



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology



Kurzbericht

Chemische Filteranalysen in Feinstaubproben an drei
Luftgütemessstationen in Klagenfurt und Umgebung,
im Rahmen des
INTERREG IVA SI-AT Projektes PMinter

Magdalena Kistler, Heidi Bauer, Anne Kasper-Giebl, Eylem C. Cetintas, Carlos
Ramirez Santa Cruz, Lylian Sampaio Cordeiro Wagner, Elisabeth Schreiner

Wien, 28.01.2013

Inhalt

1. Einführung.....	3
2. Methoden.....	3
2.1. Probenahme.....	3
2.2. Analytik.....	4
2.3. Zuordnung der Feinstaubquellen mittels "Makrotracer" Methode	4
3. Ergebnisse	5
3.1. PM10	5
3.2. Ergebnisse der Quellenzuordnung.....	7
3.2.1. Feinstaubquellen im Winter 2011	7
3.2.2. Urban Impact	10
3.2.3. Vergleich Winter – Sommer 2011	11
4. Zusammenfassung	14
5. Literaturverzeichnis.....	14

1. Einführung

Der Begriff „PM10“ umfasst Staubteilchen („Particulate Matter“) mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 μm und darunter. Für diesen Luftschadstoff gilt ein Grenzwert von 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als TMW (Tagesmittelwert), der allerdings gemäß Gesetzgebung der EU pro Jahr an maximal 35 Tagen überschritten werden darf (durch 1999/30/EG eingeführt und in der aktuellen Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa aufrechterhalten). In Österreich sind gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft nur 25 Überschreitungstage zulässig. Bedauerlicherweise wird in weiten Gebieten Europas die Anzahl der erlaubten Überschreitungstage nicht eingehalten, was mit einem erhöhten Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung verbunden ist.

Das Projekt PMinter wurde geschaffen, um Maßnahmen für eine nachhaltige Verbesserung der Luftqualität in den österreichisch-slowenischen Grenzregionen (Unterkärnten, Südsteiermark und Nordslowenien) zu entwickeln. Die Ergebnisse sollen die zukünftige Einhaltung der EU-Grenzwerte für Luftschadstoffe, mit besonderer Berücksichtigung von Feinstaub (PM10), ermöglichen. Dafür ist sowohl der Beitrag der verschiedenen Feinstaubquellen an einer erhöhten Hintergrundbelastung zu quantifizieren, als auch die Zusatzbelastungen in Ballungszentren darzustellen. Zur Klärung dieser Fragen wird im Projekt PMinter, unter anderem ein chemisches Makrotracer-Modell verwendet. Hier werden die Ergebnisse für das Land Kärnten zusammengefasst.

Der Kurzbericht umfasst folgende Punkte:

- Darstellung der chemisch-analytischen Methoden
- Quellenzuordnung, im Winter 2011
- Abschätzung des Einfluss des regionalen Hintergrunds auf stark belastete Messpunkte
- Saisonaler Vergleich der Bedeutung der wichtigsten Feinstaubquellen.

2. Methoden

2.1. Probenahme

Die Untersuchungen wurden an drei Messstellen durchgeführt. Zwei Stationen befanden sich direkt in der Landeshauptstadt Klagenfurt. Die Messstation Klagenfurt Völkermarkter Straße (hier auch abgekürzt mit „KV“) befindet sich an einer stark befahrenen Straße und ist von Wohn- und Bürogebäuden umgeben. Der Messpunkt Klagenfurt Ost (Limmersdorf), („KO“) liegt am Rand der städtischen Wohn- und Gewerbegebiets und dient der Messung des städtischen Hintergrunds. Die dritte Messstelle – Ebenthal – Zell („EZ“) befindet sich außerhalb der Stadt Klagenfurt, innerhalb des Klagenfurter Beckens. Die Station befindet sich innerhalb des Ortes umgeben von lockerer Bebauung (Wohngebiet) in der Nähe einer wenig befahrenen Innerorts-Straße.

Die Probenahme von PM10 erfolgte mit High-Volume-Sammlern und wurde durch Mitarbeiter der Abteilung 15, des Amtes der Kärntner Landesregierung durchgeführt. Es wurden Quarzfaserfilter ($\varnothing 150$ mm) beprobt und ausgewogen. Die Filter (Tagesproben) wurden anschließend zum Institut für Chemische Technologien und Analytik der TU Wien gebracht und für die verschiedenen Analysen entsprechend vorbereitet.

2.2. Analytik

Die zu bestimmende Aerosolkomponenten wurden so gewählt, dass eine Berechnung der wichtigsten Feinstaubquellen möglich ist. Die genaue Beschreibung der analytisch-chemischen Methoden befindet sich in den zitierten Publikationen. Einige Komponenten wurden nur für eine begrenzte Anzahl der Proben bestimmt.

Anorganische Ionen werden im wässrigen Extrakt (H₂O-dest. für Anionen, 12 mM Methansulfonsäure für Kationen) mittels Ionenaustauschchromatographie gemessen.

Organischer und Elementare Kohlenstoff (OC, EC) wurde mittels Thermographie mit optischer Korrektur bestimmt (OCEC Sunset Lab Instrument betrieben mit EUSAAR2 Temperaturprotokoll, Cavalli et al., 2009).

Anhydrosaccharide (Levoglucosan, Mannosan und Galactosan) wurden mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie im wässrigen Extrakt gemessen (Iinuma et al., 2009).

In HULIS (HUMic Like Substances) gebundener Kohlenstoff wurde nach einer Festphasenextraktion thermisch (Verbrennung zu CO₂, Detektion mittels nicht dispersivem Infrarot) gemessen (Limbeck et al. 2005).

Aluminium, Kalzium und Eisen wurden mittels Röntgen-Fluoreszenzspektroskopie gemessen.

Zur Bestimmung von Wasser im Aerosol (Aerosolfeuchte) wurde die Thermogravimetrie in N₂ Atmosphäre verwendet.

HULIS-C, mineralische Komponenten und Aerosolfeuchte wurden in acht Winterproben (30.-31.01, 3.-4., 23.-24., 27.-28.02.2011) und zwei Sommerproben (21.-22.07.2011) bestimmt.

2.3. Zuordnung der Feinstaubquellen mittels "Makrotracer" Methode

Zur Darstellung der wichtigsten Aerosolquellen stehen Tracer zur Verfügung, die als Makrokomponenten im Quellenprofil anzusehen sind. Ausgehend von diesen Komponenten wurde ein einfaches Massenbilanz-Modell erstellt, mit welchen bis zur neun Quellen (bzw. Quellengruppen) in der Immission zu erklären sind (Bauer et al., 2006).

Im vorliegenden Projekt wurden die in Tabelle 1 angeben Tracer verwendet. Daraus lassen sich die Feinstaubquellen Kfz-Verkehr, Holzrauch, Mineralsataub, Streusalz, anorganisches Sekundäraerosol und organisches Sekundäraerosol ableiten.

Tabelle 1: Makrotracer und abgeleitete Quellen im Makrotracer-Modell

Makrotracer	Faktor	Quelle	Referenz
EC	$EC_D = EC - EC_{WS}$ $D_{Ex} = EC_D + (EC_D * 0.33)$ (D _{Ex} : Diesel-Abgas) $EC_{WS} = M_{WS} * 0.1$	EC - Dieselmotoren Diesel Abgas (Kfz+Off-Road) EC - Holzrauch	Tunnelmessungen, Handler et al., 2008, eigene Daten
Levoglucosan (Lev) Mannosan (Man)	$M_{WS} = Lev * WS_F$ $WS_F = \text{abhängig von Lev/Man}$ Verhältnis an einzige Tagen, angepasst für jede Messstation, täglich	Holzrauch aus Kleinf Feuerungsanlagen (Heizkessel <50kW, Einzelöfen)	Schmidl et al., 2008, 2011, eigene Daten
HULIS	2xHULIS-C	Sekundäre organische Stoffe	Limbeck et al., 2005
NaCl	> 1% von PM10	Streusalz	-
Si, Ca (<i>Si-Anteil durch Verhältnis zu Al berechnet</i>)	$(Si * 2.7) + (Ca * 2.5)$	Mineralstaub	Geogene Verhältnisse, Bauer et al., 2006, eigene Daten
Ammonium, Sulfat, Nitrat	$NH_4 + SO_4 + NO_3$	Sekundäre anorganische Stoffe	-
Nicht identifiziertes PM	-	Meistens organische sekundäre Aerosole biologischer Herkunft	-

3. Ergebnisse

3.1. PM10

Die im Zeitraum von 28.01.2011 bis 28.02.2011 erfassten Konzentrationswerte für PM10 sind in Abbildung 1 dargestellt. Eine erhöhte Feinstaubbelastung ist in der Periode 2.02.-12.02. und erneut ab 22.02.2011 zu erkennen. Höchste Konzentrationswerte treten bei den drei durch Verkehr belasteten Messstellen Maribor Center (Slowenien), Leibnitz (Steiermark) und Klagenfurt Völkermarkter Straße (Kärnten) auf. Die Monatsmittelwerte für Februar liegen für alle drei Stationen bei 60 µg/m³. Der Grenzwert von 50 µg/m³ (als TMW) wurde allein im Februar an 17 (Station Maribor Center) bis 19 (Station Klagenfurt Völkermarkter Straße) Tagen überschritten.

Teilweise zeigten sich im Vergleich von städtischen und ländlichen Messstellen deutliche Unterschiede. Die niedrigsten PM10 Werte wurden an der steirischen Hintergrundmessstelle Arnfels, gemessen. Der Monatsmittelwert (MMW) für Februar beträgt 26 µg/m³. Der Grenzwert von 50 µg/m³ wird nur an drei Tagen überschritten. An den Hintergrundstationen in Kärnten und Slowenien (Klagenfurt Ost (Limmersdorf) und Vrbanski Plato) liegt die Feinstaubbelastung etwas höher (MMW im Februar 43 und 47 µg/m³).

Zusätzlich zur Probenahme in der erfahrungsgemäß stärker belasteten kalten Jahreszeit, wurden die PM10 Werte auch im Sommer 2011 ermittelt. An zwei Messtagen in Juli 2011 lag die Feinstaubbelastung zwischen 4 und 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Sommerwerte wiesen auf keine signifikanten Unterschiede zwischen städtische und ländliche Messstellen hin. Die Zunahme der PM10 Werte im Winter ist im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen. Einerseits bewirkt der verringerte Luftaustausch eine Anreicherung der Luftschadstoffe, andererseits werden zusätzliche Emissionsquellen wirksam, oder die Emission aus bestehenden Quellen verstärkt.

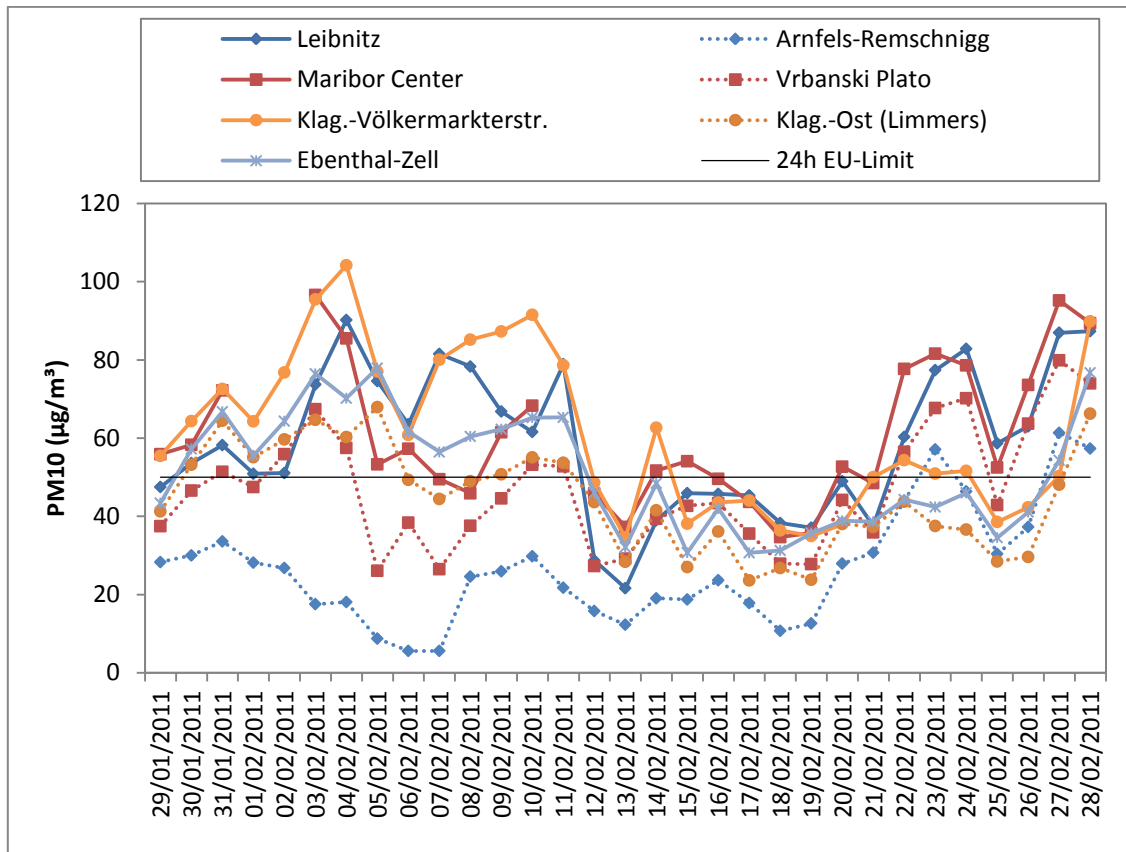


Abbildung 1: PM10 Konzentrationen in Februar 2011 - Vergleich für alle PMinter Messstellen

Die folgenden Auswertungen beschränken sich auf jene Tage für die alle analytischen Parameter erfasst wurden. Die an diesen Tagen gemessenen PM10 Konzentrationswerte sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: PM10 Konzentrationen für die "Makrotracer" Tage¹

Tag	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
30.01.	KV	64	KO	53	EZ	57
31.01.	KV	73	KO	64	EZ	67
3.02.	KV	95	KO	65	EZ	76
4.02.	KV	104	KO	60	EZ	70
23.02.	KV	51	KO	38	EZ	42
24.02.	KV	51	KO	37	EZ	46
27.02.	KV	50	KO	48	EZ	54
28.02.	KV	90	KO	66	EZ	77
MW(W)	KV	72	KO	54	EZ	61
21.07.	KV	9	KO	9	EZ	9
22.07.	KV	9	KO	10	EZ	9
MW(S)	KV	9	KO	9	EZ	9

3.2. Ergebnisse der Quellenzuordnung

3.2.1. Feinstaubquellen im Winter 2011

Die Ergebnisse der Quellenzuordnung auf Basis der Wintermessungen (acht Messtage, siehe Tabelle 2) sind in Abbildung 2 bis 4 dargestellt. Für die einzelnen Feinstaubquellen sind sowohl die mittleren Konzentrationswerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] als auch deren relativer Beitrag [%] angegeben.

Die sekundär gebildeten anorganische Salze (Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat) liefern den massenmäßig größten Beitrag zum Feinstaub. Diese Verbindungen entstehen großräumig aus gasförmigen Vorläufersubstanzen (Stickstoffoxide, Schwefeldioxid und Ammoniak) und können auch über weitere Strecken transportiert werden. Entsprechend liegt der relative Beitrag an der Hintergrundmessstelle Klagenfurt Ost (Limmersdorf) am höchsten. Aber auch in Klagenfurt Völkermarkter Straße umfassen diese Komponenten ein Drittel der Feinstaubmasse. Um die Konzentration dieser Komponenten zu verringern ist eine großräumige Reduktion der Emissionen der Vorläufersubstanzen notwendig.

Die zweitwichtigste Feinstaubquelle ist der Holzrauch. Besonders im ländlichen Ebenthal-Zell wird diese Quelle wirksam. Aber auch im Stadtgebiet von Klagenfurt liegt der Quellenanteil des Holzrauchs bei mehr als 20% der Aerosolmasse. Biomasse ist ein sehr wichtiger fester Brennstoff für Österreich, besonders in ländlichen Bereich. Kleine Feuerungsanlagen (<50kW) – alte Scheitholzkessel oder Einzelöfen die in vielen Haushalten verwendet werden sind für die höchsten Emissionen verantwortlich. Holzrauch ist sowohl ein lokales als auch ein regionales Problem. Mögliche Reduktionsmaßnahmen müssen daher lokal- und regional orientiert sein.

¹ MW(W) = Mittelwert (8 Winterproben); MW(S) = Mittelwert (2 Sommerproben)

Die Wiederaufwirbelung von Straßenstaub, (in den Diagrammen als Mineralstaub dargestellt) und Verkehr sind weitere wichtige Verursacher für Feinstaub. Wie erwartet ist der Verkehrsanteil und dadurch auch der durch Wiederaufwirbelung entstehende Mineralstaubanteil am Messpunkt Klagenfurt Völkermarkter Straße (14%,12%), am höchsten. Es folgt die Station Ebenthal-Zell (11%, 6%) und zuletzt die Hintergrundmessstelle Klagenfurt Ost (Limmersdorf) mit 9%, 3%.

Streusalz stellt einen deutlich sichtbaren, aber doch nur geringen Anteil der Feinstaubmasse dar. Erwartungsgemäß ist der Beitrag an der verkehrsnahen Station Klagenfurt Völkermarkter Straße mit 3% am stärksten.

Die Klasse „Nicht identifiziertes PM10“ umfasst sicher eine weitere Reihe von organischen Verbindungen, die mit den hier benutzten analytischen Methoden nicht bestimmt wurden. Weiters sind in dieser Fraktion auch analytische Messunsicherheiten oder Schwankungen in den Umrechnungsfaktoren des Makrotracer Modells enthalten.

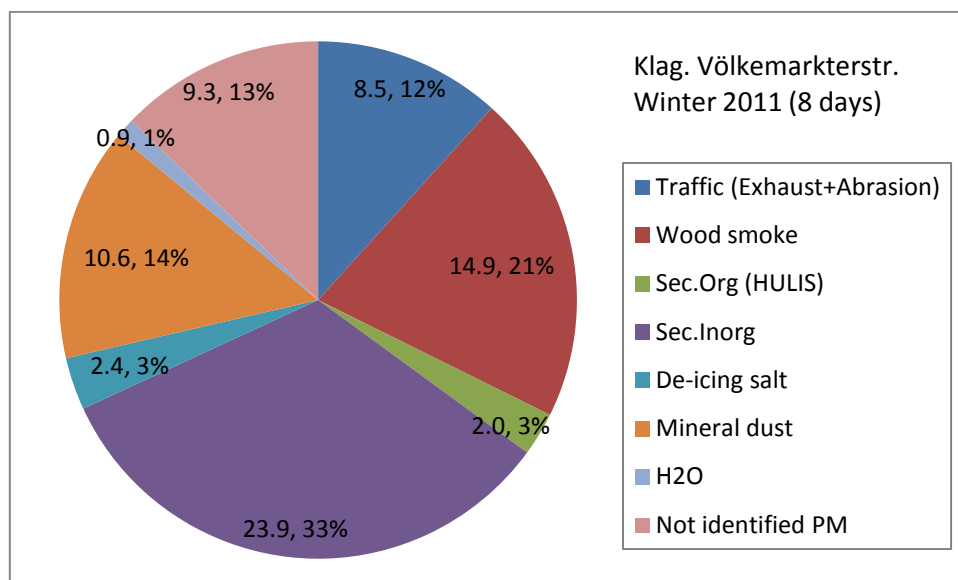


Abbildung 2: Feinstaubquellen während 8 Tage in Februar 2011 in Klagenfurt Völkermarkter Straße

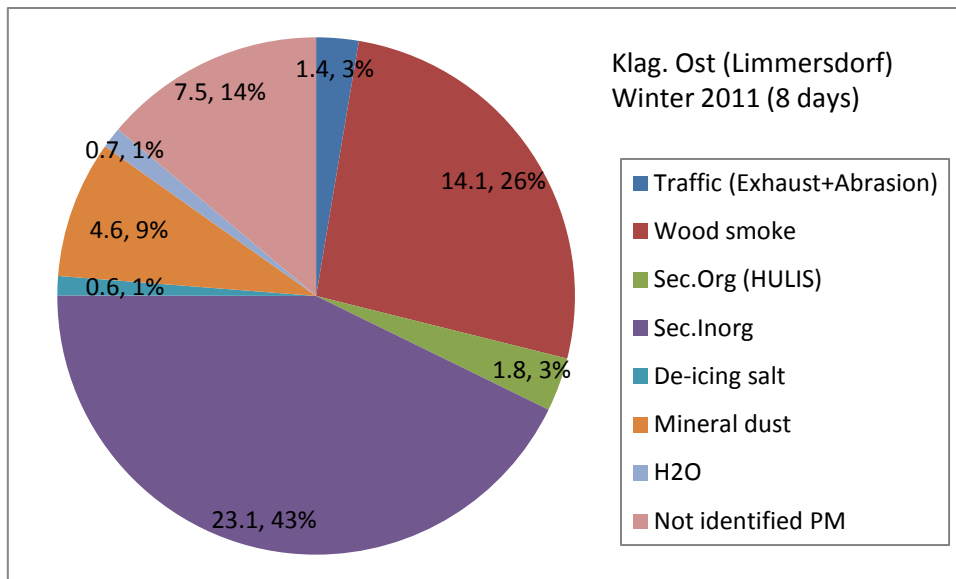


Abbildung 3: Feinstaubquellen während 8 Tage in Februar 2011 in Klagenfurt Ost (Limmersdorf)

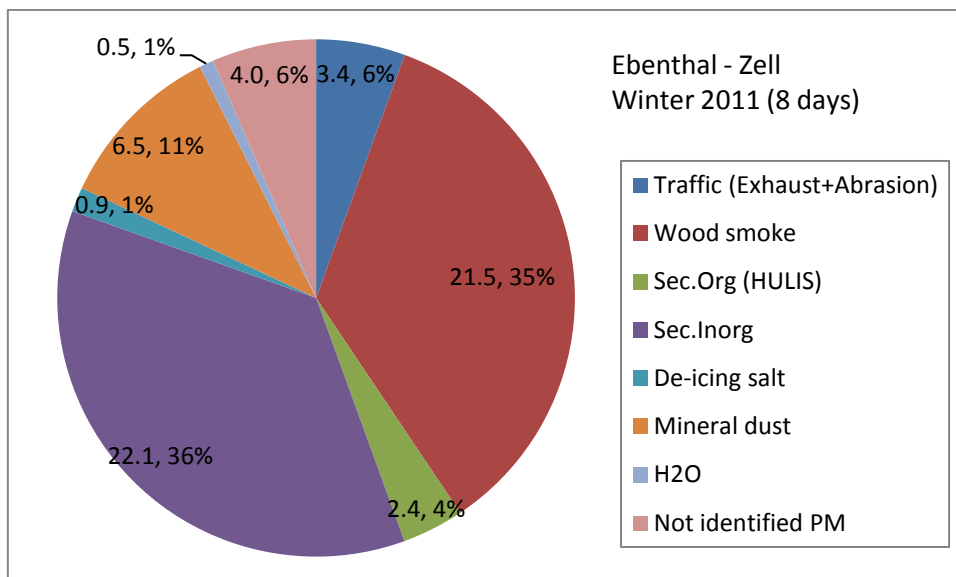


Abbildung 4: Feinstaubquellen während 8 Tage in Februar 2011 in Ebenthal - Zell

Abbildung 5 unterstreicht nochmals die unterschiedliche Aerosolzusammensetzung des Feinstaubes an den drei Messpunkten in Kärnten. Levoglucosan ist ein Tracer für die Holzverbrennung, während Ruß (Elementarer Kohlenstoff, EC) auch bei anderen Verbrennungsvorgängen entsteht und so auch als Tracer für den Kfz-Verkehr verwendet wird. Wären die relativen Beiträge der Feinstaubquellen an allen drei Kärntner Messpunkten gleich, so würden die drei Ausgleichsgeraden einander entsprechen. Die Verhältnisse für Ebenthal-Zell und Klagenfurt Ost (Limmersdorf) entsprechen einem Messpunkt mit einem deutlichen Beitrag aus der Holzverbrennung. Der geringere Anstieg der Ausgleichsgeraden an der verkehrsbelasteten Station Klagenfurt Völkermarkter Straße zeigt die Anwesenheit anderer Quellen, wie dem Kfz-Verkehr.

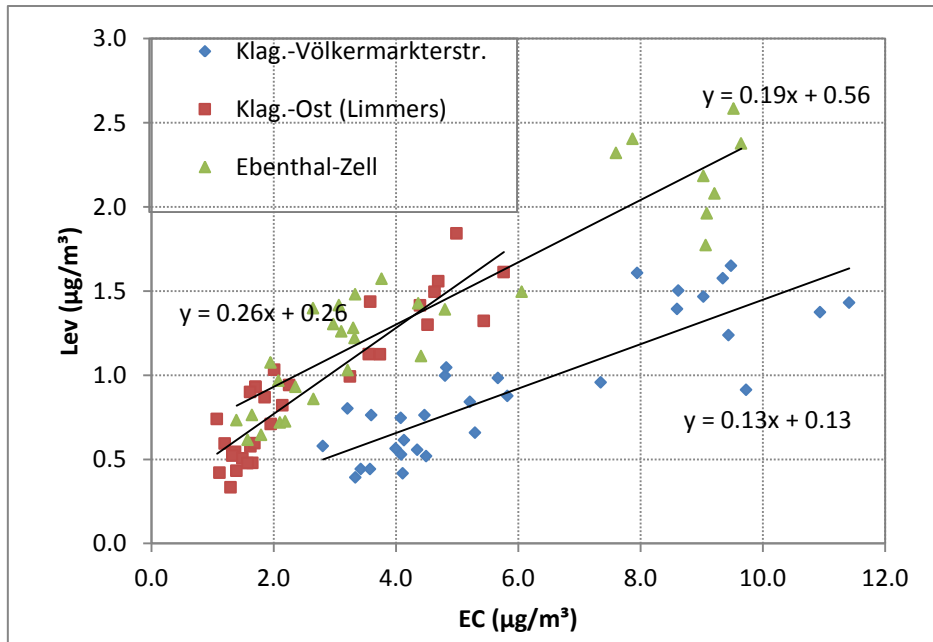


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen EC und Levoglucosan, Februar 2011

3.2.2. Urban Impact

Abbildung 6 zeigt den „Urban Impact“ – d.h. die in Bereich der städtischen Messstelle (Klagenfurt Völkermarkter Straße) wirksame Zusatzbelastung im Vergleich zum städtischen Hintergrund (Klagenfurt Ost (Limmersdorf)).

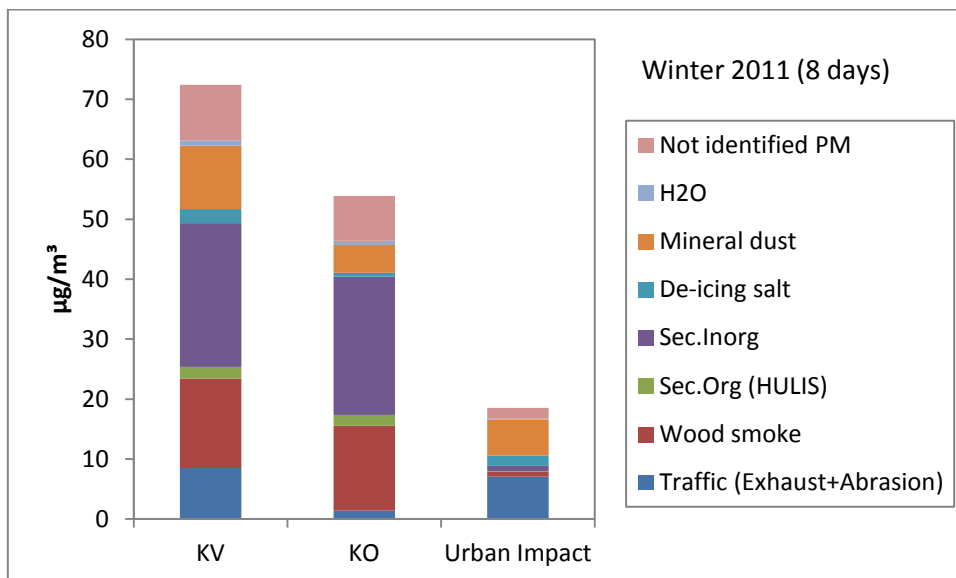


Abbildung 6: "Urban Impact" in Klagenfurt

Tabelle 3 listet den prozentuellen Beitrag der einzelnen Feinstaubquellen des ‚Urban Impact‘ zur Gesamtmasse auf. Die wichtigste städtische Feinstaubquelle ist der Kfz-Verkehr,

gefolgt vom Mineralstaub und Streusalz, beides aus der Resuspension. Die weiteren Feinstaubquellen zeigen im städtischen Umfeld keine deutliche Anreicherung.

Tabelle 3: Quellenanteile für die KV und Anteile des Urban Impacts bezogen auf Feinstaubbelastung der Messpunkt Klagenfurt Völkermarkter Straße

	Verkehr-belastete Messstation (KV)	“Urban Impact”
Nicht identifizierte PM10	13%	3%
Aerosol H ₂ O	1%	0%
Mineralstaub	15%	8%
Streusalz	3%	2%
Sekundär anorganisch PM10	33%	1%
Sekundär organisch PM10 (HULIS)	3%	0%
Holzrauch	21%	1%
Verkehr	12%	10%

3.2.3. Vergleich Winter – Sommer 2011

Die in diesem Abschnitt zusammengestellten Daten (Abbildung 7 - 8) zeigen die jahreszeitlichen Änderungen der Quellenanteile an den Messstellen Völkermarkter Straße und Klagenfurt Ost (Limmersdorf). Der Vergleich der Winter- und Sommermessungen gibt einen Hinweis darauf welche Quellen vornehmlich in der kalten Jahreszeit wirksam werden und zu den Grenzwertüberschreitungen führen. Dafür werden winterliche und sommerliche Quellenbeiträge gegenübergestellt. Der „Zuwachs“ bei PM10 von Juli zu Februar beträgt an der Messstelle Völkermarkterstrasse $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (die Feinstaubbelastung steigt auf etwa das Siebenfache an) und an der Messstelle Klagenfurt Ost (Limmersdorf) $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (die Feinstaubbelastung steigt auf das Fünffache an).

Für die Sommermessungen an der Messstelle Klagenfurt Ost (Limmersdorf) kann ein überdurchschnittlich großer Anteil des Feinstaubs durch das Makrotracer-Modell nicht zugeordnet werden. Gemäß der Erfahrung aus ähnlichen Studien (z.B. Bauer et al. 2009) ist dies organisches Material biologischer Herkunft, das sich für ländliche Messstellen als bedeutsam zeigte, sowie weitere sekundäre organische Komponente die durch Ferntransport verfrachtet werden.

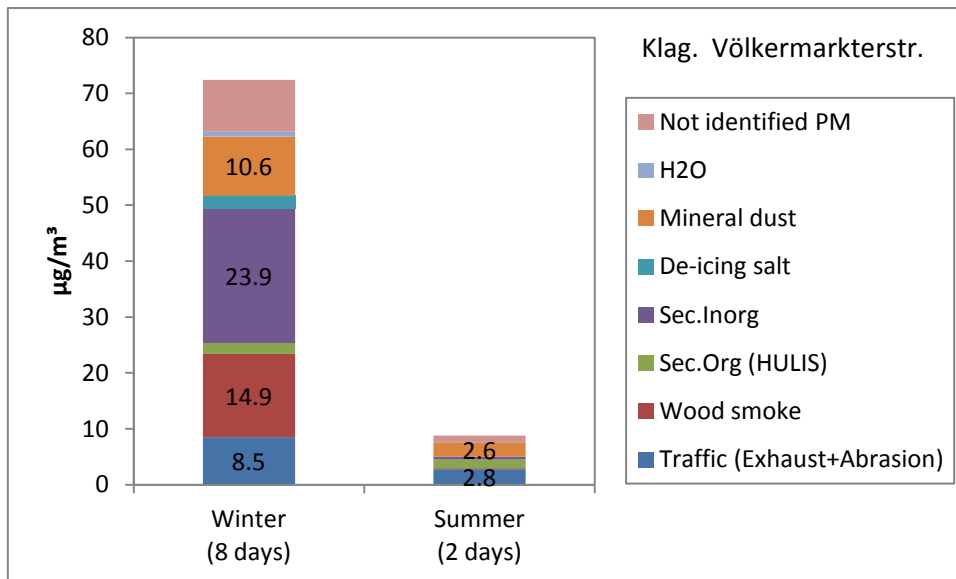


Abbildung 7: Feinstaubbelastung der Messstation Klagfurt Völkermarkter Straße im Winter und Sommer 2011

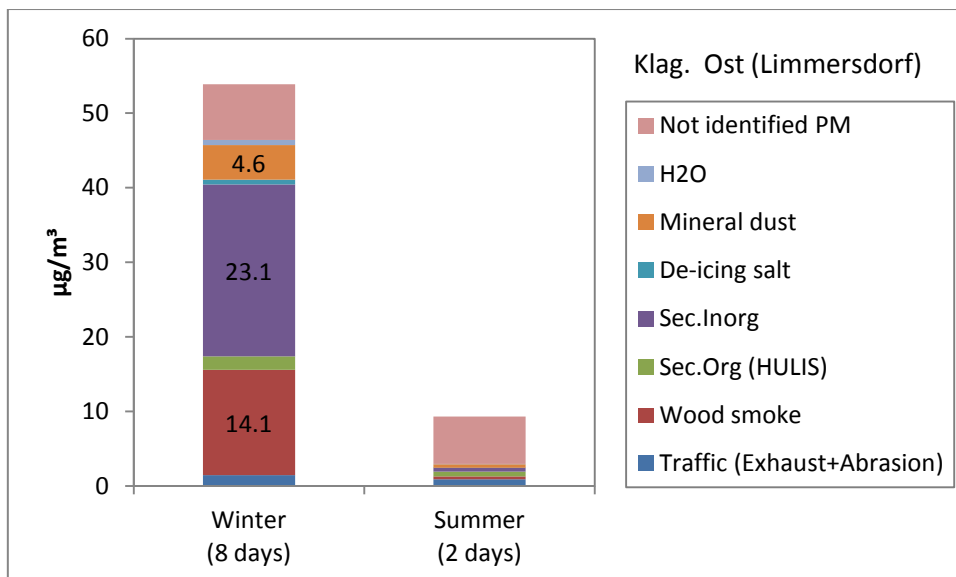


Abbildung 8: Feinstaubbelastung der Messstation Klagfurt Ost (Limmersdorf) in Winter und Sommer 2011

Die Zunahme der Feinstaubmasse in der kalten Jahreszeit wird an beiden Messstellen hauptsächlich durch zwei Quellen verursacht:

1. Sekundäre anorganische Stoffe (KV-37%, KO-33% bezogen auf den Unterschied zwischen Winter- und Sommerkonzentration). Dies hat zwei Ursachen. Einerseits ist der Ferntransport von Sulfat und begleitenden Komponenten im Winter über einer kalten Schneedecke bei Hochdruckwetter begünstigt, zweitens wird die Bildung von teilchenförmigem Ammoniumnitrat aus den gasförmigen Vorläufersubstanzen durch tiefe Temperaturen gefördert.
2. Holzrauch stellt mit einem Zuwachs von 23% (KV) und 22% (KO) die zweite wichtige Winterquelle dar.

In weiterer Folge nimmt auch der Beitrag der Feinstaubquelle Verkehr und Mineralstaub für die städtische Messstelle zu.

Abbildung 8 und 9 zeigen die relativen Beiträge der Quellenanteile an den Stationen Völkermarkter Straße und Klagenfurt Ost (Limmersdorf) im Winter und Sommer 2011 (jeweils für acht, beziehungsweise für zwei Messtage gemittelt).

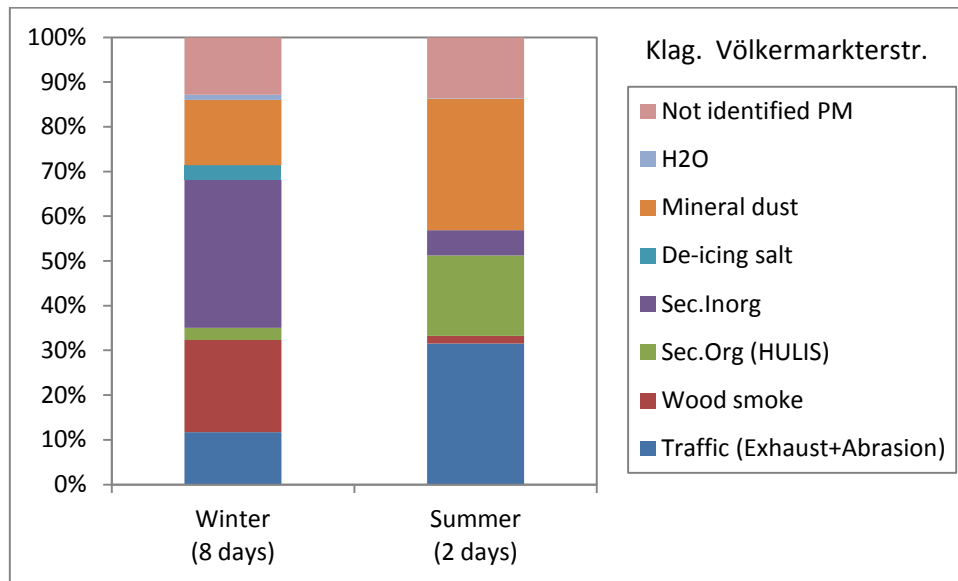


Abbildung 9: Quellenanteile in Messstation Völkermarkter Straße im Winter und Sommer 2011

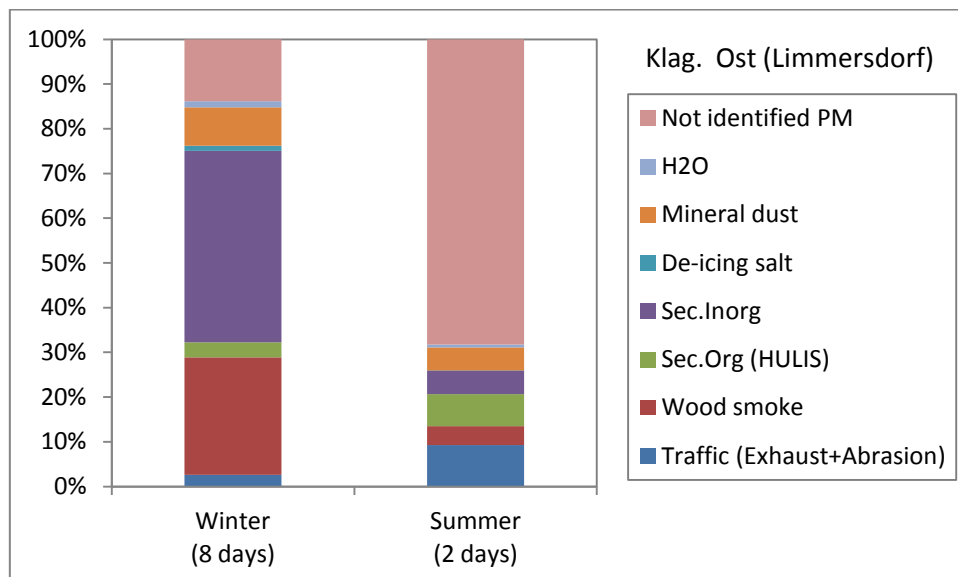


Abbildung 8: Quellenanteile in Messstation Klagenfurt Ost (Limmersdorf) im Winter und Sommer 2011

4. Zusammenfassung

Im Rahmen von PMinter wurden im Winter 2011 ausgewählte Feinstaubproben von sieben Luftgütemessstationen in der Steiermark, Nordslowenien und Kärnten chemisch analysiert. In den Proben wurden Ruß (EC), organischer Kohlenstoff (OC), anorganische Ionen, Aluminium, ausgewählte organische Makrokomponenten (Levoglucosan, Mannosan, Galactosan) und HULIS analysiert. Im vorliegenden Bericht wurde die Situation für das Land Kärnten dargestellt

Auf Basis eines Makrotracer Modells wurden die wichtigsten Feinstaubquellen quantifiziert. Auf diesem Weg konnten während der Winterperiode etwa 90% der Feinstaubmasse einer Quelle zugeordnet werden.

Die massenmäßig wichtigste Feinstaubquelle in der kalten Jahreszeit ist das anorganische Sekundäraerosol. Das sind die Komponenten Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat, die sich großräumig aus gasförmigen Vorläufersubstanzen bilden und durch Ferntransport verfrachtet werden. Als zweitwichtigste Quelle zeigt sich die Holzverbrennung, die sowohl im Stadtzentrum als auch im ländlichen Raum einen wesentlichen Teil der Feinstaubmasse ausmacht. In weitere Folge ist der Beitrag durch Straßenstaub (Mineralstaub) mit Splittanteilen und Streusalz, sowie der Kfz-Verkehr (inklusive Abrieb von Reifen und Bremsen) anzuführen.

Die Differenzialanalyse zwischen Klagenfurt Völkermarkter Straße und Klagenfurt Ost (Limmersdorf) ergibt, dass die städtische Zusatzbelastung („Urban Impact“) hauptsächlich auf den Kfz-Verkehr und Straßenstaub zurückzuführen ist. Dabei ist aber zu beachten, dass sich dieser „Urban Impact“ im Winter bereits auf eine vergleichsweise hohe Vorbelastung addiert. Diese Vorbelastung besteht, wie weiter oben angeführt, größtenteils aus anorganischem Sekundäraerosol und Holzrauch. Eine Reduktion dieser Vorbelastung ist nur durch regionale Ansätze zu erreichen.

5. Literaturverzeichnis

Richtlinie 1999/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 163/41

Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, Amtsblatt der Europäischen Union, L 152/1

Immissionsschutzgesetz-Luft, § 23, BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F.

F. Cavalli, M. Viana, K. E. Yttri, J. Genberg, J.-P. Putaud: Toward a standardised thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the EUSAAR protocol. Atmos. Meas. Tech. Discuss., 2 (2009) 2321–2345

Y. Iinuma, G. Engling, H. Puxbaum, H. Herrmann: A highly resolved anion-exchange chromatographic method for determination of saccharidic tracers for biomass combustion and primary bio-particles in atmospheric aerosol. *Atmospheric Environment*, 43 (2009) 1367–1371

A. Limbeck, M. Handler, B. Neuberger, B. Klatzer, H. Puxbaum: Carbon-Specific Analysis of Humic-like Substances in Atmospheric Aerosol and Precipitation Samples. *Analytical Chemistry*, 77 (2005) 7288 - 7293.

H. Bauer, 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 und das AQUELLA – TEAM: Endbericht für das Projekt "AQUELLA" Kärnten/Klagenfurt Aerosolquellenanalysen für Kärnten PM10-Filteranalysen nach dem „AQUELLA-Verfahren“. Wien, 2006, US-Zahl: 436/1699/04, Berichts-Nr. UA/AQKärnten/Klagenfurt 2007 161S, 2006.

M. Handler, C. Puls, J. Zbiral, I. Marr, H. Puxbaum, A. Limbeck: Size and composition of particulate emissions from motor vehicles in the Kaisermühlen-Tunnel, Vienna. *Atmospheric Environment*, 42 (2008), 2173 - 2186.

C. Schmidl, I. Marr, A. Caseiro, P. Kotianova, A. Berner, H. Bauer, A. Kasper-Giebl, H. Puxbaum: Chemical characterisation of fine particle emissions from woodstove combustion of common woods growing in mid-European Alpine regions"; *Atmospheric Environment*, 42 (2008), 126 - 141.

C. Schmidl, M. Luisser, E. Padouvas, L. Lasselsberger, M. Rzaca, C. Ramirez-Santa Cruz, M. Handler, G. Peng, H. Bauer, H. Puxbaum: Particulate and gaseous emissions from manually and automatically fired small scale combustion systems. *Atmospheric Environment*, 45 (2011), S. 7443 - 7454.

H. Bauer, A. Kasper-Giebl, N. Jankowski, A. Dattler, P. Pouresmaeil, C. Ramirez-Santa Cruz, C. Schmidl, G. Peng, H. Puxbaum: "AQUELLA" Analytik von Feinstaubproben der Stationen Kittsee und Heiligenkreuz. Berichts-Nr. UA/AQBurgenland 2009 55S, 2009.