

Siegfried Hörmann

Ernst Stadlober

Brigitte Pfeiler

1 Was ist Feinstaub?

Feinpartikel oder Schwebstaub ($\varnothing < 10\mu m$) unterteilt man in **Primäre Partikel** (Entstehen aus Verbrennungsprozessen, Abrieb von Reifen und Straßenbelag, Aufwirbelung aus natürlichen Quellen) und **Sekundäre Partikel** (Bilden sich in der Luft aus gasförmigen Vorläuferschadstoffen).

1.1 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 Allgemeine PM10 Situation

Seit einigen Jahren wird die PM10-Belastung auch in vielen Regionen Europas gemessen und analysiert.



Bild 2.1: Ein Blick über Graz bei Inversionwetter.

Vor allem die ungünstigen meteorologischen Umstände sind für die hohe Feinstaubbelastung in vielen Tal- und Beckenlagen südlich der Alpen verantwortlich:

- o wenig Wind
- o wenig Niederschlag
- o viele Tage mit Inversionswetter

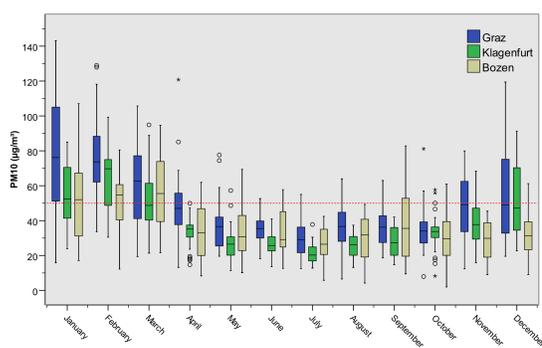


Bild 2.2: Die meisten Überschreitungen finden im Winterhalbjahr (Oktober bis März) statt.

2.1 Explorative Analyse

2.1.1 Inversion

Durch einen verminderten Luftaustausch beobachten wir bei Inversionswetterlagen sehr hohe PM10-Belastungen.

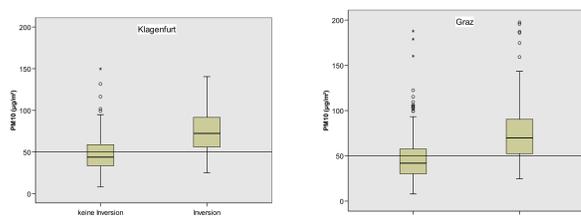


Bild 2.3: Die Auswirkung von Inversion in Klagenfurt und Graz ist sehr ähnlich. Inversion ist durch die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Klagenfurt und Görtschitz (390m über Grund) bzw. Graz und Kalkleiten (360m ü. G.) beschrieben, wobei bei Inversion die Temperaturdifferenzen im Tagesmittel unter $0^\circ C$ liegen.

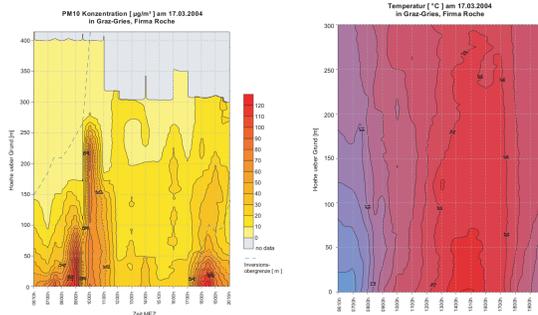


Bild 2.4: Die Ballonsondierung in Graz-West an einem Wintertag demonstriert, wie die Auflösung der Inversion um die Mittagszeit die PM10 Belastung sinken lässt. (Quelle: ZAMG Stmk.)

2.1.2 Verkehr

Der Verkehr spielt eine wesentliche Rolle als Verursacher von Feinstaub (Auspuff, Abrieb, Aufwirbelung).

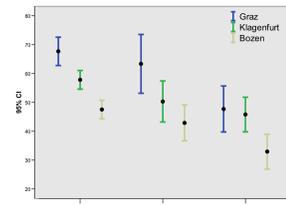


Bild 2.5: An Sonn- und Feiertagen liegt der PM10 Wert überall um einiges unter dem Werktagsniveau (25–30%). Dies lässt sich durch das deutlich verringerte Verkehrsaufkommen in allen drei Städten erklären.

2.1.3 Wind, Niederschlag und Frost

Wind und Niederschlag bewirken eine Abnahme der Feinstaubbelastung. Hingegen beobachten wir bei Frost (evtl. durch verstärkten Hausbrand) einen Anstieg der Feinstaubbelastung.

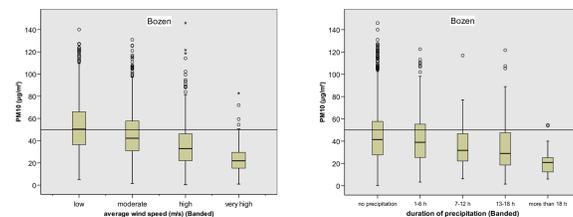


Bild 2.6: Einfluss von Wind (links) und Niederschlag (rechts) in Bozen. Hier spielt die Windstärke die größte Rolle.

2.1.4 'Sättigungseffekt'

Unter derselben meteorologischen Konstellation liegt die PM10 Belastung im zweiten Teil der Wintersaison deutlich über jener zwischen Oktober und Dezember. Eine Erklärung hierfür könnte eine verstärkte Ablagerung von Streusplitt und Salz im Laufe des Winters sein.

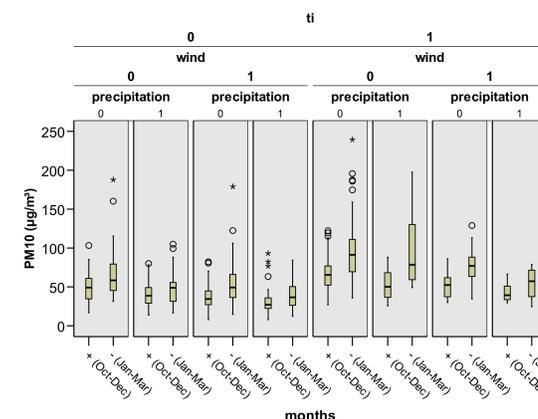


Bild 2.7: PM10 Belastung in Graz unter spezifischen meteorologischen Konstellationen. Inversion: 0=keine Inversion; Wind: 0=Wind unter Median; Niederschlag: 0=kein Niederschlag. Werte mit 1 entsprechendes Komplement.

3 Prognosemodell

Ziel eines Prognosemodells ist die Vorhersage der mittleren PM10 Belastung des Folgetages. Multiple lineare Regression erwies sich als geeigneter Ansatz zur Modellierung.

3.1 Regressionsmodell

Das getestete Prognosemodell basiert auf der folgenden linearen Regression:

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

Eine Wurzeltransformation der abhängigen Variablen PM10 ist notwendig, um die Modellvoraussetzungen zu gewährleisten. Wir verwenden für die Modelle bis zu sieben Variable:

Variable	Wert	Beschreibung
x_1	stetig	PM10 gleitendes 24-h Mittel von 12.00–12.00
x_2	Kategorie	Mo–Fr, Sa, So/Fe
x_3	0/1	Temperatur im Mittel $> 0, \leq 0$
x_4	Kategorie	Oktober – März
p_1	stetig	mittlere Windgeschwindigkeit des Folgetages (Prognosewert)
p_2	0/1	Niederschlag am Folgetag (Prognosewert)
p_3	stetig	mittlere Temperaturdifferenz zu 300–400m höherer Referenzmessstelle (Prognosewert)

Die Variablen $x_1 - x_4$ sind zum Zeitpunkt der Prognose bekannt. Die Variablen $p_1 - p_3$ müssen prognostiziert werden.

3.2 Modellgüte

Die Modelle weisen einen Anpassungsgrad (korrigiertes R^2) zwischen 54% und 64% auf. Die Auswahl der oben angeführten Variablen erfolgt mittels einer Prozedur der schrittweisen Regression.

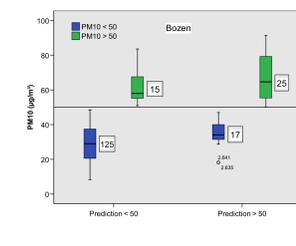


Bild 3.1: In der Zeit von 1.10.2005–31.3.2006 waren in Bozen 150 (=82%) der 182 Prognosen richtig kategorisiert (Überschreitung/keine Überschreitung). Falsch klassifizierte Prognosen liegen meist in der Nähe der Klassifikationsgrenze von $50\mu g/m^3$.

3.3 Praxistest in Graz

Seit dem Winterhalbjahr 2004/05 wird das Prognosemodell in Graz regelmäßig für die Vorhersage eingesetzt. Die dabei verwendeten meteorologischen Vorhersagen werden täglich von der ZAMG Steiermark zur Verfügung gestellt. Die Prognosen werden auf <http://www.feinstaubfrei.at/html/ampel.php> angezeigt. Das Prognosemodell hat sich dabei bereits als zuverlässiges Monitoring Tool bewährt.

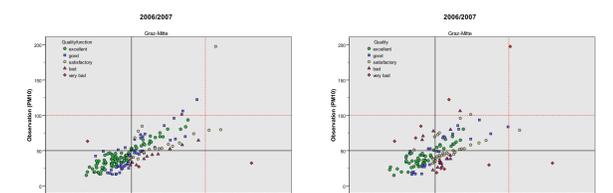


Bild 3.2: Vergleich von Beobachtung und Vorhersage in Graz. Bei bekannter Meteorologie liegt der Anteil der zufriedenstellenden Prognosen bei etwa 90% (Bild links). Im Praxiseinsatz mit vorhergesagten meteorologischen Werten verringert sich dieser Anteil auf etwa 80% (Bild rechts).

Literatur

Hörmann, S., Pfeiler, B., Stadlober, E. (2005): *Analysis and Prediction of Particulate Matter PM10 for the Winter Season in Graz*, Austrian Journal of Statistics (34) 307–326.

Kontakt

E. Stadlober
Institut für Statistik
Steyrergasse 17/IV, 8010 Graz
e.stadlober@tugraz.at