

# Kapitel 10

## Die finalen Ozonprognosen

### 10.1 Einführung und Zielsetzung

Nach der Berechnung der drei Teilprognosen und unter Hinzunahme der alten Regressionsroutine kann mit den finalen Prognosen begonnen werden. Diese sind:

- eine stationsbezogene Tagesmaximumvorhersage (Abschnitt 10.2) und
- eine Prognose der Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Schwellenwerten (Abschnitt 10.3).

Wie aus der Wetterprognose bekannt, erzielen kombinierte Prognosen oft bessere Ergebnisse als Einzelprognosen. In dieser Arbeit wurden in den vorhergehenden Kapiteln drei voneinander unabhängige Prognosemodelle vorgestellt. Weiterhin wurde im Kapitel 5 die bis ins Jahr 2002 am UBA laufende Methode kurz beschrieben. Die Idee der Finalprognose für das Maximum der Ozonkonzentration ist, eine Regression zu entwickeln, die unter Zuhilfenahme der vier Teilprognosen eine kombinierte Prognose berechnet (Abschnitt 10.2).

Die zweite Aufgabenstellung ist die Prognose von möglichen Schwellenwertüberschreitungen. Die Einzel- und auch die später vorgestellte Kombinationsprognose liefern einen konkreten Wert für jede Station. Weiterführender und durch die bekannte Fehlerstreuung der Prognose aussagekräftiger ist eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Schwellenwerten. So ist es möglich, dass die Stationsprognose knapp unter einem Schwellenwert liegt. Damit ist es sehr wahrscheinlich, dass eine Schwellenwertüberschreitung auftreten kann. Abschnitt 10.3 zeigt eine Möglichkeit eine solche Prognose durchzuführen.

## 10.2 Die Prognose des Tagesmaximums

Das Training der Regressionsfunktion erfolgte mit dem eingetroffenen Ozonwert<sup>1</sup> als Prädiktor und den vier Teilprognosen als Prädiktoren. Die Finale Prognose ist dann das Ergebnis der folgenden Gleichung:

$$O_{3_{Prog}} = A + B \times WL + C \times WE + D \times AN + E \times TR \quad (10.1)$$

mit  $A$  als additive Konstante;  $B, C, D$  und  $E$  als Koeffizienten und den Teilprognosen  $WL$  (Ozonwetterlagen),  $WE$  (Alte Regression),  $AN$  (Analogie) und  $TR$  (Trajektorien).

Die additive Konstante  $A$  und die vier Koeffizienten  $B, C, D$  und  $E$  werden für jede Station einzeln bestimmt. In Tabelle 10.1 werden beispielhaft für die Station Potsdam-Centrum/Hebelstraße (DEBB021) und die Station Stuttgart Bad Cannstatt (DEBW013) die Koeffizienten aufgelistet.

**Tabelle 10.1.** Koeffizienten und additive Konstante bei der Finalprognose für die Stationen Potsdam-Zentrum (DEBB021) und Stuttgart Bad Cannstatt (DEBW013)

Station	A	B	C	D	E
DEBB021	-17,892	0,404	0,481	0,032	0,208
DEBW013	-12,205	0,661	0,190	0,141	0,112

Mit diesen Koeffizienten ist festgelegt, welche Teilprognose wie viel Einfluss auf die Finalprognose hat. Die Teilprognosen  $WL$  und  $WE$  haben immer den größten Einfluss. Die Entwicklung dieser Parameter erfolgte an den Jahren 2000 und 2001. Am Jahr 2002 kann dann getestet werden, wie gut die finale Prognose ist.

Zur Verbesserung der Prognoseleistung und Maximierung der Anzahl der Stationen mit Prognose wurden noch zwei weitere Schritte hinzugefügt.

1. Wird in der Region in der die Station liegt die Ozonwetterlage 4 oder 5 erreicht, so erfolgt die Regression nur mit den Teilprognosen  $WL$  und  $WE$ , da diese bei höheren Ozonwerten bessere Prognosen liefern.
2. Sind bei einer Station nicht mindestens zwei Teilprognosen vorhanden, so wird keine Kombinationsprognose berechnet, sondern eine einzelne Teilprognose als Endprognose genutzt. Dabei gilt folgende Rangfolge 1.  $WL$ , 2.  $WE$ , 3.  $AN$  und 4.  $TR$ .

Dadurch ist es möglich, für 333 Stationen eine Tagesmaximumprognose zu liefern. In der Datei in der die Finalprognosen für die weitere Verwendung gespeichert werden, wird in Form eines Kürzels vermerkt, welche Prognose genutzt wurde. Ein

---

<sup>1</sup>Tagesmaximum an der Station

## 10.2 Die Prognose des Tagesmaximums

Vorteil der Methode ist es, dass einzelne Ausreißer geglättet werden. Somit ist diese Prognose als stabiler anzusehen, als die Teilprognosen. In Tabelle 10.2 sind die Verifikationsergebnisse aufgelistet. Hier erfolgte sowohl eine Prüfung ohne Schwellenwert (allen Prognosen werden geprüft) als auch eine schwellenwertabhängige Prüfung (wenn Prognose oder Messung den Schwellenwert überschreitet).

**Tabelle 10.2.** Verifikation der Vorhersageleistung der stationsbezogenen Ozonvorhersage gemittelt über alle Stationen (333); die Daten beziehen sich auf die Monate Mai bis Juli 2002; Ergebnisse der Finalen Ozonprognose (KP)

Schwellenwert:		ohne					
	Bias	RMSE Prog	Bias	RMSE Per	RV	%	
aktueller Tag	-1.5	16.9	-0.2	29.0	66.1	100.0	
1. Folgetag	0.0	19.6	-0.2	36.0	70.4	100.0	
2. Folgetag	0.5	20.6	-0.5	39.1	72.3	100.0	
Schwellenwert:		120 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]					
	Bias	RMSE Prog	Bias	RMSE Per	RV	%	
aktueller Tag	-7.9	22.5	-13.6	33.4	57.7	24.9	
1. Folgetag	-9.5	26.0	-24.0	44.6	65.9	25.4	
2. Folgetag	-6.9	26.8	-28.0	50.0	71.3	26.8	
Schwellenwert:		150 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]					
	Bias	RMSE Prog	Bias	RMSE Per	RV	%	
aktueller Tag	-10.8	28.6	-22.3	39.3	47.1	6.2	
1. Folgetag	-13.1	32.3	-44.7	56.9	67.9	6.4	
2. Folgetag	-12.0	33.6	-54.6	66.3	74.3	6.5	
Schwellenwert:		180 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]					
	Bias	RMSE Prog	Bias	RMSE Per	RV	%	
aktueller Tag	-18.4	35.5	-37.3	54.1	57.0	0.9	
1. Folgetag	-23.0	42.1	-76.6	88.4	75.1	0.8	
2. Folgetag	-32.0	47.9	-89.2	98.9	76.5	0.8	

Beim Vergleich mit den Tabellen 7.4 (WL), 7.5 (WE), 8.2 (TR) und 9.2 (AN) ist folgender Schluss möglich. Ohne Schwellenwert ist die Kombinationsprognose im Jahr 2002 etwas besser als die Teilprognose WL und deutlich besser als die anderen Teilprognosen. Bei den Schwellenwerten 120, 150 und 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ist die Teilprognose WL etwas besser als die finale Prognose. Beide sind deutlich besser als die anderen Teilprognosen. Trotzdem ist es zu empfehlen nicht die

Teilprognose WL als Finalprognose zu nutzen. Mit nur einem Jahr als Prüfung, sind die Unterschiede noch zu klein. Hier ist es empfehlenswerter, die stabilere Kombinationsprognose zu nutzen.

### 10.2.1 Erfahrungen beim operationellen Einsatz im Frühsommer 2003

Am 7. April 2003 begann der operative Einsatz des entwickelten Prognosesystems am Umweltbundesamt. Mit der Umstellung auf eine fröhsummerliche Hochdrucklage (Mitte Mai) wurde erkennbar, dass in dieser Saison die Qualität der Prognose schlechter ist als in den Vorjahren. Diese Verschlechterung der Vorhersagequalität trat sowohl bei dem als Backup laufenden alten Prognosesystem, als auch bei der hier vorgestellten neuen Prognoseroutine auf. Daraus lassen sich zwei mögliche Ursachen ableiten: entweder ist die Eingangsdatenqualität gesunken oder die Korrelationen haben sich geändert. Systematische Untersuchungen lassen vermuten, dass der Fehler bei den Eingangsdaten zu suchen ist. Da es nicht möglich war ein Korrektursystem für die Eingangsdaten zu erstellen, musste auf die im Unterabschnitt 4.1.5 beschriebene nachträgliche Biaskorrektur der Prognoseergebnisse zurückgegriffen werden.

In einer Sensitivitätsstudie wurde untersucht welche Glättungskonstante  $\beta$  (Gleichung 4.1) die optimale Anpassung erbringt. Entgegen den Erfahrungen von [Balzer 1986] erwies sich ein etwas höherer Wert<sup>2</sup> von  $\beta = 0,15$  als sinnvoll. Der Einsatz erfolgt für jede Station einzeln. Bei jeder der vier Teilprognosen und bei der Kombinationsprognose erfolgt seit dem 24. Juni 2003 der Einsatz der selbstlernenden Biaseliminierung. Das hat zusätzlich den Vorteil, dass bei sich ändernden Korrelationen eine teilweise Anpassung durch die Biaskorrektur möglich ist. In einem weiteren Schritt wurde geprüft, welchen Einfluss diese Biaskorrektur auf die Prognoseergebnisse im Jahr 2002 hat. Dabei wurde festgestellt, dass bei der wetterlagenbasierten Prognose und bei den Analogen Fällen nur minimale Veränderungen der Prognosequalität auftreten. Bei der Prognose auf der Basis von Trajektorien sind bei der Prüfung ohne Schwellenwert und bei der Prüfung des Schwellenwertes  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Verbesserungen erkennbar (siehe Tabelle 10.3).

**Tabelle 10.3.** Vergleich der Ergebnisse mit und ohne Biaskorrektur bei der auf Trajektorien basierten Prognose für das Jahr 2002

Schwelle	ohne Korrektur		mit Biaskorrektur	
	Bias	RMSE Prog	Bias	RMSE Prog
ohne	-2,3	19,0	-1,2	17,7
$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-14,0	25,2	-11,8	22,9

---

<sup>2</sup> [Balzer 1986] empfiehlt nach eigenen Experimenten ein  $\beta$  von 0,01 bis 0,1. Er weist aber darauf hin, dass in anderen Bereichen auch Werte bis 0,2 genutzt werden.

### 10.3 Die Schwellenwertvorhersage

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Vorhersage der Wahrscheinlichkeit einer Schwellenwertüberschreitung. Im Rahmen der Arbeit wurden die Schwellen 150, 180, 210 und  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf ihre Vorhersagbarkeit untersucht. Weiterhin wurde geprüft, ob eine stationsweise Vorhersage möglich ist oder nur regionale Aussagen.

#### 10.3.1 Methode

Damit eine Vorhersage von Schwellenwerten möglich ist, mussten die Tagesmaxima der Ozonkonzentrationen schwellenwertabhängig binarisiert werden. Dabei wird bei Erreichen bzw. Überschreiten des Schwellenwertes die 1 gewählt, ansonsten die 0. Der Prädiktand der Regression ist dann dieser binarisierte Wert. Wird in einer Region mehr als eine Station betrachtet, so wird aus den binarisierten Werten der zur Region gehörigen Stationen der prozentuale Anteil der Stationen mit Überschreitungen berechnet. Überschreiten fünf von 20 Stationen in der Region den Schwellenwert so hat der regionale Prädiktand den Wert 0,25. Als Prädiktoren werden die vier Teilprognosen genutzt.

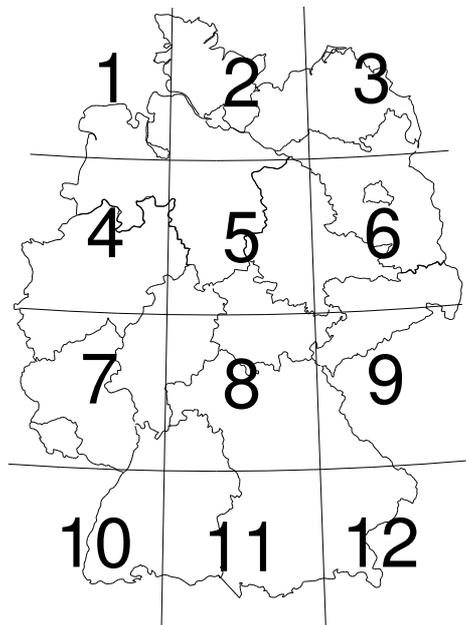


Abbildung 10.1. Schematische Darstellung der 12 Regionen

Nach Voruntersuchungen muss folgendes Ergebnis festgestellt werden. Eine Vorhersage von Wahrscheinlichkeiten der Überschreitung von Schwellenwerten auf Stationsbasis ist nicht möglich! Es kann keine erwartungstreue Vorhersagefunktion entwickelt werden, da die Überschreitungswahrscheinlichkeiten der einzelnen Stationen zu gering sind. Regionale Vorhersagen sind für die Schwellen 150 und 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  möglich. Hierbei wurde das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in zwölf Regionen unterteilt. Die Grenzen der Regionen sind die Längengrade 9°O und 12°O und die Breitengrade 49°N, 51°N und 53°N. Die Regionen sind in Abbildung 10.1, in Bezug auf die 16 Bundesländer, dargestellt. Die Stationsanzahl in den Regionen liegt zwischen 6 (in Region 12) und 63 (in Region 7). Durchschnittlich sind 29 Stationen in jeder Region.

### 10.3.2 Optimierung

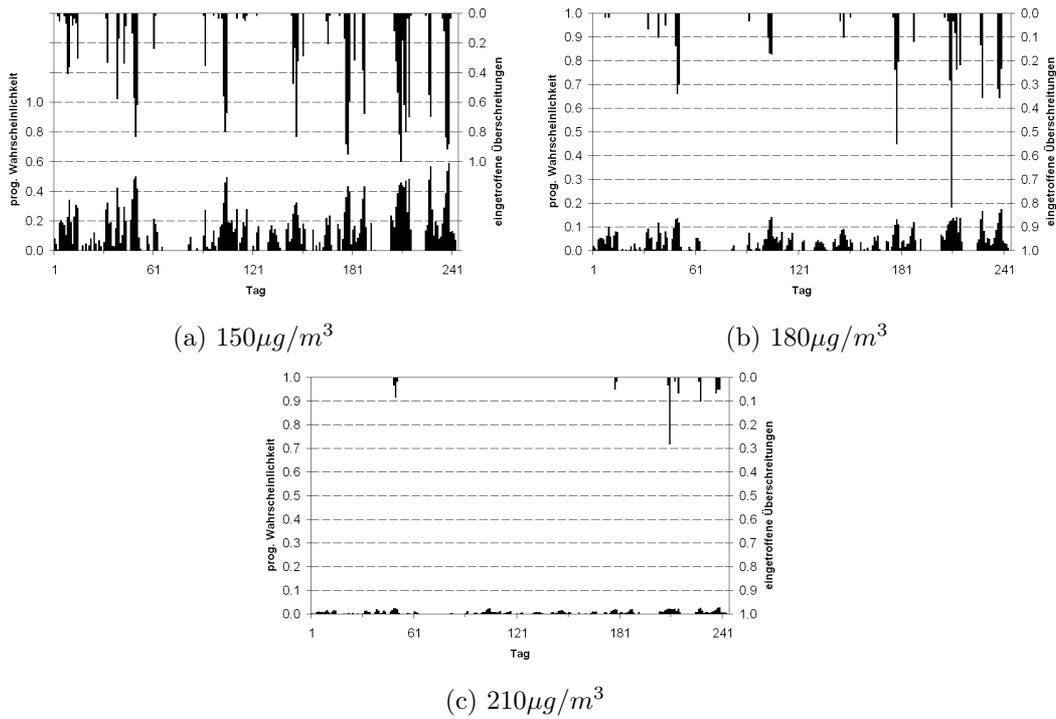
In Abbildung 10.2 werden für drei Schwellenwerte (150, 180 und 210  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) die eingetretenen Überschreitungen den, durch die Regressionsanalyse ermittelten, prognostizierten Wahrscheinlichkeiten der Region 7 gegenübergestellt. Im Teilbild (a) ist bei der prognostizierten Reihe im Vergleich zur Messreihe, ein ähnliches Signalverhalten zu sehen.

Höhere Werte in der prognostizierten Reihe treten nur dann auf, wenn in der Messreihe Werte ungleich Null vorhanden sind. Die Signalstärke ist aber generell geringer. In Abhängigkeit vom Schwellenwert ändert sich das Signal - Rausch - Verhältnis. Während es im Teilbild (a) (Schwelle 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) noch sehr gut trennbar ist, ist die Trennung im Teilbild (c) (Schwelle 210  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nicht mehr möglich. Neben den Signalen ist ein Grundrauschen bei der Prognose vorhanden. Es muss daher eine Schranke gefunden werden, bis zu der die Prognoseroutine dieses Rauschen gleich Null setzt.

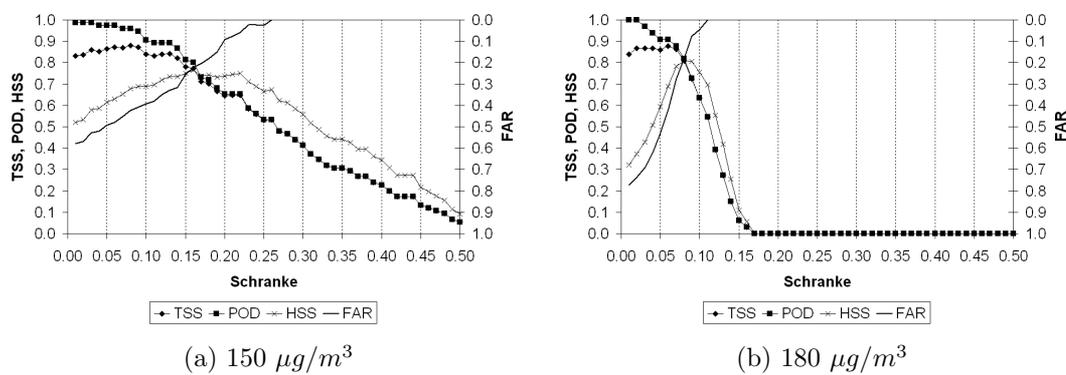
Hierbei kann eine Optimierung angewandt werden. Es muss ein Optimum zwischen der Wahrscheinlichkeit der Erkennung (*probability of detection*) und der Fehlalarmrate (*false alarm rate*) gefunden werden. Beides sind Prüfgrößen von Binäreignissen. Als erster Schritt muss dafür eine  $2 \times 2$  Prüfmatrix aufgestellt werden (siehe Tabelle: 4.1); im selben Unterabschnitt werden auch der TSS und HSS erklärt.

Im nächsten Schritt wird die Schranke zwischen Signal- und Rauschbereich schrittweise (0,01) von null auf 0,5 erhöht. Für jeden Schritt werden die Prüfgrößen aus Unterabschnitt 4.3.4 berechnet. Die bildhafte Darstellung der Prüfergebnisse erfolgt in der Abbildung 10.3.

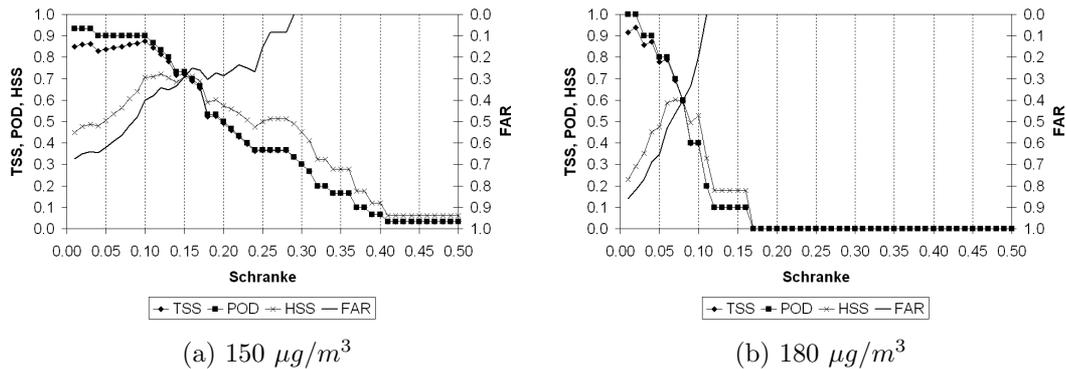
### 10.3 Die Schwellenwertvorhersage



**Abbildung 10.2.** Vergleich der eingetroffenen relativen Häufigkeiten der Überschreitungen mit den prognostizierten Wahrscheinlichkeiten; zur besseren Gegenüberstellung beider Werte, werden die eingetroffenen Überschreitungen auf der zweiten Y-Achse invers dargestellt; im obersten Diagramm wurde zur besseren Trennung beider Teile eine Skala bis 1,6 gewählt; in jedem Diagramm werden jeweils die Monate Mai bis August 2000 und 2001 hintereinander dargestellt; am Beispiel der Region 7.



**Abbildung 10.3.** Darstellung der Ergebnisse der Schrankenuntersuchung; der Parameter FAR wird auf der 2. Y-Achse mit inverser Achse dargestellt; am Beispiel der Region 7, für den Entwicklungszeitraum 2000-2001.



**Abbildung 10.4.** Darstellung der Ergebnisse der Schrankenuntersuchung; der Parameter FAR wird auf der 2. Y-Achse mit inverser Achse dargestellt; am Beispiel der Region 7, für das Testjahr 2002.

Die optimale Schranke kann direkt aus den Diagrammen abgelesen werden. Beide werden für jede Region einzeln bestimmt. Sie liegt in der Region 7 beim Schwellenwert  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei  $\approx 0,17$  und beim Schwellenwert  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei  $\approx 0,08$ . Diese Schranken können nun an dem Jahr 2002 getestet werden. Hierbei zeigt sich, dass die guten Ergebnisse bei der Entwicklung [HSS 0,74 (0,81) bei  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )] nicht mehr erreicht werden [HSS 0,65 (0,57) bei  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )]. Dieses gilt nicht nur für die Region 7. Auch in allen anderen Regionen tritt diese Verschlechterung auf. Die Abbildung 10.4 zeigt, dass die gefundenen Schranken auch für das Jahr 2002 gelten.

## 10.4 Zusammenfassung und Diskussion

Mit der Entwicklung einer abschließenden Kombinationsprognose steht jetzt eine stabile und erwartungstreue Prognose für alle Stationen zur Verfügung. Die Vorhersageleistung ist signifikant besser als die der Referenzprognose (Persistenz). Das die Kombinationsprognose nur knapp besser ist als die beste Einzelprognose (wetterlagenbasierte Klassifikation mit nachfolgender Regression) zeigt, dass mit dem genutzten Ansatz ein Optimum bei der Prognoseleistung erreicht worden ist.

Die eingetretenen Probleme im Frühsommer 2003 zeigen aber auch die Schwierigkeiten von operationellen Prognosen. Bevor aber eine endgültige Vorverurteilung der Eingangsdaten vorgenommen wird, müssen deutlich detailliertere Untersuchungen mit den am Ende des Jahres verfügbaren korrigierten Daten der Ozonmessungen und den analysierten (diagnostischen) Wetterdaten durchgeführt werden.

Mit dem hier entwickelten Modul zur Vorhersage der Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von Schwellenwerten steht dem Endnutzer ein neues Werkzeug für die Einschätzung der möglichen Ozonsituation zur Verfügung. Leider war es nicht

## 10.4 Zusammenfassung und Diskussion

---

möglich, Prognosen für die Schwellenwerte 210 und 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  zu entwickeln. Diese Werte werden nur noch an sehr wenigen Tagen im Jahr erreicht. Diese Tage zeichnen sich durch hohe prognostizierte Werte beim Schwellenwert 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aus. Somit ist Hilfsweise eine Prognose darüber möglich.

