, 2003a). Das berechnete PM10 setzt sich aus den inerten PM2,5 und einer groben Fraktion (PM10-2.5) zusammen. Darüber hinaus werden die sekundären anorganischen Aerosolbestandteile Sulfat, Nitrat, und Ammonium über die thermodynamische Gleichgewichtsannahme modelliert.

Die Massenbilanzgleichung ist vom mathematischen Standpunkt aus ein inhomogenes Rand- und Anfangswertproblem. Anders als bei der numerischen Wettervorhersage, die auf einer Impulsbilanz aufbaut, sind die Anfangswerte nur von geringer Bedeutung (Flemming, 1996). Das Ergebnis wird von den Randwerten und in noch stärkerem

⁹ Im Modell RCG wird der bewährten „K-Ansatz“ verwendet.

Maße von den Quellen und Senken, d.h. den mathematischen Inhomogenitäten bestimmt. Die wichtigste Quelle ist die Emission, deren Quantifizierung als Emissionskataster große Unsicherheiten aufweist und das Modellergebnis beeinflusst. Neben der Emission benötigt REM/CALGRID die meteorologischen Felder des Windvektors, der Temperatur und Feuchte für alle Modellschichten, sowie die Felder der 10 m - Windstärke, der 2 m - Temperatur, Bedeckung, Niederschlagsrate, Monin-Obuchow-Länge, Schubspannungsgeschwindigkeit und der Mischungsschicht. Die Daten werden mit einem diagnostischen Analyseschema (Reimer und Scherer, 1992), ausgehend von den operationellen WMO-Bodenbeobachtungen und Radiosondenaufstiegen, berechnet. Die atmosphärischen Felder werden dabei auf isentropen Flächen repräsentiert. Die Berechnung der Mischungsschicht und anderer PBL-Parameter erfolgt mit einem 1-D bulk Modell nach Van Ulden (1985).

Vertical resolution REM/Calgrid

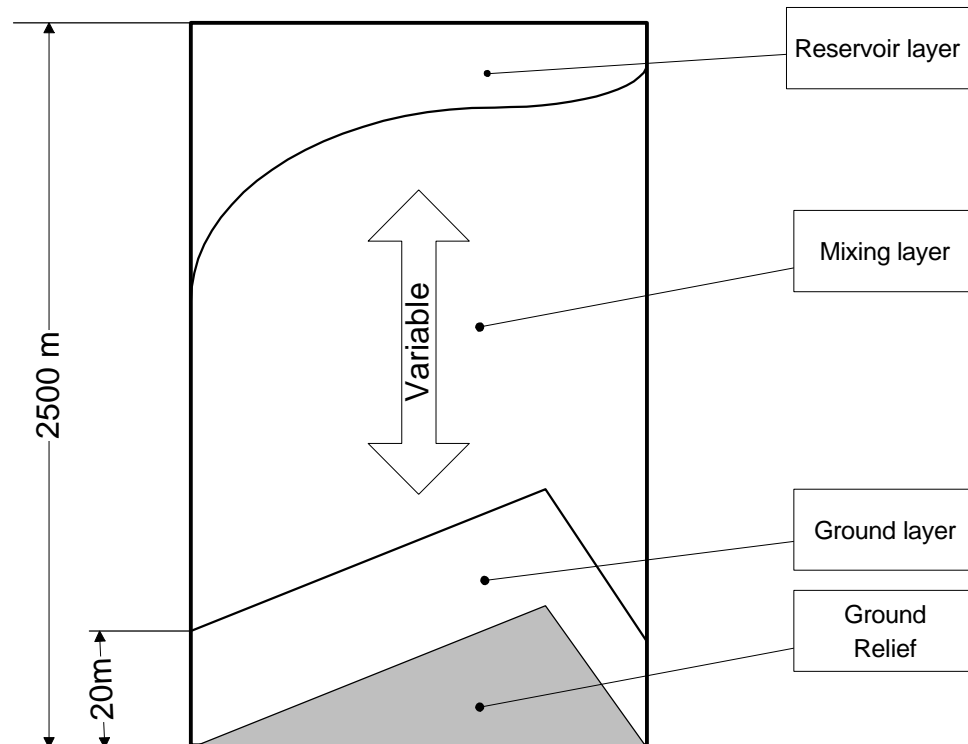


Abbildung 2 Schema der vertikalen Auflösung des Modellraumes, das für die Modellrechnungen mit REM/CALGRID benutzt wurde

1.1.3 Charakterisierung der Immissionszeitreihen mit statistischen Parametern

Die Aufgabe der statistischen Parameter ist es, die Häufigkeitsverteilung (Abbildung 3) des Ensembles der stündlichen Immissionswerte einer Zeitreihe zu beschreiben. Dabei wird häufig von einer theoretischen Verteilungsfunktion, meist der Gaußschen

Normalverteilung, ausgegangen, deren Parameter ermittelt werden. Dem gegenüber stehen verteilungsunabhängige Parameter, die die Häufigkeitsverteilung ohne Annahmen über eine theoretische Verteilungsfunktion beschreiben. Ist die Verteilungsfunktion bekannt, so lassen sich sehr leicht statistische Kenngrößen wie Erwartungswert und Streuung berechnen. Der Nachweis, dass die Daten einer gewissen theoretischen Verteilung genügen, ist nicht einfach zu erbringen und wird häufig vernachlässigt. Für die Immissionsdaten ist es offensichtlich, dass sie nur unzureichend einer Gauß-Verteilung entsprechen.

Aus diesem Grund wird in diesem Bericht vorrangig mit den verteilungsunabhängigen Perzentilen¹⁰ gearbeitet. So ist der Median (50%-Perzentil, P50) bei nicht normalverteilten Daten eine robustere Schätzung des Erwartungswertes als der Mittelwert (Taubenheim, 1969). Der Quartilabstand¹¹ ist eine verteilungsunabhängige Entsprechung der empirischen Standardabweichung. Das 5%-Perzentil (P05) beschreibt die minimalen und das 98%-Perzentil (P98) die maximalen Werte. 50% der Daten liegen zwischen dem 25% und 75%-Perzentil.

Trotz der genannten statistischen Gründe werden langfristige¹² Luftgütekriterien häufig als Mittelwerte formuliert. Dahinter verbirgt sich das für die Schadenswirkung wichtige Konzept der Dosis, d.h. die Konzentration mal Zeiteinheit.

Der Tagesgang ist im Vergleich zum Jahres- oder Wochengang für die Immissionswerte meist die bedeutsamste Variation¹³. Aus diesem Grund ist es günstig, neben der gesamten stündlichen Zeitreihe tagesbezogene Kenngrößen zu betrachten. Hierfür eignen sich Tagesmaximum, Tagesminimum und der Tagesmittelwert. Die Ausprägung des Tagesgangs kann mit der Tagesschwankung¹⁴, d.h. der Differenz zwischen Tagesmaximum und –minimum, erfasst werden. Es ist dabei vorteilhaft, die Tagesschwankung im Verhältnis zum Tagesmittelwert zu betrachten, um Unterschiede bei unterschiedlichen Niveaus der Belastung vergleichbarer zu machen. Die entsprechende Größe ist die relative bzw. normierte Tagesschwankung.

Abgeleitet aus den obigen Darlegungen wurden folgende Parameter bestimmt:

- Median und Perzentile (P05 ... P98) der gesamten Zeitreihe
- Median und Perzentile (P05 ... P98) der Zeitreihen des täglichen Maximums, Minimums, Mittelwertes (MA, MI, ME)
- Median und Perzentile (P05 ... P98) der relativen Tagesschwankung (TA)
- Median für alle Tagesstunden, Wochentage und Monate

Diese Größen wurden für jede Jahreszeitreihe berechnet und für die klimatologische Charakterisierung sowie für die Bestimmung von Immissionsregimes verwendet. Die Vollständigkeit der stündlichen Jahreszeitreihe muss dabei größer als 85% sein, bzw.

¹⁰ Das X%-Perzentil ist der Wert, den X% der gesamten Daten nicht überschreiten.

¹¹ Differenz zwischen 75% und 25%-Perzentil

¹² d.h. nicht auf einzelne Spitzenbelastung abzielend

¹³ Tilmes (1999) weist dies z.B. für Ozon mit Hilfe der PCA (principal component analysis) nach.

¹⁴ Dadurch wird der Tagesgang etwas überschätzt, da die kurzfristige, dem Tagesgang überlagerte Variabilität mit einbezogen wird.

mindestens 20 Messwerte pro Tag müssen vorliegen. Die Parameter werden im Folgenden häufig mit einer Kurzform bezeichnet. So steht P98MA für das 98%-Perzentil des Tagesmaximums.

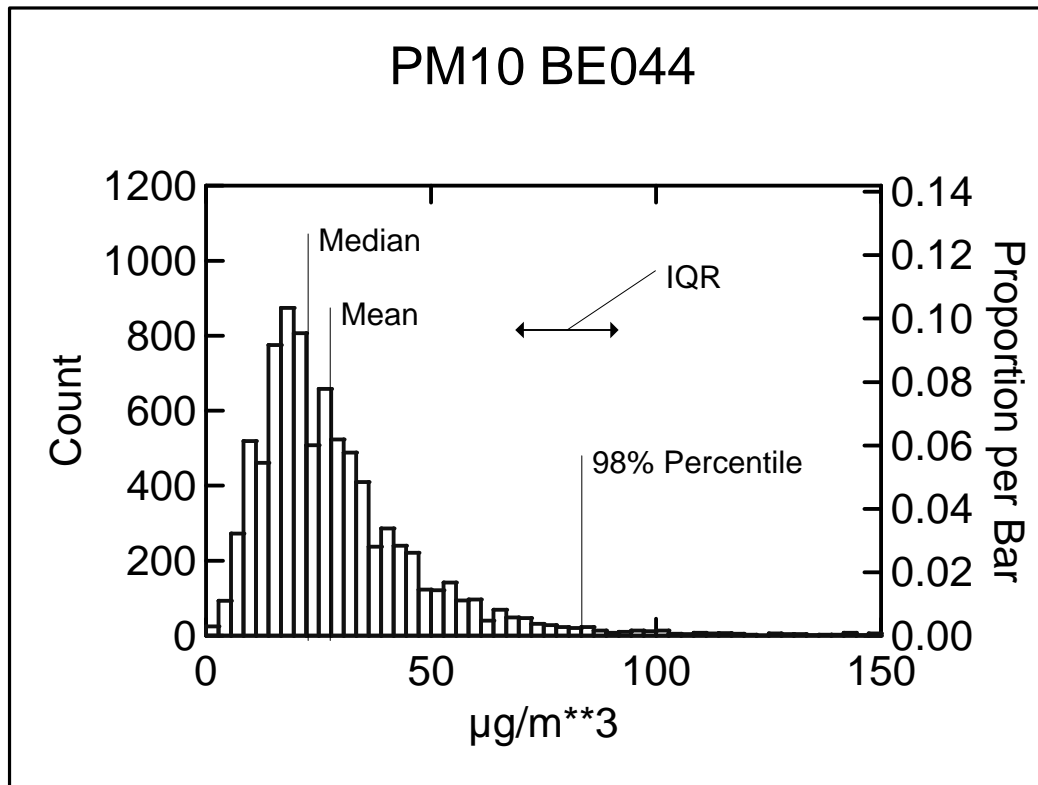


Abbildung 3 Histogramm der stündlichen Messwerte von PM10 an der Station BE044. Mittelwert = $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Median = $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 98%-Perzentile = $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Quartilabstand (IQR) = $20,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Exkurs: Repräsentativität der Immissionsbeobachtung - Immissionsregimes und Beobachtungsfehlervarianz

Die Frage der **räumlichen Repräsentativität** von Immissionsbeobachtungen muss in qualitativer oder quantitativer Form für die umweltpolitische Bewertung der Luftgüte, für die Datenassimilation und Modellevaluierung beantwortet werden. Für die bodennahen Immissionsmessungen stellt sich diese Frage besonders, da die Positionierung der Stationen stärker durch die Erfassung hoher Belastungen und weniger durch eine möglichst große räumliche Repräsentativität motiviert ist.

Die räumliche Repräsentativität von Immissionsmessungen wird qualitativ häufig aus dem Immissionsregime bzw. Emissionsregime abgeleitet. Es wird dabei von einer Verkleinerung des repräsentativen Gebietes mit zunehmender Intensität der naheliegenden Emission ausgegangen. Dieses Vorgehen stützt sich auf das Wissen, dass die emissionsärmeren Gebiete meist eine größere Ausdehnung und schwache Gradienten be-

sitzen. Transportvorgänge und chemische Umwandlungen beschneiden jedoch die Tragweite dieser einfachen Emissions-Immissionsbeziehung nicht nur für den konkreten Termin, sondern auch in klimatischer Hinsicht.

Für die Datenassimilation sind quantitative Angaben über die Repräsentativität der Beobachtungen notwendig. Die durch die Datenassimilation erzeugte Felddarstellung (Analyse) hat einen spezifischen räumlichen Mittelungscharakter (kleinste dargestellte Skala) bzw. eine bestimmte Auflösung¹⁵. Die Frage nach der Repräsentativität einer Messung für die Analyse hängt damit von der angestrebten Auflösung ab. Die räumliche Repräsentativität wird im Rahmen der Theorie der statistischen Analyse mit Hilfe zweier Größen quantifiziert:

- Varianz des Beobachtungsfehlers
- Räumliche Kovarianzstruktur des Immissionsfeldes zwischen dem Beobachtungsort und den anderen Punkten des Feldes

Der Beobachtungsfehler charakterisiert, neben dem reinen Messgerätefehler, statistisch die Streubreite der Abweichung der Beobachtungen von dem „wahren“ Analysewert aufgrund der Tatsache, dass die Beobachtung nicht vollkommen der „Glattheit“ des Feldes entspricht. Dies bedeutet, dass die Beobachtung nur in geringem Umfang repräsentativ für das unmittelbar umliegende Gebiet bzw. die Gitterbox bei Modellrechnungen ist.

Die Kovarianzen beschreiben darüber hinaus die Struktur des zugrundeliegenden Feldes, d.h. die Beziehung des Feldes am Messort zu den übrigen Punkten des Feldes. Sie bestimmen die Größe des im klimatischen Sinne repräsentativen Gebietes im Bereich der umliegenden Gitterboxen. Je langsamer die Kovarianz mit zunehmender Entfernung vom Beobachtungsort abnimmt, desto größer ist das repräsentative Gebiet der Messung bei gleichwertigem Beobachtungsfehler. Die Repräsentativität im Rahmen der statistischen Analyse hängt demzufolge nicht nur von der Beobachtung, sondern auch von den typischen Gradienten des zu erfassenden Feldes am Messort ab. Die Repräsentativität der Beobachtung ist somit nicht nur eine Frage der Messung sondern auch der Eigenschaften des betrachteten Feldes.

Das für diese Quantifizierung der Varianz des Beobachtungsfehlers und der Kovarianzfunktion in den letzten 40 Jahren in der Meteorologie entwickelte theoretische Instrumentarium beruht i. A. auf empirisch bestimmten Kovarianzen¹⁶ von Beobachtungswerten. Die meteorologischen Felder (Geopotential, Temperatur etc.) sind in der Regel so homogen, dass ihre räumliche Variabilität gut mit einem Ansatz aus einem klimatischen Erwartungswertfeld und einer homogenen Kovarianzfunktion der Ab-

¹⁵ Die Auflösung hat einen technischen und die Skala einen inhaltlichen Charakter. Die Auflösung (Stützstellenabstand) legt die untere „technische“ Grenze für die kleinste darstellbare Skala fest. Umgekehrt ist eine feinere Auflösung als die kleinste Skala nicht sinnvoll, da dadurch u.U. eine kleinste Skala vorgetäuscht wird, die inhaltlich im Feld nicht enthalten ist.

¹⁶ Es gibt auch dynamische Modelle, um die Kovarianzen des Backgroundes zu prognostizieren, z.B. Kalman Bucy Filter, siehe Flemming (2003)

weichungen beschrieben werden kann¹⁷. Das meteorologische Messnetz besteht aus Beobachtungsstationen, die möglichst für ein großes Gebiet repräsentativ sind. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Bewertung der Repräsentativität der Beobachtungen für die statistische Analyse der meteorologischen Felder vorrangig auf der räumlichen homogenen Variabilität hinsichtlich eines Erwartungswertes beruht; bei der Klassifikation der Immissionsregimes orientiert sie sich an den absoluten Werten.

Im Gegensatz zu den meteorologischen Feldern sind die Immissionsfelder sehr inhomogen und die Messung findet vorrangig in den belasteten Gebieten statt. Die Entwicklung eines an die Besonderheiten der Immissionsmessung angepassten Analyseverfahrens ist ein Schwerpunkt dieses Forschungsprojektes. Die Zusammenführung der Erkenntnisse über die Repräsentativität aus dem Immissionsregime mit den innerhalb der statistischen Analyse verwendeten Repräsentativitätsmaßen ist dafür die Grundlage und stellt eine Weiterentwicklung der Technik der Datenassimilation dar.

¹⁷ Die Abweichungen sind mit einer Gauß-Verteilung beschreibbar.

2 Die Klassifikation von Immissionsregimes

Immissionszeitreihen zeichnen sich durch große individuelle Unterschiede aus, die auf das herrschende Emissionsregime am Messort und in seiner Umgebung zurückzuführen sind. Die Zeitreihen variieren in klimatischer Hinsicht, was sich in den mittleren Werten und in unterschiedlicher Variabilität (z.B. Tagesgang) ausdrückt. Es ist sinnvoll, die Messstationen zu klassifizieren, um diese Unterschiede zu verdeutlichen. Statistische Untersuchungen setzen häufig voraus, dass die Stichproben aus einer Grundgesamtheit¹⁸ stammen. Durch die Klassifikation der Regimes kann diese Vorgabe besser erfüllt werden.

Das Konzept des Emissions-Immissionsregimes wird eng mit dem Problem der **räumlichen Repräsentativität** von Beobachtungen verbunden (siehe Kap. 1.2). Im Rahmen dieser Arbeit wird die Klassifikation von Immissionsregimes verwendet, um die Techniken der Datenassimilation den Besonderheiten der Immissionsmessung anzupassen.

Bei jeder Klassifikation stellt sich die Frage nach einer problemorientierten und möglichst objektiven Definition der Klassengrenzen. Durch eine geeignete Wahl der betrachteten Parameter kann die Trennung verschiedener Klassen verschärft und durch mathematische Verfahren objektiviert werden. Es wird im Folgenden ein hierarchisches Clusterverfahren entwickelt, das eine möglichst objektive Klassifikation der vorliegenden Immissionszeitreihen für die Spezies Ozon, NO, NO₂, SO₂ und PM₁₀ erlaubt. Die Klassifikation erfolgt dabei auf Basis der in Kapitel 1.1.3 vorgestellten Parameter der Jahreszeitreihen. Dabei wird die Zugehörigkeit nicht nur kategorisch bestimmt, sondern auch mit Hilfe einer Metrik quantifiziert, um Übergänge besser zu erfassen.

Methodik der Klassifikation von Immissionsmessstationen

Die Klassifikation der Messstationen kann nach dem **Emissionsregime** oder dem **Immissionsregime** erfolgen.

Die Kenntnis der Emissionsstruktur gibt wichtige Hinweise auf die zu erwartende Immissionsituation. Deswegen werden anschauliche Benennungen der Emissionsregimes (Berg, Land, Stadt, Straße etc.) auf die Immissionsregimes übertragen. Eine methodische Grenze zwischen den Regimes von Emission und Immission wird häufig nicht gezogen. Die alleinige Berücksichtigung der Emissionsstruktur ist jedoch nicht ausreichend, da Transportvorgänge und chemische Umwandlung von primären und sekundären Luftbeimengungen das Immissionsregime beeinflussen. Darüber hinaus ist eine quantitative Erfassung der Emissionen meist mit großen Unsicherheiten verbunden. Klassifikationen nach dem Emissionsregime sind selten automatisiert und beruhen auf der Expertise der Messnetzbetreiber. Sie stellen die Grundlage für die Begriffsbildung und die qualitative Beschreibung der Immissionsituation dar.

¹⁸ Die z.B. durch den Erwartungswert sinnvoll charakterisiert ist.

Die Zuordnung des Immissionsregimes für eine Messstation greift auf bereits gemessene Immissionswerte zurück. Sie hängt von der betrachteten Spezies ab. So erlauben geringe NO_x -Immission nur in gewissen Umfang den Rückschluss auf eine geringe SO_2 -Immission. Erhöhte PM_{10} -Konzentrationen können z.B. auch jenseits der urbanen und industriellen Zentren durch Staubaufwirbelung durch Wind entstehen. Im Fall der fotochemisch gekoppelten Spezies Ozon, NO_2 und NO ist jedoch eine hohe NO -Belastung mit geringer Ozonimmission verbunden.

Vorliegenden Klassifikationen des Immissionsregimes der Stationen in Deutschland (siehe Kapitel 0) beziehen sich nur auf die Ozonimmission (Enke et al., 1998), (Tilmes, 1999). Dies ist in der Tatsache begründet, dass Ozon seit drei Jahrzehnten im Mittelpunkt der Umweltbewertung und Forschung steht. Darüber hinaus ist die Ozonkonzentration mit der NO_x und VOC^{19} -Immission gekoppelt und ist damit eine den luftchemischen Zustand zusammenfassende und gut messbare Größe.

Die Emissionen für SO_2 oder PM_{10} sind nur zum Teil an die Verkehrslage gebunden; daher empfiehlt sich für diese Spezies eine gesonderte Nomenklatur.

Extrem gering oder stark belastete Stationen können meist gut identifiziert werden. Problematisch sind die urbanen Stationen und die Übergänge zu den ländlichen bzw. verkehrsbeeinflussten Regimes. Das Immissionsregime ist in vielen Fällen nicht konstant, sondern es wird durch die wechselnde Wettersituation bestimmt. Dies ist insbesondere für „Vorstadt“-Stationen gültig, die je nach Luv oder Lee – Lage schwach oder stark von den emittierenden Ballungszentren beeinflusst werden. Es ist demzufolge zwischen dem mittleren oder klimatischen und dem konkreten Immissionsregime zu unterscheiden. Die in dieser Arbeit vorgestellte Klassifikation zielt auf das klimatische Immissionsregime.

Bisherige Klassifikationen des Emissions- und Immissionsregimes in Deutschland

Zum Beginn dieser Arbeit lagen folgende Ansätze zur Charakterisierung der Immissionsstationen in Deutschland vor:

- subjektive Charakterisierung des Emissionsregimes (**E -Typ**)
- UBA-Klassifikation mit Hilfe der Häufigkeitsverteilung der stündlichen Ozonmesswerte (Enke et al., 1998) (**UBA-Typ**)
- Kategorisierung mit Hilfe eines Tagesgangindex der Ozonimmission nach Tilmes (1999) (**Tilmes-Typ**).

Die vom Umweltbundesamt verwendete Klassifikation der Ozonstationen wurde von Enke et al. (1998) durchgeführt. Sie basiert auf Histogrammen der stündlichen Jahreszeitreihen für Ozon aus den Jahren 1990-96. Die gemessenen stündlichen Ozonkon-

¹⁹ Volatile organic compounds, Flüchtige Kohlenwasserstoffe

zentrationen wurden in Wertebereiche von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Breite aufgeteilt. Die relative Häufigkeit des Auftretens der untersten vier Wertebereiche (d.h., 1-30, 31-60, 61-90, 91–120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in der Zeitreihe ist das Entscheidungskriterium für die Kategorisierung. Im Gegensatz zu Tilmes (1999), der hauptsächlich den Tagesgang verwendet, stehen hier die Minimalkonzentrationen des Ozons im Vordergrund. Die Abgrenzung der Immissionstypen (Ozon) wurde subjektiv festgelegt, da sich eindeutige Trennkriterien aus der verwendeten Methode nicht direkt ergaben.

Tilmes (1999) klassifiziert die Stationen in 5 Klassen (siehe Tabelle 3) mit Hilfe eines Index, der auf dem Verhältnis des Tagesganges zum Tagesmittelwert beruht. Er gewinnt den Tagesgang durch die Amplitude des ersten Eigenvektors einer PCA²⁰ der Ozonmessreihen. Die Länge der verwendeten Zeitreihen (3 Monate im Sommer 1994) ist nach seiner Einschätzung verhältnismäßig kurz. Die Klasseneinteilung nach diesem Indexwert erfolgt mit einer „Eichung“ durch typische Vertreter einer anderen Klassifizierung, die auf dem prozentualen Anteil niedriger Werte und der Form des Histogramms der gesamten Zeitreihe beruht. Im Vergleich zu der UBA-Klassifikation beruht seine Klassifikation in höherem Maße auf dem Tagesgang; typische Werte finden nur geringen Einfluss.

Reimer et al. (1997) klassifizieren die Stationen in Sachsen und berücksichtigen dabei explizit die veränderliche meteorologische Situation. Sie weisen darauf hin, dass der Wochengang²¹ an strahlungsreichen Tagen für eine gute Abgrenzung zwischen Vorstadt- und Landstationen verwendet werden kann.

2.1.1 Vergleich der verschiedenen Klassifikationen

Die Charakterisierung der Emission (E-Typ) unterscheidet die drei Emissionsregime „Land“ (R), „Stadt“ (U) und „Straße“ (S). Sie beruht auf einer Einschätzung der lokalen Emissionsstruktur der zuständigen Messnetzbetreiber. Die Kategorisierung nach Enke (UBA-Typ) fügt den drei erwähnten Typen noch den Typ „Berg“ (B) hinzu. Tilmes führt weiterhin die Klasse der suburbanen Stationen ein.

Die Tabelle 2 ermöglicht eine Gegenüberstellung der Klassifikation nach dem Emissionsregime (E-Typ) und dem Immissionsregime nach dem UBA-Typ. Die Unterschiede sind hinsichtlich der Stationen des Typs „Straße“ am größten. Ungefähr zwei Drittel der Stationen dieses Typs werden nach der jeweils anderen Klassifikation dem urbanen Regime zugeordnet. Die Hälfte der Landstationen nach dem Emissionsregime (E-Typ) wird als urbane Station hinsichtlich der Ozonimmission (UBA-Typ) klassifiziert. Im umgekehrten Fall trifft dies nur auf wenige Stationen zu. Die große Anzahl der urbanen Stationen wird von beiden Klassifikationen in gleicher Weise charakterisiert.

Die Tabelle 3 vergleicht die Klassifikation nach dem UBA-Typ und den Regimes nach Tilmes (Tilmes-Typ). Der auffälligste Unterschied ist der hohe Anteil der stark verkehrsbeeinflussten Stationen („Verkehr“) bei Tilmes. Knapp die Hälfte aller Stationen werden diesem Regime zugeordnet. Alle Stationen des Regimes „Straße“ (UBA-Typ)

²⁰ Principal component analysis = Hauptkomponentenermittlung durch die eine Eigenvektoraufspaltung

²¹ hier die Differenz zwischen Freitag zu Sonnabend

und die Hälfte der Stationen des urbanen Regimes (UBA-Typ) bestehen dem direkt verkehrsbeeinflussten Stationstyp nach Tilmes. Die urbanen Stationen nach Tilmes sind auch urbane Stationen nach dem UBA-Typ. Die Klasse der suburbanen Stationen nach Tilmes setzt sich zu einem Drittel aus Landstationen und zu zwei Drittel aus urbanen Stationen nach dem UBA-Typ zusammen. Dadurch ist die Menge der ländlichen Stationen bei Tilmes um ein Drittel geringer als bei dem UBA-Typ. Die Bergstationen beider Klassifikationen stimmen überein, Tilmes gliedert noch die Station Zinnwald (SN052, 877m NN) in diese Klasse ein.

Beide Klassifikationen kommen hinsichtlich der Zunahme des Kriteriums für die Unterscheidung der Regimes zu einem ähnlichen Ergebnis. Unterschiedlich ist jedoch die Festlegung der Grenzen, so dass die Tilmes-Klassifikation einen sehr hohen Anteil von Straßen-Stationen identifiziert, die nicht weiter in unterschiedliche Belastungsstufen aufgeteilt werden. Weiterhin ist bei Tilmes die Gruppe der Landstationen zahlenmäßig klein und viele Stationen des ländlichen Regimes werden dem suburbanen Regime zugeordnet.

		UBA-Typ					
E-Typ		Kein	B	R	U	S	Total
	Kein	440	0	12	11	0	463
	R	17	8	46	22	1	94
	U	27	0	7	148	41	223
	S	5	0	0	38	16	59
	Total	484	0	65	181	42	

Tabelle 2 Kontingenztabelle der verbundenen Häufigkeit der Emissions/Immissions-Regimes Land (R) , Stadt (U) und Verkehr (S) und Berg (B) nach E -Typ (Emission) und UBA-Typ (O₃ Immission).

		UBA-Typ					
Tilmes-Typ		Keine	B	R	U	S	Total
	Berg	0	8	1	0	0	9
	Land	4	0	32	0	0	36
	Suburban	10	0	26	43	0	79
	Urban	5	0	4	62	0	71
	Verkehr	8	0	1	109	55	173
Total	27	8	64	214	55	368	

Tabelle 3 Kontingenztabelle der verbundenen Häufigkeit der Immissionsregimes nach UBA-Typ und der nach Tilmes.

2.1.2 Notwendigkeit einer neuen Klassifikation

Der Vergleich der Klassifikationen macht deutlich, dass die verschiedenen Ansätze zu verschiedenen Ergebnissen kommen. Es kann jedoch keine erkennbare Überlegenheit eines Ansatzes ermittelt werden. Für die UBA-Klassifikation spricht ihr offizieller Charakter und dass sie die Vorstellung der Regimes durch längeren Gebrauch geprägt hat. Es stellte sich jedoch im Zuge der Arbeit heraus, dass die vorliegende UBA-Klassifikation der deutschen Messstationen für die gestellten Aufgaben unzureichend ist. Deshalb wurde ein eigenständiger Klassifikationsansatz entwickelt. Die Gründe hierfür sind im Einzelnen:

- Die UBA-Klassifikation beruht nur auf Ozonmessungen – andere Spezies werden nicht berücksichtigt.
- Es liegt nur für ca. 50% der 675 verwendeten Stationen eine Klassifikation vor. Dies gilt insbesondere deutsche Stationen ohne Ozonmessungen und internationalen Stationen.
- Die UBA-Klassifikation berücksichtigt wichtige Informationen über die Tageschwankung nicht.
- Die UBA-Klassifikation berücksichtigt nur Daten bis 1996 und entspricht damit u.U. nicht mehr den heutigen Immissionsverhältnissen.
- Die Abgrenzung der einzelnen Klassen erfordert eine Überprüfung bzw. eine genauere Unterteilung.
- Schaffung einer Möglichkeit zur Klassifizierung anderer Jahreszeitreihen aus Modellrechnungen.

Eine neue Klassifikation aller vorliegenden Messreihen wurde mit Hilfe des in Kapitel 0 beschriebenen Clusterverfahrens entwickelt. Das Verfahren beruht auf einer Auswahl der statistischen Parameter der einzelnen Jahreszeitreihen. Die offizielle Klassifikation des UBA dient der neuen Klassifizierung zur Überprüfung und als Referenz.

Ein Clusterverfahren zur Kategorisierung des Immissionsregimes

2.1.3 Clusterverfahren

Ziel der Clusterung ist die Identifizierung von Gruppen aus ähnlichen Objekten. Das Objekt ist durch eine Anzahl von quantitativen²² Angaben (Variablen) gekennzeichnet, die für verschiedene Objekte verschiedene Werte annehmen. Die Ähnlichkeit zwischen den Objekten wird mit Hilfe einer zu definierenden Metrik, in Form eines Abstandes ausgedrückt. Sehr häufig bedient man sich dabei einer euklidischen Metrik²³. Die Objekte werden damit Punkte in einem euklidischen Raum²⁴, dessen Koordinaten die Variablen des Objektes sind. Die „Ähnlichkeit“ wird damit über die reziproken Abstände der Datenpunkte definiert.

Mit der Metrik werden die Unterschiede hinsichtlich verschiedener Variablen zu einem Wert zusammengefasst. Der gleiche Abstand zwischen zwei Objekten kann demzu-

²² Es existieren auch Clusterverfahren für qualitative Variablen

²³ Ein nichteuklidisches Abstandsmaß wäre z.B. die Korrelation der beiden Zustandsvektoren

²⁴ Im zweidimensionalen Fall ergibt sich ein Streudiagramm.

folge durch Differenzen in unterschiedlichen Objektvariablen entstehen. Aus diesem Grund ist die Skalierung der Variablen von großer Bedeutung. Sie bestimmt den Einfluss, den die Unterschiede in einer Variablen, d.h. hinsichtlich einer der Achsen des euklidischen Koordinatensystems, auf die Ähnlichkeit der Objekte haben. Neben der Objektmetrik muss definiert werden, wie die Ähnlichkeit von Clustern bestimmt wird.

Die Anzahl der gebildeten Cluster ergibt sich nicht direkt aus dem Clusterverfahren, sondern muss in Abhängigkeit von der Problemstellung vorgegeben bzw. aus dem Verlauf der Clusterprozesses abgeleitet werden.

Eine zusammenfassende Darstellung der statistischen Clusterverfahren für meteorologische Anwendungen ist z.B. in Wilks (1995) zu finden. Einen Vergleich verschiedener Clusterverfahren für klimatologische Anwendungen liefern Kalkstein et al. (1987). Bacher (1994) und Romesburg (1984) geben umfassende Gesamtdarstellungen der Clusteranalyse.

2.1.3.1 Hierarchische Clusterbildung

Die **hierarchischen Clusterverfahren** betrachten zunächst jedes der N zur Clusterung bestimmten Objekte als ein eigenständiges Cluster. Schrittweise werden die zwei ähnlichsten Cluster, d.h. die Cluster mit dem geringsten Abstand, zu einem neuen Cluster vereinigt, so dass nach N Wiederholungen alle Datenpunkte in einem Cluster vereint wären. Der Vereinigungsprozess wird nach dem $(N-X)$ -ten Schritt beendet, um die Datenpunkte in X Cluster zusammenzufassen. Bei den hierarchischen Verfahren besteht demzufolge die Möglichkeit, die Zusammensetzung des Clusters aus untergeordneten Clustern nachzuvollziehen. Der Abstand zwischen Clustern, die aus mehreren Objekten bestehen, hängt von der gewählten Clusterbildungsmethode ab (siehe Kapitel 2.1.3.2). Sie bestimmt wesentlich die Form der gebildeten Cluster. Die Funktionsweise der hierarchischen Clusterung wird in dem Dendrogramm deutlich (Abbildung 4). Es zeigt, wie die einzelnen Objekte kontinuierlich zu einem einzigen Cluster vereint werden. Der überwundene Abstand (X -Achse) wird mit abnehmender Anzahl der Cluster größer.

Die Größe des bei jedem Vereinigungsschritt überwundenen Abstandes kann als Hilfsmittel für die Bestimmung einer optimalen Anzahl von Clustern verwendet werden. Ein starkes Anwachsen des zu überbrückenden Abstandes bei einem bestimmten Schritt ist ein Indiz dafür, dass nun Cluster vereinigt werden, die große Unterschiede aufweisen und somit besser getrennt bleiben.

Neben den hierarchischen Verfahren gibt es nichthierarchische iterative Methoden, die nach Vorgabe einer Anzahl von Clustern, die Datenpunkte so ordnen, dass die Varianz innerhalb der Cluster minimiert wird. Sie verlangen eine geschätzte Angabe für jedes Clusterzentrum als Startpunkt der Iteration.

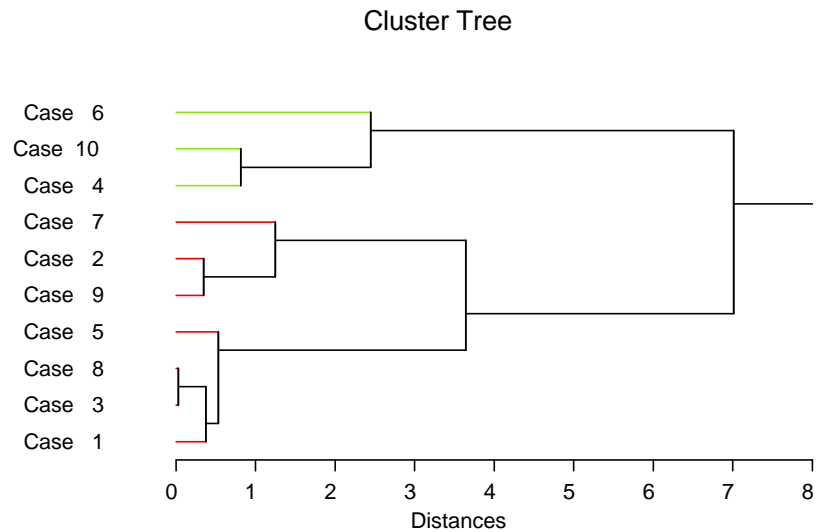


Abbildung 4 Dendrogramm eines hierarchischen Clusterprozesses: links sind alle 10 Datenpunkte ein separates Cluster, die in Abhängigkeit des Abstandes (x-Achse) schrittweise zu einem Cluster zusammengefasst werden.

2.1.3.2 Clusterbildungsmethode

Die Clusterbildungsmethode²⁵ legt fest, wie der Abstand bzw. die Ähnlichkeit zwischen zwei Clustern erfolgt, die aus mehreren Objekten zusammengesetzt sind. Es wird dabei auf die Metrik zwischen den Objekten zurückgegriffen. Die Wahl der Clusterbildungsmethode ist von entscheidender Bedeutung für die Form der gebildeten Cluster (Kalkstein et al., 1987). Fünf häufig verwendete Clusterbildungsmethoden werden kurz vorgestellt. Ihre Berechnung erfolgte mit der Fortran-Programmbibliothek ISML. Die unterschiedliche Zusammensetzung der mit diesen Methoden gebildeten Cluster ist beispielhaft in Abbildung 5 dargestellt.

- **SINGLE:** verwendet den Abstand zwischen den beiden nächsten Datenpunkten der beiden Cluster (erzeugt langgestreckte Cluster)
- **COMPLETE:** verwendet den Abstand zwischen den beiden entferntesten Datenpunkten der beiden Cluster (erzeugt kompakte Cluster)
- **CENTROID:** verwendet den Abstand zwischen den beiden Clusterzentren (erzeugt große kompakte Cluster mit einer Tendenz zur Separierung von „Ausreißern“)
- **AVERAGE:** verwendet den Mittelwert aller möglichen Abstände zwischen den Datenpunkten der beiden Cluster (erzeugt kompakte Cluster)
- **WARD:** verwendet die Zunahme der Summe der quadratischen Abstände innerhalb des Clusters, falls die zwei Cluster zu einem vereint werden (erzeugt kompakte Cluster)

²⁵ Dies ist gewissermaßen eine Metrik zwischen den Clustern.

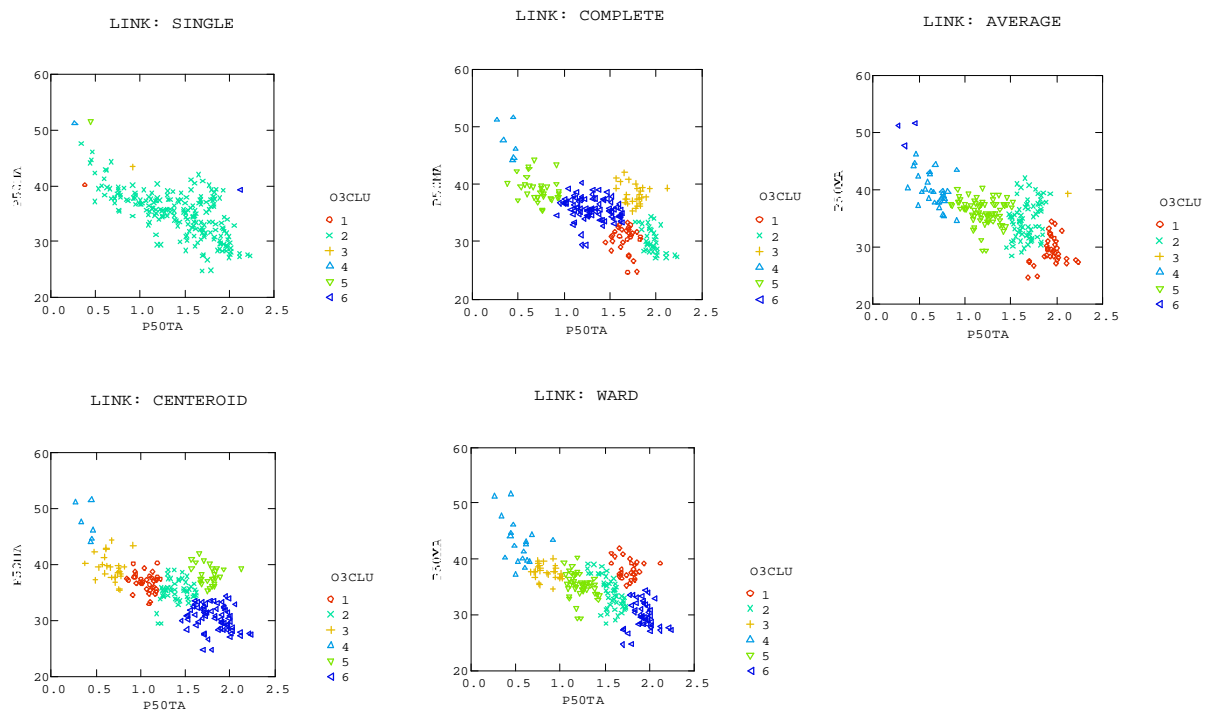


Abbildung 5 Beispiel einer hierarchischen Clusterung eines Ensembles in 6 Clustern mit verschiedenen Clusterbildungsmethoden.

2.1.3.3 Zugehörigkeitsfunktion und deren nachträgliche Bestimmung

Objekte aus atmosphärischen Daten sind meist kontinuierlich im Variablenraum verteilt. Die ermittelten Cluster können dadurch eine Trennung ähnlicher Objekte hervorrufen. Deswegen ist es sinnvoll, die kategorische Information der Clustereinteilung mit einer quantitativen Angabe²⁶ über den Grad der Zugehörigkeit des Objekts zum Cluster zu erweitern. Dafür wird der Vektor der Abstände (inverse Zugehörigkeit) des Objektes zu den einzelnen Clustern gebildet. Der geringste dieser Abstände gibt die Zugehörigkeit zu dem entsprechenden Cluster an. Der Vergleich mit den anderen Abständen ergibt, ob es sich um einen „typischen“ Vertreter oder einen im Übergangsbereich zweier Clustern handelt.

Der Clusterschwerpunkt bzw. das Clusterzentrum bietet eine Möglichkeit, die gebildeten Cluster vereinfacht zu beschreiben. Im Fall einer euklidischen Metrik ist das Clusterzentrum ein Objekt aus den Mittelwerten der Variablen aller Objekte des entsprechenden Clusters. Auf Basis der Clusterzentren können nun nicht in den Clusterprozess einbezogene Datenpunkte klassifiziert werden. Die Abstände des Datenpunktes zu den Clusterzentren bilden den Zugehörigkeitsvektor, aus dem das gesuchte Cluster ermittelt wird (siehe Abbildung 6). Die Abstandsbestimmung bei diesem Vorgehen entspricht der Clusterbildungsmethode Centroid. Sie ist für die nachträgliche Klassifizierung auch anwendbar, wenn das Clusterverfahren auf „mittelwert-

²⁶ In Anlehnung an die Fuzzy-Logik

zentrierten“ Clusterbildungsmethoden wie Average und WARD beruht, da eines der vereinten Cluster nur aus einem Objekt besteht.

Im Gegensatz zu dem hierarchischen Clusterprozess erfolgt die nachträgliche Einordnung ohne eine Veränderung des bereits vorgegebenen Clusters bzw. seines Schwerpunktes. Dieser Umstand ist bei den folgenden Anwendungen dieser Clustereinordnung von Vorteil:

- Unerwünschte „Ausreißer“ können aus dem hierarchischen Clusterprozess ausgeschlossen und erst nachträglich einem Cluster zugeordnet werden.
- Unabhängige Datenpunkte (z.B. die Parameter aus Immissionszeitreihen der Modellrechnungen) können nach den Vorgaben aus der Gesamtheit der geklusterten Daten (z.B. die Messwerte) klassifiziert werden.
- Für Stabilitätsuntersuchung können verschiedene Clusterergebnisse anhand der gewonnenen Clusterzentren verglichen werden.

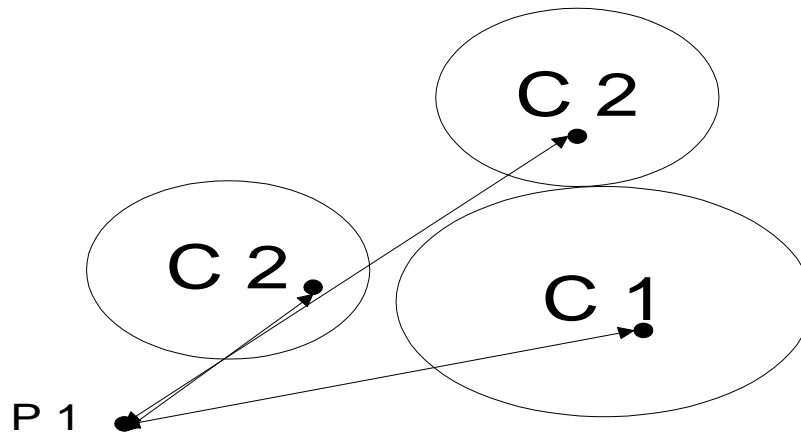


Abbildung 6 Nachträgliche Einordnung des Datenpunktes P1 in das Cluster C 2 aufgrund des geringsten Abstandes zum Clusterzentrum

2.1.4 Strategie der Clusterung von Parametern der Immission

Ziel des Clusterverfahrens ist es, die Gesamtheit der vorliegenden Jahreszeitreihen aus Deutschland in Gruppen zu ordnen, die als Immissionsregimes interpretiert werden können. Die Zeitreihe wird dabei mit Hilfe einer Auswahl der statistischen Parameter aus Kapitel 1.1.3 zu einem Objekt zusammengefasst.

Die Durchführung der hierarchischen Clusterung erfordert die Festlegung der folgenden Verfahrenskenngrößen:

- Auswahl der Objektvariablen (Parameter der Immissionszeitreihe)
- Anzahl der zu bildenden Cluster
- Skalierung und Transformation der Parameter
- Wahl der Clusterbildungsmethode

Die Verfahrenskenngrößen sind so zu wählen, dass sie den Absichten und Anforderungen der Anwendung entsprechen. Zu diesem Zweck werden die folgenden Zielvorstellungen formuliert:

- **Plausibilität:** Das Ergebnis ist interpretierbar und bereits vorhandene Klassifikationen spiegeln sich in dem Ergebnis wider²⁷.
- **Stabilität:** Das Ergebnis der Clusterung gilt auch für Teilmengen der Grundgesamtheit bzw. Variationen in der Clusterbildungsmethode.
- **Homogenität:** Die Anzahl der Stationen pro Cluster ist möglichst ausgeglichen und liefern eine sinnvolle Trennung („Ausreißerproblematik“)

Die Abbildung 7 liefert eine schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der Festlegung der Verfahrensparameter. Die mehr „inhaltlichen“ Verfahrenskenngrößen (Wahl der Objektvariablen und der Clusteranzahl) werden vor der Clusterung mit Hinblick auf die Problemstellung festgelegt. Die „technischen“ Verfahrensparameter (Skalierung und Transformation, Wahl der Cluster Metrik) werden in einem quasi-iterativen Vorgehen bestimmt. Dazu werden verschiedene Kombinationen der Verfahrenskenngrößen auf die Stabilität und Homogenität der gebildeten Cluster getestet und die in diesem Sinne beste Kombination ausgewählt. Die gewonnene Skalierung bestimmt dabei in hohem Maße die Bewertung der Klassifikation, denn sie legt fest, welche Kriterien für eine sinnvolle Unterscheidung der Regimes besonders verwendbar sind. So stellte sich heraus, dass für NO, NO₂, SO₂ und PM10 nur die mittlere Belastung und für Ozon zusätzlich die normierte Tagesschwankung das stabile Unterscheidungskriterium darstellt.

Die genaue Diskussion der Zielvorstellungen und die Wahl der Verfahrenskenngrößen ist der Inhalt der Kapitel 2.1.4.1 bis 2.1.4.5. Hier wird nun stichpunktartig die Vorgehensweise bei der Clusterung der Immissionszeitreihen vorgestellt:

- Die Immissionsregimes (Cluster) werden separat (univariat) für jede Spezies mit den Daten der Jahre 1995-2001 bestimmt.
- Jede verfügbare und zu 85% vollständige Jahreszeitreihe wird als ein eigenständiges Objekt repräsentiert.
- Die mittlere Immission (P50ME) und die Tageschwankung (P50TA) sind die Objektvariablen, die mit ihrem Quartilbereich normiert werden.
- Es werden für NO, NO₂ und Ozon sechs und für SO₂ und PM10 fünf Immissionsregimes ermittelt (siehe Tabelle 4).
- Datenpunkte, die Cluster mit weniger als 30 Elementen bilden („Ausreißer“) werden zunächst aus dem Ensemble entfernt und erst nachträglich mit Hilfe der Zugehörigkeitsfunktion klassifiziert.
- Die Stabilität und Homogenität werden anhand von 100 zufällig ausgewählten Teilensembles der halben Größe getestet.
- Aus verschiedenen Kombinationen von Clusterbildungsmethode, Skalierungen und Transformation wird die stabilste und homogenste ausgewählt.

²⁷ z.B. die hinsichtlich einer anderen Spezies

- Nach der Clustering aller Zeitreihen werden die Zentren der Cluster für den gesamten Zeitraum und für die einzelnen Jahre bestimmt.
- Die endgültige Klassifikation aller Zeitreihen erfolgt über die Zugehörigkeitsfunktion (siehe Kapitel 2.1.3.3) hinsichtlich der jahresbezogenen Clusterzentren.
- Die Klassenzugehörigkeit für den gesamten Zeitraum ergibt sich aus dem Mittelwert der Abstände zu den Clusterzentren des gesamten Zeitraums.

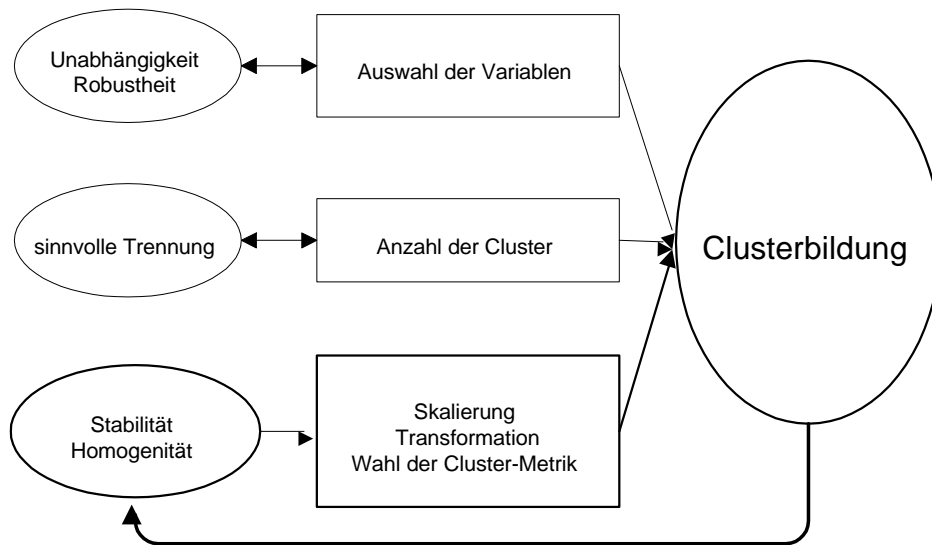


Abbildung 7 Schematischer Ablaufplan der Vorgehensweise bei der Clustering der Immissionsparameter

2.1.4.1 Definition der Objekte und Auswahl der Variablen

Die Definition der Objekte und die Auswahl der sie charakterisierenden Variablen ist die wichtigste inhaltliche Fragestellung bei der Klassifikation der Immissionsregimes. Für die Klassifikation wurde jede Jahreszeitreihe der Immission einer Spezies als ein eigenständiges Objekt aufgefasst. In Punkt 1 (siehe unten) wird eine Begründung gegeben, warum kein multivariater²⁸ Ansatz für die Definition der Objekte verwendet wurde.

Die sinnvolle Wahl der die Jahreszeitreihe beschreibenden Kriterien, z.B. Maxima oder mittlere Werte, ist für die Interpretation der Regimes entscheidend. Von den klimatologischen Parametern aus Kapitel 1.1.3 wurden die beiden folgenden für die Klassifikation ausgewählt:

- Median des Tagesmittelwerts P50ME als Maß für die mittlere Immission

²⁸ Ein Ansatz, bei dem die Objekte Informationen über verschiedene Spezies vereinen

- Median der normierten Tagesschwankung P50TA als Maß für die Tagesschwankung.

Eine genauere Diskussion dieser Wahl ist in Punkt 2. (siehe unten) zu finden. Welches der beiden Kriterien für die Klassifikation eine größere Bedeutung hat, wird jedoch erst mit der Skalierung (Kapitel 2.1.4.3) aufgrund des Tests von Stabilität und Homogenität (siehe 2.1.4.4) bestimmt.

1.) *Univariat oder multivariat*

Zunächst bietet es sich an, jede Messstation als ein Objekt aufzufassen. Für jede Messstation können jedoch 6 Jahreszeitreihen (1994-99) für 5 Spezies vorliegen. In der folgenden Diskussion wird ausgeführt, warum es sich als günstig erweist, jede Jahreszeitreihe der Immission einer Spezies als eigenständiges Objekt aufzufassen. Dadurch wird jede Messstation durch mehrere Objekte repräsentiert.

Ein methodischer Nachteil des multivariaten Ansatzes ist der Umstand, dass Unterschiede in der Immission verschiedener Spezies über den Abstand aufgerechnet werden und die gewonnenen Cluster schwerer interpretierbar sind. Der wichtigste Einwand gegen den multivariaten Ansatz ergibt sich jedoch aus der Datenlage, da nur für eine geringe Anzahl von Stationen vollständige Zeitreihen für alle Jahre und Spezies vorliegen. Aus diesen Gründen wird die Clusterung **univariat**, d.h. separat für Ozon, PM10, SO₂, NO und NO₂ durchgeführt.

Aufgrund von verschiedenen Jahresklimaten oder einer Emissionsveränderung variieren die statistischen Parameter einer Messstation und Spezies von Jahr zu Jahr (siehe Kapitel 3.1.2). Damit entsteht das Problem, dass für jedes Jahr ein unterschiedliches Immissionsregime ermittelt werden kann. Eine Vereinigung mehrerer Jahresparameter im Objekt oder die Zusammenfassung dieser Parameter zu einem Wert pro Station kann nicht vorgenommen werden, da für viele Stationen keine vollständigen Zeitreihen für alle Jahre vorliegen²⁹ (siehe Tabelle 1). Darüber hinaus würde durch dieses Vorgehen die Gesamtheit des Bereiches möglicher Parameterwerte eingeschränkt werden.

2.) *Auswahl der Klassifikationsmerkmale*

Die Maximalwerte der Belastung (z.B. 98%-Perzentil der Tagesmaxima) hängen stark von der meteorologischen Situation ab, Minimalwerte (5%-Perzentil) liegen besonders bei NO häufig im Bereich der unteren Messbereichsschwelle und sind deswegen nicht aussagekräftig. Aus diesen Gründen werden nur die Mediane der Zeitreihen der täglichen Mittelwerte (P50ME), Maxima (P50MA), Minima (P50MI) und der normierten Tagesschwankung (P50TA) als mögliche Kandidaten für die Objektvariablen betrachtet.

Für die sinnvolle Parameterauswahl ist es wichtig, dass es sich um möglichst unabhängige Variablen handelt, da linear abhängige Variablen keine zusätzliche Information liefern. Um die Unabhängigkeit der Parameter zu überprüfen, werden die linearen Korrelationskoeffizienten bestimmt. Dabei stellt sich heraus, dass für alle betrachteten Spe-

²⁹ z.B. für PM10/TSP nur 11 Stationen

zies eine hohe Korrelation zwischen den Medianen³⁰ von Tagesmittelwert, -maximum und -minimum und eine geringe Korrelation zur Tagesschwankung³¹ existiert. Die Tagesschwankung setzt sich aus dem Tagesmaximum und Minimum zusammen, so dass implizit auch diese Größen Beachtung finden. Die geringste Korrelation besteht zwischen den Medianen des Tagesmittelwertes und der normierten Tagesschwankung.

2.1.4.2 Anzahl der Cluster bzw. der Regimes

Die Anzahl der Cluster ist kein Ergebnis des Clusterverfahrens. Eine formal günstige Clusteranzahl kann aus dem bei jedem Clusterschritt überwundenen Abstand gefunden werden (Bacher, 1994). Wenn dieser sprunghaft ansteigt, werden sehr unterschiedliche Cluster vereinigt. Die Abbildung 8 zeigt beispielhaft diese Abstände für jede der Spezies. Es ist ersichtlich, dass jeweils 4 bis 6 Cluster eine formal günstige Trennung darstellen. Die Clusteranzahl wurde jedoch auch aus anwendungsbezogenen Überlegungen vor dem Clusterprozess festgelegt. Für die Ozonimmission bestand die Absicht, die vier Klassen in der UBA-Ozonklassifikation auf die sechs Immissionsregimes „Berg“, „Land“, „Vorstadt“, „Stadt“, „belastete Stadt“ und „Straße“ zu erweitern. Da NO und NO₂ eng mit der Ozonimmission verbunden sind, wird für diese Stoffe eine Einteilung in die gleichen Klassen mit Ausnahme der im NO_x Regime nicht erkennbaren Bergstationen angestrebt. Es zeigt sich jedoch, dass an vielen NO_x-Stationen keine Ozonmessungen erfolgen bzw. keine vollständigen Zeitreihen vorliegen. Es handelt sich dabei meist um Messungen, die eine sehr hohe Immission aufweisen. Aus diesem Grund wird bei der NO_x-Immission ein zusätzliches Regime der extrem hohen Belastungen „Straße, extrem“ identifiziert.

Bei SO₂ und PM₁₀/TSP ist die Datenlage uneinheitlicher und eine so feine Aufteilung wie bei Ozon und NO_x scheint nicht möglich. Es werden jedoch 5 Klassen ermittelt, um der starken Veränderung der Immissionssituation in den verschiedenen Jahren gerecht zu werden (siehe Kapitel 3.1.2). Dadurch können die historischen, sehr hohen mittleren Immissionswerte eigenständige Cluster bilden und die Situation in der Gegenwart ist noch ausreichend differenziert beschrieben. Die Tabelle 4 zeigt die ermittelten Regimes und vergleicht sie mit denen der UBA-Klassifikation (Enke et al., 1998) und der von Tilmes (1999) (siehe Kap. 0)

³⁰ Dies gilt auch für log-transformierten Größen

³¹ Für Ozon existiert eine hohe negative Korrelation zwischen Tagesgang und Tagesmittelwert

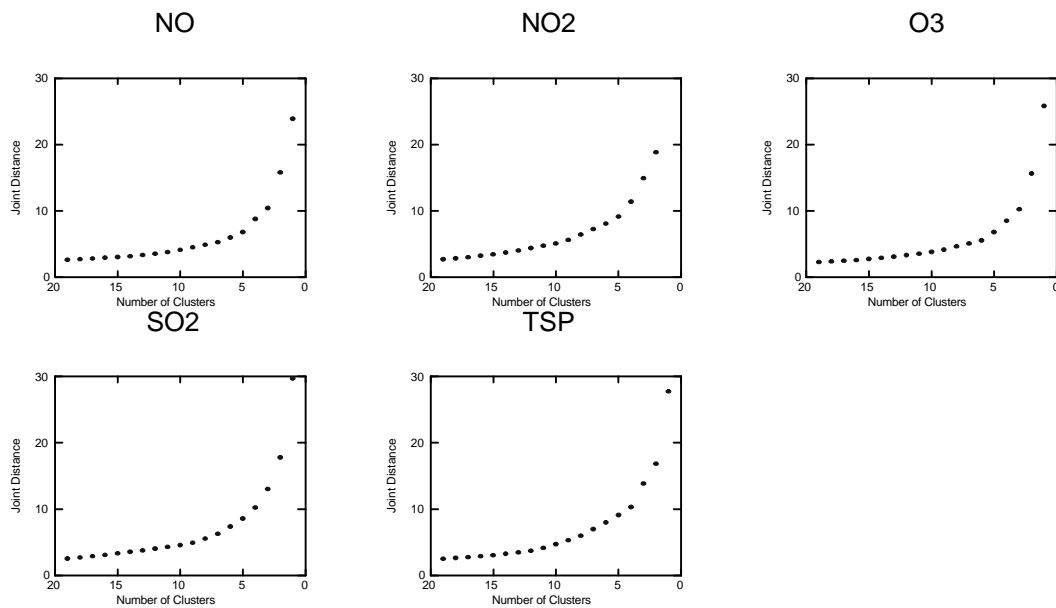


Abbildung 8 Der bei der überwindene Abstand (y-Achse) in Abhängigkeit von der Anzahl der gewonnenen Cluster (x-Achse).

		0	1	2	3	4	5	6
Kriterium:		Berg	Land	Vorstadt	Stadt	belastete Stadt	Straße	Straße extrem
Cluster Ozon	Mittlere Immission Tagesschwankung	B	R	U1	U2	U3	S	
Cluster NO NO ₂	Mittlere Immission	R		U1	U2	U3	S	S1
Cluster PM SO ₂	Mittlere Immission	-	1	2	3	4	5	-
UBA Ozon	Minimalwerte	B	R	U			S	
Tilmes Ozon	Tagessgang	B	R	SU	U		S	

Tabelle 4 Gegenüberstellung verschiedener Klassifikationen der Immissionsregimes

2.1.4.3 Skalierung, Transformation und Wahl der Clusterbildungsmethode

Normierung und Skalierung wichten den Einfluss der Variablen auf den Abstand. Sie gleichen einer Streckung einer der Achsen des Raums der Objektvariablen. Die Normierung erfolgt, um die unterschiedlichen Wertebereiche der Parameter vergleichbar zu machen. Für diesen Zweck wird in dieser Arbeit der Quartilbereich³² verwendet. Darüber hinaus können die normierten Parameter skaliert werden, um einem Parameter eine besondere Bedeutung für die Abstandsbildung zuzuweisen. Mit Hilfe einer Transformation können bestimmte Wertebereiche verändert gewichtet werden. So kommen

³² Differenz zwischen 75% und 25%-Perzentil

mit der logarithmischen Transformation Unterschiede im Bereich der geringen Werte stärker zur Geltung. Dies ist insbesondere dann günstig, wenn Variablen eine stark unsymmetrische Verteilung zugunsten der niedrigen Werte aufweisen, wie z.B. die NO-Immission³³.

Neben Skalierung und Transformation hat insbesondere die Wahl der Clusterbildungsmethode großen Einfluss auf die Form der gebildeten Cluster. Um die Clusterbildung der nachträglichen Klassifizierung (siehe Kapitel 2.1.3.3) anzupassen, muss die Clusterbildungsmethode CENTEROID gewählt werden³⁴. Die innerhalb der Cluster varianzminimierende Metrik WARD erzeugt besonders kompakte Cluster und wird für viele meteorologische Anwendungen benutzt (Kalkstein et al., 1987). Aus diesem Grund wurde auch sie getestet.

Da es keine zwingende und objektive Begründung für die Wahl von Skalierung, Transformation und Clusterbildungsmethode gibt, werden diese variiert, um ein möglichst stabiles Clusterergebnis zu finden (siehe 2.1.4.4). Mit diesem Ansatz kann untersucht werden, welcher Parameter besonders für eine stabile Trennung der Immissionsregimes taugt. So ist z.B. für Ozon die normierte Tagesschwankung wichtig, während er bei SO₂ keine Bedeutung hat. Die Parameterauswahl (siehe Kapitel 2.1.4.1) wird demzufolge durch die Skalierung verfeinert.

2.1.4.4 Test von Stabilität und Homogenität

Folgende Kombinationsmöglichkeiten der Verfahrenskenngrößen wurden auf Homogenität und Stabilität getestet:

- Skalierung des mit dem Quantilabstand normierten Parameters von 0.01 bis 1.0
- Logarithmische –Transformation (Ja/Nein) des Medians des Tagesmittelwertes
- Clustermetrik WARD und CENTEROID

Stabilitätsuntersuchungen sollen feststellen, ob die gebildeten Cluster sinnvolle Strukturen wiedergeben oder Artefakte der Daten und des Verfahrens sind. Im stabilen Fall führt auch eine zufällig ausgewählte und genügend große Teilmenge zum einem sehr ähnlichen Ergebnis wie das gesamte Ensemble (Bacher, 1994). Aufgrund der Variabilität in den Jahreszeitreihen kommt dem Test der Stabilität eine besondere Bedeutung zu. Ein stabiles Clusterergebnis ist eine Voraussetzung dafür, dass die Variabilität der Jahreszeitreihen keinen übermäßigen Einfluss auf die Klassifikation der Stationen hat.

Eine homogene Clustereinteilung besteht aus Clustern mit annähernd gleicher Anzahl von Objekten. Dies ist wünschenswert, da große Cluster zuungunsten von kleinen Clustern („snowballing“) keine Trennung innerhalb der großen Cluster bewirken. Gleichzeitig können die Klassen mit nur wenigen Mitgliedern (Ausreißer) nicht als

³³ Der Unterschied im NO-Tagesmittel zwischen 0 und 10 ppb weist auf einen deutlicheren Unterschied im Immissionsregime hin, als der zwischen 60 und 70 ppb.

³⁴ Diese neigt jedoch zur Bildung von wenigen großen und vielen kleinen Clustern (Kalkstein , 1987)

typisch angesehen werden³⁵. Die Homogenität konkurriert mit der Stabilität, da ein inhomogenes Clusterergebnis stabil sein kann³⁶. Es muss jedoch abgewogen werden, ob ein gebildetes Cluster mit geringer Objektanzahl eine Folge von untypischen Ausreißern oder aber ein spezifisches Immissionsregime wie das der Bergstationen darstellt. Um untypische Ausreißer zu identifizieren, wurden die Jahreszeitreihen aus Clustern mit weniger als 30 Objekten (für Ozon 5) aus dem Ensemble entfernt und die Clusterung wiederholt. Die Klassifikation dieser Jahreszeitreihen erfolgt nachträglich mit Hilfe des Zugehörigkeitsvektors, ohne die gebildeten Cluster zu verändern.

Zum Test der Stabilität und Homogenität wurde das gesamte Ensemble (Grundensemble) und 100 zufällig ausgewählte Testensembles der halben Größe geclustert. Dabei wurden die folgenden Merkmale bestimmt:

- Abweichung der Clusterzentren des Testensembles von denen des Grundensembles
- Anzahl der Übereinstimmungen in der Zuordnung der Jahreszeitreihe mit dem Grundensemble pro Cluster
- Verteilung Anzahl der Elemente pro Cluster im Grund- und Testensembles

Die ermittelten Merkmale der 100 Testensembles wurden mit Hilfe von Box-Whiskers-Plots³⁷ für jedes Set von Verfahrenskenngrößen pro Cluster dargestellt. Anhand dieser Darstellungen wurde das Set mit der größten Trefferquote und der geringsten Streuung der Clusterzentren ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Anzahl der Elemente möglichst ausgeglichen ist.

Um diese Auswahl zu objektivieren, wurde der Heidke-Skill-Score herangezogen. Er ist eine Maßzahl zum Test der Übereinstimmung von kategorischen Variablen unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit des unabhängigen Zusammentreffens der Kategorien (Heidke, 1926). Er ist damit geeignet, Trefferquoten bei unterschiedlichen unabhängigen Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Kategorien, d.h. unterschiedlicher Anzahl der Elemente pro Cluster (Homogenität), zu bewerten. Die Abbildung 9 zeigt beispielhaft das Ensemble der Werte des Heidke-Skill-Scores für die 100 Testensembles bei verschiedenen Skalierungen und Transformationen.

Die Ergebnisse der Stabilitätsuntersuchung hinsichtlich der Clusterbildungsmethode, Skalierung, der Transformation der beiden Parameter (normierte Tagesschwankung und Tagesmittelwert) werden für jede Spezies in Tabelle 5 zusammengefasst und in

³⁵ Eine Ausnahme bilden die Bergstationen für Ozon, die sich trotz geringer Anzahl stark von den anderen Stationen unterscheiden.

³⁶ Dies liegt an der erhöhten Wahrscheinlichkeit eines Treffers bei gleichbleibenden Einzelwahrscheinlichkeit.

³⁷ Der Box-Whiskers Plot besteht aus einem Kasten dessen Mittellinie den Median und die äußeren Begrenzungen das 1. und 3. Quartil sind, damit befinden sich in der Box 50% der betrachteten Werte. Zu beiden Seiten der Box sind zwei weitere Grenzen definiert (inner and outer fences), die jeweils die 1.5- und 3-fache Länge des Interquartilbereiches (Differenz zwischen 1. und 3. Quartil) von dem 1. bzw. 3. Quartil entfernt sind. Mögliche Daten werden innerhalb der ersten Grenze von einer durchgezogenen Linie überdeckt. Werte außerhalb der 1. Grenze werden als Ausreißer betrachtet und individuell dargestellt

den folgenden Kapiteln dargelegt. Für alle Spezies ergab die Clusterbildungsmethode WARD die stabilste Clustering bei gleichzeitiger logarithmischer Transformation des Median der Tagesmittelwerte.

	Ozon	NO ₂	NO	PM10/TSP	SO ₂
Bedeutung P50ME	++	++	++	++	++
Bedeutung P50TA	++	-	-	-	-
Log-Trafo P50ME	ja	Nein	ja	Nein	Ja
Clusterbildungsmethode	WARD	WARD	WARD	WARD	WARD

Tabelle 5 Ergebnis der Tests auf ein stabiles und homogenes Clusterergebnis hinsichtlich der Skalierung der mittleren Immission (Median des Tagesmittelwertes P50ME) und der normierten Tagesschwankung (Median der normierten Tagesmittelwert P50TA) und der logarithmische Transformation von P50ME. (++ = hohe Bedeutung, - = keine Bedeutung).

PM10 HDSS

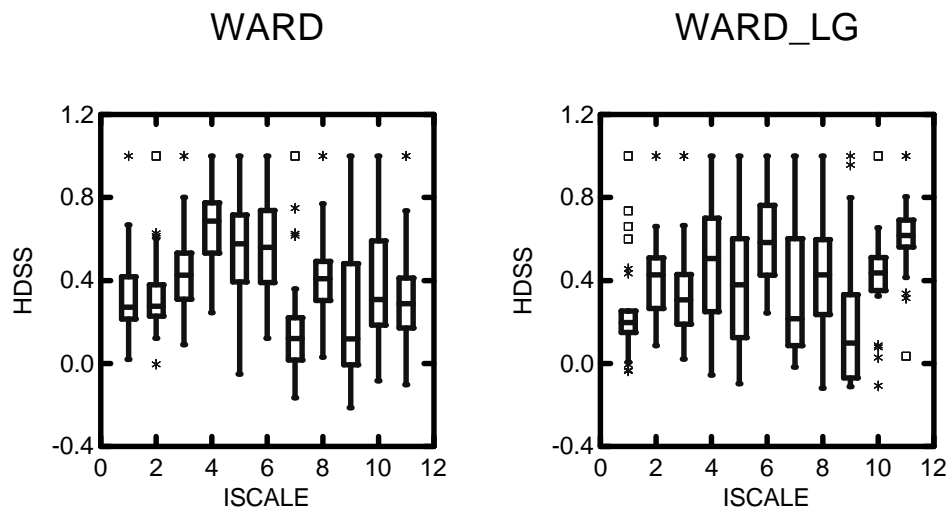


Abbildung 9 Test der Stabilität für verschiedene Skalierungen (ISCALE 2-6 = zunehmender Einfluss ISCAL 7-11 = abnehmender Einfluss) des normierten Medians der Tagesmittelwerte (P50ME) für die Clusterung von PM10 mit (rechts) und ohne (links) logarithmische Transformation mit Hilfe des Heidke -Skill Scores (HDSS).

2.1.4.5 Bilden einer einheitlichen Klassifikation und Methodik des Vergleichs

Es wäre wünschenswert, den Messstationen ein Immissionsregime für die Gesamtheit der Jahre 1995-2001 zuzuordnen, um Immissionsschwankungen aufgrund der variablen Witterung nicht als unterschiedlicher Regimezugehörigkeit zu bewerten. Eine Emissionsänderung soll jedoch möglichst festgestellt werden.

Die Verfügbarkeit der Jahreszeitreihen für verschieden Jahre ist sehr unterschiedlich. Nur ein Teil der Stationen ist für den gesamten Zeitraum mit ausreichend vollständigen Jahreszeitreihen vertreten. Aus diesem Grund bildet zunächst die Gesamtheit der Jahreszeitreihen die Basis für die Clusterung. Aus den Zeitreihen innerhalb eines Clusters

wird dann ein jahresspezifisches Clusterzentrum ermittelt (Abbildung 10). Aus der Verschiebung der Lage der jährlichen Clusterzentren erkennt man die Variabilität der Immission im gesamten Gebiet. Sie wird hauptsächlich der jährlichen Witterungsvariabilität zugeschrieben. Die Klassifikation hinsichtlich der jahresbezogenen Zentren dient deren Kompensation.

Ist eine stationsbezogene Klassifikation erforderlich, so erfolgt die Zuordnung in das am häufigsten bestimmte Regime unter Berücksichtigung der Zugehörigkeitsvektoren (siehe Kapitel 2.1.3.3). Tritt dabei der Fall auf, dass die Klassifikationen für einzelne Jahre deutlich voneinander abweichen, so spricht dies für eine lokale Änderung des Emissionsregimes.

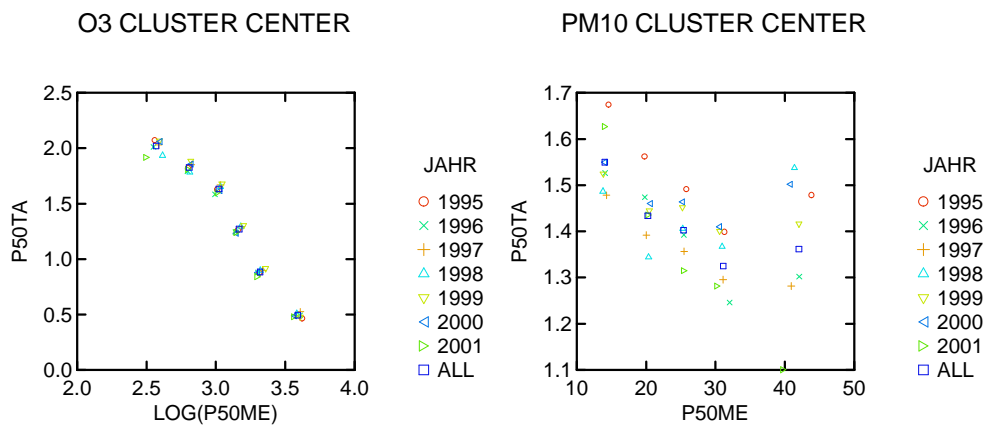


Abbildung 10 Lage der Cluster-Zentren für verschiedene Jahre und den gesamten Zeitraum (ALL) für Ozon (links) und PM10 (rechts)

Der Vergleich der Clusterergebnisse verlangt eine angemessene Methodik. Für den Vergleich zweier kategorischer Variablen einer Datenmenge kann eine Kontingenztabelle verwendet werden. Sie liefert die Häufigkeit aller möglichen Kombinationen des Aufeinandertreffens beider Variablen. Die Hauptdiagonalelemente geben die Anzahl die Übereinstimmungen an. Die Klassifikation der Immissionsregimes beruht auf kontinuierlich zunehmenden Parametern. Die Cluster können als Stufen der Belastung angesehen werden. Die Differenz in den Clustern dient als einfacher Indikator für deren Unterschied, um den kategorischen Vergleich zu erleichtern.

3 Klimatologie der Immissionsregimes von Beobachtung und Modellierung

Methodik der Darstellung

In den folgenden Kapiteln werden die gewonnenen Regimes für jede Spezies vorgestellt. Getreu dem Ansatz der Arbeit erfolgt dabei eine möglichst gleichwertige Behandlung der modellierten und beobachteten Zeitreihen. Die Bildung der Clusterzentren für die Regimes und damit das Klassifikationsprinzip beruht jedoch nur auf den Beobachtungen. Die Klassifikation der modellierten Zeitreihen erfolgt nachträglich anhand der Zentren der aus den beobachteten Zeitreihen gebildeten Cluster. Jeder beobachteten Jahreszeitreihe entspricht eine modellierte Zeitreihe für den Beobachtungsort.

Der Blick richtet sich zunächst auf die beiden Klassifikationsmerkmale, d.h. die typischen Tagesmittelwerte und die normierte Tagesschwankung. Darüber hinaus werden die typischen Maximalwerte in Form der 98% Perzentile für jedes Regime diskutiert. Der räumliche Aspekt wird mit Karten der Regimezugehörigkeit für das Jahr 2001 diskutiert. Der Vergleich der typischen Belastung orientiert sich an der Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Regimes.

Die Einteilung in Regimes gibt die Möglichkeit, Kriterien zum Aufspüren von Besonderheiten bestimmter Messreihen zu finden. Dies kann eine deutliche Abweichung in der Regimezugehörigkeit für verschiedene Jahre oder eine grundsätzlich andersartige Klassifikation hinsichtlich verschiedener Spezies sein. Im Rahmen dieser Arbeit steht diese Aufgabe zwar nicht im Vordergrund, gewisse Auffälligkeiten werden jedoch benannt, um sie in weiteren Untersuchungen zu ergründen.

Der univariaten Ansatz (siehe Kapitel 2.1.4.1) berücksichtigt nur unzureichend die Gesamtheit bzw. die Kopplung der Immissionsregimes. Der Vergleich der Cluster für verschiedene Spezies lässt Rückschlüsse auf die Plausibilität der Clusterung der Stationen zu und wird in Kapitel 0 für die Beobachtungen durchgeführt. Dabei wird sowohl die Regimezugehörigkeit für verschiedene Spezies verglichen, als auch typische Zusammenhänge in der mittleren Belastung für verschiedene Spezies untersucht.

Die bisher betrachteten Größen Median bzw. 98% Perzentil charakterisieren die Häufigkeitsverteilung der Messung oder der Modellierung an einer Station. Sie widerspiegelt jedoch nicht ein wichtiges Charakteristikum der Zeitreihe: den Zusammenhang der Datenwerte in der zeitlichen Abfolge, d.h. deren zeitliche Autokorrelation. Es ist notwendig, auch die typischen Zyklen der Immission regimeabhängig zu erfassen. Dies kann mit einer Frequenzanalyse³⁸ erfolgen. Es wird in dieser Arbeit aber darauf verzichtet, da hierbei Voraussetzungen³⁹ gemacht werden müssen, deren gründliche Ü-

³⁸ Zerlegung in eine Fourierreihe aus Sinus- und Cosinusfunktionen

³⁹ z.B. Stationarität oder die Länge einer Zeitreihe für langwellige Schwankungen wie dem Jahresgang

berprüfung sehr aufwendig ist. Dies gilt auch für die Untersuchung und Signifikanzprüfung von linearen Trends. Weiterhin werden Zyklen, die nur bedingt durch eine harmonische Schwingung beschrieben werden (z.B. der Wochengang), nur unzureichend durch eine Frequenzanalyse detektiert.

Es wurde in der vorliegenden Untersuchung überprüft, inwieweit zu erwartende Zyklen der Immission in Beobachtungen und Modellrechnung zur erkennen sind. Die Zyklen innerhalb des Tages, der Woche, des Jahres und dem gesamten Zeitraum werden möglichst voraussetzungsfrei mit den Mitteln der explorativen Statistik erfasst. Dazu werden die typischen Immissionswerte pro Stunde, Wochentag, Monat und Jahr zusammengefasst und dargestellt.

Regimes der Ozonimmission

2373 Jahreszeitreihen von 445 Stationen wurden klassifiziert. Die stabilsten Cluster ergeben sich mit einer logarithmischen Transformation des Tagesmittelwertes (P50ME) und einer gleichwertigen Bewertung der normierten Tagesschwankung (P50TA). Die stabile Trennung der Regimes erfolgt demzufolge in Abhängigkeit von beiden Merkmalen. Die Variabilität der Jahre (siehe 2.1.4.5) hat keinen ausgeprägten Einfluss auf die Klassifikation. Abbildung 11 zeigt die Abweichung der Regimezugehörigkeit für einzelne Jahre von der Gesamtklassifikation (siehe 2.1.4.5). Das Jahr 2000 ergibt hinsichtlich des gesamten Zeitraumes die repräsentativste Klassifikation. Für 17 Stationen ergaben sich größere jährliche Variationen in den Regimes, d.h. größer als eine Clusterstufe. Das Regime dieser Stationen änderte sich im Verlauf der Jahre meist zu einem mehr ländlichen Charakter.

Cluster O3 Difference

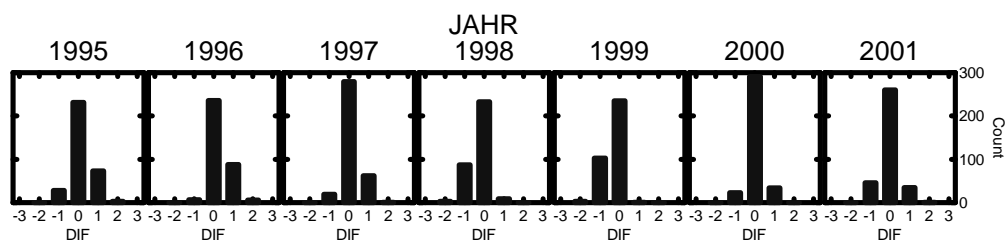


Abbildung 11 Unterschiede in der Klassifizierung (DIF) von Ozon-Regimes der einzelnen Jahreszeitreihen zu der Klassifikation des gesamten Zeitraumes.

Die Lage der Cluster im Raum der Variablen ist in Abbildung 12 dargestellt. In ihr wird deutlich, dass die normierte Tagesschwankung und die mittlere Belastung gut negativ korreliert sind. Das Streudiagramm der entsprechenden modellierten Zeitreihen zeigt einen ähnlichen Zusammenhang von mittlerer Belastung und Variabilität. In der Modellrechnung ist die Tagesschwankung bei gleicher mittlerer Belastung stärker ausgeprägt. Die Anzahl der Jahreszeitreihen pro Regime zeigt jedoch zwischen Beobachtung und Modell deutliche Unterschiede (Abbildung 14). Die Modellrechnung

ergibt für die Mehrheit der Stationen ein urbanes Regime. Dies entspricht nicht der Erwartung, da aus der Modellskala zu erwarten wäre, dass das Modell eher die ländlichen Regimes wiedergeben würde.

Ein Median des Tagesmittelwerts über ca. 30 ppb ($60\mu\text{g}/\text{m}^3$) zeichnet die Regime der Bergstationen⁴⁰ (B) aus. Ländliche und suburbane Stationen weisen Werte zwischen 20 und 30 ppb ($40 - 60\mu\text{g}/\text{m}^3$) auf. Die typischen Tagesmittelwerte der verkehrsnahen Stationen (S) liegen unter ca. 10 ppb ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$), der Rest der urbanen Stationen (U2, U3) liegt im Bereich dazwischen.

Die beobachteten und modellierten Maximalwerte (98% Perzentil des Tagesmaximums P98MA) erreichen Werte im Bereich zwischen 50-100 ppb ($100-200\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Abbildung 13). Sie sind damit ca. 3mal so hoch wie die typischen Tagesmittelwerte. Es muss jedoch betont werden, dass die Höhe der Maximalwerte – im Gegensatz zu den typischen Werten – nicht vom beobachteten Regime abhängt⁴¹. Bei den modellierten Maximalwerten ist Regimeabhängigkeit ähnlich schwach ausgeprägt. Hier sind die höchsten Maximalwerte bei den Stationen des Clusters U3 modelliert worden.

Deutlich unterscheiden sich die Regimes bei der Betrachtung der Tagesminima, die stark von der NO-Immission und den Depositionsbedingungen abhängen. Sie nehmen mit zunehmendem Verkehrseinfluss beständig ab

Die Karte der Ozon-Regimes zeigt den Skalenunterschied zwischen Beobachtung und Modellrechnung (Abbildung 15). Die Modellrechnung ordnet großflächig dem Ruhrgebiet das Verkehrsregime S zu, während die Beobachtung das Regime U3 (belastete Stadt) ergibt. Einzelne Stationen im belasteten urbanen Regime (U3) werden vom Modell nicht erfasst. Stattdessen ist großflächig eine zu urbane Charakteristik der Modellrechnung in großen Teilen Nord- und Ostdeutschlands zu erkennen. Eine mögliche Ursache der zu urbanen Charakteristik der Modellrechnung mag die sofortige Verteilung der NO-Emissionen über das gesamte Volumen einer Gitterbox sein, was zu einer großflächigen Überschätzung des Titrationseffekts in Gebieten mit erhöhter Emissionsdichte führen kann. Die ländlichen Regimes in Küstennähe, z.B. in Mecklenburg Vorpommern werden vom Modell und der Beobachtung dagegen wiedergegeben.

⁴⁰ hier zu gehören auch einige Küstenstationen (siehe Kapitel 0)

⁴¹ Dies ist bei der Ozonprognose von Interesse, da Verkehrsstationen auch Überschreitungen von 90ppb ($180\mu\text{g}/\text{m}^3$) aufweisen können

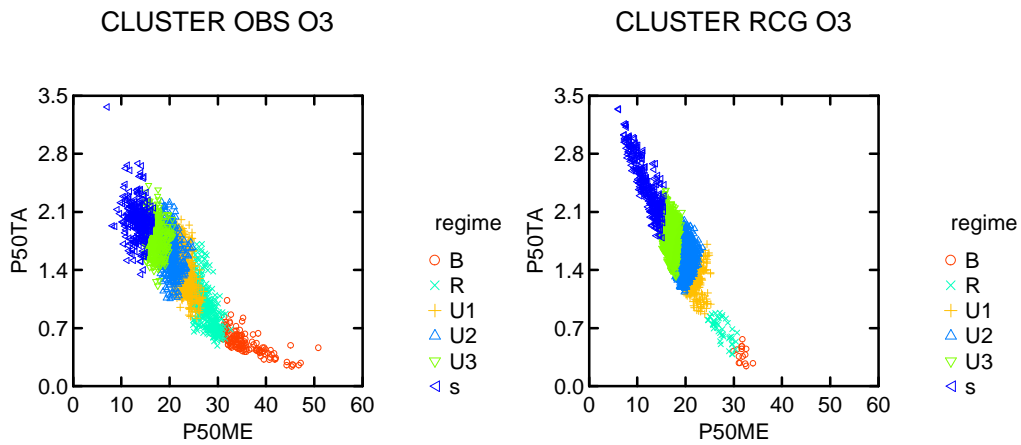


Abbildung 12 Streudiagramm der Parameter Median des Tagesmittelwertes (P50ME in ppb) und Median der normierten Tagesschwankung (P50TA) der Ozonjahreszeitreihen und die Lage der Cluster aus der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts)

O3 Maxima

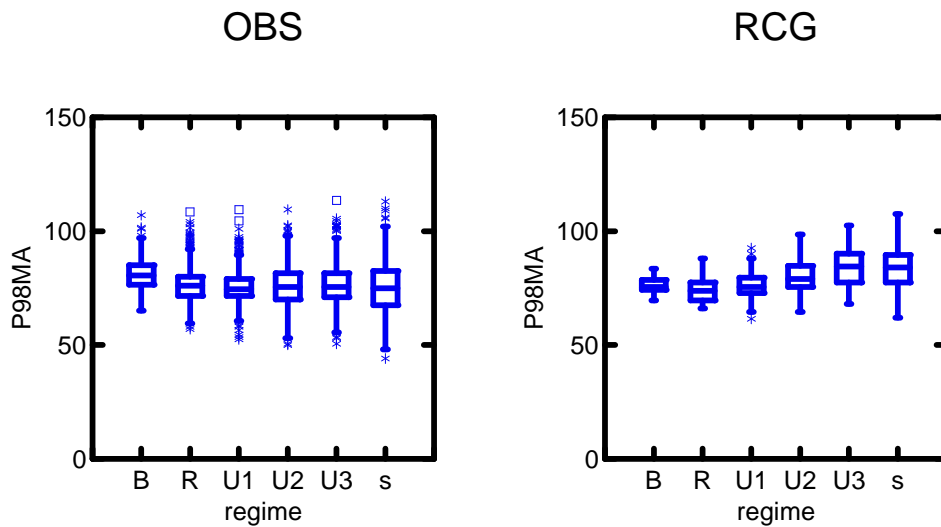


Abbildung 13 Box-Whiskers-Plot der 98% Perzentile des Tagesmaximums (P98MA) in ppb in Abhängigkeit von Regime für Beobachtung (links, OBS) und Modellrechnung (rechts, RCG)

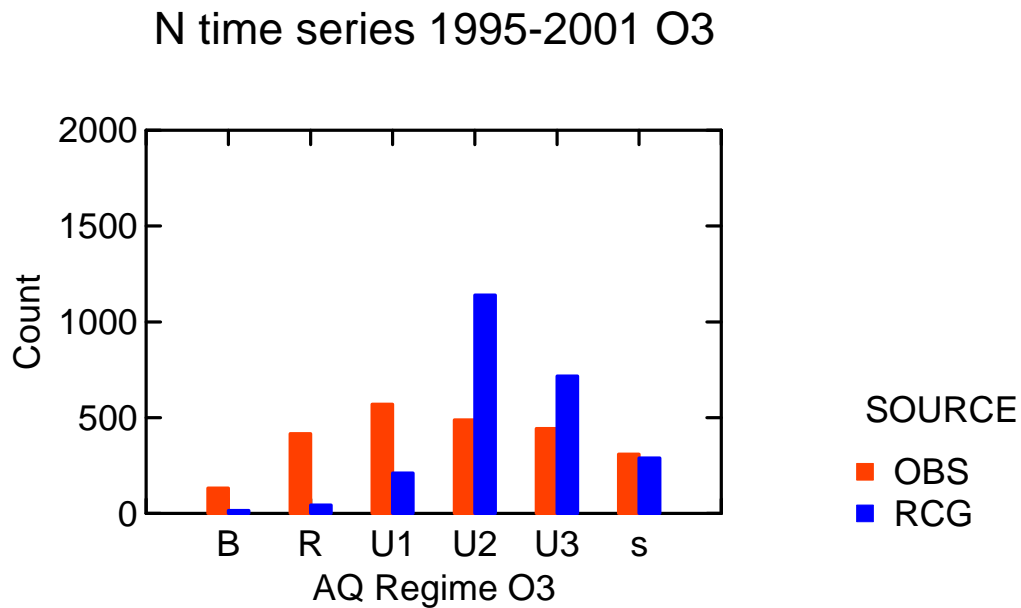


Abbildung 14 Anzahl der Jahreszeitreihen pro Regime (AQ Regime O3) aus der Beobachtung (OBS) und der Modellierung (RCG)

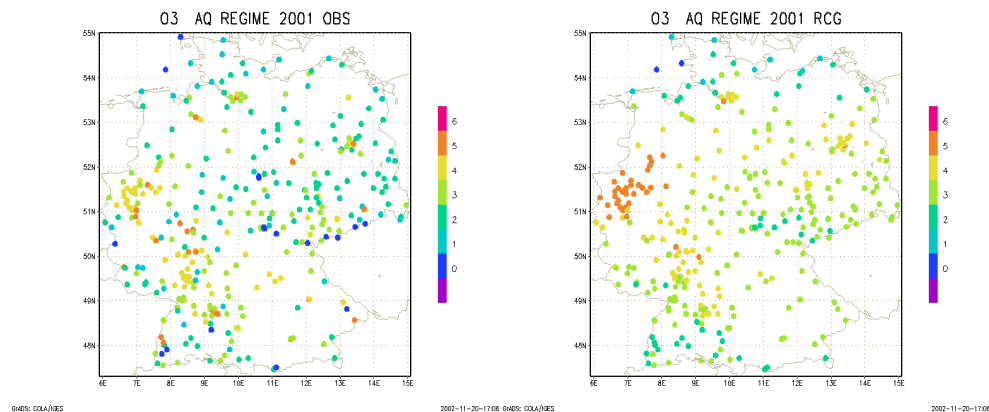


Abbildung 15 Karten der Ozon-Regimes für 2001 aus der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts) (O=B, 1=R, 2=U1, 3=U2, 4=U3, 5=S)

Vergleich mit der UBA-Klassifikation für die Ozon-Regimes

Für die Bewertung und Interpretation der ermittelten Gesamtklassifikation für Ozon ist eine Gegenüberstellung mit der UBA-Klassifikation (siehe Kapitel 0) notwendig. Die Kontingenztafel für die Übereinstimmung der beiden Klassifikationen enthält die Tabelle 6. Der Vergleich ergibt eine sehr gute und plausible Übereinstimmung in den Zugehörigkeiten. Die Anzahl Bergstationen wird durch die neue Klassifikation vergrößert. Cluster 0 beinhaltet alle 8 Bergstationen (UBA) und weitere 7 ländliche Stationen. Die Zuordnung ist stabil. In allen Jahren mit verfügbaren Jahreszeitreihen wurden diese Stationen immer diesem Cluster zugeordnet. Es handelt sich hauptsächlich um

Stationen, denen aufgrund der Höhenlage eine Bergcharakteristik zugesprochen werden kann (z.B. TH027 Neuhaus 840 m NN und SN052 Zinnwald 877 m NN). Die Turmmessung in Berlin-Frohnau (BE037, ohne UBA-Klassifikation) gehört gleichfalls diesem Cluster an. Eine Besonderheit sind die Küstenstationen Westerland (UB001) und Helgoland (UB034). Der Grund für diese Zuordnung liegt in der herabgesetzten Deposition von Ozon auf Wasserflächen⁴². Die Küstenstationen haben bei Seewind ein den Bergstationen vergleichbares Regime, da auch hier der nächtliche Ozonabbau durch Deposition gering ist⁴³.

Etwas größere Unterschiede ergeben sich bei der Einteilung der ländlichen Stationen. Das Cluster 1 (R, Landstation) wird mehrheitlich aus 49 ländlichen Stationen und weiteren 8 urbanen Stationen gebildet. Von diesen urbanen Stationen, die nun als ländlich eingestuft werden, stammen allein 6 aus Brandenburg.

Die große Gruppe der Stadt-Stationen (UBA-Typ) ist sinnvoll in die drei Regimes „Vorstadt“, „Stadt“ und „belastete Stadt“ (U1, U2, U3) unterteilt. So setzt sich Cluster 2 („Vorstadt“) aus 11 ländlichen und 60 Stadt-Stationen des UBA-Typs zusammen. Von den Stadt-Stationen des Clusters (U2) sind 115 städtisch nach der UBA-Klassifikation und 5 verkehrsnah⁴⁴ (BW002, BW033, BW042, BW065, HE014). Das neu gebildet Regime U3 (belastete Stadt) besteht aus 37 städtischen und 23 verkehrsbelasteten Stationen nach der UBA-Klassifikation. Das Regime S der verkehrsbelasteten Stationen beinhaltet 40 Verkehrsstationen nach der UBA-Klassifikation und drei städtische Stationen (BW072, HB002, RP023).

		Cluster der Ozonimmission						
UBA-Klassifikation	Regime	B	R	U1	U2	U3	S	Total
	B	8	0	0	0	0	0	8
	R	7	49	11	0	0	0	67
	U	0	8	60	115	37	3	223
	S	0	0	0	5	23	40	68
	Keine	4	15	18	29	8	5	79
	Total	19	72	89	149	68	48	445

Tabelle 6 Vergleich der Zugehörigkeit der Stationen nach der hier vorgelegten Klassifikation (Clustering der Ozonimmission) und der Ozonklasse nach UBA-Typ.

Regimes der NO₂-Immission

Es wurden 2882 Zeitreihen von 583 deutschen Messstationen in sechs Regimes klassifiziert. Es handelt sich dabei um fünf Regimes analog zu der Klassifikation von Ozon (R, U1, U2, U3, S) und ein zusätzliches Regime der extremen Verkehrsbelastung (S2) (siehe Tabelle 4). Die stabilsten Cluster bilden sich bei einer sehr hohen Bewertung

⁴² Die Form des Tagesganges in Westerland hängt stark von der Windrichtung ab (3 - Beilke 1999)

⁴³ Aus den Rechnungen mit dem Modell REM3 ist bekannt, dass die Gitterpunkte über dem Meer ein ähnliches Verhalten wie die der zweite Modellschicht (Mischungsschicht) über Land haben.

⁴⁴ Diese Station zeigte eine Abnahme des Verkehrseinflusses im Verlauf der Jahre 1996-99.

des Tagesmittelwerts (P50ME). Die mittlere Belastung ist damit das entscheidende Kriterium für die Klassifikation.

Die Variabilität der Jahre (siehe Kapitel 2.1.4.5) bewirkt keine deutlichen Unterschiede in der Klassifikation. Abbildung 16 zeigt die Differenzen der Regimezugehörigkeit für die einzelnen Jahre mit der für den gesamten Zeitraum abgeleiteten. Daraus wird ersichtlich, dass die Jahre 1998 und 1999 hinsichtlich der Regimeinteilung der Beobachtungen die größte Gültigkeit für den Gesamtzeitraum besitzen.

Die Lage der Cluster im Raum der Variablen der Beobachtung und der Modellrechnung ist in Abbildung 17 dargestellt. Die Cluster zeichnen sich durch eine kontinuierliche Zunahme der mittleren Belastung (P50ME) aus. Modellrechnung und Beobachtung befinden sich annähernd im gleichen Bereich der typischen Belastung. Anders als bei Ozon ist die normierte Tagesschwankung im Modell bei hoher Belastung deutlich geringer als in der Beobachtung. Die Modellrechnung ergibt für die deutliche Mehrheit der Jahreszeitreihen ein ländliches und urbanes Regime (Abbildung 19). Dies steht im Widerspruch zu der modellierten Ozonimmission, die einen zu urbanen Charakter besitzt.

Bei den Stationen des Clusters 6 (S2, extremer Verkehr) liegen die Mediane der Tagesmittelwerte über ca. $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (30 ppb). Die ländlichen Stationen (R) haben Werte, die kleiner als $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 ppb) sind. Stationen des suburbanen Regimes haben eine leicht erhöhte normierte Tagesschwankung im Vergleich zu den übrigen Regimes.

Die Maximalwerte (98%-Perzentile) der NO_2 -Beobachtungen zeigen eine deutliche Regimeabhängigkeit: Höhere mittlere Belastung führt zu höheren Maximalwerten (Abbildung 18). Der mögliche Bereich reicht von 20-110 ppb (40 bis $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die belasteten Regimes der Modellrechnung erreichen nicht die Höhe der Beobachtung. Die höchsten Werte für das 98%-Perzentil des Tagesmaximums liegen bei 60 ppb ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Das Ruhrgebiet wird vom Modell wie bei Ozon großflächig und mit überschätzter Immission wiedergegeben (Abbildung 20). Die hohe gemessene NO_2 -Immission in Teilen des Oberrheingrabens und Bayerns ist in der Modellrechnung nur schwach angedeutet. Da Bayern aber fast keine Messungen im ländlichen Regime durchführt entsteht bei einer ausschließlich auf Messungen basierenden Kartierung der Eindruck einer großräumigen Belastung obwohl die Messungen nur für Gebiete mit erhöhter Emission repräsentativ sind. Modellinformationen können hier helfen, um strukturierte, d. h. die ländlichen wie die städtischen Regimes wiedergebende Immissionskarten zu erstellen.

Bei der Charakterisierung des Immissionsregimes in Norddeutschland stimmen Modell und Beobachtung gut überein.

Cluster NO₂ Difference

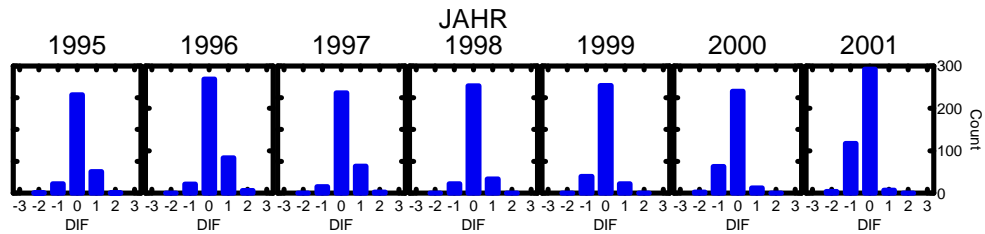


Abbildung 16 Unterschiede in der Klassifizierung (DIF) von NO₂-Regimes der einzelnen Jahresszeitreihen zu der Klassifikation des gesamten Zeitraumes.

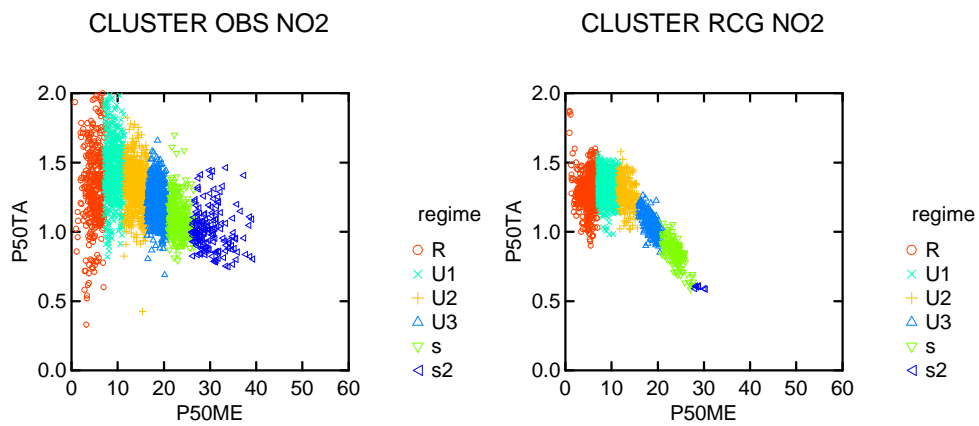


Abbildung 17 Streudiagramm der Parameter Median des Tagesmittelwertes (P50ME) in ppb und der Median der normierten täglichen Variabilität (P50TA) der NO₂-Immission und die Lage der Cluster aus der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts) .

NO2 Maxima

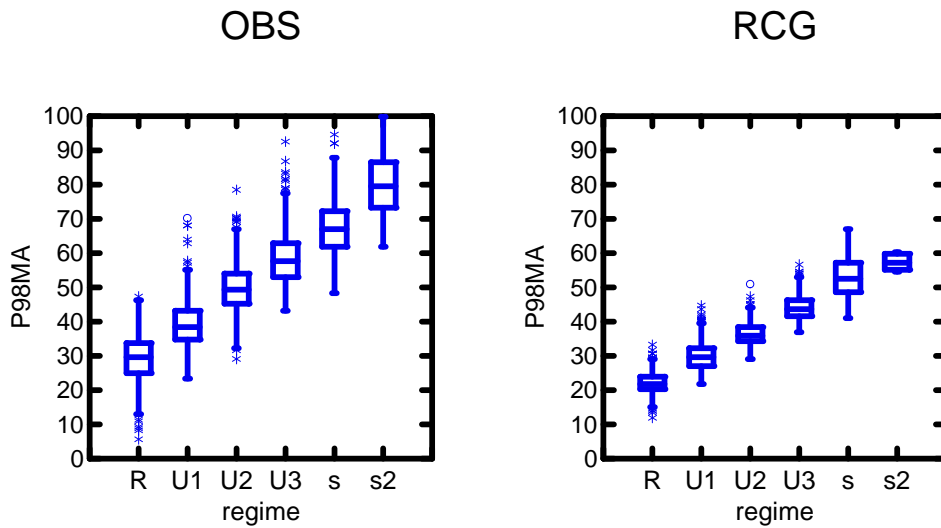


Abbildung 18 Box-Whiskers-Plot der 98%-Perzentile des Tagesmaximums (P98MA in ppb) in Abhängigkeit vom Regime für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts).

N time series 1995-2001 NO2

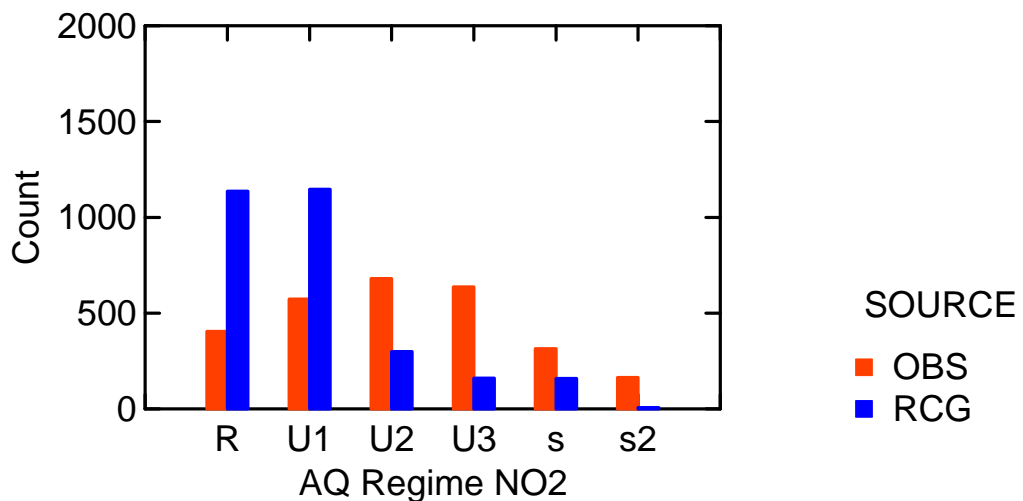


Abbildung 19 Anzahl der Jahreszeitreihen pro Regime (AQ-Regime) aus der Beobachtung (OBS) und der Modellierung (RCG)

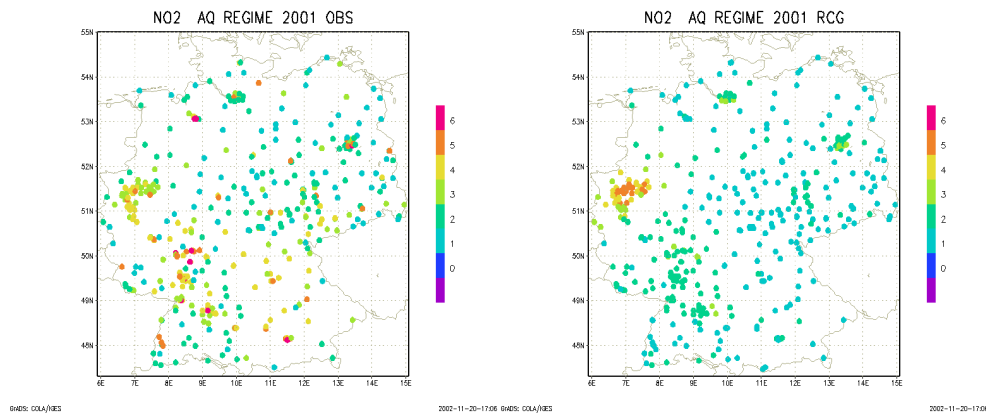


Abbildung 20 Karten der NO₂-Regimes für 2001 der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts) (1=R, 2=U1, 3=U2, 4=U3, 5=S, 6=S2)

Regimes der NO-Immission

580 Stationen mit insgesamt 2650 NO-Jahreszeitreihen wurden klassifiziert. Die stabilsten Clusterergebnisse ergeben sich bei der logarithmischen Transformation der Tagesmittelwerte, wodurch die Unterschiede in den weniger belasteten Regimes deutlicher zu Geltung kommen. Die normierte Tagesschwankung hat für das stabilste Clusterungsergebnis keine ausgeprägte Bedeutung.

Für die unterschiedlichen Jahre ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Klassifikation (Abbildung 21); wie bei NO₂ sind die Jahre 1998 und 99 am repräsentativsten für den Gesamtzeitraum.

Cluster NO Difference

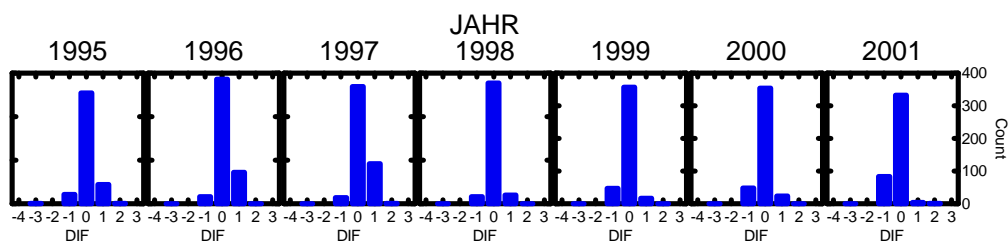


Abbildung 21 Unterschiede in der Klassifizierung (DIF) von NO-Regimes der einzelnen Jahreszeitreihen zu der Klassifikation des gesamten Zeitraumes.

Die Lage der Cluster im Raum der Variablen ist in Abbildung 22 zu finden. Die Objekte der Beobachtung sind in einem trompetenförmigen Strang angeordnet. Bei gerin-

gen Tagesmittelwerten kann die Tagesschwankung sehr verschieden⁴⁵ sein. Die Unterschiede zwischen Cluster R (ländlich) und U1 (suburban) sind nur in einer logarithmischen Darstellung wahrnehmbar. Die Trennung zwischen diesen Objekten ist problematisch, da es sich um Werte in der Nähe der unteren Messbereichsgrenze handelt.

Bei den modellierten Zeitreihen haben die ländlichen Objekte alle eine stark ausgeprägte Tagesschwankung, bei den Zeitreihen mit höherer Belastung ist die Variabilität etwas geringer als bei den Beobachtungen.

Den urbanen Regimes (U2, U3) werden typische Tagesmittelwerte im Bereich von 8 – 20 ppb (10 - 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zugeordnet. Höhere Belastungen weisen die verkehrsbeeinflussten Regime S und S2 auf. Letzteres ist durch Mediane des Tagesmittelwertes von über 35 ppb (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) gekennzeichnet.

Die Mehrheit der Jahreszeitreihen der Modellrechnung besitzt ländlichen oder suburbanen Charakter während dies bei der Beobachtung nur für einen sehr geringen Anteil der Fall ist (Abbildung 24). Dies ist verständlich in Anbetracht der kurzen Lebensdauer von NO und der hier gewählten Modellauflösung von 25*25 km². In Anbetracht dieser Tatsache deutete es auf eine lokale Überschätzung der NO-Konzentration durch die Modellierung, wenn für einige Zeitreihen die Regimes „Straße“ und „Straße extrem“ bestimmt werden.

Die hohen Tagesmaxima für NO (98%-Perzentil) können bis zu 600 ppb (700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) erreichen (Abbildung 23). Die maximalen Werte sind damit ca. 20mal größer als die Mediane der stündlichen Zeitreihen. Die Maximalwerte der Modellierung sind ungefähr halb so groß wie die der Beobachtung. Die zu erwartenden Maximalwerte steigen mit zunehmender mittlerer Belastung an. Nur die Stationen des Clusters 2 (U1) haben geringere Maximalwerte als die des ländlichen Regimes R, obwohl die typischen Werte (P50ME) etwas höher sind. Die ist in dem schwachen, aber doch vorhandenen Einfluss der täglichen Variabilität bei der Clusterung zu begründen. In den Ergebnissen für die Modellrechnungen, wo normierte Variabilität und mittlere Belastung gut negativ korreliert sind, ist dieser Zusammenhang nicht zu finden.

Aufgrund der kurzen Lebensdauer von NO ist nicht zu erwarten, dass die unregelmäßig verteilten Stationsorte des Regimes „Straße extrem“ vom Modell wiedergegeben werden (Abbildung 25). Das Niveau der großflächigen NO-Belastung im Ruhrgebiet (U3) und Nord- und Ostdeutschland (R, U1) stimmt in Beobachtung und Modellrechnung überein.

⁴⁵ Es muss die Wirkung der Normierung, die bei kleinen Mittelwerten zu großen Unterschieden führen kann, beachtet werden.

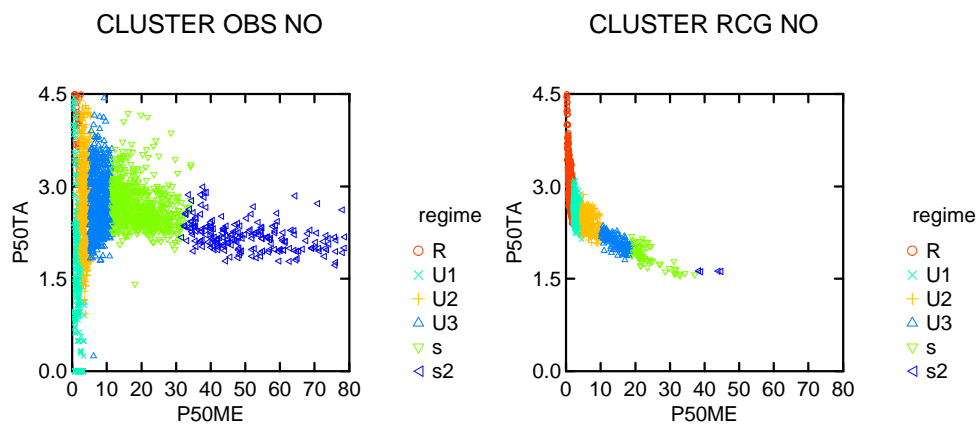


Abbildung 22 Streudiagramm der Parameter Median des Tagesmittelwertes (P50ME) in ppb und der Median der normierten täglichen Variabilität (P50TA) der NO-Jahreszeitreihen sowie die Lage der Cluster aus der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts).

NO Maxima

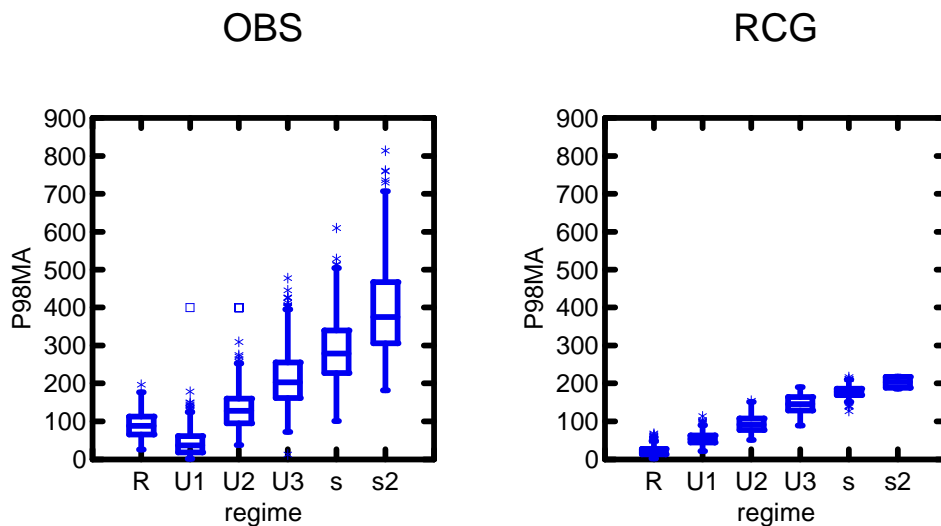


Abbildung 23 Box-Whiskers-Plot der 98%-Perzentile des Tagesmaximums (P98A in ppb) in Abhängigkeit von Regime für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts).

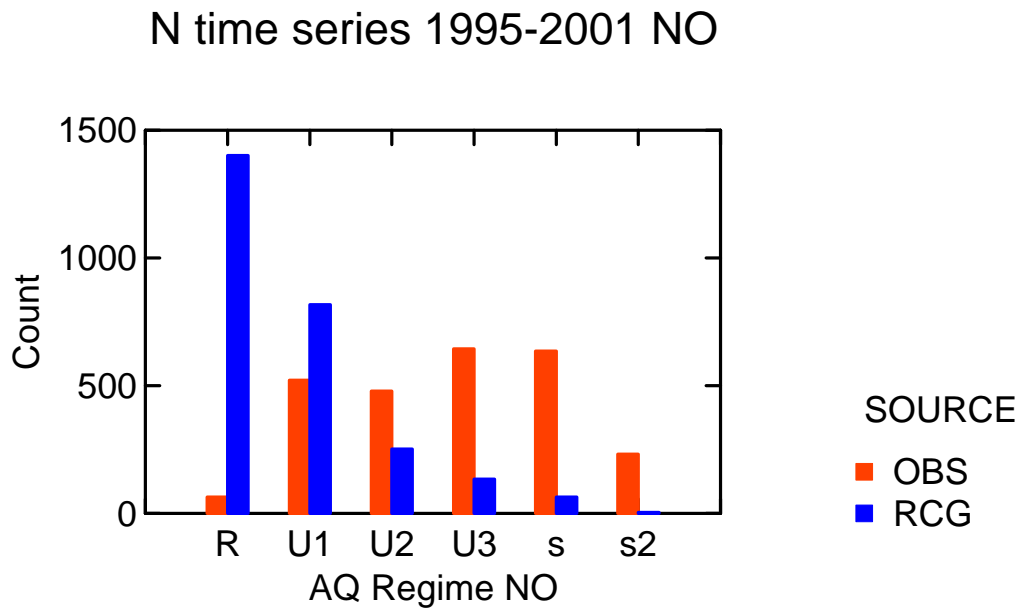


Abbildung 24 Anzahl der Jahreszeitreihen pro Regime aus der Beobachtung (OBS) und der Modellierung (RCG)

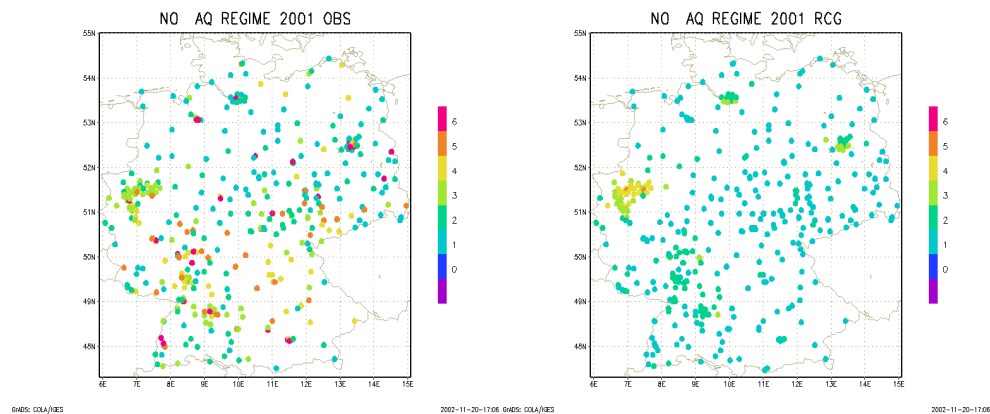


Abbildung 25 Karten der NO-Regimes für 2001 der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts) (1=R, 2=U1, 3=U2, 4=U3, 5=S, 6=S2) für 2001

Regimes der SO₂-Immission

Da die SO₂-Immission nur zum geringen Teil auf die Verkehrsemissionen zurückzuführen sind, können die gebildeten Cluster nicht die Bezeichnungen der Ozon und NO_x-Regimes erhalten. Es wird hier und bei PM₁₀ von Belastungsstufen 1 bis 5 gesprochen.

582 Stationen wurden auf Basis von 2770 Jahreszeitreihen klassifiziert. Bei den Stabilitätstests (siehe 2.1.4.4) ergab sich, dass eine Berücksichtigung der normierten Tageschwankung keine sinnvolle Zusatzinformation für eine Trennung der Regimes liefert.

Die Unterscheidung erfolgte aufgrund der Tagesmittelwerte, die logarithmisch transformiert wurden.

Für die Jahre 1995-01 ergaben sich deutliche Unterschiede in den Klassifikationen, die auf die deutschlandweite sowie die mittel- und osteuropäische Reduzierung der SO₂-Emissionen zurückgehen. Um dies zu verdeutlichen, werden nicht die Abweichungen von der Gesamtklassifikation, sondern die Anzahl der Jahreszeitreihen pro Regime für jedes Jahr aus Beobachtung und Modellrechnung gezeigt (Abbildung 26 und Abbildung 27). Am Anfang des Zeitraumes wird die Mehrheit der Messreihen den beiden höchsten Belastungsstufen 4 und 5, im Jahr 2001 dagegen den Regimes 1 und 2 zugeordnet.

In der Modellrechnung wird die sinkende SO₂-Emission durch die jahresabhängige Modifizierung der Basisemission 1995 berücksichtigt. Hier zeigt sich die Verschiebung von Belastungen der Stufe 3 zu den gering belasteten Regimes. Die Abnahme der Anzahl der Jahreszeitreihen in den hochbelasteten Regimes ist bei der Modellrechnung weniger stark ausgeprägt.

Die Lage der Cluster im Raum der Variablen ist in Abbildung 28 für Beobachtung und Modellrechnung dargestellt. Hinsichtlich der mittleren beobachteten und modellierten Belastung werden ähnliche Bereiche wiedergegeben. Die Tagesschwankung ist jedoch bei den Beobachtungen deutlich stärker ausgeprägt.

Das Cluster 5 der höchsten Belastung beinhaltet Stationen, deren Median größer als ca. 10 µg/m³ ist und überdeckt einen großen Bereich bis zu 35 µg/m³. Für das Jahr 2001 gehört nur die Station NW021 (Bottrop) diesem Cluster an. Auch die Modellrechnung ordnet für 2001 dieser Station und weiteren 22 in Nordrhein/Westfalen das Cluster 5 zu. Die niedrigste Belastungsstufe 1 hat typische Tagesmittelwerte kleiner als 3 µg/m³. Der Bereich bis zu 10 µg/m³ wird durch die Regime 2 bis 4 abgedeckt. Die Maximalwerte der SO₂-Immission steigen wie bei NO₂ mit zunehmender mittlerer Belastung an. Diese beobachteten Maxima sind ca. 10mal höher und die der Modellierung ca. 5 mal höher als die mittleren Werte (Abbildung 29).

Die Karte der räumlichen der Messstationen und ihrer Regimes gilt für das Jahr 2001 und weist demzufolge nicht mehr die hohen Belastungen der Jahre 1995-96 auf. Ähnlich wie bei NO₂ ist das Ruhrgebiet großräumig belastet und das Modell liefert höhere Werte als die Messung. Die Beobachtung ergibt für gewisse Stationen in Thüringen und Sachsen-Anhalt erhöhte SO₂-Immission, während das Modell diese an der Grenze zu Tschechien und Polen lokalisiert.

AQ-Regimes 1995-2001 SO2 OBS

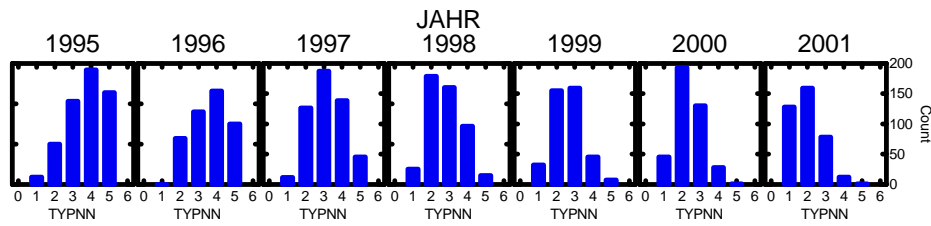


Abbildung 26 Anzahl der Stationen pro SO₂-Immissionregime für die Jahre 1995-2001 aus der Beobachtung

AQ-Regimes 1995-2001 SO2 RCG

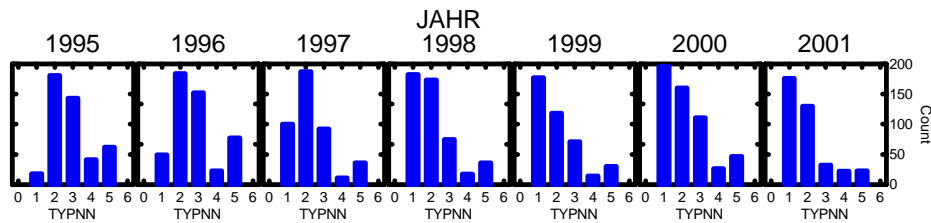


Abbildung 27 Anzahl der Stationen pro SO₂-Immissionregime (TYPNN=1-5) für die Jahre 1995-2001 aus der Rechnung

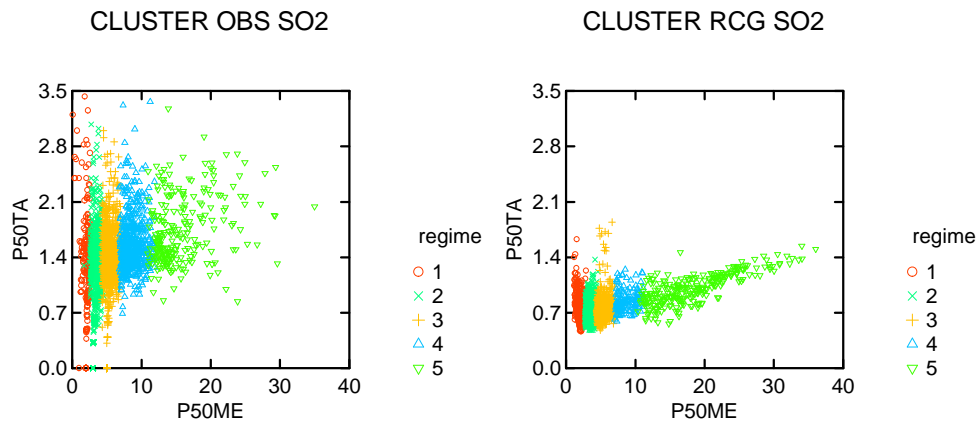


Abbildung 28 Streudiagramm der Parameter Median des Tagesmittelwertes (P50ME in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und Median der normierten Tagesschwankung (P50TA) der SO₂-Jahreszeitreihen und die Lage der Cluster aus der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts).

SO₂ Maxima

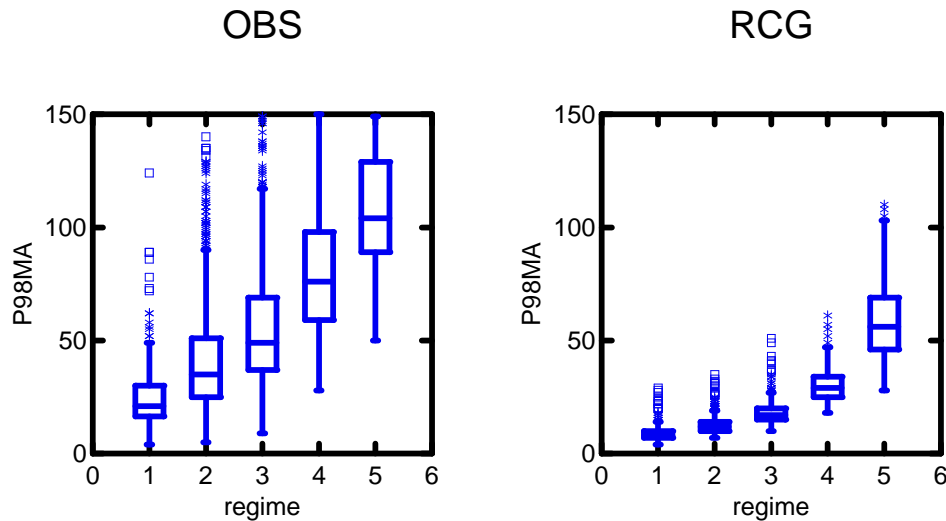


Abbildung 29 Box-Whiskers-Plot der 98%-Perzentile des Tagesmaximums (P98MA in µg/m³) in Abhängigkeit vom Regime für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts)

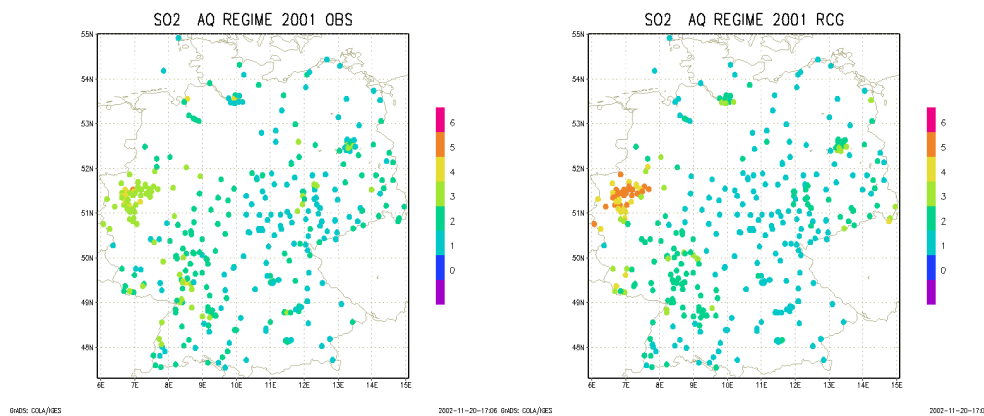


Abbildung 30 Karten der SO₂-Regimes für 2001 der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts)

Regimes der PM₁₀-Immission

Die vorliegenden Messungen für Deutschland der Jahre 1995-99 galten nur dem Gesamtstaub (TSP); für die späteren Jahre nahm die Anzahl der PM₁₀-Messungen stetig zu (siehe Tabelle 1). Da PM₁₀ die relevante Größe für die EU-Rahmenrichtlinie ist und TSP nicht modelliert wird, erfolgte eine Umrechnung aller TSP-Messungen auf den PM₁₀-Anteil von 80%.

539 Stationen wurden mit 2188 TSP- und PM10-Jahreszeitreihen klassifiziert. Die Unterscheidung im stabilsten Fall erfolgt wie bei NO₂ aufgrund der Tagesmittelwerte (P50ME). Die hohen SO₂-Emission in Ostdeutschland waren häufig mit einer hohen TSP-Emission verbunden. Für die hohen Belastungen (Cluster 5 und 4) ergibt sich eine Verringerung (Abbildung 31) zugunsten der mittleren Regimes (2 und 3). Das heißt, dass trotz der Emissionsveränderungen die meisten Messstationen von PM10 weiterhin eine mittelhohe Belastung aufweisen. Der Eindruck ist dabei jedoch uneinheitlich. Das kann in der verschiedenartigen Datenlage begründet sein.

Die modellierten Zeitreihen (Abbildung 32) weisen eine höhere Hintergrundbelastung aus, so dass hierbei – anders als bei der Messung – fast keine Zeitreihen des am geringsten belasteten Regimes (1) auftreten. Die Mehrheit der modellierten Zeitreihen wird in die Regime 2 und 3 klassifiziert. Das Jahr 1996 ist dabei eine Ausnahme, hier werden aufgrund der meteorologischen Besonderheiten auch Stationen in das Regime 5 eingeordnet. Diese Besonderheit ist in den Beobachtung nicht erkennbar.

Die Lage der Cluster im Raum der Variablen ist in Abbildung 33 dargestellt. Unabhängig von der mittleren Belastung besitzen die Stationen eine Tagesschwankung im Bereich von 100 bis 200% des Tagesmittelwertes (P50TA=1..2). Die modellierten Zeitreihen haben alle eine deutlich geringer normierte Tagesschwankung und die Minima und Maxima der PM10-Werte werden nicht wiedergegeben. Das Cluster 1 der am geringsten belasteten Stationen bedeckt einen Bereich von 10-18 µg/m³ bzw. 15-18 µg/m³ hinsichtlich des Median der Tagesmittelwerte (P50ME). Dies ist Ausdruck einer um ca. 5 µg/m³ höheren Hintergrundbelastung der Modellrechnung. Die Regime 2 bis 4 haben eine Klassenbreite von ca. 5 -10 µg/m³. Über 35 µg/m³ beginnen die sehr hohen Belastungen des Clusters 5. Im Jahr 2001 werden durch die Beobachtung einer Station in Bayern (Augsburg, BY006) und durch die Modellierung 15 Stationen in Nordrhein/Westfalen in dieses Regime klassifiziert.

Die Maximalwerte (P98MA) der gemessenen PM10-Konzentration der Stationen liegen größtenteils im Bereich von 100 bis 300 µg/m³ (Abbildung 34). Obwohl das Verhältnis der Maximalwerte zu den mittleren Verhältnissen für Beobachtung und Modellierung ähnlich groß wie bei SO₂ ist, gibt es bei den PM10-Messungen keine Stationen mit ausgesprochen niedrigen Maximalwerten.

Auch bei PM10 gibt die Modellrechnung die mittlere gemessene PM10-Immission im Ruhrgebiet etwas zu hoch wieder. Die Großstädte Berlin und Hamburg werden vom Modell und Beobachtung in vergleichbarer Art registriert. Auffällig ist die durchgängig höhere PM10-Beobachtung in Bayern, die keine Entsprechung in der Modellrechnung findet.

AQ-Regimes 1995-2001 PM10 OBS

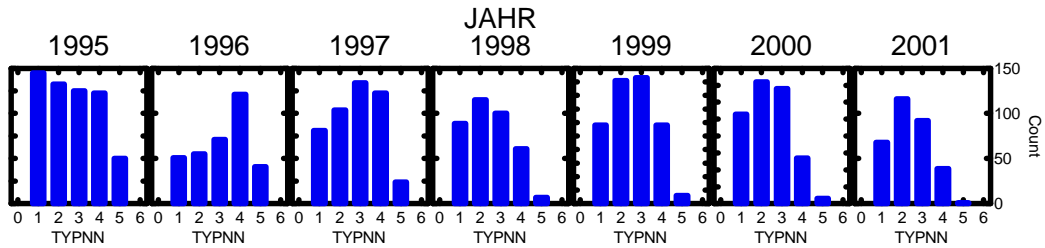


Abbildung 31 Anzahl der Stationen pro PM10-Immissionregime (TYPNN=1...5) der Beobachtung für die Jahre 1995-01

AQ-Regimes 1995-2001 PM10 RCG

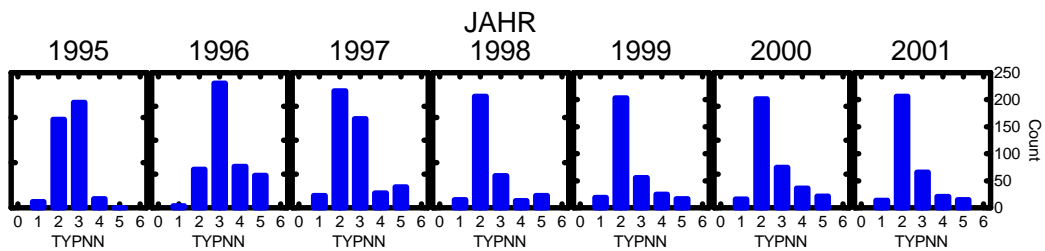


Abbildung 32 Anzahl der Stationen pro PM10-Immissionregime (TYPNN=1...5) der Modellierung für die Jahre 1995-01

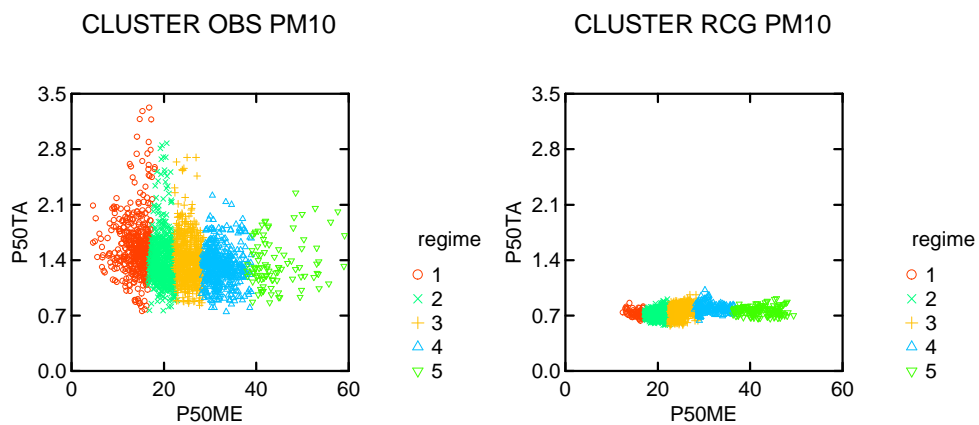


Abbildung 33 Streudiagramm der Parameter Median des Tagesmittelwertes (P50ME in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und der Median der normierten Tagesschwankung (P50TA) der PM10-Jahreszeitreihen sowie die Lage der Cluster aus der Beobachtung (links) und der Modellrechnung (rechts) .

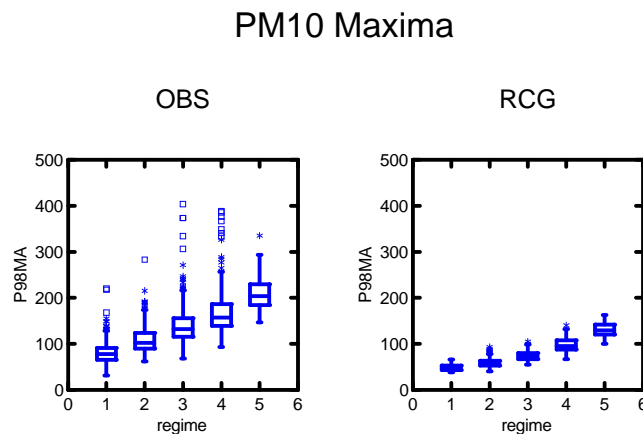


Abbildung 34 Box-Whiskers-Plot der 98%-Perzentile der Tagesmaxima (P98A in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in Abhängigkeit von Regime für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts).

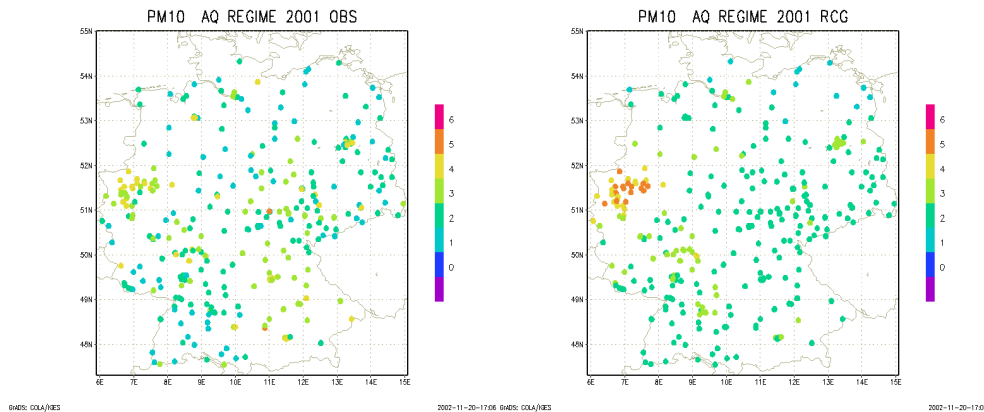


Abbildung 35 Karten der PM10-Regimes für 2001 für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) .

Vergleich der Regimes und Mediane verschiedener Spezies

Im Folgenden werden die unabhängig für Ozon, NO_2 , NO , SO_2 und PM_{10} durchgeführten Klassifikationen gegenübergestellt. Der Vergleich ist dabei auf die Messreihen derjenigen Stationen beschränkt, für die Zeitreihen der verschiedenen Spezies vorliegen. Die Clustergrenzen wurden aufgrund der Struktur der gesamten vorliegenden Daten gebildet. Es ist demzufolge nicht zu erwarten, dass die Zugehörigkeit zu einem Cluster hinsichtlich aller Spezies gewährleistet ist. So sind z. B. vollständige NO_x -Messreihen im Vergleich zu Ozon in höherem Maße in den verkehrnahen Regimes vertreten, was eine unterschiedliche Grundgesamtheit für die Clusterung zur Folge hat.

Zur einfachen Untersuchung der Übereinstimmung wurde die Differenz der Clusternummern für eine Station herangezogen. Voraussetzung dafür ist, dass der Clusternummer eine quantitative Bedeutung zugeschrieben werden kann. Für Ozon ist die Zunahme der Clusternummer mit einer monotonen Abnahme der mittleren Belastung,

für die übrigen Spezies mit einer Zunahme verbunden. Weiterhin sind das Bergregime nur bei der Ozonimmission und das Regime der extremen Verkehrsbelastung nur bei NO_x identifiziert worden (siehe Tabelle 4). Beide Regimes werden bei diesem Vergleich den benachbarten Regimes (Land bzw. Verkehr) untergeordnet.

Differences in AQ Classification for different species

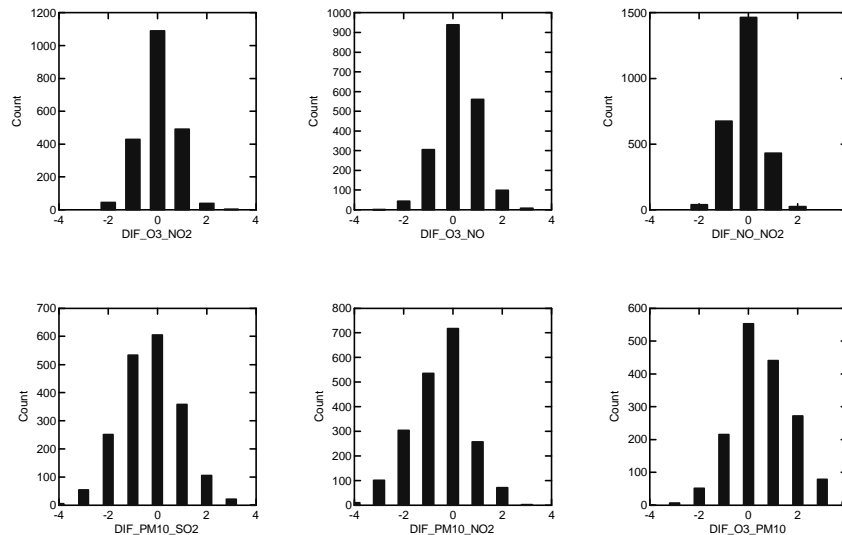


Abbildung 3.36 Unterschiede in der Klassifizierung (DIF_XX_YY) von Regimes für zwei Stoffe (XX und YY). Oben links: Differenz zwischen Nummer der Ozon- und NO_2 -Immissionsclusterung, oben Mitte: für Ozon und NO , oben rechts: für NO und NO_2 , unten links für PM_{10} und SO_2 , unten Mitte für PM_{10} und NO_2 , unten rechts für Ozon und PM_{10} .

Differences in AQ Classification for different species

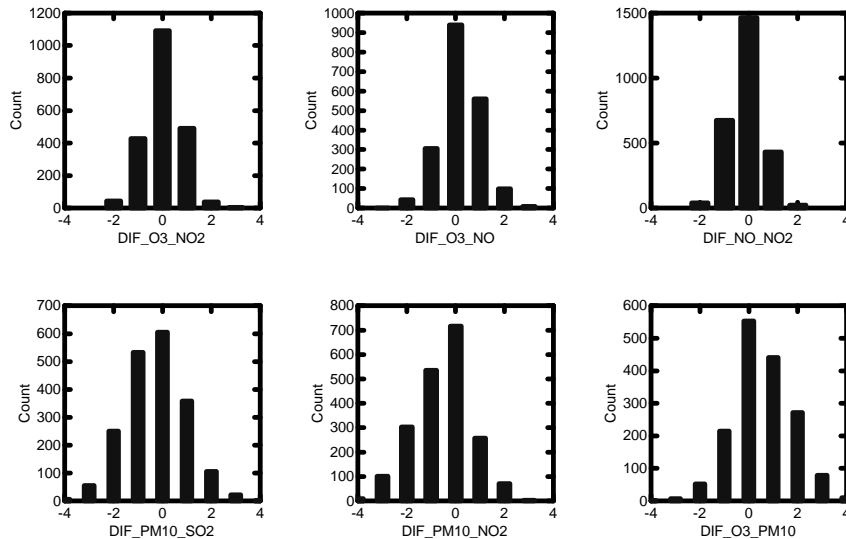


Abbildung 37 Unterschiede in der Klassifizierung (DIF_XX_YY) von Regimes für zwei Stoffe (XX und YY). Oben links: Differenz zwischen Nummer der Ozon- und NO₂-mmissionsclustering, oben Mitte: für Ozon und NO, oben rechts: für NO und NO₂, unten links für PM10 und SO₂, unten Mitte für PM10 und NO₂, unten rechts für Ozon und PM10.

Die Abbildung 37 zeigt die Histogramme der Differenzen in Clusternummern für alle Vergleichspaare zwischen Ozon, NO und NO₂ in der oberen Reihe. In der unteren Reihe sind die Histogramme für die Unterschiede zwischen PM10 und SO₂, PM10 und NO₂ sowie Ozon und PM10 dargestellt. Ca. 50% der Stationen werden nach den verschiedenen Immissionsparametern Ozon, NO₂ und NO in dasselbe Cluster und weitere ca. 30 – 40% in das benachbarte eingeordnet. Es treten geringe systematische Unterschiede hinsichtlich der NO-Klassifikation auf, die durch den niedrigen Anteil der NO-Landstationen bedingt ist. Die Ergebnisse der Clusterung nach Ozon und NO₂ und in etwas geringerem Maße von NO sind demzufolge konsistent und entsprechen einander.

Hinsichtlich der Klassifikation von PM10 und SO₂ bzw. Ozon sind die Unterschiede erwartungsgemäß größer. Das Ozonregime ist demzufolge nur bedingt geeignet, das PM10-Regime wiederzugeben.

Die Untersuchung der Unterschiede in der Klassifikation hinsichtlich verschiedener Spezies kann helfen, Besonderheiten und Fehler einzelner Stationen aufzudecken. Eine genaue stationsbezogene Untersuchung entspricht nicht der Intention dieser Arbeit und würde den Umfang der Arbeit übersteigen. Im Folgenden werden daher lediglich einige auffällige Besonderheiten der Messungen aufgelistet, die der Ausgangspunkt für weitere Arbeiten sein können:

- In Baden-Württemberg weisen viele Stationen eine sehr geringe PM10-Belastung auf (Belastungsstufe 1 und 2) während die zugehörige NO_x-Belastung den Regimen „belastete Stadt“ (U3) und „Straße“ (S) entspricht.
- Viele Stationen in Baden-Württemberg und in Ostdeutschland (Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg) weisen hinsichtlich der Ozonimmission ein suburbanes und urbanes Verhalten (U1, U2) auf, die zugehörige NO_x-Belastung ergibt jedoch ein verkehrsbelastetes Regime (U3, S) und ist damit im Verhältnis zu hoch.

Der Vergleich der Regimezugehörigkeit für verschiedene Spezies wurde bisher nur für die Beobachtungen durchgeführt. Im Folgenden wird daher auch der Vergleich ausgewählter stoffbezogener Zusammenhänge für die Modellrechnung durchgeführt. Dafür werden Streudiagramme der mittleren Belastung verschiedener Spezies für Modell und Beobachtung gegenübergestellt. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit werden dazu nur Daten des Jahres 2001 verwendet. Die Menge der betrachteten Stationen beschränkt sich naturgemäß auf diejenigen mit der gleichzeitigen Messung beider Komponenten und ist dadurch häufig sehr reduziert.

Zunächst fällt bei den Modellrechnungen auf, dass zwischen Medianen der Konzentration verschiedener Zeitreihen ausgesprochen eindeutige Zusammenhänge bestehen, die auf eine ausgesprochen gute chemische Kopplung hinweisen. Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen den Zusammenhang zwischen Ozon und NO bzw. NO₂. Bei einer typischen mittleren NO-Immission unter 10 ppb sind die zugehörigen Ozonwerte in der Modellierung deutlich niedriger als in der Beobachtung. Das gilt auch für die NO₂-Immission. Der Zusammenhang zwischen den typischen NO und NO₂-Werten ist jedoch in Modell und Beobachtung ähnlich. Die Rechnung hat bei niedrigen NO-Werten eine leichte Tendenz zu etwas höheren NO₂-Konzentrationen als die Messung.

Zwischen PM10 und NO₂ besteht in der Modellrechnung ein ausgesprochen linearer Zusammenhang. Dieser ist mit viel größerer Streuung auch in den Messungen zu finden (Abbildung 41). Die Verbindung zwischen PM10 und SO₂ ist für 2001 in den Beobachtungen nur schwach, in der Modellrechnung aber deutlicher ausgeprägt. (Abbildung 42).

O3 vs. NO (P50A)

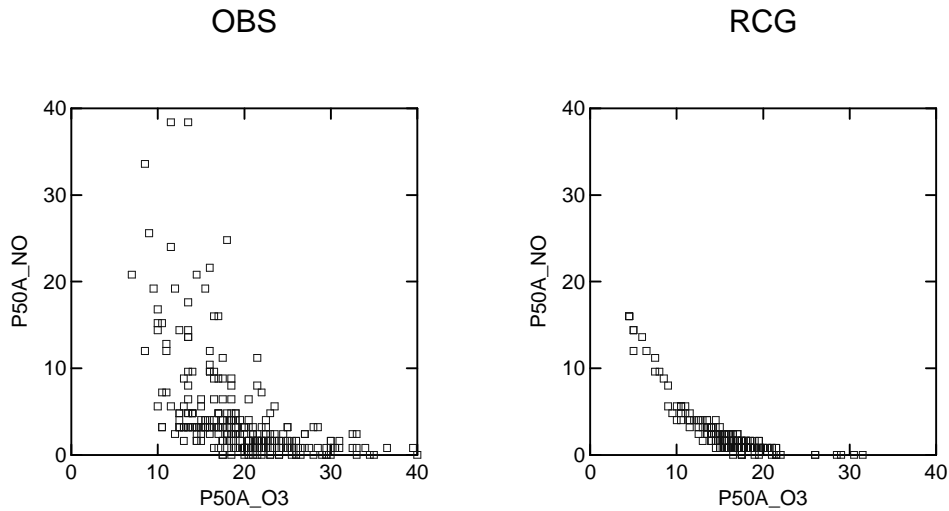


Abbildung 38 Streudiagramm der Mediane der Jahreszeitreihen für 2001 von Ozon (P50A_O3 ppbb) und NO (P50A_NO in ppb) für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts)

O3 vs. NO2 (P50A)

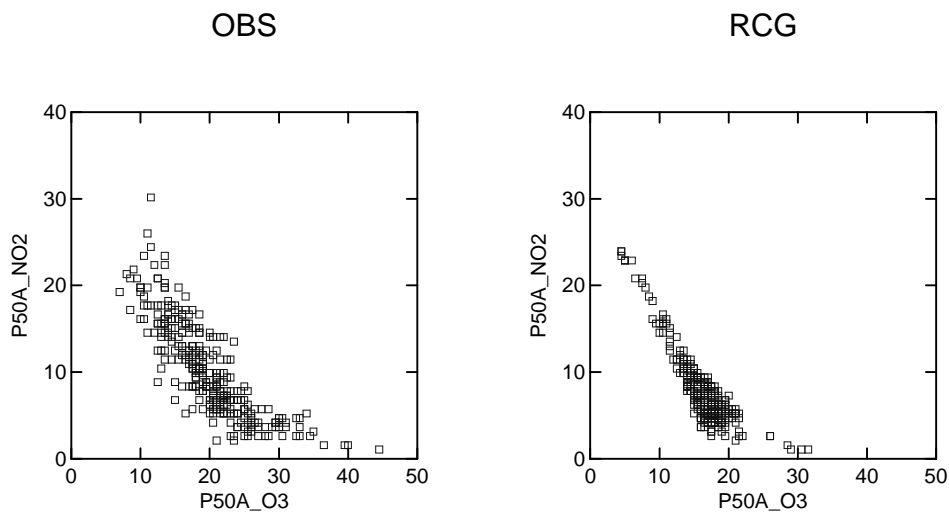


Abbildung 39 Streudiagramm der Mediane der Jahreszeitreihen für 2001 von Ozon (P50A_O3 in ppb) und NO₂ (P50A_NO2 in ppb) für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts)

NO vs. NO₂ (P50A)

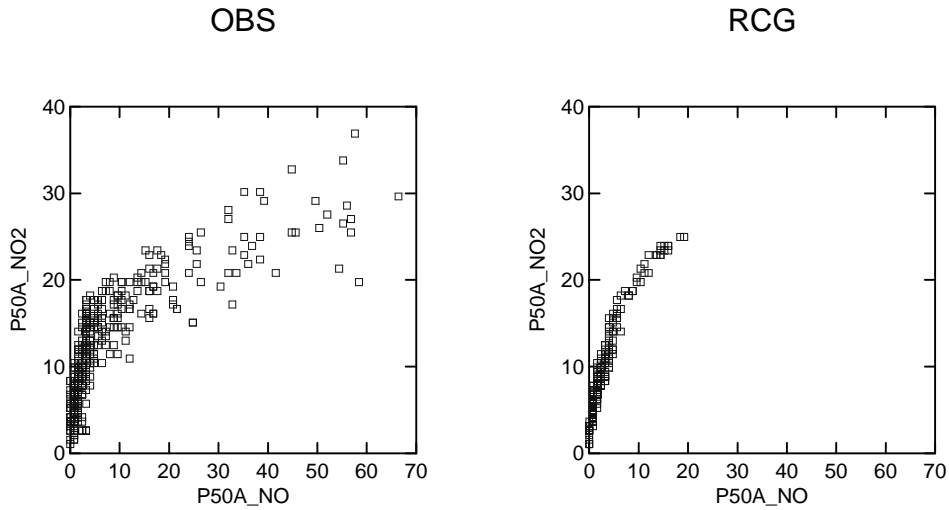


Abbildung 40 Streudiagramm der Mediane der Jahreszeitreihen für 2001 von NO₂ (P50A_NO2 in ppb) und NO (P50A_NO in ppb) für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts)

PM10 vs. NO₂ (P50A)

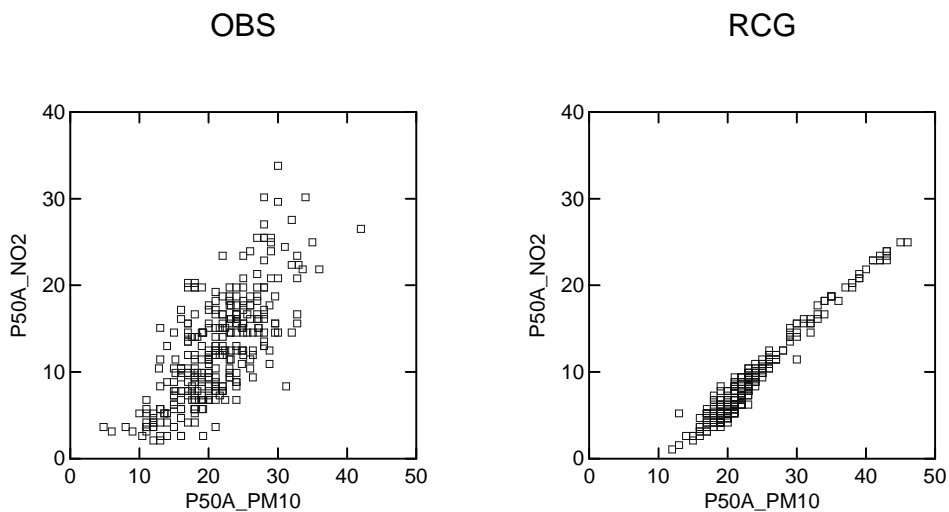


Abbildung 41 Streudiagramm der Mediane der Jahreszeitreihen für 2001 von PM10 (P50A_PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und NO₂ (P50A_NO2 in ppb) für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts)

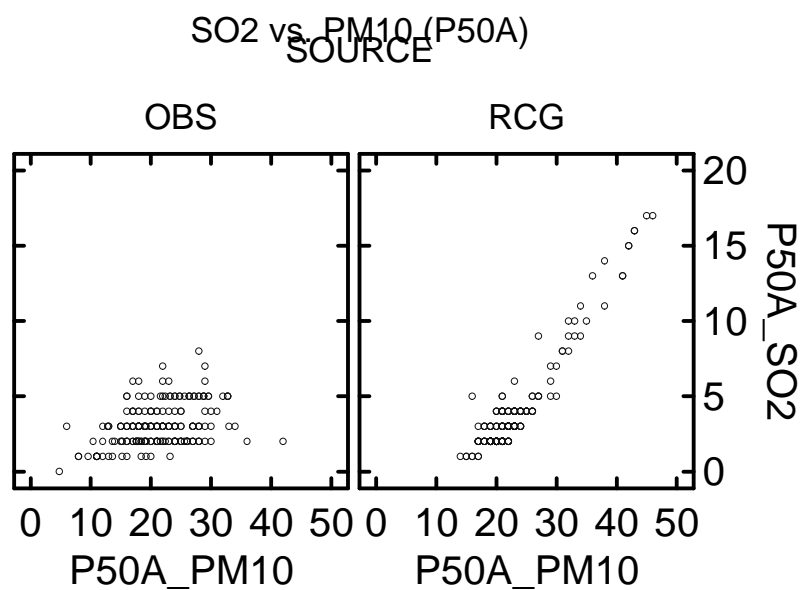


Abbildung 42 Streudiagramm der Mediane der Jahreszeitreihen für 2001 von SO₂ (P50A_SO2 in µg/m³) und PM₁₀ (P50A_PM10 in µg/m³) für Beobachtung (links) und Modellrechnung (rechts)

Zeitliche Variabilität

Die Massenbilanzgleichung (siehe Kapitel 1.1.2) ist die Grundlage des Chemie-Transport-Modells. Sie ist eine Gleichung für die zeitliche Änderung der Konzentration. Die Untersuchung der Wiedergabe der zeitlichen Variation ist demzufolge besonders wichtig für eine prozessorientierte Modellevaluierung.

Die Variabilität der Emission und der meteorologischen Einflussfaktoren sind die Ursache für die Zyklen der Immission. Letztere hat Auswirkung auf alle atmosphärischen Transportvorgänge einschließlich der Deposition und steuert dadurch sehr stark den Tages- und Jahresgang. Neben den ausgeprägten Zyklen der menschlichen Aktivität (Berufsverkehr, Wochenende, Tag-Nacht, Ferien) ist die Emission auch von der meteorologischen Situation beeinflusst. Dies gilt für z.B. Heizenergieverbrauch, für flüchtige Kohlenwasserstoffemission und Staubaufwirbelung. Weiterhin steuern Temperatur und Strahlung die chemischen Umwandlungen der Spurenstoffe. Die chemische Umwandlung aufgrund der Reaktion mit anderen Spurenstoffen sorgt für die Kopplung der Zyklen der Immission.

Während die Tages- Wochen- oder Jahresgänge die Wirkung „starker Anregungen“ haben, sind die Unterschiede von Jahr zu Jahr die Ursache der kleinen Differenzen zwischen diesen Anregungen. Ihre Detektion ist demzufolge weniger gut möglich. Die Fragen der langfristigen Variabilität sind jedoch von großer umweltpolitischer Bedeutung. Auch hierbei stellt sich die Frage nach den Ursachen, die sowohl im veränderten Emissionsaufkommen als auch in der unterschiedlichen „Jahreswitterung“ oder im globalen Spurenstoffhaushalt liegen können. Die Beantwortung der Frage ist grundlegend für die Maßnahmenplanung, da die Wirkung von Emissionsänderungen durch die Wettervariabilität und globale Änderungen überdeckt werden kann.

Die Beobachtung und ihre korrekte Interpretation kann die interannuellen Änderungen erfassen; sie liefert aber nicht deren Ursache. Eine Trennung beider Ursachen wurde z.B. durch die Untersuchung von „wetterbereinigten“ Trends von Enke (1999) unternommen. Hierbei wurde der Wettereinfluss in den Immissionszeitreihen statistisch erfasst und anschließend beseitigt. Modellrechnungen bieten gleichfalls die Möglichkeit zur Abschätzung der meteorologisch bedingten Variabilität, indem die Rechnungen mit gleich bleibenden Emissionsdaten für verschiedene Jahre miteinander verglichen werden. Die interannuellen Unterschiede der Modellrechnung beruhen auf den meteorologischen Daten und groben Schätzungen der Emissionsentwicklung. Szenariorechnungen könnten somit Hinweise zur Trennung der Einflussfaktoren geben.

Die Veranschaulichung der zeitlichen Variabilität erfolgt durch Gruppenbildung in der nächst kleineren Zeiteinheit. Das Ensemble wird dann pro Regime mit seinem Median wiedergegeben. So setzt sich der Jahresgang aus den 12 Medianen zusammen, die aus allen Werte eines Monats gebildet worden sind. Der Wochengang wird aus aus den Wochentagen und der Tagesgang aus allen Tagesstunden konstruiert.

Die Regimeeinteilung erfolgt separat für Modellrechnung und Beobachtung. Durch dieses Vorgehen ist ein genereller Bias zwischen Modell und Beobachtung nicht er-

kennbar, da die absolute Anzahl der Zeitreihen pro Regime nicht berücksichtigt wird. Weiterhin sollte beachtet werden, dass innerhalb der Monate, Wochentage und Tagesstunden eine Streuung existiert, die hier nur beispielhaft für den Tagesgang von NO_2 in Abbildung 48 dargestellt wird. Der Tagesgang wird als typisch für das gesamte Jahr ermittelt. Eine feinere Untersuchung der Unterschiede in Sommer und Winter ist empfehlenswert, sprengt aber den Rahmen dieser Darstellung.

3.1.1 Tages- Wochen- und Jahresgang

Modellrechnung und Beobachtung zeigen für Ozon eine gute Übereinstimmung im grundsätzlichen Verlauf des Tagesganges (Abbildung 43). Das Ergebnis der Modellrechnung ist für die urbanen Regimes nachts zu tief und Mittags zu hoch und überschätzt damit den gemessenen Tagesgang.

Der Tagesgang von NO_2 ist durch ein Hauptminimum in der Nacht und ein Nebenminimum am Nachmittag gekennzeichnet (Abbildung 44). Die Modellrechnung überschätzt das Mittagsminimum sehr stark und zeigt nachts kein Minimum sondern erhöhte Werte. Dieses Verhalten ist bei NO noch ausgeprägter, wo die Nachmittagswerte zu gering, die nächtlichen Werte jedoch mit Ausnahme des ländlichen Regimes zu hoch sind (Abbildung 45). Das morgendliche Maximum ist jedoch in Modell und Beobachtung um 8 Uhr zu finden.

Auch bei PM_{10} zeigt die Modellrechnung ein starkes Minimum am Nachmittag, das in der Beobachtung nicht zu finden ist (Abbildung 46). Der morgendliche Anstieg der PM_{10} -Konzentration in den höher belasteten Regimes wird jedoch gut vom Modell wiedergegeben. Für SO_2 kann dieses Verhalten nicht festgestellt werden.

Das festgestellte Verhalten des Modell kann mit einem möglicherweise zu starkem mittäglichen vertikalen turbulenten Austausch und einem zu schwachen Austausch in der Nacht erklärt werden. Dass dieses Verhalten bei SO_2 nicht gefunden wird (Abbildung 47), kann aus der Tatsache erklärt werden, dass der Großteil der SO_2 -Emission aus Punktquellen und nicht in die Bodenschicht erfolgt.

Die belasteten urbanen und Verkehrsregimes weisen bei der Beobachtung einen deutlichen Wochengang auf, mit einer Zunahme von Ozon und einer Abnahme von NO_x und PM_{10} am Wochenende. In der Rechnung ist dieses Verhalten nicht beim Ozon und NO_2 zu finden. Bei NO und PM_{10} ist ein abgeschwächter Wochengang zu erkennen. NO weist weiterhin ein leichtes Freitagmaximum und PM_{10} ein leichtes Montagminimum auf, das in dieser Weise in der Beobachtung nicht zu erkennen ist (Abbildung 49 bis Abbildung 53).

Der Jahresgang wird mit Ausnahme von SO_2 für alle Stoffe vom Modell überschätzt. Dies gilt für das Sommermaximum des Ozons und die Sommerminima von NO_2 , NO und PM_{10} . Letzteres zeigt in der Beobachtung keinen ausgeprägten Jahresgang. Bei SO_2 werden die Wintermaxima durch das Modell leicht überschätzt (Abbildung 54 bis Abbildung 58).

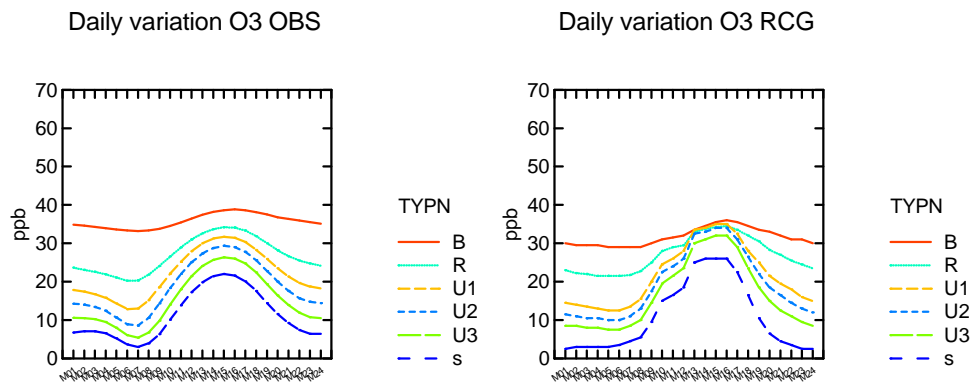


Abbildung 43 Tagesgang von Ozon (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

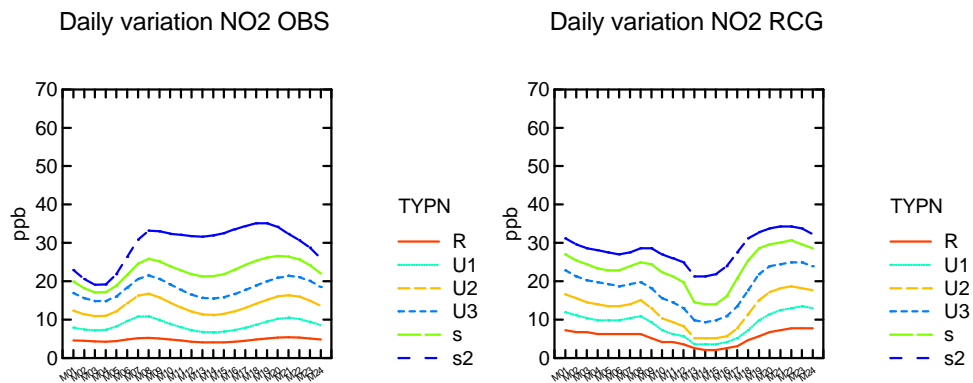


Abbildung 44 Tagesgang von NO₂ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

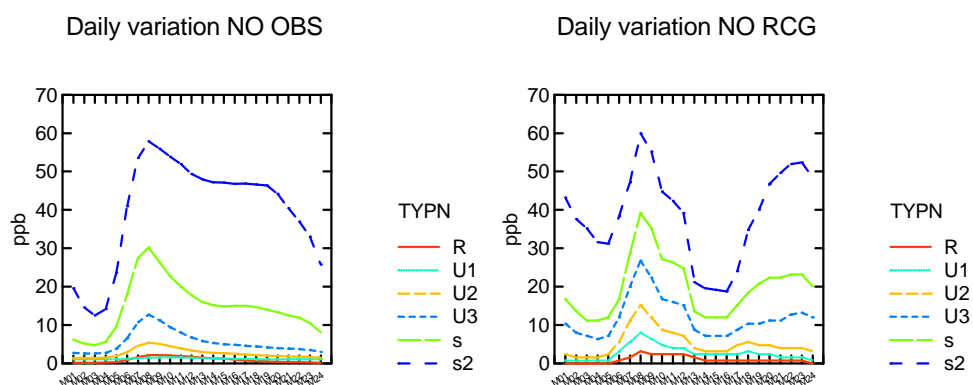


Abbildung 45 Tagesgang von NO (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

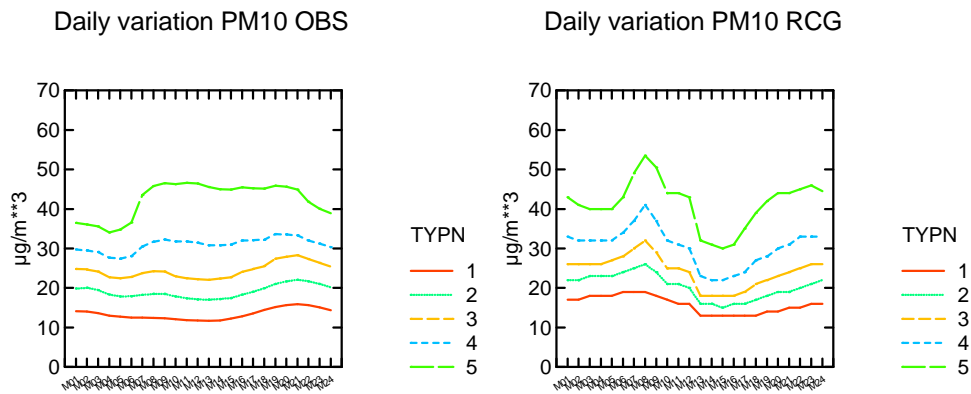


Abbildung 46 Tagesgang von PM10 (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

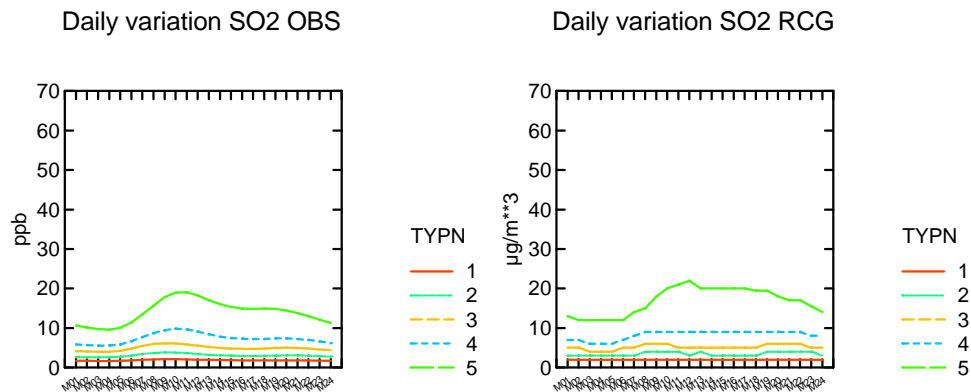


Abbildung 47 Tagesgang von SO₂ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

Tagesgang NO₂

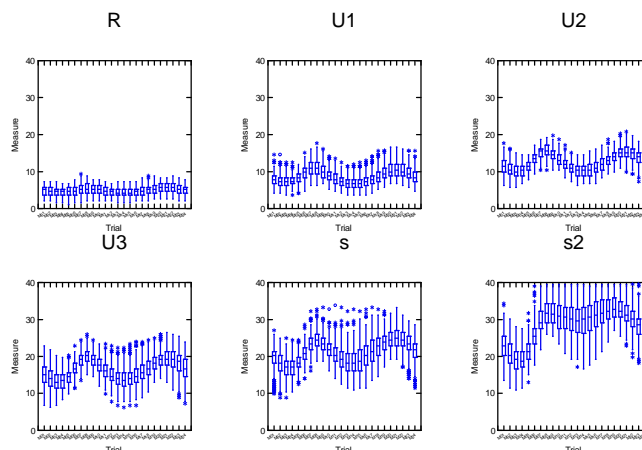


Abbildung 48 Häufigkeitsverteilung des Medians (P50A) aller Stationen pro Regime des für jede Tagesstunde von NO₂. Die entsprechenden Mediane des Ensembles, d.h. der Mittelstrich der Box, sind in Abbildung 44 dargestellt.

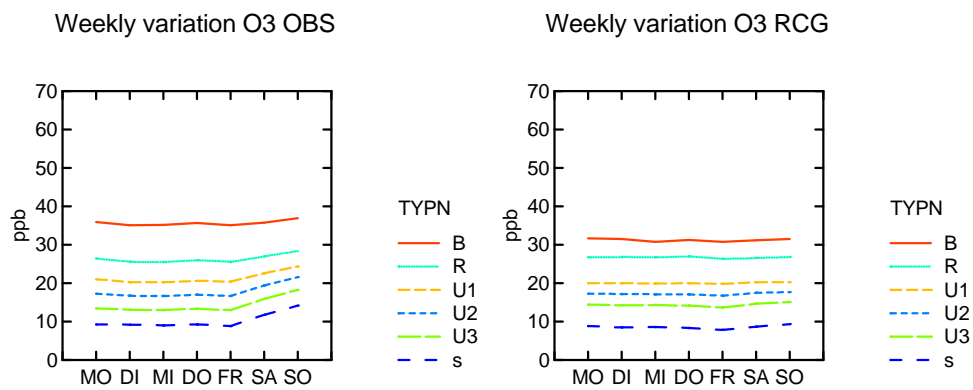


Abbildung 49 Wochengang von Ozon (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

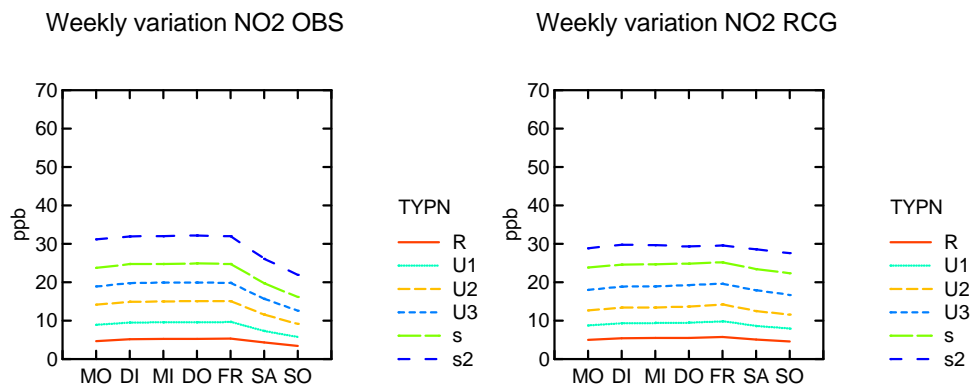


Abbildung 50 Wochengang von NO₂ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

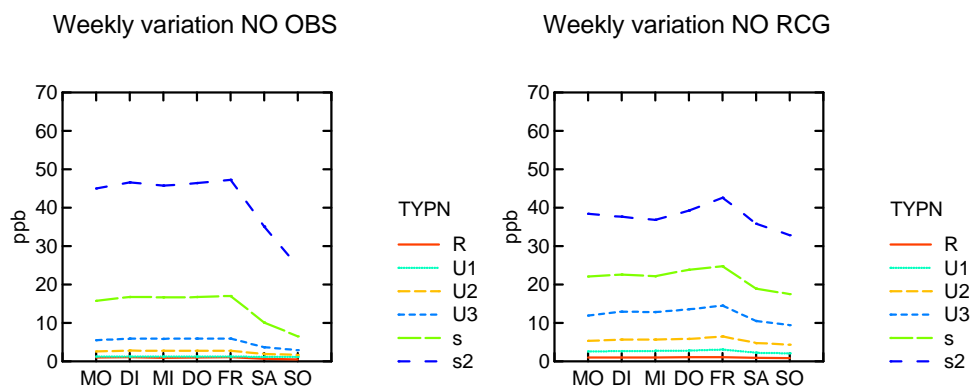


Abbildung 51 Wochengang von NO (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

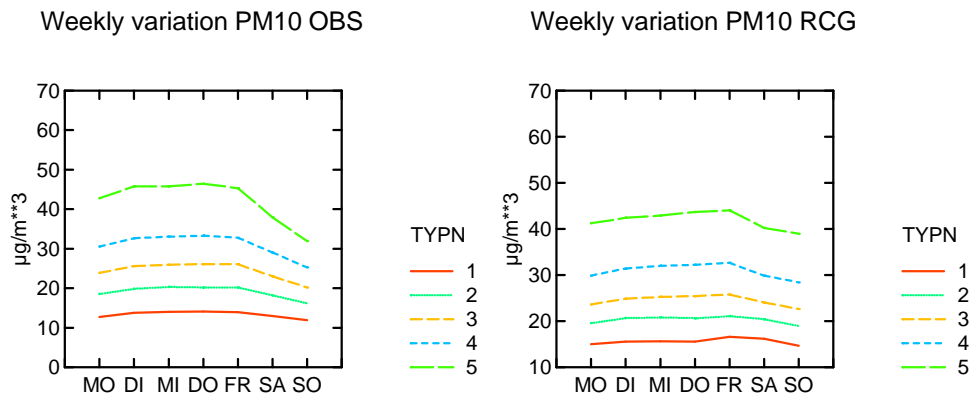


Abbildung 52 Wochengang von PM10 (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

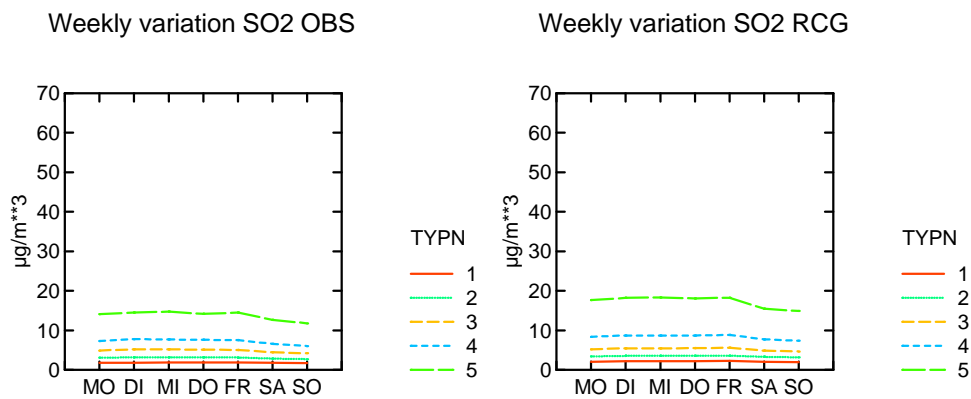


Abbildung 53 Wochengang von SO₂ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

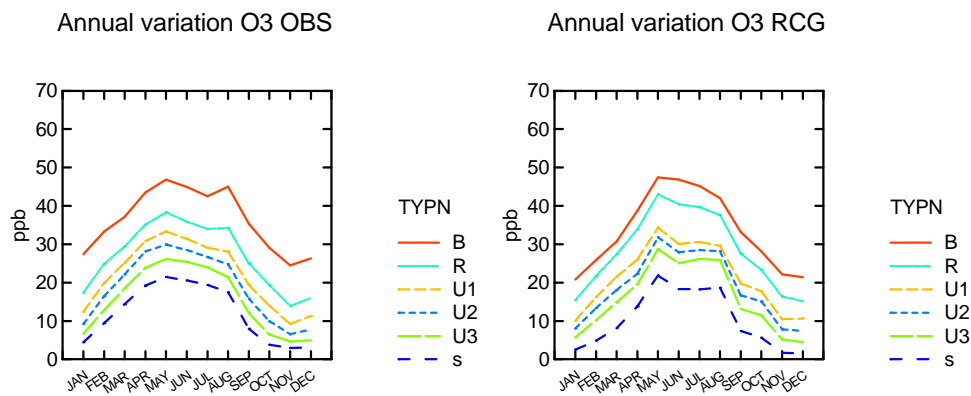


Abbildung 54 Jahresgang von Ozon (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

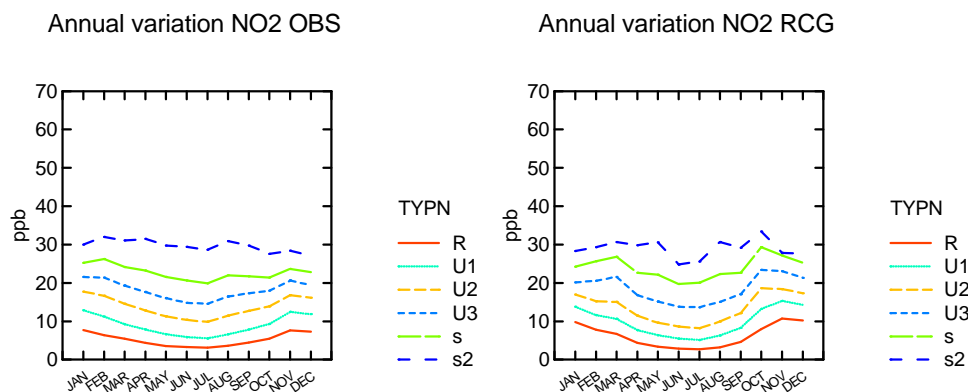


Abbildung 55 Jahresgang von NO₂ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

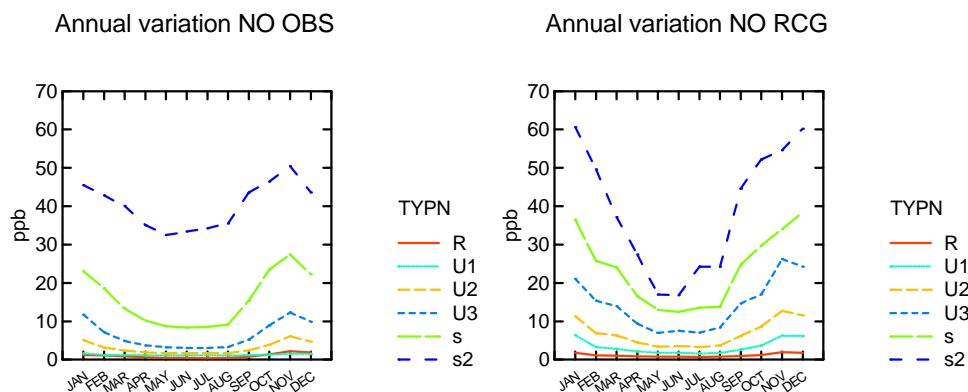


Abbildung 56 Jahresgang von NO (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

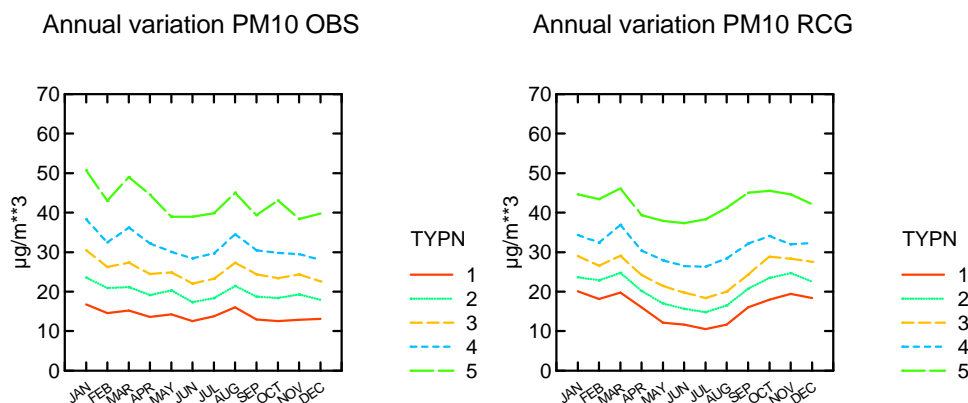


Abbildung 57 Jahresgang von PM₁₀ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

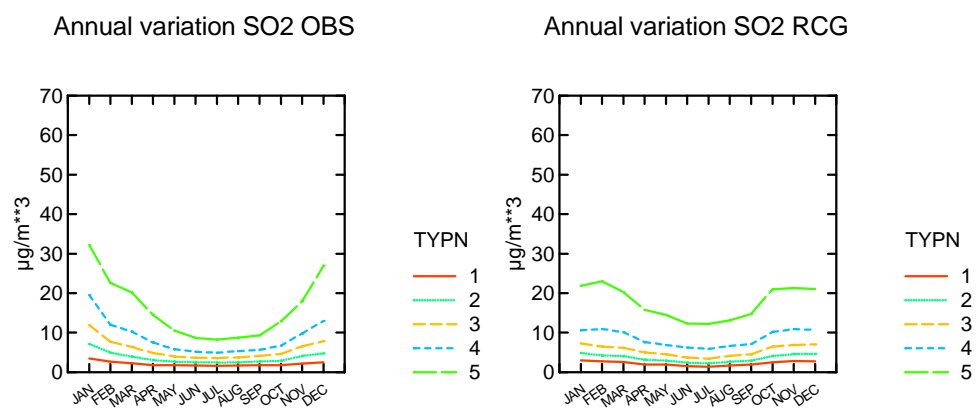


Abbildung 58 Jahresgang von SO₂ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

3.1.2 Zwischenjährliche Variabilität

Die Erfassung von troposphärischen Spurenstofftrends im nationalen, europäischen oder globalen Maßstab ist Inhalt umfangreicher Forschungsaktivität (z. B. Beilke und Uhse, 1999, Roemer, 2001 und Oltmans, 1998). Die korrekte Erfassung der zwischenjährlichen Variabilität aus der Beobachtung ist mit Problemen behaftet, denn die Anzahl der messenden und ausreichend vollständigen Stationen ist sehr uneinheitlich und die Messungen sind von unterschiedlicher Qualität. Dieses Problem wird auch von anderen Autoren, bei der Detektion von Immissionstrends in den Mittelpunkt gestellt (Roemer, 2001).

In gewissen Sinn ist bereits die Überprüfung der jährlichen Übereinstimmung der Klassifikation (siehe z.B. Kapitel 0) für die einzelnen Jahre eine robuste Methode, um die Änderungen festzustellen. Analog zu der Darstellung im vorherigen Kapitel werden hier die Änderungen der typischen mittleren Verhältnisse innerhalb der einzelnen Regimes dargestellt. Dazu wird ein Ensemble aus allen Medianen (P50TA) der Jahreszeitreihen eines Regimes zusammengestellt. Der Median dieses Ensembles wird dann für Modellrechnung und Beobachtung dargestellt. Die Untersuchung der Veränderung der Maximalwerte ist damit nicht beabsichtigt. Es sei nur erwähnt, dass z.B. für Ozon die Tendenz zum Anstieg der mittleren Werte mit einem Sinken der Maximalwerte einhergeht (Enke, 1999). Der Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt nicht vordergründig auf der Feststellung von Trends, sondern auf der Begutachtung der Möglichkeiten des Modells, die interannuale Variabilität wider zu geben.

Damit die Änderung der Stationsanzahl pro Regime keinen Einfluss gewinnt, wird die Klassifikation für den gesamten Zeitraum gewählt (siehe 2.1.4.5). Ist eine Station in diesem Jahr nicht mit einer vollständigen Jahreszeitreihe vertreten, so wird sie nicht in die Darstellung einbezogen.

Die mittleren Ozonimmissionen zeigten von 1996 bis 1998 einen Anstieg, der sich in den darauf folgenden Jahren nicht fortsetzte (Abbildung 59). Bei den Berg- und Küstenstationen findet der Anstieg ein Jahr früher statt. Die modellierten Regimes besitzen eine geringere Variabilität. Hier ist nur das Jahr 1996 mit etwas niedrigeren mittleren Werten in den urbanen Regimes auffällig. Im Gegensatz dazu sind die modellierten mittleren Verhältnisse für die ländlichen und Berg-Stationen im Jahr 1996 und 1999 etwas höher als in den anderen Jahren.

Für NO und NO₂ weisen die Beobachtungen in allen Regimes eine leichte Abnahme der mittleren Belastung ab dem Jahr 1998 auf. Die modellierten Zeitreihen zeigen eine vergleichbare Tendenz (Abbildung 60 und Abbildung 61). Die mittlere beobachtete PM₁₀⁴⁶ und SO₂-Belastung hat sich in dem betrachteten Zeitraum in allen Regimes deutlich reduziert (Abbildung 62 und Abbildung 63). Auch die modellierten Zeitreihen geben diesen Trend wieder. Er ist jedoch für PM₁₀ deutlich schwächer ausgeprägt;

⁴⁶ Die Frage inwieweit, der Trend von PM₁₀ durch Artefakte der TSP-PM₁₀ Umrechnung modifiziert ist, kann hier nicht beantwortet werden.

hier zeigt das Jahr 1996 die höchste Belastung. Der modellierte Trend von SO₂ stimmt jedoch gut mit der Beobachtung überein.

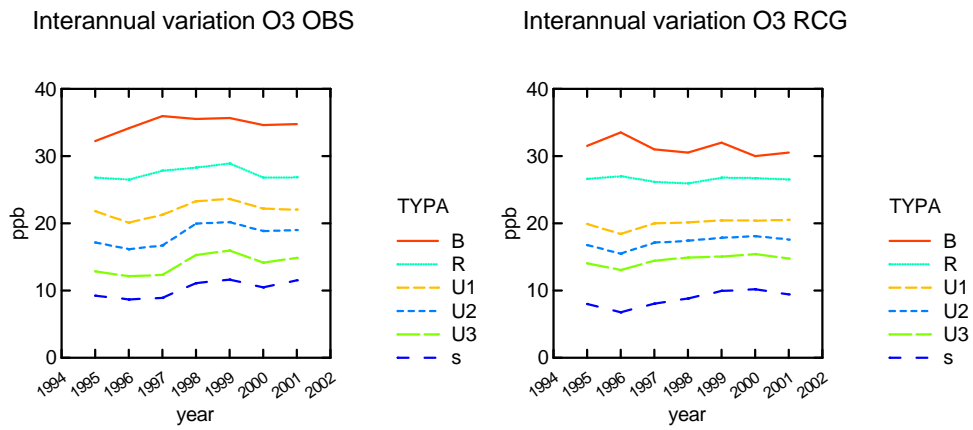


Abbildung 59 Interannuale Variation von Ozon (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

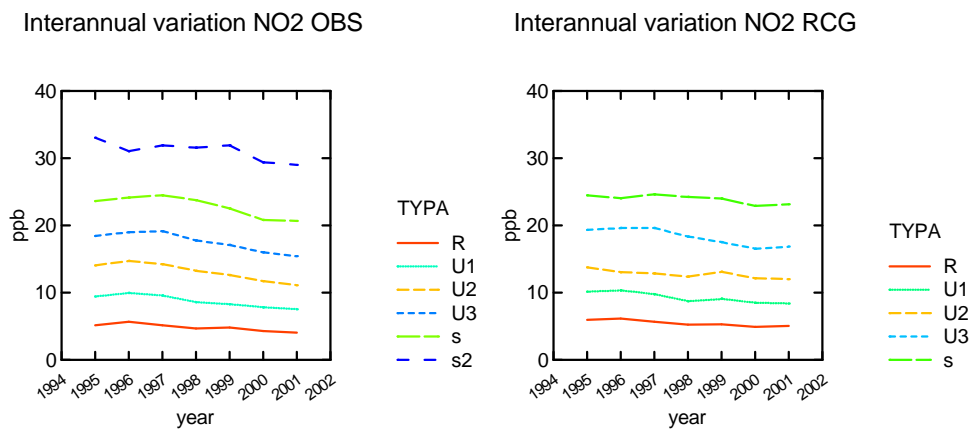


Abbildung 60 Interannuale Variation von NO₂ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

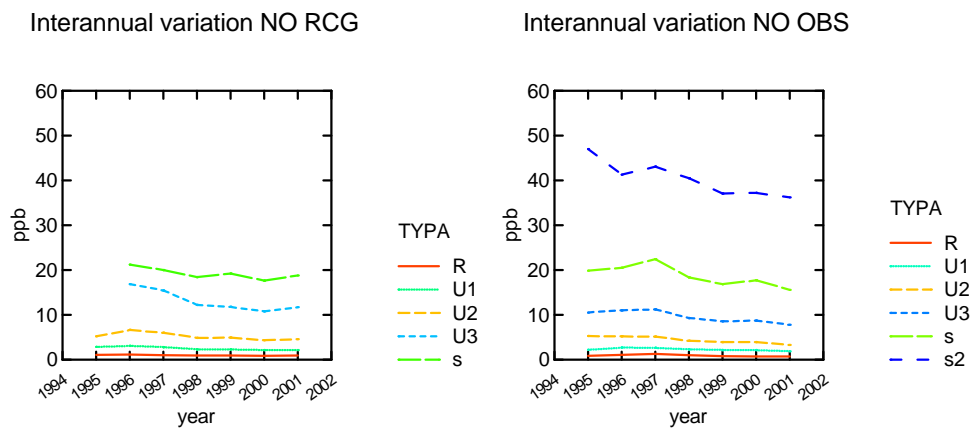


Abbildung 61 Interannuale Variation von NO (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

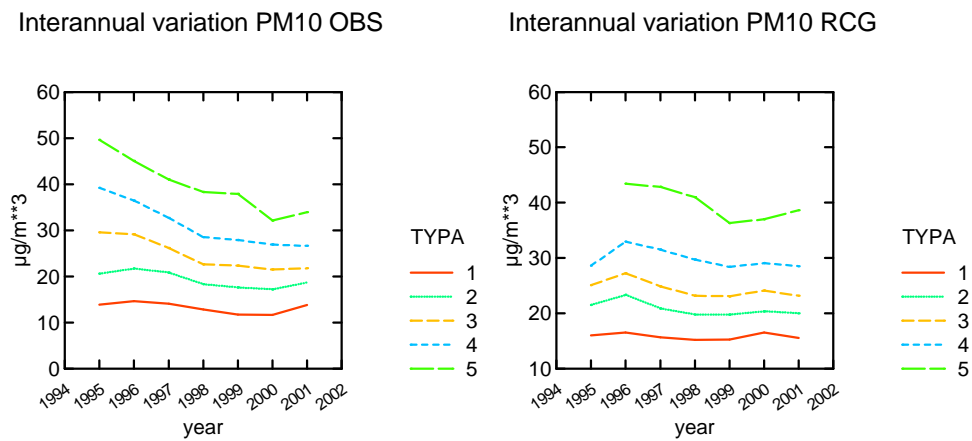


Abbildung 62 Interannuale Variation von PM10 (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

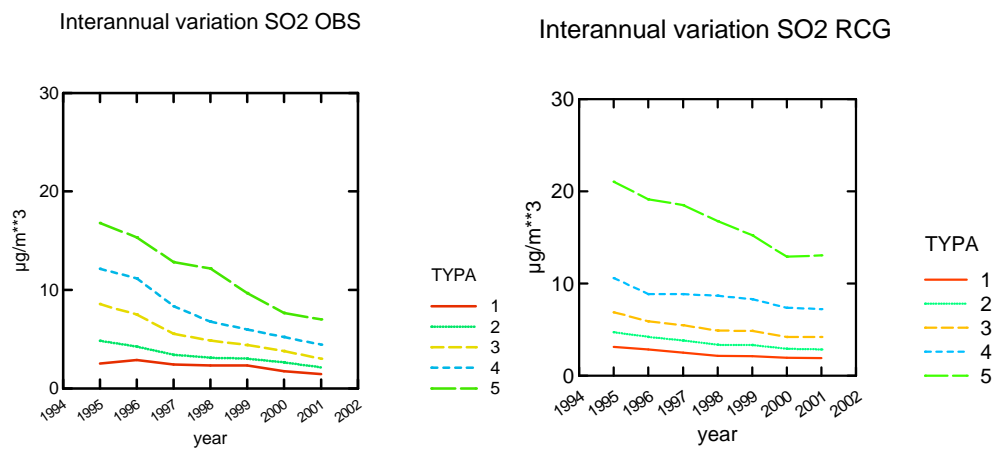


Abbildung 63 Interannuale Variation von SO₂ (Median) für die Beobachtung (links) und die Modellrechnung (rechts) in den Regimes

4 Zusammenfassung

Der Gegenstand des Berichts sind die deutschlandweiten Felder der bodennahen Spurenstoffimmission von Ozon, NO₂, NO, SO₂ und Feinstaub (PM₁₀, abgeleitet aus TSP). Die hier betrachteten Immissionswerte stammen zum einen aus den operationellen Luftgütemessnetzen der Bundesländer und des UBA, zum anderen wurden sie mit dem Eulerschen Chemie-Transport-Modell REM/CALGRID in einer Auflösung von 0.5° Länge und 0.25° Breite simuliert.

Der Schwerpunkt des Berichtes ist eine objektive Klassifikation des stoffspezifischen Immissionsregimes der Beobachtungsdaten. Die dabei bestimmten Klassifikationskriterien werden auf die modellierten Zeitreihen angewendet, so dass auch die Regime der Modellergebnisse angebar sind.

Die UBA-Klassifikation nach Enke et al. (1998) war für die Arbeiten im FE-Vorhaben nicht ausreichend, da sie nur für einen Teil der Messstationen vorliegt und allein auf der Ozonimmission beruht.

Die Regimeklassifikation ist die Basis für eine regimespezifische Klimatologie von Beobachtung und Modellrechnung sowie für die räumlichen Interpolation (Analyse) bzw. der Datenassimilation. Der erste Punkt ist ein Teil dieses Berichtes, der zweite ist der Inhalt eines eigenständigen Berichtes (Flemming, 2003). Die Regimeklassifikation ist für die Analyse von großer Bedeutung, da mit ihr die unterschiedliche räumliche Repräsentativität der Immissionsmessungen erfassbar wird.

Die gemessenen und berechneten Immissionszeitreihen werden für die Jahre 1995-2001 untersucht und nach Regimen klassifiziert. Dazu werden verteilungsfreie klimatologische Parameter für jede Jahreszeitreihe herangezogen. Sie beschreiben die mittleren und extremen Verhältnisse sowie die Ausprägung des Tagesganges.

Die hier vorgestellte Klassifikation erfolgt separat für jede Spezies mit einem hierarchischen Clusterverfahren auf Basis der klimatologischen Parameter der Jahreszeitreihen. Durch Tests der linearen Unabhängigkeit und der Stabilität des Clusterergebnisses werden die Parameter für die Clusterung ausgewählt und skaliert. Die Klassifikation beruht für alle Spezies auf einem Maß für die mittlere Belastung und einem für die Ausprägung des Tagesganges (normierte Tagesschwankung). Für NO, NO₂, SO₂ und PM₁₀ findet der Tagesgang wenig Berücksichtigung, für Ozon ist er jedoch für eine stabile Klassifikation von Bedeutung. Auf Basis der gebildeten Cluster können auch Immissionszeitreihen aus anderen Ländern und von Modellrechnungen klassifiziert werden.

Für Ozon unterscheidet die Klassifikation die Regimes „Berg“, „Land“, „Vorstadt“, „Stadt“, „Stadt verkehrsnah“ und „Straße“. Für NO_x werden mit Ausnahme der Bergstationen die gleichen Regimetypen und zusätzlich das Regime „Straße extrem“ ermittelt. Die SO₂- und PM₁₀-Immission wird in fünf Regimes mit zunehmender Belastung eingeteilt.

Der Vergleich des Clusterergebnisses für Ozon mit der UBA-Klassifikation ergibt eine gute Übereinstimmung, insbesondere für die feinere Unterteilung der großen Gruppe der urbanen Stationen nach der UBA-Klassifikation. Der Vergleich der neuen Klassifikationen für Ozon, NO und NO₂ bestätigt die Plausibilität der gewonnenen Regimes. Die Ozonregimes sind jedoch nur wenig geeignet, die PM10- und SO₂-Regimes und hohe NO-Belastungen differenziert zu beschreiben.

Bei dem Vergleich der Regimes für unterschiedliche Spezies konnten bundesländer-spezifische Besonderheiten ermittelt werden. So weisen viele NO-Messungen in Nordrhein/Westfalen zu geringe Werte im Verhältnis zur hohen NO₂- und geringen Ozonimmission auf. In Baden-Württemberg und einigen ostdeutschen Ländern finden sich relativ zu hohe Ozonimmissionen bei hoher NO_x-Immission. In Baden-Württemberg ist das Niveau der PM10-Belastung bei erhöhten NO₂-Immissionen häufig geringer als in anderen Bundesländern.

Die gesamte Klassifizierung ist im Anhang zu finden.

Die Klassifikationen der Beobachtungen wurden auf die großräumigen Modellrechnungen übertragen, so dass jede modellierte Jahreszeitreihe einem Regime zugeordnet werden kann. Für eine Modellevaluierung ist aufgrund der unterschiedlichen Skalen von Beobachtung und Modell und der überproportional hohen Anzahl von Beobachtungen in städtischen und verkehrsnahen Bereichen die Kenntnis solcher Regimes unerlässlich. Bei Ozon zeigt sich, dass die hier durchgeführte großräumige Modellrechnung im Vergleich zur Messung eine zu starke Gewichtung des urbanen Regimes liefert. Eine mögliche Ursache der zu urbanen Charakteristik der Modellrechnung mag die sofortige Verteilung der NO-Emissionen über das gesamte Volumen einer Gitterbox sein, was zu einer großflächigen Überschätzung des Titrationseffekts in Gebieten mit erhöhter Emissionsdichte führen kann (z.B. dem Ruhrgebiet). Es sei angemerkt, dass die quantitativen Auswirkungen dieses Effekts eine Funktion der Modellauflösung sind. Damit kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine feinere Modellauflösung zu einer Verschiebung der Besetzung der Regimeklassen führt.

Weiterhin werden die Unterschiede und Übereinstimmungen der regimeorientierten Klimatologie von Beobachtungen und Modelldaten hinsichtlich der mittleren Belastung, der chemischen Kopplung und der Periodizität im Tages, Wochen, Jahresgang sowie der interannuellen Variabilität untersucht: Die Modellergebnisse und die Beobachtungen stimmen in ihrer zeitlichen Variabilität gut überein. Das Modell überschätzt etwas den Tagesgang und Jahresgang und unterschätzt den Wochengang. Es wurde eine starke Abnahme der mittleren SO₂- und PM10-Immissionen im Verlauf der Jahre 1995-2001 festgestellt, die auch gut vom Modell wiedergegeben wird.

5 Literaturverzeichnis

Bacher, Johann (1994)

Clusteranalyse, R. Oldenburg Verlag München.

Beilke, Siegfried und K. Uhse (1999)

Jahresbericht 1998 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes, Kap 3.1. Die Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland zwischen 1990 und 1998 – Zusammenhänge mit der Emissionssituation, UBA-Texte 66/99.

Enke, W., Seewöster, J., und Heiermeier, H., (1998)

Erfassung und Beschreibung der Immissions-Meßzeitreihen in Deutschland, Teil I Kategorisierung der Ozonstationen Im Auftrag des Umweltbundesamt FE-Vorhaben 20402841

Enke, Wolfgang (1999)

Analyse historischer Ozonzeitreihen und Entwicklung einer Methode zur quasi wetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon, UBA-Forschungsvorhaben 10402131

EU (1996)

Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27.9.1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 296/55 vom 21.11. 1996

EU (1999)

Richtlinie 1999/30/EG des Rats vom 22.4.1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 163/41 vom 29.6. 1999

EU (2000)

Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rats vom 16.11.2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 313/12 vom 13.12. 2000

EU (2002)

Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rats vom 12.2.2002 über den Ozongehalt der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 67/14 vom 9.3. 2002

Flemming, J. (1996)

Studie zur Initialisierung des Ausbreitungsmodells REM3, Diplomarbeit am Institut für Meteorologie Berlin.

Flemming J., Reimer, E., Stern, R. (2001)

Data Assimilation for CT-Modelling based on Optimum Interpolation. 25th ITM on Air Pollution Modeling and its Application, September 2001, Brussels, Belgium

Flemming, J. (2003)

Anwendung von OI und Kalman-Filtertechniken für Ausbreitungsrechnungen mit dem chemischen Transportmodell REM/CALGRID - Theoretische Grundlagen – Abschlußbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252 des Umweltbundesamts „Modellierung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Belastung durch Ozon“

Gery, M., Whitten, G., Killus, J. und Dodge, M. (1989)

A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computing, J. of Geophysical Res., Bd. 94, S. 12925-12956.

Heidke, P. (1926)

Über die Auswertung der Windstärkevorhersage für den Sturmwarndienst, Geographische Annalen, Bd. 8.

Kalkstein, L.S., G. Tan und J.A. Skindlov (1987)

An Evaluation of three clustering Procedures for Use in Synoptic Climatological Classification, Journal of Climate and Applied Meteorology, V. 26, p. 717-730, 1987.

Lange, H. (2002)

Die Physik des Wetters und des Klimas, Dietrich ReimerVerlag, Berlin.

Lenschow, Peter et al. (2001)

Some ideas about the sources of PM10, Atmospheric Environment 35, Supplement No. 1, p 23-S33.

Oltmans S. J. et al (1998)

Trends of ozone in the troposphere, Geophysical research Letters, V. , N. 2, p 139-142, January 15.

Ostro, Bart (1994)

Estimating Health Effects of Air Pollutants: A Methodology with an Application to Jakarta. Policy Research Working Paper 1301. Washington, D.C. the World Bank

Reimer, E. and Scherer, B. (1992)

An operational meteorological diagnostic system for regional air pollution analysis and long-term modelling. Air Poll.Modelling and its Applications IX. Plenum Press

Reimer, Eberhard et al (1997)

Analyse emissionsarmer Tage im Hinblick auf die Ozonbildungsrelevanz und Wetter-situation, Abschlussbericht zum Projekt AZ: Z-8802.3521/27 des Landesamtes für Umwelt und Geologie des Freistaates Sachsen.

Roemer, M. (2001)

Trends of ozone and precursors in Europe, TNO-report, Bd. R2001/244, Appeldoorn.

Romesburg, Charles H. (1984)

Cluster Analysis for Researchers, Lifetime learning Publications, Belmont.

Stern, R. und J. Flemming (2001)

Vorläufige Einschätzung der Luftqualität 1999 in Deutschland auf der Basis von Messungen und Modellrechnungen, Ergänzung der Ausgangsbeurteilung der Luftqualität 1999 nach Richtlinie 96/62/EG, Artikel, Zwischenbericht zum UBA-Forschungsvorhaben. FE-Vorhaben 299 43 246.

Stern, R. (2003a)

Modellierung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Belastung durch Ozon. Entwicklung und Anwendung des chemischen Transportmodells REM/CALGRID. Zusammenfassender Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252 des Umweltbundesamts.

Stern, R. (2003b)

Erstellung einer europaweiten Emissionsdatenbasis mit Bezugsjahr 1995 und die Erarbeitung von Emissionsszenarien für die großräumigen Ausbreitungsrechnungen mit REM/CALGRID. Abschlußbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252 des Umweltbundesamts „Modellierung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Belastung durch Ozon“.

Stockwell, W. R. (1995)

Effects of Turbulence on Gas-Phase Atmospheric Chemistry, Meteorology and Atmospheric Physics, Bd. 57, S. 159-171.

Taubenheim, J. (1969)

Statistische Auswertung meteorologischer und geophysikalischer Daten, Akademische Verlagsanstalt Geest und Portig, Leipzig.

Tilmes, Stefan (1999)

Verfahren zur Analyse von Messungen atmosphärischer Spurengase mit dem Ziel der Assimilation in Chemie-Transport-Modelle, Berichte des DWD, Band 207, Offenbach.

van Ulden, A. P. und Holtslag, A. A. M. (1985)

Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters for Diffusion Applications,, Journal of Climate and Applied Meteorology

Wilks, Daniel (1995)

Statistical Methods in Atmospheric Science, International Geophysical Series No 95.

6 Anhang

Erklärung der Tabellen

- UBA...UBA-Klassifikation
- ALL....Klassifikation für den Gesamtzeiraum
- 1999-2001....Klassifikation für die Jahre 1995-2001

Klassifikation für O₃, NO₂ und NO:

- B...Berg/Küste
- R...Land
- U1...Vorstadt
- U2...Stadt
- U3....belastete Stadt
- S...Straße
- S2....Straße, extrem

Klassifikation für SO₂ und PM₁₀:

- 1-5 Stufen der Belastung

Das Regime wird nur klassifiziert, wenn 85% der stündlichen Werte eines Jahres vorhanden sind.

Liste der Klassifikation nach dem O₃ – Regime

O ₃ - STATIO N	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BB001	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BB003	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BB006	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BB008	U	U2		U2	U2				
BB009		U1				U1	R	U1	U1
BB012	R	U1			U1			U1	U1
BB018	U	U2							
BB020	U	U1	U1	U2	R	R	R		
BB021	U	U1	U1	U1	U2	U1	U1	U1	U1
BB023	U	U1			U1				
BB024		U1	U2			U1	U1	U1	U1
BB026	U	U1	U1	U1	U1	U1	R	R	U1
BB028	U	R	R	U1		R	R	R	U1
BB029	U	U1	R		U1	R	R	U1	U1
BB030	U	U1	U1	U1	U1	U1	R	U1	U1
BB031	U	U2	U1	U2	U2	U2	U1	U2	U2
BB032	U	U1	U1	U1	U1	R	R	U1	U1
BB034	U	U1			U2				
BB035		U1	U1	U1					
BB036	U	U1			U1		R	R	
BB038	U	R	U1	U1		R		U1	U1
BB039	U	U1							

O3- STATIO N	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BB040	U	R				R	R	U1	U1
BB042	U	U1				U1	U1	U1	U1
BB043		U1				R	R	U1	U1
BB048		U1					U1	U1	U1
BB050		U1						U1	U1
BB051		U1						U1	U1
BB052		U2							U2
BE001		U2	U2	U2					
BE010	U	U3	S		U3	U3	U2	U3	U3
BE014	S	S	S	S	S	S	S	S	U3
BE027	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BE032	U	U2	U2	U2	U2	U1	U1	U2	U3
BE034	U	U3	S	U3	U3	U3	U2	U3	U3
BE037		B			B		B	B	R
BE044	U	U3	U3	U3	U3	U3		U3	S
BE051	U	U1	U1	U1	U1	U1		U1	U1
BE052		U1	U2	U2		U1	U1	U1	U2
BE056	U	U1	U2	U1	U1	U1	U1	R	U1
BE062	U	U1			U1	U1	U1	U1	U2
BW001	S	S	S	S	S	U3	U3	S	U3
BW002	S	U3	S	U3	U2	U2	U2	U3	U2
BW004	U	U2	U2	U3	U2	U2	U2	U2	U2
BW005	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3
BW006	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3
BW007	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U3	U3
BW008	U	U2	U3	U3	U2	U2	U2		
BW009	U	U2	U3	U2	U3	U2	U2	U3	U3
BW010	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BW011	S	U3	U3	S	S	U2	U3	S	U3
BW012	U	U2	U2	U3	U3	U2	U2		
BW013	S	U3	S	U3	U3	U2	U3	U3	U2
BW014	S	S	S	S	S	U3	S	U3	S
BW015	U	U3	U2	U3	U3	U2	U3	U3	U3
BW016	S	U3	U3	S	U3	U3	U3	U3	
BW019	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U3	U3
BW020	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U3	U2
BW021	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BW022	U	U2	U3	U2	U2	U2	U1	U2	U2
BW023	U	U1	U1	U2	U2	U1	U1	U2	U1
BW024	U	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U2	U2
BW025	S	S	S	S	S	S	S	S	S
BW026	S	S	S	S	S	S	S	S	S
BW027	U	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U2	U1
BW028	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
BW029	U	U2	U3	U3	U2	U1	U2	U2	U2
BW030	R	R	R	R	R	R	R	R	R
BW031	B	B	B	B	B	B	B	B	B
BW032	U	U2	U2		U3	U2	U2	U2	U2
BW033	S	U2	U3	S	U3	U2	U2		
BW034	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BW035	U	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U2	U2
BW036	S	U3	S	S	U3	U3	U3	U3	U3
BW037	R	R	R	R	R	B	R	R	R
BW038	U	U2	U2	U2	U3	U2	U2	U2	U2
BW039	U	U1	U1	U1	U2	U1	U1	U1	U1

O3- STATIO N	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BW040	U	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
BW041	U	U2	U2	U2	U3	U2	U2	U2	U2
BW042	S	U2	U3	U2	U3	U2	U2	U2	U2
BW044	U	U3	U3	U3	S	U2	U2	U3	U3
BW045	U	U2	U2	U3	U2	U1	U2		
BW046	U	U2	U1	U2	U2	U1	U1	U2	U2
BW047	S	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3	U3
BW048	U	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U2	U1
BW049	U	U2	U2	U3	U3	U1	U2		
BW050	U	U2	U2	U3	U3	U2	U2	U3	U2
BW052	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BW053	U	U2	U2	U2	U3	U2	U2	U2	U2
BW054	U	U1	U1	U2	U2	U1	U1	U2	U1
BW056	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BW057	U	U2	U3	U3	U3	U2	U2		
BW059	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BW060	U	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U2	U1
BW065	S	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U2	U2
BW072	U	U3	U3	S	U3	U2			
BW073	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BW076	U	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1	U1
BW081	U	U2	U2	U3	U2	U2	U2	U2	U2
BW083	U	U1	U1	U1	U1	R	U1		
BW084	U	U1	U2	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BW087	R	B	R	B	B	B	B	B	B
BW091		U2		U2					
BW093	U	U2			U3	U2			
BW094	U	U1			U1	U1	U1	U1	U1
BW095	U	U2			U2				
BW101	U	U1							
BW102		R					R	R	R
BW103		R						B	R
BW104		S						S	S
BW105		S						S	S
BY001	U	U3	U2	U3	S	U2	U3	U3	U3
BY002	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BY004	U	U2	U2	U3	U2	U2	U2	U2	U2
BY005	S	U3	S	S	U3	U3	U3	U3	U3
BY008	U	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U2	
BY013	U	U1	U1	U1	U2	U1	U1	U2	U1
BY017	U	U3	U3	S	U3	U3	U2	U3	U3
BY020	U	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
BY031	U	U1	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1
BY032	U	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U2
BY034	S	U3	S	U3	U3	U3	U3	S	U3
BY037	S	S	S	S	S	S	U3	S	S
BY039	U	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
BY047	U	U1		U1	U1	U1	U1	U1	U1
BY049	U	U1	U1	U1	U2	U1	U1	U1	U1
BY052	U	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3	U3
BY053	S	U3	S	S	U3	U3	U3	S	U3
BY061	S	S	S	S	S	S	S	U3	S
BY062	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U3
BY063	S	S	S	S	S	S	S	S	S
BY064	U	U3		U3	U3	U2	U3	U3	U3

O3- STATIO N	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BY068	S	S	S	S	S	S	S	S	U3
BY072	R	R	R	B	B	B	B	R	R
BY073		U2	U2						
BY075	U	U3		U3	S	U3	U2	U3	U2
BY077	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U3	U2
BY079	U	U1		U2	U1	U1	U1	U1	U1
BY081	U	U1	U1	U1	U1	R	U1	U1	U1
BY082	B	B	B	B	B	B	B	B	B
BY087		U2	U2						
BY088	U	U2	U3	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BY089	U	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U2	U2
BY091		U2	U2						
BY092	U	U1			U2	U1	U1		
HB001	U	U3	U3	U3	U3	S	U2	U2	U2
HB002	U	U3	U3	S	S	U3	U2	U3	U3
HB003	U	U3		U3	S	U3	U2	U3	S
HB004	U	U2	U3		U3	U2	U2		U2
HB005	U	U2	U2	U2		U1	U1	U1	U2
HE001	S	U3		U3	U3	U3	U2	U3	U3
HE002		U3	U3	U3					
HE003	S	S	S	S	S				
HE004	S	S	S	S	S				
HE005	S	S	S	S	S	S	U3	S	S
HE007	S	S	U3	U3	S				
HE008	S	S	S	S	S	S	U3	S	U3
HE009	S	U3	U3	U3	U3				
HE010	S	S	S	S	S	S	S	S	S
HE011	S	S	S	S	S	S	U3	U3	U3
HE012	S	U3		U3	U3				
HE014	S	U3	U3	U3	S	U2	U2	U3	U2
HE015	S	U3	U3	S	U3				
HE016	S	S	S	U3	S				
HE017	S	S	U3	U3	S	S	S	S	S
HE018	S	U3	U3	U3	S	S	U3	U3	U3
HE019	S	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3
HE020	S	S	S	S	S	S	S	S	S
HE021		S	S	U3					
HE022	S	U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
HE023	R	U1			U1	U1	U1	U1	R
HE024	R	R	R		R	R	R	R	R
HE025	R	R	R	R	U1	R	R	U1	U1
HE026	R	R	R	R	R	R	R	R	R
HE027	R	R	R	R	R	R	R	R	R
HE028	R	R	R	R	R	R	R	R	R
HE029	S	S	S	S	S	S	S	S	S
HE030	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	S	U3
HE031	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
HE032	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U2
HE033	U	U1	U1	U2	U1	U1	U1	U1	U1
HE034	U	U2	U1	U1	U2	U1	U2	U2	U1
HE035	S	S	U3	S	S				
HE042	U	U2		U3	U3	U2	U2	U3	U2
HE044		U2					U2	U3	U2
HE045		U2						U2	U2
HE046		R						R	R

O3- STATIO N	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HE048		U2							U3
HH005	U	U3	U3	U3	U2				
HH006		U2	U1	U2					
HH008	U	U3	U3	U3	U3	U2	U3		S
HH021	U	U2	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U2
HH022	U	U2	U2	U2	U2				
HH030	U	U3							
HH033		U3					U2	U2	U3
HH047		U2					U1	U2	U2
HH049		U2					U1	U1	U2
HH050		U2					U1	U2	U2
MV001	R	R	R	R	R	R	R	R	
MV002	U	U2	U3	U3	U1	U1	U1	U1	U2
MV003	U	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U3	U3
MV004	R	R		R	R	R	R	R	R
MV005	U	U2	U2	U2	U2	U2	U1	U1	U2
MV006	U	U1	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1
MV007	R	R	U1	U1	R	R	R	R	U1
MV012	R	R	U1	R	R	R	R	R	R
MV017		R				R	R	R	R
NI001		U2	U2						
NI008		U1	U1						
NI011	U	U1		U1	U1	U1	U1	U1	U1
NI014	R	U1	R	U1	U1				
NI015	U	U2	U2	U2	U2				
NI016	R	R	R	R	R	R	R	R	R
NI019	R	R	R	R	R	R	R	R	R
NI020	U	U1	U2	U1	U1	U1	U1	U1	U1
NI021	U	U2	U2	U2	U2				
NI028	U	U1	U1	U1	U1	R	U1	U1	U1
NI029	U	R	R	U1	R	R	R	U1	U1
NI031	R	R	R	R	R	R	R	R	R
NI036	U	U1	U1		U1	U1	U1	U1	U1
NI038	U	U2	U1	U2	U2	U2	U1	U2	U2
NI039	U	U1	U1	U1	U2	U1			
NI040	U	U2	U2	U2	U2	U1			
NI041	U	U1	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1
NI042	U	U2	U2	U2	U2	U1	U1	U2	U1
NI043	U	U1	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1
NI051	B	B	B	B	B	B	B	B	B
NI052	U	U2	U1	U2	U2	U2	U2	U2	U2
NI053	U	U1	U1	U2	U1	U1	U1	U1	U1
NI054	U	U2			U1	U1	U1	U2	U2
NI058		R				R	R	R	R
NI059		R					R	R	R
NI060		U1					R	R	U1
NI062		U1					U1	U1	U1
NI063		U1						U1	U1
NW004	S	S	S	S	S	S	S	S	S
NW008	S	U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
NW010	S	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3
NW013	S	S	S	S	S	S	U3	U3	U3
NW015	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW018	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U2
NW021	S	S	S	S	S	S	U3	S	U3

O3- STATIO N	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
NW028	S	U3	S	S	S	U3		U3	U3
NW029	U	U3	U3	S	S	U3	U3	U3	U3
NW030	U	U3	U3	U3	S	U2	U2	U2	U2
NW034	U	U3	U3	S	S	S	U3	S	U3
NW036	U	U3	U3	S	S	U3	U3	U3	U3
NW038	S	S	S	S	S	S	U3	S	U3
NW042	S	U3	U3	S	S	U3	U3	U3	U3
NW047	S	S	S	S	S	S	S	S	U3
NW049		S	S	S					
NW050	S	U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
NW051	U	U3				U3	U3	U3	U3
NW053	S	U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
NW054	S	S							
NW056		S	S	S					
NW058	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
NW059	S	S	S	S	S	S	S	S	S
NW062	S	U3	S	S	S	U3	U3	S	U3
NW063	R	R	R	U1	R	R	R	R	R
NW064	R	R	R	R	R	R	R	R	R
NW065	R	R	R	R	R	R	R	R	R
NW066	U	U2	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U2
NW067	U	U3	U3	U3	U3	U2		U3	U2
NW068	U	U2	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U2
NW071	U	U3	U3	S	S	U3	U3	S	U3
NW073	U	U3	U3	U3	U3				
NW074	U	U2	U2	U2	U2	U1		U2	U1
NW075	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
NW076	U	U2	U3	U3	U3				
NW079		S					S	S	S
NW080		U2					U2	U3	U2
NW081		U2					U2	U2	U2
NW093		U3						U3	U2
NW094		U1						U1	U1
NW095		U3						U3	U3
NW096		U3						U3	U3
RP001	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3
RP003	S	U3	U3	S	U3				
RP007	U	U3	S	U3	U3	U3	U2	U3	U3
RP008	S	S		U3	U3				
RP013	R	R	R	R	R		R	R	R
RP014	R	R	R	R	R	B	B	R	R
RP015	R	R	R	R	B		B	R	B
RP016	R	R	R	R	R		R	R	R
RP017	R	B	R	B	B	B	B	B	R
RP018	U	U3	U3	S	S	U3	U3	U3	U3
RP019	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U3	U2
RP020	S	S	S	S	S	S	S	S	S
RP021	S	U3	U3	U3	S	U3	U3	U3	U3
RP022	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U3	U3
RP023	U	U3	S	S	S		U3	S	U3
RP024	S	S	S	S	S	S	U3	S	S
RP025	U	U2	U2	U2	U2		U2	U2	U2
RP026	S	S	S	S	S				
RP027	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U3
RP028	R	R	R	R	R		R	R	R

O3- STATIO N	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
RP031		S	U3						
RP034	U	U1			U2	U1	U1	U1	U1
RP040		U1							U1
SH001	U	U1	R	U1	U1	R	R	U1	U1
SH005	U	U2	U1	U2	U2	U2	U1	U2	
SH006	R	R	R	R	R	R	R	R	R
SH007	U	U3	U3		U3	U3	U3		
SH008	R	R	R		R	R	R	R	R
SH010	S	U3	U3	U3	S	U3	U3		
SH011	R	R	R		U1	R	R	R	R
SH012	U	U1		U1	U1	R			
SH013	R	R	R		R	R	R	R	R
SH014	R	R	R		R	R	R	R	R
SH015	R	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
SH016	U	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
SH017	R	R			R	R	R	R	R
SH018	R	R			R	R	R	R	R
SH021		U1							U1
SL002	U	U2	U2	U3		U2	U1	U2	U1
SL003	U	U2	U2	U2	U3	U2	U1	U2	U1
SL008	U	U2	U1	U2	U2	U3	U2	U2	U2
SL009		U3	U2						
SL017	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	
SN001	U	U2		U2	U2	U1	U2	U2	U2
SN002	U	U2		U3	U2	U1	U2	U2	U2
SN004	U	U1	U2	U1	U1	U1	U1	U1	U1
SN005	U	U1	U1	U1	U2	U1	U1	U1	U1
SN006	U	U3			U3	U2	U3	U3	U2
SN011	U	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U2	U2
SN012	U	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U2	U1
SN014	U	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U2	U2
SN017	U	U1	U1			U1	U1	U1	U1
SN019	U	U2				U1	U2	U2	U2
SN020	U	U2	U3			U2	U2	U2	U2
SN024	U	U2	U2	U2	U2	U1	U1	U2	U2
SN025	S	S	S	S		U3	U3	U3	U3
SN028	U	U2		U2	U2	U2	U1		
SN034	U	U2			U2	U1	U2		
SN036	U	U2	U1	U3		U2	U2	U2	
SN038	U	U2			U2				
SN045	U	U1	U1		U1	U1	R	U1	U1
SN047	U	U3				U3	U2	U3	U2
SN048	U	U2		U2	U2	U1	U1	U1	
SN049	R	B	R		B	B	B	B	B
SN050	U	U1	U1	U1	U1	R	R	U1	U1
SN051	R	R	U1	U1	R	R	R	R	R
SN052	R	B	R	R	B	B	B	B	B
SN053	B	B		B		B	B	B	B
SN057	R	R		R	R	R	R	R	R
SN059	U	U1	U2	U1	U2	U1	U1	U1	U1
SN060	U	U3				U2	U2	U3	U3
SN061	S	S	S		S		S	S	S
SN074		B				B	B	B	B
SN075		U3					U3	U3	U3
SN076		R					R	R	R

O3- STATIO N	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TH026		R						R	R
TH027	R	B	R	R	B	B	B	B	B
TH031	U	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
TH032		U2						U2	U2
TH036	U	U2			U2	U2	U2	U2	U2
TH040	B	B	B	B	B	B	B	B	B
TH041	U	U2	U2	U3	U2	U2	U2	U2	U2
TH042	R	R		R	R	R	R	R	R
TH060		U2						U2	U2
TH061		R						R	U1
UB001	R	B	B	B	B	B	B	B	B
UB002	R	B	R	R	B	B			R
UB003	B	B	B	B	B	B	B	B	B
UB004	B	B	B	B	B	B	B	B	B
UB005	R	R	U1		U1	U1	R	R	R
UB006	R	R	R	R	R				
UB007	R	U1	U1	U1	U1	U1	R	U1	
UB009	R	U1		U1	U1				
UB012	R	R		U1					
UB013	R	U1	R		U2	U1	U1	U1	
UB016	U	U2		U2	U2	U1	U1	U2	U2
UB017	R	R				B	R	R	B
UB018	R	R		U1	R				
UB019	R	R	R	R	R				
UB020	R	R	R	R	R				
UB021	R	R		R	R	R			
UB022	R	R	U1	R	R	R			
UB023	R	R	R	U1	U1				
UB024	U	U1	U1	U1	U1				
UB026	R	R	R	R	R	R	R	R	R
UB027	R	R	R	U1	R				
UB028		R	R	R	R	R	R	R	R
UB029		B	R	B	B	B	B	B	B
UB030		R	U1	R	R	R	R	U1	U1
UB031	R	R	R	B	R	R	R	R	R
UB032	R	R	R	R	R	R	R	R	
UB033	R	U1	R	U1	U1	U1	U1		U1
UB034		B			B	B			B
UB035	R	R	R	R	R	R	R	R	R
UB036	U	U1		U1	U2	R			
UB038		U1					R	U1	U1
UB039		R					R	R	R
UB040		R						R	U1

NO2- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BW045	U	U2	U2	U3	U3	U2	U2		
BW046	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BW047	S	U1	U1	U2	U1	U1	U1	U1	U1
BW048	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BW049	U	U2	U2	U3	U2	U2	U2		
BW050	U	U2	U1	U2	U2	U2	U2	U2	U1
BW052	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U1
BW053	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BW054	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U1
BW056	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U1
BW057	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2		
BW059	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BW060	U	U1	U2	U2	U2	U2	U2	U1	U1
BW065	S	U2	S	U2	U2	U2	U2	U2	U1
BW072	U	U3	U3	S	U3	U3			
BW073	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U1
BW076	U	U1	U2	U2	U2	U1	U1	U1	U1
BW080		S2		S2	S2	S2	S2	S2	S2
BW081	U	U3	U3	U3	U3	S	U3	U3	U2
BW083	U	U2	U2	U3	U2	U2	U2		
BW084	U	U1	U2	U1	U2	U1	U1	U1	U1
BW087	R	R	R	R	R	R	R	R	R
BW090		U2							
BW091		R							
BW092		U3							
BW093	U	U3			U3	U3			
BW094	U	U1			U1	U1	U1	U1	U1
BW095	U	U2			U2				
BW096		S			S	S2	S	S	S
BW097		S2		S2	S2	S2	S2	S	S
BW098		S2		S2	S2	S2	S2	S2	S2
BW099		S2		S2	S2	S2	S2	S2	S2
BW100		S2			S	S2			
BW101	U	U3		U3					
BW102		U1					U1	U1	R
BW103		R						U1	R
BW104		S							S
BW105		S							S
BW106		U3						U3	U3
BY001	U	U3	U3	U3	S	U3	U3	U3	U3
BY002	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BY003		U3	U3	U3	U3	S	U3	U3	U3
BY004	U	U2	U2	U3	U1	U2	U1	U1	U1
BY005	S	U3	U3	S	U3	U3	U3	U3	U3
BY006		S2	S2	S2	S	S2	S2	S	S
BY007		U3	U3	S	U3	U3	U3	U3	U3
BY009		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
BY010		U3	S	U3	S	U3	U3	U3	U3
BY012		U2	U2	U2	U2	U3	U2	U2	
BY014		U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U2
BY015		U3	U3	S	U3	S	U3	U3	U3
BY017	U	U3	U3	U2	U3	U3	U3	U3	U2
BY020	U	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U2	U2
BY021		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
BY028		U2	U2	U2	U2	U3	U2	U1	U2

NO2- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BY031	U	U2	U2	U2	U3	U3	U2	U2	U2
BY032	U	U2	U3	U2	U3	U2	U2	U1	U2
BY033		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
BY034	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
BY037	S	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
BY038		S	S	S2	S	S2	S	S	S
BY039	U	U3	S	S	S	S	U3	U3	U3
BY040		S	S2	S2	S	S2	U3	U3	S
BY043		S	S	S	S	S	S	S	U3
BY045		S	U3	S	S	U3	U3	U3	S
BY047	U	U1				U1			
BY049	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	R
BY052	U	U3	U3	U3	S	U3	U3	U3	U3
BY053	S	S	S	S	S	S	S	S	S
BY055		U3	S	S	U3	U3	U3	U3	U3
BY056		U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
BY059		S	S	S	S	S	S	U3	S
BY061	S	U3	U3	U3	U3	S	U3	U3	U2
BY063	S	S	S	S2	S	S	S	S	S
BY067		U2						U2	U2
BY068	S	S	S	S	S	S	U3	U3	U3
BY069		U1	U2	U2	U2	U1	U1	U1	U1
BY072	R	R	R	R	R	R	R	R	R
BY075	U	U3	U3		U3	U3	U3	U3	U3
BY076		U3	S	S	S	S	U3	U3	U3
BY078		U3	S	S	U3	U3	U3	U2	U3
BY079	U	U1		U1	U1	R	U1	R	U1
BY081	U	R	R	R		R	R	R	
BY082	B	R	R	R		R	R	R	R
BY085		S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
BY088	U	U1	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1
BY089	U	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U2	U2
BY091		U1	U1						
BY092	U	R			R	R	R		
HB001	U	U2	U2	U3	U3	U2	U2	U1	U2
HB002	U	U2	U2	U2		U1	U1		U1
HB003	U	U3		U3	U3	U2	U2	U2	U3
HB004	U	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U2	U2
HB005	U	U2	U2	U3	U2	U2	U2	U2	U1
HB006		S2						S2	S2
HB007		S					S	S	S2
HE001	S	U3		U2	U3	U3	U3	U3	U3
HE002		U3	U2	U3					
HE003	S	S	S	S	S				
HE004	S	S	S	S	S				
HE005	S	S	S	S2	S	S	S	S	S
HE007	S	S	S	S	S				
HE008	S	S		S	S	S2	S	S	U3
HE009	S	S	S	S	S				
HE010	S	S	S	S	S	S	U3	S	U3
HE011	S	S	S	U3	S	S	S	S	S
HE012	S	U3	U2	U3	U3				
HE014	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
HE015	S	U3		U3	U3				
HE016	S	S	S	S	S				

NO2- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HE017	S	S	S	U3	S	S	S	U3	S
HE018	S	U3	S	S	U3	U3	U3	U3	U3
HE019	S	U3	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3
HE020	S	U3	U3	S	S	U3	U3	U3	U3
HE021		U3	U3	U3					
HE022	S	U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
HE023	R	R	U1	U1	R	R	R	R	R
HE024	R	R	R	R		R	R	R	R
HE025	R	U1	U1	U1	U1	U1	R	U1	R
HE026	R	R	R	R	R	R	R	R	R
HE027	R	R	R	R	R	R	R	R	R
HE028	R	R	U1	U1	R	R	R	R	R
HE029	S	S	S	S	S	S	U3	S	U3
HE030	S	U2	U2	U3	U2	U2	U3	U2	U2
HE031	S	U3	U3	U3	S	U3	U3	U3	U3
HE032	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U1
HE033	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
HE034	U	U1	U1	U1	U1	U1	U2	U1	U1
HE035	S	S	S	S	S	S	S		
HE036		S	S2	S2	S	S			
HE037		S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
HE040		S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
HE041		S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
HE042	U	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
HE044		U2					U2	U2	U3
HE045		U1						U1	U1
HE046		R						R	R
HE048		U1						U1	U1
HE049		S						S	S
HH002		U3	U3	U3	U3	U3			
HH005	U	U2	U2	U2	U2				
HH006		U2	U1	U2					
HH007		U3	U3	U3	U3	U3			
HH008	U	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U2
HH009		U3	U3	U3	U3	U3			
HH010		U2	U2						
HH014		U3	U3	U3	U3	U3			
HH015		U3	S	S	S	S	S	U3	U3
HH016		U3	U3	U2	U2	U3	U3	U3	U3
HH020		U2	U3	U2	U2	U2	U2		
HH021	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
HH022	U	U1	U1	U2	U1				
HH026		S		S2	S2	S	S	S	
HH030	U	U2							
HH033		U2					U2	U2	U2
HH035		S							
HH038		U1		U1					
HH040		S2		S2	S2				
HH041		S							
HH042		S			S				
HH043		U3			U3				
HH044		S			S	S			
HH045		S				S			
HH046		U2							
HH047		U1					U1	U1	U1

NO2- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HH048		S				S2	S		S
HH049		U1					U1	U1	U1
HH050		U1					U1	U1	U1
HH051		S					S	S	
HH052		S							
HH053		S							
HH054		U1						U1	U1
HH055		U1						U1	U1
HH056		S							
HH058		S						S	
MV001	R	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	
MV002	U	U2	U3	U3	U2	U2	U2	U2	U1
MV003	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U2
MV004	R	R			R	R	R		R
MV005	U	U3	U3	S	S	U3	U3	U3	U2
MV006	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U2
MV007	R	R	U1	U1	R	R	R	R	R
MV012	R	R	R		R	R	R	R	R
MV017		R				R	R	R	R
NI001		U3	U3	U3					
NI005		U3	U2						
NI008		U3	U3						U3
NI011	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
NI014	R	U1	U1	U1	U1				
NI015	U	U2	U2	U2	U2				
NI016	R	R	R	R	R	R	R	R	R
NI019	R	R	R	R	R		R	R	R
NI020	U	U1	U2	U1	U1	U1	U1	U1	U1
NI021	U	U2	U2	U2	U2				
NI022		U2	U2						
NI024		U1	U1						
NI025		U2	U2						
NI026		U1	U1	U1					
NI028	U	R	U1	U1	R	R	R	R	R
NI029	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
NI031	R	R	R	U1	R	R	R	R	R
NI036	U	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1	U1
NI038	U	U2	U2	U3	U2	U2		U2	U1
NI039	U	U2	U2	U2	U1				
NI040	U	U2	U2	U2	U2				
NI041	U	U1	U1		U1	U1	U1	U1	R
NI042	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
NI043	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
NI048		S2							S2
NI049		U3	U3						
NI051	B	R	R	R	R	R		R	R
NI052	U	U1		U1	U1	U1	U1	U1	R
NI053	U	U1	U2	U2		U1	U1	U1	U1
NI054	U	U2			U2	U2	U2	U2	U2
NI056		U3		U3					
NI058		R				R	R	R	R
NI059		R					R	R	R
NI060		R					U1	R	R
NI062		U1					U1	U1	U1
NI063		R						R	R

NO2- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
NW001		U2	U2	U2	U2	U2		U2	U1
NW002		U2	U2	U3	U2	U2		U2	U2
NW003		U2							
NW004	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW005		U2	U2						
NW006		U3	U3	U3	U3	U3		U2	U2
NW007		U3	U3	U3					
NW008	S	U3	U3		U3	U3		U2	U2
NW009		U2	U2	U2					
NW010	S	U2	U2	U2	U2	U2			U2
NW011		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U2
NW012		U2	U3		U3	U2		U2	U2
NW013	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U2
NW015	S	U2			U3	U3	U2	U2	U2
NW017		U2							
NW018	U	U2	U3		U2	U3	U2	U2	U2
NW019		U3	U3	U3					
NW020		U3	U3	U3					
NW021	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW022		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW023		U3	U3		U3	U3		U2	U2
NW024		U3	S	U3	U3	U3		U3	U3
NW025		U3	U3	U3					
NW026		U3		U3					
NW027		U3		U3					
NW028	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW029	U	U2	U3	U3	U2	U2			U2
NW030	U	U2			U2	U2			U1
NW031		U2	U2	U2					
NW032		U2	U2	U2					
NW033		U3	U3	U3					
NW034	U	U3	U3	U3		U3	U3	U3	U3
NW035		U3	U3	U3					
NW036	U	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U2	
NW037		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW038	S	U3	S	U3	S	U3	U3	U3	U3
NW039		U3		U3	U3	U2		U2	U2
NW040		U3	U3	U3		U3		U2	U2
NW041		U3	U3						
NW042	S	U3	U3		U3	U3	U2	U2	U2
NW043		S			S	S		S	S
NW044		U3	U3						
NW045		U3	U3	U3	U3				
NW046		U3		U3					
NW047	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U2	
NW048		U3		S	S	U3	U3	U3	U3
NW049		S		S					
NW050	S	U3	U3		U3	U3	U3	U3	U3
NW051	U	U3		U3	U3	U3	U3	U2	U3
NW052		U2	U2	U2					
NW053	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW054	S	S	S	S	S				
NW055		U3	U3	U3					
NW056		U3	U3	U3					
NW057		U3	U3						

NO2- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
RP033		U3		U3					
RP035		U3				U3	U3	U3	U3
RP036		S				S	S	U3	S
SH001	U	U1		U2	U1	U1	U1		
SH005	U	U2		U2	U2	U2	U2	U2	
SH006	R	U1		U1	U1	U1	U1		
SH007	U	S		S	S	S	U3		
SH008	R	U1		U1	R	R	U1	U1	R
SH010	S	S		S	S	S	S	S	S
SH011	R	U1		U1	U1	U1	U1	U1	U1
SH016	U	U2		U2	U2	U2	U2		U1
SH019		S			S2	S	S	S	U3
SH021		U1							U1
SL003	U	U1	U1		U2		U2	U1	U1
SL004		U2	U2	U2	U2			U1	
SL008	U	R	U1		U1		R	R	R
SL010		U2					U3	U2	U2
SL012		S			S		U3	U3	U2
SL013		U2					U2	U2	U1
SL015		U2					U2	U1	
SL016		U3	U3	U3					
SL017	U	U2			U2		U2	U2	U1
SN001	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U2
SN002	U	U3		S	U3	U3	U3	U3	U2
SN004	U	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
SN005	U	U2	U2	U2	U2	U2	U1	U1	U1
SN006	U	U3	U3	S	S	U3	U3	U3	U3
SN011	U	U3	U3	U3	U2	U3	U3		U2
SN012	U	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
SN014	U	U3			U3	U3	U3	U3	U2
SN017	U	U3	U3	S	U3	U3	U3	U3	U2
SN019	U	U3	U2	U2	U3	U3	U2	U2	U3
SN020	U	U3	S			U3	U3	U3	U2
SN024	U	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1	U1
SN025	S	S		S	S	S	S	S	S
SN028	U	U2		U3	U3	U2	U2		
SN034	U	U3		U3	U3	U2	U2		
SN036	U	U2		U2		U2	U2	U2	
SN038	U	U2			U2				
SN045	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
SN047	U	U3		S	S	S	U3	U3	U3
SN048	U	U3		U3	U3	U2	U2	U2	
SN050	U	U1	U2	U2	U1	U1	U1	U1	U1
SN051	R	U1				U1	U1	U1	U1
SN052	R	R		R		R	R	R	R
SN057	R	R	U1	U1	R	R	R	R	R
SN059	U	U2	U2	U2	U2	U2	U1	U1	U1
SN060	U	S	S	S		S	U3	U3	U3
SN061	S	S	S2		S	S	S	S	S
SN074		R				R	R	R	R
SN075		U3					U3	U3	U3
SN076		R					R	R	R
ST001		U2	U2						
ST002	U	U1			U1		U1	U1	U1
ST005	U	U2	U2		U2	U2	U2	U1	

NO2- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ST006		U1	U1		U2	U1	U1		U1
ST007		U1	U1						
ST009		U1	U1						
ST011	R	U1	U1		U1	U1	U1		U1
ST014		U1	U2		U1	U1	U1	U1	U1
ST015	U	U1	U1		U1	U1	U1	U1	U1
ST016		U1			U1	U1			
ST017		U1	U1						
ST018		U1	U1						
ST022	U	U2			U2	U1	U2	U1	
ST023		U2	U2						
ST025	U	U1	U1		U2	U1	U1		
ST027		U1	U1						
ST028	U	U1	U1		U1	U1	U1	U1	U1
ST029	U	U2	U2		U3	U3	U2	U3	U1
ST030	U	U1	U1		U1	U1	U1	U1	R
ST031	U	U1	U1		U1	U1	U1	U1	
ST032	U	U1	U1		U1	U1			
ST033	U	U1	U1		U1	U1			
ST034	U	U1	U1		U1	R			
ST036	U	U1	U1		U1				
ST039	B	R				R	R	R	R
ST042	U	U1			U1	U1			
ST044	U	U1			U1	U1	R	R	U1
ST050	U	U1			U2	U1	U1	U1	U1
ST052	U	U1			U1	U1	U1	U1	U1
ST057	U	U1			U2	U1	U1	U1	U1
ST061	U	U1			U1	U1	U1	U1	
ST063	U	U1			U2	U1	U1	U1	U1
ST066	U	U1				U1	U1	U1	R
ST067		U1	U1				U1		
ST068	U	R	R		U1	R	R	R	U1
ST069	U	R	R		R	U1	R	R	R
ST070	R	R	R		R	R	R	R	R
ST071	U	U1	U1		U1	U1	U1		
ST072	U	U1			U1	U1	U1	U1	U1
ST073	S	U3			U3	U3	U3		
ST075		U3	S		S	U3	U3	U3	U3
ST076	S	S	U3		S		S	U3	S
ST078		U1	U1		U2		U1	U1	U1
ST079		U1	U1						
ST080		U1			U2		U1	U1	U1
ST081		U3			S		U3		U2
ST082	R	R			R				
ST089		R					R	R	R
ST090		U1						U1	U1
TH002		U3	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U3
TH005	U	U1		U2	U2	U2	U1	U1	U1
TH007		U1						U1	U1
TH008		S			S	S	U3	U3	
TH009	U	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U1	U2
TH011		U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U1
TH013	U	U1	U2	U3	U2	U2	U1	U1	U1
TH016	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
TH017		U1			U2	U2	U1	U1	U1

NO2- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TH018	U	U2	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2
TH019		U1						U1	U1
TH020	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U2
TH021	U	U2			U2	U2	U2	U2	U1
TH024	R	U1	U2	U2	U2	U1	U1	U1	
TH025	U	U1						U1	U1
TH026		R						R	R
TH027	R	R						R	R
TH029		U1			U1	U1			
TH030		U1			U1	U1	U1	U1	
TH031	U	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U2
TH032		U2		U3	U3	U3	U2	U2	U2
TH036	U	U1	U2	U2	U2	U1	U1	U1	U1
TH037		U2						U2	U1
TH039		S	S	S2	S	S	U3	U3	U3
TH040	B	R		R	R	R	R	R	R
TH041	U	U2			U2	U1	U2	U2	U1
TH042	R	R		R	R	R	R	R	R
TH043		S2				S2	S2	S	S
TH060		U1						U1	U1
TH061		R						R	R
UB001	R	R					R	R	
UB002	R	R	R		R	R	R	R	R
UB003	B	R		R		R	R	R	
UB004	B	R		R		R		R	
UB005	R	R	R			R	R	R	R
UB006	R	R		U1	R				
UB007	R	R			R				
UB009	R	U1		U1	U2				
UB012	R	U1				R			
UB013	R	U1		U1	U1	R		R	
UB016	U	U1	U1		U3	U2		U1	
UB017	R	R				R		R	R
UB018	R	U1		U1	U1	R			
UB019	R	R		R	U1	R			
UB020	R	U1	R	U1	U1				
UB021	R	R	U1			R			
UB022	R	R		U1					
UB023	R	R	R	R	R				
UB024	U	U1		U1	U1				
UB026	R	R	R		R	R	R	R	R
UB027	R	R	R	U1	R				
UB028		R	R	R		R	R	R	R
UB029		R	R			R	R	R	R
UB030		R	R	R		R	R	R	R
UB031	R	R	R			R	R		R
UB032	R	R		R	R	R			R
UB033	R	R	R	R	R	R	R		R
UB034		R		R	R	R			
UB035	R	R					R	R	R
UB036	U	R							
UB038		R					R	R	R
UB039		R					R	R	R
UB040		R							R

Liste der Klassifikation nach dem NO – Regime

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BB001	U	R			R		R	U1	R
BB003	U	U2	U3		U2	U2	U2	U1	
BB006	U	U1	U1	U2	U1	U1	U1	U1	R
BB008	U	U3			U3	U3	U3		
BB009		U1				U1	U1	U1	U1
BB010		U1	U2	U2		U1	U1		
BB012	R	U1				U2	U2	U1	U1
BB016		U2			U2				
BB018	U	S			S	S	S	U3	
BB020	U	U1							
BB021	U	U1				U1	U1		U1
BB024		U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BB026	U	U1		U1	U1	U1		R	R
BB028	U	U1	U1	U1		U1	R		U1
BB029	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BB030	U	U1			U1	R	R	R	R
BB031	U	U2	U2	U2	U2	U2	U1	U1	U1
BB032	U	U1		U1	U1	U1	R	U1	R
BB034	U	U2							
BB036	U	U1					U1	U1	R
BB037		U1			U1	U1			
BB038	U	R					R	R	R
BB039	U	U1							
BB040	U	U1					U1	U1	U1
BB042	U	U1				U1	U1		R
BB043		R				R	U1	R	R
BB044		S2						S2	S2
BB045		S2						S2	S2
BB046		S2							
BB047		S2							
BB048		U1					U1	U1	U1
BB049		U3					S	U3	U3
BB050		U1						R	U1
BB051		R						R	R
BE001		U1	U1						
BE005		U2	U2	U2	U2	U2		U1	U1
BE008		U3	U3						
BE009		U2	U2						
BE010	U	U2	U1	U2	U2	U2		U2	U2
BE011		U1		U2	U1	U1	U1	U1	U1
BE014	S	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
BE015		U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
BE017		U1	U1						
BE018		U2	U2	U2	U2	U2	U1	U2	U1
BE023		U2	U2						
BE026		U1				U2	U1	U1	U1
BE027	U	R	U1	U1	U1	R	R	R	R
BE032	U	R			R	R	R	R	R
BE034	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
BE037		R	R	R	R	R	R	R	R
BE044	U	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U2

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BY031	U	U2	U2	U2		U2	U2	U2	U2
BY032	U	U2	U2	U2		U2	U2	U2	U2
BY033		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
BY034	S	U3	U3	U3		U3	U3	U3	U3
BY037	S	S2	S2	S2		S2	S2	S2	S2
BY038		S2	S2			S2	S2	S2	S
BY039	U	U3	U3	U3		U3	U3	U3	U3
BY040		S2	S2	S2		S2	S2	S2	S2
BY043		U3	S	S		U3	U3	U3	U3
BY045		U3	U3	U3		U3	U3	U3	U3
BY047	U	U1			U2	U1			
BY049	U	R	R	R	R	R	R	R	R
BY052	U	U3	U3	U3		U3	U3	U3	U2
BY053	S	S	U3	U3		U3	S	S	S
BY055		U3	S	U3		U3	U3	U3	U3
BY056		S	S	S		S	S	S	S
BY059		S	S	S		S	S	S	S
BY061	S	U3	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3
BY063	S	S	S	S	S	S	S2	S	S
BY067		U2						U3	U2
BY068	S	S	S	S		S	S	S	S
BY069		U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
BY072	R	R	R	R	R	R	R	R	R
BY075	U	U3	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3
BY076		U3	S	S		U3	U3	U3	U3
BY077	U	S		S					
BY078		S	S			S	S	S	S
BY079	U	R		R	R	R	R	R	R
BY081	U	R	R	R		R	R	R	
BY082	B	R	R	R		R	R	R	R
BY085		S2	S2			S2	S2	S2	S2
BY088	U	U1	U1		U1	U1	U1	U1	U1
BY089	U	U1	U1			U1	U1	U1	U1
BY091		U1	U1						
BY092	U	R				R	R		
HB001	U	U2	U2		U2	U2	U1	U2	U2
HB002	U	U1	U1			U1	U1		U1
HB003	U	U2			U2	U2	U2	U2	U2
HB004	U	U2	U2		U2	U2	U1	U1	U1
HB005	U	U1	U2		U1	U1	U1	U1	U2
HB006		S2						S2	S2
HB007		S2					S2	S2	S2
HE001	S	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
HE002		U2	U2	U2					
HE003	S	U3	U3	U3	U3				
HE004	S	S	S	S	S				
HE005	S	S	S	S	S	S	S	S	U3
HE007	S	U3	U3	U3	U3				
HE008	S	S	S	S	S	S	S	S	S
HE009	S	U3	U2	U2	U3				
HE010	S	S	S	S	S	S	S	S	S
HE011	S	S	S	S	S	S	S	S	S
HE012	S	U2	U2	U3	U2				
HE014	S	U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
HE015	S	U2	U2	U2	U2				

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HE016	S	U3	U3	U3	U3				
HE017	S	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
HE018	S	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3
HE019	S	U2	U3	U2	U2	U2	U2	U2	U2
HE020	S	S	S	S	S	S	U3	S	S
HE021		U3	U3	U3					
HE022	S	U3	U3	U3	U3	U3	U2	U3	U3
HE023	R	U1	U1		U1	U1	R	R	R
HE024	R	U1		U1	U1	U1	R	R	R
HE025	R	U1	U1	U1	U1	U1	R	R	R
HE026	R	U1	R	U1	U1	U1	R	R	R
HE027	R	U1	R	U1	U1	U1	R	R	R
HE028	R	U1	U1	U1	U1	U1	R	R	R
HE029	S	S	S	S	S	S	S	S	S
HE030	S	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
HE031	S	S	S	S	S	S	S	S	S
HE032	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U1
HE033	U	U1		U1	U1	U1	R	R	R
HE034	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
HE035	S	S2	S2	S2	S2	S2	S2		
HE036		S2	S2	S2	S2	S			
HE037		S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
HE040		S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
HE041		S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
HE042	U	U2		U2	U2	U1	U1	U2	U1
HE044		U2					U2	U3	U2
HE045		U1						U2	U1
HE046		R						R	R
HE048		U1						U1	U1
HE049		S2						S2	S2
HH002		U2	U2	U2		U2			
HH005	U	U2	U2	U2					
HH006		U1	U1	U1					
HH007		S	S	U3		U3			
HH008	U	U2	U2	U2		U2	U2	U1	U1
HH009		U2	U3	U2		U2			
HH010		U2	U2						
HH014		U3	U3	U3		U3			
HH015		S	S	S		S	U3	U3	S
HH016		U2	U2	U2		U2	U2	U2	U2
HH020		U2	U2	U2		U2	U1		
HH021	U	R	R	U1		R	R	R	R
HH022	U	U1	U1	U1					
HH026		S2		S2		S2	S2	S2	
HH033		U1					U1	U1	U1
HH035		S2							
HH038		U1		U1					
HH040		S2		S2					
HH044		S2				S2			
HH045		S2				S2			
HH047		R					R	R	R
HH048		S2				S2	S2		S2
HH049		R					R	R	R
HH050		R					R	R	R
HH051		S2					S2	S2	

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HH052		S2							
HH053		S2							
HH054		U1						U1	U1
HH055		U1						U1	U1
HH056		S2							
HH058		S2						S2	
MV001	R	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	
MV002	U	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
MV003	U	U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
MV004	R	R			R	R	R		R
MV005	U	U3	S	S	S	U3	U3	U3	U3
MV006	U	U3	S	S	U3	S	U3	U3	U3
MV007	R	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
MV012	R	R	R		R	R	R	R	R
MV017		R				R	R	R	R
NI001		U1	U1	U1					
NI005		U2							
NI008		S	U2						S2
NI011	U	R	R	R	R	R	R	R	R
NI014	R	R	R	R	R				
NI015	U	U2	U1	U2	U2				
NI016	R	R	R	R	R	R	R	R	R
NI019	R	R	R	R	R		R	R	R
NI020	U	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
NI021	U	U2	U2	U2	U2				
NI022		U1	U1						
NI024		R	R						
NI025		U2	U2						
NI026		R	R	R					
NI028	U	R	R	R	R	R	R	R	R
NI029	U	R	R	R	R	R	R	R	R
NI031	R	R	R	R	R		R	R	R
NI036	U	U1	U1			U1	U1	U1	R
NI038	U	R	U1	U1	U1	U1		R	R
NI039	U	U1	U1	U1	U1				
NI040	U	U2	U2	U2	U2				
NI041	U	R			R	R	R	R	R
NI042	U	R	R	R	R	R	R	R	R
NI043	U	R	R	R	R	R	R	R	R
NI048		S2							S2
NI049		S	S						
NI051	B	R	R	R	R	R		R	R
NI052	U	R		R	R	R	R	R	R
NI053	U	R	R	R		R	R	R	R
NI054	U	U1				U1	U1	U2	U1
NI056		U2		U2					
NI058		R				R	R	R	R
NI059		R					R	R	R
NI060		R					R	R	R
NI062		U1					U1	U1	R
NI063		R						R	R
NW001		U1		U2	U2	U1	U1	U1	U1
NW002		U2		U2	U2	U2		U1	U1
NW004	S	U2		U2	U2	U2	U2	U3	U3
NW005		U2		U2					

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
NW006		U2		U3	U3	U2	U2	U2	U2
NW007		U2		U2					
NW008	S	U2			U3	U2		U2	U2
NW009		U2		U2					
NW010	S	U2		U2	U2	U2		U1	U2
NW011		U3		U3	U3	U3	U3	U2	U2
NW012		U2		U2	U2	U2		U2	U2
NW013	S	U3		U3	U3	U3	U3	U3	U2
NW015	S	U2			U2	U2	U2	U2	U2
NW018	U	U2		U2	U2	U2	U1	U1	U1
NW019		U2		U2					
NW020		U2		U2					
NW021	S	U2		U2	U3	U2	U2	U2	U2
NW022		U2		U3	U3	U2	U2	U2	U2
NW023		U2		U2	U2	U2		U1	U1
NW024		U2		U3	U3	U2		U2	U2
NW025		U2		U2					
NW026		U2		U2					
NW027		U2		U2					
NW028	S	U2		U3	U2	U2	U2	U2	U2
NW029	U	U2		U2	U2	U2		U2	U2
NW030	U	U1		U1	U2	U1	U1	U1	U1
NW031		U1		U1					
NW032		U2		U2					
NW033		U2		U2					
NW034	U	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
NW035		U2		U2					
NW036	U	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U1
NW037		U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
NW038	S	U2		U3	U3	U2	U2	U2	U2
NW039		U2		U2	U2	U2		U2	U2
NW040		U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
NW041		U2		U2					
NW042	S	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
NW043		S		S2	S	S	S	S	S
NW044		U3		U3					
NW045		U2		U2	U2				
NW046		U2		U2					
NW047	S	U2		U3	U3	U2	U2	U2	
NW048		U3		S	S	U3	U3	U3	U3
NW049		U3		U3					
NW050	S	U2		U3	U3	U2	U2	U2	U2
NW051	U	U2		U2	U3	U2	U2	U2	U2
NW052		U2		U2					
NW053	S	U2		U2	U3	U2	U2	U2	U2
NW054	S	S		S	S				
NW055		U2		U2					
NW056		U3		U3					
NW058	U	U2		U2	U2	U2	U1	U1	U1
NW059	S	U3		U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW060		U2		U3	U3	U2	U2	U2	U2
NW062	S	U3		U3	U3	U3	U3	U3	U3
NW063	R	U1		U1	U1	U1	U1		U1
NW064	R	U1		U1	U1	U1	U1	U1	U1
NW065	R	U1		U1	U1	U1		U1	U1

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
NW066	U	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
NW067	U	U2		U3	U3	U2	U2	U2	U2
NW068	U	U1		U1	U1	U1		U1	U1
NW069		U2		U2					
NW071	U	U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2
NW072		S2		S2	S2	S2	S2	S2	S2
NW073	U	U2		U2	U2				
NW077		S2			S2	S2	S	S2	S
NW078		U2						U2	U2
NW079		U3					U2	U3	U3
NW080		U2					U2	U2	U1
NW081		U1					U1	U1	U1
NW094		U1						U1	U1
NW095		U2						U2	U2
NW096		U2						U2	U2
NW097		S2							
RP001	U	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
RP002		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
RP003	S	S	S	S	S	S	U3	U3	U3
RP006		S		S	S	U3	U3		
RP007	U	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U1
RP008	S	U2	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
RP009		S	S	S	S	S	S	S	S
RP010		S2		S2	S2	S2	S2	S2	S2
RP011		S		S2	S	S	S	S	S
RP012		S			S2	S	S	S	S
RP013	R	R	R	R	R	R	R	R	R
RP014	R	R	R	R	R	R	R	R	R
RP015	R	R	R	R	R	R	R	R	R
RP016	R	R	R	R	R	R	R	R	R
RP017	R	R	R	R	R	R	R	R	R
RP018	U	U3	S	S	S	S	U3	U3	U3
RP019	U	U2	U3	U2	U3	U2	U2	U2	U2
RP020	S	S		S	S	S	S	S	S
RP021	S	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U2
RP022	U	S	S	S	S	U3	U3	U3	U3
RP023	U	U3	U3	S	U3	U3	U3	U3	U3
RP024	S	S	S2	S	S	S	S	S	U3
RP025	U	U2	U1	U1	U2	U2	U1	U2	U1
RP026	S	S	S	S2	S	S	S	S	S
RP027	U	S	S		S	S	U3	U3	U3
RP028	R	R	R	R	R	R	R	R	R
RP029		S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2	S2
RP030		S2	S2	S2	S2				
RP031		S2	S2		S2	S2	S2	S	S
RP032		S	S	S	S	S	S	S	S
RP033		U3		U3					
RP035		U3				S	U3	U3	U3
RP036		S				S	S	S	S
SH001	U	R		R	R	R	R		
SH005	U	U1		U1	U1	U1	U1	U1	
SH006	R	R		R	R	R	R		
SH007	U	U3		U3	U3	U3	U3		
SH008	R	R		R	R	R	R	R	R
SH010	S	S		S	S	S	S	S	U3

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
SH011	R	R		R	R	R	R	R	R
SH016	U	U1		U1	U1	U1	U1		U1
SH019		S2			S2	S2		S	S
SH021		U1							U1
SL003	U	U1	U1				U1	U1	R
SL004		U1	U1					U2	
SL008	U	R	R	R			R	R	R
SL010		U3					U3	U3	U3
SL012		U3					U3	U3	U3
SL013		U1					U1	U2	U1
SL015		U2					U2	U1	
SL016		U3	U3	U2					
SL017	U	U2					U2	U2	U1
SN001	U	U3		S	S		U3	U3	U3
SN002	U	U3		U3	U3		U3	S	U3
SN004	U	U3	U3	U3	U3		U2	U2	U2
SN005	U	U1	U1	U1	U1		U1	U1	U1
SN006	U	S	S	S	S		S	S2	S
SN011	U	U2	U2	U2	U2		U2		U2
SN012	U	U2		U2	U2		U2	U2	U2
SN014	U	U2			U2		U2	U2	U2
SN017	U	U3	U3	S	U3		U3	U3	U3
SN019	U	U3	U2	U3	U2		U2	U2	S
SN020	U	S	S				S	S	S
SN024	U	U2	U2	U2	U2		U2	U2	U2
SN025	S	S		S	S2		S2	S2	S2
SN028	U	U1		U1	U2		U1		
SN034	U	U3		U3	U3		U3		
SN036	U	U1		U1			U1	U1	
SN038	U	U2			U2				
SN045	U	R	R	U1	U1		R	R	R
SN047	U	U3		S	U3		U3	U3	U3
SN048	U	U3		U3	U3		U3	U3	
SN050	U	R	U1	U1	U1		R	R	R
SN051	R	R					R	R	R
SN052	R	R		R			R	R	R
SN057	R	R	R	R	R		R	R	R
SN059	U	U1	U1	U1	U1		U1	U1	R
SN060	U	S	S	S			S	S	S
SN061	S	S	S		S		S	S	S
SN074		R					R	R	R
SN075		S					S	S	S
SN076		R					R	R	R
ST001		U2	U2						
ST002	U	R	U1		U1		R	R	R
ST005	U	U2	U2		U2		U1	U1	
ST006		U1	U1		U2		U2		U1
ST007		U2	U2						
ST009		U1	U1						
ST011	R	U1	U1		U2		U1		U1
ST014		U1	U1		U1		U1	U1	R
ST015	U	U1	U1		U1		R	R	R
ST016		U1			U1				
ST017		U1	U1						
ST018		U1	U1						

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ST022	U	U1	U1		U1		U1	U1	
ST023		U1	U1						
ST025	U	U1	U1		U1		R		
ST027		U1	U1						
ST028	U	R	U1		U1		R	R	R
ST029	U	S	S		S		S	S	U3
ST030	U	R	R		U1		R	R	R
ST031	U	R	U1		R			R	
ST032	U	U1			U1		R		
ST033	U	U1	U1		U1				
ST034	U	R	R		R				
ST036	U	U1	U1		U1				
ST039	B	R					R	R	R
ST042	U	U1			U1				
ST044	U	U1			U1		U1	R	R
ST050	U	U1			U1		U1	R	R
ST052	U	U1			U1		U1	R	U1
ST057	U	U1			U2		U1	U1	U1
ST061	U	U1			U2		U1	U1	
ST063	U	U2			U2		U2	U2	U2
ST066	U	R			U1		R	R	R
ST067		U1	U2				U1		
ST068	U	R	U1		U1		R	R	R
ST069	U	R	R		R		R	R	R
ST070	R	R	R		R		R	R	R
ST071	U	U1	U1		U1		U1		
ST072	U	U1			U1		R	R	R
ST073	S	S			S2		S		
ST075		S	S2		S2		S2	S	S
ST076	S	S2	S2		S2		S2	S2	S2
ST078		U1	U1		U1		U1	U1	U1
ST080		U1			U1		U1	U1	U1
ST081		S2			S2		S		S
ST082	R	R			R				
ST089		R					R	R	R
ST090		R						R	R
TH002		U3		U3	S		U3	U2	U2
TH005	U	U2		U2	U2		U1	U1	U1
TH007		U2						U2	U1
TH008		S			S		S	S	
TH009	U	U3		U3	S		U2	U2	U2
TH011		U2		U3	U2		U3	U2	U2
TH013	U	U2		U2	U2		U1	U2	U1
TH016	U	U2		U2	U2		U1	U2	U1
TH017		U2			U2		U2	U2	U1
TH018	U	U2		U3	U2		U2	U2	U2
TH019		U1						U1	U1
TH020	U	U2		U3	U3		U2	U2	U2
TH021	U	U2			U3		U2	U2	U2
TH024	R	U1		U2	U1		U1	U1	
TH025	U	U1						U2	U1
TH026		U1						U1	U1
TH027	R	U1						U1	U1
TH029		U2			U2				
TH030		U1			U2		U1	U1	

NO- STA- TION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TH031	U	S		S	S		U3	S	S
TH032		U3		U3	U3		U2	U3	U2
TH036	U	U2		U2	U2		U2	U2	U1
TH037		U2						U2	U2
TH039		S		S	S		S	S	S
TH040	B	U1		U1	U1		U1	U1	U1
TH041	U	U2			U2		U2	U2	U1
TH042	R	U1		U1	U1		U1	U1	U1
TH043		S2					S2	S2	S2
TH060		U2						U2	U2
TH061		U1						U2	U1
UB001	R	R					R	R	
UB002	R	R	R		R		R	R	R
UB003	B	R		R			R	R	
UB004	B	R		R				R	
UB005	R	R	R				R	R	R
UB006	R	R		R	U1				
UB007	R	R			R				
UB009	R	U1		U1	R				
UB012	R	R							
UB013	R	R		R	R			R	
UB016	U	R			U1			R	
UB017	R	R						R	R
UB018	R	R		R	R				
UB019	R	R		R	R				
UB020	R	R	R	R	R				
UB021	R	U1	U1						
UB022	R	R		R					
UB023	R	R	R	R	R				
UB024	U	U1		R	R				
UB026	R	R	R	R	R		R	R	R
UB027	R	R	R	R	R				
UB028		R	R	R			R	R	R
UB029		R	R				R	R	R
UB030		R	R	R	R		R	R	R
UB031	R	R	R				R		R
UB032	R	R		R	R				R
UB033	R	R	R	R	R		R		R
UB034		R		R	R				
UB035	R	R					R	R	R
UB036	U	R							
UB038		R					R	R	R
UB039		R					R	R	R
UB040		R							R

Liste der Klassifikation nach dem SO₂-Regime

SO₂-STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BB001	U	2			3	2	2	2	2
BB003	U	4	4						
BB006	U	4	5	5	4	3	3	3	2
BB007		3			3				
BB008	U	4			4				
BB009		3			3	3	3	3	2
BB010		4	5	5	4	4	3		
BB012	R	2			3		3	2	2
BB014		3	3	2					
BB017		3			4				
BB018	U	3			3				
BB020	U	4							
BB021	U	3		4	3	2	2	2	2
BB024		4	5	4	4			3	3
BB026	U	4	5	5	4	4	3	3	2
BB028	U	2		4		2	2	2	2
BB029	U	3		3	3	3		2	2
BB030	U	2	4		3	3	2	2	2
BB031	U	3			3	3	2	2	2
BB032	U	3		4	4	3	3	3	2
BB034	U	3			3				
BB036	U	2			2	2	3	2	2
BB037		3			3				
BB038	U	3			3				
BB041		3				3			
BB042	U	2					2		2
BB043		2				2	2	2	2
BB051		2						2	2
BE001		4	4						
BE005		3	5	4	3	3	3	3	1
BE007		4	4						
BE008		4	4						
BE009		4	4						
BE010	U	3	5	4	4	3	3	3	2
BE011		3		4	3	3		3	2
BE012		4	4						
BE014	S	4	5	5	5	4	4	3	3
BE015		3	5	4	4	3	3	3	2
BE017		4	5						
BE018		4	5	5		4	4	4	3
BE023		5	5						
BE025		4	4						
BE026		3	4	4	3	3		2	1
BE027	U	3	4	4	3	2	1	2	1
BE032	U	1			2	1	1	1	1
BE034	U	4	5	5	4	4	4	3	2
BE037		2	3	3	2	2	3	2	1
BE044	U	4	5	4	4	3	3	3	2
BE045		4	5	4			4	3	2
BE046		5	5						
BE047		5	5						
BE049		5	5						
BE050		4	4						

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BE051	U	2	4	3	2	2	2	2	1
BE052		1				1	1	1	1
BE053		5	5						
BE054		4	4						
BE055		5	4						
BE056	U	3	4	3	3	2	2	2	2
BE057		5	5	5	4	4			
BE058		4	4						
BE059		5	4						
BE060		4	4						
BE061		5	5	5	5	5	5	4	3
BE062	U	2			2	2	2	2	1
BE065		4		5	5	4	4	3	3
BE066		2						3	1
BW001	S	3	4	4	4	4	3	3	2
BW002	S	4	4	4	4	3	3	3	3
BW004	U	4	4	4	4	4	4	4	3
BW005	U	5	4	5	5	5	5	4	
BW006	U	4	4	5	4	4	4	4	3
BW007	U	4	4	5	5	5	4	4	4
BW008	U	3	3	3	3	3	3		
BW009	U	4	4	4	4	4	4	3	3
BW010	U	3	3	4	3	4	4	3	3
BW011	S	3	3	4	4	3	3	3	2
BW012	U	3	3	3	3	3	2		
BW013	S	3	2	3	3	3	3	2	2
BW014	S	3	3	3	3	3	3	3	2
BW015	U	3	3	3	3	3	3	3	2
BW016	S	3	3	2	3	3	3	2	
BW019	U	3	3		3	3	3	3	2
BW020	U	3	3	4	3	3	3	3	2
BW021	U	3	3	4	4	4	3	3	3
BW022	U	5	5	5	5	5	4	4	
BW023	U	2	3	3	3	2	2	2	2
BW024	U	3	3	4	3	4	3	3	2
BW025	S	3	3	3	4	4	3	2	2
BW026	S	3	3	3	3	3	3	2	2
BW027	U	3	3	3	3	3	3	2	2
BW028	U	3	3	3	3	3	3	2	
BW029	U	4	3	4	4	4	4	4	
BW030	R	2	1	1	2	2	2	1	1
BW031	B	1	1	2	2	2	1	1	1
BW032	U	4	3		4	4	4	3	3
BW033	S	3	3	3	4	4	3		
BW034	U	3	3	4	3	3	3	3	2
BW035	U	3	3	4	3	4	4		3
BW036	S	2	2	3	2	3	2	1	1
BW037	R	2	2	2	2	2	3	2	2
BW038	U	2	3	3	2	3	2	2	1
BW039	U	2	2	2	3	3	3	2	2
BW040	U	3	3	3	3	3	3	3	2
BW041	U	3	3	3	3	3	3	2	2
BW042	S	3	3	3	3	3	3	3	3
BW044	U	2	3	2	2	2	3	2	2
BW045	U	3	2	3	3	3	3		
BW046	U	1	1	2	2	2	1	1	1

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BW047	S	2	2	3	3	2	3	2	
BW048	U	3	2	2	3	3	2	3	
BW049	U	2	2	2	2	2	2		
BW050	U	2	2	2	2	2	2	2	1
BW052	U	3	3	3	3	3	3	2	2
BW053	U	2	2	2	2	2	2	1	1
BW054	U	2	2	1	2	2	2	2	2
BW056	U	2	2	3	2	2	2	2	2
BW057	U	2	2	2	3	3	2		
BW059	U	2	2	2	2	2	2	1	1
BW060	U	2	2	3	3	3	3	2	1
BW065	S	3	4	3	3	3	3	2	2
BW072	U	4	4	4	3	3			
BW073	U	3	3	3	3	3	3	2	2
BW076	U	3	3	3	3	3	3	3	2
BW081	U	4	4	5	5	4	4	4	3
BW083	U	3	3	3	3	3	3		
BW084	U	2	2	3	3	2	2	2	1
BW087	R	2	1	2	2	2	2	1	1
BW090		2							
BW091		1		1					
BW092		4							
BW093	U	4			4	4			
BW094	U	3			3	3	3	2	
BW095	U	2			2				
BW101	U	3		3					
BW102		2					3	2	2
BW103		2						2	1
BW104		3						3	3
BW105		3						3	3
BY001	U	2	3	2	2	2	2	2	1
BY002	U	3	4	4	3	2	3	2	2
BY003		2	3	3	2	2	1	2	2
BY004	U	2	3	2	2	2	2	2	2
BY005	S	2	3	3	2	3	2	2	2
BY006		3		3	3	3	3	2	1
BY007		2	3	2	2	2	1	1	1
BY008	U	2	2	2	2	2	2	2	
BY009		2	4	3	3	2	1	1	1
BY010		3	4	4	3	3	3	2	2
BY012		3	3	3	3	2	2	2	
BY013	U	1	2	2	1	2	1	1	1
BY014		2	3	2	2	2	1	1	1
BY015		3	4	4	3	3	3	2	2
BY016		3	3						
BY017	U	2	3	3	3	2	3	2	1
BY020	U	2	4	3	3	2	2	2	2
BY021		2	3	3	3	2	2	2	1
BY024		3	3	4	3	3	3	3	2
BY025		3	4	3	4	3	3	3	3
BY026		3	3		3	3	3	2	2
BY027		2	3		3	3	3	2	1
BY028		2	3		2	2	2	2	1
BY029		2	2		3	2	2	2	2
BY030		2	2		2	2	2	2	1
BY031	U	2	2		1	2	1	2	1

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BY032	U	2	3		3	2	3	2	2
BY033		1	1		2	2	1	1	1
BY034	S	2	3		2	2	1	1	1
BY035		2	3		1	1	2	1	1
BY037	S	2	4		2	3	3	2	2
BY038		2	3		3	2	3	2	2
BY039	U	2	3		2	2	2	2	1
BY040		3	4		3	3	3	2	2
BY041		2	2						
BY043		2	3		2	2	2	2	1
BY044		3	2						
BY045		2	3		2	2	2	2	1
BY047	U	1	3		1	1	1	1	1
BY048		2	3		3	2	2	2	2
BY049	U	2	2		2	2	1	1	1
BY051		2	2						
BY052	U	3	3		3	3	2	2	2
BY053	S	2	4		2	2	3	2	2
BY054		3	4		3	3	3	2	2
BY055		2	4		3	3	2		1
BY056		3	4		3	3	3	2	2
BY058		3	4		3	3	3	2	2
BY059		2	4		2	2	2	2	1
BY061	S	2	3		2	2	2	2	2
BY062	U	1	2		2	2	1	1	1
BY063	S	3	4		2	3	3	2	2
BY064	U	2	3		2	2	2	1	1
BY067		2	4		3	2	2	1	1
BY068	S	2	4		2	2	3	2	1
BY069		2	4		2	1	1	1	1
BY070		2	3		2	2			
BY072	R	1	2		1	1	1	1	1
BY073		3	3						
BY075	U	2	4		3	2	2	2	1
BY076		2	3		2	2	2	2	1
BY077	U	2	3		3	2	2	2	2
BY078		2	3		2	2	2	2	1
BY079	U	1			1	1	1	1	1
BY081	U	1	1		1	1			
BY082	B	1	1		1	1			
BY085		3	5		3	4	4	3	2
BY088	U	1	1		1	1	1	1	1
BY089	U	1	2		1	1	1	1	1
BY091		2	2						
BY093		2						2	2
HB001	U	3	4	4	3	2	4	2	2
HB002	U	2	3	3	3	1	2	4	2
HB003	U	3		4	2	2	3	3	2
HB004	U	3	4	3	4	2	2	2	2
HB005	U	4	5	5	4	4	4	3	4
HE001	S	2		3	3	2	2	2	2
HE002		3	3	3					
HE003	S	4	4	4	3				
HE004	S	4	4	4	4				
HE005	S	3	4	4	3	3	3	2	2
HE007	S	4	4	4	3				

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HE008	S	3	4	4	4	3	3	2	2
HE009	S	3	4	3	3				
HE010	S	2	4	3	2	2	2	2	2
HE011	S	3	5	4	4	3	3	3	2
HE012	S	3	3	3	3				
HE014	S	2	4	3	3	2	2	2	2
HE015	S	3	3	4	3				
HE016	S	3	3	4	3				
HE017	S	3	4	3	3	2	3	2	2
HE018	S	3	4	4	3	2	3	2	3
HE019	S	3	4	4	3	3	3	2	2
HE020	S	2	3	3	2	2	2	2	2
HE021		4	4	4					
HE022	S	3	4	4	4	3	3	3	2
HE023	R	2	3	2	2	2	2	2	2
HE024	R	2	3	2	2	2	2	2	2
HE025	R	2	3	2	2	2	2	2	2
HE026	R	2	3	2	2	2	2	2	2
HE027	R	2	3	2	2		2	2	2
HE028	R	2	3	2	2	2	2	2	2
HE029	S	2	3	3	3	2	2	2	2
HE030	S	2	3	3	3	2	2	2	2
HE031	S	2	4	3	2	2	2	2	2
HE032	U	2	3	2	2	2	2	2	2
HE033	U	2	3	2	2	2	2	2	2
HE034	U	2	3	2	2	2	2	2	2
HE035	S	4	4	3	4				
HE042	U	2		3	2	2	2	2	2
HE044		2					2	2	2
HE045		2						2	2
HE046		2						2	2
HE048		2						2	2
HH002		3	4	4	3	3			
HH005	U	3	3	3	3				
HH006		3	3	3					
HH007		4	4	4	4	3			
HH008	U	4	4	4	4	4	4	3	3
HH009		4	4	4	4	4			
HH010		4	4						
HH014		5	5	5	5	5			
HH015		5	5	5	5	5	4	4	4
HH016		4	4	4	4	4	4	3	3
HH020		4	4	4	4	4	3		
HH021	U	2	3	3	3	2	2	1	1
HH022	U	3	3	3	3				
HH026		4		5	5	5	4	4	4
HH030	U	3							
HH033		2						2	2
HH035		3							
HH038		3		3					
HH041		5							
HH042		4			4				
HH043		3			3				
HH044		4			4	4			
HH045		4				4			
HH046		3							

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HH047		2					2	2	1
HH048		5				5	5		4
HH049		1					2	1	1
HH050		1					2	1	1
HH051		4					5	4	
HH054		1						2	1
HH055		1						1	1
MV001	R	2	3	3	2	2	2	1	
MV002	U	3	4	3	3	3	2	2	2
MV003	U	3	4	4	3	3		2	1
MV004	R	2			3	2	2	1	1
MV005	U	3	4	4	3	3	2	2	2
MV006	U	3	4	4	3	2	2	2	1
MV007	R	2	3	2	2	2	1	1	1
MV012	R	2	3		2	2	2	2	1
MV017		1					1	1	1
NI001		4							
NI005		4							
NI011	U	2					2	2	
NI014	R	4			5				
NI015	U	4							
NI016	R	2				2	2	2	2
NI019	R	2					2	2	2
NI020	U	3	4			4		2	
NI021	U	3							
NI022		4							
NI024		4							
NI025		4							
NI026		4	4						
NI028	U	2					2		
NI029	U	4							
NI031	R	4							
NI036	U	2	4		2	1	2		2
NI038	U	2				1	2		2
NI039	U	3							
NI040	U	4							
NI041	U	4			4				
NI042	U	2		3				2	2
NI043	U	2					2	2	2
NI049		4	4						
NI051	B	2	2	2	1	1	2	2	2
NI052	U	3			3				
NI053	U	4							
NI054	U	4							
NI058		2						2	
NW001		3	4	4	3	4	3	3	
NW002		4	5	5	4	4		3	3
NW003		5	5	5					
NW004	S	4	5	5	4	4		3	3
NW005		5	5	5					
NW006		4	4	4	4	4	3	3	3
NW007		4	4	4					
NW008	S	3	4	4	4	3	3	3	3
NW009		3	3	3					
NW010	S	3	4	4	3	3	3	3	3
NW011		3	5	4	4	4	3	3	3

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
NW012		3	4	4	4	3		3	3
NW013	S	3	4		3	3	3	3	
NW015	S	4	4	4	4	4	3	3	3
NW017		5	5	5					
NW018	U	4		5	5	4	4	3	3
NW019		5	5	5					
NW020		5	5	5					
NW021	S	5	5	5	5	5	5	5	5
NW022		4		5	5	4	4	3	3
NW023		4	5	5	5	4	3	3	3
NW024		4	5	5	5	4		3	4
NW025		5	5	5					
NW026		5	5	5					
NW027		4	5	4					
NW028	S	3	4	4	4	3	3	3	3
NW029	U	3	4	4	4	3		3	3
NW030	U	3	4	4	3	3	3	3	3
NW031		4	5	4					
NW032		4	4	4					
NW033		4	4	5					
NW034	U	4	5	5	5	4	4	4	4
NW035		5	5	5					
NW036	U	4	5	5	4	3	3	3	3
NW037		4	5	5	5	4	4	4	4
NW038	S	4	5	5	4	4	3	3	3
NW039		4	5	5	5	4	4	4	4
NW040		4	5	5	5	4	4	4	4
NW041		5	5	5					
NW042	S	3	5	5	4	3	3	3	3
NW043		4	5	5	5	4	4	3	3
NW044		4	4	4					
NW045		4	5	4	5				
NW046		5	5	5					
NW047	S	3	4	4	3	3	3	3	3
NW048		5	4	5	5	5	4	4	4
NW049		5	5	5					
NW050	S	3	4	4	4	3	3	3	3
NW051	U	3	4	4	4	3	3	3	3
NW052		4	4	4					
NW053	S	3	4	4	4	3	3	3	3
NW054	S	4	4	5	4				
NW055		5	5	5					
NW056		5	5	4					
NW057		4	4	4					
NW058	U	3	4	4	4	3	3	3	3
NW059	S	3	5	4	4	3	3	3	3
NW060		3	5	4	4	3	3	3	3
NW061		5		5					
NW062	S	3	5	5	4	3	3	3	3
NW063	R	3	3	3		3	3	3	3
NW064	R	3	3	3	3	3	3	3	3
NW065	R	3	3	3	3	3	3	3	3
NW066	U	3	4	4	3	3	3	3	3
NW067	U	3	4	3	3	3	3	3	3
NW068	U	3	4	3	3	3	3	3	3
NW069		5	4	4					

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
NW070		5	5	5					
NW071	U	4	4	4	4	3	3	3	4
NW072		4	5	5	5	4	3	3	3
NW073	U	3	4	4	3				
NW077		3				4	3	3	3
NW078		3						3	3
NW079		3					3	3	3
NW080		3					3	3	3
NW081		3					3	3	3
NW094		3						3	3
NW095		3						3	3
NW096		3						3	3
NW097		4						3	4
RP001	U	3	4	4	4	4	3	3	2
RP002		4	5	5	5	4	4	4	4
RP003	S	4	4	4	4	4	4	3	3
RP007	U	3	4	4	4	3	3	2	2
RP008	S	3	4	4	4	4	3	3	2
RP009		3	4	4	4	4	3	2	2
RP013	R	3	3	3	3	3	2	2	2
RP014	R	2	2	2	2	2	2	1	1
RP015	R	1	2	2	2	1	1	1	1
RP016	R	2	2	2	2	1	1	1	1
RP017	R	2	3	2	2	2	2	1	1
RP018	U	3	5	4	4	3	3	2	2
RP019	U	3	4	4	4	4	3	2	1
RP020	S	3	4	4	4	3	3	2	2
RP021	S	3	4	4	3	2	2	2	1
RP022	U	4	4	4	4	3	3	2	3
RP023	U	4	5	4	4	4	4	3	3
RP024	S	4	5	5	5	4	4	3	3
RP025	U	3	4	4	4	3	3	3	2
RP028	R	2	2	3	2	2	1	1	1
SH001	U	2		2	2	2	2		
SH005	U	2		2	2	1	1		
SH006	R	2		2	2	1	1		
SH007	U	3		3	3	2	1		
SH008	R	1		2	2	1	1	1	1
SH010	S	2		3	3	2	2	2	2
SH011	R	3		4	3	3	3	2	2
SH016	U	3		3	3	3	2		
SH019		2							2
SL001		3					3	3	2
SL002	U	3					3	3	3
SL003	U	4	5	4			3	3	2
SL004		4	4	4			3	3	
SL005		4						4	
SL008	U	2	2				1	2	2
SL010		3					3	3	3
SL012		4	5				4	4	2
SL013		3					3	3	
SL015		4					4	4	
SL016		5	5						
SL017	U	3					4	3	3
SN001	U	3	5	5	4	3	2	2	1
SN002	U	3		5	4	3	2	2	1

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
SN003		5	5	5					
SN004	U	4		5	5	4	3	3	2
SN005	U	4	5	5	4	3	3	2	1
SN006	U	4			4	4	3	3	1
SN011	U	3	5	5	4	2	2	2	1
SN012	U	3	5	5	3	2	2	2	1
SN014	U	4	5	5	4	4	3	3	1
SN017	U	4	5	5	4	3	3	3	1
SN019	U	3		5		3	3	2	1
SN020	U	4				4	3	3	2
SN024	U	3	5	5	4	3	2	2	2
SN025	S	3	5	4		3	3	3	1
SN028	U	3		5	4	2	2		
SN031		5	5	5					
SN034	U	4		5	4	4	3		
SN036	U	4		5		4	3	3	
SN038	U	4	5	4	4				
SN045	U	4		5	5	4	3	3	2
SN047	U	3				3	2	1	1
SN048	U	3	5	5	4	2	2	2	
SN049	R	2	4		3	2	1	1	1
SN050	U	3	5	5	4	4	3	2	1
SN051	R	4	5	5	4	4	3	2	1
SN052	R	4		5	5	5	3	3	2
SN053	B	3	4	4	4	2	2	2	1
SN056		5		5					
SN057	R	4	5	5	5	4	3	3	2
SN059	U	3	5	4	3	3	2	1	1
SN060	U	3		5		3	3	2	1
SN061	S	4		5	5	5	4	3	2
SN074		3				4	3	3	2
SN075		2					2	2	1
SN076		2					2	2	1
ST001		5	5						
ST002	U	2	5		3		2	2	2
ST005	U	3	5		4		3	3	
ST006		2	4		3		2		1
ST007		5	5						
ST009		5	5						
ST011	R	3	4		3		3	3	2
ST014		3	5		4		3	3	2
ST015	U	4	5		5		4	3	3
ST016		3			3				
ST017		5	5						
ST018		5	5						
ST021		2			2		1		
ST022	U	3	5		4		3	3	
ST023		3	5		3		1		
ST025	U	5	5		5		5		
ST027		5	5						
ST028	U	4	5		4		4	4	1
ST029	U	3	5		3		3	3	1
ST030	U	3	5		3		2	2	1
ST031	U	4	5		4		3	3	
ST032	U	3	5		3		2		
ST033	U	5	5		4				

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ST034	U	4	5		4				
ST036	U	5	5		5				
ST039	B	1					1	1	1
ST042	U	4			4				
ST044	U	2			4		2	2	1
ST050	U	4			5		4	4	1
ST052	U	2			4		2	1	1
ST057	U	3			4		3	3	2
ST061	U	3			4		2	2	
ST063	U	3			3		3	3	3
ST066	U	2					2	2	1
ST067		3	4				2		
ST068	U	3	5		3		3	4	3
ST069	U	2	4		2		1	1	1
ST070	R	2	3		3		2	1	1
ST071	U	3	5		3		3		
ST072	U	3	5		4		2	2	1
ST075		3	5		4		3	3	2
ST078		4	5		5		5	4	3
ST079		5	5						
ST080		4			4		4	4	3
ST081		4			5		4		3
ST082	R	4			4				
ST089		2					3	2	1
ST090		3					4	4	2
TH002		3	5	5	3	2	2	2	
TH005	U	2	4	3	3	2	2	2	1
TH007		2		4	3	2	2	2	1
TH008		3	4	4	3	2	2	2	
TH009	U	3	5	5	3	2	3	2	1
TH010		3	5	4	3	2	2		
TH011		3	5	5	4	3	3	2	1
TH013	U	2	4	3	2	2	2	2	1
TH014		3	4	3					
TH016	U	2	3	3	2	2	2	2	1
TH017		2	4	3	2	2	2	2	1
TH018	U	2	4	3	3	2	2	2	1
TH019		2	2	3	3	2	2	2	
TH020	U	2	4	4	3	2	2	2	1
TH021	U	2	4	3	2	2	2	2	1
TH022		2	2	2					
TH023		4	3						
TH024	R	2	4	3	2	3	2	2	
TH025	U	2	2	2	2	2	2	2	1
TH026		2	2	2				2	1
TH027	R	2	2	2	2	2	2	2	1
TH028		2	2	2	2	2	2		
TH029		4	4	3					
TH030		2	4	3	2	2	2	2	
TH031	U	2	4	3	2	2	2	2	1
TH032		2	4	3	3	2	2	2	1
TH034		2	3	2	2				
TH035		2	2	2	2	2	2		
TH036	U	3	5	5	4	3	3	2	2
TH037		2		3	2	2	2	2	
TH039		3	5	4	4	2	2	2	1

SO2- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TH040	B	2		2	2	2	2	2	1
TH041	U	2	4	3	2	2	2	2	1
TH042	R	2		2	2	2	2	2	1
TH060		2						2	1
TH061		2						2	1
UB001	R	1	1	1		1	2	1	1
UB002	R	2	2	3	3	2	2	2	1
UB003	B	2					2	2	
UB004	B	1	2			2	1	1	1
UB005	R	2	2	2	3	3	2	1	1
UB006	R	2	2	2					
UB007	R	1						1	
UB013	R	2							
UB016	U	2						2	2
UB017	R	2					3	2	1
UB019	R	3	3		3	2			
UB020	R	2	2	2	2				
UB022	R	3	3	3	2	2			
UB023	R	4	5	4	4				
UB024	U	2	3	3	2				
UB026	R	2		2	3	2	1	1	1
UB027	R	2	2		1				
UB028		2	2		2	2	2	1	1
UB029		1	3	2	2	1	2	1	1
UB030		2	2		1	1	2	2	1
UB031	R	4	5	5	5	4	4		2
UB032	R	2		2	2	2	2		1
UB033	R	3	5	4		2	3		1
UB034		2			3	2			1
UB035	R	4		5	4	4	3	3	1
UB038		2					2	1	
UB039		2					3	2	1
UB040		1						2	1

Liste der Klassifikation nach dem PM10/(TSP) – Regime

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BB001	U	2			2	2	1	1	2
BB003	U	3	4	4	3	2	2	1	
BB006	U	3	4	5	4	2	2	2	2
BB007		3			3				
BB008	U	4			4	4			
BB009		2			3	2	2	2	2
BB010		3	3	4	2	2	2		
BB016		3			3				
BB017		2			2	2			
BB018	U	3			4	3		2	
BB020	U	2	3	3					
BB021	U	3	3	3	3	2	2	2	2
BB024		3	5	5	4	4	2	2	2
BB026	U	2	3	3	2	2	2	1	2
BB028	U	2	4	4	2	2	1	1	1
BB029	U	2	5		1	1	1	1	2
BB030	U	2	4	3	3	2	2	1	2
BB031	U	3	5	4	3	2	2	2	2
BB032	U	2	3	4	3	2	2	1	2
BB036	U	2			3	2	2	1	2
BB037		2			3	2			
BB038	U	2			3	2	2	1	2
BB041		4			4	4			
BB042	U	1				1	1	1	2
BB043		2				3	2	1	2
BB046		5			5				
BB051		1						1	1
BE001		4	4						
BE005		3	4	4	4	3	2	2	2
BE007		3	3						
BE008		5	5						
BE009		3	3						
BE010	U	3	4	5	4	3	3	2	
BE011		3		5		3	3		
BE012		3	3						
BE014	S	5	5	5	5		4	3	4
BE015		3	4	4	3	3	3	3	
BE017		3	3						
BE018		3	4	4	4	3	2	2	2
BE023		4	4						
BE025		3	3						
BE026		3	4	4	3	2	2	2	2
BE027	U	3	4	4	3	2	2	1	
BE032	U	2	3	3	2	2	1	1	1
BE034	U	4	4	5	4		3	3	2
BE044	U	4	5	5	5	4		3	3
BE045		4	5	5			4	4	
BE046		5	5						
BE047		5	5						
BE049		5	5						
BE050		4	4						
BE051	U	3	4	4	3		2	2	1
BE053		5	5						

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BE054		4	4						
BE055		5	5						
BE056	U	2	3	4	2	2	2	1	
BE057		5	5	5	5	5			
BE058		4	4						
BE059		5	5						
BE060		4	3						
BE061		4		5	4	4		4	4
BE062	U	2			2	2	2	2	
BE065		5		5	5	5		4	4
BE066		3						3	
BW001	S	2	2	1	2	2			2
BW002	S	1	1	1	1	1			
BW004	U	1	1	2	1	1			
BW005	U	2	2	2	2	2			2
BW006	U	2	3	2	2	2			3
BW007	U	2	2	2	2	2			2
BW008	U	3	2	2	4	3			
BW009	U	2	1	1	2	1			3
BW010	U	2	2	2	3	1			
BW011	S	2	2	1	2	1			
BW012	U	1	2		2	1			
BW013	S	2	2	1	2	2			
BW014	S	2	1	2	2	2			3
BW015	U	2	2	1	2	2			2
BW016	S	1	2	1	2	1			
BW019	U	3	2		3	3			3
BW020	U	2	1	2	3	2			2
BW021	U	1	1	1	1	1			2
BW022	U	2	2	2	2	2			2
BW023	U	1	1	1	1	1			1
BW024	U	2	2	2	2	2			2
BW025	S	2	2	2	3	2			2
BW026	S	2	1	2	2	2			2
BW027	U	1	1	1	1	1			1
BW028	U	2	2	2	2	2			2
BW029	U	2	2	2	3	3			2
BW032	U	2	2		2	2			2
BW033	S	2	1	2	2	1			
BW034	U	2	2	1	2	2			2
BW035	U	1	1	1	1	2			
BW036	S	2	2	2	2	1			
BW037	R	1	1	1	1	1			1
BW038	U	1	2	1	2	2			
BW039	U	1	1	1	1	2			2
BW040	U	1	2	1	1	1			1
BW041	U	2	2	2	2	2			3
BW042	S	2	2	1	2	2			1
BW044	U	2	1	1	2	1			2
BW045	U	1	1	1	2	1			
BW046	U	1	1	1	2	1			
BW047	S	1	1	1	1	1			1
BW048	U	2	2		2	2			
BW049	U	1	1	1	1	1			
BW050	U	1	1	1	1	1			1
BW052	U	1	1	1	1	1			2

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BW053	U	1	1	1	1	1			2
BW054	U	1	1	1	1	1			1
BW056	U	1	1	1	2	1			2
BW057	U	1	1	1	1	2			
BW059	U	2	1	1	2	2			2
BW060	U	1	1	1	1	1			1
BW065	S	1	2	1	1	1			1
BW072	U	2	2	1	2	2			
BW073	U	1	1	1	2	1			1
BW076	U	1	1	1	2	1			1
BW081	U	2	2	2	2	2			2
BW083	U	1	1	1	1	1			
BW084	U	1	2	1	1	1			
BW087	R	1		1	1	1			1
BW090		1							
BW091		1		1					
BW092		1							
BW093	U	2			2	2			
BW094	U	1			1	1			1
BW095	U	2			2				
BW101	U	2		2					
BW102		1							1
BY001	U	4		5	5	4	3	4	3
BY002	U	3		4	4	3	3	2	2
BY003		3		4	4	3	2	4	4
BY004	U	2		4	3	2	2	2	2
BY005	S	3		4	3	3	3	3	3
BY006		5		5	5	5	5	5	5
BY007		3		4	4	3	3	3	3
BY009		3		4	4	3	3	3	3
BY010		3		4	4	4	3	3	3
BY012		3			3	3	2	2	
BY013	U	4		4					
BY014		4		4	4	4	3	3	3
BY015		3		4	3	2	2	3	3
BY020	U	3		4	3	3	3	2	2
BY021		3		4	3	3	3	4	4
BY024		3		4	4	3	3	4	3
BY027		3		4	3	2	2	3	2
BY028		3		4	4	3	3	3	3
BY030		3		3	3	2	3	3	3
BY031	U	2		3	3	3	2	2	2
BY032	U	3		4	4	3	3	3	3
BY033		4		5	4	4	4	3	3
BY034	S	3		4	3	3	2	3	3
BY035		4		5	4	4	4	3	3
BY037	S	5		5	5	5	5	5	4
BY038		4		5	4	4	4	4	4
BY039	U	3		4	3	3	3	3	3
BY040		4		5	5	4	4	4	4
BY045		3		4	4	3	3	3	3
BY047	U	2		3	2	2	2	2	2
BY052	U	3		3	4	3	3	4	4
BY053	S	3		3	2	2	2	4	4
BY054		4		4	4	3	3	4	4
BY055		3		5	4	3	3	3	3

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
BY056		4		5	4	3	3	4	3
BY058		4		4	4	3	3	4	4
BY059		4		4	4	3	3	4	3
BY061	S	4		5	5	4	4	4	4
BY062	U	3		3	3	2	2	3	3
BY063	S	5		5	4	4	5	5	4
BY064	U	4		4	4	3	3	3	4
BY067		3		4	3	2	3	3	3
BY068	S	4		5	4	4	4	4	3
BY069		2		3	3	2	2		2
BY070		3			4	3			
BY071		4		4					
BY075	U	3		4	4	3	2	3	3
BY076		3		4	3	2		3	3
BY078		3		3	3	3	3	3	2
BY085		4		5	4	4	4	4	4
BY088	U	2		3	3	2	2	2	2
BY089	U	3		3	3	3	3	3	2
BY093		3						3	3
HB001	U	2	2	2		1	1	2	2
HB002	U	1	1	2	2	2	2	1	1
HB003	U	1		2	2	1	1	1	
HB004	U	2	3	2	2	2	2	2	
HB005	U	1	2	2	2	1	1		2
HB006		4							4
HB007		4						4	4
HE001	S	2		3	3	2	2	2	3
HE002		2		2					
HE003	S	3		3	3				
HE004	S	3		3	3				
HE005	S	3		3	3	3	2	3	2
HE007	S	3		3	3				
HE008	S	3		3	3	3	3	3	4
HE009	S	3		4	3				
HE010	S	3		3	3	3	3	3	2
HE011	S	3		3	3	2	2	2	3
HE012	S	3		3	3				
HE014	S	3		3	3	3	2	2	2
HE015	S	2		2	1				
HE016	S	2		2	3				
HE017	S	3		3	3	3	3	5	2
HE018	S	2		3	3	2	2	2	2
HE019	S	2		3	3	2	2	2	1
HE020	S	3		4	3	3	3	3	3
HE021		3		3					
HE022	S	3		3	3	3	3	2	2
HE029	S	3		3	3	2	2	3	3
HE030	S	2		3	3	2	2	2	2
HE031	S	2		3	3	3	3		2
HE032	U	2		3	2	2	2	2	2
HE033	U	2		2	2	2	1	1	2
HE034	U	2		3	2	2	1	1	3
HE035	S	4		4	3				
HE037		3							
HE040		4						4	4
HE044		2					2	2	3

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HE045		2						2	2
HE046		1						1	1
HE048		1							
HE049		4						4	4
HH002		3	3	3	3	3			
HH005	U	3	3	3	3				
HH006		3	3	3					
HH007		4	3	4	4	3			
HH008	U	3	4	4	4	3	3		3
HH009		3	2	3	3	3			
HH010		4	3						
HH014		4	4	4	4	3			
HH015		4	4	5	4	3	3		3
HH016		3	4	4	3	3	3		2
HH020		3	3	3	3	2	2		
HH021	U	2	3	3	2	2	2	3	
HH022	U	2	2	3	2				
HH026		4		4					3
HH033		2					2	2	3
HH038		3		3					
HH046		2							
HH048		3							3
HH054		1							1
MV001	R	1	1	1	1	1	1	1	
MV002	U	2	3	3	2	1	1	1	1
MV003	U	2	2	2	2	1	2	2	2
MV004	R	1			1	1	1	1	1
MV005	U	3	4	4	4	2	3	2	2
MV006	U	3	4	4	4	2	3	3	2
MV007	R	1	1	2	1	1	2	1	1
MV012	R	1	1		1	1	1	1	1
MV017		1				1	1	1	1
NI001		2	2	3					
NI005		2	2	4					
NI008		3	2						3
NI011	U	1	2	2	1	1	2	2	1
NI014	R	2	2	2	1				
NI015	U	2	2	3	2				
NI016	R	1	1	2	1	1	1	1	1
NI019	R	1	1	1	1			1	1
NI020	U	2	2	2	2			3	2
NI021	U	1	1	2	1				
NI022		3	3	3					
NI024		2	1	2					
NI025		2	2	2					
NI026		2	2	2					
NI028	U	1	2	2	1	1	1		
NI029	U	2	2	3	2	1	2	3	2
NI031	R	1	1	1	1	1	1		1
NI036	U	2	1	2	1	1	2	2	2
NI038	U	2	2	2	1	1	2	2	1
NI039	U	1	1	2	1				
NI040	U	2	2	3	2				
NI041	U	1	1		1		2		1
NI042	U	1	1	2	1	1	1	1	1
NI043	U	2	2	2	2	2		3	2

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
NI049		2	2						
NI051	B	1	1	1	1	1	1		1
NI052	U	1	1	1	1	1			2
NI053	U	1	2	2	1	1	1		1
NI054	U	2			2	2	3	2	1
NI056		3		3					
NI058		2				1		2	2
NI059		1					1		1
NI060		1					1	1	1
NI062		2					2	2	1
NI063		2						2	2
NW001		3		4	3	3		3	3
NW002		3		4	4	3	3	3	3
NW003		4		4					
NW004	S	4		5	4	4	4	3	4
NW005		4		4					
NW006		3		4	4	3	3	3	3
NW007		4		4					
NW008	S	4		5	5	4	4	4	
NW009		4		4					
NW010	S	3		4	4	3	4	3	3
NW011		4		5	4	4	4	3	4
NW012		4		5	4	4	4	4	
NW013	S	4		4	4	3	3	4	3
NW015	S	4		4	4	3	4	3	4
NW017		4		4					
NW018	U	4		4	4	4		3	4
NW019		4		4					
NW020		4		4					
NW021	S	4		4	4	4	3	3	4
NW022		5		5	5	4	4		
NW023		3		4	4	3	4	3	3
NW024		5		5	5	5		4	4
NW025		5		5					
NW026		4		4					
NW027		4		4					
NW028	S	4		4	4	3	3		
NW029	U	2		4	3	2	2	2	2
NW030	U	4		4	4	4		3	4
NW031		5		5					
NW032		5		4					
NW033		4		4					
NW034	U	4		5	4	4	4	4	4
NW035		5		5					
NW036	U	4		5	4	4	4	4	4
NW037		5		5		4	5		
NW038	S	4		5	4	4	4	3	
NW039		3		4	4	3	3	3	3
NW040		4		4	4	4	4	4	3
NW041		4		4					
NW042	S	4		4	4	4	4	3	3
NW043		5		5	5	5	4	4	
NW044		4		4					
NW045		4		4	4				
NW046		4		4					
NW047	S	4		4	5	4	4	3	4

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
NW048		4		5	4	4	4	4	
NW049		4		4					
NW050	S	4		4	4	4	4	3	4
NW051	U	3		4	4	3	3	3	3
NW052		4		4					
NW053	S	4		4	4	4	4	4	
NW054	S	4		4	3				
NW055		3		3					
NW056		4		4					
NW057		4		4					
NW058	U	3		4	3	2	3	2	2
NW059	S	3		4	3	3	2	2	3
NW060		3		4	4	3	3	2	3
NW061		3		3					
NW062	S	3		3	3	3	3	2	
NW063	R	2		3	2	2		2	2
NW064	R	2		3	2	2		1	1
NW065	R	1		2	2	2		1	1
NW066	U	3		4	4	3	3	3	3
NW067	U	4		4	4	4	4	3	
NW068	U	4		4	4	4		3	4
NW069		4		4					
NW070		4		4					
NW071	U	4		4	4	4	4	3	
NW072		5		5	5	5	4	4	4
NW073	U	5		5	5				
NW077		4				4	4	4	
NW078		3						2	3
NW079		3					3	3	
NW080		2					2	2	2
NW081		4					4	4	4
NW082		5						5	
NW094		2						2	2
NW095		3						3	3
NW096		3						3	3
NW097		3						3	
RP001	U	2		3	2	2	2		2
RP002		2		3	3	2	2		2
RP003	S	3		3	4	4	3		2
RP006		5					5		
RP007	U	2		3	2	1	1		
RP008	S	3		3	4	2	2		2
RP009		3		3	3	4	4	3	
RP010		5			4		5	5	4
RP013	R	1		1	1	1		2	1
RP014	R	1		1	1	1	1		1
RP015	R	1			1	1	1		1
RP016	R	1		1	1	1	1		1
RP017	R	1		1	1	1	1		1
RP018	U	4		4	4	4	4		3
RP019	U	2		2	2	2	2		1
RP020	S	4		4	5	4	4		4
RP021	S	2		3	3	2	2		2
RP022	U	2		3	2	2	2		2
RP023	U	4		4	4	4	4		
RP024	S	4		4	4	3			2

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
RP025	U	2		3	2	2	1		2
RP028	R	1		2	1	1	1		1
RP029		4					4	4	3
RP031		3					4	4	3
RP032		4							
RP036		4					4	4	3
SH001	U	2		2	1	1	1	2	2
SH005	U	1		2	1	1	1	2	
SH006	R	1		2	1	1	1		
SH007	U	2		3	2	2	2		
SH008	R	1		2	2	1	1	2	
SH010	S	3		3	3	2	2	3	4
SH011	R	1		2	1	1	1	2	
SH015	R	1							1
SH016	U	2		2	1	1	1		
SH021		2							2
SL003	U	3	3				3	2	2
SL004		2	3				2	1	
SL008	U	1	1				1	1	1
SL010		3					3	3	2
SL012		2	2				2	2	1
SL013		2					1	2	2
SL015		2					2	2	
SL016		3	3						
SL017	U	2					2	2	2
SN001	U	3	3		4	3	3	3	2
SN002	U	3			3	4	3	2	2
SN004	U	2	4		4	3	2	1	1
SN005	U	3	4		4	4	2	3	1
SN006	U	4	5		5	5	4	3	4
SN011	U	3	4		3	3	3	3	3
SN012	U	3	4		3	3	2	2	2
SN014	U	4	5		5	4	4	3	3
SN017	U	3	5		4	4	3	2	2
SN019	U	3	4		5	3	3	3	3
SN020	U	4	5		5	4	4	4	3
SN024	U	3	4		4	3	2	2	2
SN025	S	4	5		5	4	4	4	4
SN028	U	3			4	3	3		
SN034	U	4	2		4	4	4		
SN036	U	3	3		4	3	3	2	
SN038	U	3	4		4				
SN045	U	3	3		3	3	3	2	2
SN047	U	4	5		5	4	4	3	2
SN048	U	3	4		3	3	3	2	
SN049	R	1			1	1	1	1	1
SN050	U	2	3		4	2	2	2	1
SN051	R	2	4		3	2	1	2	1
SN052	R	1	1		1	1	1	1	1
SN053	B	1			1	1	1	1	1
SN057	R	2	2		2	2	1	1	2
SN059	U	2	3		4	2	2	2	2
SN060	U	4	4			5	5	4	3
SN061	S	5	5		5	5	4	4	4
SN075		3					3	3	3
ST001		4	4						

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ST002	U	2	3		3	2	2	2	
ST005	U	3	4		4	2	4	2	
ST006		4	4						
ST007		5	5						
ST009		3	3						
ST011	R	3	3		3	2	4	3	3
ST014		1	3			1	1		2
ST015	U	3	4		3	2	3	2	
ST016		2			2	2			
ST017		3	3						
ST018		4	4						
ST022	U	3	4		4	2	4	2	
ST023		4	4						
ST025	U	3	4		4	2	2		
ST027		4	4						
ST028	U	2	3		3	2	2	1	2
ST029	U	4	5		5	4	5	4	3
ST030	U	2	3		3	2	3	2	2
ST031	U	2	2		3	1	2	1	
ST032	U	2	4		2	1	2		
ST033	U	3	3		3	2			
ST034	U	2	2		3	2			
ST036	U	3	3		3	2			
ST042	U	3			4	2			
ST044	U	2			3	2	3	2	2
ST050	U	2			3	2	2	2	2
ST052	U	3			3	3	3	2	3
ST057	U	3			3	3	3	2	3
ST061	U	3			4	3	4	3	
ST063	U	3			4	3	4	3	3
ST066	U	2			4	2	2	1	
ST067		2	3						
ST068	U	2			2	1	2		
ST069	U	2	2		2	2	2	2	2
ST070	R	1	1		1	1	1	1	1
ST071	U	3	3		3	2	3		
ST072	U	2	3		3	2	3	2	2
ST075		4	5		4	3	5	3	4
ST078		3	4		4	2	3		2
ST079		4	4						
ST080		3			4	2	3	2	
ST081		3			3	2	4		2
ST082	R	3			3				
ST089		1				1	1	1	1
ST090		2					2	2	
TH002		4		5		3	4		3
TH005	U	2		4		2	2		2
TH007		3		4		3	3		2
TH008		5		5		5	5	5	
TH009	U	4		5		5	3		3
TH011		2		5		3	1	1	2
TH013	U	3		4		3	3		3
TH016	U	2				2	2		2
TH017		3		5		3	3		3
TH018	U	3		4		3	3		3
TH019		3		5		3	3		2

PM10- STATION	UBA	ALL	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TH020	U	4		4		4	3		2
TH021	U	4		5		3	3	4	3
TH024	R	2		3		2	2		
TH025	U	3		5		3	2		1
TH026		2		3		2	2		2
TH029		4		4		4			
TH030		3		4		3	2	2	
TH031	U	3		5		4	2		2
TH032		4		5		4	4	3	2
TH036	U	3		5		3	3	3	2
TH037		3		5		3	3		3
TH039		5		5		5	4		3
TH041	U	3		4		3	2		3
TH043		5				5	5		5
TH060		3						3	2
TH061		1						1	1
UB002	R	1	1			1	1	1	
UB003	B	1							
UB004	B	1	1	1	1	1	1	1	
UB005	R	1		1	1	1			
UB006	R	1							
UB007	R	1				1	1	1	
UB009	R	1		1					
UB012	R	2		2					
UB013	R	1	1	2	2	1	1	1	
UB016	U	1							
UB017	R	1	1				1	1	
UB018	R	1	1		2				
UB019	R	1	1	2	1	1			
UB020	R	2	2	3	2				
UB021	R	2	1		3	2			
UB022	R	2	2	2	1	1			
UB023	R	2	2		2				
UB024	U	2	2		2				
UB026	R	1				1	1	1	1
UB027	R	1		1	1				
UB028		1	1	1	1	1	1	1	
UB029		1	1	1	1	1	1	1	1
UB030		1	1	1	1	1	1	1	
UB031	R	2			2	1	1	1	
UB032	R	1	1		2	1	1	1	
UB033	R	2	2	3	2	1	1		1
UB034		1							
UB035	R	1	1	1	1		1		1
UB036	U	1			1	1			
UB038		1						1	
UB039		1					1		1
UB040		1						1	1

