

Siegfried Hörmann
shoermann@tugraz.atErnst Stadlober
e.stadlober@tugraz.atBrigitte Pfeiler
bpfeiler@gmx.at

1 Was ist Feinstaub?

Feinpartikel oder Schwebstaub bestehend aus
primären Partikeln:

- Verbrennungsprozesse
- mechanischer Abrieb von Reifen und Straßenbelag
- Aufwirbelung aus natürlichen Quellen

sekundären Partikeln:

- Bilden sich in der Luft aus gasförmigen Vorläuferschadstoffen.

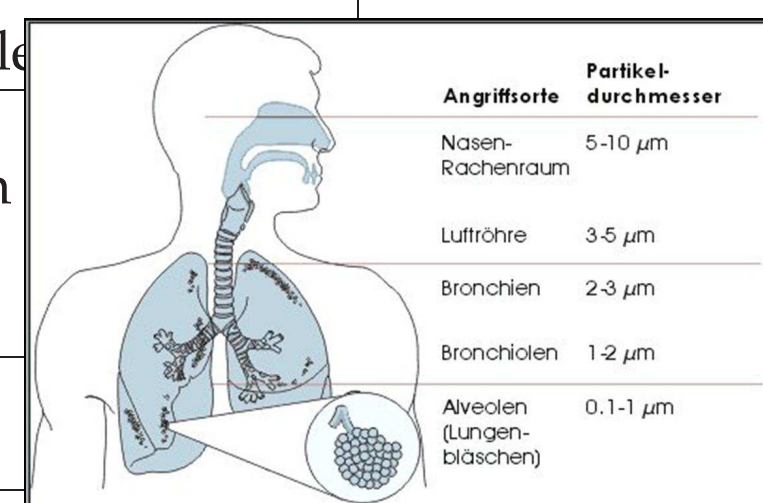
1.1 Masseinheit

Die Feinstaubpartikel (Particulate Matter) werden in unterschiedliche Größen kategorisiert. Man unterscheidet vorwiegend zwischen PM_{10} , $PM_{2.5}$ und PM_1 : Partikel mit einem Durchmesser von $10\mu m$, $2.5\mu m$ bzw. $1\mu m$. Die Konzentration in der Luft wird in $\mu g/m^3$ gemessen.

1.2 Gesundheitsrisiko

Je nach Größe der Staubpartikel hat deren Zunahme unterschiedliche Einflüsse auf die Gesundheit:

Messgröße	Zunahme an neg. Gesundheitseffekten
$PM_{2.5}$	• Gesamtsterblichkeit • Herz-/Lungentodesfälle
PM_{10}	• Atemnot • Allergischer Schnupfen • Atemwegsinfektion • Chronische Bronchitis
PM_{15}	• Bronchitis • Chronischer Husten



1.3 EU Richtlinie

Derzeit gilt in der EU als Grenzwert ein Tagesmittel von $50\mu g/m^3$. Dieser darf ab 2005 nach IG-L höchstens 30 mal im Jahr überschritten werden. Außerdem darf das Jahresmittel nicht über $40\mu g/m^3$ liegen.

2 Die Situation in Graz

Seit dem Jahr 2001 wird die PM_{10} -Belastung im Stadt- und Peripheriegebiet von Graz an mehreren Stationen gemessen.



Bild 2.1: Ein Blick über Graz bei Inversionswetter.

Vor allem die ungünstigen meteorologischen Umstände sind für die hohe Feinstaubbelastung in Graz verantwortlich:

- wenig Wind
- wenig Niederschlag
- viele Tage mit Inversionswetter (d.h. ein Anstieg der Temperatur in höheren Luftschichten.)

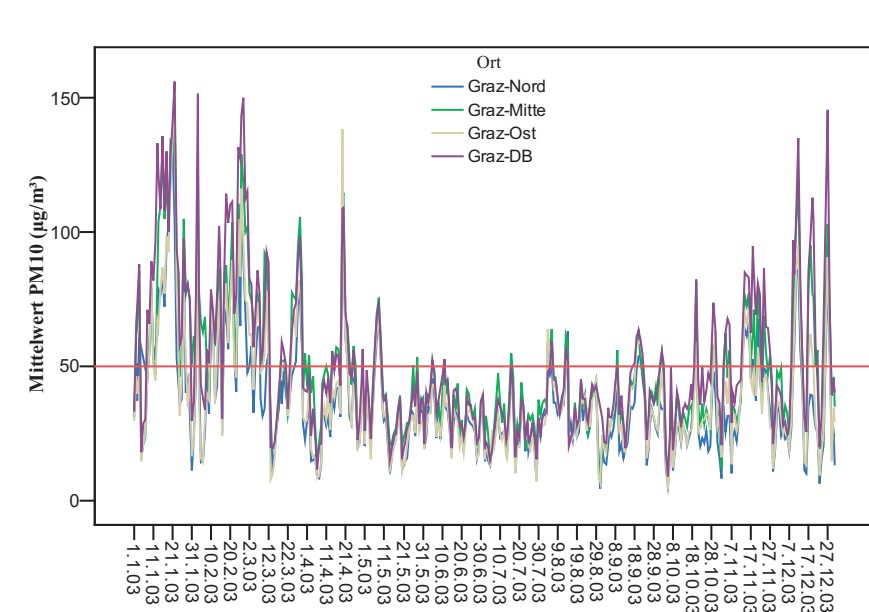


Bild 2.2: Die meisten Überschreitungen finden im Winterhalbjahr (Oktober bis März) statt. Im Jahr 2003 wurden an der Messstelle Graz-Mitte (nahe Altstadt) 136 Überschreitungen und ein Jahresmittel von knapp $50\mu g/m^3$ gemessen.

2.1 Explorative Analyse

2.1.1 Inversion

Den stärksten Einfluss auf die PM_{10} Belastung in Graz hat der Faktor Inversion. Liegt die Temperatur in Graz (ca. 350m Seehöhe) unter der Temperatur in mittlerer Höhe (ca. 700m Seehöhe), findet kein ordentlicher Luftaustausch statt.

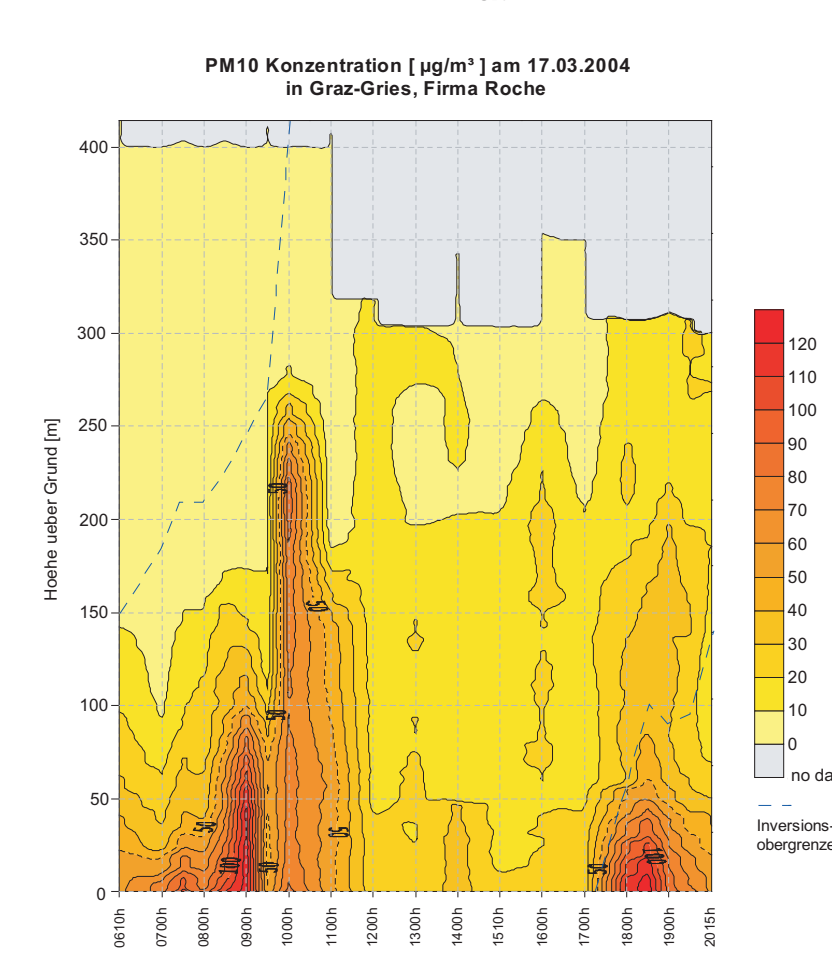
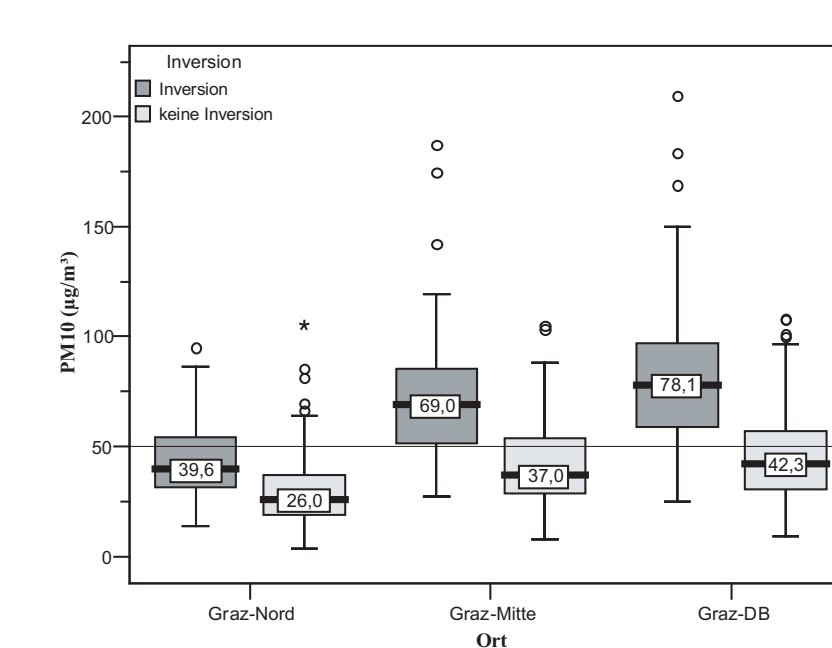


Bild 2.3: Die Kategorie Inversion ist hier durch die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Graz und Kalkleiten beschrieben. Inversion bedeutet hier, dass die Temperaturdifferenz im Tagesmittel unter $0^\circ C$ liegt.

Bild 2.4: Die Ballonsondierung demonstriert, wie die Auflösung der Inversion die PM_{10} Belastung sinken lässt.

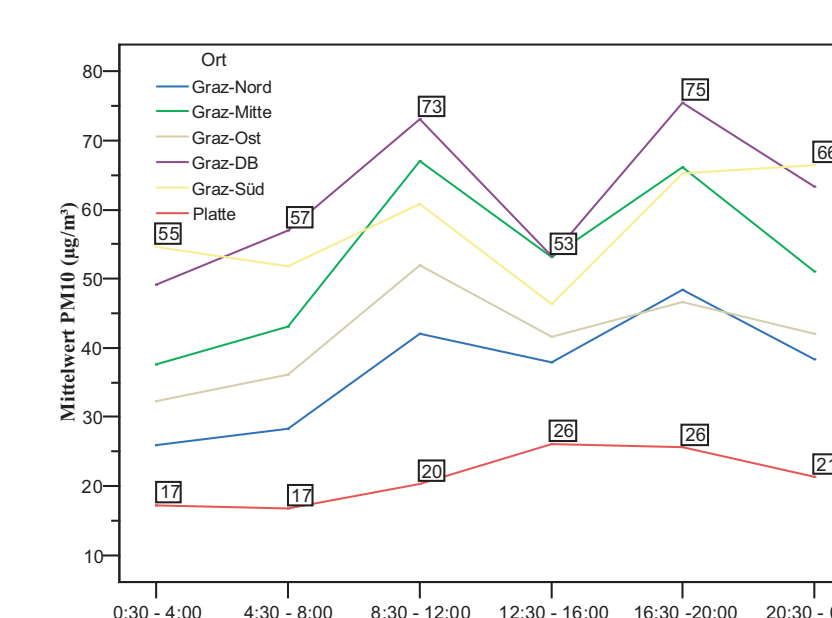


Bild 2.5: Eine Analyse der Tagesganglinie zeigt einen Abfall der PM_{10} Belastung zwischen 12 und 16 Uhr. Dies lässt sich meteorologisch dadurch erklären, dass sich eine Inversion über die Mittagszeit häufig auflöst. Einzig an der Messstelle Graz-Platte (661m Seehöhe) ist in diesem Zeitraum ein geringer Anstieg der Belastung zu verzeichnen.

2.1.2 Verkehr

Der Verkehr spielt eine wesentliche Rolle als Verursacher von Feinstaub.

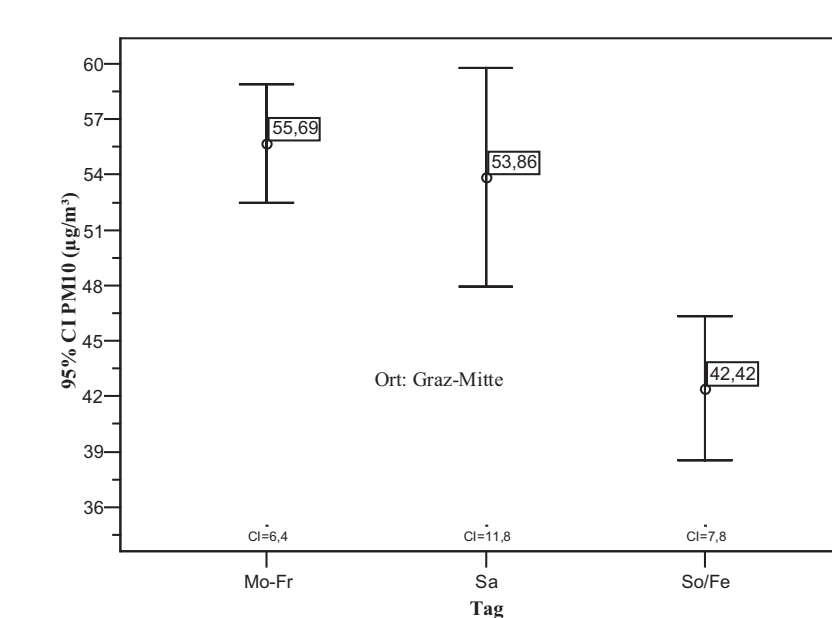
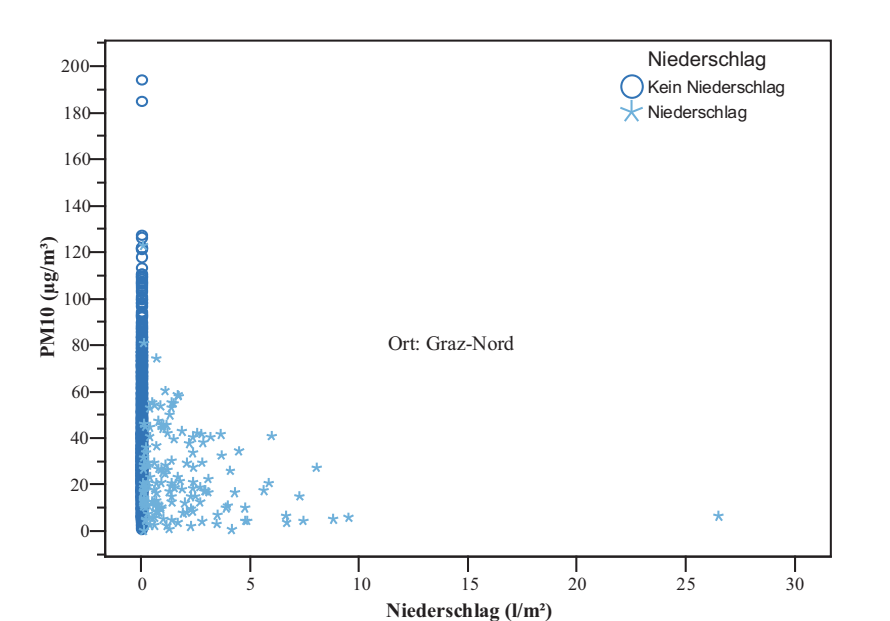
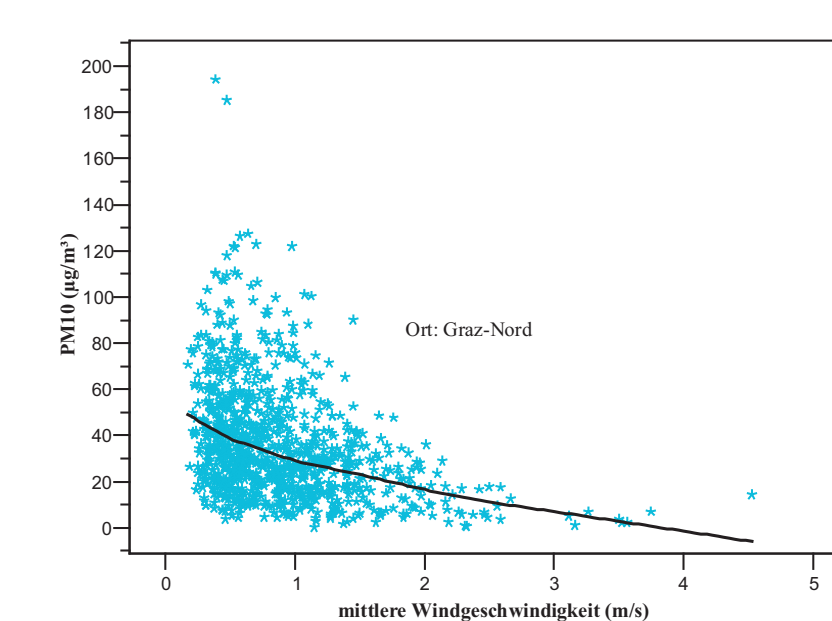


Bild 2.6: An Sonntagen findet in Graz eine Reduktion des Verkehrsaufkommens von durchschnittlich 40% statt. Gleichzeitig liegt der PM_{10} Mittelwert im Winterhalbjahr an Sonn- und Feiertagen um ca. 30% unter jenem an Werktagen.

2.1.3 Wind und Niederschlag

Wind und Niederschlag bewirken eine Abnahme der Feinstaubbelastung.



3 Prognosemodell

Ziel eines Prognosemodells ist die Vorhersage der mittleren PM_{10} Belastung des Folgetages. Multiple lineare Regression erwies sich als geeigneter Ansatz zur Modellierung.

Von Oktober 2004 bis April 2005 fand ein Testeinsatz des Prognosemodells statt. Die dabei verwendeten meteorologischen Vorhersagen wurden täglich von der ZAMG Steiermark zur Verfügung gestellt.

3.1 Regressionsmodell

Das getestete Prognosemodell basiert auf der folgenden linearen Regression:

$$\sqrt{PM_{10}} = \sum_k b_k \cdot x_k + \sum_l b_l \cdot p_l + \epsilon \quad \text{mit} \quad \epsilon \sim N(0, \sigma^2).$$

Eine Wurzeltransformation der abhängigen Variablen PM_{10} ist notwendig, um die Modellvoraussetzungen zu gewährleisten. Wir verwenden für das Modell fünf Variable:

Variable	Var	Wert	Beschreibung
pm_{10_lag}	x_1	stetig	PM_{10} Vortagesmittel
lag	x_2	Kategorie	Mo-Fr, Sa/Fe
$wige$	p_1	stetig	mittlere Windgeschwindigkeit des Folgetages (Prognosewert)
$nied$	p_2	0/1	Niederschlag des Folgetages (Prognosewert)
$husg$	p_3	stetig	mittlerer Luftunterschied Graz-Kalkleiten (Prognosewert)

3.2 Modelleigenschaften

Das Modell weist einen Anpassungsgrad (korrigiertes R^2) von ca. 67% auf. Alle oben angeführten Faktoren haben eine hohe Signifikanz.

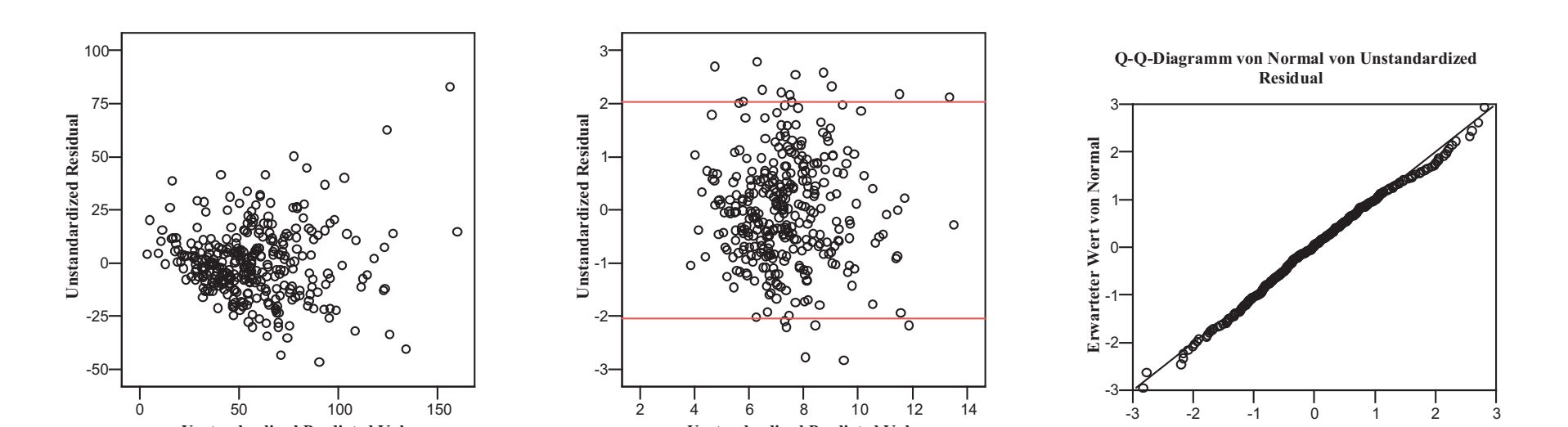


Bild 3.1: Ohne Wurzeltransformation ist eine deutliche Trichterform im Streudiagramm der Residuen gegen die Prognosewerte zu beobachten (Bild links). Nach der Transformation weist das Streudiagramm ein zufälliges Muster auf (Bild mitte). Der Q-Q-Plot gegen die Normalverteilung bestätigt unsere Modellannahmen.

3.3 Testlauf

Je nach Höhe der zu erwartenden PM_{10} Belastung wird auf www.feinstaubfrei.at/htm/ampel_f.htm im Ampelsystem grün, gelb oder rot (normal, mäßig, hoch) angezeigt. Das Prognosemodell hat sich dabei bereits als zuverlässiges Monitoring Tool bewährt.

Prediction	< 75µg/m³	≥ 75µg/m³	Total
$PM_{10} \leq 75\mu g/m^3$	Count: 87	Count: 6	Count: 93
	% within Category: 93.5%	% within Category: 6.5%	
$75\mu g/m^3 < PM_{10} \leq 100\mu g/m^3$	Count: 13	Count: 9	Count: 22
	% within Category: 59.1%	% within Category: 40.9%	
$PM_{10} \geq 100\mu g/m^3$	Count: 1	Count: 5	Count: 6
	% within Category: 16.7%	% within Category: 83.3%	
Total	Count: 101	Count: 20	Count: 121
	% within Category: 83.5%	% within Category: 16.5%	% within Category: 100%

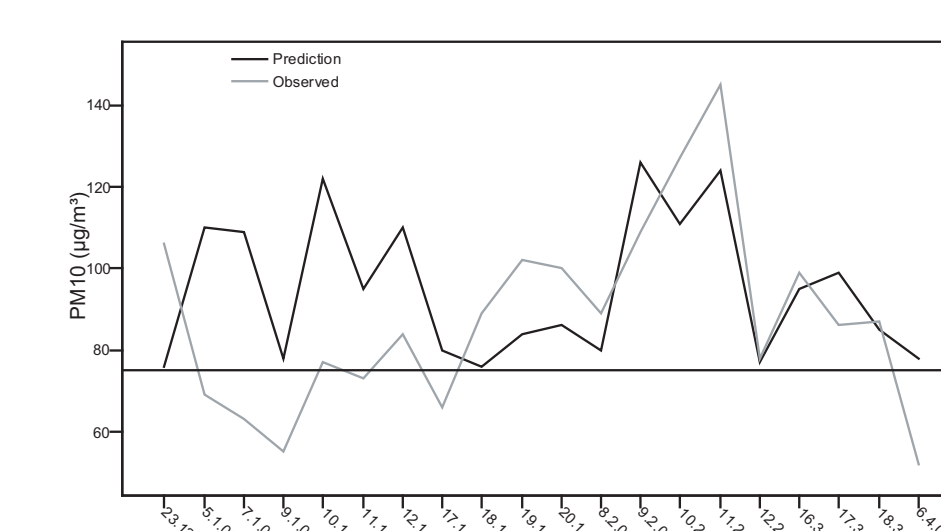


Bild 3.2: An allen Tagen mit Prognosewerten $> 75\mu g/m^3$ wurde der PM_{10} -Grenzwert stets überschritten.

Literatur

Hörmann, S., Pfeiler, B., Stadlober, E. (2005): Analysis and Prediction of Particulate Matter PM_{10} for the Winter Season in Graz, Austrian Journal of Statistics (in press).