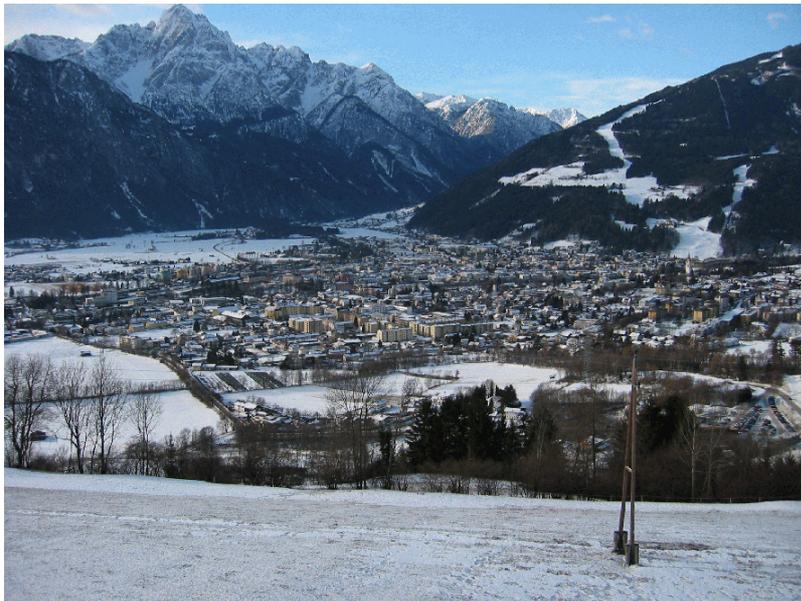


Statuserhebung betreffend Überschreitungen des IG-L-Grenzwertes für PM10 und Schwebestaub an der Messstelle Lienz Amlacherkreuzung im Jahr 2001



durchgeführt im Auftrag der
Tiroler Landesregierung
Abt. Waldschutz/Luftgüte

Wien, April 2003

Projektleiter:	Ruth Baumann
Autoren:	Christian Nagl Wolfgang Spangl
GIS-Arbeiten:	Kerstin Placer
Analytik:	Andrea Hanus Gundi Elke Lorbeer Sigrid Scharf Cristina Trimbacher
Verkehr:	Roman Ortner
Anlagentechnik:	Siegmond Böhmer

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	3
2.1	Gesetzliche Grundlagen.....	3
2.2	Überschreitungen in Lienz-Amlacherkreuzung	3
3	Einführung zum Umweltproblem Schwebestaub	5
3	Einführung zum Umweltproblem Schwebestaub	5
3.1	Größenverteilung der Partikel	5
3.2	Quellen	7
3.3	Chemische Zusammensetzung von Partikeln.....	8
3.4	Senken von Partikeln	11
3.5	Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln	11
3.6	Messmethoden.....	12
3.7	Rechtliche Regelungen	13
4	Datengrundlage	15
4.1	Beschreibung der Messstelle Lienz Amlacherkreuzung	15
4.2	Weitere, zur Interpretation der Immissionsbelastung verwendete Messstellen.....	16
4.3	Bewertung der Datenlage	18
5	Emissionen	21
5.1	Österreichische Staubemissionen	21
5.2	Wesentliche Staubquellen in Lienz	22
5.2.1	Straßenverkehr	22
5.2.2	Verschubtätigkeit der ÖBB	26
5.2.3	Industrie, Gewerbe, öffentliche Einrichtungen:.....	26
5.2.4	Raumwärme Industrie, Gewerbe, öffentliche Einrichtungen	26
5.2.5	Hausbrand	27
5.2.6	Fernheizwerk (Biomasse-Heizkraftwerk).....	29
5.2.7	Gesamtbetrachtung Raumwärme.....	30
5.2.8	Bautätigkeit	30
5.2.9	Land- und Forstwirtschaft	32
5.3	Summe der jährlichen Emissionen	33
5.4	Emissionen an einem Wintertag	33
6	Die meteorologische Situation	37
6.1	Windverhältnisse	37
6.2	Bewertung der Ausbreitungsbedingungen.....	37
6.3	Inversionshäufigkeiten	38
6.4	Monatsweiser Überblick über die Witterung	40
7	Immissionssituation.....	43
7.1	Übersicht und österreichweiter Vergleich	43
7.2	Episode vom 14. bis 29. Dezember 2001	49
7.3	Korrelationen	55
7.4	Schadstoffwindrosen.....	57

7.5	Mittlere Tagesgänge	59
7.6	Wochengänge	64
7.7	Abhängigkeit der Konzentration von der Windgeschwindigkeit	66
7.8	Schadstoffkonzentration und Temperaturgradient.....	68
7.9	Straßenzustand	70
7.10	Extrapolation der PM10-Belastung in Lienz.....	73
7.11	Resümee	74
8	Chemische Zusammensetzung der PM10-Fraktion	77
8.1	Auswertung der chemischen Analyse der PM10 Filter	77
8.2	Resümee	87
9	Übersicht über die Belastungsepisoden (Tage mit PM10-TMW über 50 µg/m ³), März 2001 bis März 2002	91
10	Faktoren, die zu den Überschreitungen geführt haben (Verfrachtung, einschließlich grenzüberschreitende Verfrachtung, Entstehung).....	93
10.1	PM10	93
10.1.1	Grundsätzlicher meteorologischer Einfluss	93
10.1.2	Ferntransport	93
10.1.3	Vorbelastung	93
10.1.4	Bildung sekundärer Aerosole	93
10.1.5	Verkehr	94
10.1.6	Salzstreuung.....	94
10.1.7	Aufwirbelung von Straßenstaub	94
10.1.8	Hausbrand	94
10.2	TSP-Grenzwertüberschreitungen am 14. und 28.12.2001	95
11	Feststellung des voraussichtlichen Sanierungsgebiets	97
12	Einzelheiten über mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität.....	99
12.1	Hausbrand.....	99
12.2	Verkehr.....	100
12.2.1	Nicht-Abgasemissionen des Verkehrs	102
12.3	Bautätigkeit.....	103
12.4	Land- und Forstwirtschaft.....	105
12.5	Exkurs: Abschätzung der notwendigen Reduktion des PM10-Jahresmittelwerts.....	105
13	Literatur	107

1 Zusammenfassung

Im Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L, BGBl. I 115/97, in der Fassung BGBl. I Nr. 62/2001) sind in Anlage I Grenzwerte für PM₁₀ festgelegt. Für PM₁₀ betragen diese 50 µg/m³ als Tagesmittelwert, wobei 35 Überschreitungen pro Kalenderjahr zulässig sind¹, sowie 40 µg/m³ als Jahresmittelwert. Der Grenzwert für Schwebestaub (TSP²) beträgt 150 µg/m³ als Tagesmittelwert (TMW).

Im Jahr 2001 wurden ab In-Kraft-Treten des Grenzwertes für PM₁₀ am 7.7.2001 44 TMW über 50 µg/m³ an der Messstelle Lienz Amlacherkreuzung festgestellt. Zudem wurde an dieser Messstelle der Grenzwert für Schwebestaub (berechnet aus PM₁₀-Messwerten) am 14.12. und 28.12.2001 überschritten. Die Überschreitungen wurden im Jahresbericht 2001 über die Luftgüte in Tirol, erstellt vom Amt der Tiroler Landesregierung, ausgewiesen.

Die PM₁₀-Immissionsbelastung ist zwar europaweit ein aktuelles Problem, speziell in topographisch modifiziertem Gelände wird die Situation durch die – vor allem im Winter – ungünstigen Ausbreitungsbedingungen mit hohen Inversionshäufigkeiten und geringen Windgeschwindigkeiten massiv verschärft.

Die ungünstigen Ausbreitungsbedingungen stellen einen entscheidenden Faktor für die hohe Schadstoffbelastung in Lienz dar. Von den 44 Tagen mit PM₁₀-Tagesmittelwerten über 50 µg/m³ zwischen 7.7. und 31.12.2001 fielen 40 Tage in das Winterhalbjahr. Bei Inversionslagen reichern sich die im Lienzer Becken emittierten Schadstoffe an, wobei die nur von schmalen Tälern unterbrochenen Gebirge, die das relativ kleine Lienzer Becken umgeben, eine horizontale Verdünnung der Schadstoffe weitgehend unterbinden.

Auf der anderen Seite ist festzustellen, dass Ferntransport, aber auch Transport aus Kärnten oder Südtirol für die PM₁₀-Belastung im Winter praktisch keine Rolle spielt. Maßnahmen zur Reduktion der PM₁₀-Belastung betreffen daher praktisch ausschließlich das Lienzer Becken selbst.

An vier Tagen im Sommer 2001 war Staubtransport aus Nordafrika die wesentliche Ursache der erhöhten PM₁₀-Belastung in Lienz.

Die wesentlichsten für die PM₁₀-Belastung in Lienz verantwortlichen Emittentengruppen sind der Straßenverkehr und der Hausbrand (inkl. gewerbliche Raumheizung).

Der Straßenverkehr trägt, bezogen auf einen durchschnittlichen Werktag im Winter, ca. 40% zur Masse an elementarem Kohlenstoff und organischem Material bei (Auspuff- und Abriebemissionen), 50% zur gesamten PM₁₀-Belastung (inklusive Aufwirbelung von Straßenstaub).

Die Emissionen aus dem Hausbrand (inkl. gewerbliche Raumheizung) und dem Fernheizwerk betragen 2001 ca. 6,2 t³ (und damit 60% der PM₁₀-Emissionen in Lienz) und werden, entsprechend dem Ausbau des Fernwärmenetzes, 2003 auf etwa 3,9 t (entspricht 48% der PM₁₀ Emissionen in Lienz) zurückgehen. Der 2002 festzustellende

¹ bis Ende 2004. Von 2005 bis 2009 sind 30 Überschreitungen, ab 2010 sind 25 Überschreitungen zulässig.

² Total suspended particulates

³ für die Bestimmung der PM₁₀-Emissionen des Fernheizwerkes wurde als obere Grenze die im Gewerbeverfahren festgelegte Emissionskonzentration von 10 mg/Nm³ verwendet

Rückgang der PM10-Belastung in Lienz gegenüber 2001 ist – bereits unter Berücksichtigung der unterschiedlichen meteorologischen Verhältnisse – auf den Rückgang der PM10-Emissionen des Hausbrandes (inkl. gewerbliche Raumheizung und Fernheizwerk) um ca. 40% zurückzuführen.

Parallel zum Ausbau des Fernwärmenetzes steigt die jährliche PM10-Emission des Fernheizwerkes von 2001 bis 2003 zwar von 0,10 t auf 1,85 t. Allerdings werden dessen Emissionen für die PM10-Belastung im Stadtgebiet von Lienz als weniger kritisch bewertet, da das Fernheizwerk ca. 2 km außerhalb des Stadtzentrums liegt. Insgesamt ist aber ein weiterer Rückgang der durch den Hausbrand verursachten PM10-Belastung in Lienz für 2003 zu erwarten.

Die PM10-Belastung zeigt in Lienz eine klare statistische Abhängigkeit von der Salzstreuung auf der Tiroler Straße. Analysen von 10 Proben vom Dez. 2002 zeigen unmittelbar den Einfluss von Salzstreuung, allerdings macht NaCl im Mittel dieser 10 Tage nur 3% der PM10-Masse dar.

Allerdings zeigt die PM10-Belastung in Lienz keine signifikante Abhängigkeit vom Straßenzustand, d.h. bei nasser oder schneebedeckter Fahrbahn tritt keine Verminderung der PM10-Konzentration auf, die zu erwarten wäre, wenn durch Nässe oder Schnee aufwirbelbarer Straßenstaub gebunden wird. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Effekt nasser oder schneebedeckter Fahrbahn im Winter durch andere Faktoren, u.a. Salz- und Splittstreuung, überlagert wird. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass der Winter 2001/02 in Lienz extrem trocken war, sodass insgesamt mit einem relativ hohen „Angebot“ aufwirbelbaren Straßenstaubes gerechnet werden kann.

Sekundäre Aerosole machen in Lienz 13% der PM10-Masse der o.g. 10 Proben vom Dez. 2002 aus, dies ist im europäischen Vergleich relativ wenig. Dies ist dadurch erklärbar, dass im Lienzener Becken nur die lokalen SO₂- und NO_x-Emissionen und eine begrenzte Luftmasse für die Bildung sekundärer Aerosole zur Verfügung stehen.

Insgesamt dürfte der Bereich erhöhter PM10-Belastung, an welchem 2001 der IG-L-Grenzwert überschritten wurde, das dicht verbaute Stadtgebiet von Lienz umfassen, wobei abseits der hochrangigen Straßen mit einer etwas geringeren PM10-Belastung zu rechnen ist.

Die am 14.12. und 28.12.2001 beobachteten TSP-Grenzwertüberschreitungen haben grundsätzlich die gleichen Ursachen wie die erhöhte PM10-Belastung, zusätzliche Faktoren könnten in besonders starker Aufwirbelung von Streusalz und Straßensplitt gelegen sein.

Für die PM10-Belastung an der Amlacherkreuzung sind primär Emissionen in der Stadt Lienz verantwortlich, daneben im gesamten Lienzener Becken. Das Sanierungsgebiet sollte daher den Talboden des Lienzener Beckens zwischen Nikolsdorf, Leisach und Oberlienz umfassen.

Maßnahmen zur Reduktion der PM10-Belastung in Lienz über jenes Ausmaß hinaus, das durch den Ausbau des Fernwärmenetzes erzielt werden wird, sind in Hinblick auf die Verschärfung des PM10-Grenzwertes (ab 2005 sind nur mehr 30 Tagesmittelwerte über 50 µg/m³ erlaubt) erforderlich. Sie müssen primär beim Straßenverkehr ansetzen, da der relative Anteil des Straßenverkehrs an der PM10-Belastung in Lienz durch den Ausbau der Fernwärme weiter zunehmen wird. Bei Maßnahmen die Raumheizung betreffend, aber auch beim Straßenverkehr sind verstärkt auch die Nachbargemeinden miteinzubeziehen.

2 Einleitung

2.1 Gesetzliche Grundlagen

Im Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L, BGBl. I 115/97, in der Fassung BGBl. I Nr. 62/2001) sind in Anlage I für verschiedene Luftschadstoffe Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt. Für PM10 beträgt dieser $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesmittelwert, wobei 35 Überschreitungen pro Kalenderjahr zulässig sind⁴, sowie $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelwert.

Der Grenzwert für Schwebestaub (TSP⁵) beträgt $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesmittelwert.

Die Überprüfung der Immissionskonzentration PM10 und Schwebestaub erfolgt gemäß der Messkonzept-VO (BGBl. II 358/98, in der Fassung BGBl. II Nr. 344/2001) an ausgesuchten Messstellen

Bei einer Überschreitung eines Immissionsgrenzwertes hat der Landeshauptmann diese Überschreitung im Monats- oder Jahresbericht auszuweisen und festzustellen, ob die Überschreitung auf einen Störfall oder eine andere in absehbarer Zeit nicht wiederkehrende erhöhte Immission zurückzuführen ist (IG-L, §7). Ist dies nicht der Fall, ist in weiterer Folge eine Statuserhebung durchzuführen (IG-L, §8).

Die Zusammenstellung der Grenz- und Zielwerte gemäß IG-L befindet sich in Anhang 1.

2.2 Überschreitungen in Lienz-Amlacherkreuzung

Im Jahr 2001 wurden ab In-Kraft-Treten des Grenzwertes für PM10 am 7.7.2001 44 TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Messstelle Lienz Amlacherkreuzung festgestellt. Zudem wurde an dieser Messstelle der Grenzwert für Schwebestaub (berechnet aus PM10-Messwerten) am 14.12. und 28.12.2001 überschritten. Die Überschreitungen wurden im Jahresbericht 2001 über die Luftgüte in Tirol, erstellt vom Amt der Tiroler Landesregierung, ausgewiesen.

Die vorliegende Studie stellt die gem. IG-Luft erforderliche Statuserhebung dar und soll konkret herausarbeiten, welche Faktoren – betreffend Emission und Meteorologie – an den Tagen mit TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu einer PM10-Konzentration über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beigetragen haben.

⁴ bis Ende 2004. Von 2005 bis 2009 sind 30 Überschreitungen, ab 2010 sind 25 Überschreitungen zulässig.

⁵ Total suspended particulates

3 Einführung zum Umweltproblem Schwebestaub

3.1 Größenverteilung der Partikel

Schwebestaub umfasst im Allgemeinen alle luftgetragenen Partikel. Schwebestaub gelangt entweder direkt in die Luft (primärer Schwebestaub) oder entsteht durch chemische Prozesse aus gasförmigen Vorläuferstoffen in der Atmosphäre. Die einzelnen Partikel können Größen zwischen $0,001 \mu\text{m}$ ($0,1 \text{ nm}$) und $100 \mu\text{m}$ ($= 0,1 \text{ mm}$) haben, ebenso variabel ist die chemische Zusammensetzung.

Die Größenverteilung der Partikel zeigt üblicherweise drei Maxima, die auf den Entstehungsprozess zurückgehen. Zumeist wird zwischen der Nukleations-, Akkumulations- und Grobstaubklasse unterschieden (Abbildung 1).

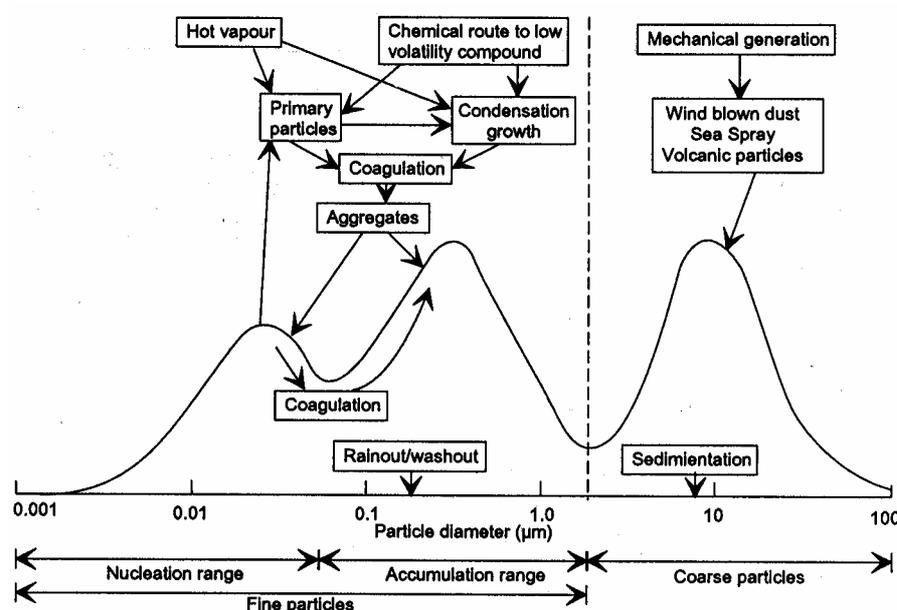


Abbildung 1: Typische Größenverteilung und Entstehungsmechanismen von Partikel (aus KOUIMTZIS 1995)

Die Partikel der Nukleationsklasse ($<0,1 \mu\text{m}$ Durchmesser) entstehen unmittelbar bei Verbrennungsprozesse durch Kondensation von heißen Dämpfen oder durch Kondensation von gasförmigen Vorläufersubstanzen. Sie haben eine relativ kurze Verweilzeit in der Atmosphäre, da sie mit anderen Partikel agglomerieren können. Zwar tragen diese Partikel nur zu einem geringen Teil zur Gesamtmasse bei, jedoch dominieren sie bei der Partikelanzahl (Abbildung 2).

Die Partikel der Akkumulationsklasse ($0,1 - 1 \mu\text{m}$ Durchmesser) entstehen durch Akkumulation und Aggregation der äußerst feinen Partikel der Nukleationsklasse. Diese Klasse kann einen bedeutenden Beitrag zur gesamten Partikelmasse leisten. Partikel dieser Größenklasse haben aufgrund der niedrigen Depositionsgeschwindigkeit (siehe unten) eine hohe atmosphärische Verweilzeit und können somit auch über weite Distanzen transportiert werden.

Die Grobstaubklasse wiederum entsteht durch mechanische Prozesse wie z.B. durch Aufwirbelung, Abrieb oder in küstennahen Gebieten auch durch Seesalz.

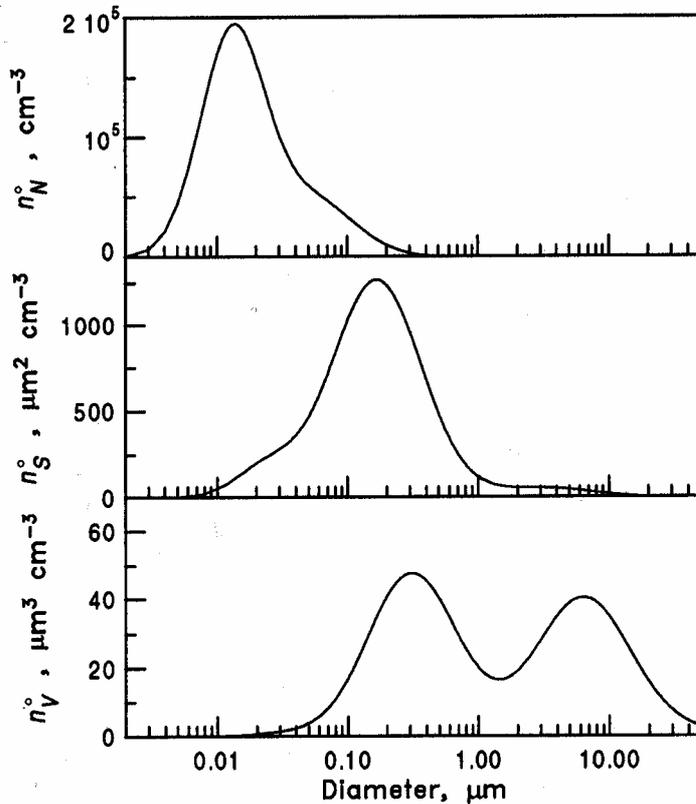


Abbildung 2: Typische Partikelzahl- (oben), Oberflächen- (Mitte) und Volumenverteilung (unten) von städtischem Aerosol (aus SEINFELD 1998)

Zur Beschreibung der Schwebestaubbelastung können viele verschiedene Parameter herangezogen werden. Die gängigsten, die auch aus rechtlichen sowie hygienischen Gesichtspunkten eine hohe Rolle spielen, werden in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Größen zur Erfassung der Schwebestaubbelastung

Bezeichnung	Beschreibung
Gesamtschwebestaub (TSP)	Als Gesamtschwebestaub (Total suspended particulates = TSP) wird die mit konventionellen Sammlern gemessene Schwebestaubkonzentration bezeichnet. Dabei wird ein Großteil der luftgetragenen Partikel erfasst.
PM10	Bei PM10-Messverfahren ist das Ziel, eine Sammelcharakteristik zu verwirklichen, welche der thorakalen Fraktion (jener Masseanteil einatembare Partikel, der über den Kehlkopf hinausgeht) entspricht. Bei diesem Verfahren sollen per definitionem 50% der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm erfasst werden; bei größeren Partikeln wird der gesammelte Anteil deutlich geringer, bei kleineren höher. Die derart bestimmte Staubfraktion ist eine Teilmenge des TSP.
PM2,5	Bei diesem Verfahren sollen per definitionem 50% der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm erfasst werden (der etwa dem Anteil entspricht, der bis in die Alveolen gelangt) bei größeren Partikeln wird der gesammelte Anteil deutlich geringer, bei kleineren höher. Die derart bestimmte Staubfraktion ist eine Teilmenge des PM10 und sollte weitgehend der alveolengängigen Fraktion entsprechen.

3.2 Quellen

Die atmosphärische Schwebstaubbilastung hat viele verschiedene Quellen. Dies können natürliche Quellen und anthropogene Quellen sein. Bedeutende natürliche Quellen sind z.B.

- Aufwirbelung und Fernverfrachtung von Wüstenstaub (im Schnitt treten derartige Ereignisse in Österreich an 1 bis 2 Tagen im Jahr auf, in südeuropäischen Ländern deutlich häufiger. Die Überschreitungen in Lienz im Juli und August 2001 waren darauf zurückzuführen)
- Aufwirbelung von Bodenmaterial⁶
- biologisches Material (Pollen, Bakterien, Pilzsporen, Abbauprodukte von Pflanzen,..etc.). Dieses wird bei der chemischen Analyse dem organischen Kohlenstoff bzw. organischen Material zugeschlagen, der Anteil macht allerdings im Winter nur einen kleinen Teil des organischen Materials aus
- durch natürliche Quellen emittierte organische Verbindungen (etwa Monoterpene) sowie NO_x, SO₂ und NH₃, die durch Gas-zu-Partikelumwandlungen zu sekundärem Aerosol beitragen
- Vulkane
- Natürliche Feuer (etwa Waldbrände).

Als wesentliche anthropogene Quellen sind folgende von Bedeutung:

- Verbrennungsprozesse: hier ist zu unterscheiden zwischen direkten Partikelemissionen und Gas-zu-Partikelumwandlung aus SO₂, NO_x, und organischen Verbindungen, die bei der Verbrennung entstehen können
- mechanische Prozesse wie z.B. die Bearbeitung von Materialien aber auch die (Wieder-)Aufwirbelung von Bodenmaterial.

Je nach Quelle kann auch zwischen gefassten und diffusen Emissionen unterschieden werden, wobei letztere oft wesentlich schwerer quantifizierbar sind.

Wie in Kapitel 4 noch ausführlicher diskutiert wird, sind demnach in urbanen Gebieten die Hauptemittenten im Bereich Verkehr (Abgasemissionen, Abrieb und Wiederaufwirbelung), Industrie, Gewerbe (hier vor allem die Bautätigkeit) und dem Hausbrand zu suchen. Einen nicht unerheblichen Anteil an den Partikelemissionen kann auch der sog. Off-road-Sektor haben; dazu gehören die in der Land- und Forstwirtschaft, in der Bauwirtschaft, in privaten Haushalten verwendeten Verbrennungskraftmaschinen verschiedenster Art. Aber auch bei den gasförmigen Vorläufersubstanzen liefert die Landwirtschaft – hier vor allem die Tierhaltung – durch die Emission von NH₃ einen bedeutenden Beitrag.

Verschiedene Quellen emittieren Schwebstaub mit einer unterschiedlichen Größenverteilung. Generell gilt, dass pyrogene Quellen hauptsächlich Schwebstaub kleiner 1 µm emittieren, mechanisch generierter Schwebstaub jedoch oft Durchmesser > 1 µm aufweist. Dieser Sachverhalt lässt sich an der Größenverteilung der Partikel, die schematisch in Abbildung 3 dargestellt ist, sehen.

⁶ bei durch den Menschen veränderten Böden sollte diese Quelle zu den anthropogenen gerechnet werden.

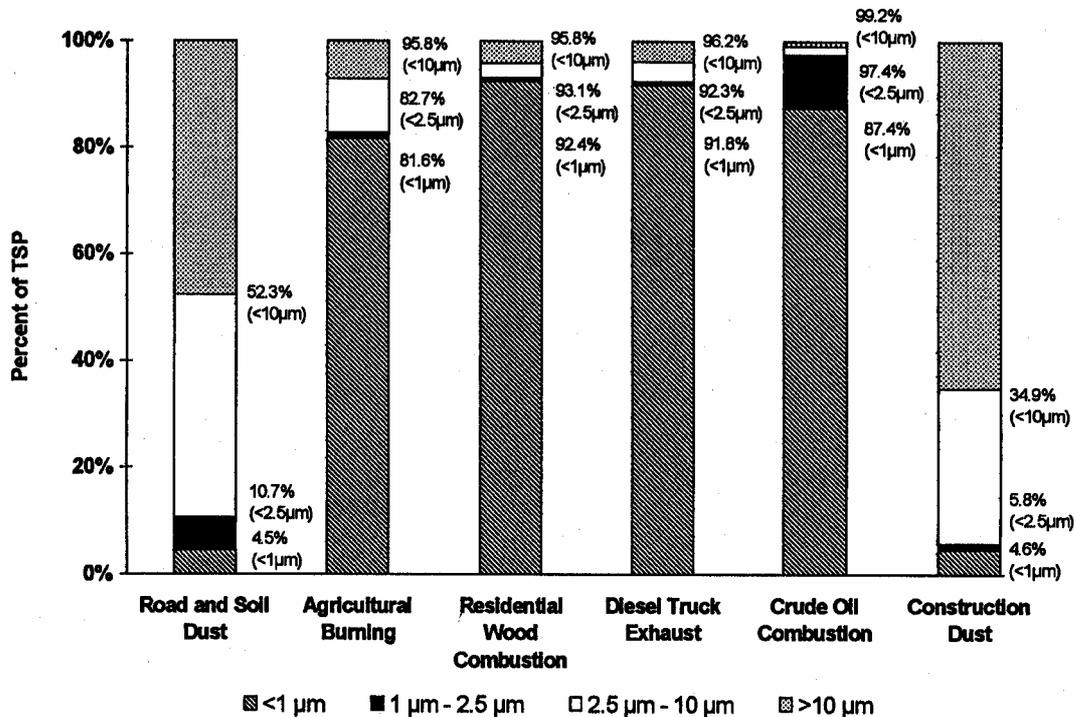


Abbildung 3: Größenverteilung verschiedener Quellen von Partikel (aus WATSON 2000)

3.3 Chemische Zusammensetzung von Partikeln

Da die Partikel aus unterschiedlichen Prozessen gebildet werden, unterscheiden sie sich auch in ihrer Zusammensetzung. In urbanen Gebieten sind die wesentlichen Bestandteile im Allgemeinen organischer und elementarer Kohlenstoff, mineralische Stoffe aus Wiederaufwirbelung und Straßenabrieb, Ammoniumsulfat und –Nitrat aus der Gas-zu-Partikelumwandlung, organisches Material, zu einem geringen Teil auch noch Schwermetalle. Ein Überblick über Ergebnisse chemischer Analysen von PM₁₀ und PM_{2.5} in verschiedenen europäischen Ländern findet sich in PUTAUD 2002.

Tabelle 2 bietet eine (idealisierte) Darstellung des Zusammenhangs der Korngröße, der chemischen Zusammensetzung und der Quellen des Schwebstaubs.

Tabelle 2: Idealisierter Zusammenhang zwischen Korngröße, chemischer Zusammensetzung und Schwebestaubquellen

	FINE MODE (< 2,5 µm)	COARSE MODE (> 2,5 µm)
Entstehung aus:	Gasen	Größeren Partikel
Entsteht bei	chemischen Umwandlungen; Nukleation; Kondensation; Koagulation; Evaporation von Nebel- und Wolkentropfen, in denen Gase gelöst waren	Mechanischen Vorgängen (Abrieb, Vermahlen, ..), Aufwirbelung
Zusammensetzung	Sulfat, Nitrat, Ammonium, elementarer Kohlenstoff, organischer Kohlenstoff, Schwermetalle, Wasser	Aufgewirbelter Staub (geogener Staub; Straßenabrieb), Flugasche, Elemente der Erdkruste als Oxide (Si, Al, Ti, Fe); CaCO ₃ , NaCl, Meersalz, Pollen und Sporen, andere Teilchen biogenen Ursprungs,..
Löslichkeit	tw. löslich; oft hygroskopisch,	oft unlöslich und nicht- hygroskopisch
Quellen	Verbrennungsvorgänge (Dieselruß, NO _x , SO ₂ , ..), Landwirtschaft (NH ₃), atmosphärische Transformationen (sek. Aerosole), bestimmte industrielle Prozesse, Lösemittel	(Wieder-)aufwirbelung von Staub von Straßen; Winderosion, Aufwirbelung durch anthr. Tätigkeiten (Schüttvorgänge, Befahren unbefestigter Straßen, Bergbau, Abbruch- und Bauarbeiten...), biolog. Quellen, ...
Verweildauer in der Atmosphäre	Tage bis Wochen	Minuten bis Stunden
Atmosphärische Transportdistanz	einige 100 bis > 1000 km	< 1 km bis einige 10 km

Ammonium, Sulfat, Nitrat: Diese Ionen entstehen in der Atmosphäre durch chemische Umwandlungsprozesse aus den Vorläufersubstanzen NH₃, SO₂ und NO_x.

Na, K, Ca, Mg, Cl: Na und Cl sind insbesondere im Winter oft auf den Einsatz von Auftaumitteln zurückzuführen; Kalium kann ein Tracer für Biomassefeuerungen sein, während Ca und Mg in erster Linie in der groben Fraktion (mineralisches Material) zu finden sind (Quellen: Straßenabrieb, Einsatz von Streusplitt).

„Elementarer Kohlenstoff/Organischer Kohlenstoff“ (EC/OC/OM): EC stammt in erster Linie aus Verbrennungsprozessen („Dieselruß“), wohingegen die Zusammensetzung und Herkunft des organischen Kohlenstoffs weniger klar ist. Ein Teil wird bei (unvollständiger) Verbrennung aus den gleichen Quellen wie der EC freigesetzt. Weitere Quellen für organischen Kohlenstoff sind sekundäre Aerosole, die aus (anthropogenen und biogenen) NMVOC entstehen, sowie biologische Materialien (letztere spielen allerdings im Winter kaum eine Rolle). Da mit organischem Kohlenstoff immer auch Heteroelemente (H, N, O, etc.) verbunden sind, wird zur Berechnung des Gewichts des organischen Materials (OM) das Gewicht des organischen Kohlenstoffs mit dem Faktor von üblicherweise 1,4 multipliziert (TURPIN 2000).

Ein nicht unerheblicher Teil an EC und OC kann an verkehrsbelasteten Standorten auch aus dem Reifenabrieb stammen. In RAUTERBERG-WULFF 1998 wird dieser mit etwa 20% Anteil an EC abgeschätzt. Das Verhältnis OC zu EC in Autoreifen beträgt lt. RAUTERBERG-WULFF etwa 1,55.

Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Fe: Schwermetalle stammen aus unterschiedlichen Quellen und lassen sich als Tracer einsetzen.

In Tabelle 3 werden einige wichtige Quellen der angeführten Schwermetalle angegeben. Diese beruhen auf den Erfahrungen von zahlreichen, an verschiedenen österreichischen Standorten durchgeführten Analysen von Staubproben. Einige der angeführten Spezies lassen sich in erster Linie im Nahbereich der angedeuteten Quellen finden.

Tabelle 3: Mögliche Quelle von Schwermetallen im PM10, z.T. inkl. Beschreibung der Morphologie (Informationsquellen: Neinavaie, persönliche Mitteilung, SCHNEIDER & LORBEER, 2002)

Fe	<i>Verkehr:</i> Abrieb von Bremsbacken und Bremsscheiben (+Cr), tritt zusammen mit Cu und Zn auf <i>Schienenverkehr</i> <i>geogen:</i> Schiefer (Hämatit), Fe-Carbonate, Pyrit <i>Industrie:</i> Zundermaterial (Quelle: Auskleidung von Kessel, Walzwerke), falls globular: Metallverarbeitung; Rostschutzfarben (Hämatit); Magnetkies aus Kraftwerksasche (FeS)
Zn	<i>Verkehr:</i> Bremsbeläge + Reifenabrieb <i>Industrie:</i> Verbrennungsanlage (MVA, kalorische Kraftwerke); Verzinkereien, Batterien, Reduktionsmittel und Industrieabfälle, Verpackungsmaterialien; ubiquitär: Bauschutt (weiße Farbe zuführend)
Pb	<i>Industrie:</i> Herstellung bzw. Verwendung von Rostschutzfarben, Bleikristall, Glasuren, Farben
Cu	<i>Verkehr:</i> Abrieb Bremsbeläge (Hauptquelle von Cu im städtischen Raum)
Ni	<i>Verkehr:</i> Bremsabrieb <i>Industrie:</i> Verbrennung von Schweröl; Metallherstellung; Katalyse; Herstellung von Ni-Cd-Batterien, Widerstände; Co-Ni-Dauermagnete
Cd	<i>Industrie:</i> Herstellung bzw. Verwendung von Farben, Glas, Oberflächenschutz für Leitmetalle, Metalle (z.B. Schrauben), Pigmente, Ni-Cd-Batterien, Kunststoffe (gelb, orange)

Chemische Zusammensetzung der Partikel der wichtigsten Quellen

Partikel im **PKW- Dieselabgas** bestehen zu etwa 60-80% aus elementarem Kohlenstoff, der Rest besteht aus organischem Kohlenstoff und einem kleinen Teil Sulfat und Metalloxiden (für eine Übersicht über Literaturwerte siehe UMWELTBUNDESAMT 1999 und RAUTERBERG-WULFF 1998). Diese Werte können allerdings abhängig vom Betriebszustand, Motor, verwendeten Treibstoff etc. stark variieren. Bei **LKW**-Dieselmotoren ist der Anteil an elementarem Kohlenstoff höher, da diese bei höherer Last betrieben werden.

Partikel aus **Reifenabrieb** bestehen ebenfalls zum überwiegenden Teil aus Kohlenstoff; beim Reifenabrieb beträgt das OC/EC Verhältnis etwa 1,55 (RAUTERBERG-WULFF 1998). **Bremsenabrieb** besteht auch aus Kohlenstoff, wenn auch mit einem deutlich geringeren OC/EC Verhältnis von 0,2 im Vergleich zum Reifenabrieb.

Partikel aus **Aufwirbelung und Straßenabrieb** bestehen naturgemäß aus den in der Region vorkommenden bzw. in den Straßen enthaltenen oder aufgebracht (Streusplitt) mineralischen Komponenten.

Hausbrandpartikel entstehen vor allem bei der Verbrennung von festen Brennstoffen (Kohle, Holz) und bei der Verbrennung von Heizöl. Die Partikel, die bei der Holzverbrennung entstehen, setzen sich aus organischem Kohlenstoff und elementarem Kohlenstoff zusammen, der Rest sind anorganischen Aschen. Bei letzteren dominiert Kalium, daneben kommen auch noch die Elemente Na, Fe und Mn vor, bei Kohle zudem Si und Ca (MORAWSKA 2002).

3.4 Senken von Partikeln

Abhängig von der Größe bzw. dem aerodynamischen Durchmesser⁷ sind verschiedene Mechanismen wirksam, die die Partikel aus der Luft entfernen. Partikel in der Nukleationsklasse werden hauptsächlich durch Agglomeration zu oder an größere Partikel entfernt, Partikel der Akkumulationsklasse durch Auswaschung und diejenigen der Grobstaubklasse durch Sedimentation. Wie man Abbildung 4 erkennen kann, hat die Depositionsgeschwindigkeit⁸ ein deutliches Minimum bei einer Partikelgröße von etwa 0,1 μm . Partikel dieser Größenordnung können daher über große Entfernungen transportiert werden und haben entsprechend lange Verweilzeiten in der Atmosphäre. So haben Partikel in der Nukleations- und Grobstaubklasse Verweilzeiten von wenigen Stunden, die Verweilzeiten von Partikel der Akkumulationsklasse ist jedoch in der Größenordnung von 10 Tagen (KOUIMTZIS 1995). Da Partikel der Akkumulationsklasse in erster Linie durch Auswaschung entfernt werden, spielt deren Löslichkeit bei deren Verweilzeit ebenfalls eine wichtige Rolle.

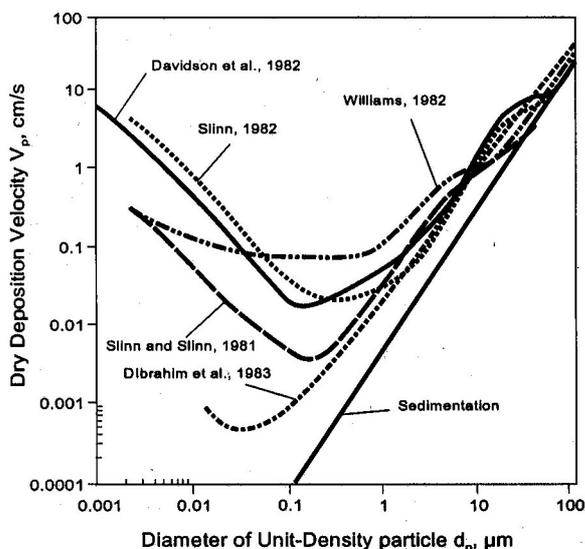


Abbildung 4: Geschwindigkeit der trockenen Deposition in Abhängigkeit vom aerodynamischen Durchmesser

3.5 Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln

Die gesundheitlichen Auswirkungen von Partikel wurden schon früh erkannt und untersucht, insbesondere bei Episoden mit extrem hohen Belastungen (etwa in

⁷ entspricht dem Durchmesser eines Partikels mit der Dichte von 1 g/cm^3 mit gleicher Sinkgeschwindigkeit

⁸ Die Depositionsgeschwindigkeit ist die Proportionalitätskonstante zwischen dem Partikelfluss durch Deposition von Partikel an einer Oberfläche und der Partikelkonzentration in einer bestimmten Höhe über dieser Oberfläche.

London, UK; Meuse, Belgien und Donora, Pennsylvania). So kam es etwa während der Smog-Episode in London im Jahr 1952 zu 4.000-12.000 zusätzlichen Todesfällen; die damaligen Staubkonzentrationen lagen jedoch bei etwa 1.500-3.000 µg/m³, einem Vielfachen der heute gemessenen Maximalwerte. Die SO₂-Konzentration lag während dieser Episode bei durchschnittlich 1.500 µg/m³, die Sulfatkonzentration bei 400 µg/m³ (BELL 2001, DAVIS 2002).

Neuere epidemiologische Studien haben allerdings auch bei wesentlich niedrigeren, heute vorkommenden Konzentrationen einen Zusammenhang zwischen der PM-Belastung und verschiedenen gesundheitlichen Auswirkungen wie etwa einer Erhöhung von Spitalseinweisungen und Sterblichkeit auf Grund von Erkrankungen des Atmungs- und des Herz-Kreislaufsystems nachweisen können. Viele dieser Untersuchungen zeigen eine deutlichere Korrelation etwa der Sterblichkeit mit der Belastung durch feine Partikel (gemessen als PM_{2.5}) als mit Gesamtschwebestaub. Immer mehr Studien geben auch Hinweise darauf, wie Feinstaub seine schädliche Wirkung entfalten könnte. So wurden etwa direkte Einflüsse der Schwebestaubexposition durch die Hervorrufung von Entzündungsreaktionen in der Lunge, Änderungen der Herzfunktion und andere physiologisch bedeutende Effekte nachgewiesen.

Ein aktueller Review der WHO kommt daher zum Schluss (WHO 2003, in Druck), dass es kaum Zweifel gibt, dass die derzeitige Schwebestaubbelastung in Europa zu erheblichen negativen Einflüssen auf die Gesundheit führt. Es wurde abgeschätzt, dass derzeit jährlich etwa 100.000 vorgezogene Todesfälle (und damit verbunden der Verlust von etwa 700.000 Lebensjahren) in Europa der Schwebestaubbelastung zuzurechnen sind (WHO, 2002).

3.6 Messmethoden

Die Messung des Schwebestaubes erfolgte in den letzten Jahrzehnten als „**Gesamtschwebestaub**“ (TSP; im IG-L als „Schwebestaub“ bezeichnet), wobei die gesetzlichen Regelungen innerhalb und außerhalb Österreichs keine genaue Definition für diese Messgröße geben. Epidemiologische Studien der letzten Jahre haben die besondere Bedeutung kleiner Staubfraktionen (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁) herausgearbeitet, sodass mit der EU-RL 1999/30/EG und dem IG-L (2001) erstmals Grenzwerte für PM₁₀ sowie die Verpflichtung zur Messung auch von PM_{2,5} (beide als Tagesmittelwerte) festgelegt wurden. Bei der Messung dieser Staubfraktionen werden Ansaugköpfe mit definierter Abscheidecharakteristik verwendet.

Referenzmethode für die Bestimmung der **PM₁₀-Konzentration** ist gemäß EU-RL 1999/30/EG die in der EN 12341⁹ beschriebene Probenahme (Abscheidung der Partikel auf einem Filter) mit nachfolgender gravimetrischer Staubmassebestimmung. Am häufigsten werden in Österreich dazu Digital High Volume Sampler eingesetzt, die mit Glas- oder Quarzfaserfiltern von 150 mm Durchmesser bestückt sind und ein Probenahmenvolumen von 720 m³/Tag aufweisen. Der Waagraum zur Konditionierung der Filter vor und nach der Probenahme ist normgerecht auf 20°C ±0,5°C sowie 50% ±5% relative Feuchte themostatisiert. Die Messergebnisse sind auf Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck bezogen.

Die PM₁₀-Messung gemäß IG-L erfolgt sowohl mit der gravimetrischen Methode als auch mit kontinuierlichen Messgeräten, die bereits für die TSP-Messung verwendet

⁹ Luftqualität – Felduntersuchung zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Probenahmeverfahren für die PM₁₀-Fraktion von Partikeln

wurden und für die PM10-Messung mit einem Ansaugkopf entsprechender Abscheidecharakteristik ausgerüstet wurden.

Folgende kontinuierliche PM10- bzw. TSP-Messmethoden kommen an österreichischen Messstellen zum Einsatz:

- Monitore, bei denen der gesammelte Staub auf einem Filterstreifen abgeschieden wird und der Zuwachs an Masse durch die steigende Absorption von β -Strahlung bestimmt wird (meist Geräte der Typen FH62 I-N oder FH62 I-R)
- Monitore, bei denen der Zuwachs der Massebelegung auf einem Filter in einem Schwingkreis eine Veränderung der Eigenfrequenz bewirkt; TEOM¹⁰-Geräte.

Bei den kontinuierlichen Messgeräten wird die Ansaugleitung auf 40°C beheizt.

Voraussetzung für die Verwendung kontinuierlicher Messgeräte für die PM10-Messung ist allerdings, dass der betreffende Messnetzbetreiber nachweisen kann, dass das eingesetzte Verfahren ein zur Referenzmethode vergleichbares Ergebnis liefert; d.h. eine feste Beziehung zur Referenzmethode aufweist. Der Nachweis (Bestimmung des sogenannten Standortfaktors bzw. einer lokalen Standortfunktion) erfolgt durch Parallelmessungen vor Ort.

Bis zum Vorliegen lokaler Standortfaktoren, jedoch längstens bis zum 31. Dezember 2002, ist es gemäß Messkonzept-VO gestattet, dass beim Einsatz von kontinuierlichen Monitoren ein Default-Wert¹ in der Höhe von 1,3 als Standortfaktor angewandt wird.

Die kontinuierliche Messung erlaubt anhand der Analyse des Zeitverlaufs, von Schadstoffwindrosen und mittleren Tagesgängen detailliertere Aussagen über die Herkunft der Schadstoffbelastung, als dies bei der täglichen Auflösung der Gravimetrie möglich ist.

3.7 Rechtliche Regelungen

Die Europäische Kommission hat zur Begrenzung des gesundheitlichen Risikos durch die Exposition gegenüber Schwebestaub verbindliche Immissionsgrenzwerte für die Feinstaubbelastung (gemessen als PM10) in der EG-Richtlinie 1999/30/EG 1999 festgesetzt, welche bis Sommer 2001 von allen EU-Mitgliedstaaten in nationales Recht umgesetzt werden mussten. Die Richtlinie enthält für PM10 einerseits verbindliche Immissionsgrenzwerte, die spätestens 2005 einzuhalten sind, andererseits strengere, indikative Werte, die bis 2010 anzustreben sind. Weiters ist vorgesehen, dass innerhalb eines Reviews der genannten EU-Richtlinie u.a. zu prüfen ist, ob zusätzlich zu den Immissionsgrenzwerten für PM10 auch Grenzwerte für PM2,5 festzulegen sind. Um die dafür benötigten Informationen über die PM2,5-Belastung zu erlangen, ist die Messung der PM2,5-Konzentration an repräsentativen Standorten vorgeschrieben.

In Österreich wurde die genannte Richtlinie im Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L; BGBl. I Nr. 115/97) durch die Novelle BGBl. I Nr. 62/2001 sowie die Messkonzept-Verordnung zum IG-L (BGBl. 358/98, in der Fassung BGBl. II Nr. 2001/344) umgesetzt. Damit gelten seit Juli 2001 die in Tabelle 4 angeführten Schwebestaubgrenzwerte in Österreich.

¹⁰ Tapered Element Oscillating Microbalance.

Tabelle 4: Schwebstaubgrenzwerte- und -zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit gemäß IG-L

Messgröße	Konzentration	Mittelungszeit	Anmerkung
TSP ¹¹	150 µg/m ³	Tagesmittelwert	Grenzwert
PM10	50 µg/m ³	Tagesmittelwert; pro Kalenderjahr ist die folgende Zahl von Überschreitungen zulässig: bis 2004: 35, von 2005 bis 2009: 30, ab 2010: 25	Grenzwert
PM10	40 µg/m ³	Jahresmittelwert	Grenzwert
PM10	50 µg/m ³	Tagesmittelwert; pro Kalenderjahr sind 7 Überschreitungen zulässig	Zielwert
PM10	20 µg/m ³	Jahresmittelwert	Zielwert

¹¹ TSP: Gesamtschwebstaub (im IG-L „Schwebstaub“ genannt. Dieser Grenzwert tritt mit 31.12.2004 außer Kraft.

4 Datengrundlage

Gegenstand der Untersuchung ist die PM₁₀-Belastung im Zeitraum von 7.7. bis 31.12.2001 sowie der Schwebstaubbelastung am 14. und 28.12.2001. Um ein repräsentativeres Bild über die Belastungssituation zu gewinnen, werden die Messdaten des gesamten Jahres 2001 und die anschließenden Monate Jänner bis März 2002 betrachtet.

Die an der Messstelle Lienz/Amlacherkreuzung durchgeführten Messungen des Landes Tirol entsprechen sowohl hinsichtlich der angewandten Methodik (auf kontinuierlicher Basis) wie auch der Prüfstufen der ausgewerteten Daten den gesetzlichen Anforderungen des IG-Luft sowie der Verordnung zum Messkonzept.

4.1 Beschreibung der Messstelle Lienz Amlacherkreuzung

Die Messstelle Lienz Amlacherkreuzung befindet sich nahe dem Zentrum der Stadt Lienz (12.000 Einwohner, Lienzer Talkessel etwa 20.000 Einwohner) an der Kreuzung der Tiroler Straße mit der Amlacher Straße. Die Tiroler Straße stellt als Teil der Bundesstraße 100 die Hauptdurchzugsstraße durch Lienz dar.

Die Umgebung der Messstelle weist lockere Verbauung mit ein- bis dreistöckigen Häusern auf. Hinter der Messstelle befindet sich ein Parkplatz ; das dicht verbaute Stadtzentrum liegt nördlich der Messstelle.

Koordinaten: Länge 12°45'56" ost, Breite 46°49'41" nord; Seehöhe 670 m

Das durchschnittliche Verkehrsaufkommen an der Zählstelle Lienz (östlich der Stadt) betrug 2001 18.800 Kfz/Tag.

Lienz befindet sich in einem Becken im Bereich des Zusammenflusses von Drau und Isel, welches sich auf einer Länge von ca. 15 km von Oberlienz bis Nikolsdorf entlang des Isel- und Drautales erstreckt und eine Breite von ca. 2,5 km aufweist. Das Lienzer Becken ist im Westen durch die relativ engen Täler von Isel und Drau abgeschlossen, im Osten setzt es sich als relativ breites Drautal in Kärnten fort. Abbildung 5 zeigt die Ansicht der Messstelle.



Abbildung 5: Messstelle Lienz Amlacherkreuzung, Ansicht von Südwesten (links), Ansicht von Osten entlang Tiroler Straße (rechts)

Die PM10-Konzentration wird in Lienz kontinuierlich mittels β -Absorption (Messgerät FH62I-N) gemessen. Die Schwebestaubkonzentration wird aus den PM10-Messwerten mit einem Faktor 1,2 ermittelt¹².

4.2 Weitere, zur Interpretation der Immissionsbelastung verwendete Messstellen

Als wesentliche Messgrößen, die zur Interpretation der PM10-Belastung in Lienz herangezogen werden können, dienen die Daten der Gesamtschwebestaubmessungen (TSP) der Messstellen in Klagenfurt, Villach und Obervellach sowie PM10 von Klagenfurt, Villach, Vorhegg (im oberem Gailtal, 1020 m) und Illmitz (Nordburgenland, 117 m. Einzige Messstelle in Nordostösterreich von welcher für das ganz Jahr 2001 Messdaten vorliegen) herangezogen. Mit Villach und Klagenfurt stehen ebenfalls stark verkehrsbelastete Messstellen in Städten unterschiedlicher Größe, aber mit vergleichbarer meteorologischer Beeinflussung zur Verfügung. Vorhegg repräsentiert die PM10-Belastung im Mittelgebirge in Westkärnten. Illmitz erfasst die Belastung im ländlichen Raum im Flachland Nordostösterreichs, d.h. in einer Region mit weiträumigem Schadstofftransport und im Vergleich zu Klagenfurt deutlich höheren Windgeschwindigkeiten.

Die verwendeten Messstellen für Schwebestaub und PM10 sind in Tabelle 5 zusammen gestellt.

Tabelle 5: TSP- und PM10-Messstellen, von denen Messdaten verwendet wurden

Ort	Messstandort	Messmethode	Charakterisierung
Lienz (12.000 Ew.)	Amlacherkreuzung	PM10, β - Absorption	Stadtzentrum, verkehrsnah
Klagenfurt	Koschatstraße	TSP, β - Absorption	Wohngebiet
Villach (55.000 Ew.)		PM10 gravimetrisch TSP, β - Absorption	Stadtzentrum, verkehrsnah
Obervellach (3000 Ew.)		TSP, β - Absorption	dörfliche Umgebung
Vorhegg		PM10 gravimetrisch PM10, β - Absorption	Hintergrund
Illmitz		PM10 gravimetrisch PM10, β -Abs.	Hintergrund

Für die Beurteilung der meteorologischen Verhältnisse, vor allem des vertikalen Temperaturprofils, welches ausschlaggebend für die Ausbreitungsbedingungen ist, werden folgende Messstellen herangezogen:

- Lienz (Messstelle der ZAMG) östlich der Stadt im unverbauten Gebiet auf dem Talboden beim Umspannwerk, wird im folgenden als „Lienz Bürgerau“ bezeichnet.
- Lienz Dolomitenstraße an der Kreuzung Tiroler Straße – Dolomitenstraße, 30 m über Boden auf einem Hausdach gelegen (betrieben vom Land Tirol, Abt. Waldschutz/Luftgüte)
- Vorhegg bei Kötschach-Mauthen (1020 m; betrieben vom Umweltbundesamt)

¹² Vorgangsweise entsprechend der Messkonzept-VO zum IG-L (BGBl. II 344/2001) Anlage 1

- Zettersfeld nordöstlich von Lienz (1820 m; betrieben vom Amt der Tiroler Landesregierung, Hydrographischer Dienst).

Lienz Bürgerau und Zettersfeld erlauben unmittelbar die Berechnung des Temperaturprofils über Lienz im Höhenbereich bis 1820 m; Vorhegg bietet die Möglichkeit, ein Temperaturprofil bis 1020 m zu berechnen, liegt allerdings nicht im Drau-, sondern im Gailtal und ist damit für die Verhältnisse im Drautal u.U. nicht aussagekräftig.

Daneben werden auch die Daten der Temperaturmessstellen im Klagenfurter Becken (Klagenfurt Flughafen, Magdalensberg, Gerlitzten, Villacher Alpe) für die Beurteilung der Ausbreitungsbedingungen über Lienz herangezogen, diese sind allerdings aufgrund der großen horizontalen Entfernung u.U. nur bedingt aussagekräftig.

Tabelle 6: Meteorologische Messstellen:

Lienz Bürgerau	659 m
Lienz Dolomitenstraße	700 m (30 m über Boden)
Vorhegg	1020 m
Zettersfeld	1820 m
Klagenfurt Flughafen	450 m
Magdalensberg	1050 m
Gerlitzten	1895 m
Villacher Alpe	2140 m

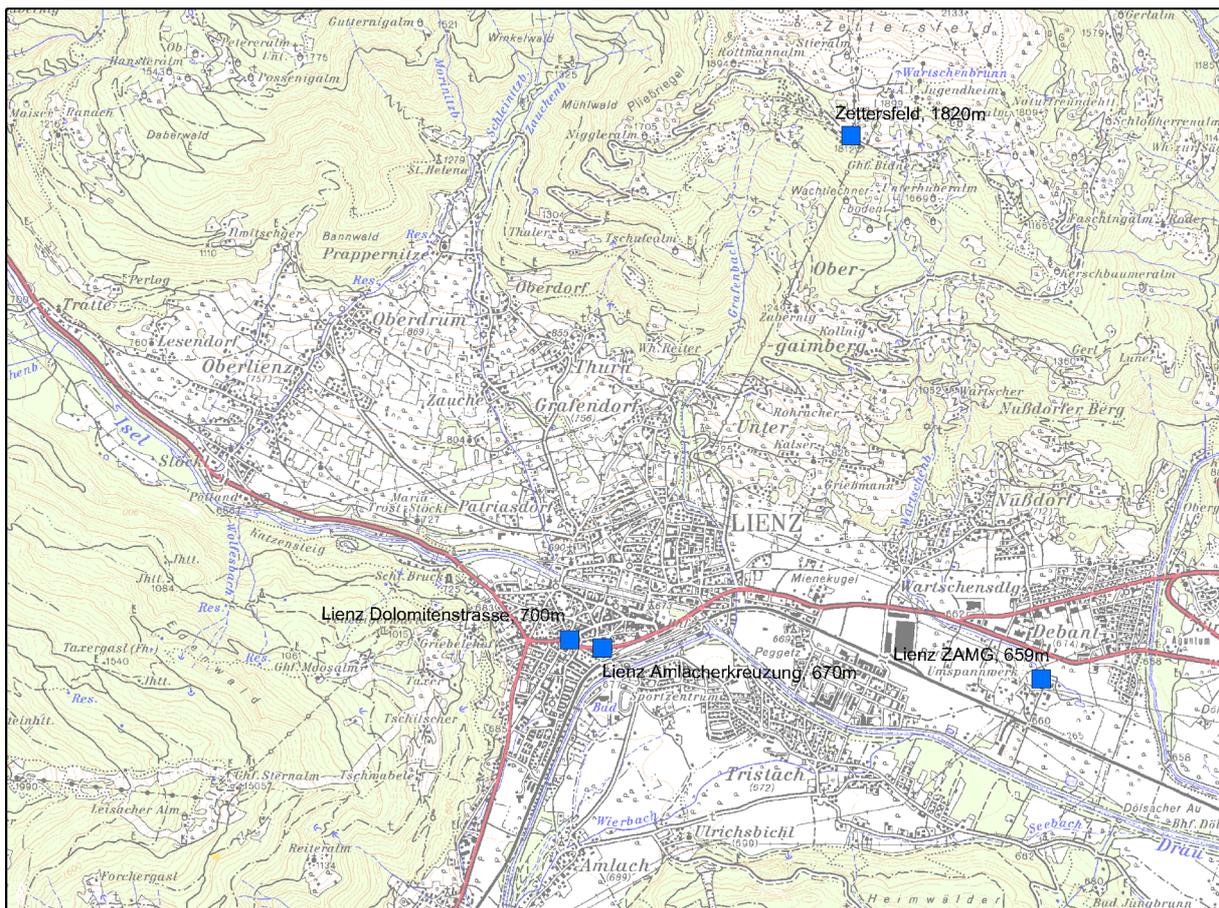


Abbildung 6: Messstellen im Raum Lienz

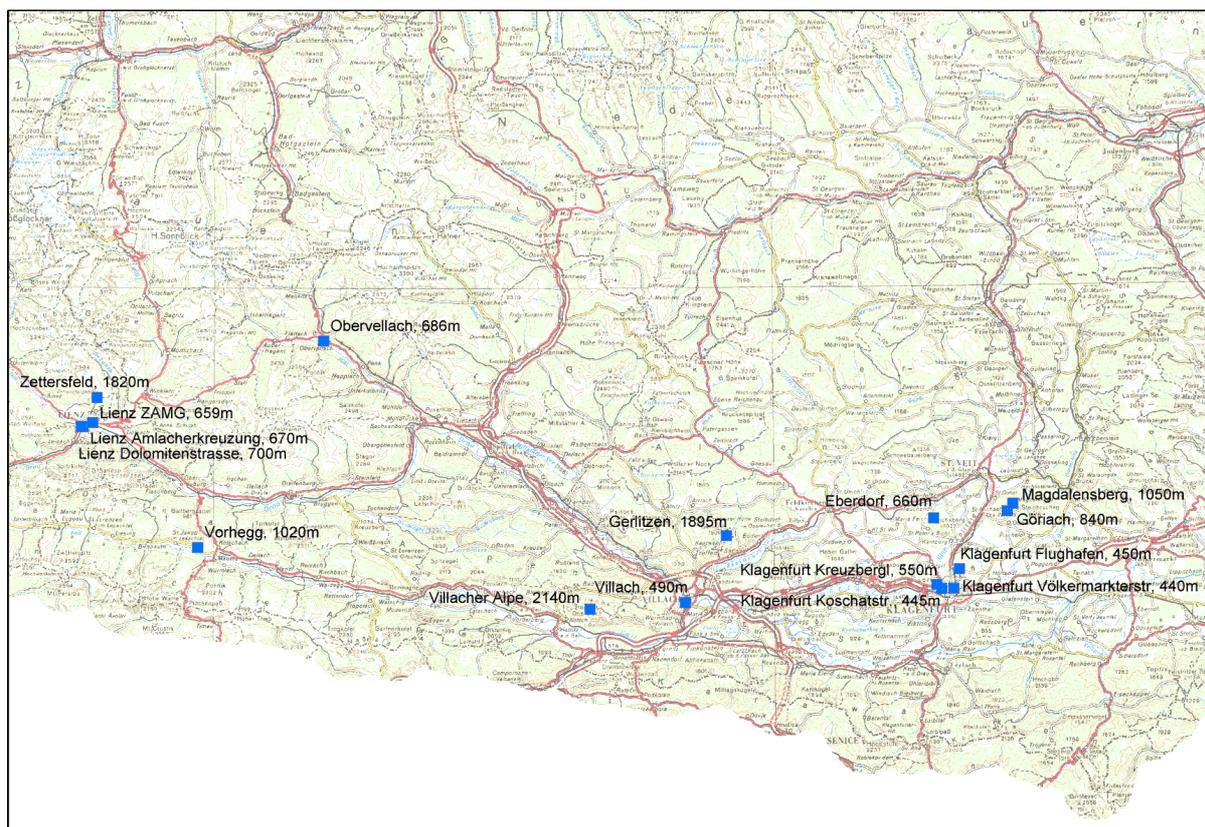


Abbildung 7: Meteorologische Messstellen in Osttirol und Kärnten

4.3 Bewertung der Datenlage

Immission

Die kontinuierlich gemessenen PM₁₀-Daten erlauben zusammen mit den Messdaten der gasförmigen Schadstoffe eine umfassende und detaillierte Analyse der PM₁₀-Belastung in Lienz. Kontinuierliche, d.h. halbstündliche PM₁₀-Daten sind für die Untersuchung von Schadstoffwindrosen, mittleren Tagesgängen und des zeitlichen Konzentrationsverlaufs unerlässlich.

Als Schwachpunkt der kontinuierlichen PM₁₀-Messung ist der teilweise Verlust von Ammoniumnitrat, Wasser und anderen flüchtigen PM₁₀-Komponenten infolge der Beheizung der Ansaugleitung auf 40°C zu nennen. Dieser Minderbefund wird durch einen Standortfaktor (1,3) kompensiert, welcher aber im Einzelnen natürlich keinerlei Auskunft über den tatsächlichen Anteil flüchtiger PM₁₀-Anteile liefert.

Meteorologie

Die für die Beurteilung des Temperaturprofils über Lienz zur Verfügung stehenden Messstellen zeigen einige Schwachstellen. Die Messstellen Lienz Bürgerau und Dolomitenstr. erlauben zwar die Erfassung des Temperaturprofils auf einer Höhe von 40 m, allerdings beträgt die horizontale Distanz ca. 3 km. Zudem deutet die extrem hohe Häufigkeit von Inversionen, die zwischen diesen beiden Messstellen errechnet wird, auf eine Überwärmung der Station Dolomitenstr. infolge eines städtischen

Wärmeinseleffekt und möglicher Strahlungseinflüsse des Gebäudes, auf dem sie situiert ist, hin.

Das Temperaturprofil zwischen Lienz und Vorhegg bzw. zwischen Vorhegg und Zetttersfeld ist insofern mit Vorsicht zu betrachten, als Vorhegg in einem anderen Tal liegt und möglicherweise aufgrund der südostexponierten Lage der Station tagsüber etwas überwärmt ist.

Emission

Angaben über den LKW-Anteil des Straßenverkehrs im Stadtgebiet von Lienz liegen nur in Form einer Stichprobenerhebung vom Mitteregger Kreuz vor. Die gesonderte Erfassung der LKW an der Zählstelle Lienz wäre sehr von Nutzen.

Betreffend die Emissionen des Hausbrandes liegen aus der Stadt Lienz – in Zusammenhang mit dem Ausbau des Fernwärmenetzes – relativ detaillierte Daten vor. Eine Erhebung der Emissionen des Hausbrandes der umliegenden Gemeinden wäre wünschenswert.

Generell treten große Unsicherheiten bei der Abschätzung von Emissionen auf, die von Gesamtösterreich auf Basis z.B. der Bevölkerungszahl, der Zahl der Arbeitsplätze oder der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf bestimmte Gebiete oder Städte heruntergerechnet werden. Präzisere Emissionsdaten würden einen detaillierten Emissionskataster voraussetzen.

5 Emissionen

5.1 Österreichische Staubemissionen

Eine Abschätzung der gesamtösterreichischen Staubemissionen wurde in GANGL (2002) bzw. WINIWARTER (2001) veröffentlicht.

Neben den Emissionen aus Verbrennungsprozessen, die noch relativ genau abgeschätzt werden können, wurden auch Emissionen aus mechanischen Prozessen sowie aus diffusen industriellen Quellen berücksichtigt. Letztere entstehen i.A. bei verschiedenen Materialmanipulationen wie z.B. bei Schneidprozessen, Schüttgutumschlägen, Prozessen mit flüssigen Metallen etc. oder bei Erosionsprozessen. Die Abschätzung der Höhe der diffusen Emissionen ist mit deutlich größeren Unsicherheiten behaftet, jedoch tragen diese bis zu 50% zu den gesamten PM10-Emissionen bei.

Für die Jahre 1990, 1995 und 2000 wurden folgende Ergebnisse der PM10-Emissionen für Österreich ermittelt:

Tabelle 7: PM10-Emissionen in Österreich in 1000 Tonnen (ohne Wiederaufwirbelung durch den Verkehr)

VERURSACHER	1990	1995	2000
Wärme-u. Heizkraftwerke	0,9	0,6	0,9
Kleinverbraucher	10,2	9,2	7,0
Industrie	18,1	17,6	19,3
Verkehr ¹³	11,3	11,7	11,8
Landwirtschaft	7,7	7,6	7,2
Gesamt (anthropogen)	48,3	46,8	46,1

Die PM10-Emissionen sind leicht von 48.290 Tonnen im Jahr 1990 auf 46.120 Tonnen im Jahr 2000 gesunken. Für PM2,5 wurde für 1990 29.340 Tonnen ermittelt, während für 2000 26.100 Tonnen berechnet wurden. Leicht zugenommen haben die Gesamtstaubemissionen (von 75.590 Tonnen im Jahr 1990 auf 77.100 Tonnen im Jahr 2000). Die Zunahme beim Gesamtstaub lässt sich auf Abriebemissionen (Bremsen, Reifenabrieb) des Verkehrs (wobei zu berücksichtigen ist, dass die Abschätzung die Abgas- und Abriebemissionen, nicht jedoch die Wiederaufwirbelung beinhaltet), bedingt durch stark zunehmendem Schwerverkehr, zurückführen. Die Abnahme bei den feineren Fraktionen erfolgte insbesondere durch den verringerten Einsatz von Brennholz zur Raumwärmeerzeugung.

Aus den oben genannten Studien geht hervor, dass die bedeutendsten Quellgruppen für diffuse Emissionen der Umschlag von Schüttgütern in der Industrie, das Bauwesen und die landwirtschaftliche Feldbearbeitung sind, die sich gleichzeitig durch besonders hohe Unsicherheiten auszeichnen. Unter den nicht-diffusen Quellen ist die Verbrennung von Holz jene Quelle, die die höchsten Partikelemissionen aufweist. Industrielle Punktemissionen können zwar lokal hohe Bedeutung haben, für die Summe Österreichs erweisen sie sich als weniger relevant.

¹³ Die Abschätzung beinhaltet Abgas- und Abriebemissionen, jedoch nicht die Wiederaufwirbelung

5.2 Wesentliche Staubquellen in Lienz

Wie aus der österreichischen Staubinventur ersichtlich, sind die folgenden Staubquellen von Bedeutung:

- Industrie
- Verkehr
- Landwirtschaft
- Hausbrand
- Kraftwerke

Im folgenden wird versucht, für diese Emittentengruppen eine Abschätzung über die Höhe der Staub- bzw. PM10 Emissionen der Stadt Lienz zu geben, wenngleich generell anzumerken ist

dass die nachfolgend angegebenen Werte für Lienz nur eine **grobe Abschätzung** darstellen.

Emissionsdaten werden entweder durch Messungen ermittelt – was in diesem Projekt weder möglich noch vorgesehen war – oder aus Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten errechnet. Alle relevanten Aktivitätsdaten, die erhoben werden konnten, wurden herangezogen. Bei der Auswahl der Emissionsfaktoren wurde im Wesentlichen auf die Ergebnisse der oben zitierten Studien von GANGL (2002) bzw. WINIWARTER (2001) zurückgegriffen. Die tatsächlichen Werte können in einem **beträchtlichen Ausmaß** von den abgeschätzten Emissionsmengen **abweichen**. So wird in WINIWARTER 2001 die **Unsicherheit** bei den diffusen Emissionen mit einem **Faktor 10** angegeben. Auch bei den pyrogenen Emissionen bestehen beträchtliche Unsicherheiten. Durch die Disaggregation von gesamtösterreichischen Emissionen auf Lienz kann sich diese Unsicherheit nochmals erhöhen.

5.2.1 Straßenverkehr

Die Messstelle Lienz Amlacherkreuzung liegt an der Kreuzung der Tiroler Straße (B100) mit der Amlacherstraße.

Über die Tiroler Straße bewegt sich im wesentlichen der Durchzugsverkehr zwischen Oberkärnten (Drautal und Mölltal) sowie dem Pustertal (B100) und dem Iseltal (B108 Richtung Felbertauern). Der Durchzugsverkehr wird an der Zählstelle Lienz B100 (bei der Nussdorfer Landstraße) erfasst. Der DTV liegt hier im Jahresmittel 2001 bei ca. 18.700 Kfz (Montag bis Freitag 20.200 Kfz, Samstag 19.200 Kfz, Sonn- und Feiertag 12.900 Kfz). Angaben über den Schwerverkehrsanteil liegen nicht vor.

Eine Abschätzung des Schwerverkehrs auf der B100 in Lienz erlaubt die Zählstelle Nikolsdorf im Osten Osttirols an der B100 (siehe Tabelle 8). Unter der Annahme, dass der Schwerverkehr über den Iselberg in das obere Mölltal nur ein geringes Ausmaß aufweist, dürfte der Durchzugsverkehr (Schwerverkehr, LKW > 7,5t) durch Lienz auf der Tiroler Straße im Jahresmittel ca. 900 Kfz/Tag betragen, bezogen auf Montag – Freitag ca. 1100 Kfz/Tag.

Verkehrszählungen am Mitteregger Kreuz (Kreuzung B100 – B108) von 17. bis 19.9.2001 (Mo – Mi) haben auf dem Straßenzug Albin-Egger-Str./Tiroler Str. ein Schwerverkehrsaufkommen (Lkw über 7,5t) zwischen 1000 und 1090 Kfz/Tag ergeben, d.h. etwas weniger als der mittlere werktägliche Schwerverkehr in Nikolsdorf. Die Zählstelle Nikolsdorf dürfte somit einigermaßen repräsentative Aussagen für die Tiroler Str. liefern.

Da lt. Handbuch der österreichischen Emissionsfaktoren der Anteil der LKW < 7,5t an innerorts in Österreich etwa 42% beträgt, kann ein LKW-Aufkommen an Werktagen von etwa 1.900 LKW/d in der Tiroler Straße abgeschätzt werden.

Der Vergleich des Gesamtverkehrsaufkommens an den Verkehrszählstellen in Osttirol zeigt, dass Lienz ein ungleich höheres Pkw-Verkehrsaufkommen hat als die von der Stadt weiter entfernten Zählstellen Nikolsdorf, Sillian und Felbertauern.

*Tabelle 8: Verkehrsströme in Osttirol (DTV 2001), alle Tage (Mo-So) sowie Mo - Fr.
Schwerverkehr umfasst Lkw, schwere Sattelzüge sowie Busse.*

	Pkw	Schwerverkehr	Pkw	Schwerverkehr
	Mo - So		Mo - Fr	
Nikolsdorf B100	4.979	862	4.699	1.105
Sillian B100	3.481	614	5.031	773
Feldertauern B108	2.983	480	2.410	580
Lienz B100 (geschätzt)	17.800	900	19.100	1.100

Die Emissionen des Verkehrs wurden mit Hilfe des Verkehrskonzeptes der Stadtgemeinde Lienz aus dem Jahr 1993 unter zu Hilfenahme der Daten der oben genannten Verkehrszählstellen und der Schwerverkehrserhebung berechnet. Die im Verkehrskonzept abgebildete „Verkehrsspinne“ wurde in ein GIS-System übertragen, wodurch für jeden Straßenabschnitt die Emissionen berechnet werden konnten. Die Verkehrsspinne erfasst jedoch nur einen Teil der Straßen – wenn auch die mit dem meisten Verkehr. Um das gesamte Straßennetz in Lienz zu erfassen wurde die Differenz zur geschätzten Gesamtstraßenverkehrsleistung in Lienz dem restlichen Straßennetz zugeordnet. Die Gesamtstraßenverkehrsleistung wurde über die in dem Verkehrskonzept angegebenen Mobilitätsdaten sowie der Einwohnerzahl abgeschätzt.

Die Berechnung der jährlichen Abgasemissionen wurden in Folge mit Hilfe des Handbuchs der österreichischen Emissionsfaktoren unter Zugrundelegung der Flottenzusammensetzung 2001 durchgeführt (UMWELTBUNDESAMT 1998). Folgende Unsicherheiten müssen dabei berücksichtigt werden:

- § Der Schwerverkehrsanteil ist nur von einer Schwerverkehrserhebung¹⁴ sowie von den Zählstellen Sillian und Nikolsdorf bekannt. Da die Emissionen eines Schwerfahrzeugs um einen Faktor 15 größer sein können als die eines Pkws, beeinflusst der Anteil schwerer Nutzfahrzeuge das Ergebnis der Emissionsrechnung in erheblichem Ausmaß.
- § Die Summe aller in Lienz mit Kfz zurückgelegten km konnte ebenfalls nur grob abgeschätzt werden.
- § Die Literaturangaben zu den Nicht-Abgasemissionsfaktoren (Wiederaufwirbelung, Straßen-, Reifen- und Bremsenabrieb) schwanken beträchtlich (siehe LOHMEYER 2001, HÜGLIN 2000, GEHRIG 2003, EPA 2000) . Es wurde daher versucht, eine untere und obere Schranke dieser Emissionen anzugeben.

¹⁴ 4. Schwerverkehrserhebung des Vereins zum Schutz der Erholungslandschaft Osttirol, 16.-19. September 2001.

Aus diesen Berechnungen ergeben sich PM10 Abgasemissionen des PKW-Verkehrs an einem Werktag im Stadtgebiet von Lienz von :

3,1 kg/d (Emissionen im warmen Betriebszustand).

Die LKW PM10-Abgasemissionen berechnen sich zu :

2,8 kg/d (Emissionen im warmen Betriebszustand).

Bei Berücksichtigung von Zuschlägen für Startvorgänge können den PKW weitere **0,9 kg/d** zugeordnet werden.

Damit ergeben sich für PKW:

4 kg/d (PKW PM10-Abgasemissionen inkl. Startzuschlag)

Da für LKW keine Kennwerte für Startzuschläge vorliegen und zusätzlich die Aufteilung bzw. Zuordnung der Startvorgänge von schweren Nutzfahrzeugen auf das Stadtgebiet nur mit großer Unsicherheit möglich ist, wurde von der Berücksichtigung der Startzuschläge für schwere Nutzfahrzeuge abgesehen. Dadurch kann eine leichte Unterschätzung der abgasseitigen PM10-Emissionen auftreten. Diese Unterschätzung ist jedoch aufgrund der hohen Unsicherheiten bezüglich des Ausmaßes von Wiederaufwirbelung und Abrieb vernachlässigbar.

Mit erheblich größeren Unsicherheiten ist die Abschätzung der Gesamtemissionen des Verkehrs verbunden. In diesen Emissionen sind neben den Abgasemissionen auch die Emissionen durch Wiederaufwirbelung, Straßen-, Reifen- und Bremsenabrieb enthalten. In Schweizer Untersuchungen (HÜGLIN 2000, GEHRIG 2003) werden für PKW Emissionsfaktoren zwischen 20 und 100 mg/km, für LKW zwischen 150 und 1400 mg/km angegeben. Mit der in LOHMEYER 2001 angegebenen Formel ergibt sich bei einem LKW-Anteil von 5% ein mittlerer Emissionsfaktor von 160 mg/km. In RAUTERBERG-WULFF (1998) werden, Emissionsfaktoren von 26-41 mg/km für PKW und 550-990 mg/km für LKW angegeben. Auch die US-amerikanische Umweltschutzbehörde EPA gibt eine Formel zur Berechnung der Wiederaufwirbelung an (EPA 2000); danach beträgt der Emissionsfaktor 380 mg/km bei einem LKW-Anteil von etwa 10%.

Tabelle 9: tägliche PM10-Nicht-Abgasemissionen des Verkehrs in Lienz bei Verwendung verschiedener Emissionsfaktoren

Quelle	EF PKW [mg/km]	EF LKW [mg/km]	PM10 Nichtabgasemissionen [kg/d]
HÜGLIN 2000, GEHRIG 2003	20	150	-0,9 ¹⁵
	60	800	9,7
	100	1400	21,5
LOHMEYER 2001	160		21,9
RAUTERBERG- WULFF 1998	32	830	6,2
EPA AP42	380		35,9

Die obigen Werte zeigen, dass die berechneten Gesamtemissionen sich um eine Größenordnung unterscheiden können.

¹⁵ Die mit diesen Emissionsfaktoren berechneten Gesamtemissionen sind mit 4,3 kg/d niedriger als die 6,8 kg/d Abgasemissionen.

Für die Hochrechnung der PM10-Emissionen auf ein Jahr ist zu berücksichtigen, dass die eben angeführte Abschätzung für Werkstage gilt. Um den Einfluss des an Wochenenden reduzierten Verkehrs adäquat zu berücksichtigen, wurden Daten von den Verkehrszählstelle Lienz für PKW sowie von Nikolsdorf und Sillian und der Schwerverkehrserhebung für LKW verwendet. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Zählstelle in Lienz nicht zwischen PKW und LKW unterscheidet. Da der LKW-Anteil lt. Schwerverkehrserhebung (bei Berücksichtigung der LKW <7,5t) jedoch nur 8-9% beträgt, kann die dadurch entstehende Ungenauigkeit vernachlässigt werden. Aus diesen Daten ergeben sich folgende Gewichtungen:

Gewichtung Pkw: Mo-Fr: 1
 Sa: 0,95
 So: 0,64
 Gewichtung Lkw: Mo-Fr: 1
 Sa: 0,37
 So: 0,27

Für die jährlichen Emissionen wurden 251 Werkstage, 52 Samstage und 62 Sonn- und Feiertage angenommen.

Daraus ergeben sich jährliche Abgasemissionen für PKW in Lienz von:

1400 kg/a (PM10-Abgasemissionen PKW pro Jahr)

Für LKW ergeben sich Emissionen von:

800 kg/a (PM10-Abgasemissionen LKW pro Jahr)

Für die Nicht-Abgasemissionen wurde eine mittlere Gewichtung von PKW und LKW von¹⁶:

Mo-Fr: 1
 Sa: 0,6
 So: 0,5

angenommen. Mit Hilfe dieser Faktoren berechnen sich die jährlichen PM10 Nicht-Abgasemissionen des Verkehrs zu:

Tabelle 10: Jährliche PM10-Nicht-Abgasemissionen in Lienz bei Verwendung verschiedener Emissionsfaktoren

Quelle	EF PKW [mg/km]	EF LKW [mg/km]	PM10 Nichtabgasemissionen [kg/a]
HÜGLIN 2000, GEHRIG 2003	60	800	3.100
	100	1400	6.700
LOHMEYER 2001	160		6.900
RAUTERBERG- WULFF 1998	32	830	1.900
EPA AP42	380		11.300

¹⁶ In der EPA-Formel und in der Formel nach LOHMEYER wird nur ein mittleres Flottengewicht berücksichtigt, es kann daher nicht zwischen PKW und LKW unterschieden werden. Bei Verwendung der Schweizer Emissionsfaktoren, die zwischen PKW und LKW unterscheiden, zeigt sich aber eine sehr gute Übereinstimmung bei getrennter Berechnung und Verwendung unterschiedlicher Gewichtung von PKW und LKW mit der angegebenen mittleren Gewichtung.

5.2.2 Vershubtätigkeit der ÖBB

Da sich der Vershubbahnhof der ÖBB in unmittelbarer Nähe zur Messstation Amlacherkreuzung befindet, wurden die Emissionen der Vershublokomotive abgeschätzt. Lt. Auskunft der Stadtgemeinde Lienz wird der Vershub an etwa 2200 h im Jahr mit einer Diesellokomotive vom Typ 2067 durchgeführt. Dieser Typ ist vergleichbar mit der in PITTERMANN 2002 untersuchten deutschen Type GT06A. Da die Emissionsfaktoren für Partikel sehr stark von der Drehzahl und der Last abhängen (sie schwanken zwischen 0,01 und 0,2 kg/h) wird ein mittlerer Emissionsfaktor von 0,05 kg/h angenommen. Daraus ergeben sich Emissionen in der Höhe von:

110 kg/a (PM10 Emissionen Diesellokomotive ÖBB)

5.2.3 Industrie, Gewerbe, öffentliche Einrichtungen:

Wie aus persönlichen Mitteilungen von Dr. Köck (Gewerbebehörde Lienz) und einem Lokalausganschein geschlossen werden kann, sind für Staubemissionen relevante Betriebe in Lienz so gut wie nicht vorhanden. So gibt es z.B. keine Sägewerke vor Ort, zwei Schotterwerke sind erst in zumindest 10 km Entfernung zu finden, lediglich ein Transportbetonhersteller in der Nachbargemeinde Nussdorf/Debant könnte zwar lokal von Bedeutung sein, über diesbezügliche Beschwerden, die auf relevante Staubemissionen schließen lassen könnten, ist allerdings nichts bekannt. Ein östlich des Bahnhofs gelegenes Mischfutterwerk ist lt. Auskunft von Hrn. Diemling (Firmenleitung Mischfutterwerk) mit einem Gewebefilter zur Reinigung der Abluft ausgestattet, ebenso die zugehörige Mühle nahe dem Stadtzentrum. Bei einer Staubkonzentration von 5 mg/Nm³ im Abgas und einer Abluftmenge von 50.000 m³ im Mischfutterwerk bzw. 7.000 m³ in der Mühle ergeben sich daraus gefasste Emissionen von 250 g bzw. 35 g pro Jahr. Laut Auskunft der Firmenleitung treten allerdings Probleme vor allem bei der wöchentlichen Entleerung der Müllcontainer im Mischfutterwerk bzw. bei Ausfall der Gewebefilter in der Mühle auf. Diese diffusen Emissionen, die zwar deutlich höher sein können als die gefassten, sind allerdings kaum abschätzbar.

Demnach sind maßgebliche, bzw. mit hinreichender Sicherheit quantifizierbare Emissionen – ausgenommen die Bautätigkeit, siehe unten - nur durch die Raumwärme- bzw. Warmwassererzeugung zu erwarten.

5.2.4 Raumwärme Industrie, Gewerbe, öffentliche Einrichtungen

Vom Verein Energie Tirol wurde dem UBA freundlicherweise eine detaillierte Liste aus dem Jahr 1998 des Energiebedarfs für die Raumwärme, das Nutz- und Brauchwassers sowie des Prozesswassers der 25 größten Gewerbebetriebe bzw. öffentlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt. Demnach haben fast alle Betriebe zur Abdeckung ihres Wärme- bzw. Warmwasserbedarfs Heizöl leicht verwendet. Insgesamt wurden im Jahr 1998 von allen 25 Betrieben und Einrichtungen 2.430.170 l Heizöl verbraucht; daraus ergeben sich mit dem Heizwert von 41 MJ/kg 23.768 MWh bzw. 85.565 GJ und einem Emissionsfaktor von 2,7 g/GJ PM10 Emissionen von:

230 kg/a (PM10 Emissionen Raumwärme 25 Betriebe Lienz)

Da keine Daten zum Energieverbrauch aller anderen Gewerbe und Industriebetriebe sowie öffentlicher Einrichtungen vorliegen, können die Gesamtemissionen dieses

Sektors nur grob geschätzt werden. Einen Anhaltspunkt geben Daten des Umweltamtes in Lienz, wo bei Installation der Fernwärme die Daten der alten Heizkessel registriert wurden. Eine Auswertung dieser Daten hat ergeben, dass etwa 81% der ausgetauschten bzw. abgeklemmten Kessel mit Öl betrieben wurden, etwa 15% wurden mit Holz oder Kohle geheizt. Um die Emissionen aller Arbeitsstätten berechnen, wurden der Energieverbrauch aus einem Vergleich mit dem Energieverbrauch der Haushalte und des durchschnittlichen Energieverbrauchs der Arbeitsstätten in Wien (SCHNEIDER 2002) zu etwa 40.000 MWh abgeschätzt. Daraus ergeben sich Emissionen bei einem Anteil von 15% feste Brennstoffe an dem Energieverbrauch Emissionen in der Höhe von etwa:

2900 kg/a (pyrogene PM10-Emissionen durch Raumwärme der Arbeitsstätten im Jahr 1995).

Zur Berechnung der Abnahme der Emissionen durch den Ausbau der Fernwärme wurde analog zu den Haushalten (siehe unten) angenommen, dass im Endausbau Ende 2003 70% der Raumwärme in Lienz durch die Fernwärme zur Verfügung gestellt wird. Im Jahr 2001 wurden bereits 17,5%, Ende 2002 52,5% der Arbeitsstätten mit Fernwärme versorgt. Diese Anteile der Fernwärme in den Jahren 2001 bis 2003 wurde über die installierte Leistung¹⁷ berechnet.

Tabelle 11: Geschätzte PM10-Emissionen (in kg) der Gewerbe- und Industriebetriebe sowie der öffentlichen Einrichtungen in Lienz.

Brennstoffe	1995	2001	2002	2003
feste	2592	2138	1231	778
flüssige	315	260	150	94
Summe	2907	2398	1381	872

Die Abschätzung zeigt, dass die Emissionen durch die Erzeugung von Raumwärme von 2.900 kg/a im Jahr 1995 auf etwa **870 kg/a** bis Ende 2003 abnehmen. Eine Betrachtung der gesamten Emissionen zur Erzeugung der Raumwärme in Lienz wird in Kapitel 5.2.7 gegeben.

5.2.5 Hausbrand

Im Jahr 1995 wurde im Auftrag der Stadt Lienz vom Verein Energie Tirol eine Umfrage unter 2500 Haushalten (dies entspricht etwas mehr als der Hälfte der Haushalte in Lienz) zum Energieverbrauch sowie zur Art der Heizung und des Heizungsmaterials durchgeführt. Aus der Menge des verwendeten Heizmaterials¹⁸ kann nun die emittierte Staubmenge berechnet werden (Tabelle 12).

¹⁷ Auskunft Hr. DI Reisinger, Stadtwärme Lienz

¹⁸ Die Liste der Heizmaterialien umfasst allerdings nur „offizielle“ Brennstoffe. Aus den elektronenmikroskopischen Untersuchungen kann aber geschlossen werden, dass auch Kunststoff – wie er z.B. im Hausmüll vorkommt – vereinzelt als Brennstoff verwendet wird.

Tabelle 12: Laut Umfrage des Vereins Energie Tirol aus dem Jahr 1995 ermittelte Art und Menge des Heizmaterials aller Lienzer Haushalte sowie die daraus berechneten Staubemissionen

Brennstoff	Menge	kWh	Staubemissionen [kg] ¹⁹
Heizöl extraleicht	1.843.220 l	18.432.204	199.1
Hartholz	1.528 rm	3.682.035	1590.6
Weichholz	1.623 rm	2.467.566	1066.0
Strom	1.323.437 kWh	1.323.437	0.0
Koks	150.885 kg	1.131.638	488.9
Braunkohlebriketts	94.521 kg	529.319	228.7
Steinkohlebriketts	26.141 kg	216.973	93.7
Waldhackgut	384 srm	268.695	87.1
Heizölleicht	20.823 l	218.647	2.4
Holz briketts	39.720 kg	182.713	78.9
Braunkohle	16.885 kg	65.851	28.4
Sä gehackgut mit Rinde	53 srm	31.861	10.3
Flüssiggas	1.717 qm	21.984	0.0
Rinden briketts	2.883 kg	12.972	4.2
Hobel- & Sägespäne	38 srm	17.068	5.5
Sä gehackgut ohne Rinde	21 srm	12.744	4.1
Steinkohle	607 kg	4.248	1.8
Fernwärme	1.517 qm	1.441	0.0
Summe		28.621.395	3.889

Eine Zusammenfassung nach festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen findet sich in nachfolgender Tabelle:

Tabelle 13: Staubemissionen von festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffe der Lienzer Haushalte im Jahr 1995

Art des Brennstoffs	MWh	Anteil	Staubemissionen [kg]	Anteil
feste Brennstoffe	8.624	31,6%	3.688	94,8%
flüssige Brennstoffe	18.651	68,3%	201	5,2%
gasförmige Brennstoffe	22	0,1%	0.04	0,001%
Summe	27.297	100%	3.890	100%

Aus obigen Tabellen ist ersichtlich, dass die festen Brennstoffe für den Großteil der Staubemissionen verantwortlich sind.

Da die Problematik von erhöhten Schadstoffemissionen von alten, mit festen Brennstoffen betriebenen Heizungsanlagen in Lienz bereits früh erkannt wurde, wurde Mitte der 90er Jahre die Initiative „Energieprojekt Lienz“ gestartet, um u.a. alte Heizungsanlagen zu überprüfen, die Wärmeisolierung zu verbessern („500 Dächer Programm“) usw.²⁰ Um die Stadt Lienz zentral mit Fernwärme versorgen zu können,

¹⁹ Die Emissionsfaktoren von Kohle und Holz wurden nach SPITZER 1998 mit 150 g/GJ bei Einzelöfen und 90 g/GJ bei Zentralheizungen angenommen. Da zum Zeitpunkt der Umfrage im Jahr 1995 etwa 50% der Haushalte mit Einzelöfen beheizt wurden, ergibt sich ein Emissionsfaktor von 120 g/GJ für feste Brennstoffe (Ausnahme: Brennstoffe wie z.B. Sä gehackgut, welches nur in Zentralheizungen verwendet wird).

²⁰ Eine Übersicht über die im Rahmen des Energieprojektes Lienz durchgeführten Maßnahmen sind z.B. in KÖSTL 2001 zu finden.

wurde im Oktober 2001 ein mit Biomasse betriebenes Fernheizwerk in Betrieb genommen. Vorab wurden die Häuser mit zukünftigem Fernwärmeanschluss mit einer zeitgemäßen Wärmeisolierung versehen. Ende 2001 gab es bereits 184 Häuser bzw. 1304 Einzelanschlüsse mit einer Gesamtleistung von 9.967 kW, bis Ende 2002 wurden bereits 479 Häuser mit 2674 Einzelanschlüssen mit einer Gesamtleistung von 29.610 kW mit Fernwärme versorgt, Ende 2003 werden bereits 680 Häuser mit 3300 Einzelanschlüssen und einer Gesamtleistung von 39.500 kW versorgt sein²¹. Im Endausbau soll 70% der Raumwärme von Haushalten, Firmen und öffentliche Einrichtungen durch die Fernwärme zur Verfügung gestellt werden. Da keine genauen Daten verfügbar sind, wie viele Brennstoffe bzw. Heizungsanlagen jeder Kategorie durch Fernwärme substituiert wurden, wird eine gleichmäßige Reduktion aller Energieträger angenommen, auch wird angenommen, dass sowohl bei den Haushalten als auch bei Firmen und öffentlichen Einrichtungen jeweils 70% substituiert wurden (Tabelle 14). Daraus ergeben sich für die zwischen 1995 und 2003 folgende Emissionsreduktionen (in vergleichsweise kälteren oder wärmeren Heizperioden können die Zahlen naturgemäß beträchtlich abweichen. Auch wurde angenommen, dass die jeweilige Ausbaustufe jeweils zu Jahresbeginn bereits fertiggestellt ist. Dadurch werden zwar die Emissionen etwas unterschätzt, da aber die Filter im Dezember 2002 genommen wurden, und auch die meisten Überschreitungen im Dezember 2001 zu verzeichnen waren, erscheint diese Annahme gerechtfertigt):

Tabelle 14: Geschätzter Verlauf der Staubemissionen durch die Substitution fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe durch Fernwärme im Jahr 2001, 2002 und im Endausbau 2003

Art des Brennstoffs	1995	2001	2002	2003
feste Brennstoffe	3.688	3.073	1.770	1.118
flüssige Brennstoffe	201	150	86	54
gasförmige Brennstoffe	0.04	0.03	0.02	0.01
Summe	3.890	3.223	1.856	1.172

Die Abschätzung zeigt, dass die Staubemissionen²² von beinahe **4 t** im Jahr 1995 auf etwa **1.200 kg** im Jahr 2003 abnehmen wird. Da zukünftig ein Fernwärme-Anschlussgrad von 75-80% erreicht wird²³, kann eine weitere Reduktion der Emissionen angenommen werden.

5.2.6 Fernheizwerk (Biomasse-Heizkraftwerk)

Aus den von der Stadtwärme Lienz zur Verfügung gestellten Unterlagen²⁴ geht hervor, dass die bei einer Rauchgaskonzentration von 10 mg/Nm³ (genehmigte Staubkonzentration laut Gewerbeverfahren) die jährliche Staubfracht wurde demnach mit etwa 2.166 kg berechnet. Da angenommen werden kann, dass der

²¹ Auskunft von Hr. DI Reisinger, Stadtwärme Lienz

²² Laut WATSON 2000 sind 95% der von Holzheizungen emittierten Partikel kleiner als 10 µm, somit kann beim Hausbrand der Unterschied zwischen PM10 und Gesamtschwebestaub vernachlässigt werden.

²³ Auskunft von Hr. Oskar Januschke, Stadtgemeinde Lienz

²⁴ Kapitel 5 des Förderungsansuchen „Strom und Wärme für die Stadt Lienz“, Stadtwärme Lienz Vertriebs- und Produktions GmbH.

PM10-Anteil im Staub etwa 80-90% beträgt, berechnen sich die PM10-Emissionen zu:

1850 kg/a (Emissionen Stadtwärme Lienz)

Diese PM10 Emissionen werden allerdings erst im Jahr 2003 im Endausbau voll wirksam. Für 2001 werden die Emissionen über die damalige Anschlussleistung berechnet; da das Fernheizwerk erst im November 2001 in Betrieb ging, werden die Emissionen nochmals auf ein Drittel reduziert:

100 kg/a (Emissionen Stadtwärme Lienz im Jahr 2001)

Bei den Emissionen des Fernheizwerkes muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass diese außerhalb der Stadt anfallen und daher in einem geringeren Ausmaß zur Staubbelastung in der Stadt Lienz beitragen. Lt. einem Gutachten der Fa. Bios Bioenergiesysteme GmbH beträgt die Konzentration im Rauchgas jedoch nur 5,6 mg/Nm³ Staub anstatt der der Berechnung zugrunde gelegten 10 mg/Nm³, die zugehörige Fracht wurde jedoch nicht angegeben. Eine mögliche Reduktion, die sich aus der niedrigeren Konzentration ergibt, kann aber nur bei Vorliegen der tatsächlich emittierten Frachten berechnet werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die auf Basis einer Emissionskonzentration von 10 mg/Nm³ berechnete Emissionsmenge eine obere Grenze der Emissionen des Fernheizwerkes darstellt. Die Entstaubung des Rauchgases entspricht jedenfalls dem Stand der Technik.

5.2.7 Gesamtbetrachtung Raumwärme

Die oben angeführten Emissionswerten des Hausbrands der privaten Haushalte, der Industrie, des Gewerbes und der öffentlichen Einrichtungen sowie des Fernheizwerkes sind nochmals in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 15: PM10 Emissionen zur Erzeugung von Raumwärme in den Jahren 2001-2003 in kg

Verursacher	1995	2001	2002	2003
Hausbrand	3890	3.200	1.860	1.170
Raumwärme Arbeitsstätten	2907	2.900	1.380	870
Fernheizwerk ²⁵	-	100	1.390	1.850
Summe	6797	6.200	4630	3890
Reduktion zu 1995	0%	9%	32%	43%

Aus obiger Tabelle wird ersichtlich, dass die **PM10-Emissionen** zur Erzeugung von Raumwärme in Lienz durch den Ausbau der Fernwärme im Jahr 2003 um **43%** verglichen mit dem Jahr 1995 **abgenommen** haben.

5.2.8 Bautätigkeit

Das Jahr 2001 war in Lienz geprägt durch eine überdurchschnittliche Bautätigkeit aufgrund der Verlegung von ca. 22 km Fernwärmeleitungen im gesamten Stadtgebiet. Im folgenden wird versucht, eine grobe Abschätzung der Menge an dadurch emittierten Staub bzw. PM10 zu geben. Laut Auskunft der ausführenden Baufirma Niedermühlbichler aus Seeboden liefern die Bauarbeiten folgendermaßen ab: Zunächst wurde von der Firma ABF aus Bergheim der Asphalt abgefräst, wobei die Asphaltfräsmaschinen (die Motorleistung hängt sehr stark von der Fräsbreite und –Tiefe der verwendeten Maschine ab, für Lienz dürfte die Leistung größer als 80 kW

²⁵ obere Grenze, berechnet mit einer Emissionskonzentration von 10 mg/Nm³

gewesen sein) insgesamt 96 h im Einsatz waren. Anschließend wurden die Küvetten ausgehoben. Dafür mussten unter dem Einsatz von 5 Radbaggern (1 Volvo EW 160 mit 60 kW und 4 Schaeff HLMX25 mit 35 kW Motorleistung) 25.000 m³ Bodenmaterial bewegt werden. Die Radbagger waren durchschnittlich 8 h täglich, 5 Tage die Woche im Einsatz. Das Aushubmaterial wurde mit LKWs zu einem Lagerplatz in den Lienz Stadtteil Peggetz gefahren, dort aufbereitet und nach Verlegung der Fernwärmerohre wiederum zum Auffüllen der Küvetten verwendet. Für den Transport des Aushubmaterials (vorwiegend Schotter und Erde) waren insgesamt 5.000 LKW-Fahrten notwendig. Anschließend wurden die Straßen neu asphaltiert. Für die Transporte des Asphalts waren 50 LKW-Fahrten notwendig; insgesamt wurden 20.000 m² Straßenfläche asphaltiert. Die Bautätigkeit der ersten Ausbaustufe dauerte von Mitte März 2001 bis Ende November 2001. Aus obigen Informationen lassen sich die Emissionen wie folgt berechnen: Die 5 Bagger waren zusammen 7000 h im Einsatz. Nach PISCHINGER 2002 beträgt der jährliche Einsatz aller Geräte mit Dieselmotoren <80 kW in Österreich 19.808.000 h; in dieser Zeit emittieren diese Geräte 315 t Partikel²⁶, für die Baugeräte in Lienz ergibt dies an PM10-Emissionen:

110 kg (Abgasemissionen Bagger).

Die Emissionen der Asphaltfräsmaschinen berechnet sich analog aus dem Einsatz aller Dieselmotoren >80 kW (9.003.000 h, 540 t Partikel) zu:

5,7 kg (Abgasemissionen Asphaltfräsmaschinen).

Da pro Werktag etwa 1.000 LKW die Tiroler Straße befahren, kann der LKW-Verkehr der Baustellen vernachlässigt werden.

Mit deutlich größeren Unsicherheiten ist die Abschätzung der diffusen Emissionen durch z.B. Abwurf des Schottermaterials oder dem Asphaltieren der Straße, behaftet. Nach WINIWARTER 2001 und VDI 1999 kann für das Ausheben und Zuschütten der Küvetten mit einem mittleren Emissionsfaktor von 10 g/t Aushubmaterial gerechnet werden. Bei einer mittleren Dichte von Schotter von 1,6 g/cm³ ergeben sich aus dem zweimaligen Umschlag von 25.000 m³ Schotter Emissionen von 800 kg Staub. Nach WATSON 2000 beträgt der Anteil von PM10 an Baustellenstaub etwa 35%, d.h. die diffusen PM10 Emissionen der Bautätigkeit lassen sich mit ca.:

280 kg (diffuse PM10 Emissionen Schüttgutumschlag zur Errichtung des Fernwärmenetzes)

abschätzen. Laut Auskunft der Firma ABF wird der Asphalt unter massiven Einsatz von Wasser abgefräst, die diffuse Staubentwicklung kann daher kaum abgeschätzt werden und wird daher in Folge vernachlässigt.

Kaum quantifizierbar sind die Emissionen durch die Asphaltierung, da diese durch den verwendeten Asphalt, die Dicke der Asphaltdecke und die Temperatur, bei der der Asphalt aufgebracht wurde, abhängen. Insbesondere hängt der Emissionsfaktor exponentiell von der Einsatztemperatur des Asphalt ab, welche retrospektiv nicht zu ermitteln ist.

Die Emissionen der sonstigen Bautätigkeit in Lienz ist sehr viel schwerer abzuschätzen. Aus Gemeindedaten der Statistik Austria kann entnommen werden, dass im Jahr 2001 in Lienz 6 Gebäude mit Wohnungen errichtet werden. Die

²⁶ Bei Abgasemissionen kann angenommen werden, dass 96% der emittierten Partikel in der PM10 Fraktion vorliegen (siehe Abbildung 3).

durchschnittliche Nutzfläche neuerrichteter Wohnungen ist lt. Statistischem Jahrbuch 85 m², bei geschätzten 4 Wohnungen pro Gebäude ergibt dies eine gebaute Nutzfläche von 2040m². Daraus ergeben sich im Vergleich zu den gesamtösterreichischen diffusen Emissionen von 2947 t/a für 15.860.000 m² (WINIWARTER 2001) für Lienz

390 kg (diffuse PM10 Emissionen sonstige Baustellen).

Die Abgasemissionen sind lt. PISCHINGER 2002 857 t/a für Österreich, für Lienz demnach:

113 kg (PM10-Abgasemissionen sonstige Baustellen).

Es muss aber nochmals darauf hingewiesen werden, dass diese Abschätzung mit äußerst großen Unsicherheiten behaftet ist, da auf Lienz umgelegte Durchschnittswerte aufgrund der geringen Einwohnerzahl aus statistischer Sicht als nicht abgesichert anzusehen sind.

Für die Bautätigkeit insgesamt ergeben sich demnach insgesamt PM10-Emissionen von:

800 kg (PM10 Emissionen der Bautätigkeit)

Diese Abschätzung stimmt rel. gut mit der in BUWAL 2001 (Maßnahmen zu Reduktion der PM10-Emissionen) angegeben Menge von 0,5 t PM10 Emissionen pro ha überbauter Fläche überein. Bei 20.000 m² Fläche ergeben sich demnach PM10-Emissionen von:

1000 kg (PM10 von Baustellen lt. BUWAL 2001).

Da die Bautätigkeit für die Verlegung der Fernwärmerohre Ende November bereits abgeschlossen war (und die Bautätigkeit im Winter i.A. sehr reduziert ist), die meisten PM10-Überschreitungen jedoch im Dezember verzeichnet wurden, ist nur ein geringer Beitrag der Baustellen zu den Überschreitungen Mitte November 2001 zu erwarten. Für die Belastung im Jahresmittel ist allerdings der Beitrag nicht zu vernachlässigen.

5.2.9 Land- und Forstwirtschaft

Laut Auskunft der Stadtgemeinde Lienz beträgt der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Lienz etwa 29,7% bzw. 4,7 km². Die pyrogenen Emissionen wurden wiederum mit PISCHINGER (2002) berechnet, dazu wurde die gesamtösterreichischen pyrogenen Emissionen der Landwirtschaft (1987 t/a, wobei 92% zu Lasten von Traktoren gehen) mit dem Verhältnis der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Österreich (34.225 km²) zu der in Lienz multipliziert. Daraus ergeben sich an pyrogenen Emissionen etwa:

270 kg/a (pyrogene PM10-Emissionen Landwirtschaft Lienz).

Eine analoge Vorgangsweise wurde zur Berechnung der Emissionen der Forstwirtschaft gewählt. Aus der bewaldeten Fläche von Lienz (6,9 km²) ergeben sich im Vergleich zur gesamten bewirtschafteten Waldfläche in Österreich (32.743 km²) und den Gesamtösterreichischen Emissionen von 946 t (wovon 93% von Traktoren verursacht werden) für Lienz:

200 kg/a (pyrogene PM10-Emissionen Forstwirtschaft Lienz)

Die diffusen Emissionen der Landwirtschaft wurden mit der gleichen Vorgangsweise aus WINIWARTER (2001) berechnet. Die gesamtösterreichischen diffusen PM10 Emissionen der Landwirtschaft betragen 7594 t/a, daraus ergeben sich die diffusen Emissionen in Lienz zu:

1090 kg/a (diffuse PM10-Emissionen Landwirtschaft Lienz)

Zu beachten ist wiederum die Unsicherheit mit der die obigen Abschätzungen verbunden sind.

5.3 Summe der jährlichen Emissionen

Aus den oben angeführten Werten lassen sich die jährlichen Emissionen von PM10 in Lienz abschätzen

Tabelle 16: Jährliche PM10-Emissionen in Lienz im Jahr 2001 bis 2003

Verursacher	Emissionen 2001 [kg]	Emissionen 2002 [kg]	Emissionen 2003 [kg]
Hausbrand	3.200	1.860	1.170
Raumwärme Arbeitsstätten	2.900	1.380	870
Bautätigkeit	800	500	500 ²⁷
Fernheizwerk ²⁸	100	1.390	1.850
Verkehr-Abgas	2.200	2.200	2.200
Verkehr-Nichtabgas	1.900-11.300 ²⁹	1.900-11.300	1.900-11.300
Verschub ÖBB	100	100	100
Landwirtschaft	1.360	1.360	1.360
Forstwirtschaft	200	200	200
Summe	13.200-22.200	10.890-20.290	10.100-19.500

Die obige Abschätzung zeigt, dass im Jahr 2001 der Hausbrand und der Verkehr die größten Beiträge geliefert hat. Im Jahr 2003 weist der Verkehr durch die gestiegene Substitution von Einzelfeuerungsanlagen allerdings bereits deutlich höhere Emissionen als der Hausbrand (inkl. Raumwärme der Arbeitsstätten sowie dem Fernheizwerk). Die übrigen Emissionen (mit Ausnahme der diffusen Emissionen der Landwirtschaft, die allerdings einer erheblichen Unsicherheit unterliegen) sind im Vergleich zu diesen beiden Emittenten vernachlässigbar.

5.4 Emissionen an einem Wintertag

Um aus den oben angeführten über ein Jahr gemittelten Emissionen auf die PM10-Emissionen eines typischen Dezember- oder Jännerwerktages zu schließen, wurde folgende Jahrgänge bzw. Gewichtungen angenommen:

Hausbrand:

²⁷ Da das Jahr 2001 durch eine außergewöhnliche Bautätigkeit gekennzeichnet war, wurde für 2003 deutlich niedrigere Emissionen angenommen.

²⁸ obere Grenze, berechnet auf Basis einer Emissionskonzentration von 10 mg/Nm³

²⁹ Der obere Wert, der mit Hilfe der EPA-Formel berechnet wurde, dürfte etwas zu hoch sein. Als wahrscheinlichster Wert können etwa 3.000-6.000 kg/a Verkehrsemissionen (Nicht-Abgas) angenommen werden.

Die Gewichtung für die Wintermonate wurde aus Emissionsberechnungen der Stadt Klagenfurt übernommen. Für die Monate Dezember und Jänner ergibt sich eine Gewichtung von ca. 2,3 gegenüber dem Jahresmittel

Industrie, Gewerbe:

Da ein erheblicher Teil der pyrogenen Emissionen der Industrie und des Gewerbes in Lienz auf die Erzeugung von Raumwärme zurückzuführen ist und nur ein kleiner Teil auf Brauch- oder Prozesswasser, wird eine Gewichtung von 1,7 gegenüber dem Jahresmittel angenommen.

Für die Bautätigkeit wurde ein Faktor gegenüber dem Jahresmittel von 0,8 aufgrund der reduzierten Bautätigkeit in den Wintermonaten angenommen.

Fernheizwerk:

Aus dem Jahresgang der Staubemissionen vergleichbarer Anlagen lässt sich für Dezember bzw. Jänner eine mittlere Gewichtungsfaktor von etwa 1,9 gegenüber dem Jahresmittel ableiten.

Verkehr:

Tendenziell liegen die Abgasemissionen bei kalter Witterung deutlich über jenen im Sommer. Dies gilt insbesondere in städtischen Gebieten bei der Zurücklegung von kurzen Strecken in einem noch kalten Betriebszustand. Eine genaue Abschätzung dieser Emissionserhöhung ist jedoch kaum möglich, es wurden daher die in Kapitel 5.2.1 berechneten Emissionen verwendet.

Land- und Forstwirtschaft:

Da die Emissionen im Winter im Vergleich zu den anderen Emittenten kaum eine Rolle spielen, werden diese vernachlässigt.

Für einen Wintertag unter der Woche ergeben sich demnach in Summe folgende Emissionen:

Tabelle 17: PM10-Emissionen an einem typischen Werktag im Dezember oder Jänner in Lienz Ende 2001, 2002 und 2003

Verursacher	Emissionen 2001 [kg]	Emissionen 2002 [kg]	Emissionen 2003 [kg]
Hausbrand	23	11,7	7,3
Raumwärme Arbeitsstätten	13,5	5,7	4
Bautätigkeit	1,6	1,1	1,1
Fernheizwerk	1,7	7,2	9,6
Verkehr Abgas	6,8	6,8	6,8
Verkehr Nicht-Abgas	10-20 ³⁰	10-20	10-20
Summe	57-67	43-53	39-49

³⁰ Der in Tabelle 9 mit Hilfe der EPA-Formel berechnete Wert dürfte etwas zu hoch sein. Als wahrscheinlichster Wert können etwa 10-20 kg/d Verkehrsemissionen (ohne Abgas) angenommen werden.

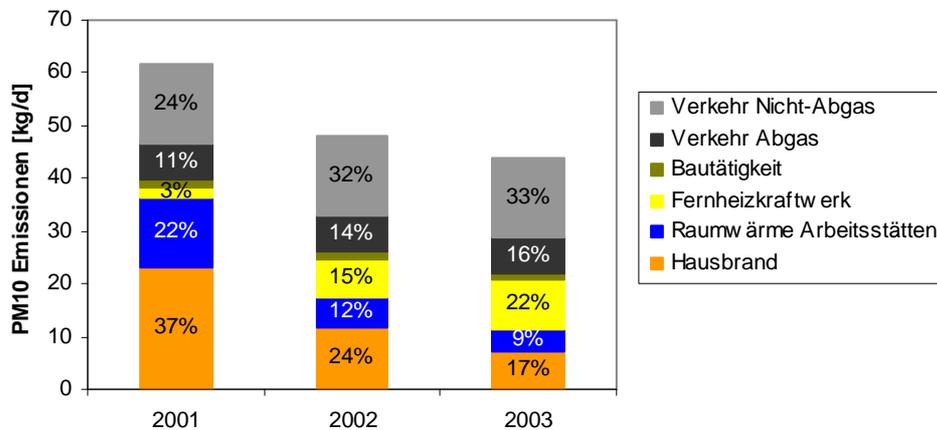


Abbildung 8: Aufteilung der Verursacherguppen der PM10-Emissionen an einem Wintertag in Lienz (bei Nicht-Abgasemissionen wurde der wahrscheinlichste Wert genommen) in den Jahren 2001 bis 2003

Aus obiger Abbildung wird ersichtlich, wie stark die Emissionen für durch die Errichtung des Fernheizwerkes als Substitution der Emissionen aus dem Hausbrandbereich seit 2001 abgenommen haben und nunmehr an einem Wintertag in etwa gleich hoch sind wie die Verkehrsemissionen.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese Abschätzung nur mittlere Emissionen für das gesamte Stadtgebiet Lienz angibt. An der Messstelle Amlacherkreuzung ist der Einfluss des Verkehrs sicher deutlich höher, während das Fernheizwerk, das sich am Rande der Stadt befindet, einen sehr viel geringeren Einfluss auf die Immissions-situation an der Messstelle haben dürfte.

Auf Basis einer Disaggregation der PM10-Emissionen mittels GIS (anhand der Verteilung der Wohnbevölkerung und der Arbeitsstätten sowie für das hochrangige Straßennetz) werden in Abbildung 9 für einen typischen Wintertag Ende 2001 bzw. Ende 2003 die räumlich disaggregierten PM10-Emissionen im Stadtgebiet von Lienz angegeben. Man erkennt den Rückgang der Emissionen aus dem Hausbrand, sodass Ende 2003 die Emissionen des Straßenverkehrs deutlicher hervortreten.

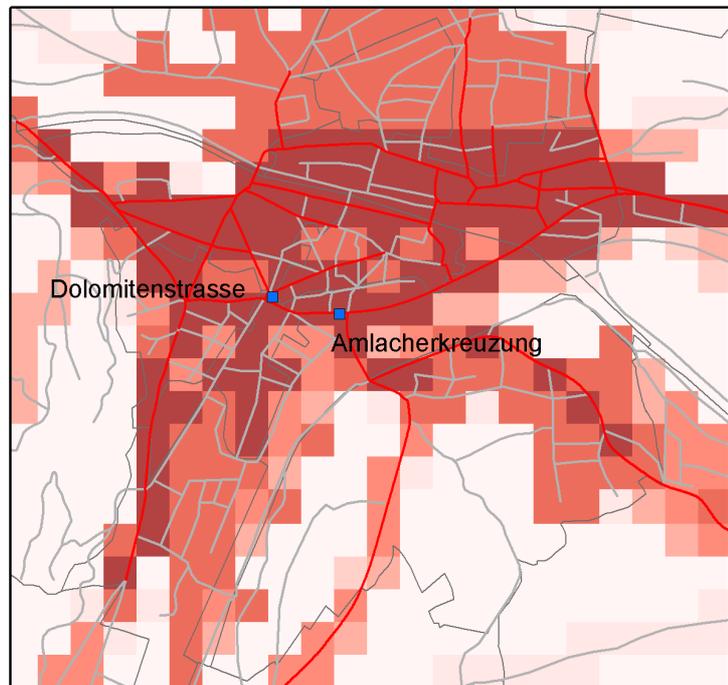
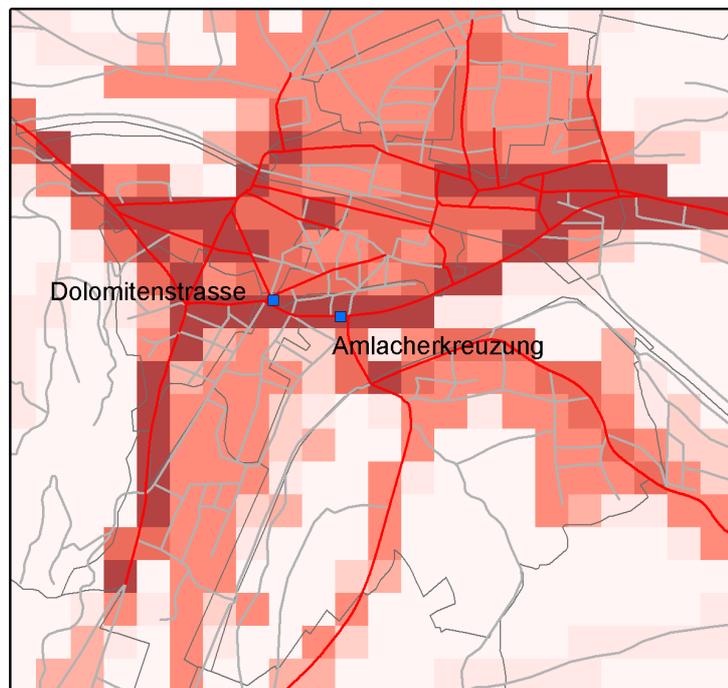
PM10 Wintertag 2001 (kg/ha)**PM10 Wintertag 2003 (kg/ha)**

Abbildung 9: Abgeschätzte PM10-Emissionen in Lienz an einem Wintertag Ende 2001 (oben) bzw. Ende 2003 (unten)

6 Die meteorologische Situation

6.1 Windverhältnisse

Das Lienzener Becken zeichnet sich vor allem im Winterhalbjahr durch sehr ungünstige Schadstoffausbreitungsbedingungen aus. Die meteorologischen Verhältnisse werden durch die Beckenlage südlich des Alpenhauptkamms bestimmt – dies bedeutet eine Abschirmung gegenüber Wind aus Nord bis Südwest sowie die häufige Bildung von Kaltluftseen im Winterhalbjahr. Charakteristisch sind **häufige Bodeninversionen** und **niedrige Windgeschwindigkeiten**.

Am Standort Lienz Dolomitenstraße treten Westnordwest (45%) und Ostsüdost (25%) als Hauptwindrichtungen auf. Die Kalmenhäufigkeit ist mit 14% relativ gering, allerdings ist die mittlere Windgeschwindigkeit bei Westnordwestwind mit 1,7 m/s und bei Ostsüdostwind mit 1,6 m/s vergleichsweise niedrig – wobei zu beachten ist, dass die Messung auf einem Hausdach 30 m über Boden erfolgt und in Bodennähe die Windgeschwindigkeit in der Regel geringer ist.

Die Windrichtungsverteilung wird durch die Topographie bestimmt; Nordnordwestwind entspricht dem überwiegend nachts bis vormittags auftretenden Talaustritt des Iseltales, Ostsüdostwind dem tagsüber auftretenden Taleinwind des Drautaales. Ein Einfluss des Talaustrittes des Drautaales oberhalb von Lienz lässt sich nicht feststellen.

Der mittlere Tagesgang der Windrichtung zeigt in Lienz im Winter 2001/02 nur eine relativ kurze Phase mit Taleinwind (Ost bis Ostsüdost) zwischen 11:00 und 15:00. Ansonsten weht Nordwestwind.

Die Windgeschwindigkeit liegt nachts bei ca. 1,2 m/s, sinkt zur Zeit des Windrichtungswechsels am Vormittag unter 1 m/s, liegt am frühen Nachmittag um 1,2 m/s und erreicht abends, bei Nordwestwind, mit über 1,5 m/s die höchsten Werte.

Auf der Gerlitzen, die mit 1895 m die großräumigen Windverhältnisse einigermaßen gut erfasst, ist die Hauptwindrichtung West mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 6 m/s verbunden, Ostwind mit 4 m/s. Kalmen (Windstille, Geschwindigkeit unter 0,5 m/s) sind mit 3% sehr selten (Auswertung Jänner 2001 bis März 2002).

6.2 Bewertung der Ausbreitungsbedingungen

Zur Beurteilung der Ausbreitungsbedingungen eignen sich die Mischungshöhe³¹ und der vertikale Temperaturgradient. Die Bewertung der Ausbreitungsbedingungen stützt sich im folgenden auf das Temperaturprofil in Lienz und im Raum Klagenfurt. Der vertikale Temperaturgradient entscheidet wesentlich über den vertikalen Luftaustausch und damit über die Verdünnung von Schadstoffen.

Liegt der vertikale Temperaturgradient – d.h. die Abnahme der Temperatur mit der Höhe – über dem adiabatischen oder neutralen Gradienten (welcher vertikalen Austausch weder forciert noch hemmt), so spricht man von labiler Schichtung, die vertikalen Austausch begünstigt; liegt die Abnahme der Temperatur mit der Höhe

³¹ Die Mischungshöhe gibt jene Höhe über Boden an, bis zu welcher in Folge thermischer oder mechanischer Turbulenz Durchmischung der bodennahen Luftschicht erfolgt; sie stellt eine Abschätzung jenes Luftvolumens dar, in welchem am Boden emittierte Schadstoffe verdünnt werden können.

unter dem adiabatischen Gradienten, so spricht man von stabiler Schichtung, die vertikalen Austausch hemmt. Verändert sich die Temperatur mit der Höhe nicht, so spricht man von Isothermie, nimmt sie sogar mit der Höhe zu, von Inversion. Isothermie und Inversion stellen Fälle sehr stabiler Schichtung dar. Der neutrale Temperaturgradient liegt je nach Feuchteverhältnissen zwischen dem trockenadiabatischen Temperaturgradienten (ca. $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) und dem feuchtadiabatischen Temperaturgradienten (ca. $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Für winterliche Hochdruckwetterlagen, in welche die untersuchten Belastungsepisoden meist fallen, dürfte überwiegend der feuchtadiabatische Gradient anzuwenden sein. Bei der Analyse der atmosphärischen Stabilität wird im Folgenden ein Temperaturgradient von $0,7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ als neutrale Schichtung angenommen.

Neben dem Temperaturprofil ist die Windgeschwindigkeit entscheidend für das Ausmaß mechanischer Turbulenz (und damit der Mischungshöhe), die auch bei stabiler Temperaturschichtung einen gewissen vertikalen Austausch herbeiführen kann. Besonders schlechte Ausbreitungsbedingungen bestehen daher bei stabiler Temperaturschichtung und niedriger Windgeschwindigkeit.

6.3 Inversionshäufigkeiten

Die Häufigkeit des Auftretens einer stabilen Temperaturschichtung bzw. einer Inversion über dem Lienzer bzw. dem Klagenfurter Becken ist für die Halbstundenmittelwerte (HMW) des Zeitraumes Okt. – Dez. 2001 in Tabelle 18 und für die Tagesmittelwert (TMW) des Jahres 2001 in Tabelle 19 zusammengestellt.

Stabile Temperaturschichtung entspricht einem Temperaturgradienten („unten“ minus „oben“), welcher kleiner ist als $0,7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ³². Dies entspricht für den Höhenbereich zwischen Lienz Bürgerau und Vorhegg $2,5^{\circ}\text{C}$, zwischen Lienz Bürgerau und Zettersfeld $8,1^{\circ}\text{C}$ und zwischen Vorhegg und Zettersfeld $5,6^{\circ}\text{C}$. Im Klagenfurter Becken entspricht dies einer Temperaturdifferenz von $4,2^{\circ}\text{C}$ zwischen Klagenfurt Flughafen und Magdalensberg und zwischen Magdalensberg und Gerlitz von $6,3^{\circ}\text{C}$.

Tabelle 18: Häufigkeit von Inversionen und stabiler Temperaturschichtung über dem Lienzer Becken und zum Vergleich im Klagenfurter Becken, Okt. – Dez. 2001, %

	Inversion	stabil
Lienz Bürgerau – Dolomitenstr.	78	100
Lienz Bürgerau – Vorhegg	58	88
Lienz Bürgerau – Zettersfeld	26	87
Lienz Dolomitenstr. - Vorhegg	36	81
Vorhegg – Zettersfeld	11	78
Klagenfurt Flughafen –Magdalensberg	50	86
Magdalensberg – Gerlitz	18	92

³² Gewichtetes Mittel aus 75% feuchtadiabatischen Tagen ($0,6\text{K}/100\text{m}$) und 25% trockenadiabatischen Tagen ($1\text{K}/100\text{m}$)

Tabelle 19: Häufigkeit von Inversionen (obere Zahl) und stabiler Temperaturschichtung (untere Zahl) über dem Lienzer Becken und zum Vergleich im Klagenfurter Becken, %, 2001

	Jän. 01 – Dez. 01	Okt. – Dez. 01
Lienz Bürgerau – Dolomitenstraße – Inversion	94	99
Stabile Schichtung	100	100
Lienz Bürgerau – Vorhegg – Inversion	28	64
Stabile Schichtung	84	95
Lienz Bürgerau – Zetttersfeld – Inversion	9	23
Stabile Schichtung	78	92
Klagenfurt Flughafen –Magdalensberg – Inversion	16	45
Stabile Schichtung	87	96
Magdalensberg – Gerlitzten – Inversion	7	14
Stabile Schichtung	89	97

Außerordentlich hoch sind Inversionshäufigkeiten bei der Temperatur (HMW) zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstr. – in einem Höhenbereich von 40 m – mit 78% im Zeitraum Okt. – Dez. 2001, stabile Schichtung macht 100% aus. Bei den TMW des gesamten Jahres 2001 treten an 94% der Tage Inversionen, an 100% stabile Schichtung auf.

Eine Inversionshäufigkeit von 94% über das ganze Jahr wird als wenig wahrscheinlich angesehen und deutet auf eine lokale Überwärmung der Station Dolomitenstr. hin, bedingt durch einen städtischen Wärmeinseleffekt und mögliche Strahlungsbeeinflussung des auf einem Gebäudedach situierten Temperaturgebers. Nichtsdestotrotz ist die Antikorrelation zwischen dem Temperaturgradienten Bürgerau – Dolomitenstr. und der Schadstoffkonzentration aber ein Hinweis, dass das Temperaturprofil Bürgerau – Dolomitenstr. durchaus Auskunft über die bodennahen Ausbreitungsbedingungen gibt.

Die Aussagekraft des Temperaturgradienten Lienz – Vorhegg könnte dadurch eingeschränkt sein, dass Lienz und Vorhegg in unterschiedlichen Tälern liegen. Die Lage von Vorhegg an einem südostexponierten Hang führt u.U. tagsüber zu einer stärkeren Erwärmung als im Tal und würde damit eine Überschätzung der Inversionshäufigkeit bedingen.

In Hinblick dieser Schwachstellen des Temperaturprofils über Lienz werden zum Vergleich auch die Temperaturgradienten über dem Klagenfurter Becken (Klagenfurt – Magdalensberg – Gerlitzten) ausgewertet.

Inversionen zwischen Lienz Bürgerau – Vorhegg traten zwischen Oktober und Dezember 2001 während 58% der Zeit auf, im Höhenbereich bis 1820 m (Zetttersfeld) nur in 26% der Zeit. Wesentlich höher war allerdings der Anteil stabiler Temperaturschichtung, welcher zwischen Lienz Bürgerau und Vorhegg 88% der Zeit, zwischen Lienz und Zetttersfeld 87% der Zeit ausmacht. Geringere Inversionshäufigkeiten werden zwischen Dolomitenstr. und den höher gelegenen Stationen beobachtet. Verglichen mit dem Raum Klagenfurt weist damit Lienz eine geringere Häufigkeit von Inversionen auf, aber eine ähnliche Häufigkeit stabiler Schichtung.

6.4 Monatsweiser Überblick über die Witterung

Das Jahr 2001 wies im Mittel im Großteil Österreichs leicht überdurchschnittliche Temperaturen – verglichen mit dem Mittelwert der Klimaperiode 1961 bis 1990 - auf. Besonders warm war es im Süden Österreichs, mit Abweichungen über 1°C in der südlichen Steiermark und in Unterkärnten. Im Vergleich zu den letzten 10 Jahren war 2001 nicht außergewöhnlich warm. In Lienz lag die Jahresmitteltemperatur um 0,4°C über dem langjährigen Durchschnitt (1961-1990). Die Niederschlagsmengen erreichten im Norden Österreichs gebietsweise deutlich überdurchschnittliche Werte, während Österreich südlich des Alpenhauptkamms relativ trocken war. In Lienz wurden 2001 76% des langjährigen Mittelwerts erreicht.

Der März³³ war mit +2,9°C in Lienz ein überdurchschnittlich warmer Monat, mit 154% des langjährigen mittleren Niederschlags auch sehr regenreich. Im Witterungsgeschehen überwogen zunächst Südwest- und Tiefdrucklagen, gegen Monatsende Hochdruckwetterlagen. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 0, MMW = 25,7 µg/m³).

April 2001 war mit -0,9°C Abweichung vom Klimamittel und 149% des langjährigen Niederschlags ein sehr feuchter Monat, in dem überwiegend Nordwest- und Tiefdruckwetterlagen auftraten. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 0, MMW = 21,4 µg/m³).

Der Mai 2001 war mit +2,7°C Abweichung vom Klimamittel in Lienz sehr warm und bei einer Niederschlagsmenge von 25% des langjährigen Mittels extrem trocken. Im Großteil Österreichs lag die Regenmenge unter dem Durchschnitt. Im Witterungsverlauf überwogen Hochdruck- und Südwest- bis Nordwestlagen. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 0, MMW = 24,6 µg/m³).

Im Juni wurde in Lienz eine durchschnittliche Monatsmitteltemperatur (Abweichung in Lienz -0,3°C) registriert, mit 37% des langjährigen Niederschlags war es extrem trocken. Nordwest- bis Nordlagen sowie Tiefdruckwetterlagen überwogen. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 0, MMW = 22,3 µg/m³).

Bei wechselhaftem Wetter – mit häufigen Tiefdruck- und Südwestwetterlagen – wies der Juli 2001 in Lienz etwas überdurchschnittliche Temperaturen (Abweichung +1,1°C) auf und war mit 117% der langjährigen Niederschlagssumme relativ feucht. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 2, MMW = 25,7 µg/m³).

Der August 2001 war ein sehr warmer Monat (Abweichung +2,3°C in Lienz), wobei von 3. bis 11.8. Südwest- und Tiefdruckwetterlagen überwogen, danach beständiges Hochdruckwetter. Mit 75% der langjährigen Niederschlagssumme war es in Lienz relativ trocken. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 2, MMW = 28,3 µg/m³).

Der September war im Großteil Österreichs sehr regenreich, wobei Lienz mit nur 107% der langjährigen Niederschlagsmenge zu den trockeneren Standorten in Österreich gehörte, und relativ kühl (Abweichung -2,3°C in Lienz). Tiefdruck- und Westwetterlagen bestimmten den Witterungsverlauf. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 0, MMW = 22,1 µg/m³).

Mit Oktober 2001 erlebte Österreich einen extrem warmen und trockenen Herbstmonat, die Temperatur lag in Lienz um +2,6°C über dem langjährigen Durchschnitt, die Regenmenge bei 24%. Im Witterungsverlauf überwogen Südwest-

³³ Beginn der PM10-Messung in Lienz

bis West- sowie Hochdruckwetterlagen. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 7, MMW = 36,5 µg/m³).

Der November war in Lienz durchschnittlich temperiert, aber extrem trocken (24% der durchschnittlichen Niederschlagssumme). Nordwestwetterlagen bestimmten den Witterungsverlauf und waren für hohe Regenmengen im Norden Österreichs verantwortlich. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 9, MMW = 42,0 µg/m³).

Mit 6% der langjährigen Niederschlagssumme war der Dezember 2001 in Lienz ganz außerordentlich trocken, die Temperatur lag im Mittel um 0,1°C über dem Durchschnitt. Wie im Vormonat war das Überwiegen von Nordwestwetterlagen für deutliche Unterschiede der Niederschlagsverteilung zwischen Alpennord- und – südseite verantwortlich. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 25, MMW = 74 µg/m³).

Der Jänner 2002 war im Süden und Osten Österreichs außerordentlich warm, ausgenommen die Niederungen im Klagenfurter Becken. Während die Temperatur in Klagenfurt im Mittel um +0,4°C über dem langjährigen Durchschnitt lag, betrug die Abweichung in Lienz +1,5°C und auf der Villacher Alpe +3,2°C. Im Großteil Österreichs fielen im Jänner 2002 extrem geringe Niederschlagsmengen, in Lienz gab es keinen Niederschlag. Der Witterungsverlauf wurde von Hochdruckwetterlagen, daneben Nordwest- bis Südwestlagen dominiert. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 20, MMW = 52,7 µg/m³).

Insgesamt war der Zeitraum von Oktober 2001 bis Jänner 2002 in Lienz extrem trocken. Dadurch könnte es in erhöhtem Ausmaß zu Staubaufwirbelung gekommen sein.

Im Februar 2002 war es in ganz Österreich außerordentlich warm, in Lienz lag die Monatsmitteltemperatur um +3,8°C über dem langjährigen Mittel. Die Niederschlagsmengen lagen in Südösterreich etwas unter dem langjährigen Mittel, in Lienz bei 86%. Im Witterungsverlauf traten fast ausschließlich Südwest- bis Nordwestlagen auf. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 10, MMW = 45,4 µg/m³).

Ebenfalls extrem warm war der März 2002, als in Lienz die Monatsmitteltemperatur um +3,4°C über dem langjährigen Durchschnitt lag. Im Süden und Südosten Österreichs war es relativ trocken, in Lienz fielen 83% der durchschnittlichen Niederschlagsmenge (in Klagenfurt 21%). Hochdruckwetterlagen wechselten mit West- und Nordwestlagen ab. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 0, MMW = 23,5 µg/m³).

Der Dezember 2002 (in diesem Monat wurden jene Filter besaugt, die chemisch analysiert und elektronenmikroskopisch untersucht wurden) war im Süden und Westen Österreichs außerordentlich warm; in Lienz lag die Temperatur um 4°C über dem langjährigen Mittel; demgegenüber war es im Nordosten Österreichs sehr kalt (Abweichung -1,5°C). Die Niederschläge erreichten im Südwesten und Westen Österreichs ein durchschnittliches Niveau, in Lienz waren es 89% des langjährigen Mittels. Außerordentlich hoch (über 250%) waren sie in der Südsteiermark. Der Witterungsverlauf war von 2. bis 6.12. von einem Tief über Italien, von 7. bis 14.12. von einem Hoch über Nordeuropa gekennzeichnet. Danach wechselten Hochdruck-, Tiefdruck- und Westlagen. (Anzahl TMW in Lienz Amlacherkreuzung > 50 µg/m³: 5, MMW = 37,2 µg/m³).

7 Immissionsituation

7.1 Übersicht und österreichweiter Vergleich

In Tabelle 20 und Abbildung 10 wird – als Überblick über die Höhe der PM10- bzw. Schwebstaubbelaugung – eine Zusammenstellung der Monatsmittelwerte von Lienz, Klagenfurt Völkermarkterstraße, Klagenfurt Koschatstr., Villach, Obervellach, Vorhegg und Illmitz (als einzige Messstelle in Nordostösterreich, von welcher für das ganze Jahr 2001 Messdaten verfügbar sind) für Jänner 2001 bis März 2002 gegeben. Ergänzt wird die Tabelle um Dezember 2002; in diesem Monat wurden an zehn Tagen PM10-Proben für detaillierte chemische Analysen genommen.

Tabelle 20: Monatsmittelwerte von PM10 bzw. Schwebstaub, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Lienz PM10	Klagenfurt Völkermarkterstr. PM10	Klagenfurt Völkermarkterstr. STB	Klagenfurt Koschatstr. STB	Villach PM10	Obervellach STB	Vorhegg PM10	Illmitz PM10
Jän.01		46,7	49,9	35,7	32,3	24,6	7,7	43,4
Feb.01		42,2	52,2	32,2	29,2	19,6	8,7	24,7
Mär.01	25,7	30,5	37,0	25,6	22,6	17,7	9,6	24,1
Apr.01	21,4	23,0	28,1	20,4	18,9	16,4	9,3	17,5
Mai.01	24,6	29,1	41,4	29,1	23,8	22,9	14,9	23,2
Jun.01	22,3	21,6	30,0	21,9	18,1	18,1	12,7	15,9
Jul.01	25,7	25,0	30,1	24,2	22,2	20,3	12,5	20,3
Aug.01	28,3	28,6	33,7	28,4	25,9	22,8	15,0	27,3
Sep.01	22,1	22,9	26,1	18,8	18,2	12,3	6,5	15,5
Okt.01	36,5	38,2	46,8	34,0	29,6	23,0	14,9	39,9
Nov.01	42,0	45,9	51,1	36,0	36,7	21,5	7,4	26,0
Dez.01	74,0	62,7	64,5	46,9	42,5	25,2	7,6	35,5
Jän.02	52,7	77,8	77,1	58,8	50,1	34,2	9,6	38,4
Feb.02	45,4	53,1	65,9	39,5	35,0	23,2	10,8	21,9
Mär.02	23,4	36,7	46,1	32,5	27,1	18,8	11,3	21,6
Dez 02	37,2	39,6	40,0	26,8	35,5		7,8	53,9

Das Belastungsbild zeigt folgende Charakteristika:

- Ø die Messstellen in Kärnten und Osttirol (ausgenommen Vorhegg) weisen ebenso wie Illmitz im Winter deutlich höhere PM10- und Schwebstaubkonzentrationen als im Sommer auf. Dafür sind höhere Emissionen und ungünstigere Ausbreitungsbedingungen im Winter verantwortlich;
- Ø demgegenüber ist an der höher gelegenen Hintergrundmessstelle Vorhegg die PM10-Konzentration im Sommer höher als im Winter. Dafür sind stärkerer Vertikaltransport von belasteter Luft aus den Tälern und ein höherer Anteil photochemisch gebildeter Partikel im Sommer verantwortlich;

- ∅ verkehrsnah, städtische Messstellen weisen im Winter vergleichsweise sehr viel höhere Konzentrationen auf als dörfliche und Hintergrundmessstellen, während im Sommer die Unterschiede deutlich geringer sind.
- ∅ Auffallend sind die extrem hohen PM10-Konzentrationen in Lienz im Dezember 2001. An keiner anderen Messstelle war dies der Monat mit den höchsten Belastungen. In diesem in Lienz außerordentlich trockenem Monat wurden zudem über die Hälfte der Überschreitungen des Tagesmittelwerts im zweiten Halbjahr 2001 registriert.

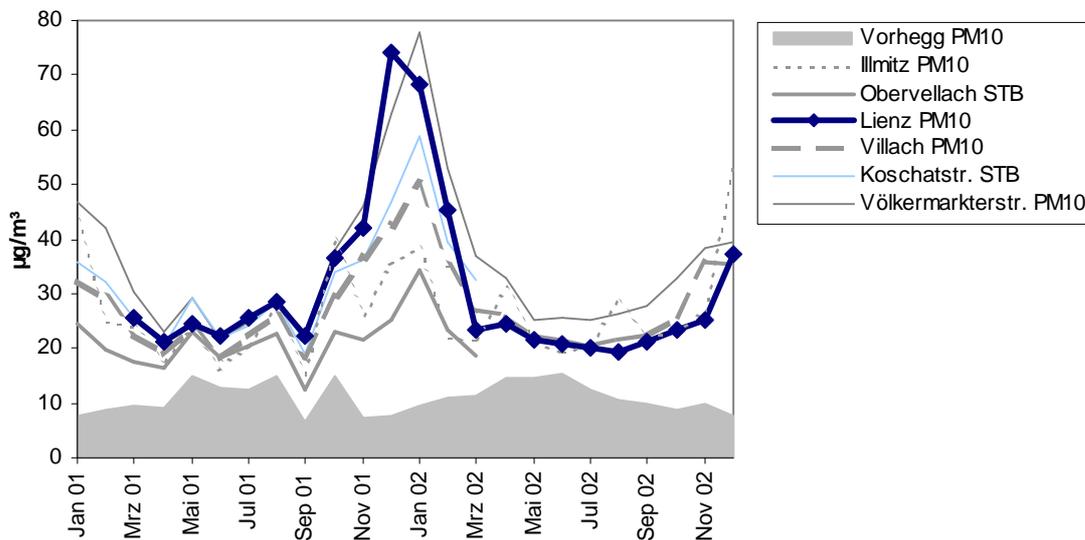


Abbildung 10: Monatsmittelwerte von PM10 bzw. Schwebstaub, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

In Abbildung 11 sind die PM10-TMW der Stationen Lienz im Jahr 2001 und dazu als Vergleich die Messwerte von Vorhegg (oben) und Klagenfurt Völkermarkterstraße (unten) dargestellt.

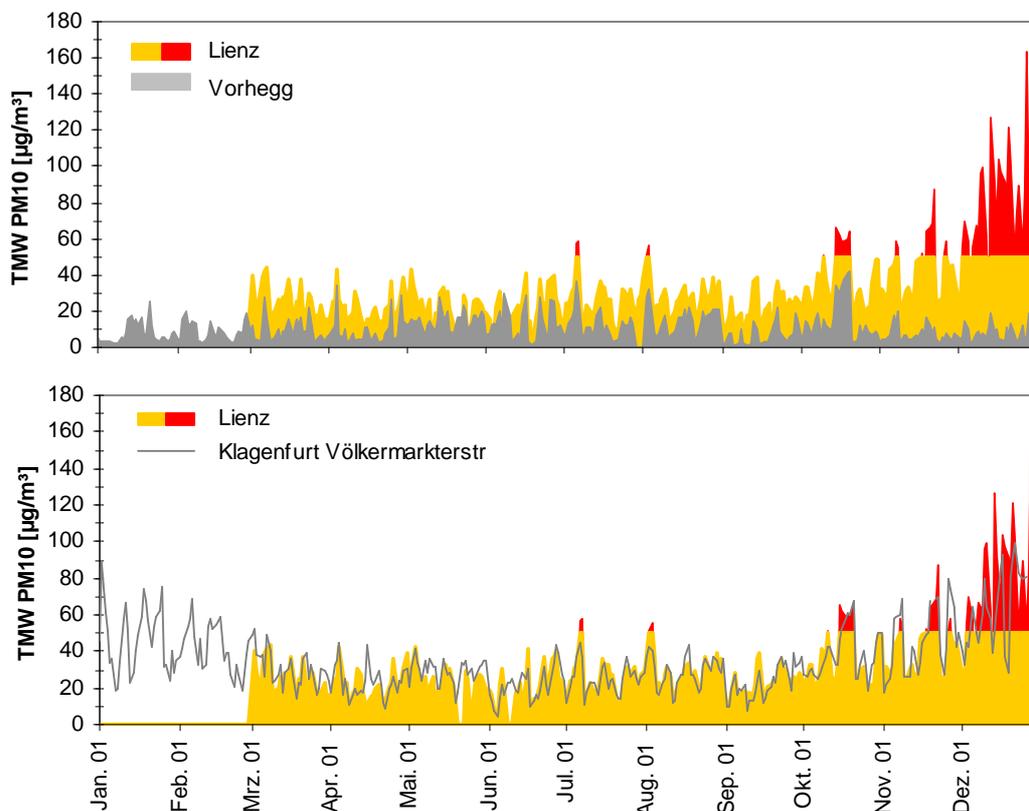


Abbildung 11: Verlauf der TMW von PM10 an den Stationen Lienz Amlacherkreuzung sowie Vorhegg (oben) und Klagenfurt Völkermarkterstr. (unten) im Jahr 2001. Tage mit PM10 über 50 µg/m³ sind rot markiert.

Eine Zusammenstellung aller TMW von PM10 und Schwebestaub an diesen Messstellen wird im Anhang gegeben.

Tabelle 21 bringt eine Übersicht über die Anzahl der TMW von PM10 über 50 µg/m³, und zwar für den Zeitraum von 7.7. bis 31.12.2001 (relevant für die Beurteilung von Grenzwertverletzungen gemäß IG-L), das Kalenderjahr 2001 sowie das Jahr 2002.

Tabelle 21: PM10, Anzahl der TMW über 50 µg/m³ (obere Zeile) und JMW (untere Zeile).

	Lienz	Klagenfurt Völkermarkterstr.	Villach	Vorhegg	Illmitz
7.7. – 31.12.2001	44	36	11	0	19
Jahr 2001 TMW >50	45	60	13	0	34
JMW	32	35	27	11	26
Jahr 2002 TMW >50	37	58	24	0	45
JMW	29	37	29	11	29

Die PM10-Belastung verzeichnete Lienz 2002 einen **deutlichen Rückgang der Belastung** gegenüber 2001, anders als Klagenfurt und Villach. Dabei ist im Vergleich mit den Kärntner Messstellen noch zu berücksichtigen, dass die PM10-Messung in Lienz am 1.3.2001 begann und damit die PM10-Belastung für das Jahr 2001 jedenfalls unterschätzt wird. Die in Kapitel 6.10 (Tabelle 36) dargestellte Extrapolation der PM10-Belastung in Lienz auf Basis des Temperaturgradienten (Tabelle 29) ergibt für Lienz im Jahr 2001 67 PM10-TMW über 50 µg/m³ (was ungefähr der Anzahl von Überschreitungen in Klagenfurt entspricht), für 2002 68 µg/m³, d.h. ca. 55% mehr als tatsächlich gemessen wurden. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf eine während dieser Zeit stattgefundenen **Verminderung der PM10-Emissionen im Raum Lienz durch den Bau des Fernheizwerkes**.

Das zeitliche Belastungsmuster zeigt in Klagenfurt im Zeitraum Jänner bis April 2002 eine deutlich höhere PM10-Belastung als 2001, hingegen im Zeitraum Oktober bis Dezember 2002 eine deutlich geringere. Dies kann u.a. auf wesentliche Unterschiede in den meteorologischen Bedingungen zurückgeführt werden. In Lienz ist im Zeitraum Oktober bis Dezember 2002 der Unterschied zum Vergleichszeitraum des Vorjahres noch größer – im Monatsmittel für Dezember trat fast eine Halbierung auf; dies kann als weiterer Hinweis auf die **Emissionsminderung** aus dem Hausbrand, die mit dem Ausbau des **Fernwärmenetzes** verbunden war, angesehen werden.

Der Verlauf der Monatsmittelwerte der gasförmigen Schadstoffe SO₂, NO, NO₂ und CO in Lienz (Abbildung 12) zeigt, dass SO₂, NO und CO wesentlich größere jahreszeitliche Amplituden aufweisen als PM10, NO₂ eine vergleichbare wie PM10.

Ein ähnliches Verhalten zeigen auch Klagenfurt Völkermarkterstraße, Klagenfurt Koschatstraße und Villach, allerdings steigen v.a. an der verkehrsbelasteten Station Völkermarkterstraße (Abbildung 13) die Konzentrationen von PM10, NO und CO im Winter verglichen mit dem Sommer stärker an als in Lienz, NO₂ dagegen weniger.

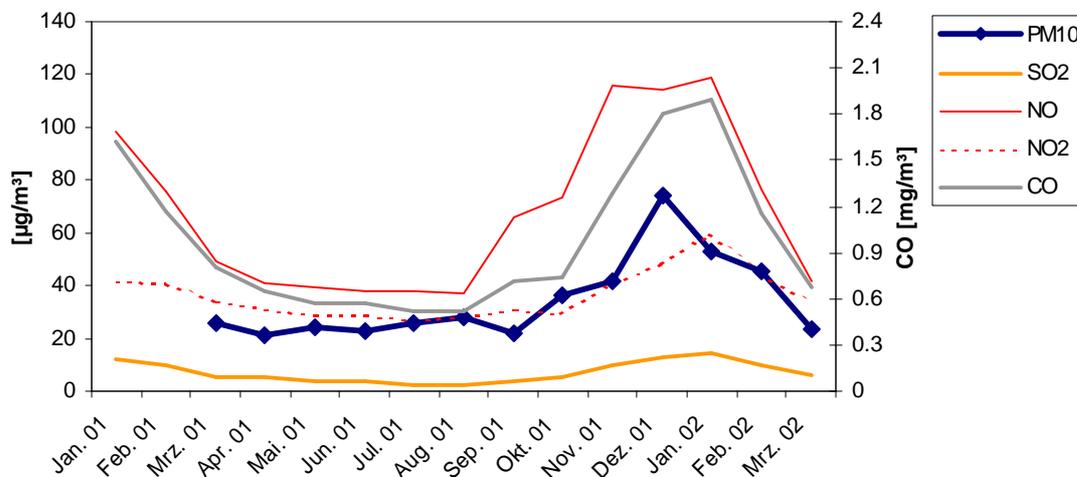


Abbildung 12: Monatsmittelwerte der Konzentration von PM10,SO₂, NO, NO₂ und CO in Lienz, Jänner 2001 – März 2002

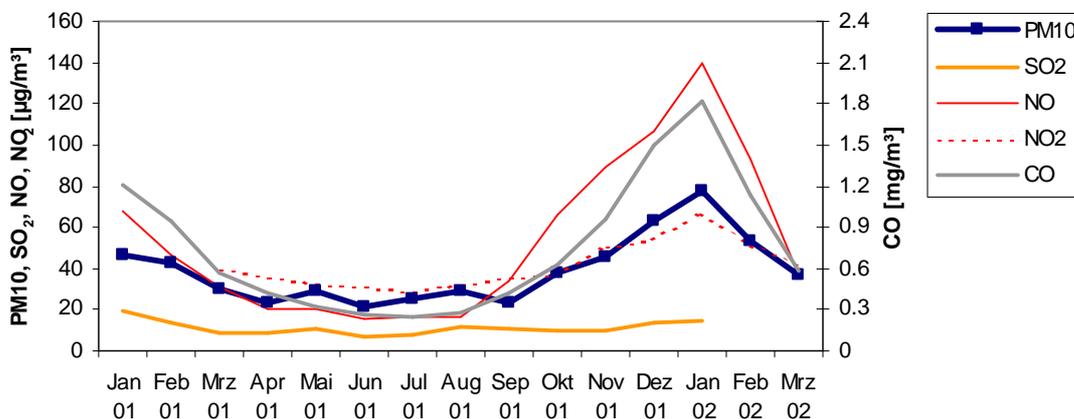


Abbildung 13: Monatsmittelwerte der Konzentration von PM10,SO₂, NO, NO₂ und CO in Klagenfurt Völkermarkterstr., Jänner 2001 – März 2002

Ein Überblick über die PM10-Belastung in Österreich ist in Abbildung 14 anhand der JMW des Jahres 2001 dargestellt. Wie man erkennt, treten hohe JMW vor allem in den größeren Ballungsgebieten und im Regionen mit häufigen Inversionswetterlagen – d.h. primär in alpinen Tälern und Becken – auf (wobei zu berücksichtigen ist, dass von Wien und Niederösterreich noch keine Daten vorlagen).

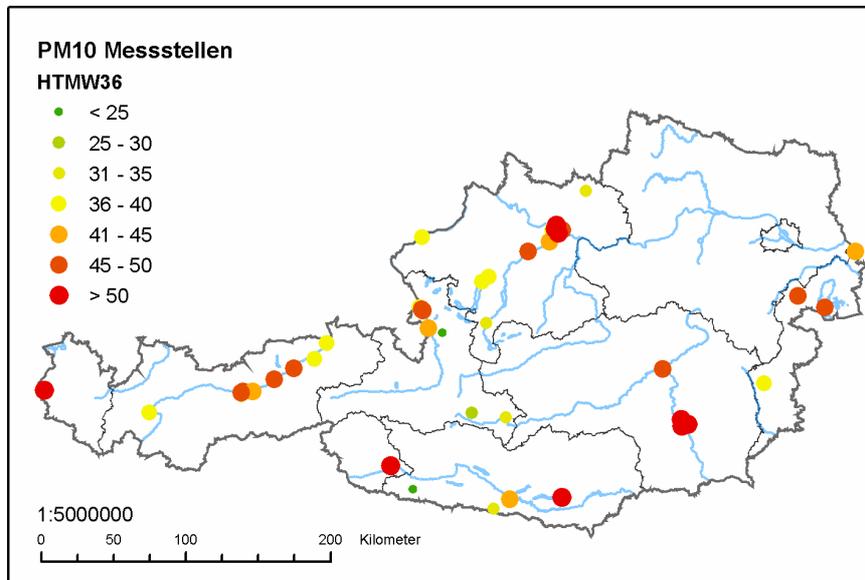


Abbildung 14: Lage der österreichischen PM10 Messstellen im Jahr 2001. Die Farbcodierung gibt den 36 höchsten TMW an

Wie Auswertungen auf gesamteuropäischer Ebene ergeben und auch Abbildung 15 für die Messdaten der Jahre 2000 bis 2002 zeigt, weisen der JMW und der 36. höchste TMW eine enge Korrelation auf. Eine ausführlichere Diskussion dieses Zusammenhangs findet sich in Kapitel 12.

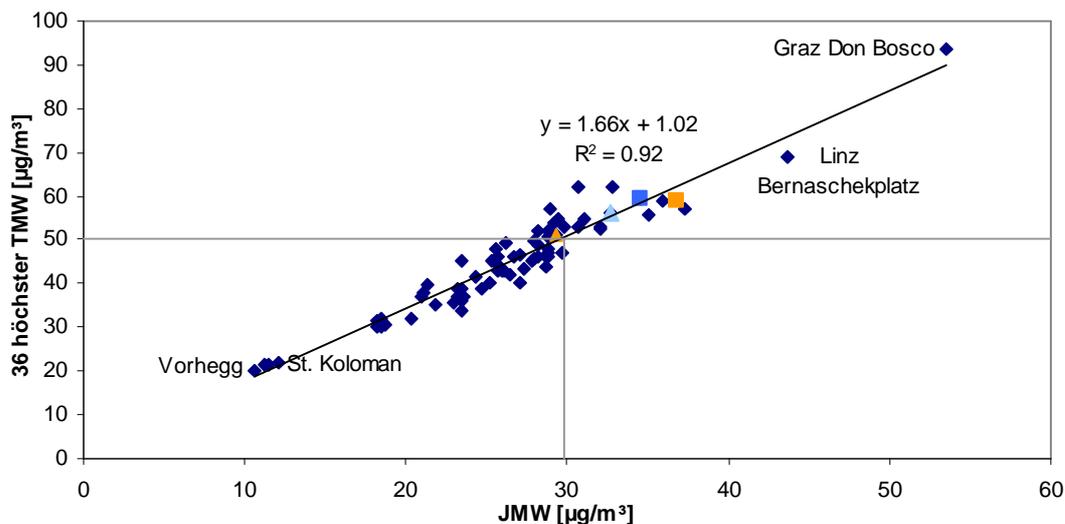


Abbildung 15: PM10, 2000-2002 (Daten von 2002 erst teilweise vorhanden): Korrelation zwischen dem 36. höchsten TMW und dem JMW. Die Messstelle Lienz ist als Dreieck (blau 2001, orange 2002), die Völkermarkterstr. ist als Quadrat markiert (blau 2001, orange 2002)

Die absolut höchste PM10-Belastung weist Graz Don Bosco (2001) auf, sowohl was die Anzahl der TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als auch den JMW betrifft, gefolgt von Linz

Bernaschekplatz (2000)³⁴. Die Station Völkermarkterstraße liegt mit 60 TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einem JMW von $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im österreichischen Spitzfeld, höhere Belastungen weisen nur Messstellen in Graz und Linz auf (anzumerken ist jedoch, dass noch kein vollständiges Bild der PM10 Belastung in Österreich vorliegt, da von manchen Bundesländern, u.a. aus Wien, noch keine Daten vorliegen). Ungünstige Ausbreitungsbedingungen, die die alpinen Tal- und Beckenlagen v.a. südlich des Alpenhauptkamms, aber auch das Rheintal betreffen, sowie die lokale Emissionssituation – bei Graz Don Bosco, Klagenfurt Völkermarkterstraße, Linz Römerberg, Feldkirch und Lienz handelt es sich um verkehrsbelastete städtische Standorte – sind verantwortlich für die hohe PM10-Belastung.

Die beiden niedrig belasteten Stationen mit JMW von $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einem 36. höchsten TMW von ca. $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind die alpinen Messstellen St. Koloman und Vorhegg, die aufgrund ihrer Lage oberhalb der nächtlichen Mischungsschicht ein völlig anderes Belastungsmuster aufweisen als alle übrigen PM10-Messstellen. In Anhang 4: werden für jene Messstellen in Österreich, an denen im Jahr 2001 die Verfügbarkeit der PM10-Messdaten über 75% lag, die Verfügbarkeit, der maximale TMW, die Anzahl der TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der JMW angegeben.

7.2 Episode vom 14. bis 29. Dezember 2001

Da die Belastungsepisode vom 14. bis 29.12.2001 der Zeitraum mit den höchsten PM10- und TSP-Konzentrationen betrifft, wird im folgenden diese Episode detailliert erörtert.

Die tabellarische Kurzbeschreibung der Wetterlage umfasst eine Klassifikation der Großwetterlage sowie Angaben über die Windgeschwindigkeit (m/s) in Lienz zu Mittag, den Temperaturgradienten zwischen Lienz und Villacher Alpe (2140 m) am Morgen und mittags ($^{\circ}\text{C}$)³⁵ sowie die PM10-Konzentration (TMW) in Lienz. Ein Temperaturgradient von ca. 10°C würde einer neutralen Schichtung entsprechen, ein geringerer Temperaturgradient einer stabilen Schichtung. Grau unterlegt sind jene Werte, die somit einer stabilen Schichtung entsprechen.

³⁴ keine IG-L-Messstelle

³⁵ Angaben aus den täglichen Wettermeldungen (ZAMG)

Tabelle 22: Meteorologie und PM10-Werte von 14. bis 29.12.2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14.12.	Hoch über Nordeuropa	1,1	5	10	127
15.12.	Hoch über Nordeuropa	1,1	-3	5	93
16.12.	Nord	1,1	-2	7	67
17.12.	Nord	1,9	7	9	104
18.12.	Nordwest	1,9	0	8	97
19.12.	Nordwest	1,1	-5	4	92
20.12.	Nordwest	1,1	-4	7	84
21.12.	Hoch	1,1	-2	6	121
22.12.	Nordwest	1,1	-3	8	103
23.12.	Tief über Osteuropa	6,1	8	15	51
24.12.	Zwischenhoch über Mitteleuropa	1,9	5	8	74
25.12.	West	1,1	-3	0	90
26.12.	Nordwest	1,9	0	6	54
27.12.	Zwischenhoch	1,9	13	16	86
28.12.	West	1,1	0	5	163
29.12.	West	1,1	-7	8	80

Innerhalb dieser Episode traten am 14. und 28.12. TMW der Gesamtschwebstaub-Konzentration – berechnet aus den PM10-Werten mit einem Faktor 1,2 – über $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf (14.12.: $152 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 28.12.: $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Am 14. und 15. 12. lag Österreich am Südrand eines ausgedehnten Hochdruckgebietes, welches sich von Ostmitteleuropa bis Schottland erstreckte. Sehr kalte Luft mit Ursprungsgebiet über dem Nordostatlantik lag über dem Großteil Europas. Dieses Hochdruckgebiet dehnte sich am 16.12. weiter aus und umfasste fast ganz Europa. Von Nordwesten erreichten ab 16.12. Frontalzonen Mitteleuropa, die im Alpenraum wenig wetterwirksam waren, allerdings ab dem 17.12. zu einer Erwärmung führten (die Tageshöchsttemperatur lag um -1°C). Das windschwache, meist wolkenlose Wetter im Lienzener und im Klagenfurter Becken und die sehr stabile Temperaturschichtung wurden dadurch nicht beeinträchtigt.

Bis zum 16.12. war es im Lienzener Becken sehr kalt, die Temperatur erreichte maximal -7°C und sank nachts bis -17°C . Nachts bildete sich in Bodennähe stets eine ausgeprägte Inversion aus, nachmittags konnte sich die Atmosphäre am 15., 16. und 18.12. nicht labilisieren, am 14. und 17.12. über Mittag. Im Höhenbereich Vorhegg – Zettlersfeld hielt sich ab 14.12. morgens durchgehend stabile Schichtung, v.a. am 15., 18. und 19. 12. eine massive Inversion.

Die Luftdruckkonfiguration wurde am 20.12. von einem hochreichenden Tief über dem Baltikum, einem hochreichenden Hoch westlich der britischen Inseln und einem flachen Hoch über dem Balkan bestimmt. Eine Frontalzone erreichte von Nordwesten die Alpen und führte maritime Luftmassen heran; dies führte zu einer Erwärmung im Lienzener Becken auf maximal $+3^\circ\text{C}$ und einer kurzzeitigen Labilisierung

der Atmosphäre. Bei wolkenlosem Wetter kühlte es in der folgenden Nacht aber in Lienz auf -14°C ab, worauf sich wieder eine sehr ausgeprägte Inversion bildete, die bis 22.12. anhielt.

Am 21.12. geriet der Großteil Mitteleuropas in eine sehr kalte arktische Luftmasse, die von dem Tief über dem Baltikum nach Süden geführt wurde, während an der Vorderseite der Kaltfront eines weiteren Tiefs über Südkandinavien am 22.12. wieder etwas mildere Luft von Westen Mitteleuropa erreichte. Am 23.12. wurde mit der o.g. Kaltfront der Großteil Mitteleuropas wieder von sehr kalter Luft erfasst, wobei sich über Polen ein Höhentief bildete. An der Alpennordseite kam es ab 20.12. wiederholt zu Schneefall, nicht jedoch im Süden. Ab dem 24.12. bildete sich ein schmales Hochdruckgebiet über den Alpen aus, ehe sich am 26.12. von Nordwesten eine Frontalzone näherte, mit der die kalte Luftmasse kontinentalen Ursprungs durch maritime Luftmassen verdrängt wurde.

Mit der starken Abkühlung auf dem Zettersfeld am 23.12. (bis -20°C) in der folgenden Nacht stellte sich zwischen Vorhegg und Zettersfeld labile Schichtung ein; zwischen Lienz und Vorhegg bestand ab 23.12. vormittags neutrale Schichtung. Aber schon am 24.12. vormittags führte sie starke Erwärmung in Vorhegg und auf dem Zettersfeld wieder zur Ausbildung einer massiven Inversion in allen Höhenstufen, die bis in die Nacht 26./27.12. anhielt.

Am 27.12. bedingte ein Tiefdruckgebiet über der Adria eine kurzzeitige Erwärmung in Bodennähe (in Lienz bis $+1^{\circ}\text{C}$), während in der Höhe Kaltluft herangeführt wurde (-7°C auf dem Zettersfeld). Am 28.12. lag der Ostalpenraum wieder in einem Bereich flacher Druckverteilung zwischen hochreichenden Tiefdruckgebieten über Südkandinavien und Griechenland. Am 29.12. überquerte zunächst von Nordwesten eine Warmfront den Ostalpenraum, anschließend näherte sich von Norden eine Kaltfront, die an der Alpennordseite starken Schneefall verursachte, nicht aber im Süden.

Eine Abschwächung der bodennahen Inversion zur Isothermie setzte am 26.12. morgens ein, aber erst am 27.12. vormittags wurde zwischen Lienz und Vorhegg neutrale, zwischen Vorhegg und Zettersfeld labile Schichtung erreicht. Schon am 28.12. abends fiel die Temperatur in Lienz bis -12°C , womit sich wieder eine deutliche Inversion gegenüber Vorhegg (-8°C) und deutlich stabile Schichtung gegenüber Zettersfeld einstellte. Auch die starke Tageserwärmung am 28.12. (bis $+1^{\circ}\text{C}$ in Lienz) brachte keine Labilisierung des Temperaturprofils.

Österreichweit wurde am 14. und 15.12. eine stark erhöhte PM₁₀-Belastung registriert, wobei in fast ganz Österreich TMW über $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ auftraten. Im Norden und Nordosten Österreichs ging die PM₁₀-Belastung in den folgenden Tagen deutlich zurück; in Lienz traten am 25.12. verbreitet TMW über $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf, in Nordostösterreich am 26.12., wobei an diesem Tag starker PM₁₀-Transport (bei sehr ungünstigen Ausbreitungsbedingungen) von Osten identifiziert werden kann (Illmitz war eine der höchst belasteten Messstellen in Österreich). In Nordtirol traten an den meisten Messstellen zwischen 14. und 21.12. TMW über $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf, dann ging die Belastung zurück. Demgegenüber wies der Süden Österreichs – von Osttirol bis in die Südsteiermark – durchgehend bis 29.12. TMW über $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf, wobei neben Lienz Klagenfurt und Graz die mit Abstand höchst belasteten Städte waren. In Graz Don Bosco wurde am 26.12. mit $161\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ der höchste TMW registriert.

Das Belastungsbild erlaubt die klare Aussage, dass in Osttirol, Kärnten und der Steiermark, d.h. südlich des Alpenhauptkamms, anders als in den übrigen Regionen

Österreichs trotz des Einfließens kalter Luftmassen meist maritimen Ursprungs sehr stark stabil geschichtete Luftmassen lagerten, in denen massive PM10-Anreicherung stattfinden konnte.

Vorhegg erfasste durchwegs eine sehr niedrige PM10-Belastung, maximal wurden am 22.12. $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. Vorhegg lag somit stets klar oberhalb der hoch belasteten Luftschicht, d.h. die stark erhöhte PM10-Belastung beschränkte sich jedenfalls auf die bodennahe Atmosphäre unter 1000 m.

Am Freitag 14.12. – an dem mit $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Lienz der zweithöchste PM10-TMW erreicht wurde und mit $152 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der Grenzwert für Schwebestaub überschritten wurde – bestand in Bodennähe zumeist stabile Schichtung, allerdings trat über Mittag ein neutraler Temperaturgradient auf. Die rasche Abkühlung in Lienz am Nachmittag, die in Vorhegg und auf dem Zettersfeld nicht zu beobachten war, führte zur Ausbildung einer starken Inversion.

Die Konzentration von NO erreichte tagsüber zumeist bis $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, abends Spitzen über $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die CO-Konzentration erreichte über $2,5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Die NO₂-Belastung blieb mit maximal $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ relativ niedrig. Die PM10-Konzentration stieg morgens ab 5:00, d.h. bereits ca. 1 Stunde vor NO, steil an und erreichte maximal $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, um ab 7:30 wieder unter $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abzusinken. Nach 17:00 stieg die PM10-Konzentration parallel zu SO₂ und NO₂ nochmals bis $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an, um in der folgenden Nacht nach und nach unter $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abzufallen.

In der Nacht vom 13. zum 14.12. schneite es, am 14.12. waren die Straßen schneebedeckt, es erfolgte intensive Salzstreuung. Es lässt sich daher vermuten, dass der ungewöhnlich frühe Anstieg der PM10-Konzentration auf den Einsatz von Streufahrzeugen zurückzuführen ist.

Am 15.12. waren die Straßen weiterhin schneebedeckt, es erfolgte intensive Salzstreuung. Ab dem 16.12. waren die Straßen schnee- und eisfrei, wegen der tiefen Temperaturen erfolgte fallweise Salzstreuung.

Bei sehr ungünstigen Ausbreitungsbedingungen erreichte die PM10-Konzentration am 15.12. vormittags und abends jeweils über $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, über Mittag ging sie deutlich zurück, was auf eine geringfügig verbesserte vertikale Durchmischung – wie die Ozonkonzentration andeutet – zurückgeführt werden kann. Am Sonntag 17.12. waren die Konzentrationen von NO, CO und PM10 vergleichsweise niedrig, allerdings wurden bei nach wie vor ungünstigen Ausbreitungsbedingungen PM10-Werte bis $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen.

Die folgenden Tage bis zum 22.12. wiesen jeweils vormittags und abends sehr hohe PM10-Konzentrationen (mit Spitzen über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) auf, über Mittag ging die PM10-Konzentration ebenso wie jene von NO, NO₂ und CO immer deutlich zurück. Dies ist auf eine leichte Labilisierung zurückzuführen, die sich jeweils in einem Anstieg der Ozonkonzentration (welche ansonsten fast null war) auf 30 bis $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abzeichnet.

Eine Ausnahme dieses relativ regelmäßigen Belastungsmusters stellt der 20.12. nachmittags dar, als bei stärkerem Wind und einer Erwärmung in Lienz bis $+2^\circ\text{C}$ eine deutliche Labilisierung zu beobachten war. Die PM10-Konzentration erreichte am Abend des 20.12. daher nur maximal $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sonntag 23.12. wies eine sehr niedrige PM10-, NO- und CO-Belastung auf, was nicht nur auf die niedrigen Verkehrsemissionen, sondern auch auf die Ausbildung

eines deutlich labilen Temperaturgradienten oberhalb von Vorhegg und zeitweise neutraler Schichtung zwischen Lienz und Vorhegg zurückzuführen ist.

Der 24.12. wies wieder einen „üblichen“ Konzentrationsverlauf mit PM10-Spitzen über $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vormittags und nachmittags auf. Dass am 24.12. abends trotz vermutlich niedriger Verkehrsemissionen derart hohe PM10-Konzentrationen auftraten, könnte mit der Ausbildung einer sehr flachen Bodeninversion zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstraße (mit einer Temperaturdifferenz von über 4°C) zusammen hängen.

Im Zeitraum von 25.12. 16:00 bis 26.12. 10:00 könnte über Lienz eine extrem flache Bodeninversion bestanden haben. Während in Lienz Bürgerau die Temperatur unter -8°C sank, blieb sie an der Dolomitenstraße ca. 30 m über Boden ca. 3°C höher. Eine derart flache Bodeninversion könnte dafür verantwortlich sein, dass ab 25.12. abends trotz vermutlich sehr niedriger Emissionen die NO-Konzentration über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die PM10-Konzentration bis $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stieg und – anders als in der Regel an allen anderen Tagen – in der folgenden Nacht nur sehr langsam abfiel. Am Vormittag des 26.12. stieg die PM10-Konzentration nochmals bis $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an, um mit der Erwärmung in Lienz Bürgerau um ca. 10:00 – d.h. mit der Auflösung jener Bodeninversion – rasch abzufallen. Die Temperaturschichtung zwischen Lienz und Vorhegg blieb aber weiterhin deutlich stabil, sodass auch nachmittags die PM10-Konzentration über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stieg.

Am Morgen des 27.12. löste sich die stabile Schichtung im gesamten Höhenprofil zwischen Lienz und Zettersfeld auf, vermutlich verbunden mit Schneefall. Die Konzentration von PM10 und NO war am Vormittag des 27.12. sehr niedrig, die Ozonkonzentration dagegen mit bis $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ziemlich hoch. Über Mittag wehte relativ starker Westnordwestwind (bis 5 m/s), der wohl wesentlich zur niedrigen PM10-Belastung beitrug. Mit der Ausbildung stabiler Temperaturschichtung ab ca. 16:00 stieg die PM10-Belastung steil an und erreichte abends maximal $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Straßen waren am 27.12. schneebedeckt, es erfolgte intensive Streutätigkeit, was neben der ausgeprägten Inversion ein Faktor für die ungewöhnlich hohe PM10-Belastung gewesen sein könnte.

Bei weiterhin sehr stabiler Schichtung zwischen Lienz und Vorhegg bildete sich in der Nacht vom 27. zum 28.12. wieder eine flache Bodeninversion zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstraße (bis 5°C Temperaturdifferenz) aus, was für den nur sehr langsamen Konzentrationsrückgang in dieser Nacht verantwortlich gewesen sein könnte; die PM10-Konzentration erreichte minimal $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch im Höhenbereich zwischen Vorhegg und Zettersfeld bildete sich eine extrem stabile Schichtung aus.

Am 28.12. wurde mit $163 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der höchste TMW des Jahres 2001 erreicht, wofür teilweise die hohe nächtliche Konzentration verantwortlich war. Am Morgen stieg die PM10-Konzentration relativ früh parallel zu NO und CO an (möglicherweise bedingt durch Streutätigkeit). Im Konzentrationsverlauf, welcher PM10-Spitzen bis $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vormittags und über $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nachmittags aufweist, zeichnet sich zwar eine leichte Labilisierung über Mittag ab (parallel zu einem Anstieg der Ozonkonzentration), doch lag dieses Minimum bei über $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In der folgenden Nacht bildete sich wieder eine Inversion zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstraße (Differenz bis 6°C) aus, zudem verschärfte sich die Inversion zwischen Lienz und Vorhegg (mit über 10°C Temperaturdifferenz am Morgen), was wieder eine sehr hohe PM10-Konzentration während der Nacht zur Folge hatte. Am Nachmittag stellte sich infolge der relativ starken Erwärmung in Bodennähe (bis

+4°C) allerdings neutrale Schichtung ein, sodass die PM10-, NO- und CO-Konzentration ab ca. 16:00 stark zurückgingen.

Der 30. und 31.12. wiesen dann nicht nur niedrige Verkehrsemissionen, sondern auch relativ günstige Ausbreitungsbedingungen auf.

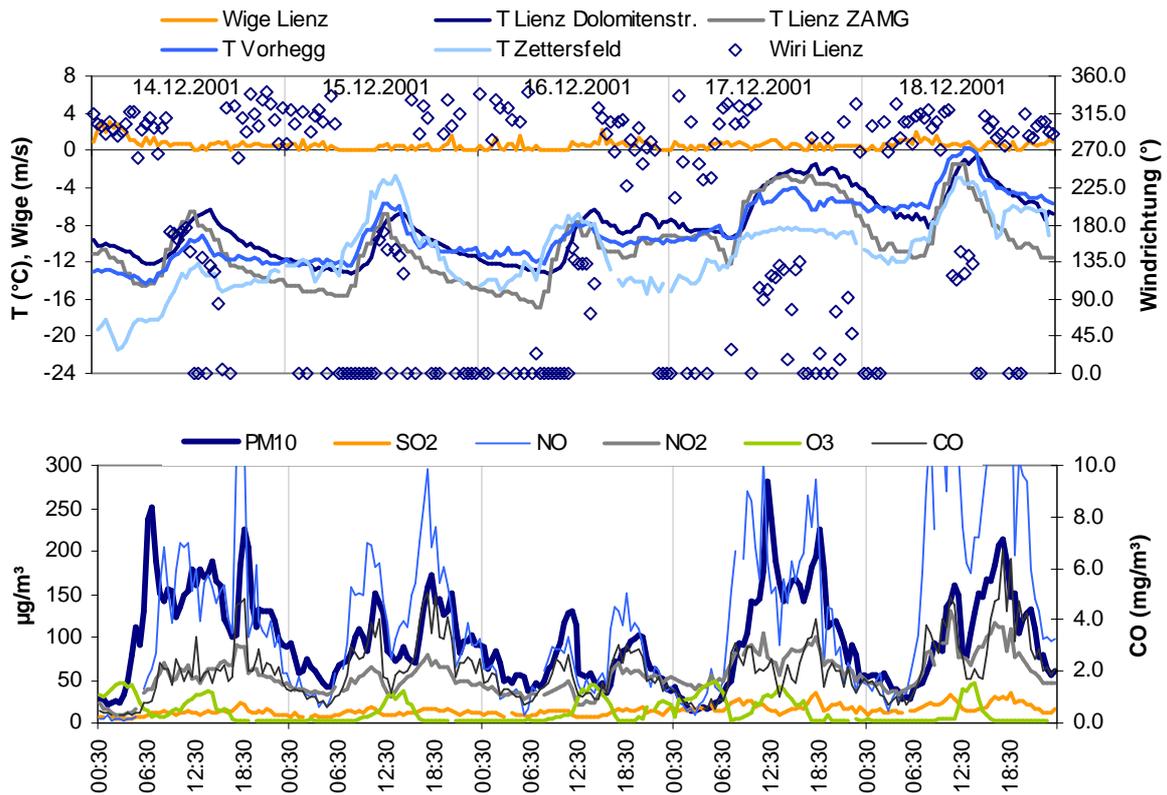


Abbildung 16: Verlauf der Schadstoffkonzentration, der Temperatur und von Windrichtung und -geschwindigkeit in Lienz, 14. bis 18.12. 2001

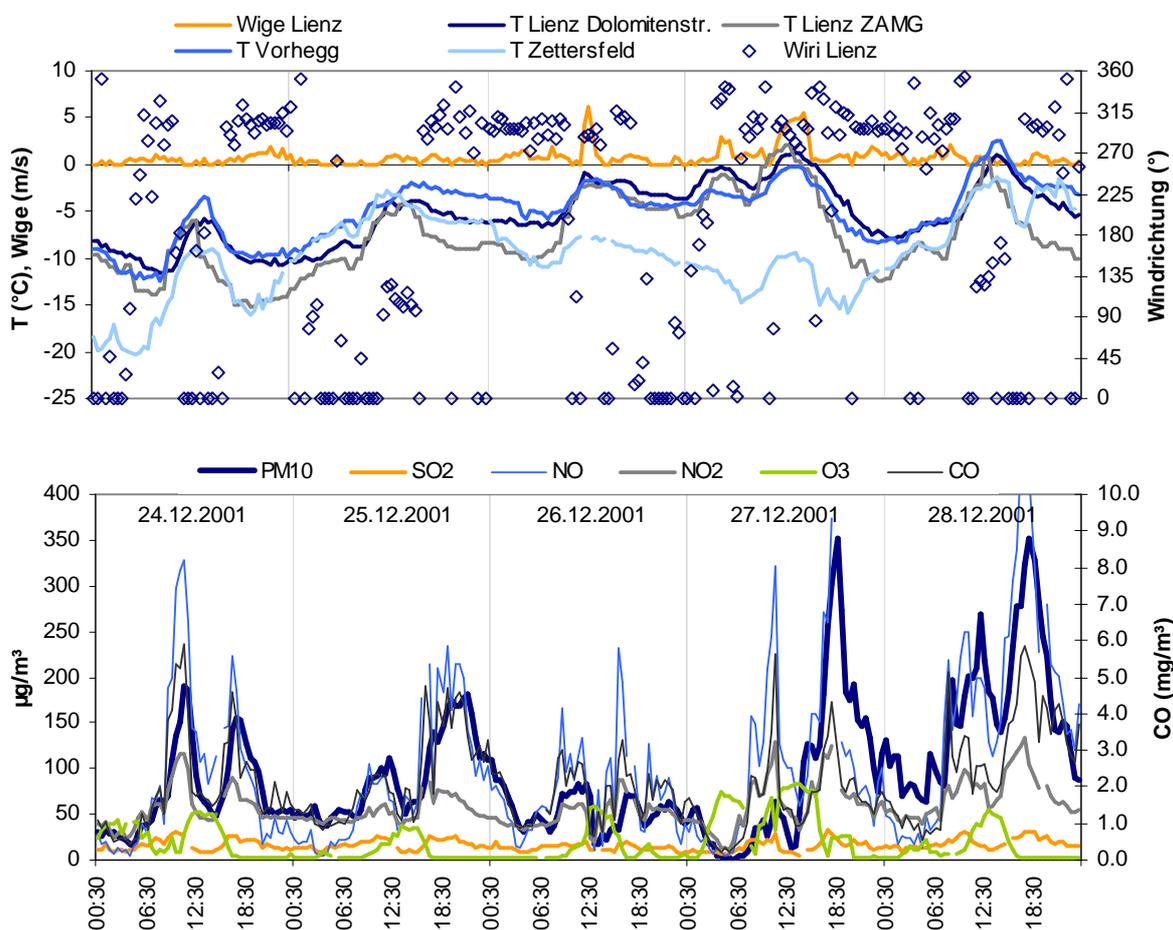


Abbildung 17: Verlauf der Schadstoffkonzentration, der Temperatur und von Windrichtung und –geschwindigkeit in Lienz, 24. bis 28.12. 2001

7.3 Korrelationen

Einen wichtigen Hinweis auf mögliche Quellen der PM10-Belastung in Lienz stellen statistische Zusammenhänge mit anderen Schadstoffen dar, deren Quellen besser bekannt sind. In Tabelle 23 werden die Korrelationen der PM10-TMW von Lienz mit den TMW von PM10 bzw. Schwebestaub in Klagenfurt Völkermarkterstraße, Klagenfurt, Klagenfurt Koschatstraße, Villach, Obervellach und Vorhegg angegeben. In Tabelle 24 sind die Korrelationen von PM10 (TMW) an den Messstellen Lienz, Klagenfurt Völkermarkterstr., Koschatstr. und Villach mit den TMW von NO, NO₂, CO und SO₂ an den jeweiligen Messstellen über den Zeitraum von Jänner 2001 bis März 2002 zusammengestellt.

Laut GANGL 2002 ist der größte Verursacher von NO_x Emissionen in Österreich der Verkehr (64%) gefolgt von der Industrie (19%) und den Kleinverbrauchern (9%). Bei SO₂ trägt die Industrie zu 57%, die Kleinverbraucher zu 27% und der Verkehr zu 8,5% bei. Bei CO sind die Kleinverbraucher mit einem Anteil von 41% die Hauptverursacher der Emissionen, der Verkehr trägt zu 31%, die Industrie zu 27% bei. Mangels Industrie in Lienz ist demnach der Verkehr der Hauptverursacher der NO_x-Belastung in Lienz, bei SO₂ und CO dürften der Hausbrand und der Verkehr die Hauptbeiträge liefern.

Tabelle 23: Korrelationen von PM10 (TMW) der Station Lienz mit Gesamtschwebestaub bzw. PM10 (TMW) anderer Messstellen, März 2001 bis März 2002

Klagenfurt Völkermarkterstr. (PM10)	Klagenfurt Koschatstr. (STB)	Villach (PM10)	Obervellach (STB)	Vorhegg (PM10)
0,75	0,73	0,80	0,62	0,24

Tabelle 24: Korrelationen von PM10 (TMW) bzw. mit NO, NO₂, CO und SO₂ an den Messstellen Lienz, Klagenfurt Völkermarkterstr., Koschatstr. und Villach, Jänner 2001 bis März 2002

	NO	NO ₂	CO	SO ₂
Lienz (PM10) ³⁶	0,70	0,74	0,82	0,80
Klagenfurt Völkermarkterstr. (PM10)	0,81	0,76	0,87	0,56
Klagenfurt Koschatstr. (STB)	0,71	0,75	0,75	0,67
Villach (PM10)	0,77	0,70	0,82	0,80

In Tabelle 25 sind die Korrelationen der HMW von PM10 an der Station Lienz über den Zeitraum von März 2001 bis März 2002 mit den Schwebestaub-HMW von Klagenfurt Völkermarkterstr., Koschatstr., Villach und Obervellach bzw. den PM10-HMW von Vorhegg zusammengestellt; in Tabelle 26 die Korrelationen von PM10 bzw. Schwebestaub mit NO, NO₂, CO und SO₂ an den Messstellen Lienz, Klagenfurt Völkermarkterstr., Klagenfurt Koschatstr., Villach, Obervellach und Vorhegg über den Zeitraum von Jänner 2001³⁷ bis März 2002.

Tabelle 25: Korrelationen von PM10 (HMW) der Station Lienz mit Schwebestaub bzw. PM10 (HMW) an anderen Messstellen in Kärnten und Osttirol, März 2002 – März 2002

Klagenfurt Völkermarkterstr. STB	Klagenfurt Koschatstr. STB	Villach STB	Obervellach STB	Vorhegg PM10
0,56	0,48	0,43	0,35	0,13

Tabelle 26: Korrelationen von Gesamtschwebestaub bzw. PM10 (HMW) an den Messstellen Lienz, Klagenfurt Völkermarkterstr., Klagenfurt Koschatstr., Villach, Obervellach und Vorhegg mit NO, NO₂, CO und SO₂ an der jeweiligen Messstelle, Jänner 2002 – März 2002

	NO	NO ₂	CO	SO ₂
Lienz (PM10)	0,64	0,60	0,73	0,71
Klagenfurt Völkermarkterstr.	0,62	0,63	0,64	0,48
Klagenfurt Koschatstr.	0,54	0,51	0,55	0,38
Villach	0,55	0,49	0,53	0,47
Obervellach	0,31	0,47	0,42	0,24
Vorhegg (PM10)	0,02	0,31	0,20	0,29

³⁶ ab März 2001

³⁷ Lienz ab 1.3.2001

Die TMW der PM10-Konzentration in Lienz korrelieren hoch (0,8) mit CO und SO₂, was auf einen hohen Beitrag gemeinsamer Quellen hindeutet. Etwas niedriger ist die Korrelation mit NO und NO₂. PM10 in Lienz zeigt sehr ähnliche Korrelationen mit den gasförmigen Schadstoffen wie in Villach, wohingegen in Klagenfurt Völkermarkterstr. die Korrelation zwischen PM10 und SO₂ deutlich geringer ist, während dort auf der anderen Seite NO deutlich höher mit PM10 korreliert als in Lienz.

Bei den Korrelationen der HMW zeigt sich in Lienz ebenfalls höhere Übereinstimmung von PM10 mit CO und SO₂ als mit NO und NO₂. Verglichen mit den Messstellen in Kärnten ist die Korrelation mit CO und SO₂ in Lienz sehr hoch. Die Korrelation mit NO und NO₂ ist ähnlich hoch wie in Klagenfurt Völkermarkterstraße, wohingegen Villach bei allen Schadstoffen viel niedrigere Korrelationskoeffizienten aufweist.

Während die PM10-TMW in Lienz relativ hoch mit jenen in Villach (0,8) korrelieren, ist die Korrelation auf HMW-Basis mit Schwebestaub in Villach mit 0,43 deutlich geringer. Dies kann damit zusammen hängen, dass der Tagesverlauf von PM10 und Schwebestaub in beiden Städten ein deutlich unterschiedliches Verhalten aufweist.

7.4 Schadstoffwindrosen

Windrosen stellen Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung dar, dargestellt in einem Kreisdiagramm. In der nachfolgenden Abbildung werden Windrichtungshäufigkeiten für Sektoren von 10° angegeben, wobei Fälle mit Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s gesondert als Kalmen (Windstille) angegeben werden. Schadstoffwindrosen geben für jeden Windrichtungssektor die mittlere Schadstoffkonzentration an. Den Mittelungszeitraum stellt dabei die Gesamtheit jener Fälle dar, in denen der Wind aus dem betreffenden Sektor wehte.

Für die Schadstoffwindrosen von Lienz Amlacherkreuzung werden die Winddaten der Messstelle Dolomitenstraße (30 m über Boden) verwendet. Gegenüber einer Windmessung in 10 m Höhe ist mit einer höheren Windgeschwindigkeit zu rechnen, es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Windrichtungsverteilung für die Stadt Lienz jedenfalls repräsentativ ist.

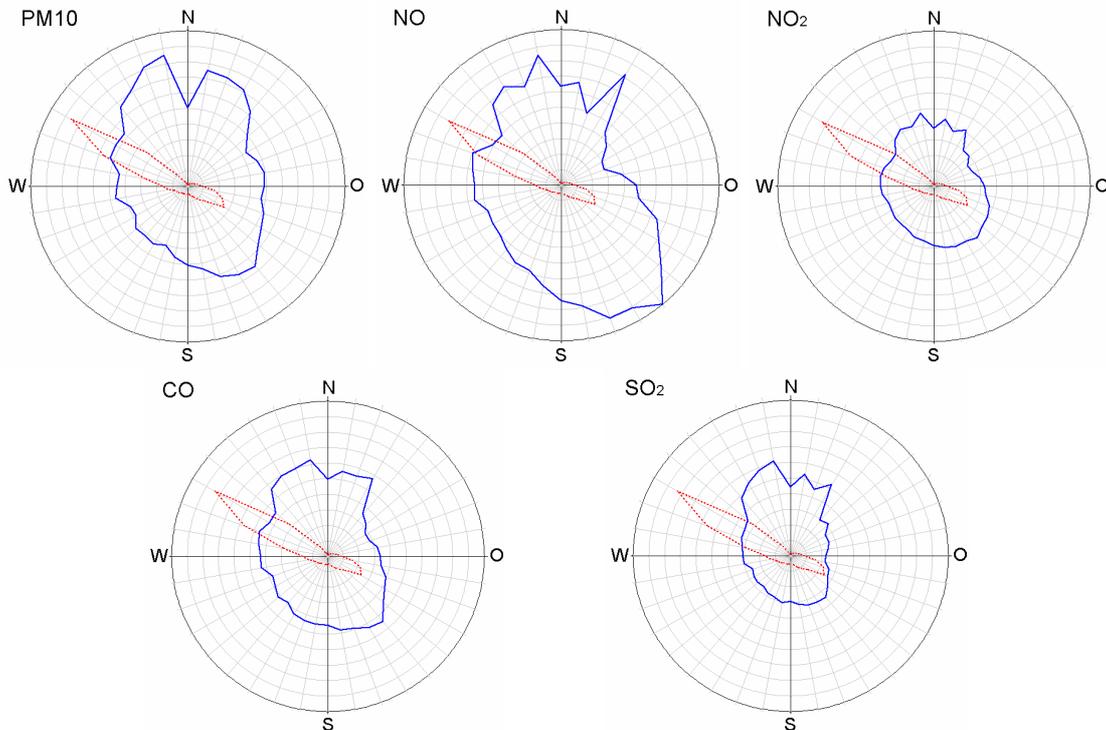


Abbildung 18: Schadstoffwindrose für PM₁₀, NO, NO₂, CO und SO₂, Lienz, 2001. Der Radius der Windrosen entspricht einer Windrichtungshäufigkeit von 20% (-----) bzw. einem HMW von 60 µg/m³ (—) bei PM₁₀, 100 µg/m³ bei NO und NO₂, 2 mg/m³ bei CO und 20 µg/m³ bei SO₂. Die Kalmenhäufigkeit beträgt bei allen Windrosen 14,5%.

Die Schadstoffwindrose von NO ergibt die mit Abstand höchsten mittleren NO-Konzentrationen bei Kalme (Windgeschwindigkeit unter 0,5 m/s) mit 122 µg/m³; bei Ost-südostwind (45°-Sektor) liegt die NO-Konzentration bei ca. 70 µg/m³, bei Westnordwestwind bei 50 µg/m³; höhere NO-Konzentrationen treten bei Süd- bis Südostwind (um 90 µg/m³) und Nordwind (um 70 µg/m³) auf. Die überdurchschnittlich hohe NO-Konzentration bei Windstille ist ein starker Hinweis auf den dominanten Einfluss nahe gelegener NO-Quellen; darüber hinaus zeichnet sich die südlich der Messstelle befindliche Tiroler Straße als wesentliche NO-Quelle ab.

Die mittlere NO₂-Konzentration beträgt bei Kalme 49 µg/m³, bei Ost-südostwind 40 µg/m³, bei Westnordwestwind 31 µg/m³. Auch bei NO₂ spielen somit nahe gelegene Quellen die dominierende Rolle; die Schadstoffwindrose für NO₂ zeigt, anders als NO, keine deutliche Richtungsabhängigkeit, d.h. die Straßen neben der Messstelle zeichnen sich nicht als wesentliche NO₂-Quellen ab.

Die Schadstoffwindrose von CO ähnelt jener von NO₂, wobei die Konzentration bei Kalme mit 1,7 mg/m³ sehr hoch ist, verglichen mit 0,8 mg/m³ bei Ost-südostwind und 0,9 mg/m³ bei Westnordwestwind. Auch bei CO spielen somit nahe gelegene Quellen die dominante Rolle; die Windrichtungsabhängigkeit zeigt, anders als bei NO, allerdings keinen starken Einfluss von der Tiroler Straße, sondern etwas höhere Konzentrationen bei Nordwind.

Nordwind ist auch bei SO₂ mit überdurchschnittlichen Konzentrationen verbunden, die mittlere SO₂-Belastung entspricht ungefähr jener bei Windstille (11 µg/m³), während Ost-südostwind mit 5 µg/m³, Westnordwestwind mit 7 µg/m³ verbunden ist.

(Da Nordwind vergleichsweise selten ist, lässt sich aber das Stadtzentrum nicht notwendigerweise als dominierende SO₂-Quelle bezeichnen.)

Die höchste PM₁₀-Konzentration tritt in Lienz mit 57 µg/m³ bei Kalme auf (13%). Die Hauptwindrichtungen Südost und Westnordwest sind mit mittleren PM₁₀-Konzentrationen von 32 bzw. 31 µg/m³ verbunden; bei nördlichem Wind liegt die mittlere PM₁₀-Konzentration um 50 µg/m³, bei südlichem Wind um 40 µg/m³; Nord- und Südwind sind relativ selten und mit unterdurchschnittlichen Geschwindigkeiten verbunden.

Dies lässt den Schluss zu, dass nahe gelegene Quellen den dominierenden Beitrag zur PM₁₀-Belastung liefern, wobei sich anhand der Windrichtungsabhängigkeit die Tiroler Straße wie auch das Stadtzentrum als wesentliche Quellen abzeichnen.

7.5 Mittlere Tagesgänge

Die mittleren Tagesgänge der Schadstoffkonzentration werden durch tagesperiodische Muster der Schadstoffemission und der die Schadstoffkonzentration beeinflussenden meteorologischen Bedingungen – vertikale Durchmischung (bedeutet in der Regel Verdünnung), Transport und chemische Umwandlung – bestimmt.

Bei den primär emittierten gasförmigen Schadstoffen NO, CO und SO₂ ist das zeitliche Muster der anthropogenen Emissionen relativ gut bekannt. Die Emissionen weisen nachts ein niedriges Niveau auf und steigen in der Regel tagsüber an. Dabei weisen Emissionen aus dem Bereich Raumheizung tagsüber ein relativ konstantes Niveau auf. Die Emissionen des Straßenverkehrs zeigen im Stadtgebiet i.A. morgens und am späten Nachmittag entsprechend dem Verkehrsaufkommen Maxima, während die Emissionen des Wirtschaftsverkehrs v.a. auf Überlandstraßen tagsüber kaum zurückgehen. Keinen systematischen Tagesgang weisen Emissionen aus Industrieanlagen und Kraftwerken auf, wenn diese rund um die Uhr betrieben werden. Etwas atypisch ist der Tagesgang des Verkehrs in Lienz, der statt einer Morgenspitze einen kontinuierlichen Anstieg bis etwa 12:30 zeigt, um dann nach einem geringfügigen Rückgang bis etwa 18:00 weiter anzusteigen und erst danach wieder abzusinken (siehe Abbildung 19). Eine Trennung zwischen dem Tagesgang des Verkehrs und des Hausbrands ist kaum möglich, da zum einen der genaue Tagesgang des Hausbrands nicht bekannt und zum anderen bei den Schadstoffen CO und SO₂ beide Quellen vergleichbare Beiträge liefern.

Bei den meteorologischen Einflussgrößen sind folgende Faktoren zu beachten:

In der Regel treten nachts und morgens ungünstige Ausbreitungsbedingungen (d.h. stabile Temperaturschichtung, niedrige Mischungshöhe) auf, sodass bei gleicher Emission nachts in der Nähe von bodennahen Emittenten höhere Konzentrationen zu erwarten sind als tagsüber. Tagsüber treten in der Regel günstigere Ausbreitungsbedingungen auf, d.h. hohe Mischungshöhen und guter vertikaler Austausch, sodass die Konzentration in Bodennähe emittierter Schadstoffe sinkt.

Dagegen erreichen bei stabiler Schichtung u.U. Emissionen aus hohen Schloten den Boden nicht, sondern nur bei guter vertikaler Durchmischung.

Tagesperiodische Windsysteme (Tal- und Hangwind) können an Messstellen, die bei bestimmten Windrichtungen leeseitig von Emittenten liegen, ein tagesperiodisches Muster im Konzentrationsverlauf zur Folge haben.

Für den Konzentrationsverlauf von NO_2 ist das Ausmaß der Oxidation von NO verantwortlich und damit wesentlich die Ozonkonzentration. Da an städtischen Standorten bei ungünstigen Ausbreitungsbedingungen der Überschuss an NO Ozon völlig zum Verschwinden bringen kann, erfolgt die Umwandlung von NO in NO_2 nachts sehr langsam. Setzt tagsüber vertikale Durchmischung ein, wird von oben Ozon „nachgeliefert“, wodurch eine schnellere NO_2 -Bildung ermöglicht wird.

Der mittlere Tagesgang von NO zeigt in Lienz minimale Konzentrationen in der Nacht und einen steilen Anstieg zwischen 5:00 und 8:00. Anders als an den meisten städtischen verkehrsnahen Messstellen sinkt die NO -Belastung danach jedoch nicht ab, sondern behält bis ca. 10:30 ein relativ konstantes Niveau (im Jahresmittel 2001 um $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Am frühen Nachmittag geht die NO -Konzentration zurück, um abends ein sekundäres Maximum (um $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zu erreichen und nach 18:00 wieder abzufallen.

Da fast alle PM_{10} -TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Winter auftraten, wird in Abbildung 19 der mittlere Tagesgang für den Zeitraum von Oktober 2001 bis März 2002 dargestellt. Die NO -Konzentration liegt im Winter deutlich über dem Durchschnitt. Der morgendliche Anstieg erfolgt etwas verzögert, die höchste Konzentration wird um 10:00 mit knapp $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Nach 11:00 sinkt die NO -Konzentration auf ca. $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um 13:00 ab, um nachmittags langsam wieder auf bis $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um 18:00 anzusteigen. Danach sinkt die NO -Konzentration gleichmäßig ab.

Gegenüber anderen städtischen Messstellen, etwa in Klagenfurt, fallen das vergleichsweise späte Morgen- und das frühe Abendmaximum auf, sowie die vergleichsweise sehr hohe NO -Konzentration über Mittag, die aber sehr gut mit dem Verlauf des Verkehrs korrelieren (das Absinken der NO -Konzentration zu Mittag ist auf die besseren Ausbreitungsbedingungen tagsüber zurückzuführen).

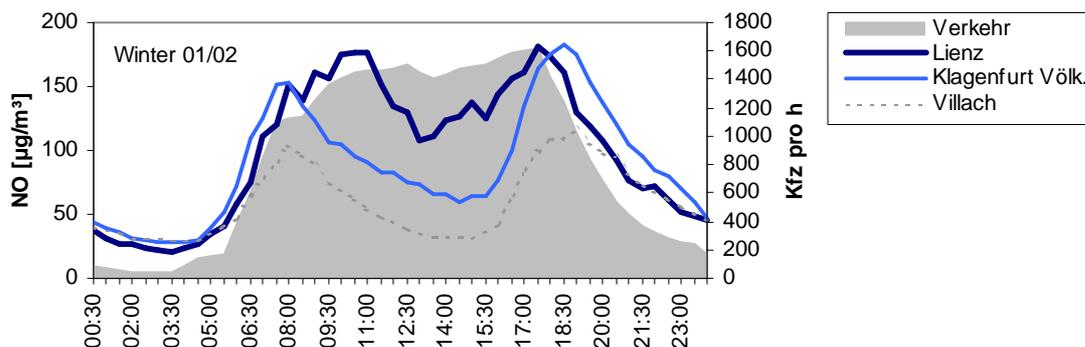


Abbildung 19: NO , mittlere Tagesgänge, Winter 2001/02

NO_2 zeigt, gemittelt über das Jahr 2001, einen vergleichbaren Tagesgang wie NO , an dem, verglichen mit anderen städtischen verkehrsnahen Messstellen, ein relativ spätes und flaches Maximum am Vormittag, eine nur geringfügige Abnahme über Mittag und abends ein relativ früher Abfall der Konzentration auffallen.

Im Winter 2001/02 (Abbildung 20) ist dieser Unterschied zu Messstellen in Villach und Klagenfurt noch ausgeprägter; die NO_2 -Konzentration steigt bis 11:00 an, sinkt

bis 13:00 leicht ab und erreicht ihren Höchstwert bereits um 17:00, ehe sie – deutlich früher als in anderen Städten – zu sinken beginnt.

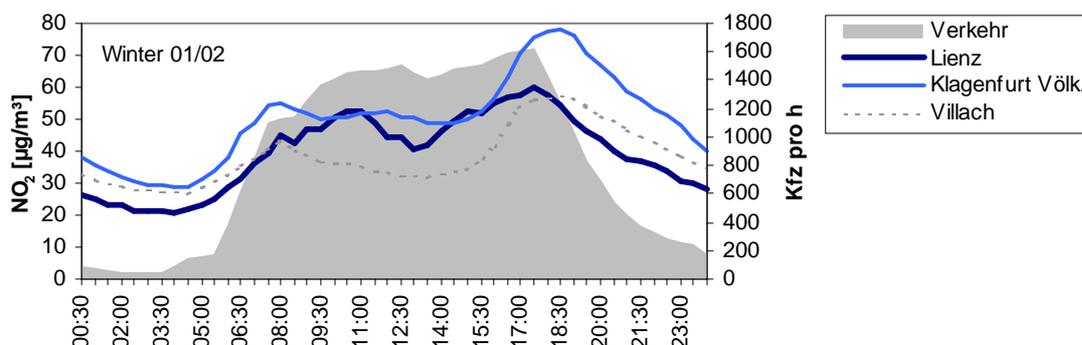


Abbildung 20: NO₂, mittlere Tagesgänge, Winter 2001/02

Der mittlere Tagesgang von NO_x (Summe aus NO und NO₂) entspricht im wesentlichen dem von NO.

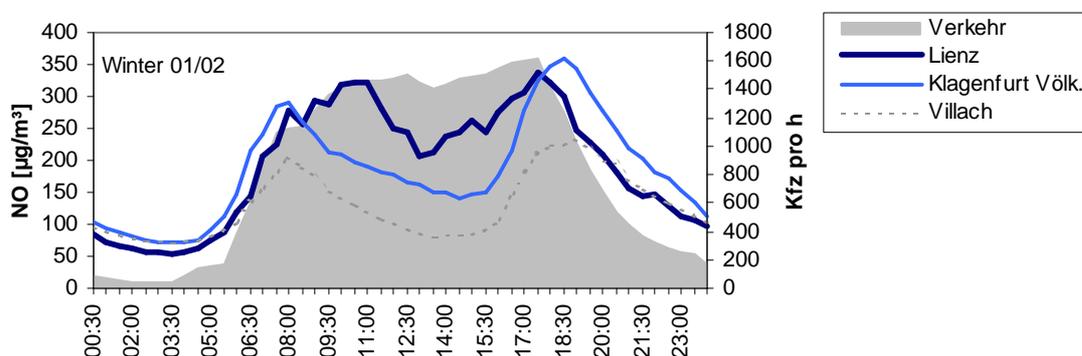


Abbildung 21: NO_x, mittlere Tagesgänge, Winter 2001/02

Der mittlere Tagesgang von CO zeigt ebenfalls eine sehr ähnliche Struktur wie NO und NO₂ und unterscheidet sich damit wiederum deutlich von Villach oder Klagenfurt. Wesentlichster Unterschied zu den anderen Stationen ist allerdings das wesentlich höhere Konzentrationsniveau, v.a. am Vormittag.

Im Winter (Abbildung 22) weist Lienz einen wesentlich ausgeprägteren Tagesgang auf als im Sommer, die Konzentration erreicht im Mittel vormittags um 1,65 mg/m³, sinkt über Mittag auf ca. 1,05 mg/m³ ab und erreicht abends bis 2,20 mg/m³, um ab 18:30 langsam auf einen morgendlichen Minimalwert von 0,45 mg/m³ abzusinken. Der mittlere Tagesgang im Winter ist somit etwas ausgeprägter als bei NO, das Abendmaximum tritt auch etwas später auf als bei NO. Allerdings sind die jahreszeitlichen Unterschiede in Lienz geringer als in Klagenfurt.

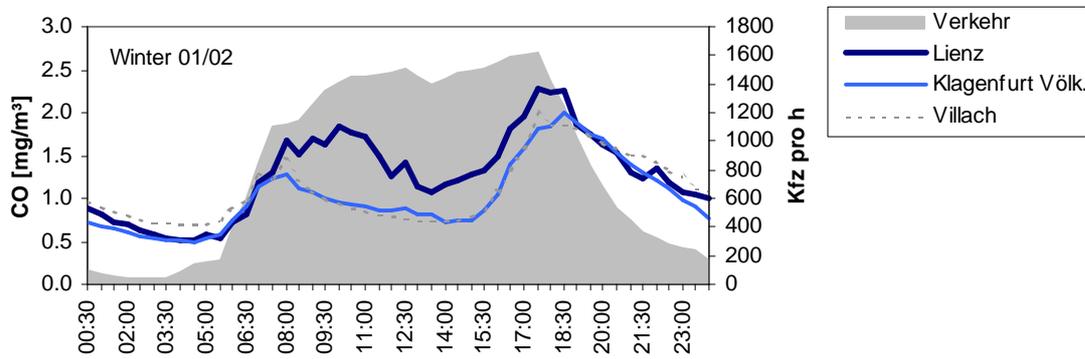


Abbildung 22: CO, mittlerer Tagesgang Winter 2001/02

Der mittlere Tagesgang von SO_2 ist jenem von NO und CO sehr ähnlich, allerdings steigt die Konzentration im Mittel 2001 vormittags etwas höher an als am Abend, während im Winter (Abbildung 23) das abendliche Maximum (mit $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) etwas höher ist als das vormittägliche ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$); nachts sinkt die SO_2 -Konzentration auf ca. $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab. Verglichen mit Villach und Klagenfurt steigt in Lienz die SO_2 -Konzentration am Morgen zeitiger an. In Klagenfurt fällt ein Konzentrationsmaximum über Mittag auf, welches aller Wahrscheinlichkeit nach auf das Einmischen der Abgasfahne des Fernheizwerkes (Schlothöhe 85 m) bei Labilisierung der bodennahen Luftschicht über Mittag bedingt ist.

Der parallele Verlauf der SO_2 -Konzentration mit den anderen Schadstoffen in Lienz deutet auf weitgehend gleichartige Quellen hin.

Generell lässt das (gleichartige) Belastungsmuster aller Schadstoffe folgende Interpretationen zu:

- ü Die zeitliche Variation der Emissionen, die tagsüber deutlich höher sind als nachts.
- ü Die Ausbreitungsbedingungen sind nachts (im Winter auch abends und vormittags) ungünstig und bedingen damit – bei gleicher Emission – nachts höhere Konzentrationen von in Bodennähe emittierten Schadstoffen als über Mittag. Der Rückgang der Konzentration aller Schadstoffe am frühen Nachmittag kann zumindest teilweise mit der besseren Durchmischung der bodennahen Luftschicht erklärt werden (welche sich im Ansteigen der Ozonkonzentration über Mittag widerspiegelt).
- ü Das – verglichen z.B. mit Villach und Klagenfurt – relativ späte Konzentrationsmaximum aller Schadstoffe am Vormittag der leicht „stufenförmige“ Anstieg dürften auf den vergleichsweise langsamen, aber kontinuierlichen und Anstieg des Verkehrsaufkommens am Vormittag zurückzuführen sein.

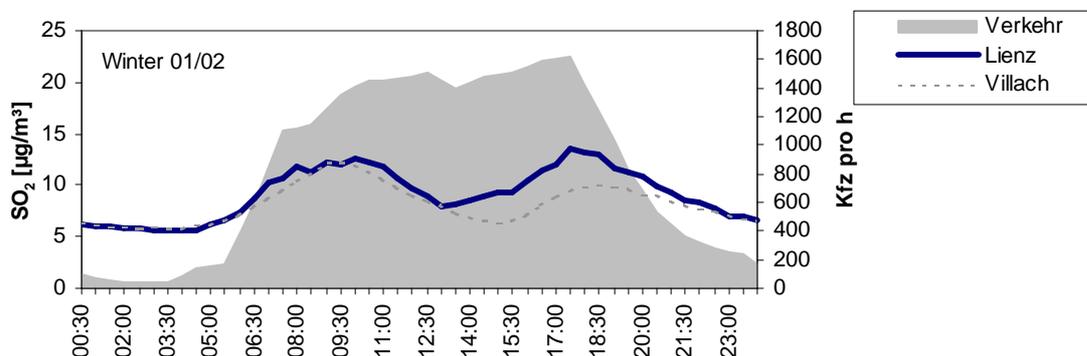


Abbildung 23: SO₂, Mittlerer Tagesgang Winter 2001/02

Betrachtet man abschließend die mittleren Tagesgänge von PM10 (in Abbildung 24 für das Jahr 2001, in Abbildung 25 für den Winter 2001/02), so zeigt sich im Jahresmittel ein flaches Maximum zwischen 8:00 und 12:00 (um 45 µg/m³), ein leichter Rückgang am frühen Nachmittag und ein weiteres Maximum (ca. 40 µg/m³) um 18:00 herum.

Im Winter ist der mittlere PM10-Tagesgang ausgeprägter, die Konzentration steigt zwischen 5:00 und 9:30 von ca. 20 auf 65 µg/m³ an, erreicht bis 11:00 75 µg/m³, sinkt bis 13:30 auf um 55 µg/m³ ab, um am Abend (19:00) mit bis 85 µg/m³ ihren höchsten Wert zu erreichen. Die Struktur dieses Tagesganges ähnelt am stärksten CO (mit einem deutlich höheren Maximum am Abend), findet sich aber in den mittleren Tagesgängen aller Schadstoffe wieder.

Verglichen mit Villach und Klagenfurt weist Lienz einen mittleren PM10-Tagesgang mit deutlich stärkeren Amplituden, vor allem mit einem wesentlich ausgeprägteren Maximum am Vormittag auf.

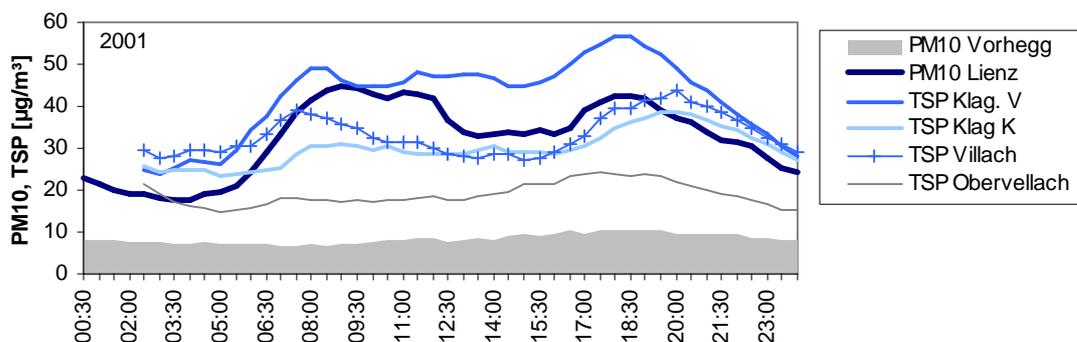


Abbildung 24: PM10 und Schwebestaub, mittlerer Tagesgang 2001

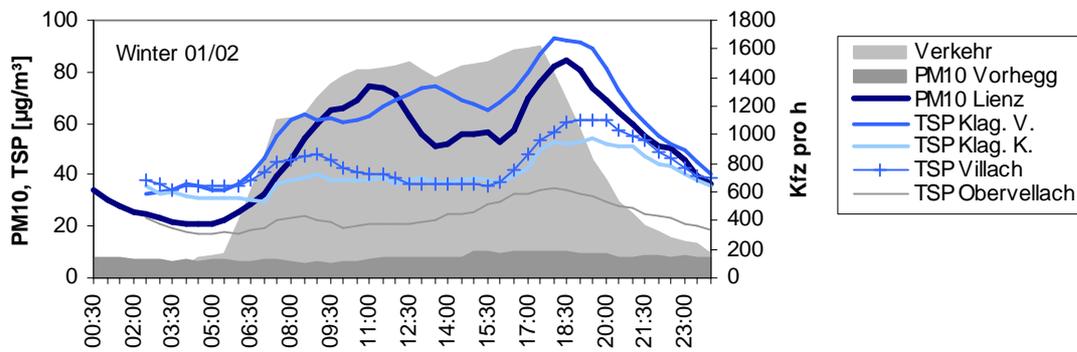


Abbildung 25: PM10 und Schwebestaub, mittlerer Tagesgang Winter 2001/02

Den Tagesgängen der oben gezeigten Schadstoffe PM10, NO, NO₂, CO und SO₂ gemeinsam ist eine relativ gute Übereinstimmung mit dem Verlauf des Verkehrs an der Tiroler Straße (wobei das Verkehrsaufkommen in Lienz insofern etwas atypisch ist, als es über Mittag praktisch nicht abnimmt). Da die Hausbrandemissionen grundsätzlich einen ähnlichen Tagesgang aufweisen, ist eine Auftrennung beider Emittentengruppen schwierig.

7.6 Wochengänge

Gliedert man die mittleren PM10-Tagesgänge des Winters 2001/02 nach Wochentagen auf, so zeigen sich deutliche Unterschiede auch innerhalb der Werktage.

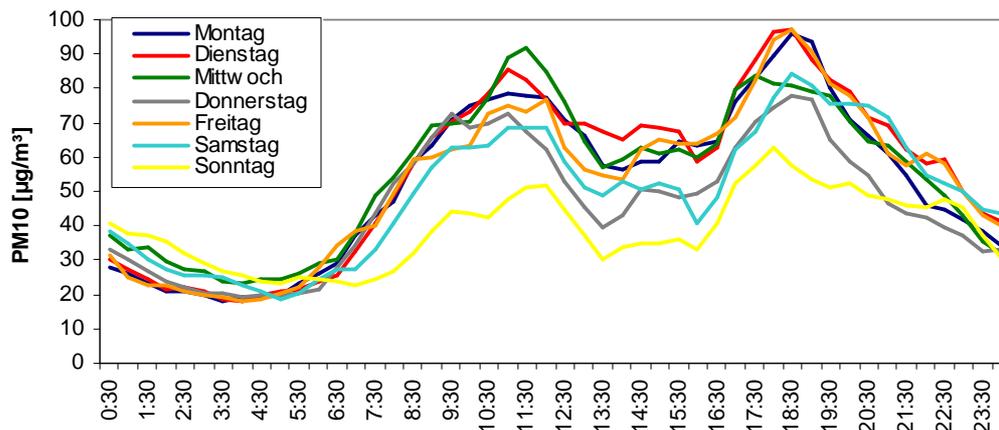


Abbildung 26: Tagesgänge von PM10 an der Station Lienz Amlacherkreuzung Winter 2001/02

Montag, Dienstag und Freitag weisen ein flaches Maximum am Vormittag (um 75 µg/m³) und ein wesentlich ausgeprägteres Maximum am Abend (um 95 µg/m³ auf). Mittwochs weist die PM10-Konzentration vormittags deutlich höhere Werte (bis 90 µg/m³) auf als abends (um 80 µg/m³), während am Donnerstag die PM10-

Konzentration mit Maxima jeweils um $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vormittags und abends etwas niedriger ist.

Samstage und Sonntage weisen geringere Konzentrationen bei mittleren Tagesgängen, die grundsätzlich den Verhältnissen an Freitagen ähneln – d.h. abends höhere Werte als vormittags – auf. So erreicht die PM10-Konzentration an Samstagen im Mittel vormittags um $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, abends um $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, an Sonntagen vormittags um $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, abends um $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Abbildung 27 zeigt den Wochengang der PM10-Konzentration an der Tiroler Straße.; dazu wurden die Mittelwerte der jeweiligen Wochentage der Jahre bzw. der Wintermonate 2001 und 2002 gebildet. Deutlich erkennbar ist die geringere Konzentration an Wochenenden; beträgt z.B. der Mittelwert aller Montage $30,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $47,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Winter, aller Mittwoche sogar $33,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $50,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Winter, an Sonntagen jedoch nur $21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $38,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Winter. Somit ist im die PM10-Belastung an Sonntagen um bis zu $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ niedriger als werktags. Deutlich ausgeprägt ist auch der Jahresgang der TSP-Belastung (Abbildung 28)

Wie in Kapitel 5.2.1 beschrieben, reduziert sich der Verkehr ebenfalls deutlich am Wochenende. So nimmt der PKW-Verkehr an Samstagen auf 95%, Sonntags auf 64% ab verglichen mit werktags, der LKW-Verkehr beträgt Samstags nur noch 37% sowie Sonntags 27%. Dass die PM10 Belastung an Sonntagen im Winter in geringerem Ausmaß reduziert wird als an Sonntagen im Sommer, dürfte auf den Beitrag des Hausbrands zurückzuführen sein.

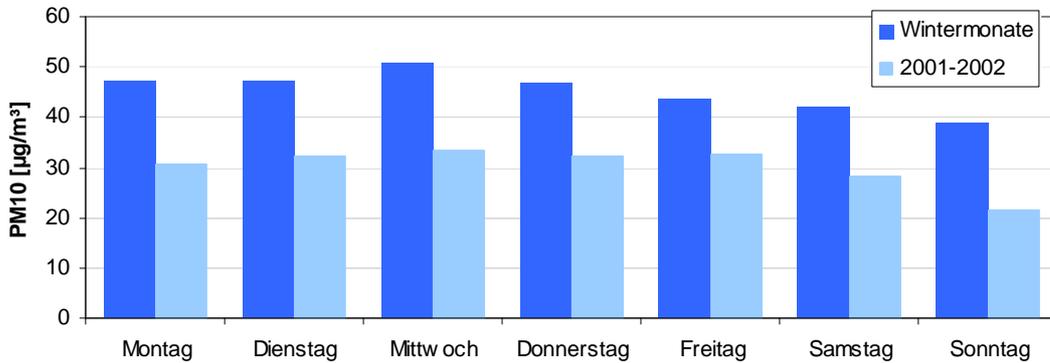


Abbildung 27: Mittelwerte von PM10 der jeweiligen Wochentage Jänner 2001-Dezember 2002 sowie der Wochentage in den Wintermonaten der Jahre 2001 und 2002 an der Station Lienz Amlacherkreuzung

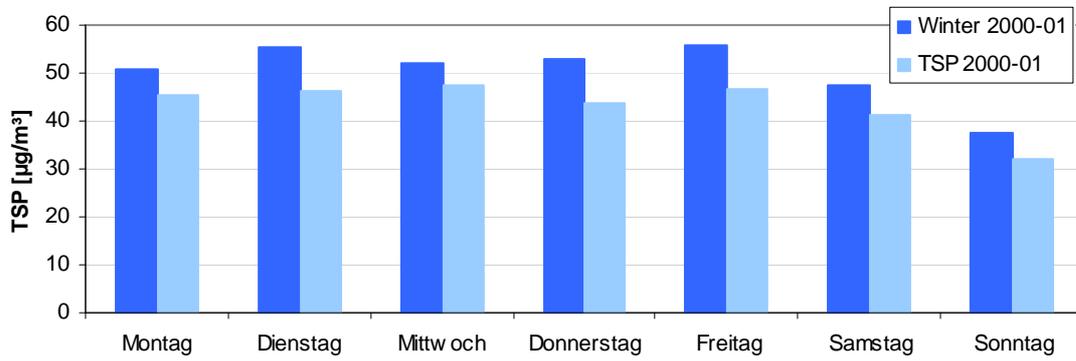


Abbildung 28: Mittelwerte von TSP der jeweiligen Wochentage Jänner 2000-Dezember 2001 sowie der Wochentage in den Wintermonaten der Jahre 2000 und 2001 an der Station Lienz Amlacherkreuzung

7.7 Abhängigkeit der Konzentration von der Windgeschwindigkeit

Aus der Abhängigkeit der Schadstoffkonzentration von der Windgeschwindigkeit lassen sich folgende allgemeine Schlüsse ziehen:

- ∅ Tritt die höchste Konzentration im Mittel bei Kalme (Windgeschwindigkeit unter 0,5 m/s) auf und nimmt die Konzentration mit zunehmender Windgeschwindigkeit rasch ab, so ist dies ein starker Hinweis auf einen dominierenden Einfluss nahe gelegener, niedriger Quellen
- ∅ Nimmt die Konzentration mit der Windgeschwindigkeit stark zu, so ist dies in der Regel ein Hinweis auf Ferntransport von Quellen, deren Emissionen die die Messstelle bei niedriger Windgeschwindigkeit nicht erreichen
- ∅ bei PM10 und Schwebestaub kann eine Zunahme der Konzentration mit der Windgeschwindigkeit auch ein Hinweis auf einen wesentlichen Beitrag von Straßenstaub oder Material brachliegender Bodenflächen sein, da Aufwirbelung und Abwehung mit der Windgeschwindigkeit zunehmen³⁹.

³⁹ Untersuchungen des Beitrags von Winderosion werden in KUHLEBUSCH (2000) angegeben und

An der Amlacherkreuzung (Abbildung 29) weist die Konzentration aller Schadstoffe bei Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s im Mittel die höchsten Konzentrationen auf und nimmt mit zunehmender Windgeschwindigkeit bis 3 m/s rasch ab, besonders ausgeprägt bei CO und NO, vergleichsweise wenig bei SO₂ und NO₂. Bei Geschwindigkeiten ab 4 m/s nimmt die Konzentration aller gemessenen Schadstoffe wieder leicht zu, weist aber bei höheren Windgeschwindigkeiten praktisch keine Geschwindigkeitsabhängigkeit mehr auf und liegt deutlich unter der Konzentration, welche bei Windgeschwindigkeiten bis 1 m/s auftritt.

Die Windgeschwindigkeitsabhängigkeit der Konzentration aller Schadstoffe gibt somit – wie bereits die Auswertung der Schadstoffwindrosen andeutet – einen sehr starken Hinweis, dass lokale Quellen und lokale Schadstoffanreicherung bei wind-schwachen Situationen die Belastung bei allen gemessenen Schadstoffen dominieren.

Die von der Windgeschwindigkeit relativ unabhängige Schadstoffkonzentration bei Geschwindigkeiten zwischen 4 und 11 m/s dürfte ein Belastungsniveau widerspiegeln, das einer „regionalen Hintergrundkonzentration“ im oberen Drau- und im Iseltal entspricht.

Es gibt keinen Hinweis auf wesentliche Quellen in einem regionalen Umkreis um Lienz oder Ferntransport in größerem Ausmaß.

Die Windgeschwindigkeitsabhängigkeit der PM₁₀-Konzentration gibt keinen Hinweis auf einen nennenswerten Beitrag von Winderosion.

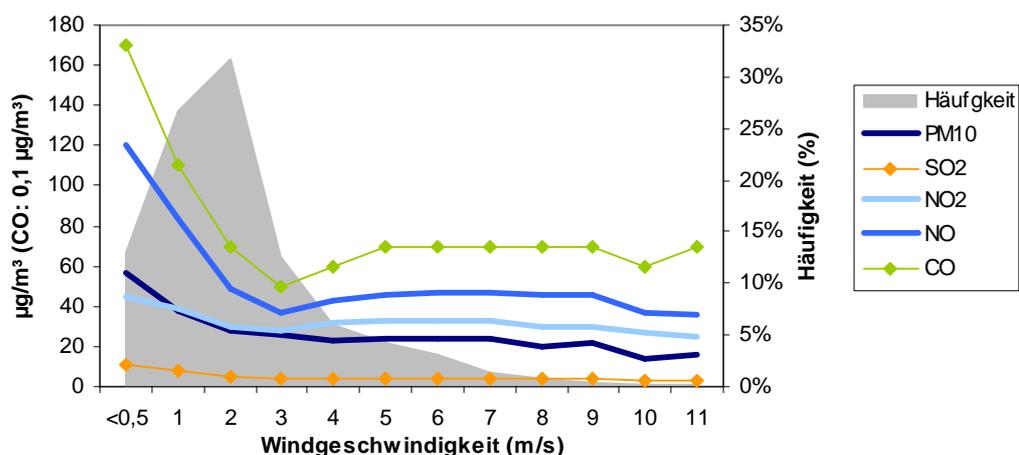


Abbildung 29: Abhängigkeit der Konzentration von PM₁₀, NO, NO₂, CO und SO₂ in Lienz Amlacherkreuzung von der Windgeschwindigkeit (Dolomitenstraße), 2001

basieren auf der Annahme, dass abgewehtes Material ausschließlich in der Fraktion PM₁₀-PM_{2,5} zu finden ist. Die dort präsentierten Daten sind aus unserer Sicht sehr unsicher und zeigen einen großen Beitrag von Winderosion bei (ab) 7 m/s.

7.8 Schadstoffkonzentration und Temperaturgradient

Die Korrelation zwischen den vertikalen Temperaturgradienten Lienz Bürgerau – Lienz Dolomitenstr., Lienz Bürgerau – Vorhegg, Lienz Bürgerau – Zetttersfeld, Vorhegg – Zetttersfeld, Klagenfurt – Magdalensberg und Magdalensberg – Gerlitzten einerseits und den TMW der PM10-, SO₂-, NO-, NO₂- und CO- Konzentration in Lienz, ergänzt um PM10 in Villach, Klagenfurt Völkermarkterstr. und Vorhegg, andererseits, ist in Tabelle 27 zusammengefasst.

Tabelle 27: Korrelation zwischen vertikalen Temperaturgradienten und der PM10-Konzentration, 2001 (Gerlitzten ab 19.6.2001)

	Lienz Bürgerau – Dolomitenstr.	Lienz B. - Vorhegg	Lienz B. - Zetttersfeld	Vorhegg - Zetttersfeld	Klagenfurt – Magdalensberg	Magdalensberg – Gerlitzten
PM10 Lienz	-0,67	-0,62	-0,62	-0,12	-0,69	-0,36
SO ₂ Lienz	-0,73	-0,71	-0,65	-0,07	-0,66	-0,46
NO Lienz	-0,63	-0,68	-0,68	-0,16	-0,60	-0,48
NO ₂ Lienz	-0,66	-0,59	-0,54	-0,04	-0,56	-0,27
CO Lienz	-0,70	-0,73	-0,70	-0,14	-0,65	-0,47
PM10 Villach	-0,60	-0,57	-0,60	-0,16	-0,67	-0,30
PM10 Klagenfurt	-0,60	-0,60	-0,61	-0,13	-0,71	-0,36
PM10 Vorhegg	0,08	0,13	0,04	-0,05	0,01	0,11

Alle in Lienz gemessenen Schadstoffe zeigen betragsmäßig relativ hohe Antikorrelationen mit dem Temperaturgradienten in den unteren 40 m über Talboden, d.h. zwischen Lienz Bürgerau und Lienz Dolomitenstr., die – außer bei NO₂ - nahezu ident sind mit den Korrelationen mit den Temperaturgradienten zwischen Lienz Bürgerau und Vorhegg bzw. Zetttersfeld.

Hingegen treten kaum signifikante Antikorrelationen gegenüber dem Temperaturgradienten zwischen Vorhegg und Zetttersfeld auf. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass abgehobene Inversionen (oberhalb von 500 m über Boden) einen nur geringen Einfluss auf das Immissionsgeschehen in Lienz ausüben.

SO₂, NO und CO weisen betragsmäßig wesentlich höhere Antikorrelationen zum Temperaturgradienten Lienz Bürgerau – Vorhegg auf als PM10 und NO₂. Dies bedeutet, dass die primär emittierten Schadstoffe SO₂, NO und CO wesentlich stärker von den Ausbreitungsbedingungen beeinflusst werden als die – zumindest teilweise – sekundär gebildeten Schadstoffe PM10 und NO₂.

Beschränkt man die Auswertung auf den Zeitraum von Oktober bis Dezember 2001, in dem die meisten PM10-TMW über 50 µg/m³ im Jahr 2001 auftraten (Tabelle 28), so ergibt sich zwischen den TMW von PM10 in Lienz und dem Temperaturgradienten Lienz Bürgerau – Dolomitenstr., Lienz Bürgerau – Vorhegg und Klagenfurt – Magdalensberg eine betragsmäßig deutlich geringere Korrelation (-0,58) als über das ganze Jahr, während bei SO₂, NO, NO₂ und CO ähnliche Korrelationen wie im ganzen Jahr auftreten.

Tabelle 28: Korrelation zwischen vertikalen Temperaturgradienten und der PM10-Konzentration, Oktober – Dezember 2001

	Lienz Bürgerau – Dolomitenstr.	Lienz B. – Vorhegg	Lienz B. – Zettersfeld	Vorhegg - Zettersfeld	Klagenfurt – Magdalens- berg	Magdalens- berg – Gerlitzten
PM10 Lienz	-0,58	-0,49	-0,39	-0,16	-0,57	-0,13
SO ₂ Lienz	-0,71	-0,57	-0,44	-0,14	-0,66	-0,09
NO Lienz	-0,56	-0,53	-0,54	-0,31	-0,44	-0,23
NO ₂ Lienz	-0,74	-0,62	-0,46	-0,11	-0,65	-0,06
CO Lienz	-0,70	-0,58	-0,52	-0,25	-0,59	-0,20

Bei den gasförmigen Schadstoffen sind die Antikorrelationen gegenüber dem Temperaturgradienten Bürgerau – Dolomitenstr. im Winter ähnlich hoch wie im Jahresmittel, gegenüber den Temperaturgradienten in höheren Niveaus aber geringer. Bei PM10 fällt demgegenüber auf, dass die Antikorrelationen mit dem Temperaturgradienten in allen Höhenniveaus im Winter betragsmäßig geringer sind als im Jahresmittel.

Ungewöhnlich ist, dass die Korrelationskoeffizienten von SO₂, NO und CO in Lienz mit dem Temperaturgradienten Lienz Bürgerau – Vorhegg sehr ähnliche Beträge aufwieisen, obwohl diese Standorte ca. 100 km entfernt sind. PM10 und NO₂ in Lienz weisen gegenüber dem Temperaturprofil Klagenfurt – Magdalensberg betragsmäßig deutlich höhere Korrelationskoeffizienten auf als gegenüber Lienz Bürgerau – Vorhegg.

Dieser etwas überraschende Sachverhalt könnte zwei Gründe haben. Einerseits besteht die Möglichkeit, dass die Temperaturmessung auf dem Hochhaus an der Dolomitenstr. einen städtischen Wärmeinseleffekt aufweist und damit u.U. nur beschränkt repräsentativ ist, und dass das Temperaturprofil Lienz – Vorhegg nur beschränkt für die Ausbreitungsbedingungen in Lienz aussagekräftig ist, da diese Messstellen in verschiedenen Tälern liegen.

Auf der anderen Seite deuten die Detailuntersuchung der Tage mit chemischen Analysen der PM10-Proben (Kapitel 7) auf unterschiedliche Einflüsse des Temperaturprofils in unterschiedlicher Höhe auf primäre und sekundäre Aerosole hin. Hohe Konzentrationen primär emittierter Partikel sind bei starken Bodeninversionen zu erwarten; höhere Konzentrationen sekundärer Partikel treten jedoch nach aktuellem Kenntnisstand dann auf, wenn für ihre Bildung ein größeres Luftvolumen über dem Lienzener Becken zur Verfügung steht, d.h. bei Auftreten einer abgehobenen Inversion (über 500 m über Boden) und neutraler Temperaturschichtung in Bodennähe. Bodeninversionen führen damit zu erhöhter Konzentration primärer, aber niedriger Konzentration sekundärer Aerosole, sodass sich diese Einflüsse des Temperaturgradienten kompensieren. Dies könnte nicht nur für die betragsmäßig geringeren Antikorrelationen der PM10-Konzentration in Lienz mit allen untersuchten Temperaturprofilen verantwortlich sein, sondern auch dafür, dass die Temperaturprofile im Raum Lienz keine betragsmäßig höhere Antikorrelation aufweisen als jenes zwischen Klagenfurt und Magdalensberg.

Für weitere statistische Untersuchungen des Zusammenhangs der Schadstoffkonzentration mit anderen meteorologischen und Straßenzustands-Parametern wird daher das Temperaturprofil Klagenfurt – Magdalensberg verwendet, das gemäß Tabelle 27 die betragsmäßig höchste Antikorrelation zur PM10-Konzentration in Lienz aufweist.

Eine genauere Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der PM10-Konzentration in Lienz und dem Temperaturgradienten Lienz Bürgerau – Dolomitenstraße für den Zeitraum von Oktober bis Dezember 2001 (Tabelle 29) zeigt, dass Inversionen mit Temperaturgradienten unter -2°C als TMW – dies stellt bei einer Höhendifferenz von nur 40 m eine extreme Bodeninversion dar – mit wesentlich höheren PM10-Konzentrationen verbunden sind als schwache Inversionen mit Temperaturdifferenzen über -2°C (wobei im Untersuchungszeitraum nur an einem Tag keine Inversion in diesem Höhenbereich auftrat). Dies belegt – trotz der Schwachpunkte der Temperaturmessung an der Dolomitenstr. – den starken Einfluss von Bodeninversionen auf die PM10-Belastung in Lienz.

Tabelle 29: Abhängigkeit der PM10-Belastung in Lienz vom Temperaturgradienten zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstr., Okt. – Dez. 2001

Temperaturgradient (Klassenobergrenze, $^{\circ}\text{C}$)	PM10	Anteil der Tage mit PM10 > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
-2,0	73	70%
-1,0	48	48%
0,1	37	24%

7.9 Straßenzustand

Entscheidend für die Aufwirbelung von Straßenstaub ist der Straßenzustand; bei nasser Fahrbahn ist das Ausmaß der Aufwirbelung stark reduziert – wenngleich die verfügbaren Studien hier zu sehr unterschiedlichen Aussagen kommen (siehe z.B. SCHULZE 2002, LOHMEYER 2001, EPA 2000). Als wesentliche Quelle von aufwirbelbarem Staub kommen im Winter Streusplitt und Streusalz in Frage, daneben aber auch Einträge von geogenem Material aus der Umgebung der Straße.

Um den (möglichen) Einfluss dieser Faktoren auf die PM10-Belastung in Lienz zu beurteilen, werden die Angaben der Bundesstraßenverwaltung (B100) über den Straßenzustand (nass, teilweise nass, trocken) und das Ausmaß der Salzstreuung in Beziehung mit der PM10-Konzentration des Zeitraums von Oktober 2001 bis März 2002 gesetzt.

Die PM10-Konzentration in Lienz zeigt keine statistische Abhängigkeit davon, ob die Straße nass oder trocken ist (Tabelle 30). Bei nasser Straße ist die PM10-Konzentration geringfügig höher als bei trockener. Wie der ebenfalls in Tabelle 30 angegebene Temperaturgradient Klagenfurt – Magdalensberg⁴⁰ zeigt, sind Tage mit teilweise nasser Straße im Mittel mit wesentlich ungünstigeren

⁴⁰ für die Auswertung wurde der Temperaturgradient Klagenfurt – Magdalensberg herangezogen, da dieser, wie Tabelle 27 zeigt, eine betragsmäßig etwas höhere Antikorrelation zur PM10-Konzentration in Lienz aufweist als der Temperaturgradient Lienz Bürgerau – Dolomitenstr.

Ausbreitungsbedingungen (Inversionen) verbunden und weisen daher überdurchschnittliche PM10-Konzentrationen auf als bei nasser Straße.

Tabelle 30: Abhängigkeit der PM10-Konzentration in Lienz vom Straßenzustand, Okt. 2001 – März 2002

	PM10 (µg/m³)	Anteil der Tage mit TMW > 50 µg/m³	Temperaturgradient Klagenfurt – Magdalensberg
Straße nass	39	26%	0,6°C
Straße teilweise nass	56	53%	-1,5°C
Straße trocken	38	20%	0,8°C

Um den Einfluss des Temperaturgradienten von jenem des Straßenzustandes zu trennen, wird in Tabelle 31 (Okt. 2001 – März 2002) die Temperaturdifferenz Klagenfurt – Magdalensberg in vier (annähernd) gleich große Klassen (bis -2,6°C, bis 0,5°C, bis 2,4°C, > 2,4°C) gruppiert und für jede dieser Klassen die mittlere PM10-Belastung an Tagen mit nasser (oder teilweise nasser) und trockener Straße und der Anteil der Tage mit TMW über 50 µg/m³ angegeben. Lediglich bei sehr stabiler Temperaturschichtung (<-2,6°C) ist die PM10-Belastung bei trockener Straße höher als bei nasser, in allen anderen Klassen ist es umgekehrt.

Tabelle 31: Abhängigkeit der PM10-Konzentration in Lienz vom Temperaturgradienten Klagenfurt – Magdalensberg (gruppiert in vier gleich große Klassen) und dem Straßenzustand, Okt. 2001 – März 2002

	<-2,6°C		-2,6 bis 0,5°C		0,5 bis 2,4°C		>2,4°C	
	PM10 (µg/m³)	TMW > 50 µg/m³	PM10 (µg/m³)	TMW > 50 µg/m³	PM10 (µg/m³)	TMW > 50 µg/m³	PM10 (µg/m³)	TMW > 50 µg/m³
nass	62	65%	62	64%	42	26%	38	24%
trocken	70	70%	41	30%	35	12%	23	0%

Wie Tabelle 32 zeigt, weist die PM10-Konzentration in Lienz auch keine wesentliche Abhängigkeit von der Schneebedeckung der Tiroler Straße auf. Zwar ist die PM10-Konzentration im Mittel bei schneebedeckter Straße um 6% niedriger als bei schneefreier Straße und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von TMW über 50 µg/m³ ist bei schneefreier Straße höher, doch dürften, wie der Vergleich mit dem Temperaturgradienten zeigt, eher die Ausbreitungsbedingungen für diese Unterschiede verantwortlich sein. Tage mit schneefreier Fahrbahn weisen im Durchschnitt Inversionen auf, Tage mit schneebedeckter Straße nur leicht stabile Schichtung. Eingeschränkt wird die Aussagekraft dieser Daten dadurch, dass von 182 Tagen nur 10 Schneebedeckung und 15 teilweise Schneebedeckung aufwiesen.

Tabelle 32: Abhängigkeit der PM10-Konzentration in Lienz von der Schneebedeckung der Straße, Okt. 2001 – März 2002

	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anteil der Tage mit TMW > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Temperaturgradient Klagenfurt – Magdalensberg
Straße schneebedeckt	44	22%	2,4
Straße teilweise schneebedeckt	38	27%	1,8
Straße schneefrei	47	36%	-0,5

Ein Grund dafür, dass sich in Lienz in den Wintermonaten eine Abnahme der PM10-Belastung bei nasser oder schneebedeckter Straße nicht mit statistischen Methoden nachweisen lässt – im Unterschied zu einer Reihe von Studien, die sich mit der Abschätzung des Beitrags von Wiederaufwirbelung zur PM10-Belastung beschäftigt haben – könnte darin liegen, dass dieser Effekt durch gegenläufige Einflüsse wie die Ausbreitungsbedingungen oder Salz- und Splittstreuung kompensiert wird. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass es im Winter 2001/02 in Lienz extrem wenig Niederschlag gab und daher die Datenbasis relativ schmal ist.

Die PM10-Konzentration ist in Lienz im Mittel an Tagen, an welchen auf der Tiroler Str. Salz gestreut wurde, höher als an Tagen ohne Streuung (Tabelle 33). An 46% der Tage mit Salzstreuung traten PM10-TMW über 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dagegen an 20% der Tage ohne Salzstreuung.

Wie Tabelle 33 zeigt, lässt sich aber keine Abhängigkeit vom Ausmaß der Salzstreuung feststellen, was primär daran liegt, dass im Mittel an Tagen mit starker Salzstreuung wesentlich günstigere Ausbreitungsbedingungen herrschten als an Tagen mit geringer Streuung.

Tabelle 33: Abhängigkeit der PM10-Konzentration in Lienz von der Salzstreuung auf der Tiroler Straße, Okt. 2001 – März 2002

	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anteil der Tage mit TMW > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Temperaturgradient Klagenfurt – Magdalensberg
starke Streuung	38	19%	1,0
geringe Streuung	60	61%	-1,8
keine Streuung	38	20%	0,6

Ein relativ ähnliches Bild zeigt der Zusammenhang mit der Salzstreuung am aktuellen Tag sowie bis zu vier Tage davor (Tabelle 34). Während 42% der Tage mit Salzstreuung TMW über 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aufwiesen, waren es nur 15% der Tage ohne Streuung. Allerdings lässt sich auch hier kein Zusammenhang mit dem Ausmaß der Salzstreuung feststellen, da Tage mit starker Salzstreuung im Mittel wesentlich günstigere Ausbreitungsbedingungen herrschten als an Tagen mit geringer Streuung.

Tabelle 34: Abhängigkeit der PM10-Konzentration in Lienz von der Salzstreuung innerhalb der letzten fünf Tage auf der Tiroler Straße, Okt. 2001 – März 2002

	PM10 (µg/m³)	Anteil der Tage mit TMW > 50 µg/m³	Temperaturgradient Klagenfurt – Magdalensberg
starke Streuung	45	30%	0,3
geringe Streuung	56	54%	-1,4
keine Streuung	33	15%	0,9

Dieser überraschende Zusammenhang zwischen dem Ausmaß von Salzstreuung bzw. der Schneebedeckung der Straße und dem Temperaturgradienten ist teilweise damit zu erklären, dass starke Salzstreuung bzw. Schneebedeckung an Tagen mit Niederschlag und vergleichsweise günstigen Ausbreitungsbedingungen stattfand.

Um den Einfluss des Temperaturgradienten und der Salzstreuung zu trennen, wird in Tabelle 35 die Temperaturdifferenz Klagenfurt – Magdalensberg in vier (annähernd) gleich große Klassen (bis -2,6°C, bis 0,5°C, bis 2,4°C, > 2,4°C) gruppiert und für jede dieser Klassen die PM10-Belastung an Tagen mit und ohne Salzstreuung auf der Tiroler Str. ausgewertet. Es zeigt sich, dass die PM10-Belastung – sowohl der Mittelwert als auch der Anteil der Tage mit TMW über 50 µg/m³ - einen sehr klaren Zusammenhang sowohl mit dem Temperaturgradienten als auch mit der Salzstreuung aufweisen. Bei Temperaturgradienten zwischen -2,4 und 0,5°C ist die PM10-Konzentration im Mittel an Tagen mit Salzstreuung um 67% höher als an Tagen ohne Streuung, bei Temperaturgradienten zwischen 0,5 und 2,4°C um 21%, bei Gradienten über 2,4°C um 50% (bei Temperaturgradienten unter -2,4°C liegt der Unterschied bei 18%, ist aber, da an nur 3 von 45 Tagen keine Streuung erfolgte, wenig aussagekräftig).

Tabelle 35: Abhängigkeit der PM10-Konzentration in Lienz vom Temperaturgradienten Klagenfurt – Magdalensberg (gruppiert in vier gleich große Klassen) und der Salzstreuung innerhalb der letzten fünf Tage auf der Tiroler Straße, Okt. 2001 – März 2002

	<-2,6°C		-2,6 bis 0,5°C		0,5 bis 2,4°C		>2,4°C	
	PM10 (µg/m³)	TMW > 50 µg/m³	PM10 (µg/m³)	TMW > 50 µg/m³	PM10 (µg/m³)	TMW > 50 µg/m³	PM10 (µg/m³)	TMW > 50 µg/m³
Streuung	65	67	60	61	41	19	33	14
keine Streuung	55	33 ⁴¹	36	24	34	8	22	0

Auch bei der (in Tabelle 35 nicht angegebenen) Differenzierung nach der Intensität der Salzstreuung zeigt sich für jede der Temperaturgradient-Klassen, dass Tage mit starker Salzstreuung höhere PM10-Belastungen aufwiesen als Tage mit geringer Salzstreuung.

7.10 Extrapolation der PM10-Belastung in Lienz

Aufbauend auf die in Tabelle 29 dokumentierte Abhängigkeit der PM10-Konzentration in Lienz vom Temperaturgradienten Klagenfurt – Magdalensberg (die noch etwas ausgeprägter ist als jene von Temperaturprofilen im Raum Lienz) wird

⁴¹ nur 3 Tage

die PM10-Konzentration in Lienz für die Jahre 1996 bis 2002 abgeschätzt. Dafür werden die Temperaturprofilaten der Jahre 1996 bis 2002 in entsprechende Klassen eingeteilt und für jede Klasse die Häufigkeit von PM10-TMW über 50 µg/m³ errechnet (Tabelle 36).

Tabelle 36: Extrapolation der Anzahl der PM10-TMW in Lienz für die Jahre 1996 bis 2002

1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
68	67	60	71	68	67	68

Insgesamt zeigt die so abgeschätzt PM10-Belastung in Lienz keinen Trend. Ein Vergleich mit gemessenen PM10-Werten ist insofern nur eingeschränkt möglich, als 2001 die PM10-Messung erst am 1. März begann; zwischen März und Dezember 2001 traten in Lienz 45 TMW über 50 µg/m³ auf. Da im Jänner und Februar 2001 sehr ungünstige Ausbreitungsbedingungen herrschten, bedeutet der Messbeginn am 1.3. eine deutliche Unterschätzung der PM10-Belastung. Zum Vergleich traten in Klagenfurt Völkermarkterstr. im Jahr 2001 60 TMW über 50 µg/m³ auf, zwischen März und Dez. 2001 37 TMW, d.h. deutlich weniger als in Lienz. Geht man davon aus, dass zumindest an jenen 23 Tagen, die im Jänner und Februar 2001 in Klagenfurt PM10-TMW über 50 µg/m³ aufwiesen, auch in Lienz die PM10-Konzentration über 50 µg/m³ lag, so kommt man für Lienz für das Jahr 2001 auf mindestens 67 TMW über 50 µg/m³ im Jahr 2001, d.h. jene Anzahl, welche auch die in Tabelle 36 dargestellte Abschätzung ergibt.

Im Jahr 2002 traten in Lienz 37 PM10-TMW über 50 µg/m³ auf, d.h. deutlich weniger als jene 68 Tage, die die Extrapolation auf Basis der Ausbreitungsbedingungen (abgeleitet für den Zeitraum März 2001 – März 2002) ergibt. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf einen starken Rückgang der PM10-Emissionen in Lienz, wie er in Kapitel 4 dokumentiert ist.

Offensichtlich hat die Substitution an Einzelfeuerungsanlagen zur Wohnraum- und Arbeitstättenbeheizung durch das Fernheizwerk einen wesentlichen Effekt. Mit der Erhöhung der Anschlüsse im Jahr 2003 kann unter gleichbleibenden Ausbreitungsbedingungen mit einer weiteren Reduktion an Überschreitungen gerechnet werden.

7.11 Resümee

Die **höchsten Konzentrationen von PM10** und den gasförmigen Schadstoffen treten in Lienz bei sehr **niedrigen Windgeschwindigkeiten** auf, was ein wesentlicher Hinweis auf einen **dominierenden Einfluss sehr nahe gelegener Quellen** (Verkehr und Hausbrand im Stadtzentrum von Lienz) ist.

Es gibt **keine Hinweise** auf PM10-Ferntransport oder auf einen Beitrag von **Winderosion** zur PM10-Belastung

Die mittleren Tagesgänge aller in Lienz gemessenen Schadstoffe verlaufen relativ parallel und deuten somit auf überwiegend gleichartige Quellen hin. Sie unterscheiden sich von den Verhältnissen in Klagenfurt und Villach – wo durchwegs ähnliche Ausbreitungsbedingungen herrschen – v.a. durch ein späteres und höheres PM10-Konzentrationsmaximum am Vormittag. Die mittleren Tagesgänge entsprechen weitgehend dem **Tagesverlauf des Kfz-Verkehrs**, der morgens

vergleichsweise langsam ansteigt, aber über Mittag kaum zurückgeht. Da der **Hausbrand** einen ähnlichen Tagesgang aufweisen dürfte, ist eine eindeutige Zuordnung zu einem Verursacher nicht möglich.

Die Konzentration aller in Lienz gemessener Schadstoffe weist betragsmäßig hohe Antikorrelationen (um $-0,7$) mit den TMW des Temperaturgradienten zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstraße, zwischen Bürgerau und Vorhegg, aber auch zwischen Klagenfurt und Magdalensberg auf. Im Winter zeigen die gasförmigen Schadstoffe ähnlich hohe, PM10 aber deutlich geringere Korrelationen mit diesen Temperaturprofilen als im Jahresmittel – dies dürfte mit dem gegenläufigen Einfluss des bodennahen Temperaturgradienten auf die Konzentration primärer (am Boden emittierter) und sekundärer (in einer mehrere 100 m mächtigen Luftschicht gebildeter) Aerosole zusammen hängen.

Die Häufigkeit von PM10-TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zeigt allerdings eine sehr klare Abhängigkeit vom Temperaturgradienten sowohl in den unteren 40 m als auch in den unteren 500 m über Talboden und belegt damit den dominierenden Einfluss der lokalen meteorologisch/topographischen Ausbreitungsbedingungen.

Die PM10-Belastung zeigt in Lienz eine klare Abhängigkeit von Salzstreuung auf der Tiroler Str.; wurde am aktuellen Tag oder mehrere Tage zuvor gestreut, ist die PM10-Belastung deutlich erhöht.

Der Zusammenhang zwischen PM10-Belastung und Straßenzustand (Straße nass oder trocken bzw. schneebedeckt oder schneefrei) gibt keinen Hinweis darauf, dass Aufwirbelung von Straßenstaub eine wesentliche Rolle spielt. Vielmehr ist die PM10-Belastung im Mittel bei nasser Straße höher als bei trockener. Dies kann damit erklärt werden, dass Salzstreuung überwiegend bei nasser Straße erfolgte und somit der Einfluss von Streuung stärker zum Tragen kommt.

8 Chemische Zusammensetzung der PM10-Fraktion

8.1 Auswertung der chemischen Analyse der PM10 Filter

Für die chemische Analyse wurden im Winter 2002/02 – von 5.12. 2002 bis 8.1.2003 – Quarzfaserfilter besaugt. Von diesen wurden die in Tabelle 37 genannten Filter für die Analyse bzw. für die mikroskopische und rasterelektronenmikroskopische (REM) Untersuchung ausgewählt. Die Dokumentation der Analysemethoden und –ergebnisse findet sich in Anhang 4.

Um eine Zuordnung zu möglichen Quellen der PM10-Belastung durchführen zu können, wurden folgende Inhaltsstoffe analysiert:

Ammonium, Sulfat, Nitrat: Diese Ionen entstehen in der Atmosphäre durch chemische Umwandlungsprozesse aus den Vorläufersubstanzen NH_3 , SO_2 und NO_x .

Na, K, Ca, Mg, Cl: Na und Cl sind insbesondere im Winter oft auf den Einsatz von Auftaumitteln zurückzuführen; Kalium kann ein Tracer für Biomassefeuerungen sein, während Ca und Mg in erster Linie in der groben Fraktion (mineralisches Material) zu finden sind (Quellen: Straßenabrieb, Einsatz von Streusplitt, aber auch Auftaumittel).

„Elementarer Kohlenstoff/Organischer Kohlenstoff“ (EC/OC/OM): EC stammt in erster Linie aus Verbrennungsprozessen (‚Dieselruß‘), wohingegen die Zusammensetzung und Herkunft des organischen Kohlenstoffs weniger klar ist. Ein Teil wird bei (unvollständiger) Verbrennung aus den gleichen Quellen wie der EC freigesetzt. Weitere Quellen für organischen Kohlenstoff sind sekundäre Aerosole, die aus (anthropogenen und biogenen) NMVOC entstehen, sowie biologische Materialien (letztere spielen allerdings im Winter kaum eine Rolle). Da mit organischem Kohlenstoff immer auch Heteroelemente (H, N, O, etc.) verbunden sind, wird zur Berechnung des Gewichts des organischen Materials (OM) das Gewicht des organischen Kohlenstoffs mit dem Faktor von üblicherweise 1,4 multipliziert (TURPIN 2000).

Ein nicht unerheblicher Teil an EC und OC kann an verkehrsbelasteten Standorten auch aus dem Reifenabrieb stammen. In RAUTERBERG-WULFF 1998 wird dieser mit etwa 20% Anteil an EC abgeschätzt. Das Verhältnis OC zu EC in Autoreifen beträgt lt. RAUTERBERG-WULFF etwa 1,55.

Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Fe: Schwermetalle stammen aus unterschiedlichen Quellen und lassen sich als Tracer einsetzen.

Nicht-analyzierter Rest:

Da für die Bestimmung der PM10-Konzentration Filter aus Quarzfasern verwendet wurden, können nichtlösliche Inhaltsstoffe nicht analysiert werden. Dies betrifft vor allem mineralische Komponenten wie sie z.B. durch den Straßenabrieb, durch Wiederaufwirbelung von Straßenstaub oder durch Bautätigkeit entstehen. Um dennoch Aussagen über diese Komponenten tätigen zu können, wurden ausgewählte Filter auch mit dem Rasterelektronenmikroskop und EDX zur chemischen Charakterisierung untersucht. Wasser ist auch zu den nicht analysierten Komponenten zu zählen (es gibt in der Literatur einige Versuche, den Wasseranteil zu quantifizieren, wobei Anteile bis über 10% gefunden wurden).

Zu berücksichtigen bei der Beurteilung der chemischen Analyse der Filterproben vom Dezember 2002 ist, dass sich zwischenzeitlich die Emittentenstruktur durch die Installation der Fernwärme sowie Beendigung der Bautätigkeit erheblich verändert hat. Auch waren die meteorologischen Bedingungen im Dezember 2002 wesentlich „günstiger“ als im Jahr zuvor.

Auch ist festzuhalten, dass die routinemäßige Messung der PM10-Konzentration mittels automatischem Monitor auf Basis der beta-Absorption erfolgt. Bei dieser Methode können deutliche Minderbefunde im Vergleich zur gravimetrischen Methode bei flüchtigen Komponenten, insbesondere Ammoniumnitrat, Wasser und organischem Material erfolgen. Deshalb können sich die relativen Beiträge dieser Komponenten zur gemessenen Konzentration zwischen den beiden Methoden signifikant unterscheiden.

Tabelle 37: Ausgewählte PM10-Filter für chemische und rasterelektronenmikroskopische Analyse, Winter 2002/03 (fett: Filter für REM-Analyse)

Datum	PM10 gravimetrisch (µg/m ₃)	PM10 kontinuierlich (µg/m ₃)	Meteorologische Situation und Verkehr
Do 12.12.02	53	54	zeitweise Inversion
Fr 13.12.02	47	50	Inversion
Mo 16.12.02	47	50	zeitweise Inversion
Di 17.12.02	47	51	zeitweise Inversion
Do 19.12.02	51	50	zeitweise stabile Schichtung
Sa 20.12.02	57	60	stabile Schichtung
So 21.12.02	58	59	stabile Schichtung
Mo 22.12.02	52	52	stabile Schichtung, Sonntag (wenig Verkehr)
Do 26.12.02	40	38	zeitweise stabile Schichtung, Feiertag (wenig Verkehr)
Sa 28.12.02	43	43	zeitweise Inversion

Dabei wurden bevorzugt Tage mit hoher PM10-Konzentration ausgewählt, die unterschiedliche Wochentage abdecken. Der 26.12. wurde als Vergleichstag mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen, aber niedrigen Emissionen gewählt.

Bei Vergleich der chemischen Analysen mit den REM und EDX-Analysen zeigt sich eine gute Übereinstimmung (siehe Anhang 4)

Abbildung 30 zeigt die Massen sowie die Anteile der analysierten Komponenten an den genannten Tagen, Tabelle 38 gibt eine Übersicht über die meteorologischen Verhältnisse an diesen Tagen.

Der Wasseranteil wurde über den Anteil an Ammoniumsulfat berechnet (40% bei 50% Luftfeuchtigkeit) abgeschätzt. Da auch andere Staubinhaltsstoffe Wasser adsorbieren oder absorbieren können, stellt dies eine untere Grenze des Wassergehalts dar.

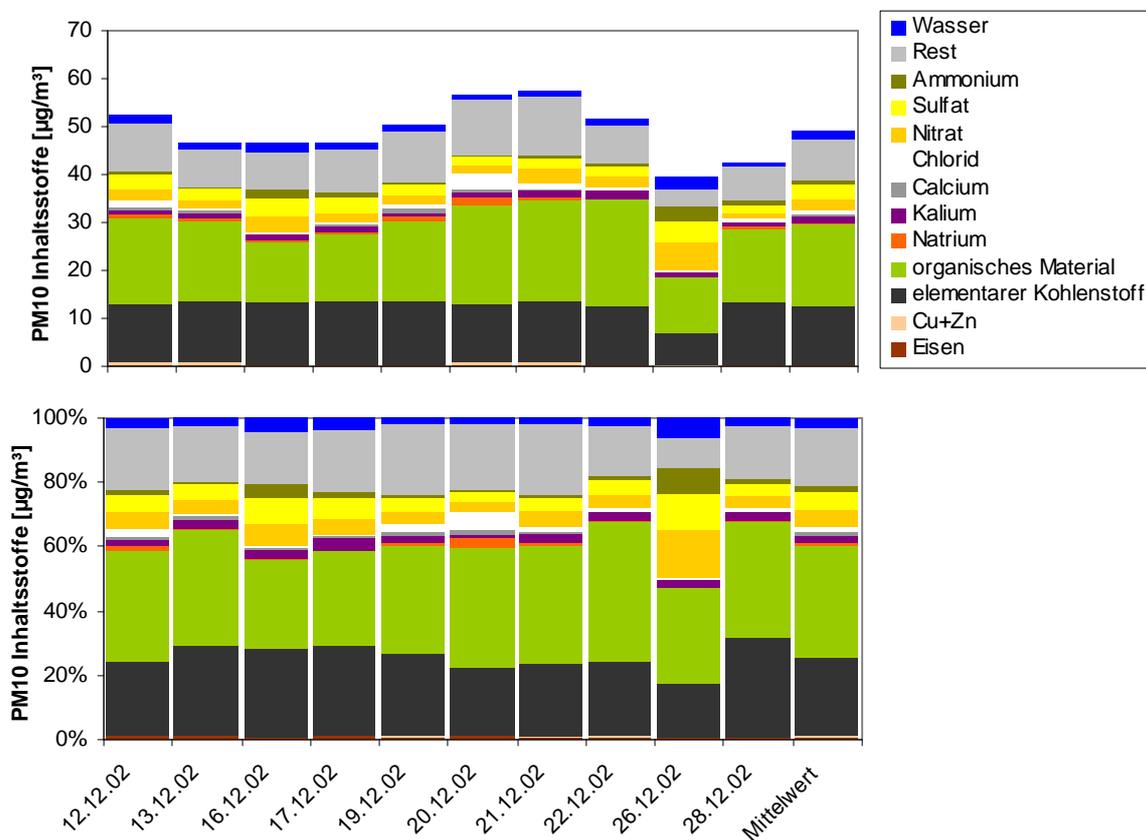


Abbildung 30: Massen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oben) und Anteile in % (unten) der analysierten Komponenten (Schwermetalle und Mg wurden nicht dargestellt, da deren Mengenanteil sehr gering ist)

Der Vergleich mit Klagenfurt Völkermarkterstr., wo im Dezember 2002 und Jänner 2003 ebenfalls von 10 Tagen PM10-Proben analysiert wurden, zeigt folgende wesentliche Gemeinsamkeiten oder Differenzen:

- ü sehr ähnliche mittlere OM-Konzentration (Lienz $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Klagenfurt $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- ü etwas höhere mittlere EC-Konzentration in Lienz ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Klagenfurt $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- ü wesentlich niedrigere Konzentrationen sekundärer Ionen in Lienz ($6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gegenüber $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Klagenfurt, wobei die Unterschiede bei Ammonium, Sulfat und Nitrat ungefähr gleich sind)
- ü der nicht analysierte Rest macht in Lienz mit $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (21%) weniger aus als in Klagenfurt mit $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- ü der Kalium-Anteil ist in Lienz (2,7%) deutlich höher als in Klagenfurt (1,1%) oder Wien (1,4%); dies ist ein Hinweis auf einen Beitrag von Holzheizungen

Tabelle 38: Übersicht über die meteorologischen Verhältnisse an den analysierten Tagen.

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 gravimetrisch ($\mu\text{g}/\text{m}_3$)	PM10 kontinuierlich ($\mu\text{g}/\text{m}_3$)
12.12.	Hoch über Nordeuropa	1,1	-1	3	53	54
13.12.	Hoch über Nordeuropa	1,1	-2	7	47	50
16.12.	kontinentales Tief	1,1	2	2	47	50
17.12.	kontinentales Tief	Ausfall			47	51
19.12.	Hoch über Mitteleuropa	1,9	5	5	51	50
20.12.	Hoch über Mitteleuropa	1,1	-7	-1	57	60
21.12.	West	1,1	-4	0	58	59
22.12.	West	0	-4	4	52	52
26.12.	Hoch über Osteuropa	1,1	3	5	40	38
28.12.	Südwest	1,1	1	3	43	43

Aufgrund der beschränkten Probenanzahl (10 Tage) sind die Analyseergebnisse von Lienz vom Dezember 2002 nur bedingt aussagekräftig und vergleichbar.

Nichtsdestotrotz wird in Tabelle 39 ein Vergleich mit entsprechenden Daten von PM10-Analysen aus Klagenfurt (10 Tage, Dezember 2002 und Jän. 2003), Wien Spittelauer Lände (Oktober 1999 bis Oktober 2002, jeder sechste Tag), Illmitz (Oktober 1999 bis Oktober 2002, jeder sechste Tag), Zürich (Juli 1998 – Feb. 1999), Basel (Jän. 1998 – März 1999), Bologna (Jahr 2001), Barcelona (Juni 1999 – Juni 2000) und Bern (Jän. 1998 – März 1999)⁴² sowie Berlin Nansenstr., Berlin Frankfurter Allee und Neuglobsow (jeweils Jän. – Dez. 1998)⁴³ gegeben. Bei Zürich, Basel, Berlin Nansenstr. und Bologna handelt es sich um zentrumsnahe, aber nicht verkehrsnahen Standorte, bei Wien, Barcelona, Bern und Berlin Frankfurter Allee um verkehrsnahen Standorte, bei Illmitz und Neuglobsow um ländliche Hintergrundstandorte.

⁴² Putaud, J.-P., et al., A European Aerosol Phenomenology, European Commission, 2002

⁴³ Lenschow, P. et al. Some Ideas about the sources of PM10

Tabelle 39: Massenanteile der analysierten Komponenten von PM10 in Lienz und anderen europäischen Städten (%)

	EC	OM	Sulfat	Nitrat	Ammonium	Eisen	As, Cd, Ni, Pb	Na, K, Mg, Ca	Cl	Rest
Lienz	25	34	6	6	2	1	<1	4	2	21
Klagenfurt	17	29	8	9	5	2	<1	4	3	25
Wien Spittelau	20	20	9	8	4	4	<1	5	2	30
Wien Liesing	14	24	12	15	8		<1	9		9
Illmitz	8	23	18	11	9	<1	<1	3	<1	27
Neuglobsow	10	16	21	13	11					30
Zürich	9	20	14	14						20
Berlin Nansenstr.	14	20	16	12	9				2	30
Basel	8	19	15	12						19
Bologna	7	21	11	21						20
Barcelona	6	23	13	12						9
Bern	14	23	8	8						20
Berlin Frankfurter A.	17	21	11	9	6				2	35

Donnerstag, 12. und Freitag, 13. Dezember

Am 12. und 13.12. lag Österreich am Südwestrand eines ausgedehnten Hochdruckgebietes. In Lienz war es tagsüber sonnig, die Morgentemperatur betrug –7°C bzw. –4°C, die Höchsttemperatur –1°C bzw. +2°C. Zwischen Lienz und Vorhegg bestand durchwegs stabile Schichtung, in der Nacht 12./13.12. eine starke Inversion. Die Windgeschwindigkeit war mit bis 2 m/s relativ hoch. An beiden Tagen bildete sich eine Talwindzirkulation mit Südost- bis Südwind über Mittag und Nordwestwind in der übrigen Zeit aus.

Die PM10-Konzentration war in Lienz jeweils vormittags und abends stark erhöht, sie stieg ca. 2 h später als NO und CO an und wies vormittags einen Verlauf parallel zu NO₂ auf, abends aber noch erhöhte Werte, nachdem NO, NO₂ und CO bereits zurückgingen. Über Mittag ging die Konzentration aller Schadstoffe deutlich zurück.

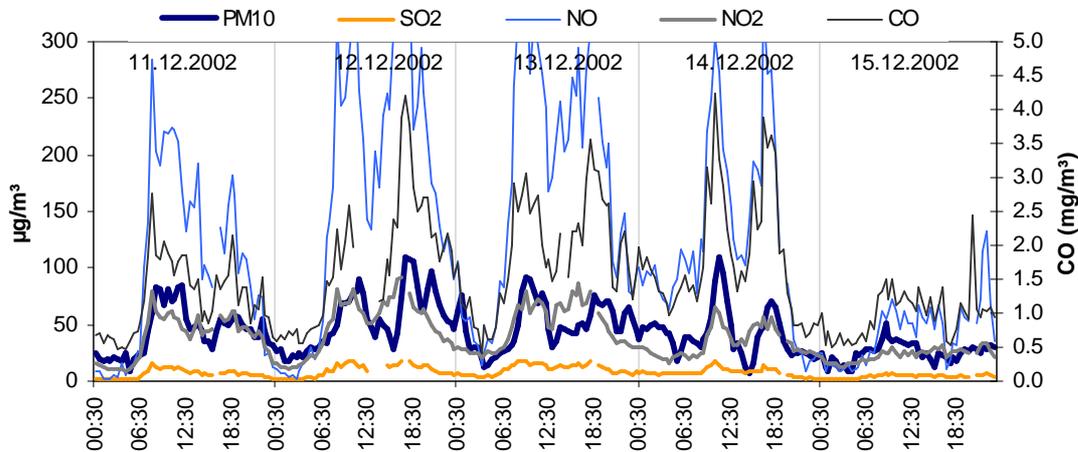


Abbildung 31: Verlauf der HMW von PM₁₀, SO₂, NO, NO₂ und CO an der Station Lienz Amlacherkreuzung Völkermarkterstraße zwischen 11.12.2002 und 15.12.2002

EC und OM sowie Sulfat und Nitrat wiesen an beiden Tagen einen ungefähr durchschnittlichen Massenanteil auf, die Konzentration von Ammonium war am 12.12. unterdurchschnittlich. Über dem Mittel der 10 Proben lag NaCl am 12.12., was auf die teilweise intensive Salzstreuung der Tage davor zurückgehen könnte.

Die REM-Analyse vom 12.12. ergab Dieselruß-Partikel, daneben Glimmerminerale (geogen, u.U. Streumaterial) sowie globulare Glaspartikel, die aus Hausbrand und KFZ stammen können. Der geogene Phasenbestand setzte sich am 12.12. (und auch auf den anderen untersuchten Filtern) hauptsächlich aus Glimmermineralen zusammen. Untergeordnet wurden auf den Filtern auch Quarz, Amphibole, Dolomit und Feldspäte detektiert. Diese Zusammensetzung entspricht in etwa dem geologischen Hintergrund der Region. Da in Hinblick auf die niedrige Windgeschwindigkeit Winderosion ausgeschlossen werden kann, kann der geogene Phasenbestand vor allem durch Wiederaufwirbelung durch den Straßenverkehr, Straßenabrieb und Bautätigkeit verursacht sein.

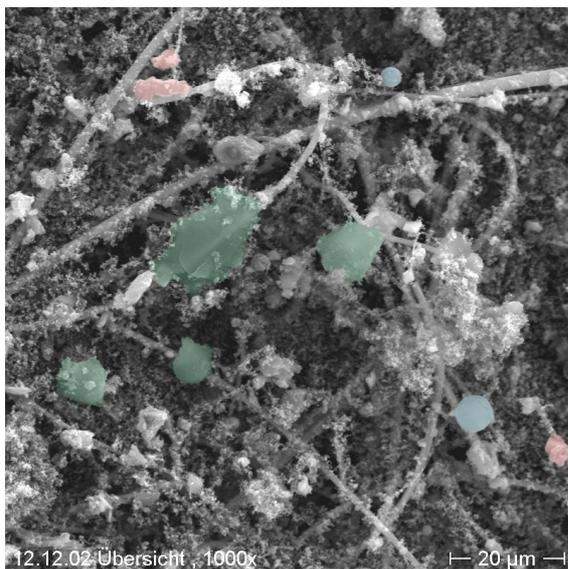


Abbildung 32: PM₁₀-Filter vom 12.12.2002 (grün: Glimmermineral, rot: Salz, blau: globulare Glaspartikel). Die Fasern sind das Filtermaterial.

Montag, 16. und Dienstag, 17. Dezember

Am 16.12. lag Österreich im Übergangsbereich zwischen einem Hochdruckgebiet mit Kern über Russland und einem Tief über Nordwestdeutschland, von welchem sich eine Frontalzone nach Süditalien (mit weiterer Tiefbildung) erstreckte. Dieses Tief verlagerte sich am 17.12. ostwärts, die o.g. Frontalzone erreichte am 17.12. mittags die Alpen. An der Alpennordseite schneite es, während es im Süden noch windschwach und teilweise neblig war.

In Lienz war der 16.12. bedeckt, die Temperatur lag tagsüber um -2°C . Nachdem gegen Mittag die Temperatur in Vorhegg auf $+1^{\circ}\text{C}$ anstieg, zeigt das Temperaturprofil zwischen beiden Stationen eine starke Inversion. Am 17.12. erlebten beide Stationen eine kräftige Tageserwärmung bei klarem Himmel, an beiden Stationen wurden $+4^{\circ}\text{C}$ gemessen, womit die Temperaturschichtung weiterhin stabil war. Erst ab ca. 16:00 bewirkte die rasche Abkühlung in Vorhegg (auf -2°C) eine neutrale Schichtung. Die Windgeschwindigkeit lag durchwegs unter 1 m/s, an beiden Tagen bildete sich eine Talwindzirkulation aus.

Die PM₁₀-Konzentration stieg am 16.12. nur sehr langsam an (während NO und CO bereits morgens rasch anstiegen) und erreichte die höchsten Werte (um $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) erst um 20:00. In der Nacht fiel die Konzentration von NO, CO und PM₁₀ nur sehr langsam ab. Am 17.12. stieg die PM₁₀-Konzentration vormittags parallel zu NO₂, aber deutlich später als NO und CO auf bis $120\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ an, ging am frühen Nachmittag deutlich zurück und erreichte um 16:00 nochmals um $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, ehe die Ausbildung neutraler Schichtung einen deutlichen Rückgang der Konzentration aller Schadstoffe bewirkte.

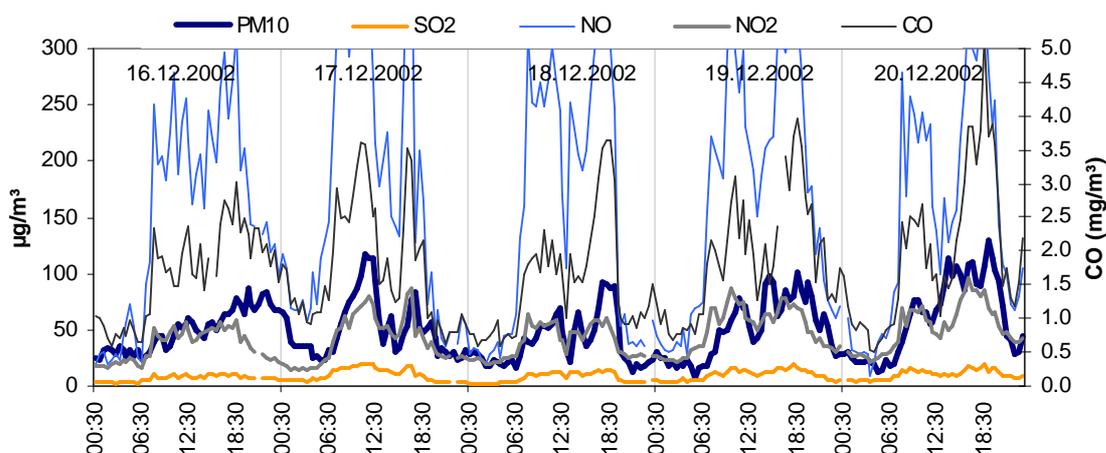


Abbildung 33: Verlauf der HMW von PM₁₀, SO₂, NO, NO₂ und CO an der Station Lienz Amlacherkreuzung Völkermarkterstraße zwischen 16.12.2002 und 20.12.2002

Der Anteil von EC war am 16. und 17.12. etwas unterdurchschnittlich, OM etwas über dem Durchschnitt. Deutlich unter dem Mittel der 10 Proben lag NaCl, obwohl an beiden Tagen intensive Salzstreuung erfolgte. Auffallend ist der hohe Anteil an sekundären Ionen (19% gegenüber 13% im Mittel) am 16.12., wobei sowohl Sulfat, Nitrat und Ammonium erhöht waren. Möglicherweise steht das späte PM₁₀-Konzentrationsmaximum, das nicht mit den primären Schadstoffen parallel ging, mit der erhöhten Konzentration sekundärer Ionen in Zusammenhang; die meteorologischen

Bedingungen geben jedoch keinen Hinweis auf die Herkunft dieser sekundären Ionen. Am 17.12. wiesen die sekundären Ionen einen Anteil von 13% auf.

Donnerstag, 19. bis Sonntag, 22. Dezember

Am 19.12. lag Österreich im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes mit Kern über Mittel- und Nordwesteuropa, das sich bis zum 21.12. nach Südosteuropa verlagerte. Daher erreichten am 22.12. maritime Luftmassen die Nordalpen, am 23.12. auch den Bereich südlich der Alpen. In Lienz war es an allen Tagen zumeist sonnig, die Temperatur wies starke Tagesamplituden auf. Eine ausgeprägte Inversion zwischen Lienz und Vorhegg bildete sich ab 20.12. morgens aus. Die Windgeschwindigkeit lag bis 21.12. 23:00 unter 1 m/s, es bildete sich stets eine Talwindzirkulation aus. Zu Beginn des 22.12. sowie in der folgenden Nacht stieg die Windgeschwindigkeit auf 2 m/s. Parallel dazu stieg die Temperatur jeweils deutlich an, d.h. es drang jeweils wärmere Luft von Norden nach Osttirol vor.

Die PM10-Konzentration wies an allen Tagen Maxima vormittags und gegen Abend auf. Vormittags stieg die PM10-Konzentration jeweils parallel zu NO₂ und ca. 2 h zeitversetzt zu NO und CO. Nachmittags fiel das PM10-Maximum bereits in eine Zeit fallender NO₂-, NO- und CO-Konzentration, fiel aber mit einem flachen SO₂-Maximum zusammen. Ungewöhnlich ist am 19.12. ein kurzzeitiger starker Konzentrationsanstieg am frühen Nachmittag, parallel zu niedriger NO- und CO-Konzentration.

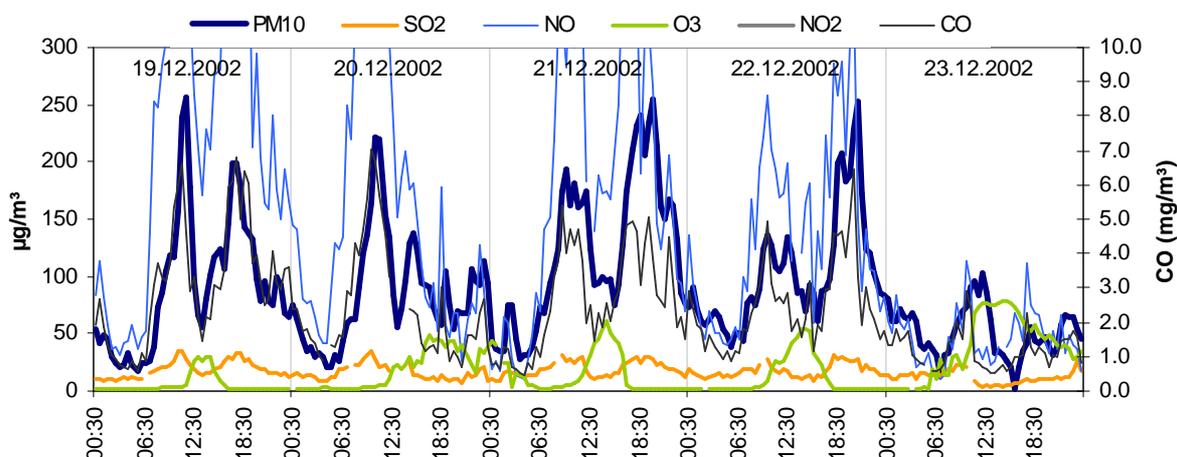


Abbildung 34: Verlauf der HMW von PM10, SO₂, NO, NO₂, Ozon und CO an der Station Lienz Amlacherkreuzung Völkermarkterstraße zwischen 19.12.2002 und 23.12.2002

Der EC-Anteil am PM10 war ab 20.12. etwas unterdurchschnittlich, der OM-Anteil am 20. und 21.12. leicht überdurchschnittlich, am 22.12. mit 43% (gegenüber 34% im Mittel) aber außergewöhnlich hoch. Die sekundären Ionen zeigten mit 7 bis 10% unterdurchschnittliche Anteile, v.a. am 20.12. mit 7%; insgesamt lag Sulfat deutlicher unter dem Mittel als Nitrat. Insgesamt überdurchschnittlich war der NaCl-Beitrag, ganz besonders am 20.12. mit 9%. Dies kann auf die intensive Salzstreuung an diesem und den vorangegangenen Tag zurückgeführt werden, allerdings gibt es keine Erklärung dafür, warum gerade am 20.12., nicht aber an den Tagen davor und danach derart hohe Salzanteile auftraten, obwohl lt. Einsatzbericht an allen Tagen ein etwa gleicher Straßenzustand (tw. naß) herrschte.

Auffällig ist, dass am So 22.12. der EC-Anteil ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nicht niedriger war als an den Tagen davor, allerdings zeigen die REM-Analysen deutlich weniger Dieselruß als an den anderen Tagen. Das EC/NO-Verhältnis ist am Samstag und Sonntag (21. und 22.12.) mit 0,11 höher als am Donnerstag und Freitag mit 0,09 – ein Hinweis, dass die NO-Konzentration am Wochenende stärker zurückging als jene von EC, und dass somit neben dem KFZ-Verkehr noch andere Emittenten zur EC-Belastung beitragen, die keinen derartigen Wochengang aufweisen, wie vor allem der Hausbrand.

Die REM-Analysen zeigen am 20. und 21.12. Dieselruß als häufigste Partikel, am 20.12. zudem NaCl. Daneben kommen am 20. und 21.12. Glimmerminerale, Dolomit und globulare Glaspartikel häufig vor. Am 22.12. ist Quarz jenes Material, welches am häufigsten auf den Filtern detektiert wurde – obwohl gerade am 22.12. der Anteil des nicht analysierten Restes mit 9% besonders gering war.

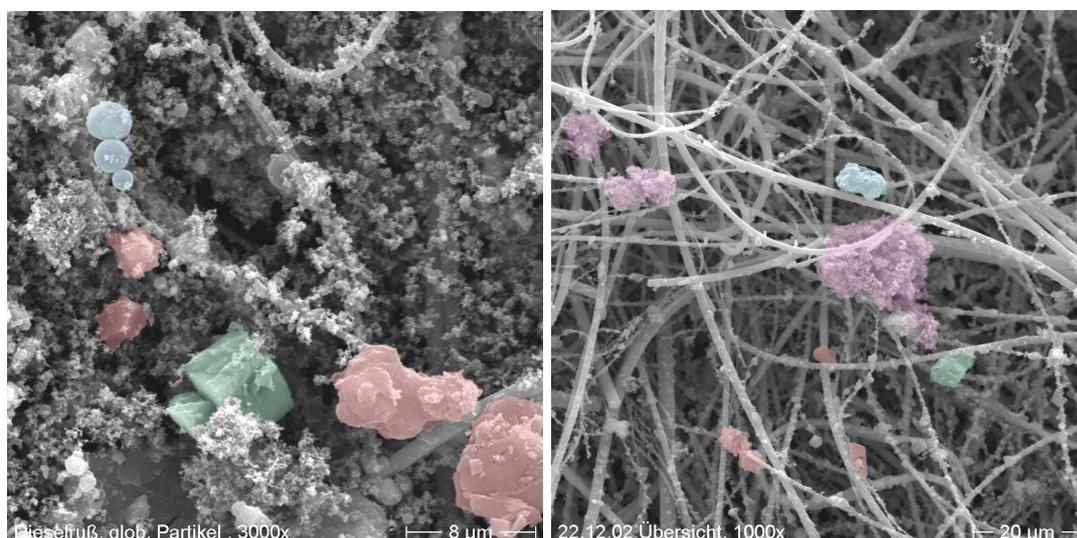


Abbildung 35: REM-Aufnahmen von PM10-Filter. Links: 20.12.2002, rechts: 22.12.2002 (rot: Glimmermineral, grün: Salz, blau: globulare Glaspartikel, violett: Dieselrußaggregat)⁴⁴

Donnerstag, 26. Dezember

Am 26.12. lag Österreich am Westrand eines Hochdruckgebietes mit Kern über Rumänien. In Lienz war es zeitweise sonnig und sehr windschwach. Der Temperaturgradient zwischen Lienz und Vorhegg war zunächst neutral, im Tagesverlauf bildete sich stabile Schichtung aus.

Die PM10-Konzentration stieg darüber nur leicht an auf Spitzenwerte um $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um 13:00 und 19:00. Die NO- und CO-Konzentration stieg ab 9:00, d.h. relativ spät, an und erreichte maximal um $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $2 \text{ mg}/\text{m}^3$. Das Belastungsbild spiegelt die Auswirkungen relativ niedriger Verkehrsemissionen bei ungünstigen Ausbreitungsbedingungen wieder.

⁴⁴ die Fäden in den REM-Bildern sind das Filtermaterial

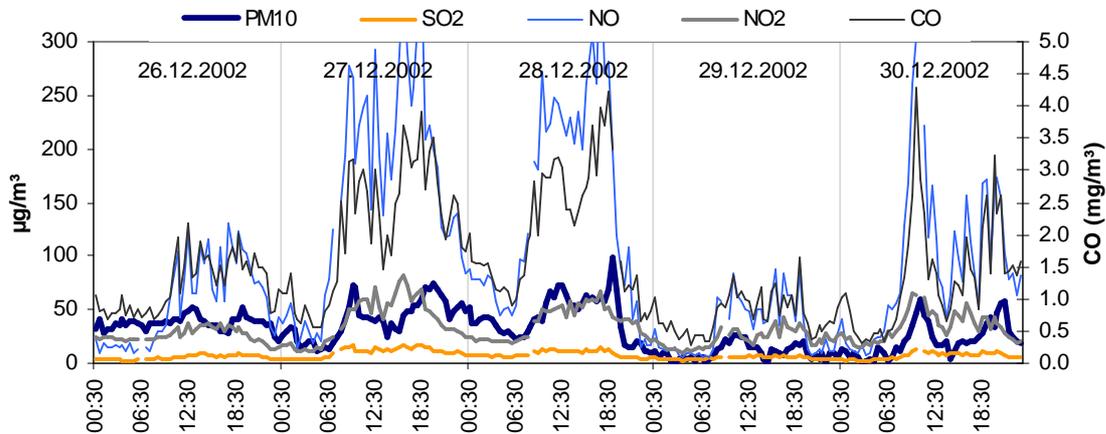


Abbildung 36: Verlauf der HMW von PM₁₀, SO₂, NO, NO₂ und CO an der Station Lienz Amlacherkreuzung Völkermarkterstraße zwischen 26.12.2002 und 30.12.2002

Auffallend am 26.12. ist der niedrige EC-Anteil von 17%, der somit deutlich unter jenem am Sonntag 22.12. (23%) lag. Der OM-Anteil war mit 29% etwas unterdurchschnittlich. Das EC/NO-Verhältnis war mit 0,13 sehr hoch. Deutlich unterdurchschnittliche Beiträge lieferte NaCl (dies könnte auf den nassen Straßenzustand zurückzuführen sein).

Mit 13 µg/m³ bzw. 34% war der Anteil sekundärer Ionen ungewöhnlich hoch, wobei Ammonium und Nitrat noch deutlicher erhöht waren als Sulfat.

Am 26.12. betrug die PM₁₀-Konzentration in Vorhegg 17 µg/m³. Das Belastungsbild in Vorhegg zeigt klar, dass diese Messstelle im Bereich NO_x- (und NO-) reicher und sehr ozonarmer Luftmassen aus dem Tal lag und die hohe PM₁₀-Belastung in Vorhegg durch Schadstofftransport aus dem Gailtal (oder dem Klagenfurter Becken) bestimmt wurde, jedenfalls aber nicht durch Ferntransport. Die extrem niedrige Ozonkonzentration in Vorhegg zeigt, dass sich oberhalb dieser Messstelle eine ausgeprägte Inversion befand.

Damit ist die hohe Konzentration sekundärer Ionen jedenfalls auf Bildung innerhalb des Lienzer Beckens, nicht auf Ferntransport zurückzuführen.

Die REM-Analyse ergab Dieselruß und globulare Glaspartikel als häufigste Teilchen, daneben kohliges Material (Verbrennungsrückstände) und Glimmerminerale.

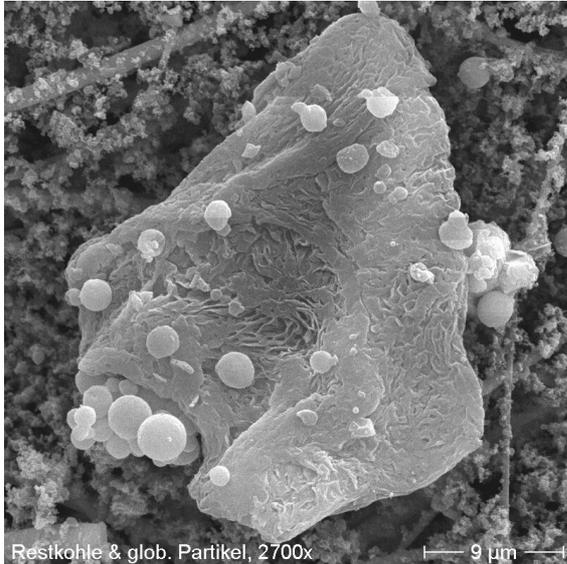


Abbildung 37: REM-Aufnahme eines Stücks Restkohle mit anhaftenden globularen Partikel (Hausbrand)

Samstag, 28. Dezember

Am 28.12. bestimmten ein Hochdruckgebiet über der Ägäis und ein Tief über der Nordsee das Wetter in Mitteleuropa. Mehrere Frontalzonen lagen über Mitteleuropa, von Südwesten wurden maritime Luftmassen herangeführt. An der Alpennordseite gab es verbreitet Schneefall. In Lienz war es bewölkt, zunächst bestand zwischen Lienz und Vorhegg eine Inversion, die sich ab ca. 16:00 mit der Abkühlung in Vorhegg in neutrale Schichtung auflöste. Spät abends stieg die Windgeschwindigkeit von unter 1 m/s auf bis 3 m/s.

Die PM₁₀-Konzentration wies einen zu NO₂ ungefähr parallelen Verlauf auf, sie stieg vormittags ca. 3 h später als NO und CO an. Bei bereits fallender NO-, NO₂- und CO-Konzentration wurde um 19:00 mit 98 µg/m³ der höchste HMW registriert. Die höhere Windgeschwindigkeit bedingte nach 20:00 stärkere Durchmischung und damit ein deutliches Absinken der Konzentration aller Schadstoffe.

Der 28.12. wies einen durchschnittlichen OM- und einen überdurchschnittlichen EC-Anteil auf. Deutlich unter dem Mittel über die 10 Analysentage lag der Anteil von Nitrat und Ammonium sowie von NaCl (auch an diesem Tag war die Straße nass).

8.2 Resümee

Zusammenfassend lassen sich das Belastungsbild und die PM₁₀-Zusammensetzung dieser zehn Tage wie folgt charakterisieren:

- ü Der (relative und absolute) EC-Anteil in Lienz ist sehr hoch. Der relative Anteil liegt über jenem anderer europäischer Städte.
- ü Das EC/OM-Verhältnis ist höher als in Klagenfurt und vergleichbar mit Werten von sehr verkehrsexponierten Standorten.
- ü Generell legen diese hohen Anteile an Kohlenstoff (organischer und elementarer) die Vermutung nahe, dass lokale Verbrennungsemissionen (aus Verkehr und Raumheizung) unter winterlichen Bedingungen den Hauptteil der PM₁₀-Belastung liefern.

- ü Lienz weist im Vergleich zu ungefähr gleichzeitigen Proben von Klagenfurt einen außerordentlich hohen OM-Anteil ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 34%) auf. Hohe OM-Konzentrationen fallen mit tiefen Temperaturen und ungünstigen Ausbreitungsbedingungen zusammen.
- ü Die hohen OM-Konzentrationen könnten entweder durch die Startvorgänge am unmittelbar neben der Messstelle gelegenen Parkplatz oder auf die Anfahrvorgänge an der Kreuzung aber auch auf einen Einfluss des Hausbrands (hier vor allem feste Brennstoffe) zurückzuführen sein.
- ü Die EC-Konzentration nimmt an Samstagen und Sonntagen nur geringfügig ab, eine deutlich unterdurchschnittliche EC-Konzentration wurde am 26.12. gemessen.
- ü Der EC-Anteil in Lienz liegt über den Prozentsätzen anderer europäischer Städte.
- ü Der Beitrag sekundärer Ionen ist im Vergleich zu Klagenfurt sowie Wien oder Illmitz sehr niedrig (im Mittel $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder 13%).
- ü Der Beitrag sekundärer Ionen variiert stark (zwischen 4 und $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$), am wenigsten bei Sulfat. Die meteorologischen Bedingungen und der PM10-Belastungsverlauf geben keine völlig schlüssige Erklärung für die zeitliche Variation der Konzentration sekundärer Ionen. Da hohe Konzentrationen sekundärer Ionen an oder nach Tagen mit abgehobener Inversion und neutraler Schichtung bis zur Höhe von Vorhegg (keine Inversion zwischen Lienz Dolomitenstr. und Vorhegg) auftreten, ist es sehr wahrscheinlich, dass hohe Konzentrationen sekundärer Ionen dann auftreten, wenn ein relativ großes Luftvolumen in Kontakt mit dem Boden im Lienzer Becken steht und damit in diesem Luftvolumen sekundäre Aerosole in größerer Menge gebildet werden können als in einer nur seichten bodennahen Luftschicht innerhalb einer Bodeninversion.
Die hohe Konzentrationen sekundärer Aerosole am 26.12. war – wie das Belastungsbild in Vorhegg zeigt - nicht die Folge von Ferntransport, sondern von lokaler Aerosolbildung im Talbereich.
- ü Der – verglichen mit Illmitz, Wien und Klagenfurt – sehr niedrige Anteil sekundärer Ionen lässt sich einerseits mit dem niedrigen Anteil von Ferntransport belasteter Luftmassen (auch aus dem Klagenfurter Becken oder aus Südtirol) bei den niedrigen Windgeschwindigkeiten und den stabilen Ausbreitungsbedingungen erklären, andererseits damit, dass für die Bildung sekundärer Ionen über Lienz nur das beschränkte Luftvolumen des Lienzer Beckens zur Verfügung steht.
- ü NaCl weist an einzelnen Tagen sehr hohe Beiträge von bis $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 9% (im Mittel 3%) auf und lässt sich auf Salzstreuung zurückführen. Allerdings ist nicht nachvollziehbar, welche Ursachen die starken zeitlichen Unterschiede im NaCl-Anteil bedingen, da nahezu an allen Analysentagen Salzstreuung erfolgte (und der Straßenzustand zumindest tw. naß war).
Möglicherweise ist der – verglichen mit den gasförmigen Schadstoffen und dem Kfz-Verkehrsaufkommen – späte Konzentrationsanstieg bei PM10 an mehreren Tagen auf eine am Morgen noch nasse Straße und damit geringere Aufwirbelung von Straßenstaub und Streusalz zurückzuführen. Um diese Vermutung zu belegen, fehlen allerdings entsprechend detaillierte Straßenzustandsdaten.

- ü Schätzt man über den Wasseranteil am Ammoniumsulfat (40% bei 50% relativer Feuchte) den Wassergehalt im PM10 ab, ergibt sich ein mittlerer Beitrag von ca. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3%) Wasser und ein Rest ohne Wasser von $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.⁴⁵
- ü Mit im Mittel $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 18% macht der nicht analysierte Rest einen – verglichen mit Illmitz, Wien und Klagenfurt, aber auch anderen europäischen Städten – niedrigen Anteil am PM10 aus. Daraus kann geschlossen werden, dass mineralisches (karbonatisches oder silikatisches) Material einen nur geringen Anteil an der PM10-Konzentration ausmacht und Aufwirbelung von Straßenstaub einen nur relativ geringen Anteil zur PM10-Emission liefert.
- ü Der Kalium-Anteil ist in Lienz etwa doppelt so hoch wie in Klagenfurt und Wien. Da Kalium ein Tracer für Holzheizungen ist, deutet dies auf einen erheblichen Einfluss dieser Heizungsart hin (da kein statistischer Zusammenhang zwischen K und Cl besteht, kann K nicht aus der Salzstreuung kommen).
- ü Die Metalle Ni und As sind meist unter der Nachweisgrenze. Dies deutet auf einen nur geringen Anteil von Öl- und Kohleheizungen hin.

⁴⁵ allerdings ist festzuhalten, dass im FH62I-N vermutlich deutliche Minderbefunde bei Wasser und ammoniumnitrat gegenüber den gravimetrischen Werten auftreten

9 Übersicht über die Belastungsepisoden (Tage mit PM10-TMW über 50 µg/m³), März 2001 bis März 2002

Folgende Aussagen lassen sich über die Belastungsepisoden mit PM10-TMW über 50 µg/m³

1. Die Überschreitungen von 50 µg/m³ am 6. und 7.7. sowie am 2. und 3.8. 2001 wurden wesentlich durch **Staub-Fernverfrachtung aus Nordwestafrika** verursacht. Am 2. und 3.8. lässt sich – bei ungünstigen Ausbreitungsbedingungen, die am Morgen auftraten - auch ein Beitrag lokaler Emissionen erkennen (aber schwer quantifizieren).
2. Alle weiteren Belastungsepisoden zeigen folgende Charakteristika:
 - ü **Sehr ungünstige Ausbreitungsbedingungen**, d.h. **Bodeninversionen** und **niedrige Windgeschwindigkeiten**
 - ü **Ferntransport spielt eine untergeordnete Rolle**. Fernverfrachtung über die das Lienzener Becken umgebenden Berge ist bei der außerordentlich stabilen Temperaturschichtung, die Vertikaltransport weitestgehend unterband, ebenso auszuschließen wie durch das Drautal, welches Lienz mit Kärnten und Südtirol verbindet.
 - ü Der Beitrag von Ferntransport am Beginn der Belastungsepisoden bei noch günstigeren Ausbreitungsbedingungen (d.h. sozusagen der Vorbelastung) lässt sich anhand der Messwerte von Vorhegg auf eine Höhe um 5 µg/m³ eingrenzen.
 - ü Die in Lienz beobachtete erhöhte **PM10-Belastung** ist somit praktisch ausschließlich auf **Emissionen im Lienzener Becken** selbst zurückzuführen. Entsprechend der Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s könnte im Laufe eines Tages Schadstofftransport über eine Distanz von maximal ca. 30 km stattfinden.
 - ü Die PM10-Belastung zeigt einen **Tagesverlauf**, dessen Maxima in aller Regel parallel zu jener von SO₂, NO, CO und NO₂ auftreten – und damit parallel zu dem **Verkehrsaufkommen** in der Tiroler Straße - , wobei folgende Spezifika zu erkennen sind:
 - die PM10-Belastung steigt in aller Regel am Morgen 1 bis 2 h später an als jene von NO und CO – d.h. die morgendliche Verkehrsspitze ist nicht unmittelbar für erhöhte PM10-Konzentrationen verantwortlich; ein Grund dafür könnte sein, dass Aufwirbelung von Straßenstaub erst nach und nach zum Tragen kommt, v.a. wenn die Straße morgens noch feucht ist (wobei allerdings entsprechende Daten über den Straßenzustand fehlen, um diese Vermutung zu erhärten)
 - die PM10-Belastung sinkt abends häufig langsamer als jene von NO, CO und NO₂; was ein Hinweis auf den **Einfluss des Hausbrandes** sein könnte
 - ein paralleler Verlauf von NO₂ und PM10 ist v.a. im Hochwinter (Dezember, Jänner) zu beobachten, weniger im Oktober und November.
 - ü Über Mittag geht die PM10-Konzentration in der Regel parallel zu den anderen Schadstoffen zurück; dies ist auf eine leichte Labilisierung der bodennahen Luftschicht (die sich auch in einem leichten Ansteigen der Ozonkonzentration, welche ansonsten 0 ist, widerspiegelt) zurückzuführen.

- ü Nachts sinkt die PM10-Belastung in der Regel deutlich unter jenes Niveau ab, welches tagsüber beobachtet wird, allerdings weniger stark, als dies bei NO, NO₂ und SO₂ der Fall ist.
- ü Vor allem bei Auftreten einer flachen Bodeninversion in der Nacht bleibt die PM10-Konzentration auch nachts relativ hoch.

Auffallende Ausnahmen dieser allgemeinen Charakteristika traten an folgenden Tagen auf:

- ü Am 3. und 4.12.2001 trat die höchste PM10-Konzentration über Mittag auf, d.h. in einer Zeit erhöhter Ozonkonzentration, aber während eines Konzentrationsminimums der anderen Schadstoffe. Auch am 7.1.2002 wurde ein PM10-Konzentrationsmaximum über Mittag zur Zeit erhöhter Ozonkonzentration registriert.
- ü Am 7.12. 2001 trat die höchste PM10-Konzentration über Mittag auf, parallel zu erhöhter NO₂-Belastung und einer (allerdings nicht außergewöhnlichen) NO- und CO-Spitze, in einer Situation mit einem deutlich verzögerten Konzentrationsanstieg bei Ozon.
- ü Am 14. und 28.12. 2001 stieg die PM10-Konzentration bereits in der Früh parallel zu NO und CO an – möglicherweise spielte Straßenstreuung eine Rolle.

Für den „atypischen“ Konzentrationsverlauf am 3., 4. und 7.12. könnte das Einmischen von sekundären Aerosolen aus einer höheren Luftschicht gewesen sein, die sich zuvor dort gebildet haben. Ferntransport ist angesichts der insgesamt hochreichend stabilen Schichtung und der niedrigen PM10-Konzentration in Vorhegg sehr wenig wahrscheinlich.

Abgesehen von diesen Tagen zeigt die PM10-Konzentration keinen „irregulären“ Verlauf, der durch Straßenstreuung, Baustellen oder andere nur temporäre Emissionen zu erklären wäre.

10 Faktoren, die zu den Überschreitungen geführt haben (Verfrachtung, einschließlich grenzüberschreitende Verfrachtung, Entstehung)

10.1 PM10

10.1.1 Grundsätzlicher meteorologischer Einfluss

Alle Tage mit PM10-TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zeichneten sich durch ungünstige Ausbreitungsbedingungen und Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s aus. Bei diesen meteorologischen Situationen lag eine stabil geschichtete Luftmasse im Lienzer Becken, die von Transport über die das Becken begrenzenden Gebirge abgeschnitten war. Derartige ungünstige Ausbreitungsbedingungen sind charakteristisch für inneralpine Tal- und Beckenlagen und führen bereits bei vergleichsweise geringen Emissionen zu hohen Immissionsbelastungen, welche auch über längere Zeiten anhalten können. (So traten z.B. im Höhenbereich zwischen Lienz und Vorhegg im Jahr 2001 an 28% der Tage Inversionen auf; zwischen Okt. und Dez. 2001 an 64% der Tage, an 95% der Tage stabile Temperaturschichtung.)

10.1.2 Ferntransport

Ferntransport spielte bei fast allen Tagen mit PM10-TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2001 – ausgenommen 4 Tage – unter den gegebenen Bedingungen keine Rolle. Fernverfrachtung über die das Lienzer Becken umgebenden Berge ist bei der außerordentlich stabilen Temperaturschichtung, die während aller Belastungssituationen herrschte und Vertikaltransport weitestgehend unterband, ebenso auszuschließen wie durch das Drautal, welches Osttirol mit Kärnten und Südtirol verbindet.

Beiträge für erhöhte PM10-Immissionen aus Ferntransport von Staub aus Nordwestafrika ließen sich in Lienz lediglich am 6. und 7.7. sowie am 2. und 3.8.2001 als Hauptquelle der PM10-Belastung identifizieren.

10.1.3 Vorbelastung

Als Vorbelastung kann man jene Konzentration ansehen, welche Luftmassen haben, die vor bzw. zwischen den Belastungsepisoden (bei günstigen Ausbreitungsbedingungen) über die das Lienzer Becken begrenzenden Gebirge in dieses transportiert werden. Anhand der Messwerte von Vorhegg lässt sich diese auf eine Höhe um $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eingrenzen.

10.1.4 Bildung sekundärer Aerosole

Sekundäre Aerosole machten im Mittel über 10 Tage im Dez. 2002 13% der PM10-Masse aus. Große Anteile trugen sekundäre Aerosole bei Wetterlagen mit abgehobener Inversion und neutraler Temperaturschichtung in den unteren zumindest 500 m über dem Lienzer Becken bei, als ein relativ großes Luftvolumen im Kontakt mit dem Talboden stand und zur Bildung sekundärer Aerosole zur Verfügung stand. In Hinblick auf die gemessenen niedrigen Windgeschwindigkeiten und die stabile Temperaturschichtung über dem Becken dürften die relevanten Vorläufer für

die Bildung sekundärer Aerosole (SO_2 , NO_x , NH_3) primär im Lienzener Becken emittiert worden sein; Ferntransport, aber auch Transport aus dem Klagenfurter Becken oder Südtirol sind wenig wahrscheinlich.

10.1.5 Verkehr

Der Wochengang der EC/OM-, EC/PM10- und OM/PM10-Verhältnisse erlauben aufgrund der geringen Anzahl an analysierten Proben keine schlüssige Zuordnung der Inhaltsstoffe EC und OM (die zusammen etwa 60% der PM10-Masse an den analysierten Tagen ausmachen). Der Verkehrsanteil konnte demnach nur über die auf einer vergleichsweise gesicherten Datenbasis beruhenden Emissionsdaten abgeschätzt werden. Aus Kapitel 5.4 ergibt sich ein Anteil des Verkehrs an der Konzentration von OM und EC zu etwa 40%, an der PM10-Gesamtbelastung inkl. Wiederaufwirbelung ein Anteil des Verkehrs von ca. 50%. An der Amlacherkreuzung könnte aufgrund der hohen Verkehrsemissionen unmittelbar bei der Messstelle dieser Anteil noch etwas höher sein.

10.1.6 Salzstreuung

Salz (NaCl) wurde an einigen Tagen im Dez. 2002 in deutlich erhöhter Konzentration (bis 9%) festgestellt, trug aber im Mittel über 10 Tage im Dez. 2002 nur 3% zur PM10-Masse bei. Wie weit der Straßenzustand (nass, schneebedeckt) im Einzelnen Einfluss auf den Beitrag von NaCl ausübte, lässt sich mangels entsprechend präziser Daten nicht sagen.

10.1.7 Aufwirbelung von Straßenstaub

Der von den chemischen PM10-Analysen nicht erfasste mineralische Rest machte im Mittel über 10 Tage im Dez. 2002 18% an der PM10-Masse aus. Dieser Beitrag dürfte überwiegend auf Aufwirbelung von Straßenstaub zurückzuführen gewesen sein.

Winderosion ist in Hinblick auf die niedrige Windgeschwindigkeit (bis 1 m/s) während aller Belastungsepisoden auszuschließen, Betriebe mit nennenswertem Schüttgutumschlag gab es in Lienz fraglichen Zeitraum ebensowenig wie offene Baustellen in der Umgebung der Messstelle.

Damit dürfte der Beitrag der Aufwirbelung im unteren Bereich jener Werte gelegen sein, welche verschiedenen Emissionsmodelle angeben.

10.1.8 Hausbrand

Aus den Emissionsdaten in Kapitel 5 kann der Anteil des Hausbrands, der Wärmeerzeugung in Arbeitsstätten und des Fernheizwerks an der PM10-Belastung in Lienz im Winter 2001/02 zu etwa 50% abgeschätzt werden (wobei der Anteil im Jahr 2001 vermutlich etwas höher war, während er 2002 und 2003 durch den kontinuierlichen Ausbau der Fernwärme geringer geworden ist).

In Hinblick auf den Rückgang der Emissionen aus dem Hausbrand, bedingt durch die fortschreitende Substitution der Wohnraum- und Arbeitsstättenbeheizung in der Stadt Lienz durch das Fernheizwerk, werden die Emissionen aus dem Straßenverkehr in Zukunft größeres Gewicht erhalten, nicht zuletzt durch die allgemein steigenden Verkehrsleistungen. Aufgrund der größeren Entfernung des Fernheizwerkes vom

Stadtzentrum tragen dessen Emissionen einen vergleichsweise geringeren Anteil zu der an der Amlacherkreuzung gemessenen Belastung bei.

10.2 TSP-Grenzwertüberschreitungen am 14. und 28.12.2001

Für die Grenzwertüberschreitungen bei TSP am 14. und 28.12. waren im wesentlichen die gleichen Faktoren verantwortlich wie für PM10. Auffällig im Belastungsbild dieser beiden Tage war eine vergleichsweise sehr hohe PM10- (bzw. TSP-) Konzentration bereits früh am Morgen, die möglicherweise die Folge von Salz- oder Splittstreuung war.

11 Feststellung des voraussichtlichen Sanierungsgebiets

Die für das Auftreten von PM10-TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Lienz relevanten PM10-Emissionen dürften aufgrund des bedeutenden Einflusses der topographischen und meteorologischen Verhältnisse des inneralpinen Lienzer Talkessels ganz überwiegend im Stadtgebiet von Lienz und den angrenzenden Gemeinden des Lienzer Talkessels liegen.

Bei den während der Tage mit TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der Regel um 1 m/s gelegenen Windgeschwindigkeiten könnte in den angrenzenden Abschnitten des Drau- und Iseltales Schadstofftransport über ca. 30 km erfolgen, allerdings deuten die mittleren Tagesgänge der PM10-Konzentration, die Schadstoffwindrosen und die Abhängigkeit der PM10-Konzentration von der Windgeschwindigkeit auf einen absolut dominierenden Beitrag lokaler Quellen hin.

Demnach wird das Stadtgebiet von Lienz sowie die angrenzenden, am Talboden des Lienzer Talkessels befindlichen Siedlungsgebiete der Gemeinden Nussdorf-Debant, Nikolsdorf, Tristach, Dölsach, Amlach, Oberlienz und Leisach, eventuell auch von Gaimberg und Lavant als voraussichtliches Sanierungsgebiet angesprochen werden.

Maßnahmen zur Reduktion der PM10-Belastung haben sich an den entsprechenden Anteilen der Emissionen in diesen Gemeinden zu orientieren.

12 Einzelheiten über mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität

Die in den vorangegangenen Kapitel dargestellten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verursachergruppen mit dem größten Beitrag zur PM10-Belastung in Lienz der Hausbrand und der Verkehr sind .

Wie in Kapitel 5 Emissionen dargelegt wurde, wurde in Lienz mit dem Ausbau der Fernwärme bereits eine deutliche Reduktion der PM10-Emissionen durch den Hausbrand auf etwa die Hälfte erreicht (bei Mitberücksichtigung der Emissionen des Fernheizwerkes). Durch den weiteren Ausbau der Fernwärme im Laufe des Jahres 2003 werden die Emissionen nochmals reduziert.

Im Jahr 2002 wurden ein etwas niedrigerer PM10-Jahresmittelwert von 29,3 µg/m³ und nur noch 37 Überschreitungen registriert. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist dies bereits auf die Reduktion der Hausbrandemissionen zurückzuführen. Da jedoch auch in den nächsten Jahren längere Perioden mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen – wie sie im Dezember 2001 geherrscht haben – einerseits nicht ausgeschlossen werden können, andererseits die Anzahl der zulässigen Überschreitungen im Jahr 2005 auf 30 reduziert wird, sollten weitere Maßnahmen zur Reduktion der PM10-Belastung gesetzt werden.

Da die Überschreitungen des PM10-TMW-Grenzwertes (mit Ausnahme der Wüstenstaubeignisse an 4 Tagen im Sommer 2001) ausschließlich auf den Einfluss lokaler Emittenten während Episoden mit ungünstigen Ausbreitungsbedingungen im Winterhalbjahr zurückzuführen sind, sollten sich die Maßnahmen bevorzugt auf diesen Zeitraum und diese Emittenten konzentrieren. Im folgenden werden mögliche Maßnahmen vorgeschlagen.

12.1 Hausbrand

Maßnahmen zur Verminderung der Hausbrandemissionen erscheinen in Lienz kaum mehr möglich, da hier das Potential bei den Hausbrandemissionen, die 2001 für etwa 60% der Emissionen in Lienz verantwortlich waren, durch den hohen Anteil an Fernwärmeversorgung von zukünftig 80% weitgehend ausgereizt ist.

Die Analysen der Filter aus dem Dezember 2002 haben jedoch gezeigt, dass noch immer einen deutlicher Einfluss von Emissionen aus dem Hausbrand besteht. Obwohl die umliegenden Gemeinden (außer eventuell Nussdorf-Debant) nicht als bedeutende Verursacher für die festgestellten Überschreitungen anzusehen sind, und aus der vollen Auslastung des Lienzener Fernheizwerkes (ab dem Winter 2003/2004) eine weitere PM10-Reduktion aus dem Hausbrandbereich zu erwarten ist, werden wegen der allgemein ausgesprochen ungünstigen Ausbreitungsverhältnisse für Luftschadstoffe des Lienzener Talkessels die Möglichkeiten von PM10-Emissionen auch aus dem Hausbrandbereich der o.a. Gemeinden auszuschöpfen sein.

Es sollte daher in den unter Kapitel 11 angeführten Gemeinden einerseits der Brennstoffverbrauch bestehender Anlagen durch Wärmedämmmaßnahmen vermindert werden, andererseits alte Heizkessel getauscht oder regelmäßig gewartet oder durch alternative Heizungsarten ersetzt werden, wie dies in Lienz bereits geschehen ist.

Bei bestehenden Anlagen, die mit festen Brennstoffen betrieben werden und deren Austausch bzw. Ersatz durch andere Energieträger in den nächsten Jahren nicht zu erwarten ist, bieten sich folgende Möglichkeiten zur Emissionsreduktion an:

- § den Einsatz emissionsarmer Brennstoffe. Bei Holzheizungen sollte nur ausreichend getrocknetes Holz verwendet und keine Rinde oder bearbeitetes Holz verbrannt werden.
- § eine wiederkehrende Überprüfung und Wartung von Heizungsanlagen zur Erreichung und Einhaltung eines bestimmten minimalen Abgasverlustes und zur weitestmöglichen Verringerung von Luftschadstoffemissionen,
- § die Festlegung von Emissionsgrenzwerten für bestehende und neue Heizungsanlagen sowie
- § in Einzelfällen Analyse des Rauchfangs und der Asche um bei offensichtlichen Übertretungen des Abfallwirtschaftsgesetzes dies auch ahnden zu können.

12.2 Verkehr

Wie die Emissionsabschätzungen gezeigt haben, ist der Verkehr – neben dem Hausbrand - die bedeutendste Quelle für die PM10 Belastung in Lienz.

Der LKW-Verkehr macht in der Tirolerstraße einen Anteil von ca. 9% aus und ist damit im österreichweiten Vergleich relativ niedrig.

Wegen der gegenüber PKW um einen Faktor von mehr als 10 höheren spezifischen Partikelemissionen bei LKW sind dennoch Maßnahmen beim LKW-Verkehr unumgänglich.

Aus den Verkehrserhebungen des Vereins zum Schutz der Erholungslandschaft Osttirol wird ersichtlich, dass ca. 50% der LKW >7,5t im Bezirk Lienz zugelassen sind, sodass angenommen werden kann, dass dieser Verkehr Ziel und Quelle überwiegend in Lienz oder Umgebung hat. Der Anteil ausländischer LKW >7,5t liegt bei nur 10%.

Mögliche Maßnahmen beim PKW-Verkehr betreffen vor allem die Bewohner von Lienz und den umgebenden Gemeinden.

Zur Minderung der Emissionen aus dem Verkehr sind generell

- § fahrzeugbezogene Maßnahmen,
- § systembezogene Maßnahmen sowie
- § bewusstseinsbildende Maßnahmen

notwendig.

Fahrzeugbezogene Maßnahmen betreffen speziell die Festlegung strengerer Emissionsgrenzwerte für PM10 bzw. dessen Vorläufersubstanzen bzw. Maßnahmen über die Treibstoffqualität. Hier ist in den nächsten Jahren einerseits eine

Verminderung der Emissionen durch die stufenweise strengeren Abgasnormen zukünftiger Fahrzeuge (Euro 4 ab dem Jahr 2005, und Euro 5 für LKW ab dem Jahr 2008), andererseits aber auch durch die Reduktion des Schwefelgehaltes in den Treibstoffen zu erwarten (Grenzwert ab 2005: 50 mg Schwefel/kg Treibstoff, ab 2009: 10 mg Schwefel/kg Treibstoff). Annäherungsweise kann davon ausgegangen werden, dass die Abgasemissionen des Straßenverkehrs durch schwefelarme bzw. schwefelfreie Kraftstoffe um etwa 10% verringert werden können⁴⁶.

Aufgrund der höheren spezifischen Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge bzw. von Bussen liegen trotz der geringeren Fahrleistungen die von diesen Fahrzeugkategorien emittierten Schadstoffmengen in der gleichen Größenordnung wie die der PKW. Bei der Auswahl gezielter Maßnahmen zur Verringerung der abgasseitigen Schadstoffemissionen ist daher zu berücksichtigen, dass bei Maßnahmen an schweren Nutzfahrzeugen oder Bussen eine geringere Anzahl von Fahrzeugen berücksichtigt werden muss.

Wie die Erfahrungen der letzten Jahre allerdings gezeigt haben, wird ein Teil der fahrzeugbezogenen Emissionsminderungen durch eine erhöhte Verkehrsleistung wieder wettgemacht. Auf lokaler Ebene sind allerdings folgende Maßnahmen durchführbar:

- § Verstärkte Kontrolle von Fahrzeugen mit offensichtlich erhöhten Emissionen. So wurde z.B. von Durbin et al.⁴⁷ gezeigt, dass lediglich 1,1-1,7% der leichten Nutzfahrzeuge, die erhöhte Emissionen aufweisen, für 20% der PM10 Emissionen dieser Fahrzeugkategorie verantwortlich sind !
- § Förderung für den Einbau von Dieselfiltern in bestehende Fahrzeuge (insb. Nutzfahrzeuge) bzw. dieselbetriebene Neuwägen mit Partikelfilter in den Gemeinden des Lienzer Talkessels
- § Da in den nächsten Jahren noch schwefelarmer Treibstoff parallel zu konventionellen Treibstoffen angeboten wird, ist die Emissionsminderung geringer als möglich. Es sollte daher ausschließlich schwefelfreier Kraftstoff angeboten werden.

Neben dem Emissionsverhalten der Fahrzeuge ist auch die **Fahrleistung** sowie die **Verkehrsmittelwahl** zu beeinflussen. Neben einer Forcierung des **öffentlichen Personennahverkehrs** (Pendlerverkehr; innerstädtischer Verkehr) sollte als alternatives Verkehrsmittel verstärkt der **Fahrradverkehr** gefördert werden. Über den Anteil des Fahrradverkehrs in Lienz liegen zwar keine Daten vor, es sei jedoch angemerkt, dass in einigen deutschen Städten der Fahrradanteil bereits über 30% beträgt. Auch bei der **Fahrleistung** der PKW gibt es noch ein **erhebliches Reduktionspotential** wie vor Ort zu erfahren war. Weiters ist durch die Vermeidung von Kurzstreckenfahrten mit dem PKW (< 3 km), wie sie in einer kleinen Stadt wie

⁴⁶ Dieser Wert ist stark abhängig von der Ausgangsqualität der Kraftstoffe, der Höhe der Schwefelreduktion im Kraftstoff sowie der Entwicklung der Fuhrparkflotte.

⁴⁷ Durbin, T. D.; Smith, M. R.; Norbeck, J. M.; Truex, T. J. (1999) Population density, particulate emission characterization, and impact on the particulate inventory of smoking vehicles in the South Coast Air Quality Management District. J. Air Waste Manage. Assoc. 49: 28-38. 31

Lienz vermutlich sehr häufig getätigt werden, eine überproportionale Verringerung von Luftschadstoffemissionen zu erwarten, da die volle Wirksamkeit der Katalysatoren erst nach Erreichen der Betriebstemperatur gegeben ist (nach durchschnittlich 4 km Wegstrecke).

Bei größeren Betrieben mit relativ einheitlichen Beginnzeiten der Beschäftigten bietet sich die Einführung von **Werksbussen** an.

Als eine mögliche Maßnahme zur Reduktion der Schadstoff- (und Lärm)belastung wird in Lienz seit Beginn der 90er Jahre eine **Umfahrung** in verschiedenen Varianten diskutiert. Dazu ist anzumerken, dass diese Maßnahme fast ausschließlich eine **Verlagerung der Emissionen** bewirkt, eine geringfügige Reduktion der Immissionsbelastung kann nur dann erwartet werden, falls die Umfahrungsstraße durch unverbautes Gebiet mit besseren Ausbreitungsbedingungen geführt wird. Abgesehen von den bereits angeführten schlechten Luftaustauschbedingungen des Lienzer Talkessels, bewirken Umfahrungsstraßen erfahrungsgemäß eine **Zunahme des Verkehrs**, die eine allfällige Schadstoffreduktion wieder ausgleicht. Auch hat der **Großteil des Verkehrs Ziel und Quelle in Lienz** selbst, der Durchgangsverkehr, der auf eine mögliche Umfahrung ausweichen könnte, hat nur einen relativ geringen Anteil.

Im IG-L sind lt. §14 auch Maßnahmen zur zeitlichen und räumlichen Beschränkung des Verkehrs und Geschwindigkeitsbeschränkungen möglich. Durch die Vielzahl an Ausnahmen, insbesondere des Ziel- und Quelllieferverkehrs, der einen beträchtlichen Anteil hat, ist der Erfolg dieser Maßnahme nur begrenzt. Bei langandauernden Belastungsepisoden, wie z.B. im Dezember 2001, kann dies aber durchaus eine sinnvolle Maßnahme zur kurzfristigen Reduktion sein. In der Südtiroler Gemeinde Meran wurde am 24.2.2003 eine Verordnung erlassen, die bei langanhaltenden Belastungsepisoden ein Fahrverbot vorsieht. Über Erfahrungen über Durchsetzung und Erfolg dieser Maßnahme liegen noch keine Ergebnisse vor.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Emissionsgrenzwerte und spezifischen Emissionen von Fahrzeugen bzw. Geräten des **Off-Road-Bereiches** (Traktoren, Baumaschinen, mobile Geräte etc.) weitaus höher liegen als für Straßenfahrzeuge. Aus der Österreichischen Luftschadstoffinventur ist ersichtlich, dass in Österreich die PM10-Emissionen des Off-Road-Sektors ein mit den Abgas-PM10-Emissionen des Straßenverkehrs vergleichbares Ausmaß haben. Die Datengrundlage für eine lokale Zuordnung von Off-Road-Emissionen zum Stadtgebiet Lienz ist jedoch nicht ausreichend, um im Rahmen dieser Studie konkrete Maßnahmen angeben zu können.

12.2.1 Nicht-Abgasemissionen des Verkehrs

Wie einige Untersuchungen in den letzten Jahren gezeigt haben, sind die Emissionen durch Wiederaufwirbelung von Straßenstaub, Straßen-, Reifen-, und Bremsenabrieb zumindest gleich groß wie die Abgasemissionen (siehe z.B. LOHMEYER 2001). Insbesondere bei verunreinigten oder mit Streusplitt gestreuten Straßen übersteigt jedoch die Wiederaufwirbelung die Abgasemissionen deutlich.

Allerdings unterliegt die Abschätzung der Emissionen durch Wiederaufwirbelung großen Unsicherheiten. Ebenso wenig liegen eindeutige Daten über die Möglichkeiten zur Reduktion dieser Emissionen vor. Als Sofortmaßnahmen bieten sich technische und organisatorische Maßnahmen an, mit deren Hilfe

- § der Eintrag von Staub in Straßen reduziert werden kann; dies betrifft eine Reduzierung des Einsatzes von Streugut⁴⁸, aber auch diffuse Emissionsquellen im Nahbereich von Straßen wie etwa Baustellen (siehe unten), besondere Sorgfalt bei der Manipulation von Schüttgütern, Bepflanzung von Brachflächen im Nahbereich von Straßen, Befestigung von unbefestigten Straßen und Parkplätzen, Vermeidung des Eintrags von Erde von z.B. Feldern, etc.
- § Forcierung der Straßenreinigung⁴⁹ mit PM10-zertifizierten Geräten in jenen Situationen, die eine besonders hohe Staubbelastung erwarten lassen, wie etwa an trockenen Wintertagen nach dem Einsatz von Streumitteln
- § Verflüssigung des Verkehrs zur Verminderung von Reifen- und Bremsenabrieb. Allerdings kann diese Maßnahme wiederum zu einer Verkehrssteigerung durch die damit gesteigerte Attraktivität des Kfz-Verkehrs führen
- § Prüfung der Errichtung von Kreisverkehren entlang der Tiroler Strasse.

Generell unklar ist jedoch die Wirksamkeit der eben angedeuteten Maßnahmen. Die US EPA unterscheidet zur Reduktion der Wiederaufwirbelung präventive Maßnahmen und Minderungsmaßnahmen. Erstere umfassen Maßnahmen, die gegen eine Erhöhung der Staubbelastung der Straße gerichtet sind, etwa durch Abdeckung von Ladegut auf Lkws, Befestigung des Straßenbanketts, etc. Diese Maßnahmen werden generell als kosteneffektiver angesehen als jene, die die Staubbelastung der Straße nachträglich wieder vermindern sollen (Straßenreinigung).

12.3 Bautätigkeit

Baustellen können durch verschiedene Tätigkeiten zu der Staubbelastung beitragen. Die wichtigsten Quellen sind:

- Abgasemissionen der verschiedenen Baugeräte und Fahrzeuge
- Staubaufwirbelung beim Befahren von unbefestigten Straßen
- Schütt- und Schneidvorgänge
- Staub- und Schmutzeintrag auf öffentliche Straßen

⁴⁸ Die Reduktion des Einsatzes von Streusplitt ist bei der dzt. geltenden Gesetzeslage jedoch schwierig, da Kommunen bei einer unzureichende Streuung bei Unfällen haftbar gemacht werden können.

⁴⁹ Hier ist jedoch darauf zu achten, dass nur PM10 zertifizierte Geräte eingesetzt werden (siehe z.B. <http://www.aqmd.gov/rules/html/r1186-a.html>, wo die "Rule 1186-Certified Street Sweeper Compliance Testing" beschrieben wird)

Umfangreiche Untersuchungen zum Anteil von Baustellen an der (städtischen) Staubbelastung wurden u.a. vom Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) durchgeführt (BUWAL 2001a, BUWAL 2001b). Diese haben gezeigt, dass die Baustellenemissionen beträchtlich sind (so sind z.B. 25% der Schweizer Dieselußemissionen auf Baustellenmaschinen zurückzuführen⁵⁰), aber auch ein großes Reduktionspotential haben. Lt. PISCHINGER (2002) betragen in Österreich die Abgasemissionen der Baumaschinen etwa 20% (855 t) der des gesamten Straßenverkehrs. Vom BUWAL wurde daher für die Schweiz mit 1. September 2002 eine Richtlinie in Kraft gesetzt, welche die Reduktion von Luftschadstoffen auf Baustellen zum Ziel hat⁵¹.

Kernpunkte dieser Verordnung sind eine umfangreiche Vorbereitung und Kontrolle bei Großbaustellen⁵², sowie definierte Anforderungen an mechanische Arbeitsprozesse, thermische und chemische Arbeitsprozesse sowie an Maschinen und Geräte. Ein Teil dieser Maßnahmen kann jedoch auch bei kleineren Baustellen wie sie in Lienz anzutreffen sind, angewandt werden:

- § Unterbindung des Schmutzeintrags auf öffentliche Straßen
- § Verwendung von Baumaschinen mit Rußfiltern (bei Bauvorhaben der Lienzer Talkommunen könnten z.B. die zwingende Verwendung partikelarmer Baumaschinen und Fahrzeuge für den An- und Abtransport ein Zuschlagskriterium sein).
- § Transport von staubenden Materialien nur in feuchtem Zustand oder abgedeckt
- § Befeuchten unbefestigter Straßen
- § Regelmäßige Wartung der Fahrzeuge und Geräte
- § Bei öffentlichen Ausschreibungen emissionsarme Fahrzeuge bevorzugen, die jeweils den aktuellen Abgasvorschriften (Euro 3, Euro 4 etc.) genügen
- § Verwendung schwefelarmer Treibstoffe sobald diese verfügbar sind
- § Wenn möglich Verwendung von Geräten mit elektrischem Antrieb
- § Bei Straßenarbeiten auf die Verwendung von emissionsarmen Bitumen und richtige Verareitungstemperatur achten

⁵⁰ BUWAL, 2002, Bericht zur Vernehmlassung über die RICHTLINIE «Luftreinhaltung auf Baustellen» Baurichtlinie Luft, 2002

⁵¹ BUWAL, 2002, Richtlinie Luftreinhaltung auf Baustellen
http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/d/BauRLL_Bericht_d.pdf

⁵² Diese sind in Städten Baustellen, die länger als ein Jahr dauern, mehr als 4000 m² Fläche beanspruchen und eine Kubatur von mehr als 10.000 m³ haben.

12.4 Land- und Forstwirtschaft

Emissionen aus der Land- und Forstwirtschaft betreffen einerseits die pyrogenen Emissionen (hier vor allem mit einem Anteil von über 90% die Traktoren), andererseits trägt die Landwirtschaft auch durch Emissionen von Ammoniak zur PM10-Belastung bei, da Ammoniak in Reaktion mit SO_2 und NO_x zu anorganischen Sekundäraerosol führt. Die Abgasemissionen der Traktoren können kurzfristig kaum reduziert werden, längerfristig sollte durch strengere Emissionsbegrenzungen eine Reduktion erzielt werden. Da das mittlere Alter der Traktoren verglichen mit PKW aber sehr hoch ist, werden strengere Abgasvorschriften erst mit einer deutlichen Verzögerung wirksam.

Die Ammoniakemissionen sind größtenteils auf die Massentierhaltung zurückzuführen. Um die Emissionen zu reduzieren sollte einerseits der Stickstoffumsatz generell verringert werden, andererseits der Hofdünger in geeigneter Weise gelagert und angewandt werden. Ausführlichere Beschreibungen von möglichen Maßnahmen finden sich in BUWAL 2001a (und darin zitierte Publikationen) sowie in DEFRA 2002.

Eine Reduktion der diffusen Emissionen der Landwirtschaft, die einen erheblichen Teil der landwirtschaftlichen Emissionen ausmachen, wird als nicht praktikabel betrachtet. Allerdings sollte der Eintrag von Bodenmaterial von landwirtschaftlichen Fahrzeugen bzw. Maschinen auf öffentliche Straßen vermindert werden, um das Potential für die Wiederaufwirbelung zu minimieren.

12.5 Exkurs: Abschätzung der notwendigen Reduktion des PM10-Jahresmittelwerts

In Abbildung 38 ist der Zusammenhang des 36 höchsten TMW mit dem JMW aller österreichischen PM10 Messstellen der Jahre 2000 und 2001 (tw. auch 2002) dargestellt.

In Tabelle 40 wurde mit Hilfe der Regressionsgerade in Abbildung 38 der 36 höchste TMW bei gegebenen JMW berechnet. Dargestellt sind Werte für verschiedene Wahrscheinlichkeiten, bei denen der 36 höchste TMW geringer als der angegebene Wert ist.

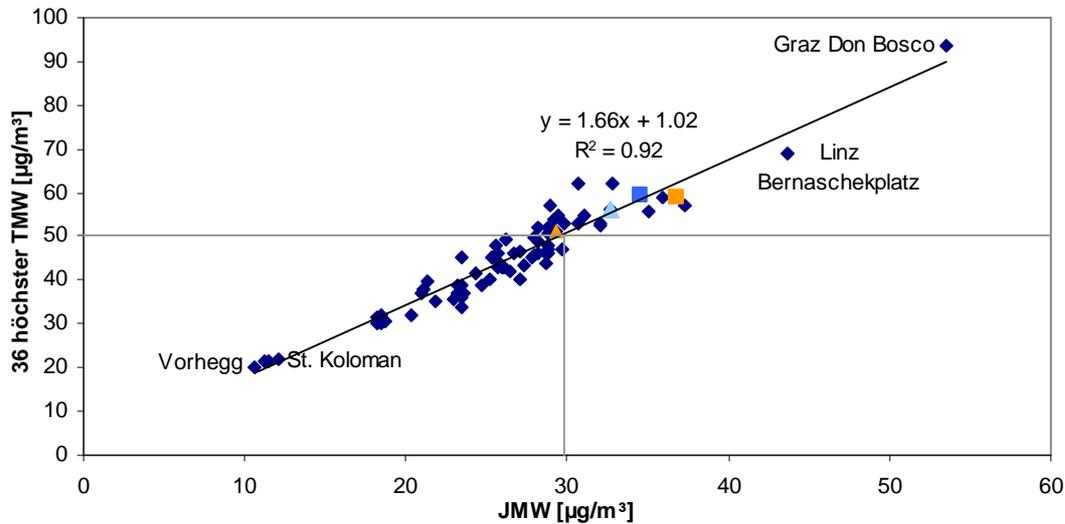


Abbildung 38: JMW zu 36 höchstem TMW aller österreichischen PM10 Messstellen 2000-2002 (Dreieck: Lienz, Quadrat: Klagenfurt; 2001: hellblau, 2002 orange).

Tabelle 40: 36 höchste TMW bei gegebenen JMW. Mit der angegebenen Wahrscheinlichkeit ist bei einem bestimmten JMW der 36 höchste TMW kleiner als der dargestellte Wert

JMW	36 höchste TMW				
	50%	80%	90%	95%	97,5%
24	40.8	43.5	44.9	46.1	47.1
25	42.4	45.2	46.6	47.7	48.8
26	44.1	46.8	48.2	49.4	50.4
27	45.8	48.5	49.9	51.1	52.1
28	47.5	50.2	51.6	52.8	53.8
29	49.1	51.8	53.3	54.4	55.5
30	50.8	53.5	54.9	56.1	57.1
31	52.5	55.2	56.6	57.8	58.8
32	54.1	56.9	58.3	59.4	60.5
33	55.8	58.5	60.0	61.1	62.2
34	57.5	60.2	61.6	62.8	63.8
35	59.2	61.9	63.3	64.5	65.5
36	60.8	63.5	65.0	66.1	67.2
37	62.5	65.2	66.6	67.8	68.8

Im Jahr 2001 wurde an der Messstelle Lienz Amlacherkreuzung ein JMW von $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. Um mit zumindest 80% Wahrscheinlichkeit eine zukünftige Überschreitung der zulässigen Anzahl an Grenzwertverletzungen zu verhindern, muss daher der JMW um etwa $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. um 15% verringert werden⁵³.

⁵³ Im Jahr 2002 wurde bereits ein etwas niedrigerer JMW von $29,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert, allerdings immer noch 37 Überschreitungen.

13 Literatur

- BELL, M. J, DAVIS, D. L. (2001), Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution, Environmental Health Perspectives Volume 109, Supplement 3.
- BUWAL (2001a), Massnahmen zur Reduktion der PM10-Emissionen, BUWAL Umwelt-Materialien Nr. 136.
- BUWAL (2001b), Luftschadstoff-Emissionen von Strassenbaustellen, Teil II: Aerosole und Partikel, BUWAL Umwelt-Materialien Nr. 127.
- DAVIS, D. L., BELL, M. J., FLETCHER, T. (2002), A Look Back at the London Smog of 1952 and the Half Century Since, Environmental Health Perspectives Volume 110, Number 12.
- DEFRA (2002), Ammonia in the UK, Booklet, http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/ammonia/pdf/ammonia_uk.pdf
- DURBIN, T. D.; SMITH, M. R.; NORBECK, J. M.; TRUEX, T. J. (1999) Population density, particulate emission characterization, and impact on the particulate inventory of smoking vehicles in the South Coast Air Quality Management District. J. Air Waste Manage. Assoc. 49: 28-38. 31
- EPA (2000), AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 5th Edition.
- GANGL, M., GUGELE B, LICHTBLAU, G und RITTER, M (2002), Luftschadstofftrends in Österreich 1980-2000, Umweltbundesamt Wien.
- GEHRIG (2003), persönliche Mitteilung.
- HÜGLIN, C. (2000), Anteil des Strassenverkehrs an den PM10- und PM2.5-Immissionen, Schlussbericht Projekt C4, NFP 41 Verkehr und Umwelt, EMPA Dübendorf
- KÖSTL, M. (2001), Das kommunale Energieprojekt Lienz, Diplomarbeit, Institut für Volkswirtschaftslehre, Graz.
- KOUMITZIS, H. & SAMARA, C. (Hrsg.) (1995): Airborne Particulate Matter, Springer Verlag, Berlin.
- KUHLBUSCH, T., JOHN, A. (2000), Abschlußbericht zum Projekt Korngrößenabhängige Untersuchungen von Schwebstaub und Inhaltsstoffen, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, Prozeß und Aerosolmesstechnik, für das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft, NRW.
- KUNZLI, N., et al. (2000), Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* **356**: 795 – 801.
- LENSCHOW, P, et al (2000): Some ideas about the sources of PM10. Atmospheric Environment 35 Suppl. no 1 (2001) S23-33
- LOHMEYER, A., DÜRING, I. (2001), Validierung von PM10-Immissionsberechnungen im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Straßen (Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie).
- MOROWSKA, L. (2002): Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures, Chemosphere 49, S1045-1058.
- NEINAVAI, H.; Pirkl, H. und Trimbacher C., (2000): Herkunft und Charakteristik von Stäuben. UBA-BE-171, Umweltbundesamt Wien.
- PISCHINGER, R. (2000), Emissionen des Off-Road-Verkehrs im Bundesgebiet Österreich für die Bezugsjahre 1990 bis 1999, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU-Graz, Bericht Nr. Pi-67/2000 Haus-10/679.
- PITTERMANN, R. (2002), Ermittlung von Basisemissionsdaten des dieselbetriebenen Schienenverkehrs, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben 299 43 111, WTZ Roßlau GmbH.
- PUTAUD, J.-P., et al (2002), A European Aerosol Phenomenology. European Commission (EUR 20411 EN).
- RAUTERBERG-WULFF, A. (1998): Beitrag des Reifen- und Bremsenabriebs zur Rußemission an Straßen, Fortschrittsberichte VDI Reihe 15 Nr. 202, VDI Verlag, Düsseldorf.
- SEINFELD, J. H. & PANDIS, S. N. (1998): Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley & Sons, New York.
- SCHULZE, E (2002), Diplomarbeit "Räumliche und zeitliche Analyse von kontinuierlichen Luftschadstoffmessungen in Berlin - Einfluss von Regen und Luftfeuchtigkeit auf die PM10- Emission und Immission."
- SPANGL, W., SCHNEIDER, J. (2002), Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2001, Umweltbundesamt, Wien, 2002.

SCHNEIDER, J. (2002), Analyse der Überschreitungen des IG-L Grenzwerts für Schwebstaub an den Messstellen Wien Liesing, Laaerberg und Rinnböckstraße am 10.12.2001. Umweltbundesamt Wien.

SPITZER, J. et al. (1998), Endbericht Emissionsfaktoren für feste Brennstoffe, Joanneum Research, Projekt Nr. IEF.95.017, Bericht Nr. IEF-B-07/98.

UMWELTBUNDESAMT (1998): Keller M., Hausberger St., „Handbuch der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs in Österreich“, Umweltbundesamt Wien, 1998

UMWELTBUNDESAMT (1999), Durchführung eines Risikovergleiches zwischen Dieselmotoremissionen und Ottomotoremissionen hinsichtlich ihrer kanzerogenen und nicht-kanzerogenen Wirkungen, Forschungsbericht 297 61 001/01 UBA-FB 99-033, Umweltbundesamt Berlin.

VDI 1999, VDI 3790, Blatt 3, Umweltmeteorologie, Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen, Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern, Mai 1999.

WINIWARDER, W., TRENKER, C., HÖFLINGER, W. (2001), Österreichische Emissionsinventur für Staub, Endbericht, Seibersdorf Research.

WATSON, J.G. & CHOW, J. C. (2000): Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research, DRI Document No. 6110.4F.

WHO (2002) World health report 2002. Geneva, World Health Organisation.

WHO (2003) Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Kopenhagen, WHO Europe (in press).

ZAMG: Wettermeldungen aus Österreich, laufend publiziert.

<http://www.ZAMG.ac.at> Klima-Monatsübersicht, laufend publiziert.

Anhang 1: Grenzwerte gemäß IG-L

Immissionsgrenzwerte gemäß Anlage 1 zum langfristigen Schutz der menschlichen Gesundheit

SO ₂	120 µg/m ³	Tagesmittelwert
SO ₂	200 µg/m ³	Halbstundenmittelwert; bis zu drei Halbstundenmittelwerte pro Tag, jedoch maximal 48 Halbstundenmittelwerte im Kalenderjahr bis zu 350 µg/m ³ gelten nicht als Überschreitung
TSP	150 µg/m ³	Tagesmittelwert
PM10	50 µg/m ³	Tagesmittelwert; pro Kalenderjahr ist die folgende Zahl von Überschreitungen zulässig: bis 2004: 35, von 2005 bis 2009: 30, ab 2010: 25
PM10	40 µg/m ³	Jahresmittelwert
CO	10 mg/m ³	Gleitender Achtstundenmittelwert
NO ₂	200 µg/m ³	Halbstundenmittelwert
NO ₂	30 µg/m ³	Jahresmittelwert. Dieser Grenzwert ist ab 2012 einzuhalten. Die Toleranzmarge beträgt 30 µg/m ³ bei Inkrafttreten des Gesetzes und wird am 1.1. jedes Jahres bis 1.1. 2005 um 5 µg/m ³ verringert. Die Toleranzmarge von 10 µg/m ³ gilt gleich bleibend vom 1.1. 2005 bis 31.12.2009. Die Toleranzmarge von 5 µg/m ³ gilt gleich bleibend vom 1.1. 2010 bis 31.12.2011.
Blei im PM10	0,5 µg/m ³	Jahresmittelwert
Benzol	5 µg/m ³	Jahresmittelwert

Anhang 2: Beschreibung der Belastungsepisoden

Im folgenden werden jene Episoden, während derer im Zeitraum von Juli bis Dezember 2001 in Lienz PM10-Konzentrationen über 50 µg/m³ auftraten, genauer dargestellt. Belastungsepisoden im Jänner und Februar sowie im Dezember 2002 werden ebenfalls, allerdings weniger detailliert behandelt.

Die tabellarische Kurzbeschreibung der Wetterlage umfasst eine Klassifikation der Großwetterlage sowie Angaben über die Windgeschwindigkeit (m/s) in Lienz zu Mittag, den Temperaturgradienten zwischen Lienz und Villacher Alpe (2140 m) am Morgen und mittags (°C) sowie die PM10-Konzentration (TMW) in Lienz. Ein Temperaturgradient von ca. 10°C würde einer neutralen Schichtung entsprechen, ein geringerer Temperaturgradient einer stabilen Schichtung. Grau unterlegt sind jene Werte, die somit einer stabilen Schichtung entsprechen.

6. und 7. Juli 2001

Die österreichweit stark erhöhte PM10-Belastung am 6. und 7. Juli lässt sich nach aktuellem Kenntnisstand auf Staub-Ferntransport aus der Sahara in Nordwestafrika zurückführen. Dafür sprechen die großräumige starke Südwestströmung über dem Mittelmeerraum und die großflächig einheitlich hohe PM10-Belastung in Österreich

Am 6.7. traten an den Messstellen Klosterneuburg, Mistelbach, Linz ORF-Zentrum, Graz Don Bosco, Graz Mitte, Brixlegg, Gärberbach, Hall i.T., Innsbruck Reichenau, Innsbruck Zentrum, Landeck, Lienz, Vomp an der Leiten, Vomp A12 Raststätte, Dornbirn, Feldkirch und Wien Erdberg PM10-TMW über 50 µg/m³ auf, am 7.7. an den Messstellen Amstetten, Forsthof, Klosterneuburg, Mistelbach, Schwechat, Stixneusiedl, Bad Ischl, Grünbach, Lenzing, Linz 24er Turm, Linz Neue Welt, Linz ORF-Zentrum, Linz Römerberg, Steyregg, Traun, Vöcklabruck, Wels, Hallein Hagerkreuzung, Salzburg Lehen, Salzburg Mirabellplatz, St. Koloman, Tamsweg, Bruck a.d.M., Gratwein, Graz Don Bosco, Graz Mitte, Graz Nord, Köflach, Leoben Donawitz, Brixlegg, Gärberbach, Hall i.T., Kufstein, Landeck, Lienz, Vomp a.d.L., Vomp A12 Raststätte und Wörgl.

2. bis 3. August 2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 Lienz (µg/m ³)
2.8.	Hoch	5	6	15	51
3.8.	Südwest	2	5	13	56

Auch am 2. und 3.8. 2001 deuten die großflächig erhöhte PM10-Belastung und die großräumige Südwestströmung über dem westlichen Mittelmeer auf Ferntransport von Sahara-Staub aus Nordwestafrika hin. Der Alpenraum lag an beiden Tagen im Bereich einer warmen Luftmasse subtropischen Ursprungs, an der Vorderseite einer über Südwesteuropa gelegenen Kaltfront, an deren Vorderseite Luftmassen aus Nordwestafrika den Alpenraum erreichten.

Am 2.8. wurde in Stixneusiedl, Linz Neue Welt, Salzburg Mirabellplatz, Graz Don Bosco, Köflach, Brixlegg, Lienz, Vomp a.d.L. und Wörgl ein PM10-TMW über 50 µg/m³ gemessen, am 3.8. in Amstetten, Klosterneuburg, Mistelbach, Schwechat,

Stixneusiedl, Linz Neue Welt, Steyregg, Bruck a.d.M., Graz Don Bosco, Graz Mitte, Graz Nord, Köflach, Brixlegg, Lienz und Wien Erdberg.

Da in der Nacht durchwegs ungünstige Ausbreitungsbedingungen, in Lienz (Temperaturprofil Lienz Bürgerau – Vorhegg) zeitweise Inversionen auftraten, dürfte zumindest in den Regionen südlich des Alpenhauptkamms Schadstoffanreicherung aus lokalen Emissionen auch einen Beitrag zur erhöhten PM10-Belastung geliefert haben.

15. bis 20. Oktober 2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 Lienz ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
15.10.	Hoch ⁵⁴	1,1	-4	5	66
16.10.	Hoch	1,1	-2	5	62
17.10.	Hoch	1,1	1	8	59
18.10.	Hoch	⁵⁵	1		59
19.10.	Hoch	1,9		8	60
20.10.	Südwest	1,9	0	12	64

Am 15.10. bestimmte ein Hoch mit Kern über Südosteuropa das Wetter in Österreich, das sich in den folgenden Tagen nordwärts ausdehnte. In Österreich sowie im östlichen Mitteleuropa und in Südosteuropa herrschten großflächig windschwache Verhältnisse. Es war meist wolkenlos, gebietsweise bildete sich Nebel oder niedrige Schichtbewölkung; im Süden Österreichs war es meist wolkenlos. Die Temperaturschichtung war großräumig stabil. Eine okkludierte Frontalzone, die am 17.10. den Ostalpenraum von Nordwesten überquerte, brachte kaum Bewölkung und keinen Niederschlag und führte nicht zu einer Auflösung der Inversionslage. Eine Umstellung der Wetterlage erfolgte am 21.10., an dem eine okkludierte Front von Westen Österreich erreichte, die starke Bewölkung und Regen brachte und die Inversionslage auflöste.

Dank meist wolkenlosem Himmel war es im Lienzer Becken für die Jahreszeit ziemlich warm, die Temperatur erreichte in Lienz nachmittags meist 19°C. Nachts kühlte es stark ab auf ca. 8°C an der Dolomitenstraße und um 4°C an der ZAMG-Messstelle, sodass extreme Tagesamplituden und starke Morgeninversionen auftraten.

Nachts, vormittags und abends wehte Wind aus Westnordwest, dagegen trat nachmittags kein einheitlicher Südostwind auf, sondern meist relativ variabler Wind aus Südsüdost bis Ostnordost, zeitweise auch Nord. Anders als bei sonnigen Tagen üblich war die Windgeschwindigkeit über Mittag mit um 1 m/s vergleichsweise niedrig und stieg jeweils am Nachmittag auf bis 4 m/s an; nachts traten Geschwindigkeiten um 2 m/s auf. Der frühe Wechsel auf Nordwestwind könnte damit zu erklären sein, dass bereits ab 14:00 das Iseltal beschattet ist und dort bereits Talaustritt einsetzt.

Auf der Gerlitzten wehte bis 15.10. meist Westwind, am 16. und 17.10. meist östlicher Wind, ab 18.10. beständiger Westwind. In dieser Höhe war die Windgeschwindigkeit

⁵⁴ Hochdruckgebiet über West- und Mitteleuropa

⁵⁵ Ausfall

wesentlich höher als in Lienz, sie erreichte am 15.10. bis 5 m/s, ab dem 18.10. bis 10 m/s, bei allerdings starken Variationen. Die Perioden mit Wechsel der Windrichtung waren jeweils mit Geschwindigkeiten um 1 m/s verbunden.

Das Temperaturprofil Lienz – Vorhegg zeigt an allen Tagen zwischen 15. und 20.10. über Mittag leichte Labilisierung, sonst aber deutlich stabile Verhältnisse mit ausgeprägten Inversionen in den Nachtstunden und morgens. Das Temperaturprofil Lienz – Zetttersfeld zeigt durchgehend stabile Verhältnisse, sieht man von den Mittagsstunden am 17., 18. und 20.10. ab, während an den anderen Tagen auch über Mittag keine neutrale Temperaturschichtung erreicht wurde.

Ähnliche Verhältnisse wies das Temperaturprofil im Raum Klagenfurt auf; die Temperaturschichtung war zwischen Klagenfurt und Göriach meist stabil, leichte Labilisierung trat jeweils tagsüber auf. In größeren Höhen (Temperaturprofil bis zur Gerlitzten) hielt sich bis zum 20.10. abends sehr stabile Schichtung.

Das vertikale Ozonprofil korrespondiert mit dem Temperaturprofil. Nachts lag in Lienz Sportzentrum und an allen Stationen im Klagenfurter Becken die Ozonkonzentration nahe null, während sie auf der Gerlitzten um $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ blieb und nur marginale zeitliche Variationen aufwies – dies deutet darauf hin, dass die Gerlitzten oberhalb der stabil geschichteten bodennahen Atmosphäre lag. Tagsüber stieg mit der leichten Labilisierung der Atmosphäre die Ozonkonzentration in Lienz – weniger ausgeprägt im Klagenfurter Becken - an, erreichte aber nie das Niveau der Gerlitzten. Charakteristisch für die hochreichend stabile Schichtung war das Konzentrationsniveau in Vorhegg, welches nie die Belastung der Gerlitzten erreichte, aber während der nachmittäglichen Labilisierung deutlich anstieg. Vorhegg war somit vom Luftmassenaustausch mit dem Höhenniveau der Gerlitzten zumeist abgeschnitten.

Die Erwärmung, die ab dem 20.10. nachmittags einsetzte, führte über dem Klagenfurter Becken zunächst zu einer noch massiveren Inversion in Bodennähe, während das Temperaturprofil zwischen Gerlitzten und Göriach bereits labil wurde. Dagegen stieg im Raum Lienz die Temperatur an allen Stationen an, auch im Höhenbereich bis zum Zetttersfeld blieb in der Nach 20./21.10. stabile Schichtung bestehen. Die Inversion in den bodennahen Luftschichten löste sich erst am 21.10. gegen Mittag auf.

Während dieser Episode traten an den folgenden Stationen fast durchgehend PM10-Konzentrationen über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf: Eisenstadt, Illmitz, Klagenfurt Völkermarkterstr., Hainburg, Klosterneuburg, Mistelbach, Schwechat, Stixneusiedl, Lienz ORF-Zentrum, Gratwein, Graz Don Bosco, Graz Nord, Graz Ost, Köflach, Vomp a.d.L., Vomp A12 Raststätte und Wien Erdberg. An einzelnen Tagen wurden PM10-TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Treibach, Villach, Amstetten, Forsthoof, Bad Ischl, Braunau, Grünbach, Lenzing, Lienz 24er Turm, Lienz Freinberg, Lienz Neue Welt, Lienz Römerberg, Steyr, Steyregg, Traun, Vöcklabruck, Wels, Salzburg Lehen, Salzburg Mirabellpl., Salzburg Rudolfspl., Zederhaus, Bruck a.d.M., Masenberg, Graz Mitte, Brixlegg, Hall i.T., Innsbruck Reichenau, Innsbruck Zentrum, Kufstein, Landeck, Wörgl und Feldkirch gemessen.

Die PM10-Belastung war somit großflächig stark erhöht, vor allem im Süden und Osten Österreichs. In Illmitz wurden TMW bis $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (19.10., höchster TMW des Jahres) registriert, in Wien $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (18.10.), in Lienz bis $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (18.10.), in Bruck a.d.M. $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in Graz und Umgebung bis $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (18.10.); in Salzburg und Tirol

wurden Maxima um $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Sehr hohe Konzentrationen partikulären Sulfats und Ammoniums wurden in Illmitz gemessen.

Ungewöhnlich hoch war die PM₁₀-Belastung auch an erhöht gelegenen Standorten; in Masenberg, Forsthof und Grünbach traten PM₁₀-TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf, in Vorhegg bis zu $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in St. Koloman bis zu $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Am 20.10. wurde damit in Vorhegg der höchste TMW des Jahres 2001 registriert.

In Lienz zeigte die PM₁₀-Konzentration einen ausgeprägten Tagesgang mit Konzentrationen um $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der Nacht und Spitzen bis über $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tagsüber. Die PM₁₀-Konzentration stieg morgens jeweils um ca. 7:00 steil an, d.h. ca. eine Stunde später als die Konzentration von NO und CO, am 18. und 19.10. auch etwas stärker zeitverschoben. Die PM₁₀-Konzentration erreichte jeweils vormittags ein Maximum, das am 17. und 18.10. mit Spitzen über $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ besonders ausgeprägt war, ging über Mittag etwas zurück und stieg abends nochmals an. Der Konzentrationsrückgang über Mittag setzte – außer am 19. und 20.10. – bereits deutlich früher ein als der Anstieg der Ozonkonzentration, welcher durch die vertikale Durchmischung gesteuert wird, und dürfte somit eher das Emissionsverhalten als die Ausbreitungsbedingungen widerspiegeln.

Die PM₁₀-Konzentration zeigte an allen Tagen einen ungefähr parallelen Verlauf mit SO₂, NO und CO, nicht aber mit NO₂, wobei NO und CO aber morgens 1 bis 2 h früher anstiegen als PM₁₀. Abgesehen vom 20.10., an dem über Mittag stärkere Labilisierung einsetzte, wurde die NO₂-Konzentration offenbar wesentlich von der Ozonkonzentration gesteuert und erreichte an den meisten Tagen am frühen Nachmittag, parallel zu Ozon, die höchsten Werte.

Abweichend von anderen Episoden wies zwischen 15. und 20.10. auch Vorhegg eine sehr hohe PM₁₀-Belastung auf, die zwischen 30 und $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag, wobei der höchste TMW am 20.10. gemessen wurde. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Vorhegg während dieser Episode nicht oberhalb der stabil geschichteten bodennahen Atmosphäre lag, sondern innerhalb dieser mit PM₁₀ belasteten, aber ozonarmen Luftschicht. Die PM₁₀-Konzentration in Vorhegg weist dabei einen Tagesgang mit erhöhten Konzentrationen am Nachmittag auf, was ein deutlicher Hinweis ist, dass die leichte Labilisierung am Nachmittag zu verstärktem Transport belasteter Luft aus dem Tal an die Messstelle führte. Das PM₁₀-Maximum trat nachmittags auf, deutlich später als das Einsetzen von Vertikalaustausch; dies könnte ein Hinweis sein, dass PM₁₀-reiche Luft mit dem Taleinwind des Gailtales über längere Distanzen, d.h. aus dem Klagenfurter Becken, herantransportiert wurde.

Zusammenfassend ist damit festzuhalten, dass die sehr großflächig hochreichend (jedenfalls über 1000 m) stabile Schichtung der Atmosphäre wesentlich für die großflächig stark erhöhte PM₁₀-Belastung verantwortlich war.

7. und 8. November 2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
7.11.	Nordwest	1,1	2	8	58
8.11.	Nordwest	3,1	1	13	55

Nachdem ab 5.11. ein Hochdruckgebiet das Wetter über Mitteleuropa bestimmte hatte, näherte sich am 8.11. den Alpen von Norden eine Frontalzone, die am 9.11.

morgens die Ostalpen überquerte, zu einem Temperatursturz und verbreiteten Schneefällen führte.

Innerhalb der Luftmasse mediterranen Ursprungs, die bis zum 8.11. den Ostalpenraum erreichte, wurden Tageshöchsttemperaturen über 11°C erreicht. Bei meist starker Bewölkung waren die morgendlichen Temperaturminima ab 6.11. mit 1 °C (Lienz Bürgerau) relativ hoch. Das Temperaturprofil über Lienz zeigt bis 8.11. morgens stabile Schichtung. Am 8.11. stieg die Temperatur in Lienz deutlich höher an als in Vorhegg und auf dem Zetttersfeld, womit sich bereits vormittags leicht labile Schichtung ausbildete. Abends und in der folgenden Nacht erfolgte offenbar Warmluftadvektion (bis Mitternacht wurden in Lienz und Vorhegg +6°C registriert), womit sich wieder eine stabile Schichtung ausbildete. Der allgemeine Temperaturrückgang im Verlauf des 9.11. war dann mit der Ausbildung einer neutralen Temperaturschichtung in allen Höhengniveaus verbunden.

Die PM10-Konzentration war am 7. und 8.11. im Norden Österreichs sehr niedrig, nachdem maritime Luftmassen mit günstigen Ausbreitungsbedingungen von Nordwesten herangeführt worden waren. Dagegen blieb in Osttirol, Kärnten und der Steiermark bis 8.11. eine stabil geschichtete Luftmasse bestehen, sodass hier verbreitet PM10-Konzentrationen über 50 µg/m³ auftraten (maximal 114 µg/m³ in Graz Don Bosco). An einzelnen Messstellen in Nordtirol sowie in Illmitz traten noch Konzentrationen um 50 µg/m³ auf.

Die PM10-Konzentration wies am 7. und 8.11. in Lienz jeweils vormittags und abends Konzentrationen um 100 µg/m³ auf, am frühen Nachmittag ging die Konzentration jeweils unter 50 µg/m³ zurück – bedingt durch verbesserten vertikalen Austausch, der sich in einem Anstieg der Ozonkonzentration widerspiegelt. SO₂, NO, NO₂ und CO wiesen einen durchwegs ähnlichen Konzentrationsverlauf wie PM10 auf. Die länger anhaltende Labilisierung am 8.11. führte nachmittags zu vergleichsweise sehr niedrigen PM10-, NO- und CO-Konzentrationen. Ein Abfall der Schadstoffbelastung nahe null war am 9.11. ab 1:00 zu beobachten, als, einhergehend mit kurzzeitig starkem Wind (bis 7 m/s) die Temperatur rasch zu sinken begann und sich ein neutraler Temperaturgradient ausbildete.

Die Tiroler Straße war teilweise nass, es erfolgte geringfügige Salzstreuung.

17. November 2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 (µg/m ³)
17.11.	Hoch	1,1	-5	2	52

Am 17.11. bestimmte ein Hochdruckgebiet, das sich von den Ostalpen bis zu den Britischen Inseln erstreckte, das Wetter in Österreich.

In Osttirol war es sonnig und windschwach. In Lienz Bürgerau lag die Morgentemperatur bei -7°C, nachmittags erreichte sie +4°C. Das Temperaturprofil zeigt in allen Höhenstufen bis Zetttersfeld sehr stabile Schichtung, über Mittag trat im unteren Höhenbereich eine Abschwächung der Inversion auf.

Die PM10-Belastung wies am Samstag, 17.11. im Großteil Österreichs ein mäßiges Niveau mit TMW zwischen 30 und 50 µg/m³ auf, TMW über 50 µg/m³ wurden verbreitet in der Steiermark sowie in Innsbruck beobachtet.

In Lienz waren am 17.11. vormittags und nachmittags PM10-Spitzenwerte über $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu beobachten, parallel zu erhöhter SO_2 -, NO -, NO_2 - und CO -Belastung. Über Mittag ging die Konzentration dieser Schadstoffe zurück, der Anstieg der Ozonkonzentration deutet auf eine verbesserte vertikale Durchmischung hin.

19. bis 22. November 2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
19.11.	Nordwest	1,1	0	8	64
20.11.	Nord	1,1	-7	4	66
21.11.	Zwischenhoch	1,1	-7	3	69
22.11.	Nordwest	6,9	8	12	87

Die Wetterlage über Österreich war ab 19.11. von einer flachen Hochdruckbrücke, die sich von der Türkei bis zum Nordatlantik erstreckte, geprägt. Eine Frontalzone über dem nördlichen Mitteleuropa und ein Tiefdruckgebiet über Italien beeinflussten das Wetter im Ostalpenraum kaum. Auch an den folgenden Tagen, an denen sich das Hochdruckgebiet nach Westen verlagerte, blieb der Hochdruckeinfluss in den Ostalpen bestehen, sodass v.a. südlich des Alpenhauptkamms das sonnige, windschwache Wetter anhielt. Am 23.11. erreichte eine Frontalzone von Norden die Alpen, hinter der maritime Luft arktischen Ursprungs Mitteleuropa überflutete. An der Alpennordseite begann es zu schneien, in den höheren Regionen kam starker Wind auf. Auf der Gerlitzen und auf dem Zettersfeld setzte bereits am 22.11. nachmittags ein starker Temperaturrückgang ein, und um Mitternacht 22./23.11. labilisierte sich die Temperaturschichtung über dem Lienzener wie dem Klagenfurter Becken.

In Lienz war es bis 22.11. meist sonnig, dies hatte starke tägliche Temperaturamplituden zur Folge. Am 19.11. sank die Temperatur in Lienz Bürgerau morgens auf -5°C , an den folgenden Tagen unter -8°C , während die Tagesmaxima um $+4^\circ\text{C}$ lagen. Zwischen Lienz und Vorhegg bestand meist sehr stabile Schichtung, die sich lediglich am 19.11. über Mittag abschwächte. Zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstraße bildete sich in der Nacht jeweils eine Temperaturdifferenz bis 5°C aus, die auf eine sehr starke, aber sehr flache Bodeninversion hindeutet.

Die Windgeschwindigkeit war an der Dolomitenstraße mit 1 bis 2 m/s durchwegs niedrig, an allen Tagen bildete sich ein regelmäßiger Windrichtungswechsel zwischen Westnordwest nachts, vormittags und nachmittags und Südost über Mittag aus.

Nachdem am Sonntag, 18.11., die PM10-Belastung relativ niedrig war, stieg sie ab 19.11. im Süden Österreichs wieder an. Die Belastungsschwerpunkte waren Lienz, Kärnten und die Südsteiermark (v.a. Graz), aber auch Amstetten. In Wien und Innsbruck wurde eine mäßig hohe PM10-Belastung (einzelne TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) registriert, in Oberösterreich, Salzburg und dem Großteil Nordtirols und Niederösterreichs war sie relativ niedrig.

In Lienz waren die durchwegs sehr ungünstigen Ausbreitungsbedingungen verantwortlich für die hohe PM10-, NO - und CO -Belastung, die an allen Tagen bis 22.11. einen sehr ähnlichen Tagesgang mit einem Maximum am Vormittag und am Abend aufwies, wobei an jedem Tag die Abendspitze höher war als die

Vormittagsspitze und die PM10-Konzentrationen von Tag zu Tag kontinuierlich zunahmen. Analoges gilt für die Konzentration von NO, NO₂, CO und SO₂ bis zum 21.11.; am Samstag dem 22.11. war die NO- und NO₂-Konzentration aber etwas niedriger als am 21.11. Die Konzentration aller Schadstoffe nahm abends nur sehr langsam ab. Der Tagesgang zeigt an allen Tagen einen Konzentrationsrückgang über Mittag, der durch die etwas verbesserte vertikale Durchmischung (die sich in einem leichten Anstieg der Ozonkonzentration widerspiegelt, welche sonst 0 war) verursacht wurde.

In den ersten Stunden des 23.11. beendeten das Aufkommen von starkem Wind (bis 8 m/s) und die rasche Labilisierung der Atmosphäre zwischen Lienz und Zettlersfeld diese Belastungsepisode. Die Konzentration von PM10, NO und NO₂ fiel auf null, gleichzeitig stieg die Ozonkonzentration rasch auf über 80 µg/m³.

Die Tiroler Straße war nass, es erfolgte leichte Salzstreuung.

26. und 27. November 2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 (µg/m ³)
26.11.	Tief über Osteuropa ⁵⁶	1,1	2	10	52
27.11.	Tief über Osteuropa	1,1	-2	5	58

Ein flaches Hoch mit Kern über Italien bestimmte ab dem 26.11. das Wetter in Österreich, wobei von Westen in größerer Höhe relativ warme Luft herangeführt wurde. In den folgenden Tagen gelangten Luftmassen mediterranen Ursprungs in den Ostalpenraum, ehe am 28.11. eine okkludierte Front (mit Luft ozeanischen Ursprungs) die Ostalpen von Nordwesten her überquerte und verbreitet Schneefall verursachte; in der Folge bildete sich ein Tief über Italien.

Der 26.11. war in Lienz Bürgerau sonnig, die Temperatur stieg von -3°C in der Nacht auf +11°C, in der folgenden Nacht sank sie auf -3°C; der 27.11. war bedeckt, die Maximumtemperatur betrug +3°C. Die Temperaturschichtung zwischen Lienz Bürgerau und Vorhegg bzw. Zettlersfeld war durchgehend stabil, ausgenommen am 26.11. über Mittag. Zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstraße trat in der Nacht vom 26. zum 27.11. eine Temperaturdifferenz bis 3°C auf.

Am 26. und 27.11. traten in ganz Osttirol, Kärnten und der Steiermark sowie in Nordtirol sehr hohe PM10-Konzentrationen auf (an fast allen Stationen TMW über 50 µg/m³), dagegen war sie in Salzburg, Oberösterreich und Niederösterreich – ausgenommen Wien und Amstetten – relativ niedrig (meist unter 40 µg/m³).

In Lienz stieg am 26. und 27.11. die PM10-, SO₂- und NO₂-Konzentration jeweils erst um ca. 8:00, d.h. ca. 2 Stunden nach NO und CO, an. Am 26.11. ging die Konzentration aller Schadstoffe über Mittag deutlich zurück, da – wie der Konzentrationsanstieg bei Ozon zeigt – leichte Labilisierung der bodennahen Atmosphäre erfolgte. Am 27.11. war dieser Rückgang über Mittag nur schwach ausgeprägt, die Ozonkonzentration blieb fast durchgehend bei null. An beiden Tagen

⁵⁶ in der Regel mit Nordwind im Ostalpenraum verbunden

blieb die PM10-, NO- und CO-Konzentration abends lange auf hohem Niveau, v.a. am 27.11., als sie erst um Mitternacht fiel.

An beiden Tagen waren die Straßen in Lienz nass, aber schnee- und eisfrei, es erfolgte intensive Salzstreuung.

3. bis 5. Dezember 2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
3.12.	Hoch über Osteuropa	1,9	4	4	55
4.12.	Hoch über Osteuropa	1,1	0	3	70
5.12.	Nordwest	1,1	0	6	58

Am 3.12. lag Österreich am Rand eines ausgedehnten osteuropäischen Hochdruckgebietes mit Kern über Russland. Eine Frontalzone erstreckte sich von einem Tief nördlich von Skandinavien bis zum westlichen Mittelmeer. Österreich lag im Bereich einer kalten kontinentalen Luftmasse. Das Hochdruckwetter hielt am 4.12. an, ehe am 5.12. eine okkludierte Frontalzone die Ostalpen erreichte, die mit verbreitetem Regen oder Schneefall verbunden war.

Im Lienzer Becken war es am 3.12. über Mittag zeitweise sonnig, ab 4.12. durchwegs neblig und sehr windschwach; die Windgeschwindigkeit lag meist unter 1 m/s. Die Tageshöchsttemperatur lag um $+3^\circ\text{C}$.

Am 3.12. bestand zwischen Lienz und Vorhegg zumeist eine leicht labile Temperaturschichtung, zwischen Lienz und Zettersfeld stabile Schichtung, die zwischen 10:00 und 15:00 in eine Inversion überging, als die Temperatur auf dem Zettersfeld von um -6°C auf $+3^\circ\text{C}$ anstieg (verursacht möglicherweise durch das Aufreißen der hochreichenden Statusbewölkung); in Lienz stieg die Temperatur während dieser Stunden leicht von 0°C auf $+2^\circ\text{C}$.

Am 4.12. vormittags stieg in Vorhegg und Zettersfeld die Temperatur generell an, womit sich im gesamten Höhenprofil eine stabile Schichtung, zwischen Lienz und Vorhegg zumeist eine Inversion ausbildete. Während die stabile Schichtung unterhalb von Vorhegg auch nach dem 5.12. zumeist bestehen blieb, führte die Abkühlung auf dem Zettersfeld ab 6.12. 9:00 zur Ausbildung einer neutralen Schichtung in oberhalb von Vorhegg. Verbunden damit war ein Ansteigen der Windgeschwindigkeit am 6.12. über Mittag bis 4 m/s. Zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstraße bestand durchgehend eine leichte Inversion (Differenz 1°C).

Die PM10-Belastung war ab 3.12. nicht nur in Lienz, sondern auch verbreitet in der Steiermark, v.a. in Graz, sehr hoch (TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), in Klagenfurt und Villach stieg sie dagegen erst am 5.12. über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Unter $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ blieb sie in Nieder- und Oberösterreich, in Salzburg, Nordtirol und Vorarlberg.

In Lienz fielen keine Niederschläge. Die Straßen waren am 3.12. nass, am 4. und 5.12. teilweise nass; es erfolgte Salzstreuung in geringem Ausmaß.

Die PM10-Konzentration zeigt am 3. und 4.12. (Mo, Di) einen ungewöhnlichen Verlauf, sie stieg mehrere Stunden später als die NO- und CO-Konzentration an, am 3.12. ca. ab 11:00 (max. $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um 13:00), am 4.12. folgte einem

Morgenmaximum parallel zur NO-, CO- und NO₂-Spitze ein Rückgang mit neuerlichem Ansteigen ab 11:30 auf 188 µg/m³ (13:30). Die PM10-Konzentrationsmaxima fielen in eine Zeit mittäglich erhöhter Ozonkonzentration. Die meteorologischen Daten erlauben keine Interpretation dieses späten PM10-Konzentrationsmaximums.

Am 5.12. stieg die PM10-Konzentration morgens parallel zu SO₂, NO, NO₂ und CO an, fiel mittags ab und erreichte abends nochmals Konzentrationen bis 90 µg/m³, als die Belastung der gasförmigen Schadstoffe bereits im Sinken war.

Am 6.12. – an welchem morgens noch PM10-Konzentrationen bis 100 µg/m³ auftraten – bewirkte das Aufkommen starken Windes ab 13:00 einen Rückgang der PM10-Konzentration unter 20 µg/m³, auch die Konzentration der gasförmigen Schadstoffe fiel deutlich, während die Ozonkonzentration auf 40 µg/m³ anstieg.

7. bis 12. Dezember 2001

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 (µg/m ³)
7.12.	Hoch über Osteuropa	1,1	10	13	55
8.12.	Hoch über Osteuropa	1,9	4	10	67
9.12.	Hoch	1,1	3	10	62
10.12.	Hoch	1,1	-1	5	96
11.12.	Nord	1,1	-1	4	99
12.12.	Nord	3,1	0	6	62

Nachdem am 6.12. eine Frontalzone von Nordwesten den Alpenraum überquert hatte, setzte sich am 7.12. kältere maritime Luft über dem Ostalpenraum durch, beginnend in höheren Luftschichten setzte deutliche Abkühlung ein. In Kärnten regnete es nur wenig, der Wind frischte aber deutlich auf. Ab 8.12. bestimmte ein Hoch mit Kern über Ostmitteleuropa das Wetter in Österreich; im Süden Österreichs war es stets windschwach, am 9.12. wolkenlos, am 10.12. wechselnd bewölkt. Das Hoch – verbunden mit kontinentaler Kaltluft – dehnte sich ab 10.12. zu den Britischen Inseln aus, während von der Nordsee her maritime Luftmassen nach Mitteleuropa vordrangen. Diese führten am 11.12. über den Ostalpen zu stärkerer Bewölkung und Schneefall bzw. Regen im Klagenfurter Becken. Diese Wetterlage hielt auch am 12.12. an, bis sich am 13.12. ein Höhentief von Nordosten dem Alpenraum näherte; eine Kaltfront bewirkte am 13.12. morgens einen massiven Kaltlufteinbruch von Osten mit sich.

Die Temperaturschichtung über dem Lienzer Becken war am 7.12. bis nachmittags labil, danach bildete sich zwischen Lienz Bürgerau und Vorhegg, aber auch zwischen Bürgerau und Dolomitenstraße eine Inversion aus. In der Nacht vom 7. zum 8.12. fiel die Temperatur in allen Höhen, morgens wurde in Lienz eine Minimumtemperatur von -7°C gemessen, auf dem Zettersfeld -12°C. Die Temperaturschichtung blieb zwischen 8. und 11.12. in allen Höhengschichten deutlich stabil, wobei sich zwischen Lienz Bürgerau und Dolomitenstraße bis 11.12. morgens eine sehr ausgeprägte Inversion (Temperaturdifferenzen bis 3°C) ausbildete. Ab 11.12. mittags bildete sich zwischen Bürgerau und Dolomitenstraße sowie zwischen Bürgerau und Vorhegg

neutrale Schichtung aus, zwischen Lienz und Zetttersfeld bestand nach wie vor eine ausgeprägte Inversion.

Eine grundlegende Änderung der Wetterlage setzte am 12.12. mittags ein, als die Temperatur in Vorhegg und auf dem Zetttersfeld deutlich fiel (am Zetttersfeld ab 14:00 von -3°C auf -8°C), während in Lienz die Temperatur um 15:00 von 1°C auf 5°C stieg. Damit bildete sich in allen Höhengniveaus eine deutlich labile Schichtung aus, die sich oberhalb von Vorhegg infolge der weiteren Abkühlung am Zetttersfeld (bis -21°C am 13.12. abends) länger hielt. Im Lienzer Becken selbst dürften relativ komplexe Verhältnisse geherrscht haben, die abends zu einer ausgeprägten Inversion zwischen Bürgerau und Dolomitenstraße, aber annähernd neutraler Schichtung zwischen Dolomitenstrasse und Vorhegg führten.

Die PM₁₀-Belastung war während dieser Episode in ganz Süd- und Ostösterreich extrem hoch; großflächig sehr ungünstige Ausbreitungsbedingungen führten auch im ländlichen Raum Ostösterreichs zu extrem hohen Belastungen. In Wien Erdberg wurde am 10.12. mit $126\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ der höchste TMW des Jahres erreicht, TMW über $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ traten in mehreren Kleinstädten Niederösterreichs auf, in Graz wurden bis zu $109\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. In Illmitz wurde am 11.12. eine PM₁₀-Konzentration von $68\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert, ehe sie am folgenden Tag auf $23\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ fiel. In Wien wurde der Grenzwert des IG-L für Schwebstaub am 10.12. an drei Messstellen überschritten. Etwas niedriger, aber immer noch über $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag die PM₁₀-Belastung in Lienz, Hallein und Innsbruck. Sehr niedrig war dagegen mit 5 bis $11\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ die PM₁₀-Konzentration in Vorhegg.

Am Freitag 7.12. stieg die PM₁₀-Konzentration in Lienz zunächst ab 8:00 – d.h. gegenüber NO und CO deutlich verzögert – leicht an, doch erst nach 12:30 erfolgte ein steiler Konzentrationsanstieg über $200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ - parallel zu einer NO- und NO₂-Spitze, die allerdings nicht ungewöhnlich hoch war (NO $200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$). Bereits am Nachmittag sank die PM₁₀-Belastung deutlich ab und lag bis zum späten Abend bei 50 bis $90\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die meteorologischen Daten lassen keine schlüssige Interpretation dieses Konzentrationsverlaufs zu. Die Tiroler Straße war am 7.12. teilweise nass, es erfolgte intensive Salzstreuung (in Lienz wurde kein Niederschlag gemessen, in Mallnitz sehr geringer Schneefall).

Am 8.12. wies die PM₁₀-Konzentration zwei Maxima um ca. 11:00 und 17:00 auf, welche ca. 2 Stunden gegenüber NO und ca. 1 Stunde gegenüber NO₂ zeitversetzt auftraten. Am 8.12. und den folgenden Tagen war die Tiroler Straße nass, es erfolgte geringfügige Salzstreuung.

Am Sonntag 9.12. war die PM₁₀-Konzentration vormittags mit maximal $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ relativ niedrig und stieg ab 16:00 parallel zu NO und NO₂ auf bis $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. An den beiden folgenden Tagen wurden ausgeprägte Konzentrationsmaxima vormittags und abends beobachtet, die jeweils 1 bis 3 Stunden zeitversetzt gegenüber NO auftraten, aber ca. zeitgleich mit NO₂-Maxima.

Zwischen 8.12. nachmittags und 11.12. herrschten zwischen Bürgerau und Dolomitenstraße sowie zwischen Bürgerau und Vorhegg durchwegs sehr ungünstige Ausbreitungsbedingungen. Der Rückgang der Konzentration von PM₁₀ und den gasförmigen Schadstoffen sowie der parallele Anstieg der Ozonkonzentration deutet an allen Tagen auf eine leichte Labilisierung über Mittag hin. Die Windgeschwindigkeit lag durchgehend unter 1 m/s, wobei sich ein Talwindssystem mit Südostwind über Mittag und Nordwestwind in der übrigen Zeit ausbildete. Für das Belastungsbild spielten somit die lokalen Emissionen bei zumeist sehr ungünstigen Ausbreitungsbedingungen die wesentliche Rolle.

Am 12.12. setzte mit der Erwärmung in Lienz um 15:00 und der gleichzeitigen Abkühlung in Vorhegg und auf dem Zettersfeld eine Labilisierung ein, die mit Windgeschwindigkeiten bis 6 m/s zu einem deutlichen Rückgang der PM10-, NO- und CO-Belastung führte. Ab 18:00 bildete sich zwischen Bürgerau und Dolomitenstraße eine Inversion aus (verbunden mit Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s), womit die PM10-, NO- und CO-Konzentration wieder deutlich anstiegen. Erst in der folgenden Nacht fiel bei Windgeschwindigkeiten deutlich über 50 m/s und Isothermie zwischen Bürgerau und Dolomitenstraße die PM10-Konzentration auf Werte nach null.

Die Belastungsepisode von 14. bis 29.12.2001 wird, da es sich um den Zeitraum mit den höchsten PM10- und TSP-Konzentrationen, in Kapitel 7.2 behandelt.

Belastungsepisoden im Jänner und Februar 2002

Im Jänner 2002 wurde in Lienz (sowie u.a. auch in Kärnten und der Steiermark) eine außerordentlich hohe PM10-Belastung registriert. In Lienz traten von 4. bis 12.1., am 14.1., 16.1. und 29.1. TMW über 50 µg/m³ auf.

Im folgenden wird die hoch belastete Periode vom 4. bis 12.1.2002 näher dargestellt.

Die Großwetterlage war durchgehend von einem Hochdruckgebiet geprägt, dessen Kern am 3.1. über Südsandinavien, an den folgenden Tagen direkt über Mitteleuropa lag; auch am 7.1. („Tief über Osteuropa“) änderte sich die Wetterlage im Alpenraum kaum. Dadurch bedingt lag ab dem 4.1. eine kalte kontinentale Luftmasse über Mitteleuropa. Während des Zeitraums vom 4. bis 12.1. herrschten großflächig, vor allem aber südlich des Alpenhauptkamms sehr ungünstige Ausbreitungsbedingungen. Am 13.12. führte ein Höhentief, das sich von Dänemark her den Alpen näherte, allerdings zu einer Auflösung der Inversionssituation.

Das Temperaturprofil zwischen Lienz Dolomitenstraße und Vorhegg zeigt ab 3.12. ca. 17:00 stabile Schichtung, welche sich in den folgenden Wochen nie labilisierte. Zeitweise bildeten sich extreme Inversionen mit Temperaturgradienten über 8°C aus. Wie das Temperaturprofil zwischen Lienz und Villacher Alpe zeigte, war die Atmosphäre sehr hochreichend stabil geschichtet mit extremen Inversionen v.a. am Morgen. Der Ozonkonzentrationsverlauf in Lienz zeigt allerdings, dass über Mittag in Bodennähe jeweils leichte Labilisierung stattfand, was einen gewissen Vertikalaustausch und einen leichten Anstieg der Ozonkonzentration zur Folge hatte. Diese extreme Inversionssituation wurde am 13.1. beendet, als, offenbar gesteuert durch ein Höhentief, das sich den Alpen von Norden näherte, die Luft in höheren Schichten abkühlte.

Der 4. und 5.12. waren sehr kalt (Minimumtemperatur in Lienz um -12°C), danach wurde es etwas wärmer, die Morgentemperaturen lagen um -8°C, die Tagesmaxima um +1°C.

In Lienz fiel während dieser Episode kein Niederschlag.

Die PM10-Konzentration zeigt in Lienz an allen Tagen außer dem 7.1. (Montag) einen zweigipfeligen Verlauf mit einem ausgeprägten Minimum über Mittag, welches – wie der parallele Anstieg der Ozonkonzentration andeutet – auf leichte Labilisierung der bodennahen Luftschicht zurückzuführen ist. Das morgendliche PM10-Konzentrationsmaximum trat dabei jeweils deutlich später auf als das

Maximum bei NO und CO und in der Regel parallel zu einem Maximum bei NO₂. wobei der verzögerte Anstieg bei NO₂ wohl auf die – bei verschwindender Ozonkonzentration – nur sehr langsame Oxidation von NO zurückzuführen ist).

Ein ungewöhnliches Verhalten zeigt die PM10-Konzentration am 7.1., an dem ein vormittägliches Maximum fehlt, die Konzentration aber über Mittag parallel zu Ozon auf knapp 190 µg/m³ anstieg. Generell war die PM10-Konzentration ab Montag 7.1. deutlich höher als am 4. bis 6.1., was auf den höheren Straßenverkehr zurückzuführen ist. Nachmittag traten Spitzen über 200 µg/m³ auf, besonders hoch waren sie zwischen 7. und 9.1. Auffallend ist, dass SO₂ zumeist ein relativ spätes vormittägliches Maximum parallel zu NO₂ und PM10, weniger zu NO und CO zeigt,

Tage mit PM10-TMW über 50 µg/m³ in Lienz im Jänner und Februar 2002

	Großwetterlage	Windgeschw.	Temperaturgradient morgens	Temperaturgradient mittags	PM10 µg/m ³
4.1.	Hoch	1,9	-3	4	67
5.1.	Hoch	1,9	-9	0	71
6.1.	Hoch	1,9	-10	1	83
7.1.	Tief über Osteuropa	1,1	-3	-8	109
8.1.	Hoch	1,1	-11	0	86
9.1.	Hoch	1,9	-12	-1	90
10.1.	Hoch	1,1	-12	0	73
11.1.	Hoch	1,9	-12	0	82
12.1.	Hoch	1,1	-8	2	85
14.1.	Tief südlich der Alpen	1,1	6	11	56
16.1.	gradientschwach	1,1	2	6	54
29.1.	Südwest	1,9	2	6	73
1.2.	Südwest	1,1	3	10	72
2.2.	Südwest	1,9	-7	6	51
4.2.	Südwest	1,1	-3	8	51
5.2.	Südwest	1,9	-3	7	69
6.2.	Tief über dem westl. Mittelmeer	1,1	3	8	96
11.2.	West	1,1	2	11	53
13.2.	West	1,9	-3	7	56
17.2.	Tief südlich der Alpen	1,1	1	3	52
26.2.	West	1,1	4	13	55
27.2.	West	0	1	10	73

Anhang 3: PM10-Konzentrationen in Lienz und Kärnten, Jänner 2001 bis März 2002

Tagesmittelwerte der PM10-Konzentration in Lienz, Klagenfurt Völkermarkterstraße, Villach und Vorhegg sowie der Schwebstaubkonzentration in Klagenfurt Völkermarkterstraße, Klagenfurt Koschatstr., Villach und Obervellach, Jänner 2001 bis März 2002, $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Farbig unterlegt: PM10-TMW über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
01.01.01		46,2						5,1
02.01.01		88,0			31,7			3,6
03.01.01		61,5			37,1			3,8
04.01.01		51,6			23,5			3,4
05.01.01		34,1			22,8			3,1
06.01.01		36,1			21,7			3,0
07.01.01		18,2			15,9			2,7
08.01.01		19,7						1,9
09.01.01		33,5	42,3		20,9			2,6
10.01.01		58,0	73,1		19,0			6,0
11.01.01		66,3	78,2		22,0			4,4
12.01.01		52,7	64,8		35,4		23,5	7,9
13.01.01		23,3	25,9		21,4	38,5	23	15,9
14.01.01		28,2	30,4		21,5	26,7	29,2	17,2
15.01.01		40,2	51,4			24,6	30,2	13,2
16.01.01		48,6	64		38,1	36,8	36,3	15,9
17.01.01		59,1	76,7		42,4	46,8	35,5	12,5
18.01.01		74,3		65,3	48,8	53,1	29,1	16,2
19.01.01		67,9	72,4	50,7	45,2	50,5	25,4	7,7
20.01.01		56,8	51,4	48,6	38,3	47,1	22,4	7,0
21.01.01		42,5	38,6	35,5	44,6	41,3	38,2	25,6
22.01.01		53,1	44,9	42,6	46,1	38	30,1	12,7
23.01.01		58,7	54,9	40	44,5	43,1	24,8	5,9
24.01.01		62,2	50,5	47,3	46,8	42,4	27	4,3
25.01.01		75,6	63,3	45,4	51,5	45,4	20,1	2,9
26.01.01		31,4	29,6	22,5	29,6	46,8	21,6	5,3
27.01.01		33,0	38,8	20,7	24,4	30,5	17	5,6
28.01.01		23,8	26,3	16,2	22,9	26,8	9,6	3,8
29.01.01		39,9	49	23	27,1	21,3	18	4,2
30.01.01		28,0	23,6	19,3	32,2	29,3	18,6	7,5
31.01.01		34,4	47,3	22	29,9	28,7	12,7	9,1
01.02.01		36,8	50,5	22,1	39,9	31,1	9,3	4,5
02.02.01		41,8	60,9	26,2	35,0	54,3	10,6	4,6
03.02.01		47,1	52,1	37,6	30,3	52	21,5	15,2
04.02.01		53,0	53,9	44,7	38,4	43	18,6	19,6
05.02.01		57,6	64,9	40,8	33,9	34,9	23	13,3
06.02.01		68,4	83	41,4	31,6	38	27,6	11,7
07.02.01		48,3	60,7	30,4	21,6	46,7	29,8	13,9
08.02.01		32,7	37,5	19,9	22,5	35	24,3	13,1

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
09.02.01		46,5	58,8	24	14,7	33,6	16,2	3,1
10.02.01		30,2	43,6	27,8	22,2	28	15	2,8
11.02.01		32,5	43,7	29,1	19,7	28,5	17	2,4
12.02.01		53,5	69,2	39,5	36,1	31,2	29,9	3,9
13.02.01		57,7	71,2	49,1	51,8	46,9	32	6,7
14.02.01		52,9	70,5	43,6	38,8	67,4	37,8	14,2
15.02.01		54,4	66	46,1	37,1	56	28,4	7,4
16.02.01		57,2	71	43,9	35,9	46,9	32,8	6,0
17.02.01		58,7	63,6	45,4	40,2	45,6	26,4	11,5
18.02.01		34,4	37,4	33	32,6	49,4	13	9,5
19.02.01		38,9	51,5	33,5	33,7	42,4	15,2	8,2
20.02.01		39,2	54,4	33,9	36,8	48,1	13	5,3
21.02.01		27,4	37	24,3	22,5	53,7	10,7	4,2
22.02.01		20,3	26,7	16,9	12,8	34,7	8,7	2,5
23.02.01		33,1	39	21,1	23,2	21	8,1	3,8
24.02.01		27,7	35,5	19,5	15,8	30,3	13,4	6,7
25.02.01		18,6	16,7	16,1	15,4	25,5	12,2	8,7
26.02.01		28,9	34,7	22,3	20,1	19,5	12,1	7,9
27.02.01		37,9	53,7	27	23,9	28,2	15,6	15,0
28.02.01		45,7	52,5	41,1	31,7	30,8	26,6	18,3
01.03.01	27,0	49,0	58,1	36,1	28,4	44,1	20,8	9,0
02.03.01	40,0	52,8	63,1	37	28,9	30	19	12,3
03.03.01	30,0	38,0	37,4	24,9	29,7	34,1	19	4,4
04.03.01	18,0	37,1	31,5	30,6	28,4	28,9	13,9	4,8
05.03.01	32,0	37,9	42,8	25,1	17,3	26,8	9,8	3,4
06.03.01	39,0	26,0	40,8	31,7	26,5	24,4	21,8	14,1
07.03.01	42,0	48,6	60,3	41,3	39,3	33,8	34,5	28,1
08.03.01	44,0	40,5	49,1	33,1	28,9	49,4	32,8	16,1
09.03.01	17,0	22,7	26,7	13,8	16,3	40,6	10,8	3,6
10.03.01	19,0	23,7	28,9	16,9	16,8	19,6	11,7	4,9
11.03.01	20,0	26,8	30	23,1	17,3	24,7	13,5	5,9
12.03.01	26,0	32,8	43,7	24,8	23,1	22,6	16,1	9,8
13.03.01	20,0	17,3	13,9	11,9	20,2	34,1	11,3	2,9
14.03.01	28,0	28,8	43,7	19,5	22,2	22,2	17,4	8,8
15.03.01	27,0	30,0	39,9	22,3	21,9	31,1	14,7	9,3
16.03.01	37,0	35,8	44,2	34,1	25,8	31,1	19	15,7
17.03.01	29,0	27,8	34,9	20,8	21,8	35,4	21,9	11,4
18.03.01	13,0	14,0	16,6	13,3	11,7	27,3	12,3	6,5
19.03.01	25,0	23,4	32,8	20,6	18,3	14,9	16,7	15,8
20.03.01	25,0	21,7	28,3	18,3	16,8	26	15,2	11,8
21.03.01	37,0	36,3	47,2	32,6	30,0	23,4	18,2	16,9
22.03.01	21,0	39,6	50,5	35	20,7	39,3	15,9	8,3
23.03.01	20,0	25,6	39,8	26	20,1	30,4	13,9	8,8
24.03.01	30,0	32,9	39,8	39,9	27,2	30,1	26,5	21,9
25.03.01	28,0	28,3	36,4	42,9	23,6	35	22,9	15,0
26.03.01	16,0	16,2	21,3	11,3	14,3	31,4	11,6	2,7
27.03.01	18,0	19,3	23,4	14,5	12,5	17,4	14,4	4,3
28.03.01	18,0	30,6	32,7	26,4	22,6	16,4	16,9	5,0
29.03.01	23,0	29,7	32,5	24,6	26,9	26,1	27,7	7,2

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
30.03.01	13,0	27,7	28,6	21,7	23,3	31,8	12,8	3,0
31.03.01	16,0	24,3	29,2	19,2	20,4	22,8	15,1	5,0
01.04.01	13,0	17,6	21,2	19,5	16,8	24,1	13,5	6,5
02.04.01	25,0	32,7	44,7	32,2	24,7	30,6	21,2	9,9
03.04.01	24,0	34,7	44,5	34,4	29,1	30,5	21,7	12,0
04.04.01	43,0	44,9	61,1	42,7	38,8	40	36,5	34,2
05.04.01	27,0	15,9	18,3	16,3	18,4	48,7	12,7	7,1
06.04.01	21,0	25,0	31,9	17,6	17,7	23,9	14	6,0
07.04.01	23,0	19,4	20,9		21,5	24,3	12,4	10,4
08.04.01	7,0	11,0	10,9		9,0	23,3	8,3	2,8
09.04.01	17,0	16,6	21,5		14,7	10,9	12,1	3,2
10.04.01	19,0	19,1	25,7	16,1	16,2	20,3	11,7	7,7
11.04.01	31,0	16,6	13,6	10,7	13,8	23,9	13,5	3,4
12.04.01	27,0	18,4	25,2	11	15,3	12,5	10,7	4,2
13.04.01	17,0	17,7	26	14,5	14,9	18,9	15,1	4,1
14.04.01	12,0	24,4	24,3	20,5	14,6	21,8	19	4,5
15.04.01	11,0	43,4	37,6	40	17,4	18,1	10,5	10,7
16.04.01	15,0	25,5	23,8	21,2	22,9	19,3	14	11,0
17.04.01	16,0	21,5	27,5	14,2	18,7	21,8	9,9	3,4
18.04.01	20,0	23,7	29,3	21,4	17,3	22,8	17,1	5,8
19.04.01	22,0	29,7	35,1		17,2	21,6	14,3	7,6
20.04.01	13,0	21,3	20,7		14,6	19,3	9,2	2,2
21.04.01	14,0	12,3	11,3	9,4	12,3	12,7	10,6	3,8
22.04.01	13,0	8,3	9,9	7,7	10,7	14,1	9	3,8
23.04.01	21,0	19,2	25,9	16,5	15,7	12,4	15	7,6
24.04.01	23,0	21,5	31	22,6	20,0	20,7	31,3	10,9
25.04.01	36,0	26,5	38		22,1	29	27,5	26,8
26.04.01	17,0	17,5	20,9		16,3	32,7	11,6	4,3
27.04.01	20,0	23,8	30,7		17,8	20,4	16,3	5,0
28.04.01	24,0	23,0	32,8		21,9	32,2	17,3	17,1
29.04.01	31,0	29,1	34,2		30,4	27,4	26,6	28,3
30.04.01	39,0	30,4	45,8		27,2	34,1	28	14,3
01.05.01	23,0	21,0	31,1		22,7	35	21,4	11,9
02.05.01	30,0	30,9	54,1		26,1	30,5	28,9	12,8
03.05.01	43,0	41,9	63,2	47,6	30,2	36,8	27,1	15,3
04.05.01	34,0	33,8	44,6	31,3	24,0	38,8	29,1	14,4
05.05.01	25,0	30,4	35,6	28,6	26,4	32,1	22,2	14,4
06.05.01	19,0	24,0	19,6	20,6	21,4	32,8	21,5	16,1
07.05.01	26,0	35,0	41,3	26	23,8	24,7	20,2	12,7
08.05.01	16,0	28,4	30,6	17,5	22,0	29,7	11,9	7,0
09.05.01	21,0	36,1	63,2	21,9	21,5	27,7	24,3	11,6
10.05.01	26,0	31,2	52,7	30,9	26,0	32,3	24	14,4
11.05.01		31,3	55,9	31,2	25,0	38,4	15,4	11,9
12.05.01	19,0	19,3	35,4	26,6	19,0	42,6	14,6	9,4
13.05.01	16,0	19,7	32,7	28,3	18,4	32,6	18	15,6
14.05.01	30,0	36,4	59,8	37,9	29,7	28	44	27,7
15.05.01	33,0	30,3	54,8	36,6	23,4	48,4	29,1	17,1
16.05.01	25,0	27,2	38,5	31,9	20,3	37,5	24,7	16,2
17.05.01	31,0	27,9	45,9	34,1	22,3	30,7	28,3	19,9

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
18.05.01	21,0	23,1	29,1	17,5	18,9	33	14,6	8,3
19.05.01	12,0	12,4	18,9	13,3	12,4	28,3	11,4	8,2
20.05.01		17,9	23,9	17	15,4	15,4	15,7	11,9
21.05.01		33,5	41,6	20,8	24,2	18,3	24,9	16,5
22.05.01		32,6	38,7	24,4	25,6	29,8	24,9	16,2
23.05.01	29,0	35,2	44,7	38,1	32,3	32,9	32,1	23,5
24.05.01	25,0	27,0	31,7	31,2	25,9	40,3	26,3	19,6
25.05.01		30,8	38,4	30	23,2	32	17,3	9,5
26.05.01	15,0	24,2	33,3	28,1	22,8	31,9	25,7	13,1
27.05.01	25,0	26,1	32,3		24,5	32	23,6	18,1
28.05.01	27,0	31,9	52,1		27,4	31	27,4	17,2
29.05.01	26,0	32,3	50,3	46,6	27,3	41,1	17,6	14,3
30.05.01	23,0	35,2	47,4	40,2	29,3	44,1	19,3	20,1
31.05.01	20,0	35,4	43	26,5	27,7	45,1	23	17,2
01.06.01	19,0	16,2	25,9	17,8	14,0	33,6	11,4	6,5
02.06.01	16,0	13,5	15,3	12,2	11,2	20,9	14,1	7,9
03.06.01	9,0	7,5	13,3	10,8	7,3	16,4	9,8	12,7
04.06.01	6,0	4,2	9,2	8,2	5,2	12,2	9,3	13,3
05.06.01	22,0	14,2	21,3	14,1	15,7	10,4	13,8	12,4
06.06.01	31,0	21,9	30,7	23,6	24,5	22,9	20,9	19,9
07.06.01	21,0	15,9	21,1	13,5	13,9	31,6	19,1	10,1
08.06.01		23,2	30	22,9	23,9	20,4	33,6	29,9
09.06.01		22,8	31,7	26	24,8	34	27,3	22,6
10.06.01		25,4	37,4	34,7	22,0	33,5	24,3	17,8
11.06.01	17,0	18,3	23,8	17,1	12,7	33	11,9	1,7
12.06.01	19,0	17,8	23,7	13,7	12,4	16,8	17,8	4,3
13.06.01	23,0	24,0	30,5	20,2	17,8	17,9	23,4	7,7
14.06.01	9,0	28,4	56,7	16,4	13,7	25,3	10,9	2,8
15.06.01	24,0	25,3	54,3	21,2	18,3	18,3	18,7	17,6
16.06.01	41,0	30,9	41,1	29,9	30,0	25,2	34	28,5
17.06.01	8,0	9,3	12,1	7,4	7,1	41	9,5	3,1
18.06.01	14,0	13,6	21,7	8	9,1	12	7,5	2,1
19.06.01		16,7	25,3	10,3	10,2	15,4	7,1	1,4
20.06.01	17,0	13,8	22,9		10,2	17,7	10,6	3,4
21.06.01	22,0	19,1	25,2	18,2	15,4	18,7	13	13,1
22.06.01	37,0	32,1	40	30,4	26,5	24	23,5	28,0
23.06.01	25,0	22,2	27,7	21,1	19,5	40,6	19,2	16,4
24.06.01	21,0	16,2	19,6	17,5	15,7	26,4	15,2	8,1
25.06.01	36,0	28,3	33,9	31,2	25,3	21,8	22,6	4,0
26.06.01	37,0	33,5	41,1	46,3	31,4	34,1	27,6	26,0
27.06.01	40,0	43,3	52,2	57,9	35,4	42,8	34,1	25,9
28.06.01	26,0	39,3	51,2	40,4	30,2	45,3	22,8	11,1
29.06.01	23,0	26,9	31,1	19,9	20,1	40,6	13,6	10,7
30.06.01	17,0	24,1	29,6	23	19,5	25,4	16,6	12,4
01.07.01	13,0	12,0	14,2	10,1	11,9	23,8	10,9	6,5
02.07.01	24,0	20,8	28,6	17,4	19,0	14,4	16,5	7,9
03.07.01	23,0	26,7	36,8	25,2	20,8	26,3	19,3	13,4
04.07.01	31,0	25,8	32,2	24,1	22,8	30	26,2	16,8
05.07.01	33,0	36,6	43,3	33,7	31,1	29,8	33,5	20,8

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
06.07.01	57,0	44,8	56,1	46,1	41,6	39,6	47	36,0
07.07.01	58,0	37,6	71,1	62,3	34,3	57,7	53,4	28,4
08.07.01	9,0	11,0	14,1	14,3	9,4	59,1	11,2	7,0
09.07.01	15,0	17,8	29	14,2	16,4	13,7	14,9	6,7
10.07.01	23,0	23,3	26,7	20,8	19,8	18,1	15,4	10,9
11.07.01	20,0	23,3	29,1	24,5	19,8	22,9	17,9	10,6
12.07.01	18,0	22,4	22,4	10,8	15,9	25,3	12	6,2
13.07.01	20,0	15,9	26,2	20,2	22,5	17,1	15,9	9,7
14.07.01	27,0	24,7	23,7	21,3	24,9	25,3	21,1	18,2
15.07.01	36,0	31,5	31,1	37,8	30,0	26,5	30,6	22,4
16.07.01	33,0	33,5	41,3	36,6	32,2	34	23,2	12,4
17.07.01	33,0	19,4	19,1	17,1	19,3	39,1	14,9	7,4
18.07.01	26,0	24,3	29,5	22,2	21,7	18,8	20	12,0
19.07.01	27,0	24,9	24,6	23,7	21,7	23,3	18	7,0
20.07.01	14,0	16,1	15,1	15,5	16,7	21,5	10,1	3,8
21.07.01	10,0	14,6	21,3	16	15,3	17,9	8,6	3,6
22.07.01	10,0	14,5	15,5	13,4	13,4	15,9	8,9	4,8
23.07.01	20,0	25,6	30,8		22,5	13,5	10,9	9,6
24.07.01	32,0	37,3	41,9	31,9	25,8	25	17,9	14,1
25.07.01	31,0	33,2	36,7	27,7	25,7	34,9	19,4	11,9
26.07.01	27,0	25,8	30,3	22,6	22,1	32,4	19,7	12,3
27.07.01	32,0	29,2	32,1	24,5	25,9	29,7	24	17,0
28.07.01	24,0	24,7	25,4	26,2	22,8	36,6	21,2	13,8
29.07.01	16,0	21,3	21,6	19,8	16,5	27,3	18,2	
30.07.01	27,0	26,4	28,2	19,6	21,3	21	22,9	
31.07.01	29,0	28,8	33,7	24,9	24,3	27,4	24,9	
01.08.01	38,0	36,7	43,5	34,6	32,1	34,6	28,6	
02.08.01	51,0	42,1	45,6	46,4	37,9	42,8	37	27,8
03.08.01	56,0	39,9	49,3	50,4	40,1	49,9	39,3	31,7
04.08.01	37,0	31,3	39,1	46	31,0	53,1	33,6	24,5
05.08.01	9,0	17,7	18,1	17,7	17,2	42,1	16,3	7,9
06.08.01	23,0	16,7	20,1	12,3	13,9	24,6	12,4	5,7
07.08.01	19,0	22,4	25,1	17,7	20,6	18,1	16,3	7,3
08.08.01	27,0	25,1	30,6	22,1	21,7	23,2	17,8	11,2
09.08.01	32,0	32,6	35,5	26,5	33,3	25	22,2	17,9
10.08.01	26,0	28,7	35,6	27	22,4	40,6	17,9	11,4
11.08.01	13,0	12,1	13,4	9,8	11,8	26,2	10	4,0
12.08.01	16,0	12,6	12,2	12,6	14,3	11,1	14,8	6,9
13.08.01	20,0	22,7	27,2	18,4	20,7	21,6	16,9	9,1
14.08.01	25,0	27,4	31,4	23,1	25,7	24,6	18,8	12,0
15.08.01	27,0	26,9	28,5	27,6	27,7	29,4	23,8	16,9
16.08.01	32,0	36,9	41,4	37,3	34,8	31,9	32,5	16,2
17.08.01	34,0	43,8	51,9	46,7	39,9	38,4	27	20,6
18.08.01	23,0	26,9	30,1	28,2	26,4	47,8	21,6	14,7
19.08.01	27,0	27,3	28,8	32,3	28,3	28	24,2	21,9
20.08.01	30,0	25,0	30,7	25,3	26,2	33,5	19,6	14,5
21.08.01	20,0	16,9	21,1	12,4	13,9	53,8	10,2	4,6
22.08.01	16,0	19,2	27,1	16,1	15,5	33,8	11,5	5,6
23.08.01	27,0	32,4	50,8	30,2	26,1	30,4	22,6	13,0

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
24.08.01	37,0	35,8	44,2	33,4	30,3	57,1	29,8	20,1
25.08.01	31,0	31,6	35,2	35,2	25,1	44,8	25,4	15,4
26.08.01	27,0	29,6	32,3	32,2	24,2	31,2	24,1	17,4
27.08.01	30,0	37,2	44	37,5	32,7	29,9	24,2	19,0
28.08.01	39,0	35,4	40,7	34,5	31,9	43,4	28,5	21,3
29.08.01	28,0	30,1	36,1	33,5	26,4	41,7	23,9	21,2
30.08.01	36,0	28,3	42,9	28,6	23,7	33,9	35,2	20,6
31.08.01	22,0	35,5	33,2	25,5	27,5	36	19,8	9,6
01.09.01	11,0	10,2	11,4	8,2	9,5	30,4	14,9	1,5
02.09.01	9,0	10,2	12,5	9,6	7,3	13,1	7,9	2,0
03.09.01	18,0	19,1	23,1	18,1	11,9	12,5	11,4	7,4
04.09.01	28,0	26,9	31,9	21,2	21,9	19,5	14,2	7,4
05.09.01	18,0	16,0	20,8	12	9,9	31,7	6,1	0,6
06.09.01	14,0	19,8	26,5	17,1	14,2	15	6,6	0,8
07.09.01	18,0	18,4	22,9	14,5	14,8	21,4	6,5	2,2
08.09.01	19,0	22,0	24,6	18,5	14,0	23	6,9	9,8
09.09.01	7,0	7,2	9,7	9,4	6,8	20	6,9	2,2
10.09.01	18,0	13,2	20,6	11,1	11,4	11,7	7,7	1,1
11.09.01	16,0	13,5	19,3	10,8	14,7	19,2	5,6	1,3
12.09.01	23,0	17,8	22	13,3	14,6	27	7,9	2,6
13.09.01	36,0	24,2	28,5	22,1	20,6	25,6	19	14,8
14.09.01	39,0	29,1	34	23,6	31,2	29,7	18,8	10,3
15.09.01	15,0	12,3	12,9	8,2	10,2	41,8	8,9	2,4
16.09.01	13,0	14,2	12,1	10,8	12,5	13	8,6	2,1
17.09.01	21,0	18,3	19,5	9,5	15,7	21,8	6,8	3,0
18.09.01	22,0	21,1	23,9	15,1	16,5	19,5	9,3	2,5
19.09.01	24,0	26,7	33,8	22,9	18,2	21	14,5	5,5
20.09.01		23,4	24,9	18,3	17,2	22,5	15,3	9,1
21.09.01	30,0	32,5	35,9	25,2	27,3	23,6	17	15,8
22.09.01	36,0	37,3	38,2	29,8	32,3	35,1	23,8	21,5
23.09.01	30,0	31,5	24,1	23,7	31,1	35,3	17,4	9,2
24.09.01	31,0	34,9	34,7	24,9	29,7	31,5	14,2	5,9
25.09.01	19,0	25,3	21,1	15,7	19,9	36,8	9,8	4,2
26.09.01	23,0	18,4	18,2	9,7	14,2	22,6	9,2	3,9
27.09.01	26,0	39,6	31,2	21,9	22,3	17	15,3	5,7
28.09.01	23,0	31,6	43	26,6	22,9	61,2	24,3	7,5
29.09.01	28,0	33,9	69,3	64,4	24,8	29,9	16,2	18,7
30.09.01	26,0	37,1	33,4	29,2	28,3	30,8	17,9	15,1
01.10.01	22,0	27,5	34,2	18,6	19,7	29,9	10,4	4,7
02.10.01	26,0	26,1	32,2	21	18,8	24,8	13,8	7,3
03.10.01	33,0	29,1	34,2	24	21,7	25,9	20,8	14,6
04.10.01	33,0	30,4	36,1	25,4	23,3	30,3	31,4	12,8
05.10.01	22,0	26,8	32,7	16,5	18,2	33,7	10,2	6,3
06.10.01	23,0	24,6	26,7	19,9	20,1	24,3	14,6	10,8
07.10.01	30,0	26,7	37	39,7	24,8	28,4	18,6	15,3
08.10.01	41,0	30,3	32,5	24,1	21,3	31,3	18,1	18,8
09.10.01	37,0	36,8	43,7	33,6	29,0	27,7	22,9	5,1
10.10.01	51,0	42,5	52,8	41,4	31,0	41,6	24,7	15,4
11.10.01	38,0	42,2	71,7	42,9	28,9	42,4	20,4	11,6

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
12.10.01	26,0	39,2	60,1	50,3	28,5	40,6	18,3	9,7
13.10.01	23,0	33,1	36,5	30,7	24,8	52,8	18,6	10,2
14.10.01	34,0	33,2	45	36,2	26,5	38,3	31,4	17,0
15.10.01	66,0	46,1	57,4	42,6	38,7	34,3	48,9	34,6
16.10.01	62,0	52,7	63,4	52,1	43,0	53,9	43,9	30,2
17.10.01	59,0	58,0	72,5	53,3	47,7	65,9	39,9	34,1
18.10.01	59,0	61,5	78,2	59,8	51,2	68,7	51	37,7
19.10.01	60,0	59,6	79,9	52,4	50,3	78,4	33,4	41,2
20.10.01	64,0	67,7	66,1	60,5	39,9	60,8	33,5	42,3
21.10.01	24,0	24,8	26,8	30,4	21,3	55,6	16,6	4,7
22.10.01	19,0	25,3	31,9	17,3	19,7	25,3	11,5	1,9
23.10.01	30,0	33,0	39,6	22,9	24,6	29,9	16,1	4,8
24.10.01	32,0	40,7	46,8	25,9	31,3	34,4	17,4	12,2
25.10.01	26,0	33,0	36,5	20,7	23,1	38,7	13,7	7,1
26.10.01	17,0	18,7	17,2	15	21,6	30,6	12,5	12,1
27.10.01	22,0	33,0	34,3	26	25,3	27,6	13,6	8,6
28.10.01	21,0	34,2	32,8	28,9	28,1	33,1	13,9	7,6
29.10.01	35,0	44,3	49,8	33,9	36,7	35,8	19,7	6,8
30.10.01	49,0	50,5	56,1	39	45,7	50,2	21,9	8,5
31.10.01	49,0	50,6	87,5	49,5	33,5	66	31	7,0
01.11.01	14,0	17,5	19,5	15,6	21,4	49,4	8,3	2,2
02.11.01	32,0	21,8	29,1	16,4	26,6	30,7	10,6	4,6
03.11.01	28,0	24,6	27,3	19,1	26,1	38,9	18,7	4,7
04.11.01	29,0	32,2	31,1	25,4	27,4	32	17,2	5,4
05.11.01	43,0	58,0	66,2	44,8	41,3	30,3	23,4	7,2
06.11.01	45,0	59,4	66,3	43,5	43,4	53,5	31,1	17,8
07.11.01	58,0	60,0	62,7	51,6	40,9	52,4	27,8	13,1
08.11.01	55,0	69,0	77,9	52,3	36,7	49,7	25,1	19,5
09.11.01	17,0	26,0	16,1	12,4	22,7	46,5	19,8	2,6
10.11.01	27,0	26,5	28,9	15,9	21,9	21,5	16	6,8
11.11.01	31,0	26,0	24,9	16,5	24,9	20,2	16,9	6,3
12.11.01	33,0	42,1	43,7	25,3	30,7	20,9	26,7	3,9
13.11.01	26,0	40,4	48,7	27	30,1	33,3	14,9	4,6
14.11.01	28,0	26,7	38,3	21,1	27,1	39,5	6,8	5,6
15.11.01	47,0	34,3	45,6	32,1	32,9	41,7	22	6,2
16.11.01	49,0	45,0	56,9	39,2	38,6	45,7	33,7	5,1
17.11.01	52,0	49,1	55,7	41,2	41,5	50	30	10,3
18.11.01	47,0	50,1	48,5	40	41,8	48,6	24,9	8,2
19.11.01	64,0	68,2	74,7	57	58,0	42,3	34,2	16,7
20.11.01	66,0		80,6	70,9	58,4	69,6	31,2	11,9
21.11.01	69,0	68,4	85,7	61,6	48,7	65	35,7	7,6
22.11.01	87,0	69,9	70	52,1	40,5	56,7	32,4	11,1
23.11.01	24,0	37,8	56	34,2	23,3	50,7	17,2	4,0
24.11.01	26,0	27,7	33,2	18,3	25,0	48,7	7,4	2,7
25.11.01	27,0	41,3	39,8	27,1	40,5	34,5	12,7	5,0
26.11.01	52,0	80,2	86,3	65	54,6	44,6	22,7	4,4
27.11.01	58,0	74,3	63,1	58,4	59,1	57,8	19,9	7,7
28.11.01	41,0	64,1	44,8	42,5	51,6	57,4	18,3	4,9
29.11.01	45,0	42,0	50,9	22,3	28,2	54,5	15,1	4,5

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
30.11.01	39,0	49,7	59,2	31	36,1	33,2	25	8,0
01.12.01	27,0	40,7	48,9	22	27,3	41,6	23,2	6,0
02.12.01	21,0	32,9	34,2	22,8	21,7	30	18,3	4,4
03.12.01	55,0	44,4	54,6	26,5	22,1	23,5	12	5,0
04.12.01	70,0	42,8	52,6		29,1	28,8	21,7	13,8
05.12.01	58,0	64,8	66,1		50,8	33,1	34	9,7
06.12.01	38,0	57,2	41,7	39,2	35,9	50,2	21	2,6
07.12.01	55,0	50,7	55,5		36,4	34,2	9,7	3,6
08.12.01	67,0	44,8	50,8	32,4	39,2	46,7	20	7,5
09.12.01	62,0	59,7	59,4	48	45,5	39,1	25,1	9,4
10.12.01	96,0	80,1	90,4	50,4	47,6	45,4	29,4	5,9
11.12.01	99,0	64,6	57,9	48,3	39,0	61,6	34	7,4
12.12.01	62,0	57,3	41,1	37,5	46,3	44,9	20,2	5,4
13.12.01	21,0	39,4		39,7	40,9	47,4	18,7	11,4
14.12.01	127,0	49,7	41,9	41,4	39,4	44,6	25,6	19,0
15.12.01	93,0	64,3	58,6	50,3	49,3	38,4	37,6	9,3
16.12.01	67,0	84,9	67,6	63,9	58,2	46,5	22,9	9,4
17.12.01	104,0	92,5	93,3	61,8	46,8	51,5	12,4	4,4
18.12.01	97,0	37,4	59,3	48,6	39,5	46,6	43,3	4,1
19.12.01	92,0	27,9		50,1	37,9	37,9	34	3,8
20.12.01	84,0	80,3	61,7	53,8	63,7	35,5	18,2	10,5
21.12.01	121,0	91,3	84	63,9	52,2	62,3	44,1	6,8
22.12.01	103,0	99,1	108,6	64,8	45,3	50,2	39,1	13,5
23.12.01	51,0	82,6	60,7	56	55,8	44,6	12,5	6,5
24.12.01	74,0	81,0	100,7	47,2	35,4	48,5	30,3	3,1
25.12.01	90,0	79,1	91,6	63,2	46,4	42	33,7	4,7
26.12.01	54,0	81,0	65,7	59,6	46,9	48,3	24,5	11,9
27.12.01	86,0		49	40,6	49,5	39,9	12,8	3,0
28.12.01	163,0	51,3	43,3	39,4		43,5	33,6	6,3
29.12.01	80,0	80,8	78,6	63,4		34,4	44,5	18,4
30.12.01	42,0	46,4	51,8	26,8		38,8	15,4	5,6
31.12.01	36,0	70,8	101,9	50,7		32,7	9,4	2,3
01.01.02	26,0	51,4	64,9	59,8	27,4	52,4	7,7	2,3
02.01.02	20,0	54,9	73	42,5	24,8	57,1	11,7	1,4
03.01.02	39,9	49,5	70,7	32,9	67,6	67,1	12,7	4,9
04.01.02	67,0	50,0	77,5	59	55,2	56,8	35,4	4,5
05.01.02	70,5	81,2	86,3	73,1	52,2	66	33,4	5,0
06.01.02	82,7	92,7	93,4	77,9	46,8	52,5	38,2	2,3
07.01.02	108,7	127,4	146,6	85,4	66,9	73,2	40,8	4,6
08.01.02	85,6	120,8	122,8	85,6	56,4	62,4	41,3	5,3
09.01.02	90,0	116,7	119,2	77,5	56,1	60,3	38,4	5,4
10.01.02	73,1	113,9	121	85,2	59,4	62,8	37,9	6,1
11.01.02	81,9	115,9	114	87,4	58,7	59,5	40,6	6,4
12.01.02	84,9	113,0	103	81,6	60,1	62,6	37,3	6,5
13.01.02	50,4	93,7	68,2	65,4	64,8	56,2	39,6	19,8
14.01.02	56,3	65,9	45,9	48,3	54,1	45	50,7	23,6
15.01.02	50,0	45,7	34,8	32,6	44,5	39,6	41,8	21,8
16.01.02	54,3	50,4	39,8	38,3	43,0	41,1	53,8	30,9
17.01.02	49,8	84,7	35,8	39,9	45,4	42,5	48,7	18,0

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
18.01.02	46,9	48,9	41,9	37,5	45,1	45	51	15,6
19.01.02	36,6	49,1	82,9	65,1	64,8	62,6	39,5	7,7
20.01.02	36,1	84,1	67,3	67,7	60,1	55,4	38,1	4,3
21.01.02	35,2	93,8	78,6		62,5	58,5	34,1	5,0
22.01.02	19,5	110,0	96,9		61,2	70,3	22	15,9
23.01.02	36,8	94,9	79,5	108,3	47,0	47,7	31,2	19,9
24.01.02	41,8	51,3	43,5	32	34,8	37,7	27,6	10,2
25.01.02	23,0	53,3	46,7	36	36,1	44,1	17,2	3,2
26.01.02	41,8	53,1	45,5	41,2	39,9	45,9	27,8	3,6
27.01.02	26,3	53,9	49,9	33,9	23,1	26,9	25,2	8,3
28.01.02	36,0	54,9	57,5	42,3	46,7	56,1	23	4,9
29.01.02	73,2	70,7	79,6	56,7	47,6	67	38,8	16,4
30.01.02	49,6	92,9	117,8	69,5	53,4	84,4	45,7	4,4
31.01.02	39,2	71,9	85,9	41,2	45,9	66,4	30,2	8,4
01.02.02	72,3	77,2	94,6	55,5	48,6	65,5	34,7	10,3
02.02.02	51,1	69,0	74,3	46,5	39,5	47,4	27,5	10,0
03.02.02	46,6	58,2	59,6	44,3	38,4	41,8	25,2	7,5
04.02.02	51,1	78,3	98,8	64,7	46,9	63,3	32,2	7,6
05.02.02	68,9	80,4	99,8	69,9	43,0	62,8	37,3	8,8
06.02.02	96,4	99,1	127,7	71,8	47,2	70	44,6	10,0
07.02.02	33,4	18,4	31,9	30,1	33,4	29,5	18,4	2,7
08.02.02	22,9	37,8	62,3	24,2	32,4	39,9	19,6	4,1
09.02.02	46,6	35,6	45,3		30,1	42,6	17,2	7,1
10.02.02	18,3	38,1	47,2		19,7	23,7	8,5	9,5
11.02.02	53,3	58,6	88,2		37,7	52,6	15,6	3,3
12.02.02	49,7	56,4	72,2	46,2	45,7	61,9	11,6	3,9
13.02.02	55,9	75,3	96,3	53,1	41,6	53,9	11,8	3,6
14.02.02	46,3	48,8	68,1	28	40,7	50,6	31,9	17,6
15.02.02	14,6	40,0	52,3	27,9	29,8	35,9	29,8	17,0
16.02.02	29,1	47,6	38,1	29,7	40,5	37,9	28	21,2
17.02.02	51,7	64,1	44,3	43	51,4	41,6	26,8	14,2
18.02.02	36,4	61,5	70,6	34,4	41,5	37,3	19,4	8,9
19.02.02	42,6	48,0	62,3	28,8	32,3	41,7	19,7	5,7
20.02.02	47,9	60,5	77,5	38,5	33,6	45,8	20,7	15,1
21.02.02	30,3	50,7	67,6	29,9	27,0	40,3	13,7	13,3
22.02.02	40,9	45,8	71,9	38,4	23,2	37,5	14,6	5,4
23.02.02	43,2	49,4	64	41,2	28,4	38,8	20,5	17,9
24.02.02	18,8	25,4	24,6	19,4	19,5	29,8	9,7	8,0
25.02.02	45,4	32,3	47,1	25,1	23,7	38,2	39,2	5,4
26.02.02	54,9	45,4	65,8	35,4	29,2	42,1	23	23,1
27.02.02	72,5	51,1	65,7	38,6	29,1	38,5	29,7	27,2
28.02.02	30,0	34,2	27,3	22,6	24,7	27,8	19,9	14,1
01.03.02	11,718	31,8	45,4	13,6	16,7	14,4	10,7	4,1
02.03.02	26,119	38,7	43,7	23,1	24,0	25,2	18,6	7,3
03.03.02	10,275	27,0	18,8	19,1	23,9	21	14	3,6
04.03.02	25,106	37,6	53,5	25,2	23,1	30,5	16,6	9,1
05.03.02	31,766	47,2	66,7	46	33,6	55,3	19,1	11,1
06.03.02	29,577	34,0	47,2	30	29,8	34,3	17,8	10,1
07.03.02	33,402	28,7	41,2	17,3	22,7	31,4	23,6	5,6

Datum	PM10 Lienz	PM10 Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Völker- markterstr.	STB Klagenfurt Koschatstr.	PM10 Villach	STB Villach	STB Obervellach	PM10 Vorhegg
08.03.02	28,325	33,8	44,5	30,9	27,3	39,6	13,2	8,6
09.03.02	27,025	39,7	45,7	38	32,9	43	17,6	13,5
10.03.02	16,495	27,3	30	27,4	26,3	36,1	13,4	6,4
11.03.02	25,633	41,1	56,6	41,3	29,9	41,4	20,5	7,4
12.03.02	27,289	48,3	63,2	48,1	35,0	47,6	21,7	9,8
13.03.02	26,545	53,2	69,3	52	35,7	53,4	28,4	14,9
14.03.02	40,888	42,0	50,5	39,7	34,5	44,9	31,7	34,1
15.03.02	40,879	46,2	70,3	38,3	30,9	45,1	31,9	18,0
16.03.02	29,885	37,5	42,3	35,3	32,3	40,5	24,1	17,8
17.03.02	21,593	44,0	43,7	43,1	34,4	39,9	19	12,6
18.03.02	34,634	38,6	51,9	39,3	30,0	42,6	26,5	30,7
19.03.02	33,331	50,6	63,6	47,3	42,0	52	23,2	44,2
20.03.02	12,708	35,9	53,2	30,3	23,8	35,6	6,2	3,6
21.03.02	20,213	34,7	50	26,4		34,2		1,7
22.03.02	11,517	23,6	29,5	16,8		19,1	7	1,7
23.03.02	10,197	12,7	20,3	9,7	9,9	14	15,8	3,2
24.03.02	6,876	13,5	18,7	12,1	12,8	17,7	26	3,4
25.03.02	17,878	21,3	33,8	18,5	16,8	21,4	13,9	4,9
26.03.02	21,928	20,1	25,5	18,2	19,3	26	14,2	9,2
27.03.02	22,527	32,1	38,4	28,3	26,8	35,9	18,5	11,9
28.03.02	25,855	33,2	41	35,2	28,5	33,9	22,1	12,1
29.03.02	22,871	37,6	48,9	35,4		32,5	20	9,0
30.03.02	15,492	49,3	47,6	39,1	24,3	28,7	13,8	8,6
31.03.02	16,749	76,8	74,5	81,5	31,7	35,7	14,3	11,8

Anhang 4: Übersicht über die PM10-Messung in Österreich

PM10-Belastung in Österreich 2001: Messmethode⁵⁷, Standortfaktor⁵⁸, Verfügbarkeit, max TMW ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Anzahl der TMW über 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, JMW ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Gebiet	Messstelle	Methode	Standortfaktor	Verfügbarkeit	max. TMW	TMW > 50	TMW > 50 ab 7.7.	JMW
B	Eisenstadt	b	1.30	94.6	80	27	11	25
B	Illmitz	g		98.6	82	34	19	26
B	Kittsee	b	1.30	84.0	81	18	8	24
B	Oberwart	b	1.30	83.5	106	6	1	21
K	Arnoldstein Kugi	g		92.6	47	0	0	18
K	Klagenfurt Völkermarkterstr	g		99.2	99	60	36	35
K	Villach	g		98.1	64	13	11	26
K	Vorhegg	g		98.9	42	0	0	11
O	Bad Ischl	b	1.30	91.3	65	4	3	19
O	Braunau	T	1.30	85.8	71	8	2	23
O	Grünbach	T	1.30	96.8	122	7	6	18
O	Lenzing	T	1.30	98.4	74	12	6	21
O	Vöcklabruck	T	1.30	96.9	85	12	5	23
O	Wels	T	1.30	94.7	81	29	9	29
O-L	Linz 24er Turm	T	1.14	97.4	126	37	17	29
O-L	Linz Neue Welt	T	1.14	98.2	88	44	24	31
O-L	Linz Neue Welt	g		100.0	122	43	14	31
O-L	Linz ORF-Zentrum	T	1.14	99.2	146	55	22	33
O-L	Linz Römerberg	T	1.14	94.3	99	62	30	36
O-L	Steyregg	T	1.22	97.3	138	33	16	28
O-L	Steyregg	g		100.0	149	33	13	28
O-L	Traun	T	1.22	98.0	91	23	9	26
S	Hallein Hagerkreuzung	b, T	1.30	92.2	67	11	6	25
S	Hallein Hagerkreuzung	g		93.2	110	16	6	26
S	Salzburg Lehen	b	1.30	90.5	64	2	2	18
S	Salzburg Mirabellplatz	b	1.30	91.0	68	6	2	22
S	Salzburg Rudolfsplatz	b	1.30	91.6	82	9	6	27
S	Salzburg Rudolfsplatz	g		97.0	88	20	8	29
S	St. Koloman	g		98.4	52	1	1	11
S	Tamsweg	b	1.30	89.1	59	6	4	20
S	Zederhaus	b	1.30	93.3	53	4	3	18
St	Bruck a.d.M.	T	1.30	76.0	74	28	26	28

⁵⁷ g Gravimetrie, b b-Absorption, T TEOM

⁵⁸ Default-Faktor 1,3

Gebiet	Messstelle	Methode	Standortfaktor	Verfügbarkeit	max. TMW	TMW > 50	TMW > 50 ab 7.7.	JMW
St-G	Graz Don Bosco	b	1.30	93.0	161	158	77	54
St-G	Graz N	T	1.30	89.0	108	43	27	32
St-G	Graz O	T	1.30	76.0	96	51	39	35
T	Brixlegg	b	1.30	83.1	92	30	18	29
T	Gärberbach	b	1.30	83.1	54	2	1	23
T	Hall i.T.	b	1.30	83.8	86	23	22	26
T	Innsbruck Reichenau	b	1.30	82.5	94	30	29	26
T	Innsbruck Zentrum	b	1.30	93.1	86	28	26	27
T	Kufstein	b	1.30	81.6	65	11	12	23
T	Landeck	b	1.30	83.7	81	10	9	23
T	Lienz	b	1.30	82.7	163	45	44	32
T	Vomp a.d.L.	T	1.30	82.1	84	25	24	30
T	Vomp A12	b	1.30	94.7	85	22	18	29
T	Wörgl	b	1.30	82.3	98	14	14	25
V	Feldkirch	b	1.30	92.4	163	61	17	37

Anhang 5: Chemische Analysen und Rasterelektronenmikroskopie

Methoden der chemischen Analysen

Bestimmung des Gehaltes von Chlorid, Nitrat, Sulfat

Elution eines Aliquotes des PM10-Filters (40 mm) mit Reinstwasser, danach ionenchromatographische Bestimmung nach ÖNORM EN ISO 10 304-1

Bestimmung des Gehaltes von Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium und Ammonium

Elution eines Aliquotes des PM10-Filters (40 mm) mit Reinstwasser, danach ionenchromatographische Bestimmung nach ISO 14911

Bestimmung von ausgewählten Schwermetallen

Probenvorbereitung:

Mikrowellenunterstützter Druck-Aufschluss von je einem Filter

Analyse mittels GFAAS:

Arsen in Anlehnung an VDI 2267 Bl. 1

Cadmium in Anlehnung an DIN EN ISO 5961

Nickel in Anlehnung an VDI 2267 Bl. 1

Blei in Anlehnung an DIN 38406 TI. 6

Analyse mittels ICP-OES:

Kupfer, Eisen, Zink in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 11885

Bestimmung der Kohlenstoffgehalte

Durchführung der Messungen nach VDI 2465 Bl. 1

Der organische Kohlenstoff (OC) wird aus der Differenz von Gesamtkohlenstoff (TC) und elementarem Kohlenstoff (EC) berechnet.

Ergebnisse der chemischen Analysen

Datum	PM10	Blei	Cadmium	Nickel	Arsen	Eisen	Kupfer	Zink
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ng/m^3						
12.12.02	52,8	13	0,50	<1,6	<0,82	600	27	94
13.12.02	46,9	14	0,79	<1,6	<0,82	560	32	100
16.12.02	46,6	14	0,40	<1,6	<0,82	260	17	99
17.12.02	47,0	17	0,87	<1,6	<0,82	450	23	130
19.12.02	50,7	14	0,52	<1,6	<0,82	450	32	100
20.12.02	57,0	23	0,44	<1,6	<0,82	550	39	120
21.12.02	57,7	19	0,52	2,1	<0,82	510	32	93

Datum	PM10	Gesamt- kohlenstoff	elementarer Kohlenstoff	organischer Kohlenstoff	Natrium	Kalium	Calcium	Magnesium	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Ammonium
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
12.12.02	52,8	25	12	13	0,72	1,0	0,71	0,25	1,2	2,6	2,9	0,79
13.12.02	46,9	25	13	12	0,31	1,2	0,47	0,16	0,44	1,8	2,3	0,57
16.12.02	46,6	22	13	9	0,18	1,2	0,25	0,07	0,34	3,4	3,7	1,90
17.12.02	47,0	23	13	10	0,18	1,5	0,36	0,11	0,38	2,2	3,0	0,98
19.12.02	50,7	25	13	12	0,71	1,0	0,64	0,25	1,2	1,9	2,0	0,62
20.12.02	57,0	27	12	15	1,8	0,91	0,64	0,25	3,2	1,8	1,7	0,44
21.12.02	57,7	28	13	15	0,58	1,4	0,44	0,17	1,1	2,9	2,2	0,83
37612,0	51,8	28	12	16	0,28	1,3	0,22	0,05	0,62	2,3	2,1	0,80
26.12.02	39,6	15	6,7	8,3	0,15	0,82	0,11	0,03	0,21	5,9	4,5	3,00
28.12.02	42,5	24	13	11	0,22	1,0	0,17	0,05	0,52	1,4	1,8	0,67

Rasterelektronenmikroskopische Analysen

Die analytische Rasterelektronenmikroskopie erlaubt eine morphologische Charakterisierung von Staubfraktionen. Parallel dazu kann die elementare Zusammensetzung einzelner Partikel mittels Energie-dispersiver Röntgenmikroanalyse bestimmt werden. Diese Informationen lassen Rückschlüsse auf die Quellen der Staubbelastung zu und sind damit eine wertvolle Ergänzung zu den chemischen Analysen der Filter bzw. der Immissionsmeteorologischen Untersuchungen (Neinavaie et al. 2000)

An einigen ausgewählten Filterproben wurden mit Hilfe analytischer Rasterelektronenmikroskopie eine Staubinhaltsbestimmung durchgeführt.

Unter dem Stereomikroskop erfolgte die lichtmikroskopische Durchsicht und Grobidentifizierung der auf den Filtern vorliegenden Phasen. Repräsentative Filterteile wurden ausgestanzt, mittels Kohleklebeband auf Aluminiumträgertischchen montiert, mit einer Goldschicht versehen und anschließend im Rasterelektronenmikroskop untersucht.

Die Staubpartikel wurden elektronenoptisch hinsichtlich ihrer Morphologie und Größe untersucht und die elementare Zusammensetzung mittels Energie-dispersiver Röntgenmikroanalyse (EDX) qualitativ bestimmt. Charakteristische Staubphasen wurden sowohl photographisch als auch durch EDX-Spektren dokumentiert. Gleichzeitig mit der Bestimmung der Phasen wurden Korngrößenbestimmungen mittels einer digitalen Messeinrichtung durchgeführt.

PM10 Filterprobe vom 12.12.02 (L 0301 0183)			
Geogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Quarz	++	10-20 µm	
Glimmerminerale	+++	15-20 µm	
Feldspäte	++	5-30 µm	
Dolomit	+	5 µm	
Amphibole	++	20 µm	
Ca-Silikate	+	30 µm	
Anthropogener / Technologener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Dieseruß	++++	< 0.5 µm	Als Einzelpartikel auf Filterfasern und auch als Aggregate vorliegend
Kohlige Material (Ruß, Restkohle)	++	bis 20 µm	Meist tafelige z. T. globulare Kohlepartikel – Verbrennungsrückstände (Hausbrand, Gewerbe, Industrie)
Globulare Glasphase	+++	1-8 µm	Verkehr, Verbrennungsanlagen
Kunststoffe	++	15 µm	C+ Na, Mg, Si, Cl, K, Ca, unregelmäßig, oft globular, Verbrennungsanlagen, Verwehungen
Lötblei	+	16 µm	Pb + Sb, Werkstoff
Steinsalz	++	5-10 µm	NaCl, Streusalz

Häufigkeit der Partikel: +...vereinzelt, ++...wenig, +++...mittel, ++++...viel

PM10 Filterprobe vom 20.12.02 (L 0301 0188)			
Geogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Quarz	++	10-25 µm	
Glimmerminerale	+++	20 µm	
Dolomit	+++	5-10 µm	
Amphibole	++		
Anthropogener / Technogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Dieselruß	++++	< 0.5 µm	als Einzelpartikel auf Filterfasern und seltener als Aggregate
Kohlige Material (Ruß, Restkohle)	++	3-10 µm	Meist tafelige Kohlepartikel – Verbrennungsrückstände (Hausbrand, Gewerbe, Industrie)
Globulare Glasphase	+++	1-5 µm	Verkehr, Verbrennungsanlagen
Kunststoffe	+	37 µm L	C+ Na, Mg, Si, Cl, K, Ca, unregelmäßig, Verbrennungsanlagen, Verwehungen
Steinsalz	++++	5-10 µm	NaCl, Streusalz

PM10 Filterprobe vom 21.12.02 (L 0301 0189)			
Geogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Quarz	+	20 µm	
Glimmerminerale	+++	5-20 µm	
Feldspäte	+	5-10 µm	
Amphibole	++	2-10 µm	
Hämatit	+	35 µm L	Blättriges Kornaggregat
Anthropogener / Technogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Dieselruß	++++	< 0.5 µm	als Einzelpartikel auf Filterfasern und häufig als Aggregate
Kohlige Material (Ruß, Restkohle)	++	5-20 µm	Meist tafelige z. T. hohlkugelige Kohlepartikel – Verbrennungsrückstände (Hausbrand, Gewerbe, Industrie)
Globulare Glasphase	+++	1-5 µm	Verkehr, Verbrennungsanlagen
Steinsalz	+++	5-10 µm	NaCl, Streusalz
Ca-Chlorid	+	8 µm	Streusalz

PM10 Filterprobe vom 23.12.02 (L 0301 0190)			
Geogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Quarz	++++	bis 20 µm	
Glimmerminerale	++	5-15 µm	
Anthropogener / Technogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Dieseleruß	++	< 0.5 µm	als Einzelpartikel auf Filterfasern und häufig als größere Aggregate
Kohliges Material (Ruß, Restkohle)	++	5-20 µm	Meist tafelige Kohlepartikel – Verbrennungsrückstände (Hausbrand, Gewerbe, Industrie)

PM10 Filterprobe vom 26.12.02 (L 0301 0191)			
Geogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Quarz	++	10-25 µm	
Glimmerminerale	+++	10-20 µm	Biotit und Muskovit
Dolomit	+	5-10 µm	
Feldspäte	+		
Amphibole, Epidot	++	20 µm	
Anthropogener / Technogener Phasenbestand			
Phasen	Häufigkeit	Korngröße	Anmerkungen u. mögl. Quellen
Dieseleruß	++++	< 0.5 µm	als Einzelpartikel auf Filterfasern und seltener als Aggregate
Kohliges Material (Ruß, Restkohle)	+++	3-30 µm	Meist tafelige & hohlkugelige Kohlepartikel – Verbrennungsrückstände (Hausbrand, Gewerbe, Industrie)
Globulare Glasphase	++++	1-5 µm	Verkehr, Verbrennungsanlagen
Ca-Silikat	+		Bestandteil von Zement
Steinsalz	++	5-10 µm	NaCl, Streusalz