Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen 297 42 848

"Analyse historischer Datenreihen und Entwicklung einer Methode zur quasi-wetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon"

Teilbericht 3

Wetterbereinigung der Ozonreihen der Jahre 1980 bis 1997

von

Dr. Wolfgang Enke

I.D.E.A:
Immissionsdaten Erfassung und Analyse
Karin Seewöster
Wandelsweg 89
4594 Gelsenkirchen

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

August 1999

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	**Darlegung der Methode**	**3**
2	**Datenbasis**	**7**
3	**Wetterbereinigung der täglichen Ozonmaxima**	**10**
3.1	Bereitstellung potentioneller Einflussgrößen	11
3.1.1	Bereitstellung der Klimadaten	12
3.1.2	Berechnung von Stabilitätsgrößen aus Radiosondenaufstiegen	12
3.1.3	Bereitstellung der objektiven Wetterlagen	15
3.1.4	Berechnung der aus Ozonklimatologien abgeleiteten Ozonmaxima	15
3.1.5	Bestimmung der Pseudopersistenz	15
3.2	Anwendung eines erwartungstreuen, multiplen screening Regressionsverfahrens zur Selektion der stationsspezifischen Regressionsgleichungen	16
3.3	Zum Problem der iterativen Wetterbereinigungen	23
3.4	Berechnung der wetterbereinigten Daten	24
3.5	Renormierung der Ozonmessreihen	37
4	**Literatur**	**42**

1 Darlegung der Methode

Die Bildung und Zerstörung von Ozon ist vielfältig mit dem Wettergeschehen, also den atmosphärischen Zustandsparametern, in Raum und Zeit vernetzt. Ozon ist ein sekundärer Schadstoff, der durch photochemische Prozesse in Verbindung mit Vorläuferschadstoffen gebildet wird. Den atomaren Sauerstoff, der zusammen mit den Sauerstoffmolekülen das Ozon (O_3) bildet, liefert die photolytische Zerlegung von Stickstoffdioxid (NO_2) in NO und O (Enke 1998, Ruggaber 1994). Da dieser Prozess eine Funktion insbesondere des Strahlungsangebotes und der Temperatur ist, wird der Zusammenhang mit dem Wettergeschehen deutlich (Beilke 1991,1996). Über die vielfältigen chemischen Prozesse im Konzert der Bildung und der Auflösung von Bodenozon siehe Neininger und Dommen 1996, Kirch 1997, Ruggaber 1994, Pricke 1980, Röth 1985. In den untersten ca. 500m der Atmosphäre erfolgt der Abbau von Ozon über den Titrationseffekt ($NO + O_3 \Rightarrow NO_2 + O_2$) sowie über die sogenannte Trockendeposition, also durch den direkten Kontakt mit Pflanzen und anderen Materialien der Erdoberfläche. Dieser Abbau ist proportional zur Ozonkonzentration und hängt wesentlich von der vertikalen Temperaturschichtung ab, also von der Höhe der vertikalen Durchmischung der Atmosphäre. Ozon selbst hat eine Lebensdauer von mehreren Tagen, so dass in der Schicht zwischen 500m und 1500m eher ein Langstreckentransport erfolgt, und somit weniger das lokale Wettergeschehen als das großräumige Wetter bedeutsam ist. Abgesehen von den anthropogenen Quellen der Vorläufersubstanzen zur Ozonbildung sind alle wesentlichen Prozesse wie:

- Ozonbildung
- horizontaler Ozontransport
- vertikale Durchmischung
- Trockendeposition

von den meteorologischen Bedingungen abhängig (Filliger 1996).

Da das Wettergeschehen von Jahr zu Jahr mehr oder weniger stark variiert, kann es andere Einflüsse maskieren, so dass Änderungen der raum-zeitlichen

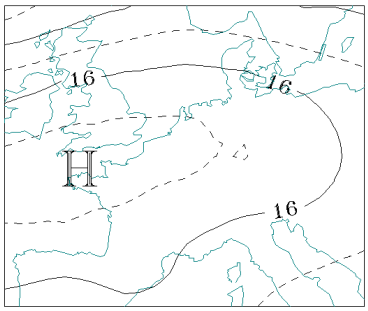
Emissionsintensität erst bei sehr langen Beobachtungsreihen sichtbar werden. Für Trenduntersuchungen auf der Basis von maximal 18-jährigen Zeitreihen erweist sich eine quasi Wetterbereinigung als notwendig. Die Mehrzahl der vorliegenden Messreihen sind deutlich kürzer, so dass für diese Reihen eine Wetterbereinigung um so dringlicher ist.

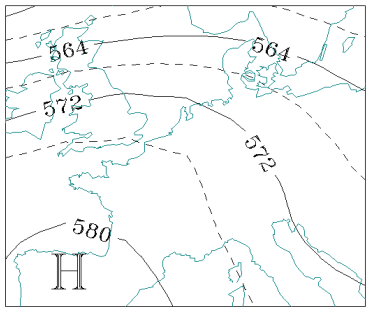
Für die Wetterbereinigung und die nachfolgende Trendanalyse werden die fehlwertersetzten und validierten Stundenwerte der Ozonmessreihen, Stufe 3, als Abweichungen von den stationsspezifischen Jahresgängen verwendet (Datei LIMBA26). Zur Validierung der Ozonmessreihen siehe den diesbezüglichen Zwischenbericht.

Als statistisches Verfahren zur Wetterbereinigung kommt eine **bedingte**, **multiple**, **erwartungstreue screening Regressionsanalyse** zur Anwendung;

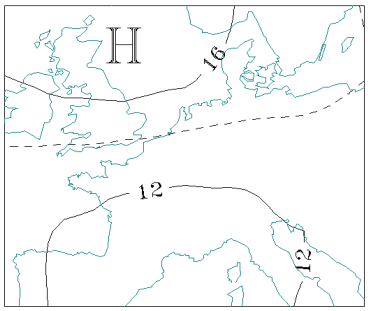
bedingt heißt:

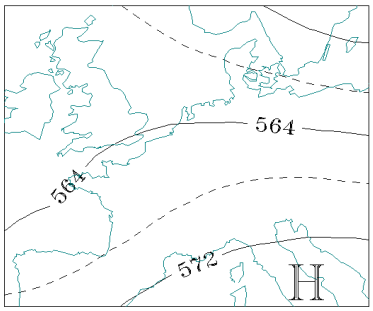
> Die Wetterbereinigung wird für jede , der in Abb.1 dargestelltenOzonwetterlagen getrennt durchgeführt. Bedingt heißt auch, dass unterschiedliche Regressionsbeziehungen für das Sommer- und Winterhalbjahr entwickelt werden.



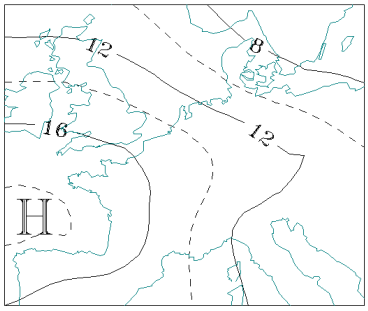


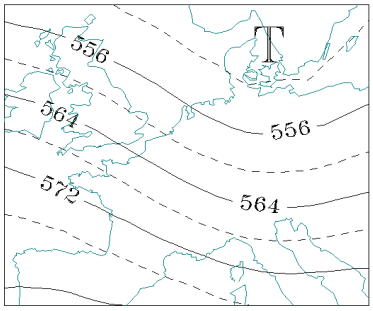
Klasse 1 (HM)



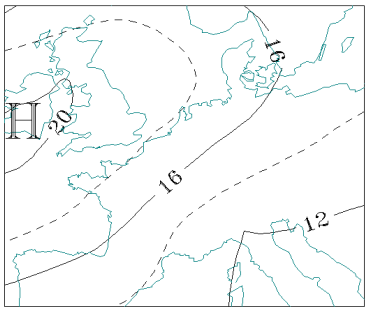


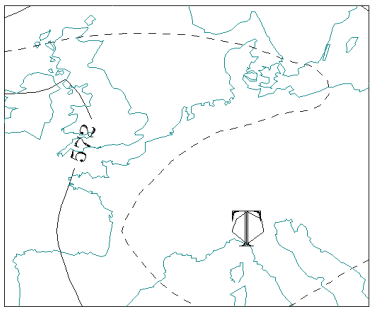
Klasse 2 (TF)





Klasse 3 (HSW)





Klasse 4 (TG)

Abb. 1: Ozonwetterlagen (Teil 1)

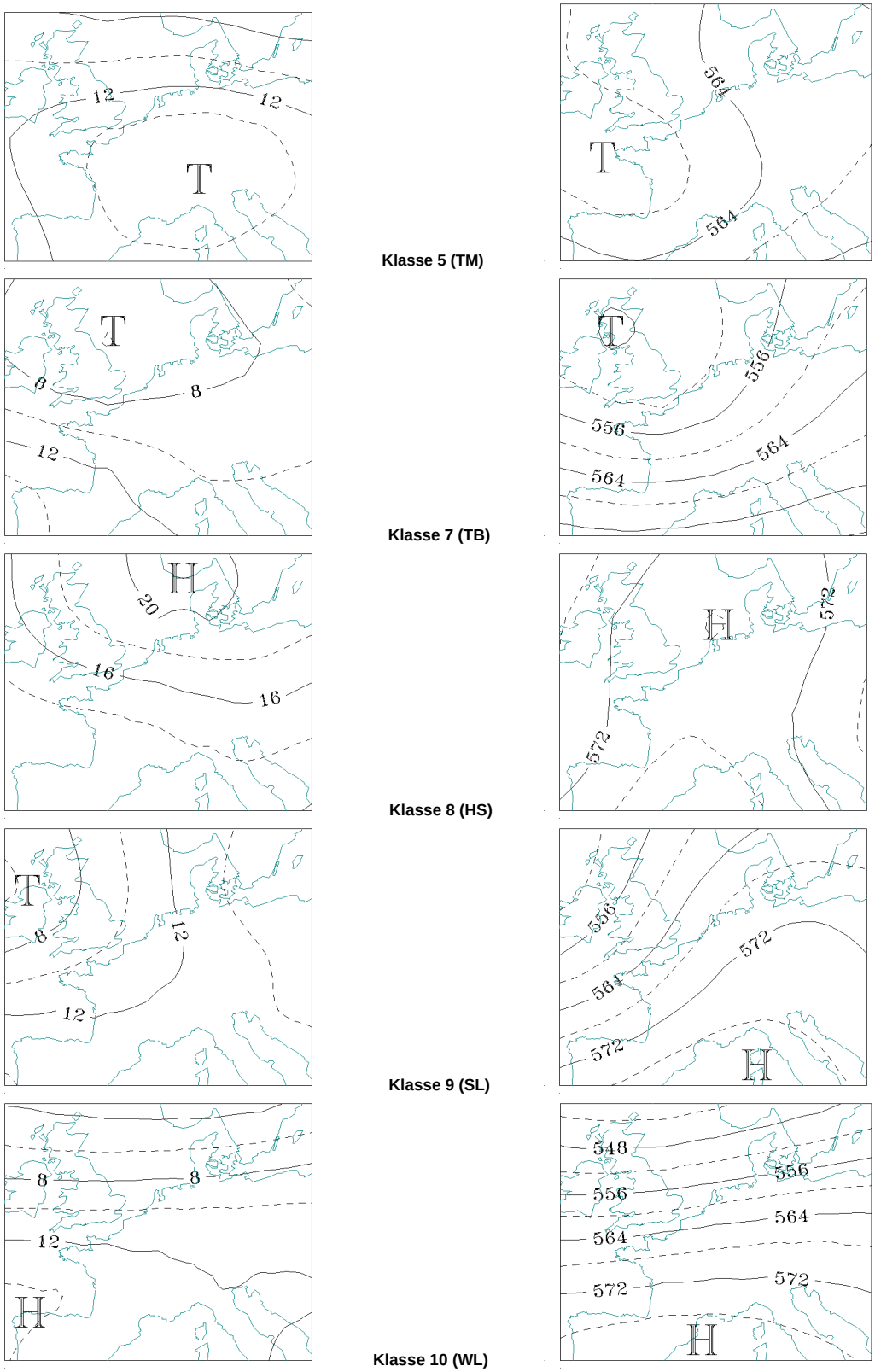


Abb. 1: Ozonwetterlagen (Teil 2)

Multipel heißt:

Es werden mehrere Einflussgrößen zur Wetterbereinigung verwendet.

Erwartungstreu heißt:

Das Verfahren unterbindet eine Überanpassung an den gegebenen Datensatz, um zu verhindern, dass Zufälliges als Gesetzmäßiges interpretiert und in die Regressionsgleichungen eingebaut wird. Hierzu werden eine Reihe von Stabilitätskriterien angewandt (Enke 1986):

- Reduktion der effektiven Freiheitsgrade unter Berücksichtigung der Autokorrelation
- Anwendung der H-Methode (Crossvalidation)
- Vorgabe einer Mindestanzahl von 50 Werten pro Klasse

Screening heißt:

In einem stufenweisen Vorgehen wird zunächst der beste Prediktor und nachfolgend unter Verwendung der schon selektierten Prediktoren die nächste Einflussgröße mit der größten Erwartung streuen Varianzreduktion ermittelt.

2 Datenbasis

Für die Wetterbereinigung standen 4 Datentypen für den Zeitraum von 1980 bis 1997 zur Verfügung:

Validierte und fehlwertersetzte Stundenwerte des Bodenozons der Jahre 1980 bis 1997

Diese Daten wurden vom Umweltbundesamt und den Immissionsmessnetzzentralen der Länder zur Verfügung gestellt. Insgesamt standen 480 Messreihen unterschiedlicher Länge und Qualität zur Verfügung, die einer sorgfältigen Validierung und Fehlwertersetzung unterzogen wurden. In die Wetterbereinigung einbezogen wurden zunächst alle Stationen, für die mindestens für 1 Jahr eine vollständige Messreihe vorlag. Für diese Stationen war aufgrund einer vorgegebenen Mindestbesetzung der Klassen mit 50 Werten keine wetterlagenbedingte Wetterbereinigung möglich.

Klimabeobachtungen von 49 deutschen Klimastationen

Für die Jahre 1980 bis 1997 wurden vom Deutschen Wetterdienst die täglichen Beobachtungsdaten von 49 deutschen Klimastationen zur Verfügung gestellt. Die Klimabeobachtungen wurden den Beobachtungen der synoptisch- (realtime) meldenden Stationen vorgezogen, da es sich bei den Klimabeobachtungen um geprüfte Mess- und Beobachtungsreihen handelt.

Für jeden Tag stehen folgende Wetterbeobachtungen zur Verfügung:

- Maximum der Lufttemperatur
- Minimum der Lufttemperatur
- Windrichtung 7°° MEZ
- Windstärke 7°° MEZ
- Windrichtung 14°° MEZ
- Windstärke 14°° MEZ
- Windrichtung 21°° MEZ
- Windstärke 21°° MEZ
- Tagesmittel der Gesamtbedeckung
- Tagessumme der Sonnenscheindauer
- Tagessumme der Niederschlagshöhe
- Niederschlagsart

Lage und Name der Klimastationen sind aus Anlage 1 zu entnehmen.

TEMP-Aufstiege von 15 deutschen Radiosondenstationen

Zur Bereinigung des Wettereinflusses aus den Ozonmessreihen sind neben den Bodenbeobachtungen des Wetters, repräsentiert durch die Beobachtungsreihen der deutschen Klimastationen, Messungen des vertikalen Temperatur-, Druck-, Feuchte- und Windprofils notwendig. Die Vertikalstruktur der Atmosphäre wird durch Ballonaufstiege, sogenannte TEMP- Aufstiege sondiert. Für den 12°°UTC Termin wurden diese Daten von der FU-Berlin, Bereich Meteorologie, mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Wetterdienstes bereitgestellt. In Tabelle 1 sind die

verwendeten Stationen, deren geographische Lage und die Höhe über dem Meeresspiegel aufgeführt.

Tab. 1: Verwendete Radiosondenstationen der Jahre 1990 bis 1997

Nr.	Station	Geogr. Breite	Geogr. Länge	Höhe über NN [m]
1	Lindenberg	52.13	14.07	108
2	Meiningen	50.34	10.23	453
3	Hannover	52.28	9.42	55
4	Essen	51.23	6.58	159
5	Kassel	51.08	9.17	223
6	Idar-Oberstein	49.42	7.20	377
7	Stuttgart	48.50	9.12	315
8	Kümmersbruck	49.26	11.54	418
9	München	48.15	11.33	489
10	Friedrichshafen	47.59	8.54	804
11	Meppen	52.43	7.19	16
12	Berlin	52.29	13.25	46
13	Greifswald	54.06	13.24	6
14	Schleswig	54.32	9.33	48
15	Dresden	51.07	13.14	232

Objektive Wetterlagen

Im Rahmen des F&E Vorhabens 10402817 des Umweltbundesamtes 'Erstellung einer Ozon-Kurzfristprognose für das Smog-Frühwarnsystem' wurde eine objektive Wetterlagenklassifikation entwickelt. Das Verfahren basiert auf Forschungsarbeiten, die im Rahmen des Verbundprojektes Klimavariabilität und Signalanalyse zum Teilthema: "Signalanalyse zur Regionalisierung von Klimamodell-Outputs mit Hilfe der Erkennung synoptischer Muster und statistischer Analysemethoden" (Enke, Spekat 1997) durchgeführt, aber hier speziell für diese Untersuchungsaufgabe modifiziert und

angepasst wurden. Untersuchungen bezüglich Ozon-optimierter Wetterlagen, auch unter Verwendung des Großwetterlagenkatalogs nach Hess, P. and H. Brezowsky 1969, wurden von Mayer und Schmidt (1997, 1998) durchgeführt.

Für die Jahre 1980 bis 1997 wurden für die Monate April bis September tägliche objektive Wetterlagen für das engere Mitteleuropa berechnet. Diese sind in Abb.1 (1000hPa und 500hPa Flächen) dargestellt. Die hierfür notwendigen Daten wurden vom Deutschen Wetterdienst für das oben genannte Forschungsprojekt bereitgestellt.

3 Wetterbereinigung der täglichen Ozonmaxima

Ozon entsteht in den bodennahen Luftschichten durch den strahlungsinduzierten Zerfall von NO_2, während in der Stratosphäre Ozon durch den strahlungsinduzierten Zerfall von molekularem Sauerstoff entsteht. In den bodennahen Luftschichten würde sich ein Gleichgewicht zwischen Ozonbildung und Ozonabbau einstellen, wenn nicht die organischen Kohlenwasserstoffe (VOC) dieses Gleichgewicht insofern stören würden, das in die Atmosphäre emittiertes NO ohne den Verbrauch von Ozon zu NO_2 oxidieren. Neben den natürlichen Quellen werden die VOCs anthropogen erzeugt. Auf nähere Ausführungen zu den vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen den komplexen chemischen Prozessen und den meteorologischen Bedingungen, die zum Auf- und Abbau von bodennahem Ozon führen, wird auf entsprechende Veröffentlichungen verwiesen: (Neininger und Dommen 1996, Kirch 1997, Ruggaber 1994, Fricke 1980, Röth 1985). Wesentliche meteorologische Einflüsse sollen jedoch kurz skizziert werden:

Auf- und Abbau troposphärischen Ozons

als Funktion von Strahlungsangebot (Sonnenscheindauer, Bewölkung, Feuchte) und Temperatur (Regulativ der Geschwindigkeit chemischer Prozesse)

horizontaler Transport von Ozon und Vorläufersubstanzen

als Funktion großräumiger Windfelder (Wetterlagen) und lokal (Orographie) beeinflusster Windsysteme

vertikaler Transport von Ozon und Vorläufersubstanzen

-konvektive Durchmischung der Troposphäre als Funktion des vertikalen Temperaturprofils und der Temperatur am Erdboden (sowohl vertikale Verdünnung bodennahen Ozons als auch Einmischen von höheren Ozonkonzentrationen aus der Reservoirschicht treten auf)

-dynamische Durchmischung der Troposphäre als Funktion der großräumigen Zirkulation (Wetterlage, Frontensysteme). Sowohl Luftmassenaustausch als auch plötzliches Einmischen von Ozon aus der Reservoirschicht vor einer Frontpassage werden hierdurch gesteuert (Förderer u.a. 1996, Beilke 1996).

Schon die kompakte Darstellung der durch meteorologische Bedingungen geprägten Prozesse zeigt die Abhängigkeit der kausalen Zusammenhänge zwischen der Emission der Vorläufersubstanzen und der Bildung bzw. Konzentration des Ozons von der zeitlichen und räumlichen Variabilität der Wetterbedingungen.

Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen Emission der Vorläufersubstanzen und der Ozonkonzentration müssen daher immer und grundsätzlich unter Berücksichtigung bzw. unter weitgehender Eliminierung der meteorologischen Einflüsse erfolgen.

3.1 Bereitstellung potentieller Einflussgrößen

Vier Datentypen werden zur Wetterbereinigung verwendet, die die wesentlichen Einflüsse auf die Bildung und den Transport von Ozon beschreiben sollen:

Auf- und Abbau troposphärischen Ozons

Beobachtungen der nächstliegenden Klimastation

horizontaler Transport von Ozon und Vorläufersubstanzen

Wetterlagen und lokaler Wind

vertikaler Transport von Ozon und Vorläufersubstanzen

-konvektive Durchmischung

Aus TEMP- Aufstiegen abgeleitete Parameter, die die vertikale Stabilität der Atmosphäre beschreiben

-dynamische Durchmischung

objektive Wetterlagen

Die Trägheit des Systems

wird durch die Andauer der Wetterlagen und der Pseudopersistenz (siehe 3.1.5) beschrieben Für jede Station, die für Trenduntersuchungen vorgesehen ist (vgl. Abb.1), wurden zum Zwecke der Wetterbereinigung die Beobachtungen der nächstliegenden Klimastation und der nächstliegenden TEMP- Station in einem Datensatz zusammengestellt. Da auch im Radiosondenarchiv größere Ausfälle zu verzeichnen sind, wird gegebenenfalls auf eine andere Radiosondenstation bis zu einem Umkreis von maximal 200km ausgewichen.

3.1.1 Bereitstellung der Klimadaten

Aus dem Angebot an Klimabeobachtungen (Kap. 2) wurden mit Ausnahme der Art des Niederschlages alle Beobachtungen zur Wetterbereinigung angeboten.

3.1.2 Berechnung von Stabilitätsgrößen aus Radiosondenaufstiegen

Die Basisinformation zur Berechnung von Stabilitätsgrößen aus TEMP-Aufstiegen, bildet das vertikale Temperatur-, Druck-, Feuchte- und Windprofil, wie es aus Radiosondenaufstiegen von 15 Stationen (Kap. 2) zur Verfügung steht. Aus diesen Grunddaten lassen sich mit Hilfe der Thermodynamik der Atmosphäre eine Reihe von abgeleiteten Größen berechnen, die die Stabilität und somit den vertikalen Austausch der Atmosphäre beschreiben (Asnani 1993, Steinacker 1995). Folgende Parameter wurden berechnet:

(Zur Erläuterung der einzelnen Größen siehe Abb.2):

Inversionshöhe

Höhe in Metern, bei der die Temperaturänderung mit der Höhe negativ wird.

Energie zur Inversionsauflösung

Energie die benötigt wird, um bei gegebener Temperatur Tz die Inversion bis zur Höhe der Durchmischungsschicht aufzulösen.

Höhe der Durchmischungsschicht

Höhe der konvektiven Durchmischung der Atmosphäre bei gegebenem Temperaturmaximum.

Auslösetemperatur

Temperatur, die notwendig ist, damit thermisch bedingte Wolkenbildung einsetzt.

Kondensationsniveau

Höhe der Untergrenze konvektiver Bewölkung.

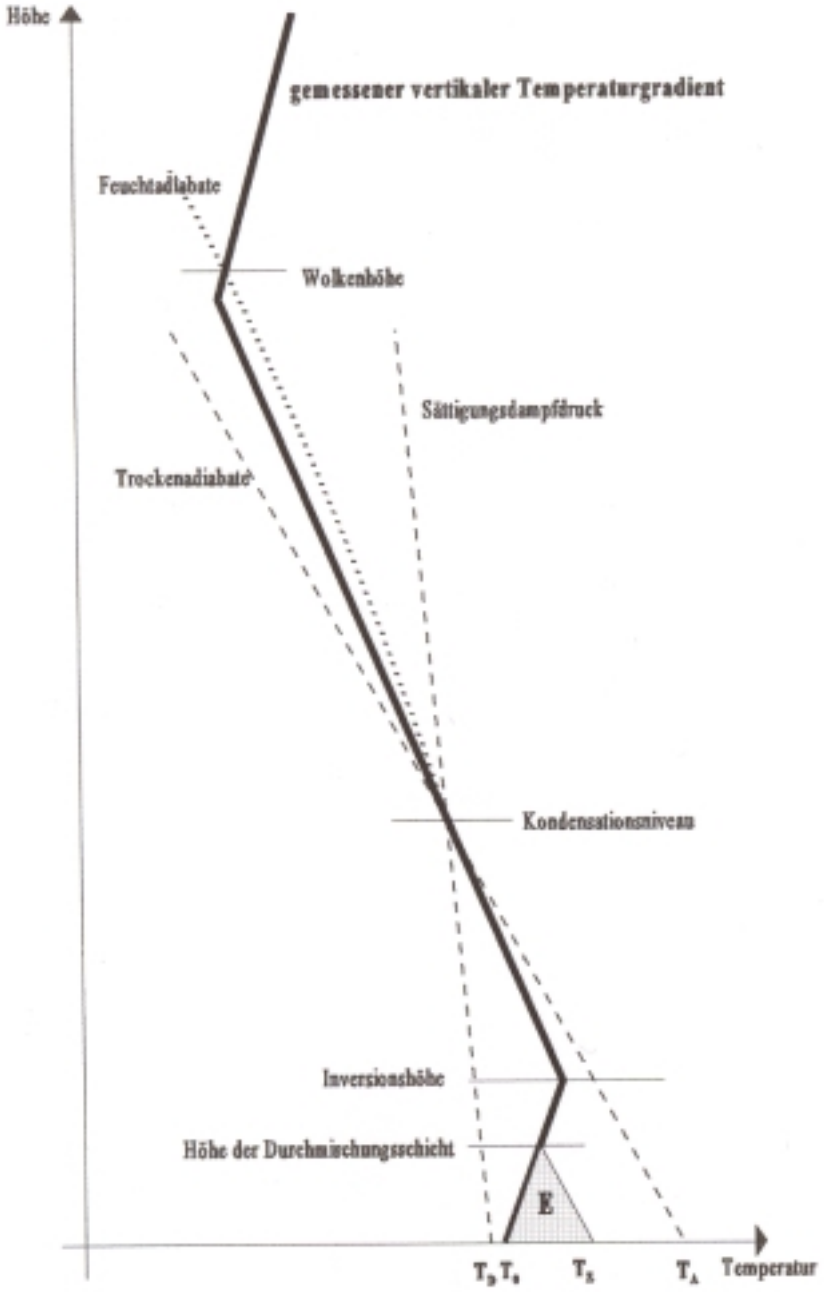
Wolkenobergrenze bei Erreichen der Auslösetemperatur

Die Wolkenobergrenze wird erreicht, wenn der gemessene vertikale Temperaturgradient größer als der feuchtadiabatische Temperaturgradient wird.

Wolkenobergrenze bei Erreichen des realen Tagesmaximums der Temperatur

Tagesmaximumtemperatur minus Auslösetemperatur

Abb. 2: Prinzipskizze - thermodynamischer Zustandsgrößen



T_D : Taupunkttemperatur T_Z : Bodentemperatur zur Zeit t_Z

T_0 : Bodentemperatur zur Zeit t_0 T_A : Auslösetemperatur

E: benötigte Energie zur Inversionsauflösung bei der Temperatur T_Z

3.1.3 Bereitstellung der objektiven Wetterlagen

Im Rahmen des Projektes F&E Vorhaben 10402817 des Umweltbundesamtes 'Erstellung einer Ozon-Kurzfristprognose für das Smog-Frühwarnsystem' wurde eine objektive Wetterlagenklassifikation (Abb.1) erstellt. Diese, entsprechend der mittleren Ozonkonzentration ansteigenden Nummern der Wetterlagen wurden als potentieller Prediktor zur Wetterbereinigung dem Regressionsverfahren angeboten.

3.1.4 Berechnung der aus Ozonklimatologien abgeleiteten Ozonmaxima

Die Einbeziehung der Wetterlagen beschreibt den Einfluss der großräumigen Dynamik auf den Transport und die Bildung sowie die Auflösung von Bodenozon. Unter Berücksichtigung der Andauer einer Wetterlage wurde deshalb für jede Wetterlagenklasse und für jedes Bundesland ein mittleres Ozonmaximum berechnet und täglich als potentieller Prediktor bereitgestellt.

3.1.5 Bestimmung der Pseudopersistenz

für die Prognose des Bodenozons ist die Persistenz aufgrund der längerfristigen Gleichgewichtsprozesse zwischen Ab- und Aufbau von Ozon durchaus wichtig. Zur Wetterbereinigung darf diese jedoch nicht verwendet werden, da in der nicht wetterbereinigten Bodenozonkonzentration der vorangegangenen Episode der Einfluss der Konzentration der Vorläufersubstanzen mit verkoppelt ist. Auch in der Persistenz der Residuen bei der Berechnung der multiplen oder schrittweisen Regressionsanalyse, wie sie von Förderer u.a. 1996 vorgenommen wurde, steckt indirekt die Persistenz. Einen Ausweg bietet die Pseudopersistenz, die aus den wetterbedingten Anteil der Ozonkonzentration des Vortages bestimmt. Das Verfahren der Wetterbereinigung bei der Verwendung der Pseudopersistenz erfolgt in zwei Schritten:

- Der erste Schritt ist die Wetterbereinigung mit allen potentiellen Prediktoren zur Erzeugung der Pseudopersistenz (Der wetterbedingte Anteil des Ozonmaximums des Vortages wird als Pseudopersistenz bezeichnet).
- Der zweite Schritt ist die Wetterbereinigung unter Verwendung der Pseudopersistenz.

3.2 Anwendung eines erwartungstreuen, multiplen screening Regressions-verfahrens zur Selektion der stationsspezifischen Regressionsgleichungen

Die quasi Wetterbereinigung der täglichen Ozonmaxima erfolgt nun mit einem stationsspezifischen Datensatz potentieller Prediktoren (Tab.2).

Tabelle 2: Bezeichnung der potentiellen Prediktoren, die zur Wetterbereinigung verwendet werden

Prediktoren Nr.				Bezeichnung
1				**Abweichung des täglichen Bodenozons vom stationsspezifischen Jahresgang (fünfstündige Mittel) [µg/m³]**
2				**Aus der Wetterlagenklassifikation abgeleitetesOzonmaximum [µg/m³]**
Nächstliegende Klimastationen				
1.	**2.**	**3.**	**4.**	
3	21	30	39	Tagesmaximum der Lufttemperatur [0.1°C] Abweichung vom Jahresgang
4	22	31	40	Tagesminimum der Lufttemperatur [0.1°C] Abweichung vom Jahresgang
5				Tagesmaximum minus Tagesminimum der Lufttemperatur [0.1°C]
6				Windgeschwindigkeit 7°°Uhr O/W-Komponente [0.1 Bft]
7				Windgeschwindigkeit 14°°Uhr N/S-Komponente [0.1 Bft]
8				Windgeschwindigkeit 14°°Uhr O/W-Komponente [0.1 Bft]
9				Windgeschwindigkeit 21°°Uhr N/S-Komponente [0.1 Bft]
10				Windgeschwindigkeit 21°°Uhr O/W-Komponente [0.1 Bft]
11	23	32	41	Tagesmittel der Windstärke [0.1Bft]
12	24	33	42	Bedeckungsgrad mit allen Wolken Termin 1 [/8]
13	25	34	43	Bedeckungsgrad mit allen Wolken Termin 2 [/8]
14	26	35	44	Bedeckungsgrad mit allen Wolken Termin 3 [/8]
15	27	36	45	Tagesmittel des Bedeckungsgrades [0.1/8]
16	28	37	46	Tagessumme der Sonnenscheindauer [0.1 Std.]
17				Niederschlagshöhe 21:30-07:30 MEZ log(mm+0.01)*10
18	29	38	47	Niederschlagshöhe 07:30-14:30 MEZ log(mm+0.01)*10
19	30	39	48	Niederschlagshöhe 14:30-21:30 MEZ log(mm+0.01)*10
20	31	40	49	Niederschlagshöhe 24-stündigelog(mm+0.01)*10
51				Inversionshöhe [100m]

52	Energie zur Inversionsauflösung [cal/cm2]
53	Höhe des Kondensationsniveaus [100m]
54	Auslösetemperatur [°C]
55	Wolkenobergrenze bei Erreichen der Auslösetemperatur [100m]
56	Höhe der Durchmischungsschicht bei trockenad. Durchmischung [100m]
57	Wolkenobergrenze bei Erreichen des Temperaturmaximums [100m]
58	Tagesmaximum der Temperatur - Auslösetemperatur [°C]
59	Klassennummern der Ozonwetterlagen
60	4-tägiges Mittel des Tagesmaximums der Lufttemperatur
61	Laufindex der bereitgestellten Tage
62	Datum der bereitgestellten Tage

Die Berechnung der einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen den in Tab.2 aufgelisteten potentiellen Prediktoren und der Abweichung des täglichen Ozonmaximums vom stations-spezifischen Jahresgang, als Mittel über alle 480 Ozonstationen und unterteilt nach Stationstypen, ist aus Abb.3a bis Abb.3e zu entnehmen. Es zeigt sich das überraschende Phänomen, dass im Gegensatz zur prognostischen Anwendung das Temperaturregime nicht die höchste Korrelation aufweist sondern die aus TEMP-Aufstiegen abgeleiteten Stabilitätsparameter: Höhe des Kondensationsniveaus (53) und Auslösetemperatur (54) leisten den stärksten Beitrag zur Wetterbereinigung! Diese Aussage gilt über alle Stationstypen hinweg. Das aus der Wetterlagenklassifikation abgeleitete tägliche Ozonmaximum weist signifikante Korrelationen auf Der Zusammenhang ist am stärksten bei verkehrsnahen und städtischen Stationen (Abb.3b bis Abb.3c). Nicht überraschend ist jedoch der inverse Zusammenhang zwischen Sonnenscheindauer (16), Niederschlag (17 -20), Bewölkung (12- 15) und mittlerer Windgeschwindigkeit (11). Es fällt auf, dass die verkehrsnahen Stationen eine stärkere Sensibilität gegenüber der Nord- Südkomponente des Windes haben als die übrigen Stationskategorien. Insgesamt sind die Unterschiede in den Korrelationen zwischen den verschiedenen Stationstypen eher gering.

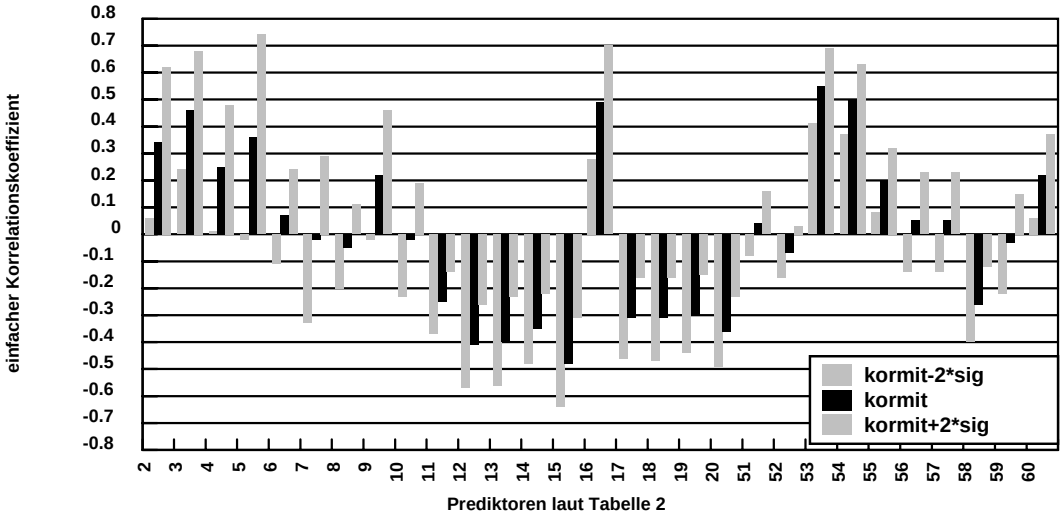


Abb. 3a: Mittelwert und Streuung des einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen Bodenozon und den Prediktoren nach Tab. 2 Sommer, 16 Uhr , 476 Stationen

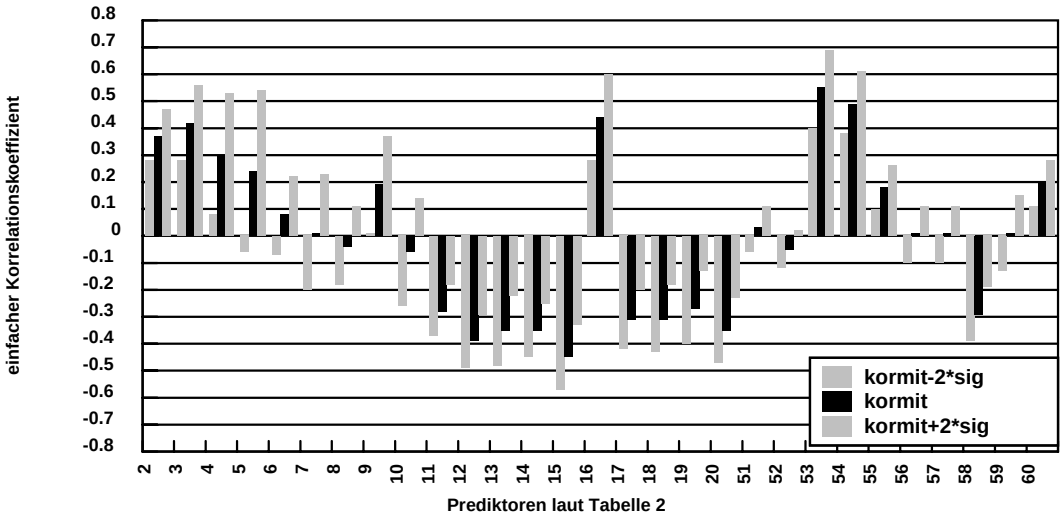


Abb. 3b: Mittelwert und Streuung des einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen Bodenozon und den Prediktoren nach Tab. 2 Sommer, 16 Uhr , 65 verkehrsnahe Stationen

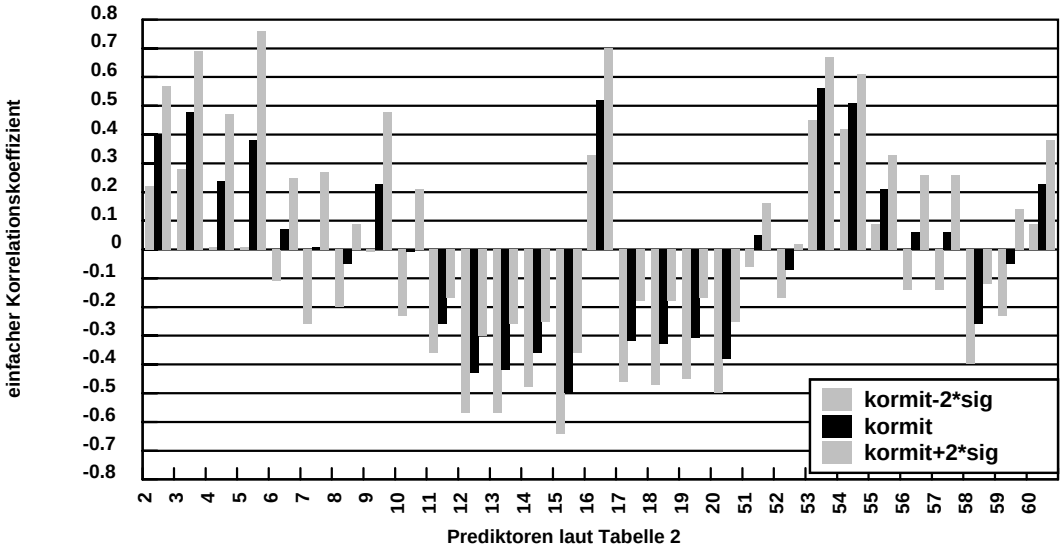


Abb. 3c: Mittelwert und Streuung des einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen Bodenozon und den Prediktoren nach Tab. 2 Sommer, 16 Uhr , 247 städtische Stationen

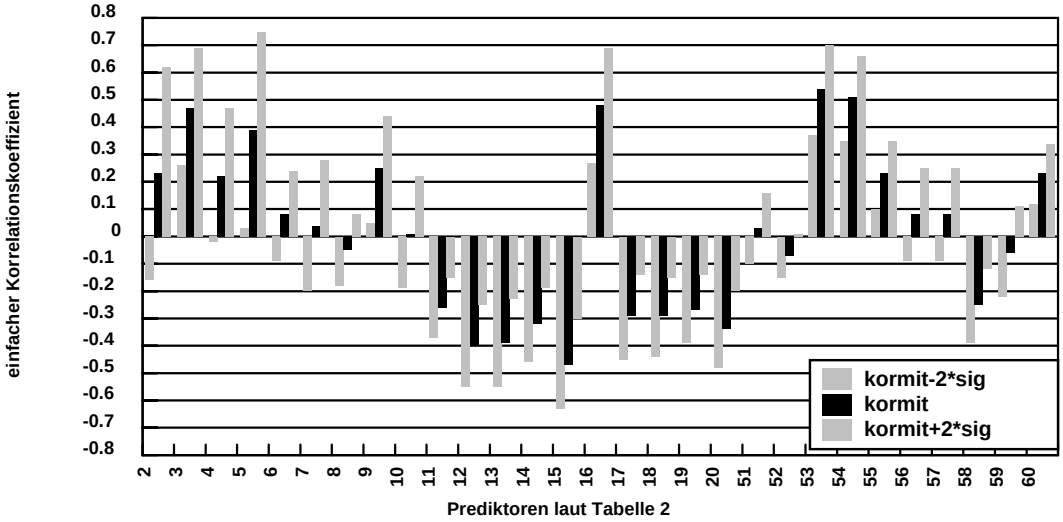


Abb. 3d: Mittelwert und Streuung des einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen Bodenozon und den Prediktoren nach Tab. 2 Sommer, 16 Uhr , 62 ländliche Stationen

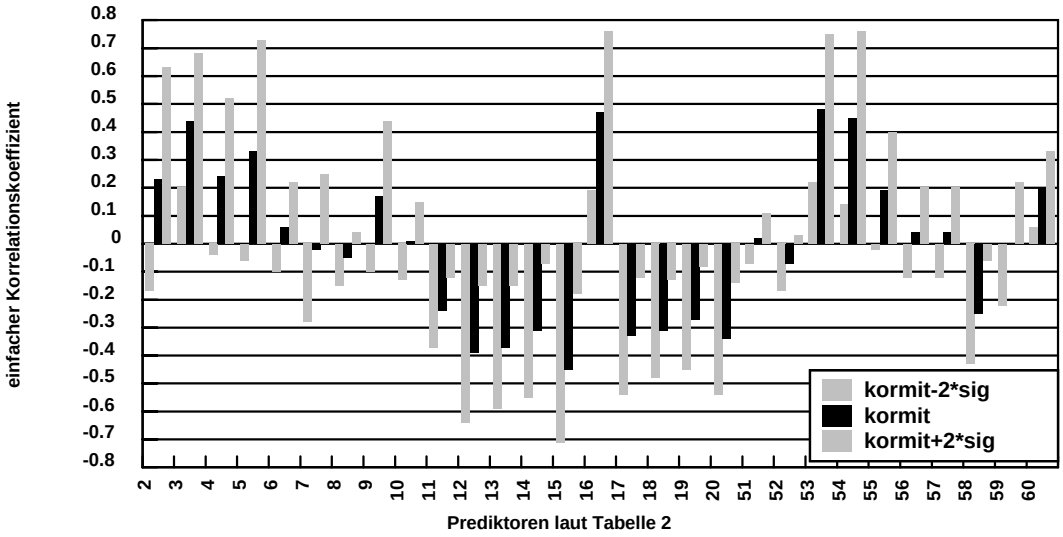


Abb. 3e: Mittelwert und Streuung des einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen Bodenozon und den Prediktoren nach Tab. 2 Sommer, 16 Uhr , 7 Bergstationen

Das zur Wetterbereinigung angewandte Verfahren der erwartungstreuen, multiplen screening Regressionsanalyse ist bei Enke (1986) und Enke (1988) beschrieben. Besonderer Wert wird auf statistische Stabilität der abgeleiteten multiplen Regressionsgleichungen gelegt:

- Bereinigung der Datensätze von zyklischen Schwankungen
- Berücksichtigung der Autokorrelation zur Berechnung der effektiven Freiheitsgrade bei Signifikanzprüfungen (Taubenheim 1969)
- Begrenzung der maximalen Prediktorenzahl auf 7 Prediktoren
- Test auf Signifikanz der partiellen Korrelationskoeffizienten
- Crossvalidierung zur erwartungstreuen Varianzreduktion bei der Prediktorenselektion
- mögliche Prediktorentransformation zur optimalen Annäherung an eine Normalverteilung

Tabelle 3 zeigt anhand der Station Schauinsland (UB004) die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zur Wetterbereinigung von 8 Uhr und 17 Uhr. Das Verfahren

begrenzt die verwendeten Prediktoren für den 8 Uhr Termin auf 4 Variable (30, 33, 11 und 53). Die Verwendung weiterer Prediktoren führt zu statistischer Instabilität (keine Signifikanz des partiellen Korrelationskoeffizienten oder ein Anstieg der erwartungstreuen Reststreuung). Für den 17 Uhr Termin wird die Anzahl der signifikaten Einflussgrößen mit 6 ermittelt (36, 31, 53, 6, 32 und 17). Auf jeder Selektionsstufe wird sowohl die einfache Korrelation zwischen dem täglichen Ozonmaxima und dem selektierten Prediktor als auch der multiple Korrelationskoeffizient angegeben. Aus der Streuung der Ausgangsreihe und der Reststreuung nach Wetterbereinigung lässt sich die Reduktion der Varianz (R V) als prozentuale Verbesserung gegenüber der Varianz einer Referenzreihe bestimmen. In diesem Beispiel beträgt RV = 36% für den 8 Uhr Termin und 52% für der 17 Uhr Termin. Bedeutsam ist die drastische Reduktion der effektiven Freiheitsgrade unter Berücksichtigung der Autokorrelation der Zeitreihe der stündlichen Ozonwerte von 3111 (Sommerhalbjahr 1981 bis 1997) auf 1923 bzw. 1975 Fälle.

Die Station Schauinsland wurde als Beispiel ausgewählt, da es sich zum einen um eine lange Reihe handelt und zum anderen diese von guter Qualität ist (Abb.10a, Abb.10b). Größere systematische Fehler sind 1982 und 1984 zu erkennen (grüne Kurve Abb.10a). Nach der Datenergänzung (mehrere Monate 1981) und der automatischen Fehlerkorrektur der Validierungsstufe 3 (vgl. Zwischenbericht Validierung der Messreihen) steht eine für Trendauswertung gute Reihe zur Verfügung (Abb.11a, rote Kurve).

Tab. 3: Abweichung der täglichen Ozonmaxima vom mittleren Jahresgang
Wetterbereinigung und Trend
Station UBAOO4 (Schauinsland)
Alle Wetterklassen, Sommer, Prediktoren lauf Tabelle 2

Stunde 8

Prediktoren zu Stat.UBO04:		1	30	33	11	53
Einfache Korrelation:		1.0	.50	.49	.23	.41
Multiple Korrel. je Stufe:			.50	.57	.59	.60
Mittelwerte der Prediktoren:		-.1753E-06	.1090E+01	.5031E+01	.3446E+02	.1073E+02
Regressionskoeffizienten:		.1179E+02	-.1560E+01	-.1560E+01	-.2760E+00	.5040E+00
Streuung der Zielgröße:	21.34	Reststreuung	17.05	Fälle 3111		
Effektiver Freiheitsgrad:	1923					
mult. Korr.:	0.600					

Stunde 16

Prediktoren zu Stat.UBO04:		1	36	31	53	6	32	17
Einfache Korrelation:		1.00	.63	.44	.54	.16	.28	.41
Multiple Korrel. je Stufe:			.63	.67	.70	.71	.72	.72
Mittelwerte der Prediktoren:		-.1913E-06	.5043E+02	.7445E+00	.1073E+02	-.5384E+01	.2651E+02	-.2262E+02
Regressionskoeffizienten:		.1735E+02	-.4079E+00	.1915E+00	.9099E+00	.1944E+00	-.2893E+00	-.8994E-01
Streuung der Zielgröße:	27.64	Reststreuung	19.12	Fälle 3111				
Effektiver Freiheitsgrad:	1975							
mult. Korr.:	0.722							

3.3 Zum Problem der iterativen Wetterbereinigung

Wie man sich leicht vor Augen führen kann, erzeugen Trends und periodische Schwingungen in einer Zeitreihe nicht zu vernachlässigende Scheinkorrelationen. Außerdem werden die eventuell vorhandenen Trends durch eine Wetterbereinigung weitestgehend mit eliminiert. Eine multiple Korrelationsanalyse selektiert aus der Vielzahl der angebotenen potentiellen Prediktoren eben auch solche, die einen vorhandenen Trend eliminieren (Minimierung der Reststreuung). Deshalb ist es unerlässlich, lineare Trends und Perioden aus den Datenreihen zu entfernen, um sie nach der Wetterbereinigung wieder aufprägen zu können.

Der einer beliebigen Ozonmessreihe innewohnende Trend setzt sich nun aber aus zwei Komponenten zusammen; dem eigentlichen Stationstrend und dem wetterbedingten Trend, d.h. der durch die Veränderung des Wettergeschehens vorgetäuschte Stationstrend, der letztlich beseitigt werden soll.

(1) $T^1 = T^l_w + T_s$

T: Gesamttrend; Ts: eigentlicher Stationstrend; Tw : wetterbedingter Trend

Das Ziel einer Wetterbereinigung ist es nun, den wetterbedingten Trend aus dem eigentlichen Stationstrend zu eliminieren. Um dies zu erreichen, werden bekanntermaßen die Zusammenhänge zwischen meteorologischen Größen und der Ozonmessreihe hergestellt. Um zu Verhindern, dass Scheinkorrelationen berechnet werden, müssen, wie oben ausgeführt, vorhandene Trends und periodische Schwankungen aus allen Reihen, somit auch aus den Ozonreihen eliminiert werden.

Im Gegensatz zu den verwendeten meteorologischen Reihen besteht der Trend der Ozonmessreihe aus zwei Komponenten, dem eigentlichen Stationstrend T_s und dem wetterbedingten Trend T_w. Eliminiert werden soll jedoch nur der Stationstrend T_s. Da der wetterbedingte Trend T_w anfangs noch nicht bekannt ist, wird nach (1) möglicherweise ein falscher Trend eliminiert. Deshalb ist es notwendig, die Wetterbereinigung als einen iterativen Prozess durchzuführen. Nach der ersten Iteration ist die erste Näherung des wetterbedingten Trends T^l_w bekannt und wird in (2) verwendet.

(2) $T^2 = T^1 - T^l_w$

Nach der Korrektur, des aus der Ozonreihe zu eliminierenden Stationstrends T_s um die erste
Näherung des wetterbedingten Trends T^l_w, erfolgt eine erneute Wetterbereinigung.

Es wurde untersucht, wie schnell $\bullet T^i_w = T^i_w - T^{i+1}_w$; i=1,2,..n konvergiert. Hierzu wurde eine Wetterbereinigung an 73 Ozonreihen für drei Iterationsstufen durchgeführt (Tab.1).

$\bullet T^i_w = T^i_w - T^{i+1}_w$	$\bullet T^1_w$	$\bullet T^2_w$	$\bullet T^3_w$
Mittlerer absoluter wetterbedingter Trend	4.81 µg	0.52 µg	0.13 µg

Die Untersuchung zeigt, dass der Prozess sehr schnell konvergiert und zudem für die praktischen Belange der Trenduntersuchungen nicht von Bedeutung ist. Die Änderungen von Tw , die durch die zweite und dritte Stufe der Iteration bewirkt werden, sind mit 0.52µg nach der zweiten Iteration und 0.13µg nach der dritten Iteration zu gering, um von praktischem Belang zu sein. Dies bedeutet, dass zur Bestimmung des wahren Stationstrends (GI. 1) die erste Näherung der Wetterbereinigung verwendet werden kann, wie dies bisher üblicherweise geschieht.

3.4 Berechnung der 'wetterbereinigten' Datenreihen

Wie am Beispiel der Station Schauinsland demonstriert, wurde für alle 480 zur Verfügung stehenden Messreihen eine Wetterbereinigung vorgenommen. Generell wurde die Wetterbereinigung getrennt für das Winter- und Sommerhalbjahr berechnet. Da für das Sommerhalbjahr zudem ozonspezifische Wetterlagen aus dem Forschungsthema: "Erstellung einer Ozon-Kurzfristprognose für das Smog-Frühwarnsystem", F&E- Vorhaben 10402817 des Umweltbundesamtes, Zwischenbericht 2/1997, zur Verfugung standen, konnte für diesen Zeitraum eine wetterlagenspezifische Wetterbereinigung durchgeführt werden.

Nach der Beseitigung des Jahresganges und der linearen Trends aus den Reihen, wurde nun für jede Stunde separat eine Wetterbereinigung durchgeführt. Aus Gründen der statistischen Stabilität wurde ein fünfstündig-gleitendes Mittel der jahresgang-bereinigten Ozonreihen zur Wetterbereinigung verwendet.

In Abb.5a sind der Tagesgang des Korrelationskoeffizienten und die Streuung mit und ohne wetterlagenbedingte Wetterbereinigung für das Sommerhalbjahr sowie in Abb.5b für das Winterhalbjahr als Mittel über alle 480 zur Verfügung stehenden Stationen aufgetragen. Allerdings existieren für das Winterhalbjahr keine Ozonwetterlagen, so dass es hier keine wetterlagenspezifische Wetterbereinigung gibt. Es lassen sich folgende Aussagen gewinnen:

- Die Güte der Wetterbereinigung ist im Sommer deutlich höher als im Winter. Sie liegt maximal bei einem Bestimmtheitsmaß von 0.58%.
- Die Wetterabhängigkeit der Bodenozonkonzentration im Sommer ist in den Morgenstunden am geringsten und erreicht ihr Maximum gegen 16 Uhr, zur Zeit der täglichen Ozonmaxima.
- Die Wetterabhängigkeit der Bodenozonkonzentration im Winter weist einen nahezu gegen-läufigen Tagesgang im Vergleich zum Sommer auf. Sie ist am besten in den Morgenstunden und erreicht das Minimum gegen 17 Uhr. Allerdings ist der Tagesgang sowohl der Ausgangsstreuung als auch der des Korrelationskoeffizienten deutlich geringer.
- Die wetterlagenbedingte Wetterbereinigung bringt eine Zunahme des Bestimmtheitsmaßes von ca. 9%.

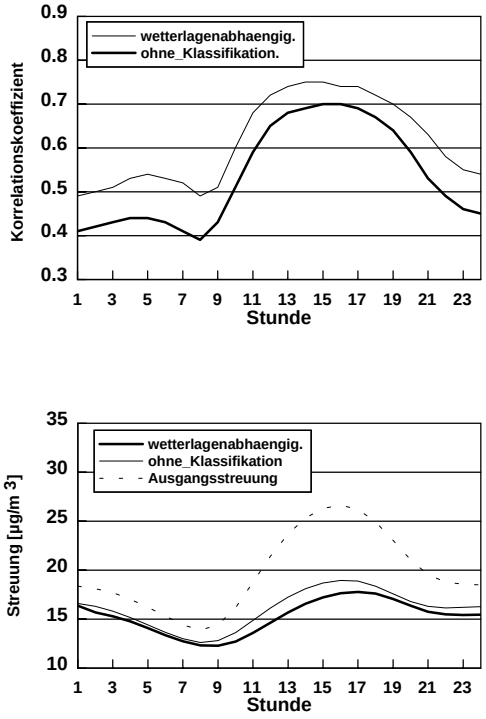


Abb. 5a: Güte der Wetterbereinigung Sommer 1980 - 1997, Mittel über 480 Stationen

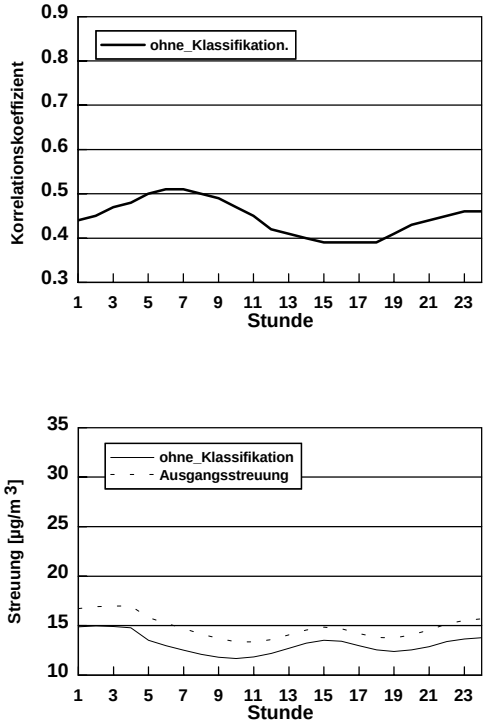


Abb. 5b: Güte der Wetterbereinigung Winter 1980 - 1997, Mittel über 482 Stationen

Aus den Abb.6a und Abb.6b ist der Tagesgang der Güte der Wetterbereinigung für die einzelnen Wetterlagen dargestellt. Die Wetterlagen selbst sind aus Abb.1 ersichtlich. Es lassen sich daraus folgende Aussagen gewinnen:

- Die Güte der Wetterbereinigung ist eng mit dem Tagesgang der Streuungen verbunden.
- Die mit Hochdruckgebieten in Verbindung stehenden Klassen weisen deutlich stärker ausgeprägte Tagesgänge (Streuung Abb.6a, Korrelationskoeffizient Abb.6b) auf (hierzu zählt auch die Südlage SL und Tief Frankreich TF, die beide eine südwestliche Anströmrichtung aufweisen) als die zyklonal geprägten Wetterlagen.
- Die geringsten Tagesgänge und die geringste Güte der Wetterbereinigung sind bei der Wetterlage Tief Mitteleuropa TM mit BM=0.33% und Tief Genua mit BM = 42% zu verzeichnen. Im Vergleich dazu hat die Wetterlage Hoch Mitteleuropa HM ein BM = 61%. Es ist jedoch zu bemerken, dass die

Streuungen der Wetterlagen TM, TG und die der Westlage WL deutlich niedriger sind als die der Hochdrucklagen.

- Eine Reihe von Wetterlagen (TM, SL, RB und HS) weisen ein sekundäres Maximum der Güte der Wetterbereinigung gegen 4 Uhr auf Dies deutet darauf hin, dass unterschiedliche Prozesse, die für die Bodenozonkonzentration verantwortlich sind, für den Tag und die Nacht existieren. In den Morgenstunden scheinen sich beide Prozesse zu überlagern, so dass zu diesem Zeitpunkt effektiv die geringste Wetterabhängigkeit der Ozonkonzentration zu beobachten ist.

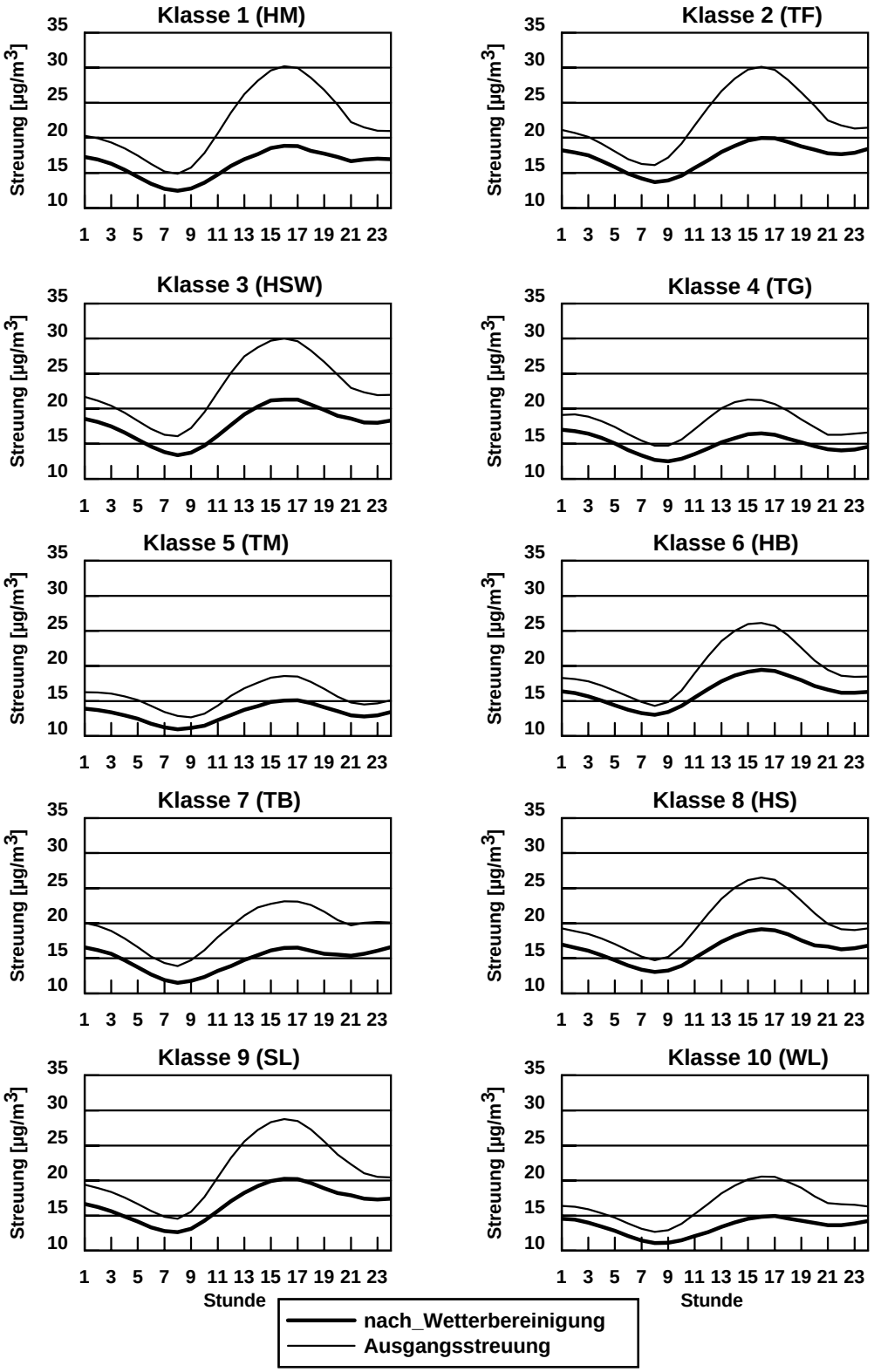


Abb. 6a: Güte der Wetterbereinigung Sommer 1980 - 1997,
Mittel über 480 Stationen

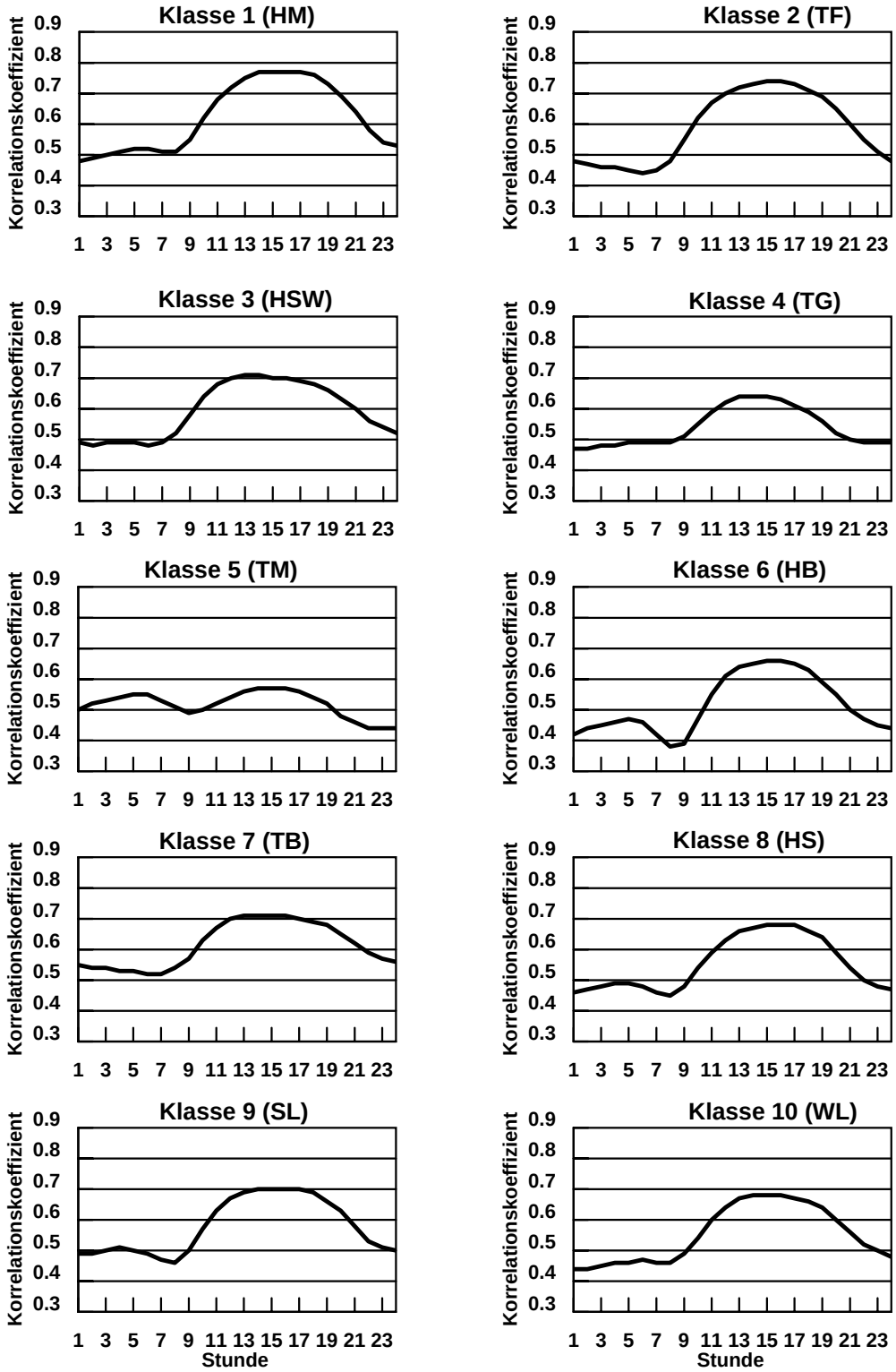


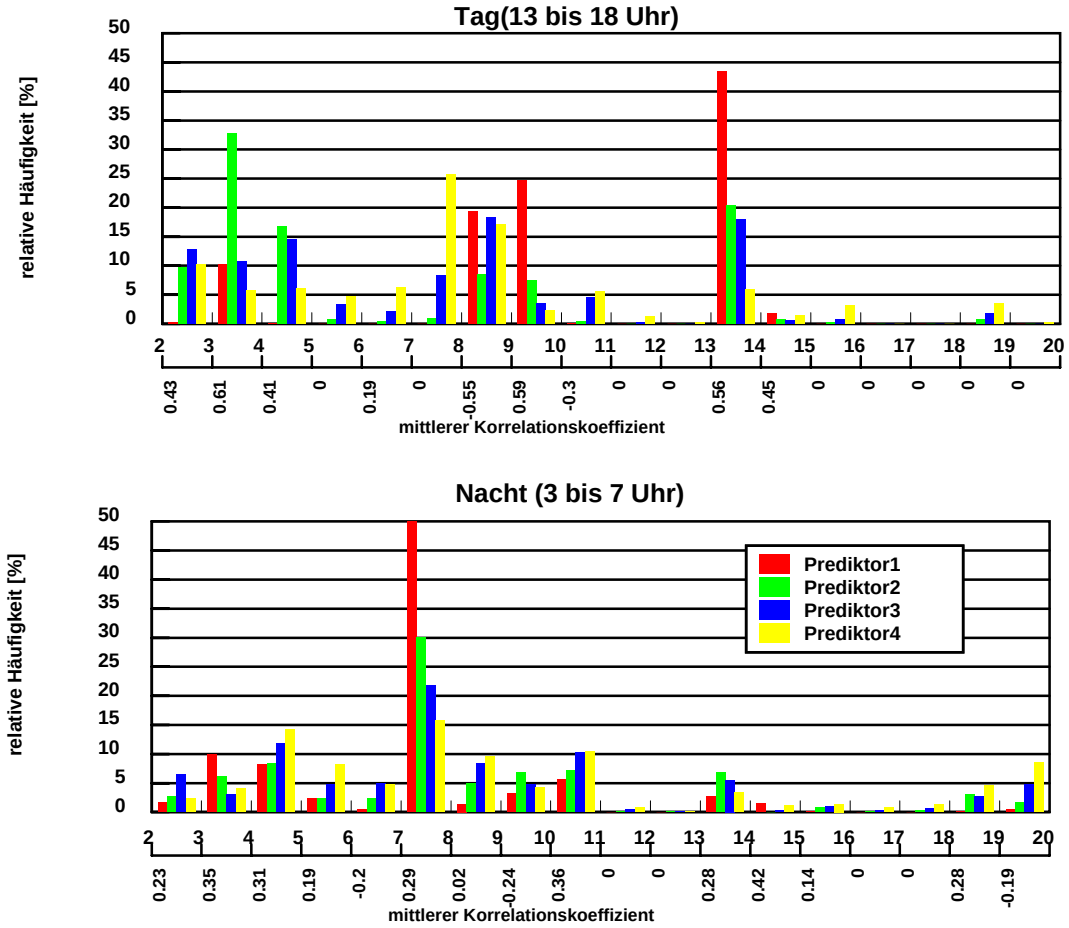
Abb. 6b: Güte der Wetterbereinigung Sommer 1980 - 1997,
Mittel über 480 Stationen,

Tab. 3: Erläuterung der Bedeutung der in den Abb.7 und Abb.8 verwendeten Prediktorentypen

Nr.	Typ Pred.	Typ-Nr.	Prediktor
2	Klima Ozon	2	Aus der Wetterlagenklassifikation abgeleitetes Ozonmaximum [µg/m3]
3	Max. Temp.	3	Tagesmaximum der Lufttemperatur [0.1°C] Abweichung vom Jahresgang
4	Min. Temp.	4	Tagesminimum der Lufttemperatur [0.1°C] Abweichung vom Jahresgang
5	N/S-Wind	7, 9	Windgeschwindigkeit 14, 21°°Uhr N/S-Komponente [0.1 Bft]
6	O/W-Wind	6, 8, 10	Windgeschwindigkeit 7, 14, 21°°Uhr O/W-Komponente [0.1 Bft]
7	Windmittel	11, 23, 32, 41	Tagesmittel der Windstärke [0.1 Bft]
8	Bed. Wolken	12-15, 24-27, 33-36, 42-45	Bedeckungsgrad mit allen Wolken Termin 1,2,3 und als Mittel über alle Termine[/8]
9	Dauer Sonne	16, 28, 37, 46	Tagessumme der Sonnenscheindauer [0.1 Std.]
10	Niederschlag	17-20, 29, 38, 47	Niederschlagshöhe 24-stündige 21:30-07:30, 07:30-14:30, 14:30-21:30 MEZ log (mm+0.01)*10
11	Invers. Höhe	51	Inversionshöhe [10Om]
12	Energiebed.	52	Energie zur Inversionsauflösung [cal/cm2]
13	Kond. Niveau	53	Höhe des Kondesationsniveaus [100m]
14	Auslösetemp.	54	Auslösetemperatur [°C]
15	Obergr. Wolken	55	Wolkenobergrenze bei Erreichen der Auslösetemperatur [100m]
16	Durchmischung	56	Höhe der Durchmischungsschicht bei trocken adiabatischer Durchmischung [10Om]
17	Obergr. Wolken	57	Wolkenobergrenze bei Erreichen des Temperaturmaximums [100m]
18	Tmax-Auslöse..	58	Tagesmaximum der Temperatur -Auslösetemperatur [°C]
19	Nr. Ozonwetterl.	59	Klassennummern der Ozonwetterlagen
20	Tmax-4täg.	60	4-tägiges Mittel des Tagesmaximums der Lufttemperatur

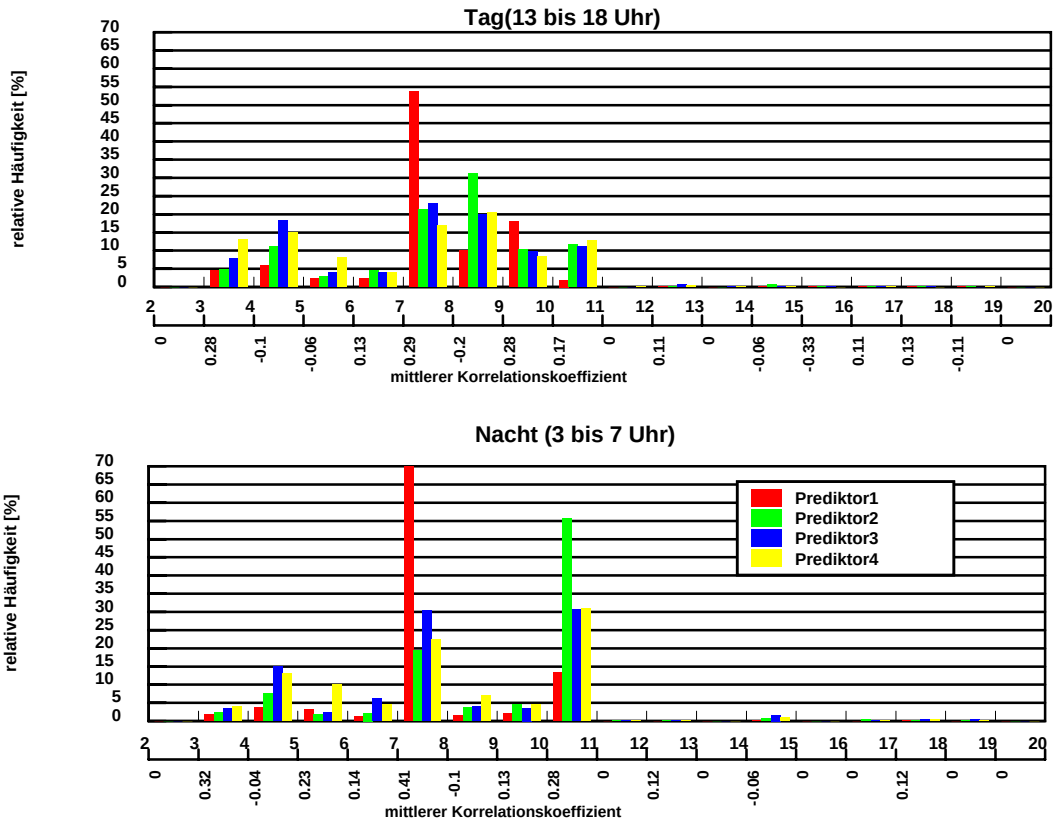
Die unterschiedlichen Abhängigkeiten der Konzentration des bodennahen Ozons zwischen den Tag- und den Nachtstunden werden in Abb.14a und Abb.14b belegt. Hier wird die relative Häufigkeit der Verwendung unterschiedlicher Prediktorentypen (Tab.3) zur Wetterbereinigung angegeben. Prediktor 1, 2,..4 bedeutet dabei die Reihenfolge der zur multiplen Regression verwendeten Prediktoren, sie ist also auch ein relatives Maß der Wichtigkeit der Einflussgrößen. Die Einfache Korrelation des ersten (wichtigsten) Prediktors als Mittel über alle Stationen, die diese Einflussgröße an erster Stelle verwenden, ist in der zweiten X-Achse aufgetragen. Daraus lässt sich sowohl die Richtung als auch die Stärke der Abhängigkeit von dieser Einflussgröße erkennen.

- Im Gegensatz zu der weit verbreiteten Vorstellung, dass die Maximumtemperatur in den Sommermonaten die bestimmende Einflussgröße ist, ist aus Abb.7a deutlich ersichtlich, dass die Höhe des Kondensationsniveaus in 43% der Fälle, die Bedeckung mit Wolken in 19% und die Sonnenscheindauer mit 24% weit vor der Maximumtemperatur mit 10% liegen. Dies gilt allerdings nur im diagnostischen Fall!



2: Klima Ozon
3: Max.Temp.
4: Min.Temp.
5: N/S - Wind
6: O/W - Wind
7: Windmittel
8: Bed. Wolken
9: Dauer Sonne
10: Niederschl.
11: Invers. Höhe
12: Energiebed.
13: Kond. Niveau
14: Auslösetemp.
15: Obergr.Wolken
16: Durchmischung
17: Obergr. Wolk.
18: Tmax-Ausl.Temp.
19: Nr. Ozonwetterl.
20: Tmax, 4-täg. Mittel

Abb. 7a: Häufigkeit der Verwendung von Prediktorentypen zur Wetterbereinigung als Mittel über alle Wetterlagen Sommer, 1980-97, 480 Stationen



2: Klima Ozon
3: Max.Temp.
4: Min.Temp.
5: N/S - Wind
6: O/W - Wind
7: Windmittel
8: Bed. Wolken
9: Dauer Sonne
10: Niederschl.
11: Invers. Höhe
12: Energiebed.
13: Kond. Niveau
14: Auslösetemp.
15: Obergr.Wolken
16: Durchmischung
17: Obergr. Wolk.
18: Tmax-Ausl.Temp.
19: Nr. Ozonwetterl.
20: Tmax, 4-täg. Mittel

Abb. 7b: Häufigkeit der Verwendung von Prediktorentypen zur Wetterbereinigung über alle Wetterlagen Winter, 1980-97, 480 Stationen

- In den Nachtstunden werden die Verhältnisse ganz wesentlich durch die mittleren Windverhältnisse geprägt. Die aus den Radiosondenaufstiegen abgeleiteten Stabilitätsgrößen der Atmosphäre spielen hingegen keine Rolle.
- Die Abhängigkeiten in den Nachtstunden gleichen auffällig den Verhältnissen in den Wintermonaten (Abb.7b) sowohl bezüglich der Auswahl der Prediktoren als auch bezüglich der Korrelationskoeffizienten.
- Im Winterhalbjahr ist der Niederschlag in den Nachtstunden nach der mittleren Windgeschwindigkeit die wichtigste Einflussgröße.

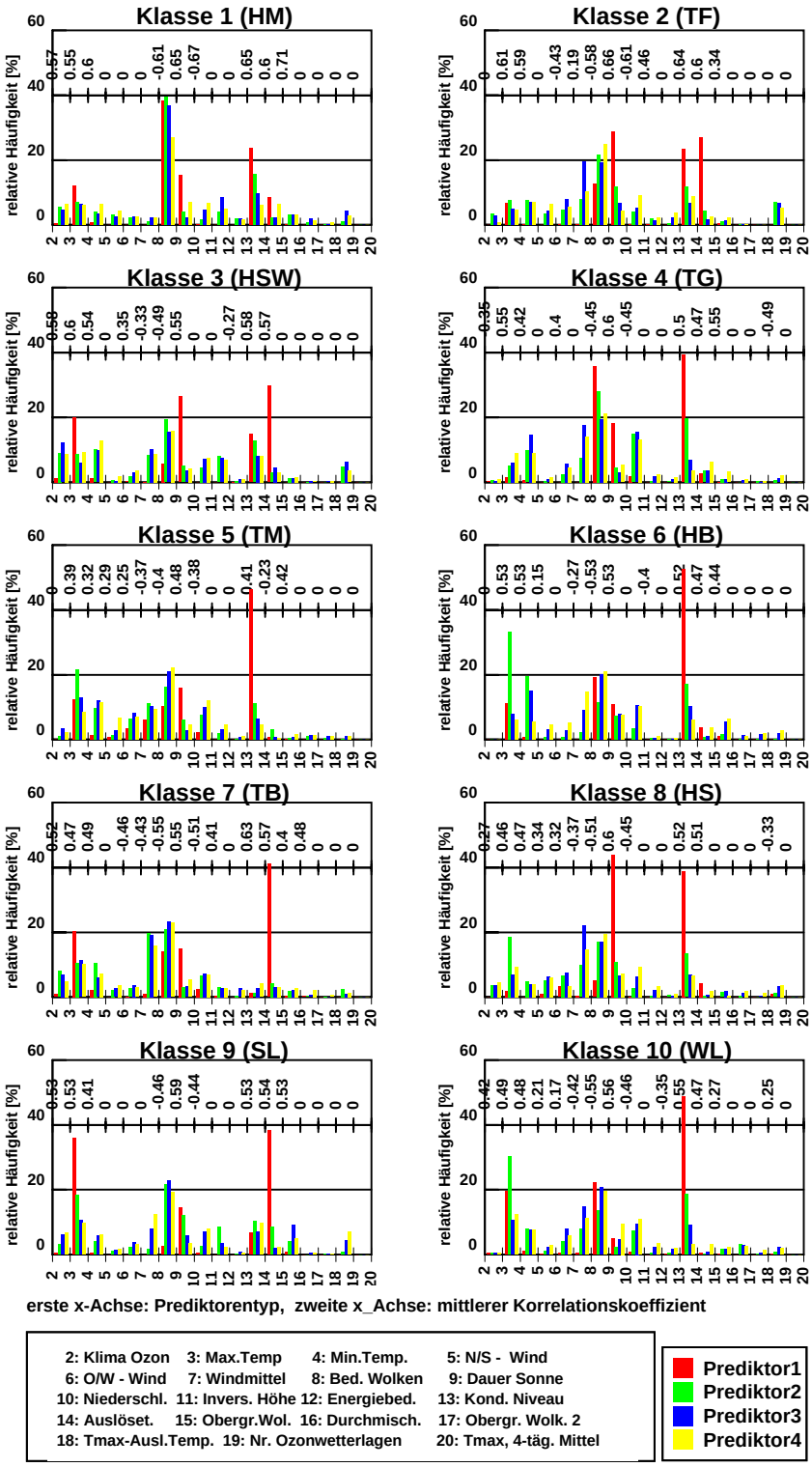


Abb. 8a: **Häufigkeit der Verwendung von Prediktorentypen zur Wetterbereinigung in Abhängigkeit von der Ozonwetterlage, Sommer, 13 bis 18 Uhr, 1980-97, 480 Stationen**

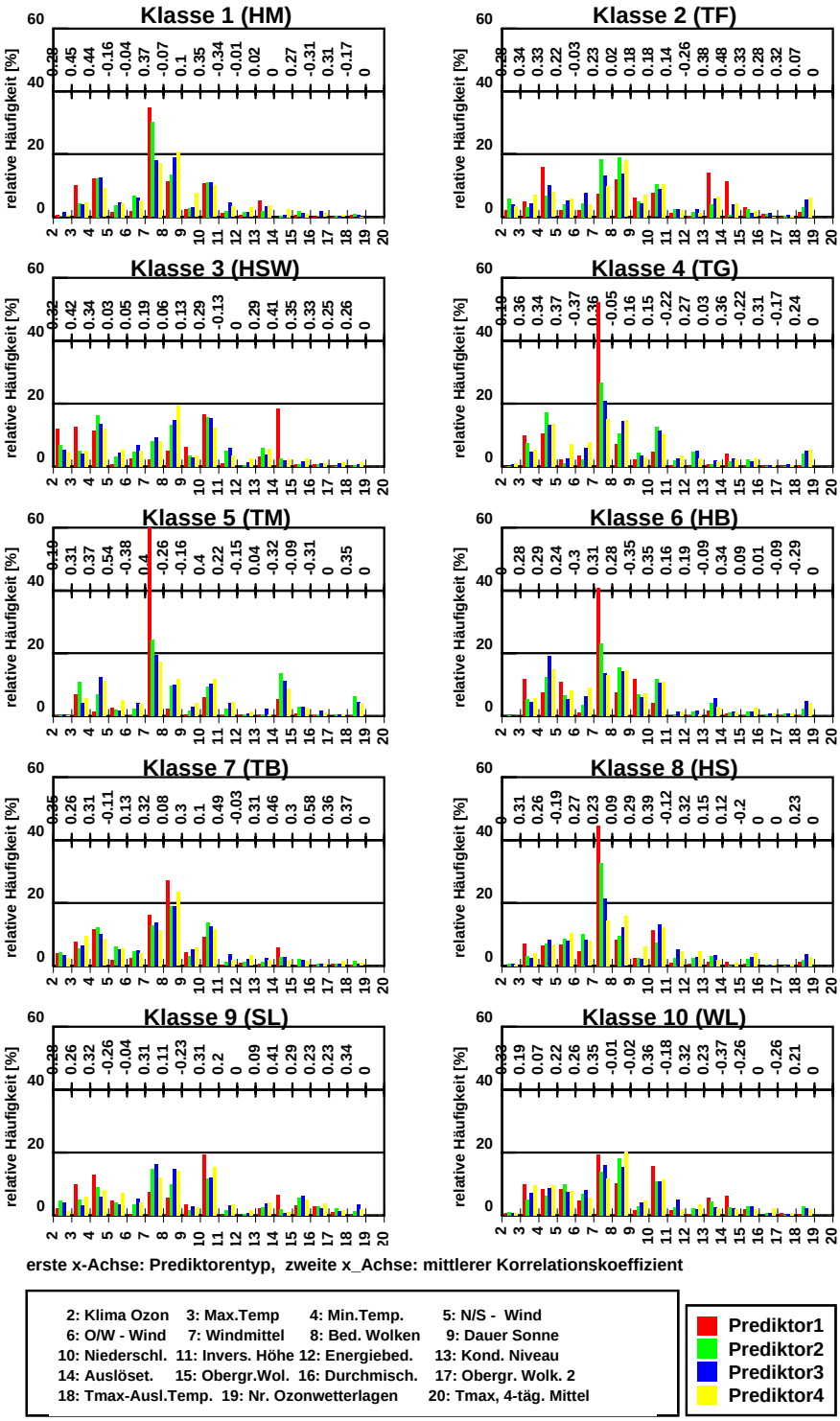


Abb. 8b: **Häufigkeit der Verwendung von Prediktorentypen zur Wetterbereinigung in Abhängigkeit von der Ozonwetterlage, Sommer, 3 bis 7 Uhr, 1980-97, 480 Stationen**

Für die Wetterlagenspezifische Prediktorenauswahl (Abb.8a, Abb.8b) lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Die Prediktorentypen 13 und 14, die die Stabilität der Atmosphäre beschreiben, sind vor allem für die zyklonal geprägten Wetterlagen wichtig (TM, TB, TG, WL, und SL) ebenso spielte bei der Wetterlage Hoch Britische Inseln HB dasKondensationsniveau bei ca. 50% der Stationen die wichtigste Rolle.
- Bei der Wetterlage HM sind Bewölkung und Sonnenscheindauer die bestimmenden Einflussgrößen.
- Das Tagesmaximum ist bei den Wetterlagen SL, WL, TB und HSW ein relativ häufig verwendeter Prediktor.
- In den Nachtstunden dominiert die mittlere Windgeschwindigkeit als Prediktor. In den Klassen HSW, SL, TF und WL ist dies jedoch nicht der Fall.

Betrachtet man das Gesamtergebnis der Wetterbereinigung, so erscheint auf den ersten Blick eine Varianzreduktion von 50% (bzw. maximal 58% bei Einbeziehung der Wetterlagen) relativ gering. Stellt man jedoch in Rechnung, dass Messungenauigkeiten in den 90iger Jahren mit mindestens 6% zu Buche schlagen und die Variabilität der Vorläufersubstanzen zur
Ozonbildung bzw. Auflösung einen Beitrag von ca. 25% leisten, so erscheint die verbleibende Unbestimmtheit durchaus vertretbar (Abb.9)

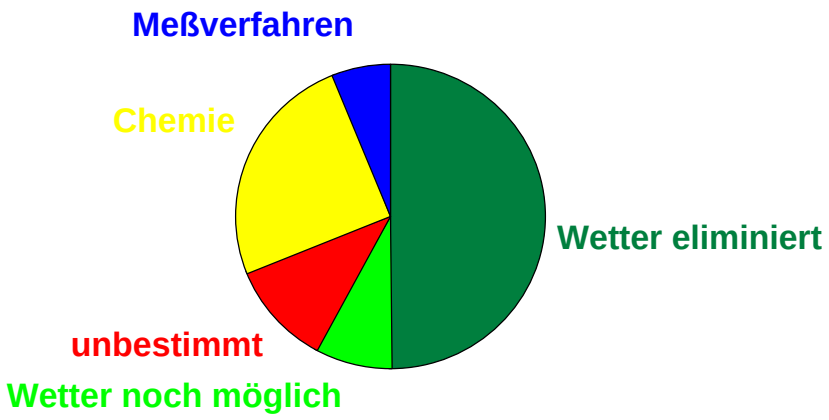
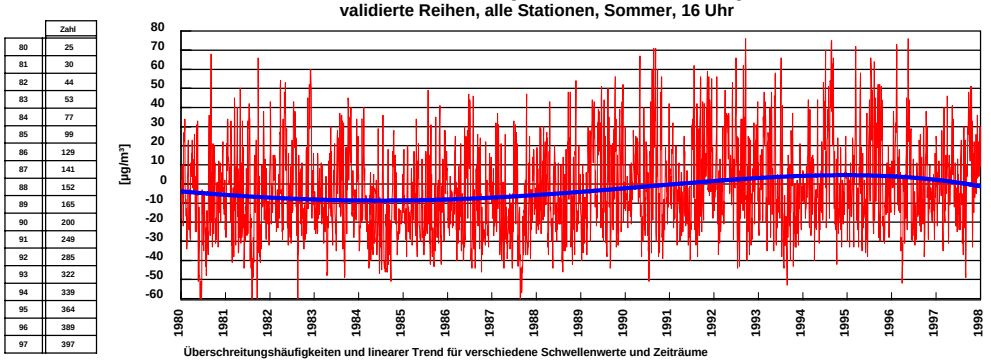


Abb. 9: Relativer Beitrag zur Variabilität der täglichen Ozonmaxima

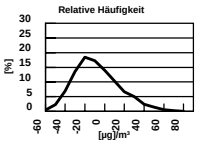
3.5 Renormierung der Ozonmessreihen

Am Beispiel der UBA Station Schauinsland (Abb.4) wird die Wirkung der Wetterbereinigung auf die täglichen Ozonmaxima demonstriert. Nach der Wetterbereinigung Abb.4c ist gegenüber der nicht wetterbereinigten Reihe eine deutliche Verringerung der Variabilität der Reihe zu erkennen. Dies zeigt auch der Vergleich der beiden Häufigkeitsverteilungen in diesen Abbildungen.

Abb. 10a: Gemittelte Abweichung von den Stationsklimatologien validierte Reihen, alle Stationen, Sommer, 16 Uhr

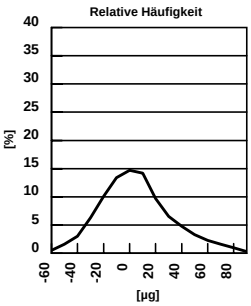


	Zahl
80	25
81	30
82	44
83	53
84	77
85	99
86	129
87	141
88	152
89	165
90	200
91	249
92	285
93	322
94	339
95	364
96	389
97	397



Überschreitungshäufigkeiten und linearer Trend für verschiedene Schwellenwerte und Zeiträume

	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Haeufigkeit	1,039	955	772	555	379	233	126	74	28	12	3	0	0
Trend/Jahr[%]_80/86	0.4	-0.2	-2	-2.9	-2.2	-1.2	-1.6	-0.6	-0.2	-0.2	-2.1	0	0
Haeufigkeit	1,792	1,656	1,405	1,071	750	510	320	194	97	48	17	6	0
Trend/Jahr[%]_86/94	0.2	1.3	2.7	2.8	2.9	2.3	2.1	1.6	1	0.8	0.3	-1.1	-0.5
Haeufigkeit	727	698	627	500	365	237	156	95	55	32	15	6	0
Trend/Jahr[%]_94/97	-0.3	-0.4	0.4	2.8	2.2	-0.2	-0.9	-2	-2.4	-2.1	-1.1	-0.5	0



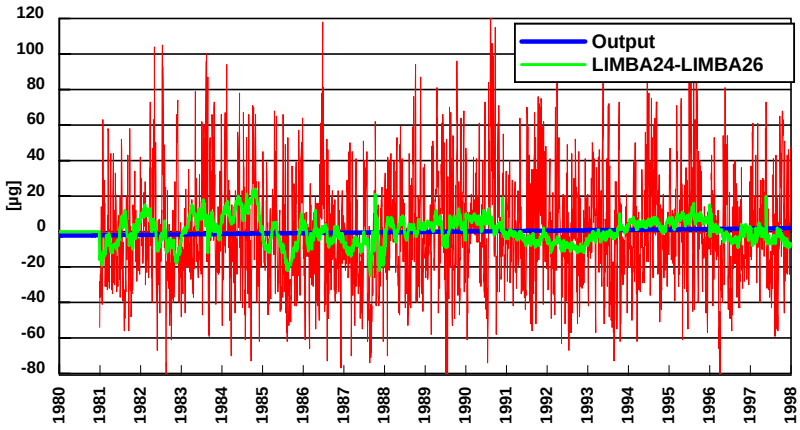
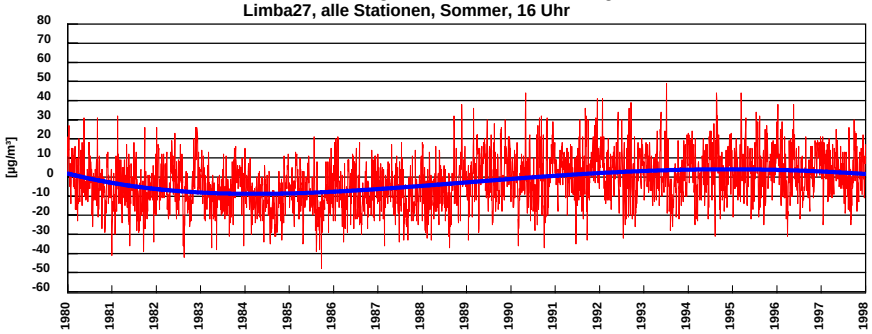


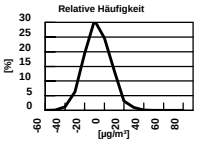
Abb. 4a: Abweichung von der Stationsklimatologie Limba 26 und systematischer Fehler (Validierung Stufe 3) UBA 004 Schauinsland, Sommer, 16 Uhr

Für eine Trendanalyse von Überschreitungshäufigkeiten (z.B. 140pg, 180pg, 240pg) oder aggregierter Werte eignet sich dieser Datensatz nicht. Wie schon aus der in Augenscheinnahme der wetterbereinigten Datenreihe in Abb.4b ersichtlich ist, fehlen extreme Ozonwerte vollständig. Diese sind der Wetterbereinigung 'zum Opfer gefallen', da die wetterbedingte Variabilität der Ozonmessreihen nicht mehr vorhanden ist.

Abb. 10 b: Gemittelte Abweichung von den Stationsklimatologien Limba27, alle Stationen, Sommer, 16 Uhr

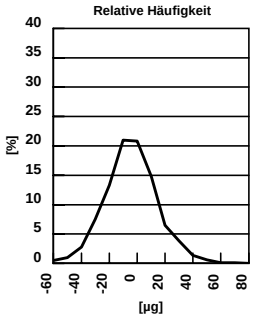
	Zahl
80	25
81	30
82	44
83	53
84	77
85	99
86	129
87	141
88	152
89	165
90	200
91	249
92	284
93	322
94	339
95	364
96	389
97	391





Überschreitungshäufigkeiten und linearer Trend für verschiedene Schwellenwerte und Zeiträume

	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Haeufigkeit	1,095	1,073	970	685	308	91	16	3	0	0	0	0	0
Trend/Jahr[%]_80/86	0	-0.6	-2.7	-4.9	-4.5	-2.3	-0.4	-1.6	0	0	0	0	0
Haeufigkeit	1,830	1,809	1,695	1,348	792	343	92	28	6	0	0	0	0
Trend/Jahr[%]_86/94	0	0.2	1.3	4	4.6	3	1.1	0.3	-0.5	0	0	0	0
Haeufigkeit	733	731	712	633	448	222	55	11	3	0	0	0	0
Trend/Jahr[%]_94/97	0	0.1	0.6	0.3	-1.2	-1.3	-1.6	-0.5	-0.4	0	0	0	0



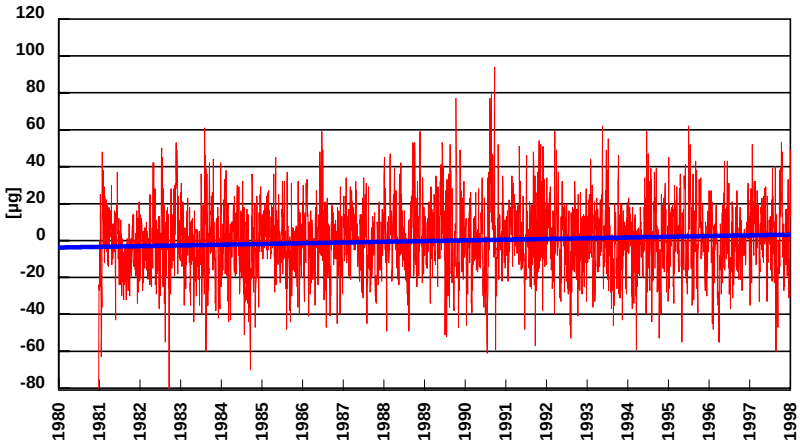


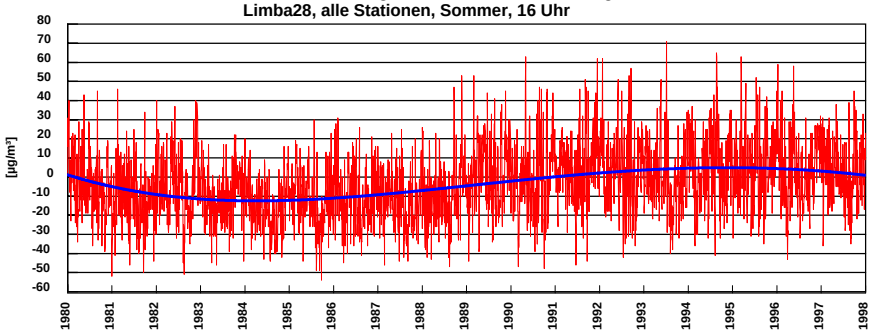
Abb. 4b: Abweichung von der Stationsklimatologie Limba 27, UBA 004, Sommer, 16 Uhr

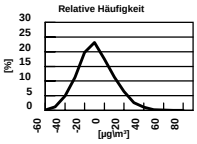
Die Reihen zeigen nun eine solche Streuung, als wenn über die Jahre hinweg ein sogenanntes 'Einheitswetter' geherrscht hätte. Die verbleibende Variabilität hat nun andere Ursachen (vgl. Abb.9).

Die wetterbereinigte Reihe wird in dem nun folgenden Schritt dazu verwendet, die Originalreihen (Abb.4a) so zu sortieren, das eine Reihe entsteht, die in ihrer statistischen Struktur mit der Ausgangsreihe identisch ist. Ein zeitlicher Bezug der einzelnen Messwerte zu dem entsprechenden Datum ist jedoch nicht mehr gegeben .

Abb. 10 c: Gemittelte Abweichung von den Stationsklimatologien Limba28, alle Stationen, Sommer, 16 Uhr

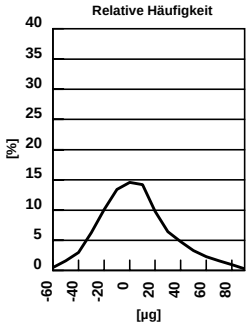
	Zahl
80	25
81	30
82	44
83	53
84	77
85	99
86	129
87	141
88	152
89	165
90	200
91	249
92	284
93	322
94	338
95	364
96	389
97	391





Überschreitungshäufigkeiten und linearer Trend für verschiedene Schwellenwerte und Zeiträume

	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Haeufigkeit	1,075	999	833	553	286	125	44	16	4	0	0	0	0
Trend/Jahr[%]_80/86	-0.3	-1.4	-3.6	-5.7	-4.3	-2.5	-1.5	-0.4	-1.7				0
Haeufigkeit	1,808	1,723	1,512	1,152	753	425	214	89	36	13	6	1	0
Trend/Jahr[%]_86/94	0.3	0.9	2.7	4.6	4.5	3.4	2.2	1.1	0.4	0.2	-0.4	-0.4	0
Haeufigkeit	731	713	678	578	409	266	137	53	18	7	3	0	0
Trend/Jahr[%]_94/97	0.1	0.6	0.9	-0.2	-2.6	-1.2	-2.1	-1.7	-0.9	-0.4	-0.4	0	0



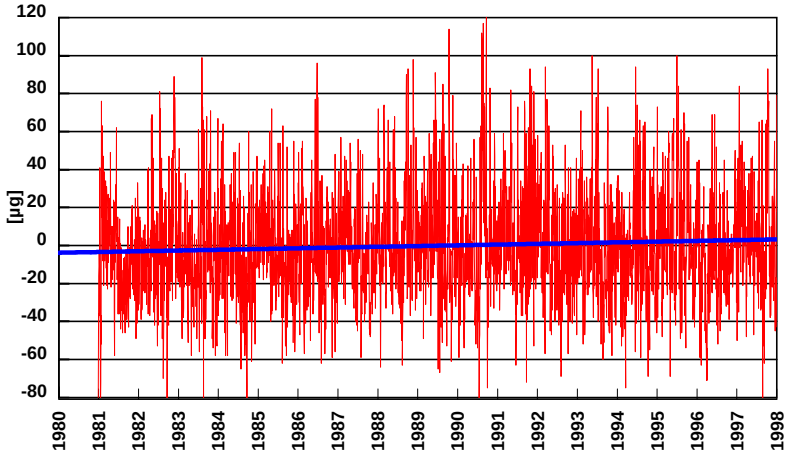


Abb. 4c: Abweichung von der Stationsklimatologie Limba 28, UBA 004, Sommer, 16 Uhr

Dazu werden in einem ersten Schritt die Rangfolgen der wetterbereinigten Reihe und der Ausgangsreihe bestimmt.

In einem zweiten Schritt erfolgt die Zuordnung des Wertes des Ranges der Originalreihe zu dem Rang der wetterbereinigten Reihe. Im Ergebnis liegt eine Ozonreihe vor, deren Einzelwerte über den untersuchten Zeitraum so verteilt sind, als ob über die Jahre hinweg ein Einheitswetter herrschte. Das Ergebnis für die UBA -Station Schauinsland ist in Abb.4c dargestellt.

Es wird sofort deutlich, dass die Häufigkeitsverteilung der Ausgangsreihe und der renormierten Reihe identisch sind und dementsprechend keine Unterschiede in der Variabilität der Zeitreihe zu erkennen sind. Der Effekt der Wetterbereinigung äußert sich lediglich in einer leichten Verstärkung des mittleren linearen Trends nach der Renormierung.

Die Abb.10a bis Abb.10c sind von gleichem Inhalt wie die Abb.4a bis Abb.4c, nur dass es sich hier um eine Mittelung der Stundenwerte (hier 16 Uhr) über alle in dem konkreten Jahr zur Verfügung stehenden Messreihen handelt. Wie viel Messreihen in einem Jahr zur Mittelung verwendet wurden, ist auf der linken Seite aufgeführt. Zusätzlich wurden lineare Trends für die Intervalle 1980 bis 86, 1986 bis 94 und 1994 bis 97 für Überschreitungshäufigkeiten zwischen –40µg und +80µg berechnet. Die Ergebnisse sind in der unteren Tabelle ausgewiesen.

Die Grundaussagen, die schon an der Station Schauinsland (Abb.4) getroffen wurden, gelten auch für stabile, gemittelte Reihen. Zwei wesentliche Unterschiede fallen jedoch auf

- Es existiert kein linearer Trend, sondern eine langgestreckte Welle.
- Die Häufigkeitsverteilungen der Ausgangsreihe (Abb.10a) und der renormierten Reihe (Abb.10c) stimmen nicht genau überein, obwohl die Verteilungen jeder einzelnen Reihe exakt reproduziert werden kann (Abb. 4). Die Ursache liegt in der Mittelung selbst. Durch die Wetterbereinigung erfolgt gewissermaßen eine 'Verschmierung' der Messwerte, so dass eine Mittelung eher eine Aufsteilung der Glockenkurve gegenüber der Ausgangsreihe bewirkt. Die Berechnung von

Trends der Überschreitungshäufigkeiten darf deshalb nicht auf die gemittelte Reihe bezogen werden, sondern es müssen die Überschreitungshäufigkeiten für jede Reihe getrennt bestimmt und erst danach gemittelt werden.

Die Interpretation der hier sichtbar werdenden Trends soll jedoch nicht an dieser Stelle erfolgen. Hierzu müssen sich erst weitere Untersuchungen anschließen, die dann in einem nachfolgenden Kapitel diskutiert werden.

4 Literatur

01 AsnaBi, G.C., 1993: Tropical Metorology Indien , 1200 pp

02 Beilke, S., 1991: Meteorologische Voraussetzungen für die Bildung von Ozon und Sommersmog Proceedings Ozon-Symposium München, 2. -4. Juli 1991, Herausgeber: TÜV Akademie Bayem/Hessen GmbH München

03 Beilke, S., 1996: Räumliche Verteilung und zeitliche Entwicklung der Ozonbelastung in Mitteleuropa interner Arbeitsbericht des Umweltbundesamtes

04 Enke, W., 1984: Ein adaptives Regressionsmodell-lernende, lineare, multiple Regression Z. Meteor., 34,2,66- 74

05 Enke, W., 1986: Ein Verfahren zur Aufstellung statistischer Prognosealgorithmen als Einheit von Cluster- Diskriminanz- und Regressionsanalyse Z.f. Meteoro1., 36,2, S. 117-122

06 Enke, W., 1988: Ein erwartungstreues lineares Selbstorganisationsmodell Z.f. Meteorol., 35,5, s. 308-314

07 Enke, W. und A. Spekat, 1997b: Downscaling Climate Model Outputs into Local and Regional Weather Elements by Classification and Regression Climate Research, 8, 195-207

08 Fillinger, P., 1996: Troposphärisches Ozon -Aktuelle Forschungsergebnisse und ihre Konsequenzen für die Luftreinhaltung Schriftreihe Umwelt Nr. 277 -Luft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUW AL), Bern 1996

09 Förder, L., P. Maly, M. Wolf, T. Bitterund J. Thudium, 1996: Luftverschmutzung und Meteorologie in der Schweiz. Umweltmaterialien Nr. 53 -Luft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

10 Fricke, W., 1980: Die Bildung und Verteilung von anthropogenem Ozon in der unteren Troposphäre Geoph. Univ. Frankfurt/Main Nr. 44

11 Fricke, W., 1996: Bodennahes Ozon: Anstieg der Mittelwerte, aber kein Anstieg der Maxima seit 1971 Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Nr. 34

12 Fricke, W. und K. Uhse, 1994: Anteil von Witterungs und Emissionsminderung am SO2 -Rückgang in Deutschland Staub -Reinhaltung der Luft, 54, 7/8, 289-296

13 Förderer, L., P. Maly, M. Wolf, T. Bitter und J. Thudium, 1996: Trendanalyse schweizerischer Luftschadstoff-lmmissionsdaten Umweltmaterialien Nr. 53 Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1996

14 Hess, P. and H. Brezowsky , 1969: Katalog der Großwetterlagen Europas Ber. Dt. Wetterdienst, 133, Offenbach

15 Kirch, H..D., 1997: Methoden und Prozesse der atmosphärischen Chemie PROMET,26, 1/2,61- 68

16 Mayer, H. und J. Schmidt, 1997: Analyse von sogenannten 'Ozon Wetterlagen' Ann. Meteorol. 33, 81-86

17 Mayer, H. und J. Schmidt, 1998: Problematik der Kennzeichnung von sogenannten 'Ozon Wetterlagen' Meteorol. Zeitschrift, N .F .7, 41-48

18 Neininger, B., J. Dommen u.a. 1996: Luftverschmutzung und Meteorologie in der Schweiz Umweltmaterialien Nr. 63 -Luft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

19 Ruggaber, A., 1994: Modellierung photolytischer Prozesse in der Troposphäre. Universität München Meteorologisches Institut, Wissenschaftliche Mitteilungen Nr. 68

20 Röth, E.-P ., 1985: Description of a One-Dimensional Model for Atmospheric Chemistry Berichte der Kernforschungsanlage Juelich, 2098, ISBN 0366-0885

21 Speth P ., S. Blonsky , und H. Kunz, 1996: Bestimmung des antropogenen und natürlichen Anteils am Ozon im mitteleuropäischen Raum aus meteorologischer Sicht. Jahresbericht über die wissenschaftlichen Ergebnisse 1995, BMFT Forschungsvorhaben 07EU777

22 Spichtinger, N., M., Winterhalter, P. Fabian, 1996: Ozone and Grosswetterlagen ESPR- Enviroment. Sci.& Pollut. Res. 3 (3) 145 -152

23 Steinacker, R., 1995: Synoptische Aspekte hochreichender Konvektion Fortbildungstagung (XiM-l) Krems 5.5