



# **PM<sub>10</sub> Datenanalyse**

## **Grobabschätzung des PM<sub>10</sub>-Anteils von Verkehrs- und Hausbrandemissionen an Grazer Luftgütemessstationen**

Bericht Nr. 1-2007

Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Fachabteilung 17C  
8010 Graz, Landhausgasse 7, Tel. 877/2172

Leiter der Fachabteilung  
Dr. Gerhard SEMMELROCK

Dieser Bericht entstand unter Mitarbeit folgender Personen:

Für den Inhalt verantwortlich

Dipl. Ing. Dr. Thomas Pongratz

Erstellt von

Mag. Dr. Dietmar Öttl  
Birgit Schalk

## **Herausgeber**

Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Fachabteilung 17C - Technische Umweltkontrolle und Sicherheitswesen  
Referat Luftgüteüberwachung  
Landhausgasse 7  
8010 Graz

© Februar 2007

Telefon: 0316/877-2172 (Fax: -3995)

Informationen im Internet: <http://umwelt.steiermark.at/>

Unter dieser Adresse ist auch dieser Bericht im Internet verfügbar

**Bei Wiedergabe unserer Messergebnisse ersuchen wir um Quellenangabe!**

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung .....	4
2	Einleitung.....	5
3	Lokale Beiträge vs. Hintergrundbelastung .....	5
4	Abschätzung des Verkehrsbeitrags .....	7
5	Abschätzung des Anteiles aus Heizungsanlagen .....	12
6	Abschätzung der Hintergrundbelastung.....	16
7	Quellzuordnung an Überschreitungstagen für Graz-Süd 2006.....	17
8	Literatur .....	18

# 1 Zusammenfassung

Auf Basis der an den steirischen Immissionsmessstationen gemessenen Schadstoffkonzentrationen und mit Hilfe von bekannten Emissionsfaktoren und Zusammenhängen wurde durch vertiefte Analyse der Messwerte auf Verursacheranteile geschlossen. Für die Analyse wurden im Wesentlichen die Konzentrationen der Stickstoffoxide und der Partikel (PM<sub>10</sub>) sowie deren zeitlich sich ändernden Verhältnisse herangezogen. Diese Betrachtungen lassen folgende Aussagen zu:

- Die Hauptverursacher für die PM<sub>10</sub>-Belastung in der Steiermark sind der Verkehr und der Hausbrand. Beim Verkehr spielen neben den Motoremissionen auch die Aufwirbelung und der Abrieb eine wesentliche Rolle
- Während die Belastung aus anderen Quellen (industrielle und gewerbliche Quellen, regionaler und großräumiger Hintergrund) im Jahresmittel im Bereich von 30 % (Don-Bosco) und etwa 65 % (Donawitz, Niklasdorf, Judenburg) je nach Situierung der Messstation liegt, beträgt sie im Winter vor allem an den Grazer Stationen nur noch etwa 20 %. Die hohen Belastungen im Winter sind also größtenteils „hausgemacht“.
- Problematisch ist aber der Umstand, dass die großräumige Hintergrundbelastung (Ferntransport) doch bereits ca. 25 % der zulässigen Belastung für den maximalen Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup> im Mittel ausmachen.
- Die beiden wichtigsten Emittentengruppen für die PM<sub>10</sub>-Belastung im Winter sind eindeutig der Verkehr und Heizungsemissionen.
- Bei den Verkehrsemissionen überwiegen deutlich die Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen gegenüber den Auspuffemissionen mit einem Verhältnis von etwa 3 : 1.
- Verkehrsemissionen bewirken vor allem entlang von stark befahrenen Straßen (sogenannte „Hot spots“) extrem hohe Belastungen, während die Heizungsemissionen für eine flächenhafte Belastung sorgen.
- Maßnahmen beim Verkehr bewirken demnach eine Reduktion von - räumlich gesehen - Belastungsspitzen jedoch kaum eine Verringerung des Gebiets mit Grenzwertüberschreitungen. Maßnahmen bei Heizungsanlagen hingegen wirken sich stärker auf eine Verringerung belasteter Gebiete aus. Jedoch sind hier sehr weitreichende Reduktionen erforderlich.
- Aufgrund der extrem schlechten Ausbreitungsbedingungen in den meisten Tal- und Beckenlagen der Steiermark im Vergleich zu vielen anderen europäischen Gebieten führen bereits geringe Emissionen zu sehr hohen Immissionsbelastungen. Um Immissionsgrenzwerte einhalten zu können, müssen die Reduktionsmaßnahmen deutlich stärker ausfallen als z.B. in Wien, Berlin oder in ähnlich gut durchlüfteten Gebieten.

## 2 Einleitung

In vielen Regionen der Steiermark vor allem in Graz, der Süd- und Oststeiermark sowie in der Mur-Mürzfurche wurden hohe  $PM_{10}$ -Belastungen und damit verbunden Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes gemessen. Dies führte zur Ausweisung dieser Gebiete als Sanierungsgebiet gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft [LGBL 2006] bzw. als belastetes Gebiet entsprechend dem UVP-Gesetz [BGBL 2006].

Es wurden umfangreiche Maßnahmenpläne erarbeitet [RUPPRECHT 2004], welche die verschiedenen Verursacher der  $PM_{10}$ -Belastungen betreffen. Ohne die genauen Beiträge der einzelnen Emittentengruppen, wie Verkehr, Hausbrand, Industrie, Landwirtschaft, etc. zu kennen, ist es nicht möglich das Reduktionspotential von Maßnahmen nachvollziehbar einzuschätzen und im optimalen Fall Maßnahmen hinsichtlich ihres Kosten-Nutzen Verhältnisses zu reihen bzw. umzusetzen.

Die bisher umfangreichste Studie zur Analyse von Quellbeiträgen wird derzeit durch die TU-Wien im Rahmen des Projektes AQUELLA durchgeführt [BAUER 2006], welches sich im Wesentlichen auf chemische Analysen von Staubfilterproben stützt. Der enorme zeitliche und finanzielle Aufwand erlaubt jedoch nur die Analyse von wenigen ausgewählten Stationen in der Steiermark (AQUELLA Graz mit Messungen an den Messstellen Graz-Don Bosco, Graz-Süd und Bockberg, weitere Gebiete sind in Arbeit oder Vorbereitung siehe [Jahresbericht 2006]).

Ein weiteres Großprojekt ist das EU-LIFE Projekt KAPA GS, wo die TU-Graz Emissions- und Immissionssimulationen für den Großraum Graz durchführen werden. Die Ergebnisse dieser Studie werden 2007 vorliegen. Im Rahmen dieses Projektes wurden zusätzlich an neun dafür errichteten Messstellen in der Periode November 2005 bis September 2006  $PM_{10}$ -Messungen im Großraum Graz durchgeführt, welche eine detailliertere Information über die räumliche Verteilung der  $PM_{10}$ -Belastung geben wird.

Alle bisherigen Zwischenergebnisse dieser Studien zeigten, dass der Verkehr (Auspuff- und Abriebs- bzw. Aufwirbelungsemissionen) und der Hausbrand die beiden wichtigsten Emittentengruppen in städtischen aber auch in ländlichen Gebieten sind.

Im Folgenden wird zusätzlich zu diesen beiden Großprojekten eine grobe Analyse der  $PM_{10}$ -Konzentrationen der Luftgütemessstationen in der Steiermark hinsichtlich der beiden Hauptverursacher Verkehr und Hausbrand durchgeführt und versucht deren Quellbeiträge abzuschätzen.

## 3 Lokale Beiträge vs. Hintergrundbelastung

Eine grundlegende Frage ist, inwieweit die  $PM_{10}$ -Konzentrationen „hausgemacht“ also lokal verursacht werden oder ob Ferntransport eine wesentliche Rolle spielt. Für die wesentlich besser durchlüfteten Städte Wien und Berlin wurde aufgrund von Vergleichen mit ländlichen Hintergrundstationen von Ferntransportbeiträgen von knapp 80 % [PUXBAUM 2004] bzw. 50 % [JOHN 2004] ausgegangen (bezogen auf sogenannte „Hot Spots“). Im Gegensatz dazu weist Graz zwar wesentlich geringere Gesamtemissionen auf als diese beiden Großstädte (Wien: 1,6 Mio. EW; Berlin: 3,4 Mio. EW; Graz: 0,23 Mio. EW.) hat aber deutlich schlechtere Ausbreitungsbedingungen

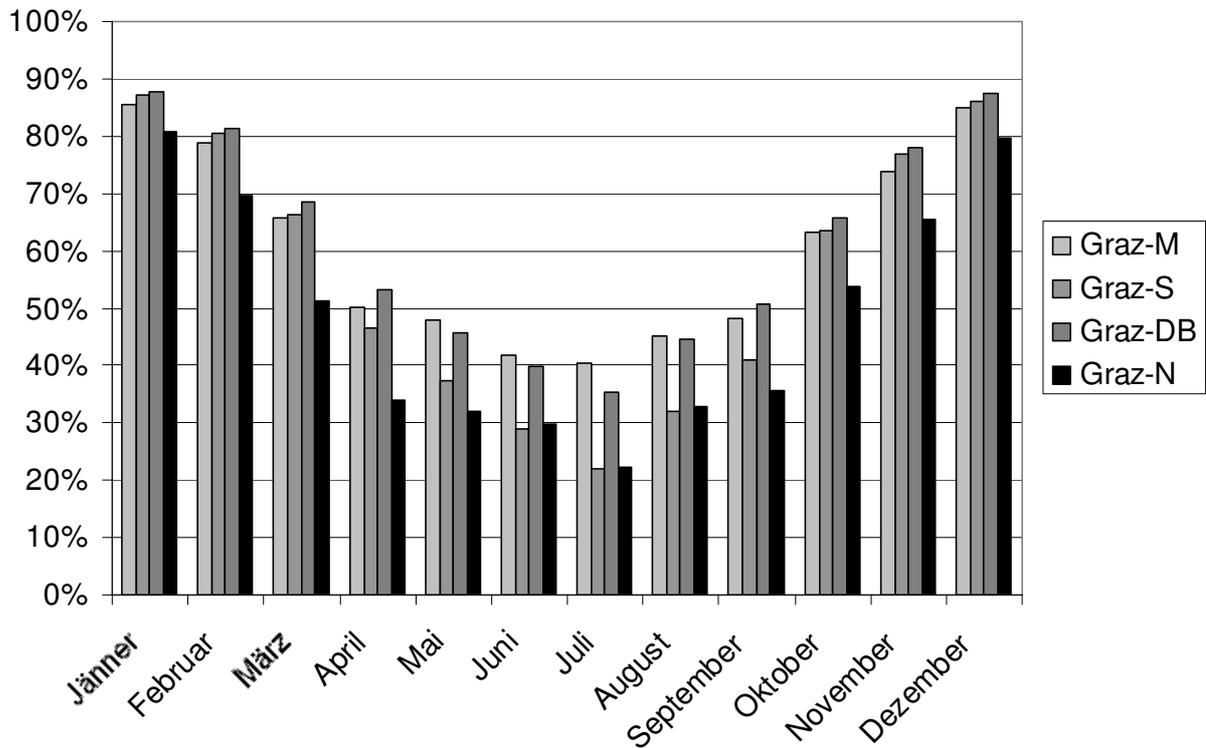
für Luftschadstoffe aufgrund der Lage südlich der Alpen (Abschirmung gegen die häufigen Westwetterlagen) und der zusätzlichen Beckenlage. Dies zeigt sich auch deutlich in der jahresdurchschnittlichen Windgeschwindigkeit, die in Wien und Berlin bei über 3 m/s, in Graz jedoch nur bei ca. 1 m/s (südliche Stadtteile) liegt. Damit ist die Verdünnungswirkung für Luftschadstoffe alleine aufgrund der Windgeschwindigkeit (Advektion) bereits um den Faktor 3 geringer. Mit der geringeren Windgeschwindigkeit gehen auch noch geringere Turbulenzintensitäten einher, wodurch die Verdünnung effektiv noch schlechter ist. Nur dadurch ist es zu erklären, dass Graz höhere PM<sub>10</sub>-Belastungen aufweist als viele Großstädte.

Aufgrund der extrem schlechten Durchlüftungsverhältnisse ist grundsätzlich davon auszugehen, dass der lokale Beitrag zum PM<sub>10</sub> höher sein wird, als z.B. in Wien oder Berlin. Aufwändige Modellsimulationen für Klagenfurt ergaben einen lokalen Beitrag an „Hot Spots“ von ca. 50 % im Jahresmittel und von 55 % im Winter [ÖTTL 2006]. Da Graz ein wesentlich höheres Verkehrsaufkommen wie Klagenfurt hat ist hier mit noch höheren Beiträgen zu rechnen.

Eine grobe Abschätzung des lokalen Beitrags lässt sich über die PM<sub>10</sub>-Konzentration an der in über 1.100 m Seehöhe gelegenen Messstation Masenberg in der Oststeiermark ableiten. Für die folgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass diese Station praktisch nicht mehr durch lokale Emissionen beeinflusst wird, sondern repräsentativ für die großräumige Hintergrundbelastung ist. Mit dieser Annahme ergibt sich der in Abbildung 1 saisonale Verlauf des lokalen Beitrags an ausgewählten Stationen in Graz. Die sehr hoch belasteten Grazer Stationen Mitte, Don-Bosco und Süd haben im Jahresmittel einen lokalen Beitrag von über 60 % und im Winter sogar von über 80 %. Dies deutet sehr stark darauf hin, dass die PM<sub>10</sub>-Belastung im Winter in Graz zum überwiegenden Teil hausgemacht ist, während im Sommer der Ferntransport überwiegt.

Chemische Analysen scheinen sich sehr gut mit diesen groben Analysen zu decken. Nimmt man z.B. den Jänner 2004 her, so ergibt sich für jene chemischen Substanzen, die am ehesten dem Hintergrund zugeordnet werden können (Ammonium, Sulfat, Nitrat) ein Hintergrund von etwas über 20 % an der Station Don Bosco.

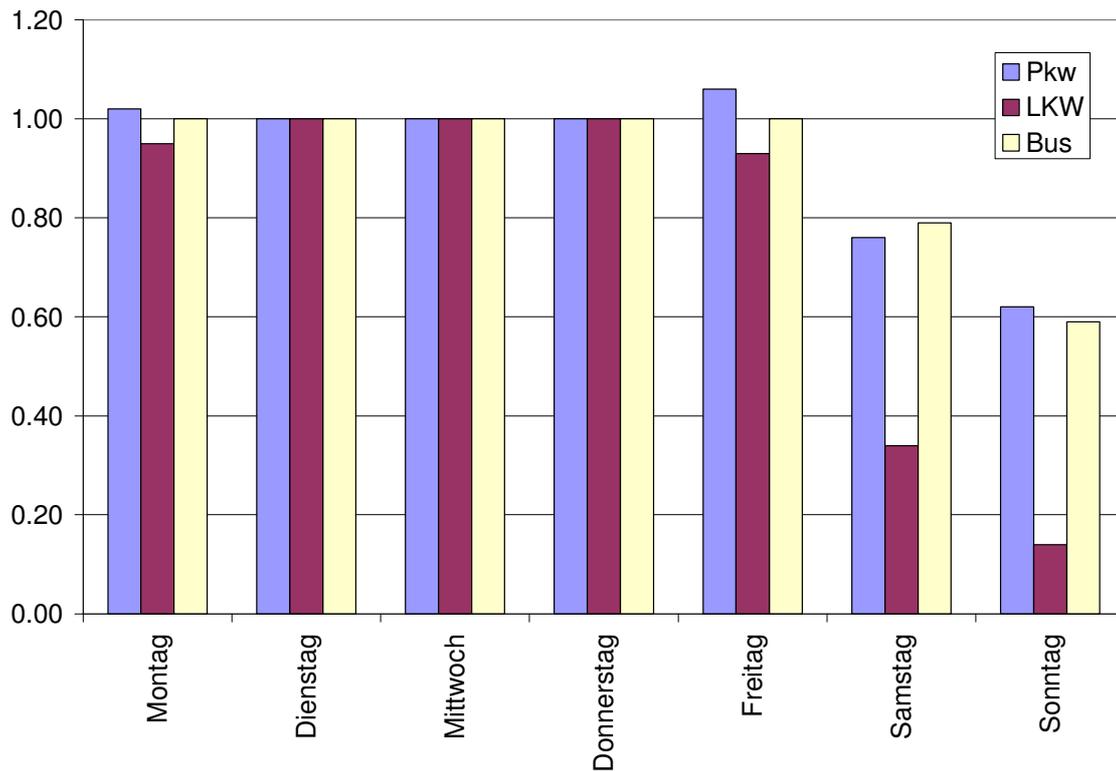
**Abbildung 1: Abschätzung des lokalen saisonalen Beitrags zur PM<sub>10</sub>-Belastung an ausgewählten Stationen in Graz im Mittel von 2003-2006**



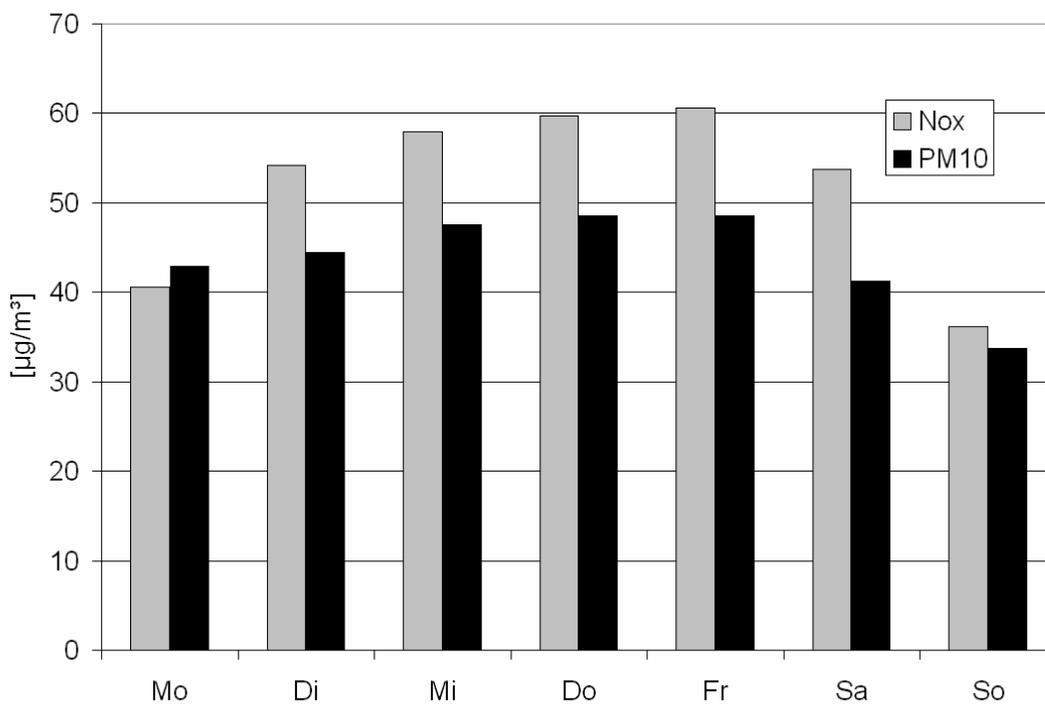
#### 4 Abschätzung des Verkehrsbeitrags

Eine Möglichkeit, den direkten Beitrag der Verkehrsemissionen (Auspuff + Aufwirbelung und Abrieb) zu ermitteln besteht darin, Relationen zwischen jahresdurchschnittlichen Konzentrationen an Werktagen und solche am Sonntag herzustellen. Dabei nützt man den Effekt des deutlich geringeren Verkehrsaufkommens (Abbildung 2) vor allem am Sonntag gegenüber den Wochentagen aus. Über gemessene Rückgänge der Konzentrationen am Sonntag und den berechneten Rückgängen der Emissionen (diese müssen als bekannt vorausgesetzt werden) kann dann in einfacher Weise der direkte Verkehrsbeitrag angegeben werden. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für gemessene Rückgänge der NO<sub>x</sub> und PM<sub>10</sub>-Immissionen an der Messstation Graz Mitte. Da die gemessenen Rückgänge für NO<sub>x</sub> höher sind als für PM<sub>10</sub>, kann geschlossen werden, dass der direkte Verkehrsbeitrag bei NO<sub>x</sub> wesentlich höher ist als bei PM<sub>10</sub>.

**Abbildung 2: Typischer Wochengang des Verkehrs**



**Abbildung 3: Gemessene Wochengänge der PM<sub>10</sub> und NO<sub>x</sub> Belastung an der Messstation Mitte in Graz 2003-2005**



Mit den durchschnittlichen Wochenganglinien für den Kfz-Verkehr kann die Abnahme der primären Emissionen an einem durchschnittlichen Sonntag bestimmt werden. Mit einem Schwerverkehrsanteil von 7 % und den Emissionsfaktoren in Tabelle 1 ergibt

sich ein durchschnittliches Verhältnis Sonntag/Wochentag der primären Emissionen von:

NOx: 0,34  
PM10: 0,44

Über einen Vergleich des gemessenen Rückgangs der PM10-Konzentrationen kann der jeweilige direkte Verkehrsanteil abgeschätzt werden, wenn man annimmt, dass der Rückgang alleine auf den Verkehrsrückgang und nicht auf andere Emittenten (z.B. Hausbrand, Gewerbe) zurückgeführt werden kann. Grundsätzlich stellt diese Annahme eine Obergrenze für die Ermittlung des Verkehrsbeitrags dar. Diese Werte beschreiben möglicherweise nur den direkten Anteil des Verkehrs, sekundäre Partikelbildung kann mit dieser Methode eher nicht berücksichtigt werden, wenn man davon ausgeht, dass typische Bildungszeiten für sekundäre Partikel mehr als 24 h dauern können.

Mit Hilfe der Gleichung

$$s = \frac{1 - \frac{\bar{C}_{Son}}{\bar{C}_{Werk}}}{1 - \frac{\bar{E}_{Son}}{\bar{E}_{Werk}}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{Son,Werk} = \text{mittlere Emission am Sonntag/Werktag} \\ \bar{E}_{Son,Werk} = \text{mittlere Emission am Sonntag/Werktag} \end{array} \right.$$

können die jeweiligen direkten Verkehrsanteile berechnet werden.

**Tabelle 1: Emissionsfaktoren für NOx und PM10 [BMUJF 2004; GEHRIG 2003)**

	NOx		PM10	
	PKW [g/km]	LKW [g/km]	PKW [g/km]	LKW [g/km]
Auspuff	0,4	8	0,025	0,15
Aufwirbelung/Abrieb	-	-	0,055	0,47

Abbildung 4 zeigt die mit der beschriebenen Methodik abgeschätzten Verkehrsanteile für jene steirischen Luftgüteüberwachungsstationen, wo ausreichende Daten zur Verfügung standen. Es muss jedoch beachtet werden, dass möglicherweise bei einzelnen Stationen Emissionen von Betrieben einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Resultat haben können. So liegt etwa die Station Peggau im Einflussbereich von Staubemissionen mehrerer Betriebe.

Grundsätzlich liegen die Verkehrsbeiträge für NOx deutlich über jenen von PM<sub>10</sub>. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Verkehr praktisch die einzige bedeutende bodennahe NOx-Quelle darstellt. Emissionen aus der Industrie werden üblicherweise in gefasster Form über hohe Kamine emittiert, die in der Folge stark verdünnt in Bodennähe auftreten. Die höchsten NOx-Anteile an der Gesamtbelastung weisen hier die Stationen Judenburg und Leoben-Göb auf, welche durch die nahe gelegene Au-

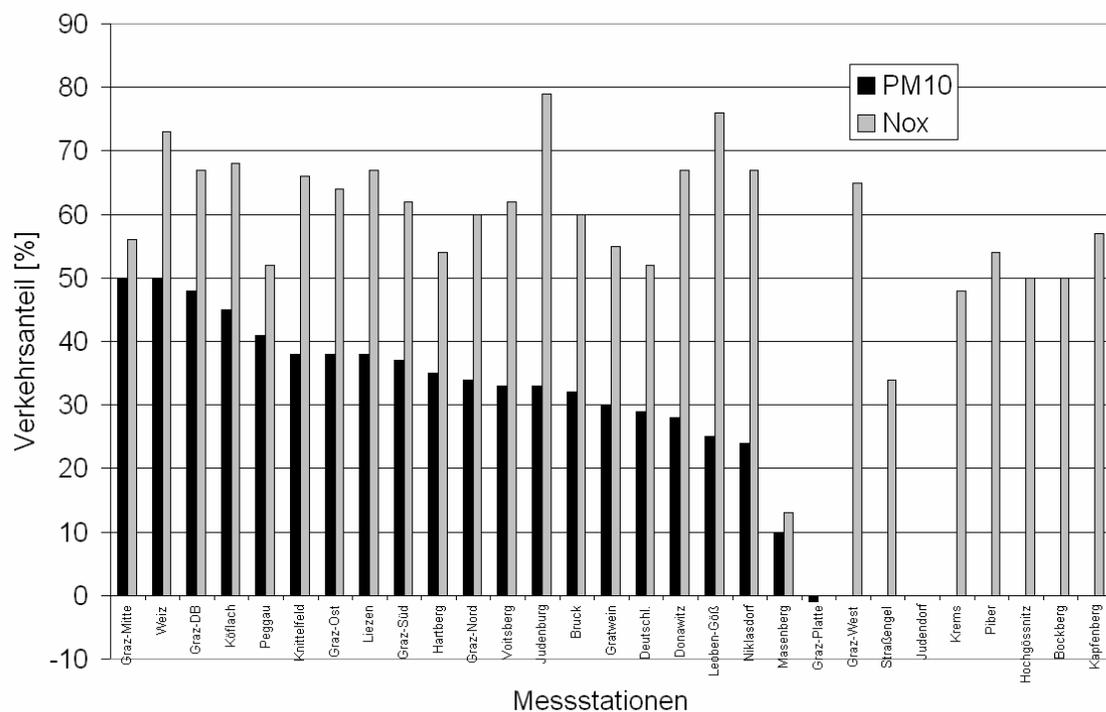
tobahn beeinflusst werden. Den geringsten Anteil weist erwartungsgemäß die Höhenstation am Masenberg auf.

Bei PM<sub>10</sub> werden die höchsten Anteile an den Stationen Graz-Mitte, Don-Bosco aber interessanterweise auch in Weiz mit Werten um 50 % erreicht. Die Ursache für letzteren großen Anteil ist nicht ganz klar. Erwähnenswert ist auch der Umstand, dass an den Stationen Judenburg und Leoben-Göb mit den höchsten Anteilen an NO<sub>x</sub>, die PM<sub>10</sub>-Beiträge des Verkehrs nicht zu den höchsten zählen. Dies könnte mit geringeren Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen auf Autobahnen im Vergleich zu innerstädtischen Straßen zusammenhängen.

Aufgrund der Unsicherheiten im Wochengang des Verkehrs an den Straßen, welche einzelne Messstationen beeinflussen, der Unsicherheiten in den Emissionsfaktoren, und im genauen Schwerverkehrsanteil sowie der Unsicherheit bezüglich des Einflusses von Betrieben auf die Luftgütemessstationen muss von einer Gesamtunsicherheit von zumindest +/- 15 % bei den berechneten Werten ausgegangen werden.

Die chemischen Analysen im Rahmen des AQUELLA Projekts ergaben einen Verkehrsanteil (Auspuff, Abrieb und Aufwirbelung) von knapp 45 % an Überschreitungstagen im Jahr 2004. Der hier ermittelte jahresdurchschnittliche Wert liegt bei 48 %. Die Werte sind wahrscheinlich trotz des unterschiedlichen Mittelungsszenarios trotzdem gut miteinander vergleichbar, da zwar im Winter die Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen gleichzeitig steigen, aber auch die Emissionen aus Heizungsanlagen hoch sind, sodass sich die Relativanteile nicht allzu sehr verändern sollten.

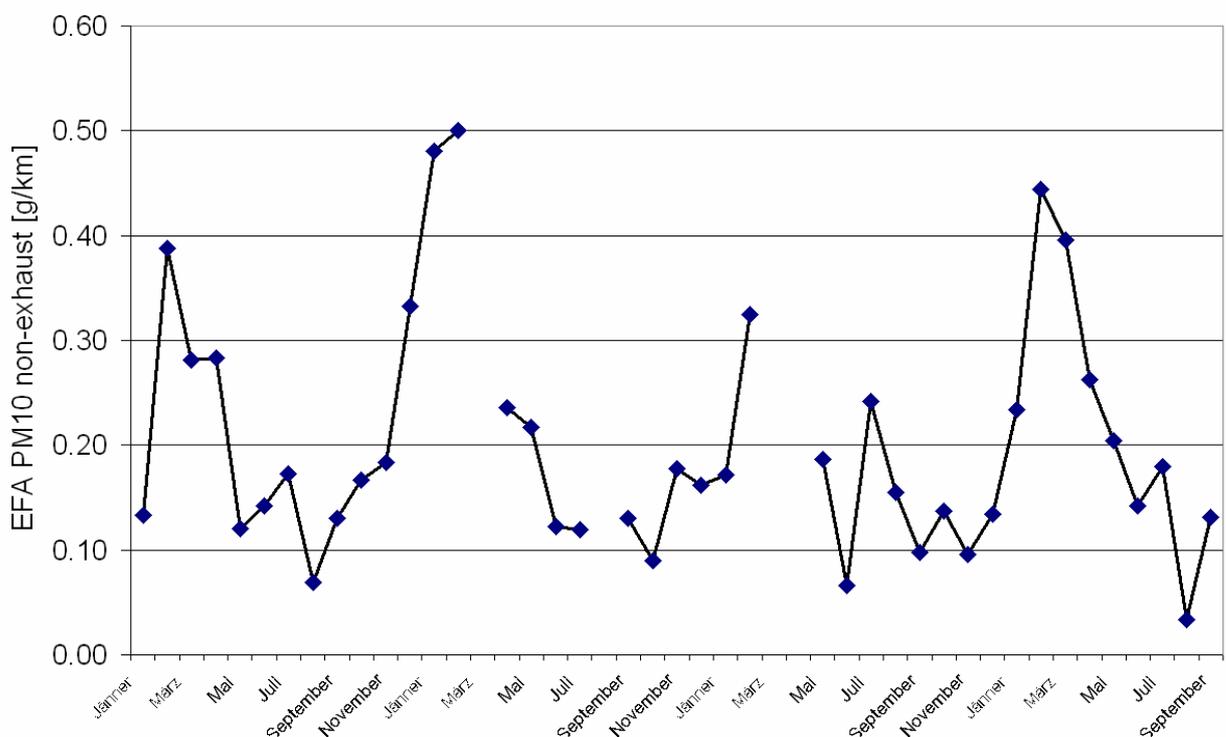
**Abbildung 4: Grob ermittelte Verkehrsanteile im Mittel an den steirischen Luftgütemessstationen 2003-2005**



Interessant ist vor allem auch die saisonale Veränderung der Feinstaubemissionen von Straßen. Diese lässt sich durch einen Vergleich der NO<sub>x</sub>- und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen zweier Messstationen unter der Voraussetzung ermitteln, dass beide Stationen etwa die gleiche Hintergrundbelastung, das sind sämtliche nicht verkehrlichen Immissionen, für diese Schadstoffe aufweisen. Die groben Analysen in diesem Bericht zeigen für Graz-Nord und Graz-Mitte eine gleich hohe Hintergrundbelastung von 21 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>10</sub> im Jahresmittel. Mit Hilfe der nachfolgenden Gleichung lässt sich bei bekanntem Emissionsfaktor für NO<sub>x</sub> und den gemessenen NO<sub>x</sub>- und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen beider Stationen ein Emissionsfaktor für PM<sub>10</sub> abschätzen. Der auf diese Weise berechnete Faktor für Graz-Mitte als Monatsmittel über die letzten Jahre ist in Abbildung 5 dargestellt. Es zeigt sich ein deutlicher saisonaler Verlauf mit extremen Spitzen bis 0,5 g/km (zum Vergleich: Auspuffemissionen liegen bei ca. 0,05 g/km) die häufig auf die Monate Februar und März fallen. Dies ist durch den hohen Verschmutzungsgrad in diesen beiden Monaten (Winterdienst bzw. Straßenreinigung ist im gesamten Winter derzeit nicht möglich) zu erklären.

$$c_{PM10} = \frac{e_f^{PM10}}{e_f^{NOx}} * (c_{NOx} - c_{NOx}^{Hintergrund}) + c_{PM10}^{Hintergrund}$$

**Abbildung 5: Ermittelte Emissionsfaktoren für Abrieb- und Aufwirbelung anhand des Stationspaares Graz-Mitte und Graz-Nord**



Ähnliche Verläufe zeigen sich auch bei Analysen in anderen europäischen Städten, wie z.B. in Kopenhagen, Berlin, Helsinki, Stockholm oder Klagenfurt, wobei vor allem in den skandinavischen Ländern aufgrund des hohen Spikereifenanteils die Spitzen noch wesentlich höher liegen (bis ca. 1 g/km). Deshalb hat man hier bereits begonnen, über Alternativen beim Winterdienst nachzudenken und erste Versuche mit ei-

nem neuen Streumittel (Kalzium-Magnesium-Acetat „CMA“ bzw. „Feinstaubkleber“) durchgeführt [NORMAN 2005]. Dieses Mittel ist in diesem Winter 06/07 zum ersten Mal auch in Klagenfurt im Großeinsatz und wird auch in Graz auf einer Teststrecke verwendet, um Erfahrung damit zu sammeln.

Im internationalen Vergleich [KETZEL 2007] liegen die jahresdurchschnittlichen Abriebs- bzw. Aufwirbelungsfaktoren für Graz-Mitte in der Höhe von 0,200 g/km über den deutlich niedrigeren Werten aus der Schweiz (ca. 0,084 g/km, [GEHRIG 2003]) praktisch gleich hoch wie Werte aus Skandinavien (ca. 0,200 g/km). Untersuchungen für die Völkermarkterstraße in Klagenfurt ergaben Werte, die zwischen den Skandinavischen und den Schweizer Werten liegen. Als Ursache für die extrem hohen Abriebs- bzw. Aufwirbelungsemissionen könnten die seit mehreren Jahren durchgeführten Bautätigkeiten im Bereich der Messstation in Betracht kommen.

Für Graz-Mitte ergibt sich ein Verhältnis von Auspuff zu Nicht-Auspuffemissionen von ca. 0,25. Im Rahmen des AQUELLA Projekts wurde im Mittel über alle Überschreitungstage für die Station Don-Bosco im Jahr 2004 ein Verhältnis von 0,29 ermittelt (BAUER 2006). Jahresdurchschnittliche Werte zwischen 0,100-0,150 g/km für normal verschmutzte Straßen erscheinen daher durchaus realistisch, wenn man bedenkt, dass relativ viele Überschreitungstage nicht hauptsächlich durch Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen sondern auch durch andere Quellen verursacht wurden (Heizungsanlagen, sekundäre Aerosole, Brauchtum).

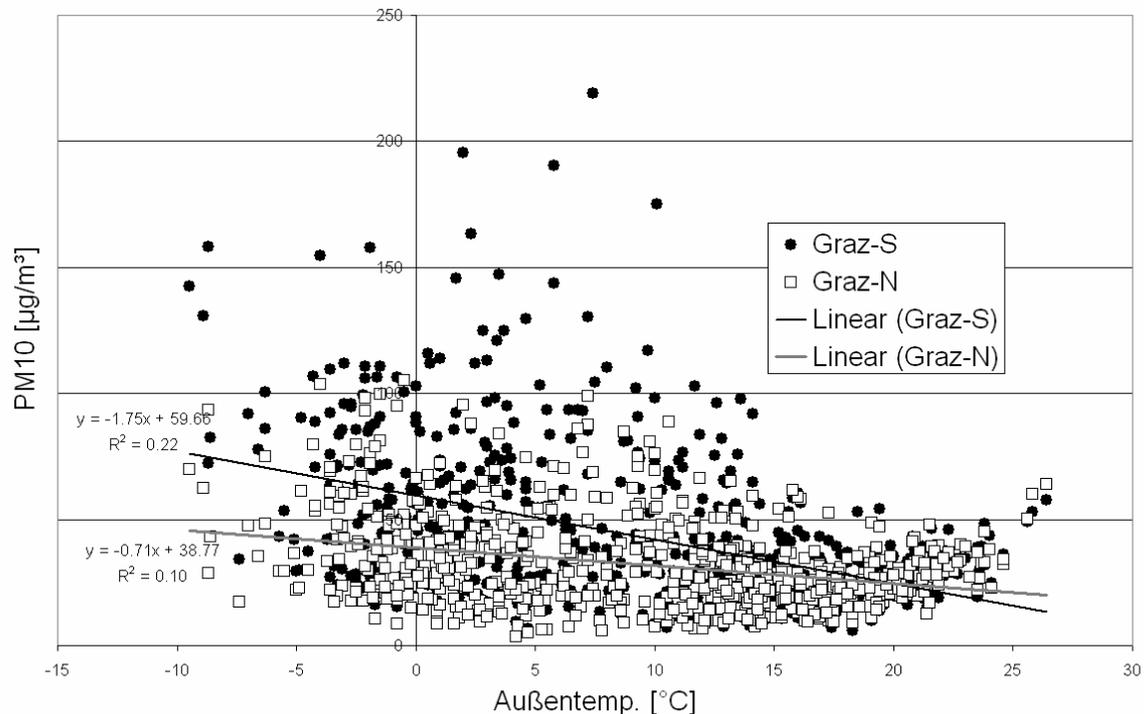
## **5 Abschätzung des Anteiles aus Heizungsanlagen**

Die bisherigen chemischen Analysen im Rahmen des AQUELLA Projekts deuten sehr klar auf einen hohen Anteil des Hausbrandes an der gesamten  $PM_{10}$ -Belastung hin. Eine Abschätzung desselben auf Basis der Messdaten des steirischen Luftgüteüberwachungsnetzes gestaltet sich jedoch schwierig und ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Hausbrand- bzw. Heizungsemissionen sehr stark mit der Außentemperatur korrelieren sollten. Ob diese Korrelation jedoch linear ist oder eine andere Funktion sein kann, ist nicht sicher. Korreliert man nun die gemessenen  $PM_{10}$  Konzentrationen mit der gemessenen Außentemperatur so ergibt sich zusätzlich das Problem, dass vor allem im Winter (hier sind die Emissionen naturgemäß am höchsten) eine weitere Korrelation der Außentemperatur mit den Ausbreitungsbedingungen anzunehmen ist. D.h. je niedriger die Außentemperatur desto eher sind Bodeninversionen ausgeprägt (z.B. aufgrund einer vorhandener Schneedecke) und desto höher sind die gemessenen  $PM_{10}$ -Konzentrationen. Dies führt zu einer Pseudokorrelation, welche grundsätzlich zu einer Überschätzung des Hausbrandanteils führt. Nimmt man das gesamte Jahr für die Korrelation her (also auch den Sommer), so wird diese Pseudokorrelation teilweise wieder dadurch ausgeglichen, dass die  $PM_{10}$ -Konzentrationen bei sehr hohen Temperaturen ebenfalls leicht steigen (siehe Abbildung 6), was möglicherweise mit geringeren Windgeschwindigkeiten bzw. Warmluftadvektion aus dem Süden (manchmal verbunden mit höheren Belastungen durch Saharastaub) und Emissionen von trockenen Oberflächen im Zusammenhang steht. Ebenfalls dürfte die Annahme einer linearen Korrelation zwischen  $PM_{10}$  und Außentemperatur zu einer Unterschätzung führen. Es ist also anzunehmen, dass die vorher erwähnte Pseudokorrelation zumin-

dest teilweise wieder kompensiert wird. Insgesamt sind die folgenden Auswertungen aber mit deutlich höheren Unsicherheiten verbunden als z.B. jene für die Abschätzung des Verkehrsbeitrags.

Interessant ist aber festzustellen, dass sich trotz dieser hohen Unsicherheiten in der Methodik plausible Größenordnungen für den Hausbrandanteil ergeben. An der Station Graz-Süd beträgt der Anteil damit 22 % und an der Station Graz-Nord nur 10 % im Jahresmittel. Beide Werte scheinen grundsätzlich denkbar sowohl von der Größenordnung als auch von der räumlichen Struktur der Hausbrandemissionen in Graz.

**Abbildung 6: Lineare Korrelation zwischen Außentemperatur und PM<sub>10</sub>-Konzentration (TMWs) für die Stationen Graz-Süd und Graz-Nord**



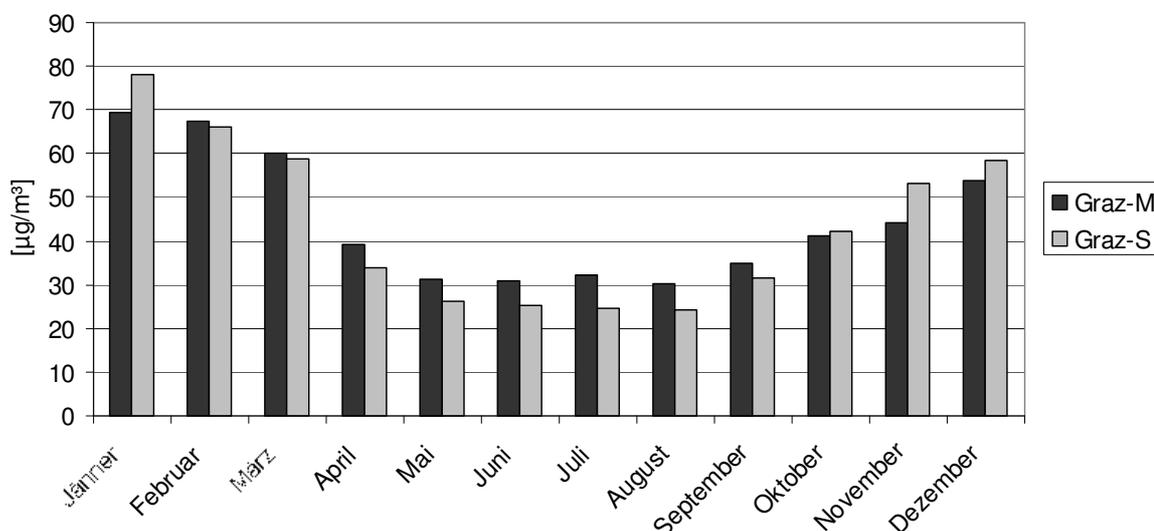
In Tabelle 2 sind die mit dieser Methodik grob abgeschätzten Hausbrandanteile für ausgewählte Stationen aufgelistet. Die höchsten Anteile weist die Station Graz-Süd mit 22 % im Jahresmittel auf. Interessant ist, dass sich z.B. für die innerstädtische Station Graz-Mitte nur 12 % Hausbrandanteil ergeben, was einerseits auf die Gebäudehöhen (hohes Emissionsniveau) und andererseits auf einen hohen Anteil an Fernwärme bzw. Gasheizungen zurückzuführen sein könnte. Umgekehrt befindet sich die Station Graz-Süd in der unmittelbaren Umgebung von zahlreichen Einfamilienhäusern, wo zum Teil noch Festbrennstoffeuerungen bzw. Kaminöfen in Verwendung sind, die oft sehr hohe PM<sub>10</sub>-Emissionen verursachen. Die in Österreich am höchsten belastete Station Don Bosco weist neben einem hohen Verkehrsanteil auch einen sehr hohen Hausbrandanteil auf, der offenbar typisch für äußere Wohngebiete in Graz ist. Ebenso hohe Anteile ergeben sich für die Station Hartberg. Hingegen zeigen die Stationen Weiz und Judenburg sehr geringe Anteile.

**Tabelle 2: Grob abgeschätzte Hausbrandanteile an ausgewählten Stationen auf Basis einer linearen Korrelation zwischen Außentemperatur und PM<sub>10</sub>-Konzentration**

	Graz-Nord	Graz-Süd	Graz-Mitte	Don-Bosco	Hartberg	Weiz	Deutsch-landsberg	Judenburg	Knittelfeld
Anteli des Hausbrands	10%	22%	12%	24%	18%	7%	12%	5%	20%

Interessant ist nun auch ein Vergleich zwischen den Stationen Graz-Mitte und Graz-Süd. Beide Stationen weisen im Jahresmittel praktisch gleich hohe PM<sub>10</sub>-Belastungen auf. Aufgrund der vorher durchgeführten Analysen dürften jedoch die Belastungen an der Station Graz-Mitte wesentlich mehr vom Verkehr stammen als jene an der Station Graz-Süd. Dies wirkt sich wahrscheinlich auch auf die saisonale PM<sub>10</sub> Belastung aus, wie Abbildung 7 deutlich macht. Während in den Sommermonaten die Station Graz-Süd wesentlich unter den Werten von Graz-Mitte liegt, was auf den geringeren Verkehrseinfluss und auf die niedrigen Hausbrandemissionen im Sommer zurückzuführen sein dürfte, zeigen mit Beginn der Heizsaison im Oktober beide Stationen gleich hohe Werte und von November bis Dezember sind in der Folge die Konzentrationen an der Station Graz-Süd merklich höher als an der Station Graz-Mitte. Das heißt, in diesen Monaten schlägt der höhere Hausbrandanteil an der Station Graz-Süd merklich durch. Bemerkenswert ist aber, dass im Februar und März, wo die Hausbrandemissionen in der Regel immer noch sehr hoch angenommen werden können, die Station Graz-Mitte wieder beinahe gleich hohe PM<sub>10</sub>-Werte aufweist wie Graz-Süd. Dies dürfte wiederum damit im Zusammenhang stehen, dass die Verkehrsemissionen gerade in diesen beiden Monaten aufgrund erhöhter Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen stark zunehmen (siehe Abbildung 5).

**Abbildung 7: Saisonale PM<sub>10</sub>-Belastung an den Stationen Graz-Süd und Graz-Mitte 2003-2006**

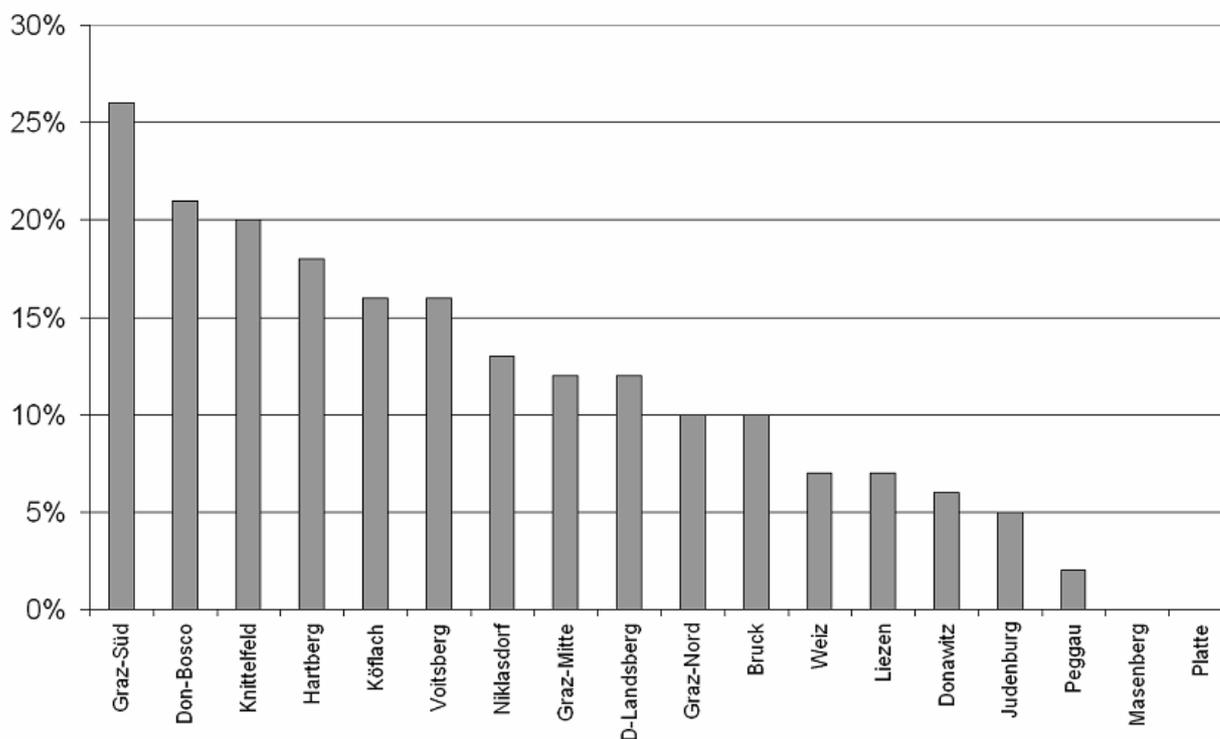


Unter der Annahme, dass die Heizungsemissionen im Sommer vernachlässigbar sind (nur Warmwasserbereitung) kann über das PM<sub>10</sub>-Verhältnis im Sommer der beiden Stationen Graz-Süd und Graz-Mitte der Heizungsanteil an der Station Graz-Süd abgeschätzt werden, der zusätzlich zu jenem an der Station Graz-Mitte dazukommt. Würden also beide Stationen in gleichen Teilen durch lokale Emissionen beeinflusst sein, so sollte sich das Immissionsverhältnis im Jahresverlauf nicht ändern. Die beobachtete Veränderung im Immissionsverhältnis wird also für die Ermittlung der erhöhten Heizungsemissionen herangezogen.

Für Graz-Süd ergeben sich mit dieser Methode +14 % Heizungsanteil an PM<sub>10</sub> im Mittel über das Jahr im Vergleich zu Graz Mitte. Für die Station Don-Bosco beträgt dieser Anteil +9 % und Graz-Nord -5 %. Geht man von 12 % Heizungsanteil an der Station Graz-Mitte aus (siehe Tabelle 2) so würden sich für die Stationen Graz-Süd 26 %, für Don-Bosco 21 % und für Graz-Nord 7 % ergeben. Diese Werte decken sich sehr gut mit den Werten, welche mit der Korrelation über die Außentemperatur ermittelt wurden. Eine relativ gute Übereinstimmung zeigt sich auch mit den Analysen des AQUELLA Projekts. Für Don-Bosco wurden an Überschreitungstagen ein relativer Anteil von 30 % bestimmt. Der jahresdurchschnittliche Wert muss naturgemäß niedriger liegen. Außerdem wurde für die Station Graz-Süd ein höherer relativer Anteil an chemischen Substanzen, die auf Hausbrandemissionen hinweisen, bestimmt (organischer Kohlenstoff und HULIS), als an der Station Don-Bosco, was sich ebenfalls mit diesen Analysen deckt.

Abbildung 8 zeigt die grob ermittelten Anteile der Heizungsemissionen nach den vorher erwähnten Methoden (Temperaturkorrelation bzw. Jahrganganalyse) für alle steirischen Stationen mit ausreichender Datengrundlage. Auch im gesamtsteirischen Vergleich liegt die Station Graz-Süd mit 26 % Anteil an der Spitze. Hohe Anteile haben auch Knittelfeld, Hartberg, Voitsberg und Köflach. Die niedrigsten Werte weisen die Hintergrundstationen Platte oder Masenberg auf. Gering mit Heizungsemissionen sind die Stationen Judenburg und Peggau belastet.

**Abbildung 8: Grob ermittelte Anteile von Heizungsemissionen an den gemessenen Gesamtemissionen im Mittel der Jahre 2004-2005**



## 6 Abschätzung der Hintergrundbelastung

Geht man davon aus, dass die Verkehrs- und Heizungsemissionen die wesentlichen Verursacher für die gemessenen lokalen PM<sub>10</sub>-Belastungen sind, so sollte sich nach Abzug dieser beiden Beiträge von der Gesamtbelastung eine relativ homogene Hintergrundbelastung ergeben. Die auf diese Weise berechneten Hintergrundbelastungen für das Jahresmittel sind in Abbildung 9 dargestellt. Tatsächlich ergibt sich trotz der erwähnten Unsicherheiten in der Herleitung der Beiträge eine für die gesamte Steiermark relativ homogene Hintergrundbelastung an allen betrachteten Stationen, was dafür spricht, dass die Größenordnung der Einzelbeiträge plausibel ist.

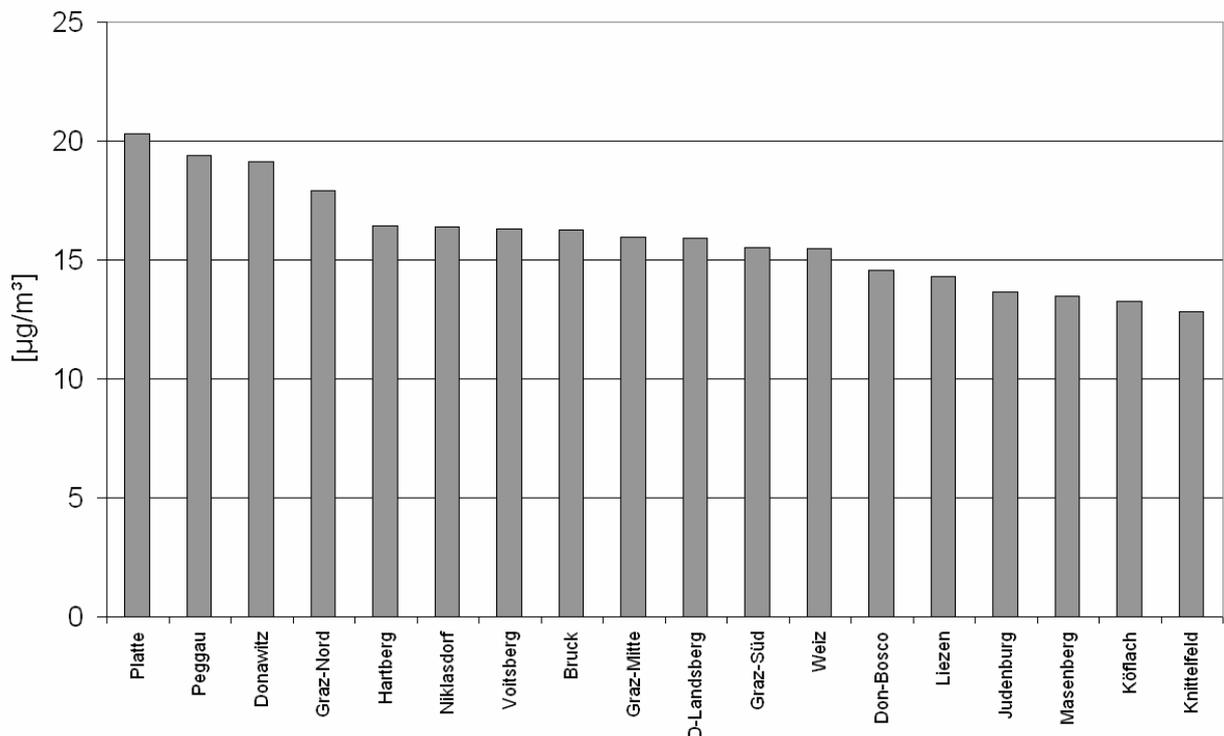
Ausreißer nach oben (zu hohe Hintergrundbelastung im Schnitt) sind die Stationen Graz-Platte, Donawitz, Graz-Nord und Peggau. Für die Stationen Donawitz und Peggau kann dies relativ einfach durch lokale Emissionen von Betrieben erklärt werden (VOEST bzw. Steinbruch). Keine Erklärung gibt es dzt. für die Stationen Platte und Graz-Nord. Möglicherweise dürfte die Methode der Temperaturkorrelation in der Steiermark nur für Tal- bzw. Bodenstationen vernünftige Werte liefern. Dies zeigt sich z.B. daran, dass für die Station Masenberg eine positive Korrelation von 10 % vorhanden ist. Das würde bedeuten, dass mit abnehmender Temperatur die Heizungsemissionen abnehmen, was physikalisch sinnlos ist. Hier dürften die Ausbreitungsbedingungen für diese Station bewirken, dass die vorher diskutierte Pseudokorrelation bereits überkompensiert wird. Je höher die Temperatur am Masenberg, desto eher liegt die Station in der Grenzschicht mit entsprechend höheren Immissionen. Auf der Platte, die praktisch zwischen der Höhenstation am Masenberg und den Talstationen liegt, ergibt sich eine Korrelation von exakt null. Man könnte daher als groben

Anhaltspunkt für den Heizungsanteil an der Station Platte die am Masenberg gefundene positive Korrelation von 10 % annehmen.

Sieht man von den Stationen Platte und Graz-Nord ab, so bewegen sich die Hintergrundbelastungen in einem sehr engen Bereich zwischen 13 und 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ein Wertebereich der wiederum sehr gut mit den gemessenen Konzentrationen an der Hintergrundstation Masenberg übereinstimmt.

Im saisonalen Verlauf, insbesondere im Winter an Überschreitungstagen ist aber damit zu rechnen, dass der Heizungsanteil wesentlich höher sein wird gegenüber dem hier angegebenen jahresdurchschnittlichen Wert. Für Don-Bosco ergeben sich zwischen Dezember und Februar um +20 % höhere Heizungsanteile an der  $\text{PM}_{10}$ -Belastung als an der Station Graz-Mitte. Da auch an dieser Station ein insgesamt höherer Anteil im Winter zu erwarten ist, muss an der Station Don-Bosco mit mehr als 40 % Heizungsanteil gerechnet werden. Der mittlere Verkehrsbeitrag liegt an dieser Station im selben Bereich (siehe Abbildung 4). Dieser sollte sich aber im Winter nicht wesentlich ändern (steigender Heizungsanteil einerseits und steigender lokaler Beitrag andererseits). Interessant ist auch, dass Modellsimulationen für Klagenfurt und dem Lavanttal ähnlich hohe jahresdurchschnittliche Hintergrundbelastungen ergeben haben, wie in dieser Arbeit [ÖTTL 2006; ÖTTL 2006a].

**Abbildung 9: Ermittelte Hintergrundbelastung nach Abzug des Heizungs- und Verkehrsanteils**



## 7 Quellzuordnung an Überschreitungstagen für Graz-Süd 2006

Es wird an dieser Stelle versucht, die einzelnen Überschreitungstage im Jahr 2006 an der Station Graz-Süd entweder lokalen Beiträgen oder Ferntransport zuzuordnen,

soweit dies möglich ist. Dabei wird ein Überschreitungstag dann einem Ferntransport zugeordnet, wenn der Konzentrationswert an der Station Graz-Süd abzüglich des Messwertes an der Station Masenberg deutlich unterhalb des Grenzwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu liegen käme. Als Schwellenwert wurde  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Restbelastung definiert, da die jahresdurchschnittliche Hintergrundbelastung am Masenberg ca.  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beträgt.

Am häufigsten werden demnach die Überschreitungen durch lokale Emissionen (Verkehr und Heizungsanlagen) verursacht, gefolgt von Ferntransport aus Ost- bzw. Nordosteuropäischen Staaten. Immerhin 3 Überschreitungstage konnten einem Saharastaubereignis zugeordnet werden und ebenso ergaben sich 3 brauchumsbedingte Überschreitungstage.

**Tabelle 3: Abschätzung der Hauptursachen für die einzelnen Überschreitungstage an der Station Graz-Süd (1.1.-15.12.2006)**

Ursache	Anzahl	Relativ
Verkehr/Heizungsanlagen	65	79%
Ferntransport Ost-Nordosteuropa	11	13%
Saharastaub	3	4%
Ostern	2	2%
Silvester	1	1%

## 8 Literatur

- [BAUER 2006] Bauer, H., I. Marr, A. Kasper-Giebl, A. Limbeck, A. Caseiro, M. Handler, N. Jankowski, B. Klatzer, P. Kotianova, P. Pouresmaeil, Ch. Schmidl, M. Sageder, H. Puxbaum (2006): Endbericht für das Projekt „AQUELLA“ in Graz. Bestimmung von Immissionsbeiträgen in Feinstaubproben. Korrekturversion vom 11.12.2006, Wien, S 161.
- [BGBL 2006] Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über belastete Gebiete (Luft) zum Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000, BGBl.II Nr.262/2006, i.d.F. BGBl.II Nr.340/2006
- [BMUJF 2004] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 2.1A, Wien.
- [GEHRIG 2003] Gehrig, R., Hill, M., Buchmann, B., Imhof, D., Weingartner, E., Baltensperger, U., Purghart, B. G., Bürgisser, G., Dolecek, L., Evequoz, R., Hauser-Strozzi, E., Infanger, K., Jenk, H., Porchet, A., Sommer, H., Sprenger, P., Stauffer, J., and Vaucher, C. (2003). "Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs." PSI, EMPA, BUWAL, Schweiz.
- [JAHRESBERICHT 2006]: Luftgütemessungen in der Steiermark, Jahresbericht 2006, Bericht Lu-02-07, in Vorbereitung
- [JOHN 2004] John, A., T. Kuhlbusch, und M. Lutz (2004): Quellenzuordnung anhand aktueller Immissions- und Emissionsdaten in Berlin. PMx-

Quellenidentifizierung, Duisburg 22.-23.01.2004.

- [KETZEL 2007] Ketzl, M., G. Omstedt, Ch. Johansson, I. Düring, M. Pohjola, D. Öttl, L. Gidhagen, P. Wåhlin, A. Lohmeyer, M. Haakana, R. Berkowicz (2007): Estimation and Validation of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modeling. Atmospheric Env., (submitted).
- [LGBL 2006] Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 2. November 2006, mit der Maßnahmen zur Verringerung der Immission des Luftschadstoffs PM<sub>10</sub> nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft angeordnet werden (IG-L-Maßnahmenverordnung), LGBl. Nr. 131/2006
- [NORMAN 2005] Norman, M., Ch. Johansson (2005): Evaluation of different measures to reduce road dust emissions in Stockholm. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Urban Air Quality, Valencia.
- [ÖTTL 2006] Öttl, D., Ch. Kurz (2006): Analyse und Modellierung der Feinstaubbelastung in Klagenfurt. Bericht Nr. I-17/2005/Öt I-630/1 vom 03.10.2006, Technische Universität Graz, S66.
- [ÖTTL 2006a] Öttl, D., Ch. Kurz, P. Sturm (2006): Statuserhebung PM<sub>10</sub>-Lavanttal. Bericht Nr. FVT-60/06/Öt V&U 05/41/6300 vom 10.8.2006
- [PUXBAUM 2004] Puxbaum, H., B. Gomiscek, M. Kalina, H. Bauer, A. Salam, S. Stopper, O. Preining, H. Hauck (2004): A dual site study of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> aerosol chemistry in the larger region of Vienna, Austria. Atmospheric Environment 38, 3949-3958.
- [RUPPRECHT 2004] M. Rupprecht et al. Programm zur Feinstaubreduktion in der Steiermark; Hg: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 13A, GZ FA13A-07.10 7-2004/389, Graz 2004