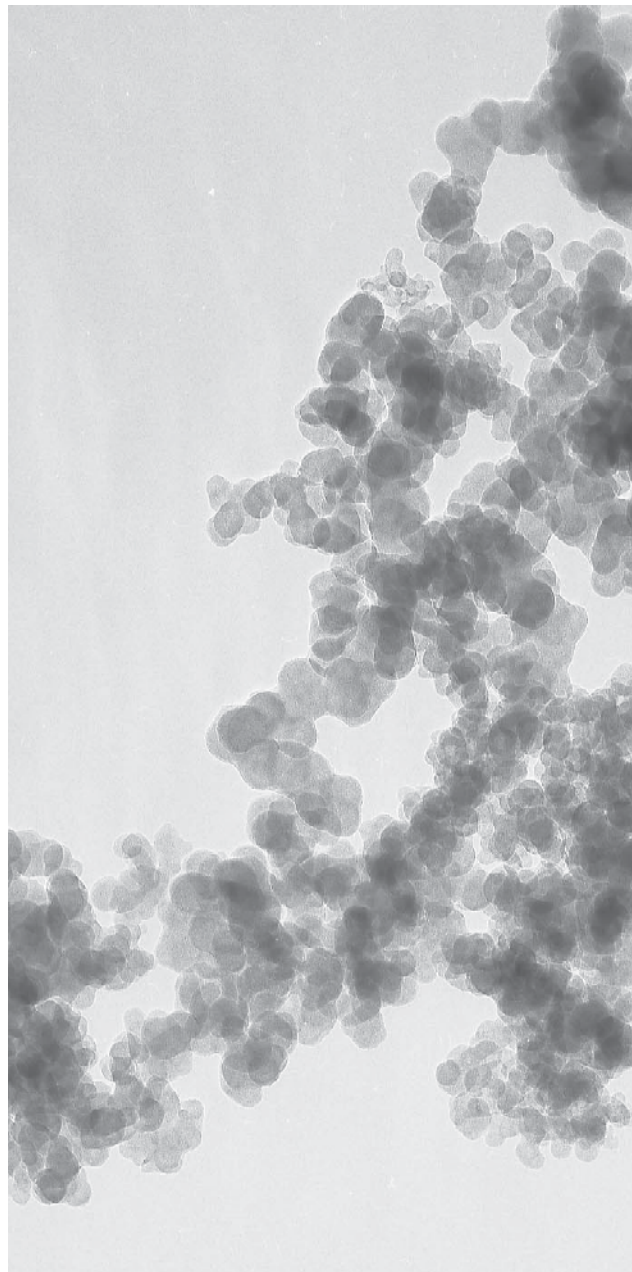


OSTLUFT-Russmessungen bis 2009

**Technischer Bericht zu Russ-Immissionsmessungen und
Umrechnungsverfahren auf EC gemäss EUSAAR2-Protokoll ($EC_{TOT(EUSAAR2)}$)**



Impressum

OSTLUFT-Russmessungen bis 2009.
Technischer Bericht zu Russ-Immissionsmessungen
und Umrechnungsverfahren auf EC gemäss EUSAAR2-Protokoll ($EC_{TOT(EUSAAR2)}$)

Herausgeber: OSTLUFT, Juni 2010
Verantwortlich: Peter Maly, Susanne Schlatter
im Auftrag von OSTLUFT verfasst durch Franziska Siegrist, Frasuk – Umwelt & Kommunikation

Bezug und weitere Informationen:
Download: www.ostluft.ch
OSTLUFT, Geschäftsleitung
Stampfenbachstrasse 12, Postfach
8090 Zürich
Tel. 043 259 30 18
Fax. 043 259 51 78
E-Mail: bestellungen@ostluft.ch

Titelbild: vergrösserte Russpartikel

OSTLUFT– die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung für die Öffentlichkeit.....	3
1.1	Was ist Russ? Wie entsteht er?	3
1.2	Russ und Gesundheit	3
1.3	Massnahmen	3
1.4	Russ-Messungen bei OSTLUFT	3
1.5	Russbelastung in der Ostschweiz 2007 bis 2009	4
1.6	Entwicklung der Russkonzentration	4
1.7	Der Wochengang widerspiegelt den Schwerverkehrseinfluss	5
2.	Einleitung	6
2.1	Einführung und Ziele.....	6
2.2	Was ist Russ? Wie entsteht er?	6
2.3	Russ und Gesundheit	7
2.4	Massnahmen	7
2.5	Vergangene OSTLUFT-Projekte zum Thema Russ	7
2.5.1	Russ-Monitoring an Standorten mit hohem Anteil Strassenverkehr (NAPS-Messungen 2004).....	7
2.5.2	Zusammenfassung zu Untersuchungen atmosphärischer Partikel im Gebiet von OSTLUFT	8
3.	Probenahme und Messmethoden.....	8
3.1	Analysemethoden für Russ auf Quarzfaserfiltern.....	8
3.1.1	Coulometrie (gemäss VDI 2465, Blatt 1).....	8
3.1.2	Thermographie (gemäss VDI 2465, Blatt 2).....	9
3.1.3	TOT: Thermo-optical Transmission (NIOSH700+ und EUSAAR2).....	9
3.2	Reflektometrie	11
3.2.1	Manuelle Analyse der Quarzfaserfilter	11
3.2.2	MAAP (Multi Angle Absorption Photometer)	11
3.2.3	Eberline Betastaubmeter mit zusätzlichem Russmesskopf (FH 62-IR).....	12
4.	Vorgehen von OSTLUFT zur Bestimmung der EC-Werte bezogen auf das TOT Messverfahren EUSAAR2	12
4.1	Übersicht über das Vorgehen	12
4.2	Umrechnungsfunktion für die OSTLUFT-Reflektometrie-Daten	13
4.3	Vergleichsmessungen zur Bestimmung der Umrechnungsfunktion.....	14
4.3.1	Coulometrie	14
4.3.2	Umrechnung der mit Coulometrie ermittelten Werte auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$	14
4.3.3	Ausgewählte Beispiele zur Umrechnung von Coulometrie-Daten auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$	15
4.4	Beispiele einzelner Messstandorte	16
4.4.1	Beispiel für gute Übereinstimmung: Zürich Stampfenbachstrasse	16
4.4.2	Beispiel für einen Datensatz mit einem Offset.....	16
4.4.3	Beispiel eines Datensatzes mit schlechter Übereinstimmung zwischen der Umrechnungsfunktion und den Werten.....	17
4.5	Ergänzungen 2009 und weiteres Vorgehen	17
4.6	Umrechnung von kontinuierlichen Messungen.....	18
4.7	Messunsicherheit.....	18
5.	Russ in der Ostschweiz.....	18
5.1	Jahresmittelwerte 2007, 2008 und 2009	18
5.2	Anteil von Russ am Feinstaub PM10	20
5.3	Entwicklung der letzten Jahre	23
5.4	Wochengang	25
6.	Schlussfolgerungen für die Öffentlichkeitsarbeit	27
6.1	Früher von OSTLUFT publizierte Daten.....	27

6.2	Publikation von Tagesmittelwerten aus kontinuierlich messenden Geräten im Internet	27
7.	Literatur	27
8.	Anhang	28
8.1	Begriffsdefinitionen	28
8.2	Technische Details zu den Analyseverfahren	28
8.2.1	Coulometrie (gemäss VDI 2465, Blatt 1).....	28
8.2.2	Thermographie (gemäss VDI 2465, Blatt 2).....	29
8.2.3	TOT: Thermo-optical Transmission (EUSAAR2).....	29
8.2.4	Manuelle Analyse von Quarzfaserfiltern mittels Reflektometrie.....	29
8.2.5	Eberline Betastaubmeter mit zusätzlichem Russmesskopf (FH 62 I-R).....	30
8.3	Umrechnung der coulometrisch bestimmten EC-Werte auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$	30
8.4	Vergleich der Resultate aus den TOT-Heizprogrammen NIOSH 700+ und EUSAAR2.....	31

1. Zusammenfassung für die Öffentlichkeit

1.1 Was ist Russ? Wie entsteht er?

Russ ist ein Bestandteil des Feinstaubes. Er besteht aus ultrafeinen kohlenstoffhaltigen Primärpartikeln, welche bei unvollständigen Verbrennungsprozessen in die Luft gelangen. Russpartikel werden von Nutzfahrzeugen, Personenwagen, Traktoren und Baumaschinen mit Dieselmotoren ohne wirksame Partikelfilter ausgestossen. Russ entsteht auch bei der unvollständigen Verbrennung von Feststoffen zum Beispiel in schlecht betriebenen Holzfeuerungen oder beim offenen Verbrennen von Wald- und Gartenabfällen.

Russ besteht vor allem aus elementarem (schwarzem) Kohlenstoff (EC) und daran angelagerten schwerflüchtigen organischen Verbindungen (OC). Generell besteht bei Immissionsmessungen ein Konsens, den elementaren Kohlenstoff EC als "Russ" zu bezeichnen, so auch in diesem Bericht.

1.2 Russ und Gesundheit

Verschiedene toxikologische Studien zeigen, dass Russ Krebs erregend ist. In der Luftreinhalteverordnung LRV sind Dieselmotoren und gewisse Russ-Bestandteile wie zum Beispiel Benzo(a)pyren (PAK) als Krebs erzeugend klassiert. Deshalb gibt es für Russ keinen Immissions-Grenzwert, denn auch geringe Konzentrationen sind bereits schädlich. Das Ziel ist die Reduktion der Russkonzentration gegen Null.

Gemäss Abschätzungen der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene EKL kann eine maximal tolerierbare Konzentration von $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Russ im Jahresmittel als Orientierungswert gelten. Bei solchen Konzentrationen kann davon ausgegangen werden, dass für die Bevölkerung kein erhöhtes Gesundheitsrisiko durch Russ in der Aussenluft besteht. Dieser Orientierungswert ist jedoch kein Grenzwert, und er kann sich bei neuen Erkenntnissen wieder ändern.

1.3 Massnahmen

Durch die Ausrüstung aller Dieselmotoren mit Russpartikelfiltern kann eine grosse Zahl der schädlichen Russpartikel eliminiert werden. Entsprechende gesetzliche Vorschriften sind in einzelnen Bereichen festgelegt (Baumaschinen, Personenwagen). Für andere Bereiche fehlen noch die notwendigen Vorschriften (z.B. Landwirtschaft, Schifffahrt). Durch die Beachtung der Regeln von «Fair Feuern» bei der Nutzung der Holzenergie und durch den Verzicht auf das Verbrennen von Schlagabfall und Gartenabraum im Freien können die Russemissionen vermindert werden.

1.4 Russ-Messungen bei OSTLUFT

Als Grundlage für wirksame Massnahmen zur Senkung der Russkonzentration in der Aussenluft sind Immissionsmessungen an unterschiedlich belasteten Standorten nötig. OSTLUFT und die Stadt Zürich (UGZ) messen in der Stadt Zürich seit 2001 und in Vaduz seit 2004 die Russkonzentration mit kontinuierlichen Messgeräten (Betastaubmetern FH 62 I-R mit Russmesskopf) und an wechselnden Standorten auch mit MAAP-Geräten (Multi Angle Absorption Photometer). Seit 2007 werden die an den meisten OSTLUFT-Stationen zur Bestimmung der Feinstaub-PM10-Konzentration eingesetzten High Volume Sammler stichprobenmässig mit Quarzfaserfiltern zur Russanalyse bestückt. Somit lässt sich nun eine Aussage zur mittleren jährlichen Russ-Belastung im ganzen OSTLUFT-Gebiet machen.

Die Daten der kontinuierlich messenden Geräte werden durch eine **Reflexionsmessung** der bestaubten Filter ermittelt. Auch die manuellen Analysen der Quarzfaserfilter aus den High Volume Sammlern erfolgen mittels **Reflektometrie** im Labor. Mit einer Lichtquelle wird die Lichtreflexion am Filter gemessen. Je geringer diese ausfällt, desto stärker ist der Filter mit Russ beladen. Diese

Ergebnisse können aufgrund von Vergleichsmessungen von Quarzfaserfiltern mit der TOT-Methode in $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet werden.

Die **TOT-Methode: (Thermo-optical Transmission)** eignet sich – im Gegensatz zu den früher gebräuchlichen Analysemethoden **Thermographie** und **Coulometrie** – für alle Standorttypen. Bei dieser Methode werden EC und OC durch Heizen der Filterproben bestimmt. Gleichzeitig wird der Messwert optisch korrigiert, um die Überschätzung der Werte durch Verkohlung von organischem Material während der Analyse zu vermeiden.

Russbestimmungen waren bisher nicht nach einheitlichen Kriterien erfolgt. Die Daten verschiedener Regionen und unterschiedlicher Messsysteme konnten deshalb kaum miteinander verglichen werden. Inzwischen hat sich die **thermooptische Methode TOT** zur Bestimmung von elementarem Kohlenstoff (EC) als Konvention durchgesetzt. Nach einem standardisierten Temperaturprogramm (**EUSAAR2**) zur Durchführung dieses Verfahrens wird in Europa weit verbreitet EC bestimmt; seit 2009 auch im schweizerischen NABEL-Messnetz durch die Empa. Andere Messungen können auf dieses Standardverfahren umgerechnet werden. Auch OSTLUFT verwendet für die Russmessungen neu diese Konvention. In künftigen OSTLUFT-Veröffentlichungen bezieht sich die Bezeichnung "Russ" immer auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$. Bei früher bereits veröffentlichten Russdaten wurde die Russ-Konzentration meist überschätzt. Diese Werte werden nun ebenfalls auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet. Deshalb können ältere Publikationen von den aktuell publizierten Werten abweichen.

1.5 Russbelastung in der Ostschweiz 2007 bis 2009

Der Russ-Anteil an der gesamten PM₁₀-Konzentration liegt im Bereich von 3 bis 15 Gewichtsprozenten. Die höchsten Russ-Jahresmittelwerte von 2.18 bis 3.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden 2007 bis 2009 an den stark verkehrsbelasteten Standorten Opfikon Balsberg, Zürich Schimmelstrasse und Zürich Schwamendingen (an der Autobahn) gemessen. In Siedlungsgebieten mit mässigem oder keinem Verkehr wurden Russkonzentrationen von 0.66 (Zürich Heubereibüel 2008) bis 1.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zürich Stampfenbachstrasse 2007) erreicht. Quellenferne Standorte wie Höhenklinik Wald (ZH), Weerswilen (TG) und Hemmental (SH) erreichten in den Jahren 2007 bis 2009 im Jahresmittel Russkonzentrationen zwischen 0.40 und 0.72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Der Russanteil am PM₁₀ liegt für die meisten Standorte, vor allem für Siedlungsgebiete ohne starke Verkehrsbelastung, zwischen 5 und 8%. Dies gilt auch für den Standort Zürich Stampfenbachstrasse, der einen durchschnittlichen zentralen städtischen Standort in Zürich repräsentiert. Zürich Stampfenbachstrasse weist zwar eine hohe PM₁₀-Belastung mit Überschreitung des Jahresmittel-Grenzwertes auf. Der Russanteil am PM₁₀ ist jedoch vergleichbar mit anderen, weniger stark belasteten Ostschweizer Regionen. Hingegen weisen die stark verkehrsbelasteten Standorte mit ebenfalls sehr hohen PM₁₀-Werten einen deutlich höheren Russanteil von über 10% am gesamten Feinstaub auf. Dies ist an der Station Zürich Schimmelstrasse, in Schwamendingen und in Opfikon Balsberg erkennbar. Die autobahnbeeinflussten Standorte am Siedlungsrand wie Chur A13 und Wettswil Filderen (ZH) sind einer durchschnittlichen Russbelastung wie in Siedlungsgebieten ausgesetzt.

Standorte mit der geringsten Feinstaub-Belastung weisen einen tiefen Russanteil von unter 5% des gesamten Feinstaubes auf. Es sind dies vor allem ländliche und wenig verkehrsbeeinflusste Gebiete, z.B. Hemmental (SH), Weerswilen (TG) und Höhenklinik Wald (ZH).

Die Anzahl der Russpartikel ist also an strassennahen Standorten deutlich grösser als an quellenfernen. Anwohner von stark befahrenen Strassen sind permanent hohen Russ-Belastungen ausgesetzt. Die Russbelastung ist aber in allen untersuchten Gebieten deutlich höher als die angestrebte maximal tolerierbare Belastung von 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

1.6 Entwicklung der Russkonzentration

Seit 2001 wird an den Stationen Zürich Stampfenbachstrasse sowie abwechselnd an den Standorten Zürich Schimmelstrasse und Zürich Schwamendingen kontinuierlich Russ gemessen, seit

2005 auch an der Station Vaduz Austrasse. Die Russkonzentration hat an diesen Standorten seit Beginn des Jahrzehnts etwas abgenommen.

1.7 Der Wochengang widerspiegelt den Schwerverkehrseinfluss

Anhand des mittleren Wochengangs der Russkonzentration lässt sich der Einfluss des Schwerverkehrs auf den Dieselmotorausstoss aufzeigen. Am stark verkehrsbelasteten Standort Zürich Schwamendingen zeigt die sehr hohe Russbelastung eine deutliche Abnahme an den Wochenenden mit dem Fahrverbot für Lastwagen. An den Stationen Zürich Stampfenbachstrasse und Vaduz Austrasse ist dieser Wochenendeffekt weniger deutlich. Beide Standorte weisen weniger Schwerverkehr auf als Zürich Schwamendingen.

2. Einleitung

2.1 Einführung und Ziele

Russ ist ein stark gesundheitsgefährdender Luftschadstoff. Als Grundlage für wirksame Massnahmen zur Senkung der Russkonzentration in der Aussenluft sind Immissionsmessungen an unterschiedlich belasteten Standorten nötig. OSTLUFT und die Stadt Zürich (UGZ) messen in der Stadt Zürich seit 2001 und in Vaduz seit 2004 die Russkonzentration mit kontinuierlichen Messgeräten (Betastaubmeter FH 62 I-R). Seit 2007 werden die an den meisten OSTLUFT-Stationen eingesetzten High Volume Sammler stichprobenmässig mit Quarzfaserfiltern zur Russanalyse bestückt. Somit lässt sich nun eine Aussage zur mittleren jährlichen Russ-Belastung im ganzen OSTLUFT-Gebiet machen.

Generell besteht bei Immissionsmessungen ein Konsens, den elementaren Kohlenstoff EC als "Russ" zu bezeichnen, so auch in diesem Bericht, obschon der Anteil von am Russ angelagertem organischem Material (OC) zwischen 50% und 80% ausmachen kann und giftige Bestandteile im OC wesentlich zu den gesundheitlichen Auswirkungen des Feinstaubes beitragen. OC-Messungen wurden jedoch im Rahmen dieses Berichts nicht ausgewertet.

Russmessungen waren bisher nicht nach einheitlichen Kriterien erfolgt, so dass die Daten verschiedener Regionen und unterschiedlicher Messsysteme kaum miteinander verglichen werden konnten. In den letzten Jahren wurden die Russanalyseverfahren weiterentwickelt. Die thermo-optische Methode TOT zur Bestimmung von elementarem Kohlenstoff EC hat sich als Konvention durchgesetzt. Nach einem standardisierten Protokoll (EUSAAR2) zur Durchführung dieser Messungen wird mit diesem Verfahren in Europa weit verbreitet EC bestimmt, so auch im schweizerischen NABEL-Messnetz (Empa) seit 2009.

OSTLUFT liess umfangreiche Vergleichsmessungen durchführen, so dass die eigenen Messungen auf das Standard-Verfahren $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet werden können. In diesem Bericht werden die Analysemethoden und das Vorgehen zur Umrechnung der Daten beschrieben. Der Bericht wendet sich an ein Fachpublikum. Ziel ist einerseits die Rückverfolgbarkeit der Berechnungsmethode von publizierten Russdaten. Andererseits soll eine Funktion bestimmt werden, um eigene reflektometrische Analysen auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umzurechnen.

Alle ab 2010 von OSTLUFT veröffentlichten Russdaten entsprechen $EC_{TOT(EUSAAR2)}$. Früher bereits veröffentlichte Daten wurden nun ebenfalls auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet. Deshalb können ältere Publikationen von den aktuell publizierten Werten abweichen.

2.2 Was ist Russ? Wie entsteht er?

Russ umfasst alle primären kohlenstoffhaltigen Partikel eines unvollständigen Verbrennungsprozesses. Er besteht vor allem aus elementarem (schwarzem) Kohlenstoff (EC) und adsorbierten schwerflüchtigen organischen Verbindungen (OC). Immissionsseitig wird oft der elementare Kohlenstoff allein als Russ bezeichnet (z.B. in der deutschen 23. BImSchV). Dieser Bericht bezieht sich ebenfalls nur auf EC.

Russ ist ein Bestandteil des Feinstaubes, welcher aus ultrafeinen und sehr leichten Partikeln besteht. Der Russ- (=EC-) Anteil an der gesamten PM₁₀-Konzentration liegt im Bereich von 3-15 Gewichtsprozenten. Die Angabe der gemessenen Konzentration erfolgt analog zu Feinstaub PM₁₀ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, jeweils mit einer Genauigkeit von 2 Stellen nach dem Komma. Russpartikel werden von Dieselmotoren ohne wirksame Partikelfilter ausgestossen und entstehen bei der schlechten Verbrennung von Biomasse, z.B. von Holz.

2.3 Russ und Gesundheit

Verschiedene toxikologische Studien und Untersuchungen am Arbeitsplatz zeigen, dass Russ Krebs erregend ist. In der Luftreinhalte-Verordnung LRV sind Dieselmotoren und gewisse Russ-Bestandteile wie z.B. Benzo(a)pyren (PAK) als krebserzeugend klassiert.

Da Russ als Krebs erregend gilt, gibt es für Russ keinen Immissions-Grenzwert, denn auch geringe Konzentrationen sind bereits schädlich. Das Ziel ist die Reduktion der Russkonzentration gegen Null (Minimierungsgebot gemäss LRV). Basierend auf den Resultaten einer Studie der deutschen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz und auf einem Rechtsgutachten betreffend Grundlagen für die Anordnung verschärfter Emissionsbegrenzungen bei kanzerogenen Luftschadstoffen ergibt sich gemäss Abschätzungen der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene EKL eine maximal tolerierbare Konzentration von $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ EC im Jahresmittel (EKL, 2008). Bei solchen Konzentrationen wäre das von Russ in der Aussenluft ausgehende Risiko für die Bevölkerung kaum mehr nachweisbar und von Null praktisch nicht zu unterscheiden.

2.4 Massnahmen

Durch Einführung von Russpartikelfiltern für alle Dieselmotoren kann eine grosse Zahl der schädlichen Russpartikel aus der Luft eliminiert werden.

Durch die Beachtung der Regeln von "Fair Feuern" und den Verzicht auf das Verbrennen von Totholz und Gartenabraum im Freien können die Russemissionen vermindert werden. Das Verbot der Abfallverbrennung ausserhalb spezieller Anlagen ist einzuhalten.

2.5 Vergangene OSTLUFT-Projekte zum Thema Russ

In früheren Projekten wurden Daten mit unterschiedlichen Methoden erfasst. Diese sind in den entsprechenden Berichten beschrieben. Diese Russdaten entsprechen nicht den aktuell gültigen $\text{EC}_{\text{TOT(EUSAAR2)}}$ -Daten und sind somit nur bedingt mit aktuell veröffentlichten Russwerten vergleichbar.

2.5.1 Russ-Monitoring an Standorten mit hohem Anteil Strassenverkehr (NAPS-Messungen 2004)

Im Jahr 2004 wurden während neun Monaten Tagesproben zur Russbestimmung an Strassenstandorten entnommen. Gemessen wurde an den Standorten in der Stadt Zürich Schimmelstrasse (Stadtstrasse mit "Stop-and-Go"-Verkehr), Schwamendingen (Stadtautobahn), Effretikon (ländlich, direkt an der Autobahn Zürich - Winterthur) und am Südportal des Gubristtunnels. Die Probenahmen erfolgten mittels LowVol-Sammlern NAPS (Typ UMEG, Baden-Württemberg, modifiziert). An Werktagen wurde während Zeiten mit Lastwagenverkehr (Donnerstag: 6-22 Uhr) und an Sonntagen während des Verbots von Lastwagenfahrten (von Sonntag 0 Uhr bis Montag 4 Uhr) Proben gesammelt. Die Filterproben wurden mittels Reflektometrie ausgemessen und ausgesuchte Proben thermografisch analysiert. Die Ergebnisse aus den NAPS-Sammlern ergaben am Standort Schimmelstrasse eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Betastaubmeters (FH 62 I-R) zur kontinuierlichen Russ Messung im OSTLUFT-Messwagen. Die EC-Werte aus der thermografischen Bestimmung werden mit den folgenden Funktionen auf $\text{EC}_{\text{TOT(EUSAAR2)}}$ überführt:

Schimmelstrasse	$y = 0.875 \cdot x + 0.13$
Schwamendingen, Effretikon, Gubrist Südportal	$y = 0.854 \cdot x - 0.15$

Am Standort Schimmelstrasse wurde in einer Ansaughöhe von 3.5 Metern werktags (Messstage waren jeweils Donnerstage) ein durchschnittlicher Russwert von $\text{EC}_{\text{TOT(EUSAAR2)}} = 5.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt, der mehr als doppelt so hoch lag wie sonntags ($\text{EC}_{\text{TOT(EUSAAR2)}} = 2.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Direkt am Strassenrand lag die durchschnittliche Belastung um 60% höher als am Messpunkt auf dem Dach des Messwagens, die Korrelation der einzelnen Messwerte war sehr hoch.

Die unterschiedliche Verkehrsverteilung zwischen Werktagen und Sonntagen widerspiegelte sich auch in der Russbelastung an den anderen Standorten.

	Donnerstage	Sonntage
Schimmelstrasse, 3.5 m ü. Grund	5.84 µg/m ³	2.52 µg/m ³
Schimmelstrasse, 1.2 m ü. Grund	9.76 µg/m ³	3.63 µg/m ³
Schwamendingen	7.91 µg/m ³	2.78 µg/m ³
Effretikon	4.63 µg/m ³	2.24 µg/m ³
Gubrist Südportal	7.44 µg/m ³	3.00 µg/m ³

Tabelle 1: Messergebnisse umgerechnet auf EC_{TOT(EUSAAR2)} (Mittelwerte über alle Messungen pro Standort für den entsprechenden Wochentag)

2.5.2 Zusammenfassung zu Untersuchungen atmosphärischer Partikel im Gebiet von OSTLUFT

Im Auftrag von OSTLUFT hat ökoscience AG (Thudium, J., 2010) sämtliche Projekte der letzten Jahre zu Partikeln in der Atmosphäre im Gebiet von OSTLUFT zusammengestellt. Dort werden auch alle bisherigen Russ-Immissionsmessungen beschrieben.

3. Probenahme und Messmethoden

Die Russmessung kann einerseits automatisiert direkt in der Messstation erfolgen. Dies geschieht entweder mit einem kontinuierlichen Messverfahren, bei welchem die Daten laufend bestimmt und als Halbstundenwerte abgespeichert werden (z.B. Multi Angle Absorption Photometer MAAP, vgl. Kapitel 3.2.2) oder mit einer sequentiellen Messung. Dabei wird das Filterband nach erfolgter automatischer PM10 Messung alle paar Stunden unter den Russmesskopf transportiert (Eberline Betastaubmeter (FH 62 I-R) mit zusätzlichem Russmesskopf, vgl. Kapitel 3.2.3).

Andererseits können Filterproben für 24 Stunden exponiert, also bestaubt, und anschliessend im Labor analysiert werden. Mit dem Digital High Volume Sammler (DHA-80) werden Tagesproben von Feinstaub PM10 gesammelt. Zur Russprobennahme werden Quarzfaserfilter eingesetzt. (Kapitel 3.2.1).

Sowohl das Betastaubmeter (FH 62 I-R) als auch der High Volume Sammler werden bei OSTLUFT mit PM10-Messköpfen betrieben. Deshalb beziehen sich alle damit vorgenommenen Russmessungen auf den Russanteil im PM10. Die MAAP-Geräte sind mit einem PM1 Vorabscheider ausgestattet. Somit bezieht sich die entsprechende Russmessung lediglich auf den Russanteil des PM1. In der PM1-Fraktion sind 85-90% des gesamten Russanteils der PM10 Fraktion enthalten (Empa, 2010).

Technische Details zu den einzelnen Analyseverfahren finden sich im Anhang 8.2.

3.1 Analysemethoden für Russ auf Quarzfaserfiltern

3.1.1 Coulometrie (gemäss VDI 2465, Blatt 1)

Siehe auch Anhang 8.2.1

Die Coulometrie ist die Messung von Russ durch chemisch-analytische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes (EC) nach Extraktion des organischen Kohlenstoffes. Sie eignet sich nur für quellennahe, das heisst strassennahe, Standorte.

Die Probenahme erfolgt dazu auf Quarzfaserfiltern (z.B. mittels High Volume Sammler).

Ein Teil der Filterprobe wird unbehandelt analysiert zur Bestimmung der totalen Kohlenstoffkonzentration ($TC=EC+OC$). Die Spezifität des Verfahrens auf elementaren Kohlenstoff (EC) wird durch die Vorbehandlung der restlichen Filterprobe erreicht: Durch die Flüssigkeitsextraktion in einem polar/unpolaren Lösungsmittelgemisch werden die organischen Verbindungen entfernt. Die Bestimmung des Russes als elementarer Kohlenstoff (EC) erfolgt nach dieser Vorbehandlung durch Verbrennen der Probe unter Sauerstoff und der coulometrischen Detektion des dabei gebildeten CO_2 . OC kann als Differenz zwischen TC und EC ermittelt werden.

Die für OSTLUFT bei LUBW bestimmten Russwerte erfolgten nach der Coulometrie-Methode.

3.1.2 Thermographie (gemäss VDI 2465, Blatt 2)

Siehe auch Anhang 8.2.2

Die Thermographie ist die Messung von Russ durch thermographische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes nach Thermodesorption des organischen Kohlenstoffes. Dabei wird die Probe in einem ersten Schritt in einer Heliumatmosphäre schrittweise aufgeheizt. Das gebildete CO_2 entspricht der OC-Konzentration. Im zweiten Schritt des Analyseverfahrens wird nach Zugabe von Sauerstoff zum Helium EC zu CO_2 umgewandelt und gemessen. Bei thermischen Verfahren pyrolysiert (verkohlt) allerdings auch ein Teil der organischen Kohlenstoffverbindungen und wird schliesslich zusammen mit dem EC gemessen, so dass der EC-Anteil – besonders in ländlichen Regionen mit einem hohen Anteil von "organic matter" im Feinstaub – überschätzt wird.

Die Thermographie eignet sich nur für quellennahe, das heisst strassennahe, Standorte. Da bei OSTLUFT an sehr unterschiedlichen Standorten gemessen wird, kam dieses Verfahren mit Ausnahme von einigen Proben aus der Stadt Zürich nicht zum Einsatz.

3.1.3 TOT: Thermo-optical Transmission (NIOSH700+ und EUSAAR2)

Siehe auch Anhang 8.2.3

Die TOT-Methode eignet sich – im Gegensatz zur Thermographie und zur Coulometrie – für alle Standorttypen.

Bei dieser Methode werden OC und EC separat, aber in einem Analyseablauf, durch Heizen der Filterproben bestimmt. Für OC geschieht dies in einer Helium-Atmosphäre, für EC in einer Helium-Sauerstoff-Atmosphäre. Die Überschätzung des EC-Gehalts, die bei thermischen Verfahren infolge der Pyrolyse von OC auftritt, wird bei der thermo-optischen Methode korrigiert. Diese Korrektur erfolgt optisch aufgrund der mit einem Laserstrahl gemessenen Transmission des Filters.

Wenn bei der TOT-Methode die Analyse mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen erfolgt, können die Messwerte für EC und OC variieren. Die Pyrolyse des OC ist abhängig von der Zusammensetzung des Feinstaubes sowie von den gewählten Temperaturstufen beim Heizvorgang und von der Dauer jeder Stufe. Im EU-Projekt EUSAAR (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research), wurden diese Effekte untersucht. Dabei wurde das Standard-Heizprogramm nach Protokoll EUSAAR2 entwickelt, um die Pyrolyse von OC für alle Standorttypen und somit auch für unterschiedliche Feinstaubinhaltsstoffe möglichst gering zu halten. Nach dem aktuellsten Stand des Wissens sind EC- und OC-Werte zu beziehen auf TOT-Analysen gemäss EUSAAR2 (Cavalli et al., 2009). Diese Methode wird von ISPRA / JRC als Konvention verwendet. Ihre Eignung als Referenzmethode wird derzeit in einer Arbeitsgruppe des Europäischen Komitees für Normierung (CEN TC264 WG35) geprüft.

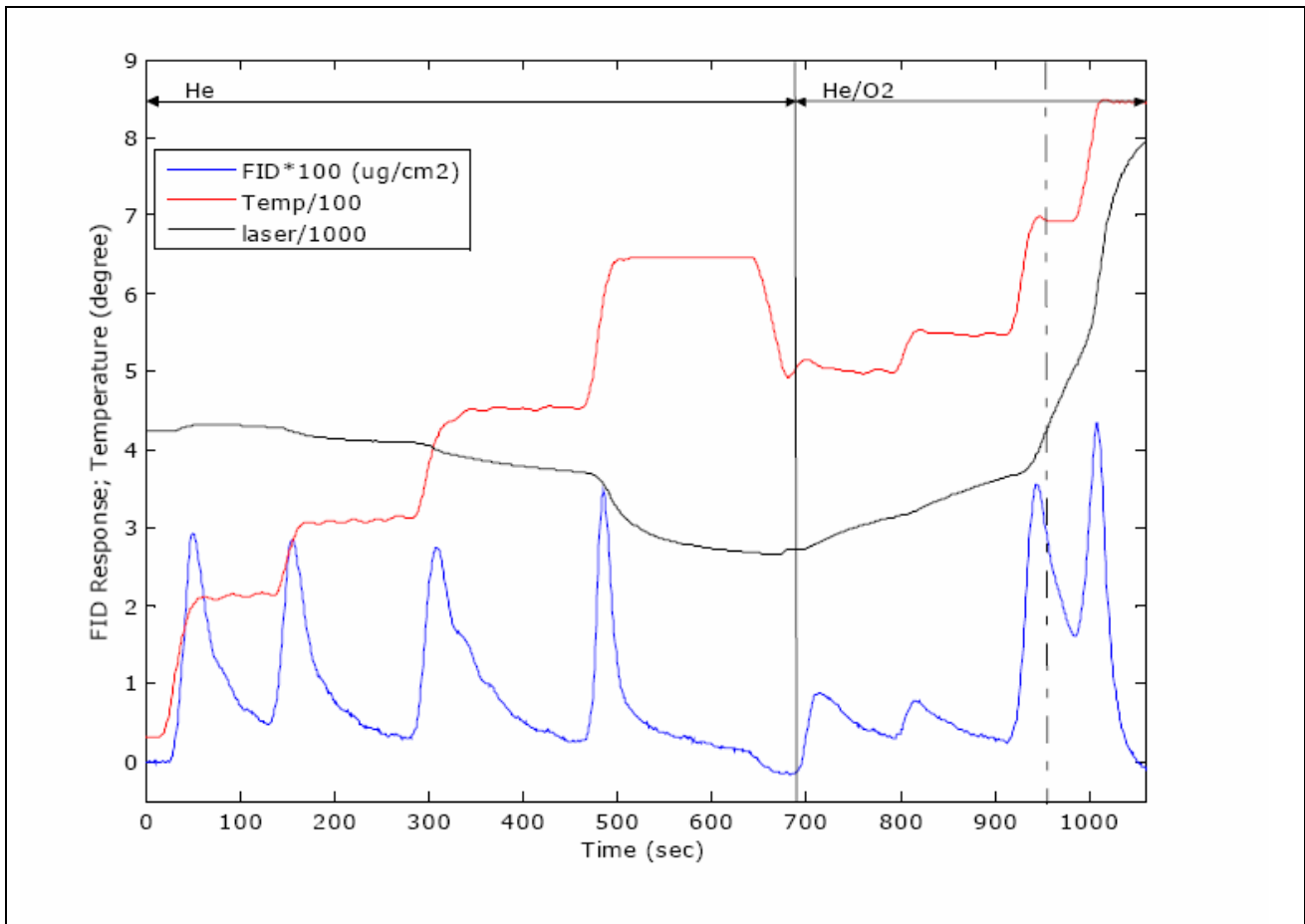


Abbildung 1: Verlauf des Thermo-optischen Verfahrens zur Bestimmung von OC (unter He) und EC (unter He/O₂) gemäss EUSAAR2-Protokoll (aus: Cavalli, 2009)

Die Empa hat das TOT-Verfahren in der Schweiz eingeführt und ausführliche Tests durchgeführt. Zunächst erfolgten die Analysen mit einem anderen Heizprogramm (NIOSH 700+). Im Frühling 2009 übernahm die Empa das Temperaturprogramm EUSAAR2. Zur Umrechnung der mit NIOSH 700+ ermittelten Resultate auf EUSAAR2 bestimmte die Empa eine Umrechnungsfunktion aufgrund von Vergleichsmessungen.

OSTLUFT liess Filter bei der Empa¹ und bei der Firma Carbotech AG in Basel nach der TOT-Methode mit dem Verfahren NIOSH 700+ analysieren. Diese TOT-Analysen werden gemäss Funktion der Empa auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet (vgl. Kapitel 4.3.2). Carbotech AG besitzt ein Analysegerät von Sunset Labs, welches demjenigen der Empa entspricht. Beide Geräte werden seit Frühling 2009 mit dem Heizprogramm EUSAAR2 betrieben. Es finden regelmässige Vergleichsmessungen statt (Carbotech, 2009).

¹ Die Empa führt normalerweise keine Analysen für externe Auftraggeber durch. Hier handelt es sich um Testmessungen für eine neue Messmethode. Die unterschiedlichen Messstandorte von OSTLUFT, an denen Quarzfaserfilter vorlagen, ergaben für die Empa im Rahmen dieser Tests zusätzliche Messpunkte.

T1, Temperaturprotokoll NIOSH(700+)

T[°C]	t[sec]
310	70
475	60
615	60
700	180
550	45
625	45
700	45
775	45
870	90

Helium-Atmosphäre

Helium-Sauerstoff-Atmosphäre

T2, Temperaturprotokoll EUSAAR2

T[°C]	t[sec]
-	-
200	120
300	150
450	180
650	180
500	120
550	120
700	70
850	80

Tabelle 2: EC-Bestimmung mittels TOT-Verfahren: Vergleich der Temperaturprotokolle gemäss NIOSH700+ und gemäss EUSAAR2 (Quelle: Carbotech, 2009)

3.2 Reflektometrie

3.2.1 Manuelle Analyse der Quarzfaserfilter

Siehe auch Anhang 8.2.4

Die manuelle Analyse der Quarzfaserfilter mittels Reflektometer kann durch OSTLUFT selbst in einem der beteiligten Labors durchgeführt werden und ist somit kostengünstig. Dies erlaubt die Analyse von vielen Filtern. An allen Standorten mit High Volume Sammlern werden jährlich 30 Stichproben mit Quarzfaserfiltern entnommen, die zur Russbestimmung mit dem manuellen Reflektometer verwendet werden. Mittels einer weissen Lichtquelle wird die Reflexion des Filters gemessen. Je geringer diese ausfällt, desto stärker ist der Filter mit Russ belastet.

Die mit dem Reflektometer bestimmten Stichproben-Tagesmittelwerte werden auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet (vgl. Kapitel 4). Der Mittelwert dieser Einzelstichproben ergibt den Jahresmittelwert.

Diese Quarzfaserfilter zur Russanalyse werden in regelmässigen Abständen von 12 Tagen bestaubt. Ein Vergleich mit Beta-Staubmeter-Messungen in Zürich und Vaduz ergab, dass die Stichproben der Jahre 2007 und 2008 repräsentativ waren für die mittleren Verhältnisse im jeweiligen Jahr an einem bestimmten Standort. Bei starken Inversionslagen, die durch den Zeitraster von 12 Tagen nicht abgedeckt werden, könnte es zu einer leichten Unterschätzung des aus diesen 30 Filtern bestimmten Jahresmittelwertes für Russ kommen.

3.2.2 MAAP (Multi Angle Absorption Photometer)

Im MAAP wird Russ kontinuierlich als Halbstundenmittelwert gemessen. Die Messung von Black Carbon (BC) erfolgt mit einem Mehrwinkel-Photometer-Verfahren, welches auf einer Kombination von Reflexions- und Transmissionsmethode beruht. Dabei wird der Filter in der Bestäubungskammer mit Licht aus einer roten LED bestrahlt. Über dem Filter wird in zwei Winkeln ständig die Reflexion und unter dem Filter die Transmission gemessen.

Die Umrechnung der BC-Werte auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ erfolgt mit derselben Auswahl von acht Quarzfaserfiltern aus dem High Volume Sammler, die durch Analyse in einem externen Labor zur Kalibrierung der Reflektometermessungen verwendet werden. Die entsprechenden

Umrechnungsfunktionen für die MAAP-Geräte berücksichtigen die abnehmende Leuchtkraft der LED. Sie werden deshalb jedes Jahr für jeden Standort neu ermittelt.

Die vier MAAP-Geräte von OSTLUFT wurden bisher vor allem für Projektmessungen eingesetzt. Die längste zusammenhängende Messreihe besteht in Wettswil Filderen (ab März 2007). Die Probenahme erfolgt dort über einen PM1 Vorabscheider. Die High Volume Sammler zur Probenahme der EC-Vergleichsmessproben haben normalerweise einen PM10 Messkopf.

3.2.3 Eberline Betastaubmeter mit zusätzlichem Russmesskopf (FH 62-IR)

Siehe auch Anhang 8.2.5

Der Russmesskopf ist direkt neben der PM10 Messkammer montiert. Somit wird PM10 kontinuierlich gemessen, der BC Wert jedoch nur sequentiell nach erfolgtem Filterwechsel alle zwei bis 6 Stunden (je nach Stärke der Luftbelastung). Nach erfolgter PM10-Messung wird das Filterband unter den Russmesskopf transportiert. Die Russmessung erfolgt reflektometrisch mit einer roten LED als Lichtquelle. Aus dieser Messung kann Black Carbon (BC) bestimmt werden.

Die Kalibration der BC-Werte auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ erfolgt mit derselben Auswahl von acht Quarzfaserfiltern aus dem High Volume Sammler, die durch Analyse in einem externen Labor zur Kalibration der Reflektometermessungen verwendet wurden. Die entsprechenden Umrechnungsfunktionen für den Russmesskopf des Betastaubmeters (FH 62 I-R) sind gerätespezifisch und berücksichtigen die abnehmende Leuchtkraft der LED. Sie werden deshalb jedes Jahr für jeden Standort neu ermittelt.

OSTLUFT setzt in der Stadt Zürich zwei und in Vaduz ein kontinuierlich messendes Betastaubmeter (FH 62 I-R) mit Russkopf ein.

4. Vorgehen von OSTLUFT zur Bestimmung der EC-Werte bezogen auf das TOT Messverfahren EUSAAR2

4.1 Übersicht über das Vorgehen

2007 und 2008 nahm OSTLUFT an den Messstationen mit einem High Volume Sammler je 30 Proben pro Jahr auf Quarzfaserfiltern. Diese wurden mit dem manuellen Reflektometer analysiert (Kapitel 3.2.1). Mit diesen Filtern wurden in externen Labors umfangreiche Vergleichsmessungen zur Kalibration der Messungen durchgeführt, so dass alle bisherigen Russmessungen von OSTLUFT auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet werden können. Alle von OSTLUFT ab 2010 publizierten Russdaten aus Filterproben von High Volume Sammlern (auch Messungen aus früheren Jahren) entsprechen $EC_{TOT(EUSAAR2)}$.

Die Kalibration der Reflektometerresultate erfolgt mit den $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ -Werten. Aus den 30 vorhandenen Quarzfaserfiltern eines Messjahres je Standort werden acht Proben ausgewählt die möglichst repräsentativ unterschiedliche Schadstoffbelastungen mit tiefen, mittleren und hohen Messwerten abdecken. Dazu wird auch auf eine Auswahl verschiedener Wochentage und unterschiedlicher meteorologischer Bedingungen geachtet. Aus allen EC Analysen bezogen auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ und den entsprechenden Reflexionsmesswerten wird eine Umrechnungsfunktion ermittelt. Die 30 Reflexionsmesswerte jedes Messorts werden mit dieser Funktion umgerechnet. Der Mittelwert entspricht dem Jahresmittelwert des Messorts.

Aus allen Vergleichsmessungen wurde empirisch eine Funktion ermittelt, um direkt aus den manuellen Reflektometermessungen die Werte für $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ zu bestimmen (Kapitel 4.2).

Das Schema in Abbildung 2 zeigt den Ablauf der Durchführung unterschiedlicher Vergleichsmessungen. Die Details zu den einzelnen Vergleichsmessungen und Umrechnungsfunktionen werden im Kapitel 4.3 erläutert, und die Resultate werden in Kapitel 4.4 für verschiedene Standorte exemplarisch überprüft.

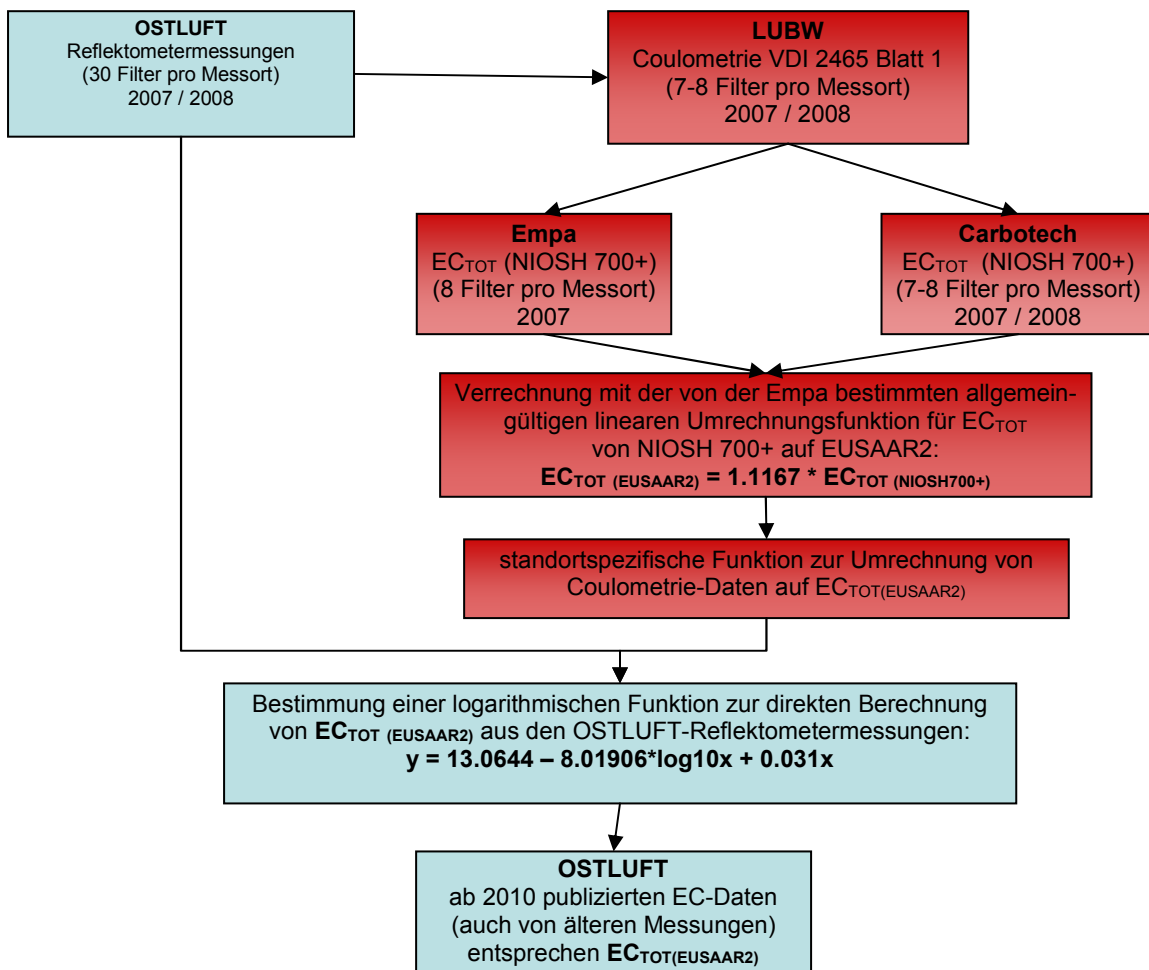


Abbildung 2: Ablauf der Vergleichsmessungen von Quarzfiltern aus High Volume Sammlern der OSTLUFT-Stationen zur Bestimmung von $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ und zur Ermittlung einer entsprechenden Umrechnungsfunktion für Reflektometermessungen.

Für die Stationsmessgeräte mit direkter Russbestimmung (MAAP und BetaStaubmeter) wird jeweils pro Jahr und Standort eine Kalibrationsfunktion zur Umrechnung der gemessenen BC-Werte auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ bestimmt. Diese Funktionen beruhen für die Jahre 2007 und 2008 auf den gleichen Filterproben, die für die Kalibration der Reflektometermessungen analysiert wurden. Auch für die Folgejahre sollen jeweils 8 ausgewählte Filter pro Station auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ analysiert werden.

4.2 Umrechnungsfunktion für die OSTLUFT-Reflektometrie-Daten

Aufgrund der in Kapitel 4.3 beschriebenen Vergleichsmessungen wurde empirisch eine Umrechnungsfunktion bestimmt, um die von OSTLUFT durchgeführten Reflektometermessungen auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umzurechnen. Dazu wurden ausgewählte Filter der Jahre 2007 und 2008 einbezogen.

$$y = 13.0644 - 8.01906 \cdot \log_{10}x + 0.031x$$

$y = EC_{TOT(EUSAAR2)}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$],
 $x = \text{Reflexion } [\%]$ (d.h. Werte von 0 bis 100)

Diese generelle Funktion für alle Stationen repräsentiert die bei den Vergleichsmessungen ermittelten tatsächlichen Werte der analysierten Filter sehr gut. Die Verwendung einer einzigen, von Ort

und Zeit unabhängigen Funktion scheint somit gerechtfertigt. Sie wurde für unterschiedliche Standorte getestet (vgl. Kapitel 4.4).

Momentan (vor den Vergleichsmessungen 2009) ist die hier beschriebene Funktion (gebildet aus den Messungen 2007 und 2008) die gültige, mit der alle OSTLUFT-Reflektometermessungen auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet werden. Vgl. auch Kapitel 4.5. Die Funktion wird jährlich überprüft und allenfalls angepasst.

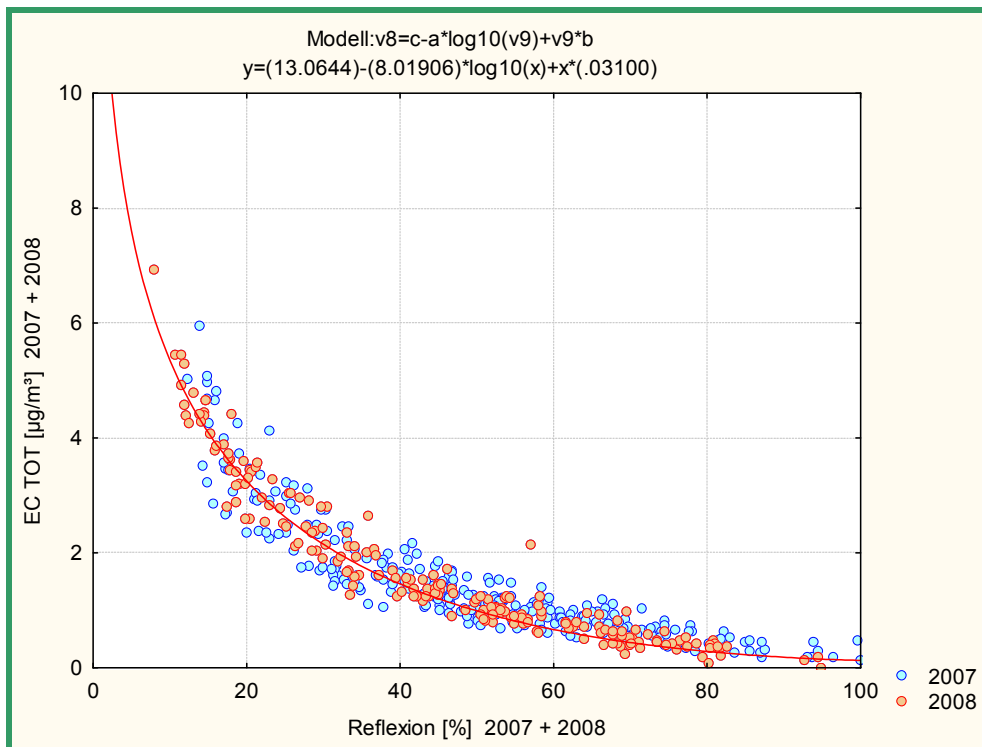


Abbildung 3: Funktion zur Bestimmung von $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ aus Reflektometermessungen von Quarz-faserfiltern: Die x-Achse zeigt die Einzelwerte der Reflektometermessungen der Jahre 2007 und 2008, die y-Achse den entsprechenden $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ -Wert. Die Umrechnungsfunktion (rote durchgezogene Linie) stimmt generell sehr gut, wobei das Jahr 2007 grössere Abweichungen zeigt als 2008 (siehe Kapitel 4.4)

4.3 Vergleichsmessungen zur Bestimmung der Umrechnungsfunktion

4.3.1 Coulometrie

Ausgewählte OSTLUFT-Filter der Jahre 2007 und 2008 wurden von der LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Karlsruhe) mit der Coulometrie-Methode nach VDI 2465 Blatt 1 (Kapitel 3.1.1) auf EC/OC analysiert.

Zwar wird mit der Coulometrie-Methode der totale partikelförmige Kohlenstoff TC recht gut erfasst, die EC-Werte jedoch werden je nach Standort deutlich überschätzt.

4.3.2 Umrechnung der mit Coulometrie ermittelten Werte auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$

Zur Umrechnung auf das neue Messverfahren Thermo-optical Transmission TOT ($EC_{TOT(EUSAAR2)}$) wurden für jeden Messort sieben oder acht Proben (jeweils aus einem der beiden Jahre) sowohl mit Coulometrie als auch mit TOT analysiert. Die TOT-Analyse erfolgte noch gemäss dem zuvor verwendeten Heizprogramm NIOSH 700+.

Die Daten wurden darauf mit einer von der Empa ermittelten allgemein gültigen linearen Umrechnungsfunktion (Empa, 2010) auf das endgültige Resultat umgerechnet:

$$EC_{TOT(EUSAAR2)} = 1.1167 * EC_{TOT(NIOSH 700+)}$$

Dieser Faktor wurde für die Filter "Pall Tissuquartz" verifiziert und als korrekt beurteilt.

Um die Qualität der Umrechnungsfunktion zu überprüfen, wurden einige wenige OSTLUFT-Filter (Whatman QMA) der Messstandorte Zürich Stampfenbachstrasse und Schimmelstrasse zusätzlich von der Empa direkt mit dem TOT-Heizprogramm EUSAAR2 analysiert. Die Übereinstimmung der EC_{TOT} -Werte ist sehr gut. (Resultate vgl. Anhang 8.4).

Für jeden Standort wurde eine eigene lineare Umrechnungsfunktion der mit Coulometrie ermittelten EC-Werte auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ bestimmt. Die Umrechnungsfunktionen je Messort sind im Anhang 8.3 zu finden. Sie sind unabhängig vom Jahr. Alle coulometrisch bestimmten OSTLUFT-Russwerte der Jahre 2007 und 2008 wurden gemäss dieser Funktion auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet. Bei Messreihen, die weiter als 2007 zurückreichen, wurden auch alle früheren Coulometrie-Messungen mit der gleichen standortspezifischen Funktion umgerechnet.

4.3.3 Ausgewählte Beispiele zur Umrechnung von Coulometrie-Daten auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$

Erwartungsgemäss wurden die EC-Werte durch die Coulometrie-Messungen überschätzt. Obwohl es kein eindeutiges Muster der Standortklassen gibt, lässt sich sagen, dass strassennahe Standorte durch die Coulometriemethode besser repräsentiert werden als quellenferne. Während bei einigen Standorten die tiefen Werte recht gut mit $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ übereinstimmen und die hohen bis zu doppelt so gross sind, weisen andere eher einen Offset auf. Abbildung 4 zeigt einige Beispiele von Funktionen zur Umrechnung der Coulometrie-Daten auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$.

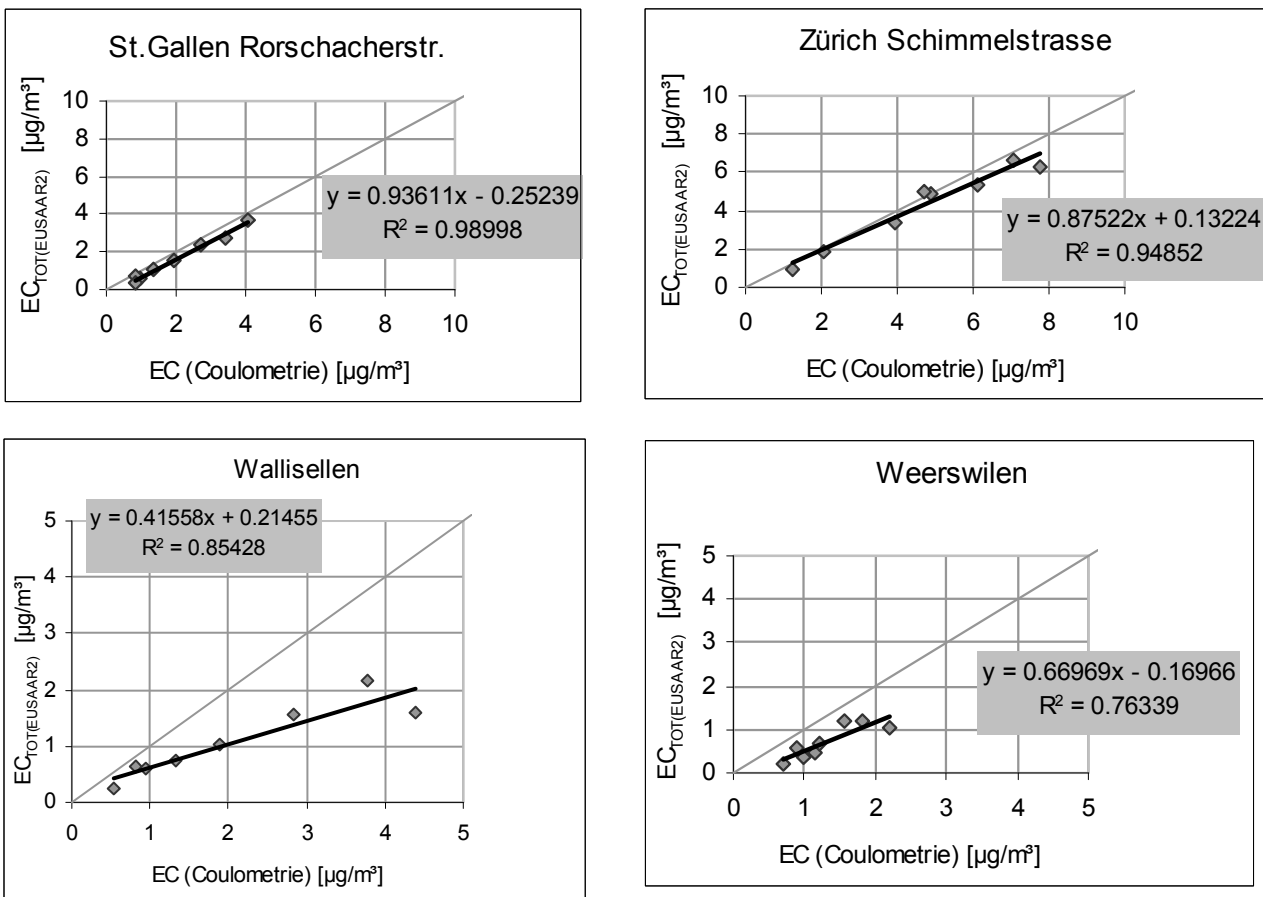


Abbildung 4: Einige ausgewählte Beispiele für die Umrechnung der Coulometrie-Daten auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$

4.4 Beispiele einzelner Messstandorte

In Kapitel 4.2 wurde eine einzige Funktion zur Umrechnung von Reflektometrie-Messungen auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ beschrieben. Diese gilt für alle untersuchten Filter der Jahre 2007 und 2008 an allen OSTLUFT-Stationen. Diese generelle Umrechnungsfunktion wird nun anhand einiger Beispiele verglichen mit spezifischen Funktionen, die für einzelne Standorte und Jahre ermittelt wurden.

2008 stimmen die Werte generell sehr gut überein, das heisst sie werden durch diese Funktion gut repräsentiert. 2007 treten jedoch einzelne grössere Abweichungen auf. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die Filter des Jahres 2007 für die $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ -Analyse, die erst im Februar 2009 durchgeführt wurde, bereits gealtert waren. Ausserdem hat jeder Filter seine eigene "Geschichte". Das bedeutet, dass Faktoren wie Transport und Lagerung, Probenvorbereitung und Analyse die Messung beeinflussen können.

4.4.1 Beispiel für gute Übereinstimmung: Zürich Stampfenbachstrasse

Die aus den Vergleichsmessungen berechneten $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ -Werte für Zürich Stampfenbachstrasse und die daraus abgeleiteten standortspezifischen Funktionen stimmen sowohl 2007 als auch 2008 sehr gut mit der generellen Funktion für alle untersuchten Filter überein.

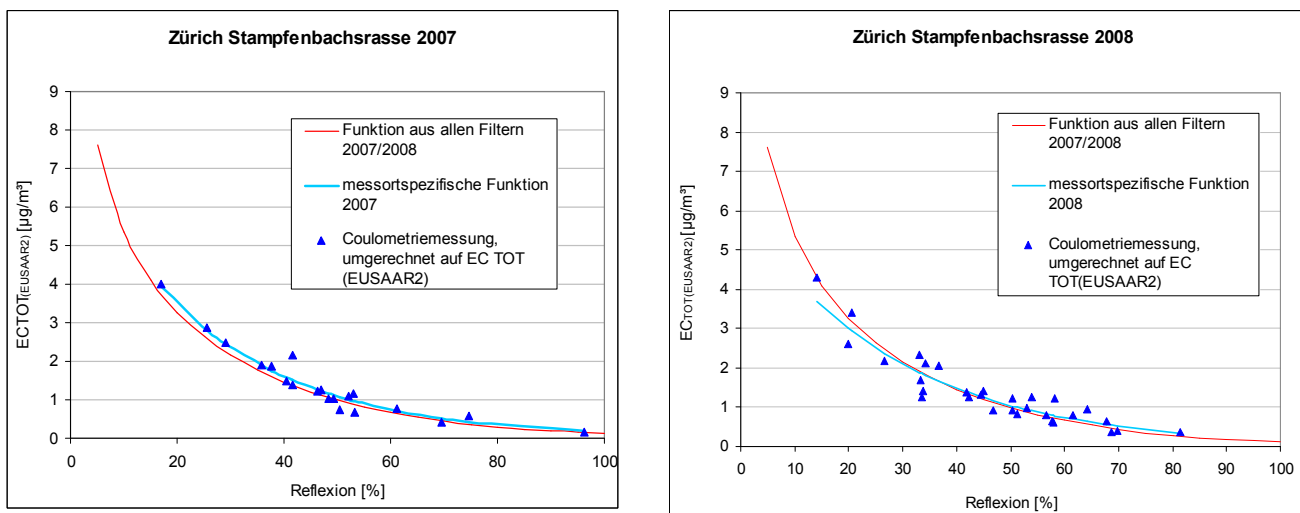


Abbildung 5: Bestimmung von $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ für Zürich Stampfenbachstrasse 2007 und 2008

4.4.2 Beispiel für einen Datensatz mit einem Offset

Die Daten der Station St.Gallen Rorschacherstrasse weisen 2007 einen Offset auf, das heisst alle $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ -Werte werden durch die allgemeingültige Umrechnungsfunktion unterschätzt. In den Werten von 2008 tritt ein solcher Effekt dagegen kaum auf.

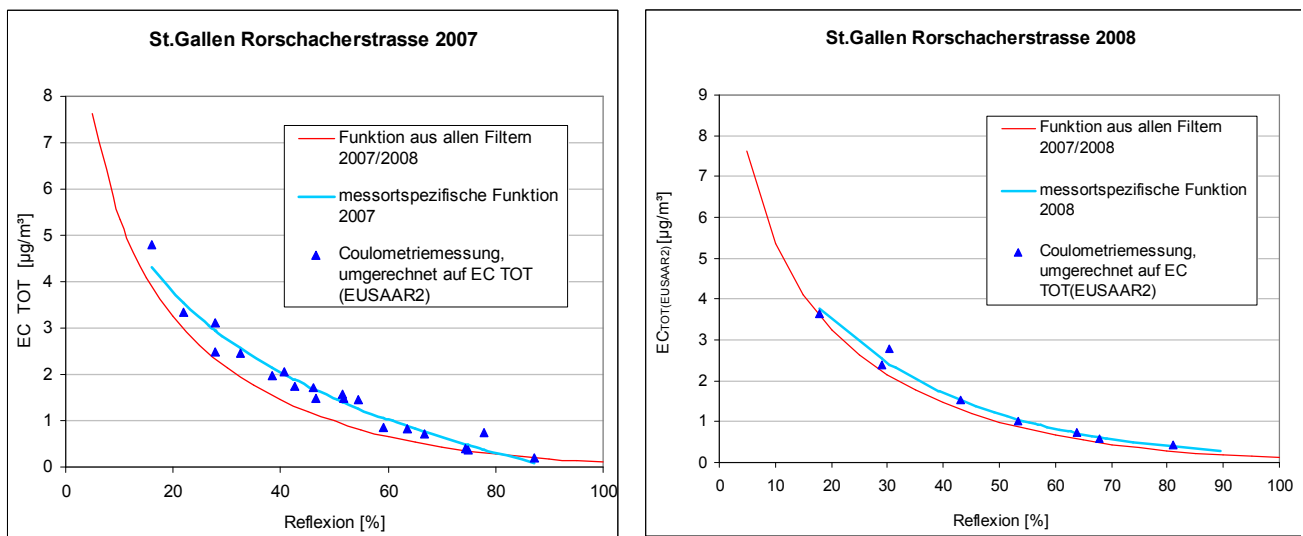


Abbildung 6: Bestimmung von $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ für St.Gallen Rorschacherstrasse 2007 und 2008

4.4.3 Beispiel eines Datensatzes mit schlechter Übereinstimmung zwischen der Umrechnungsfunktion und den Werten

In Arbon werden 2007 die tiefen $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ -Werte durch die allgemeingültige Umrechnungsfunktion unterschätzt, die hohen überschätzt. 2008 wurde in Arbon nicht gemessen. Die Ergebnisse 2009 sind abzuwarten.

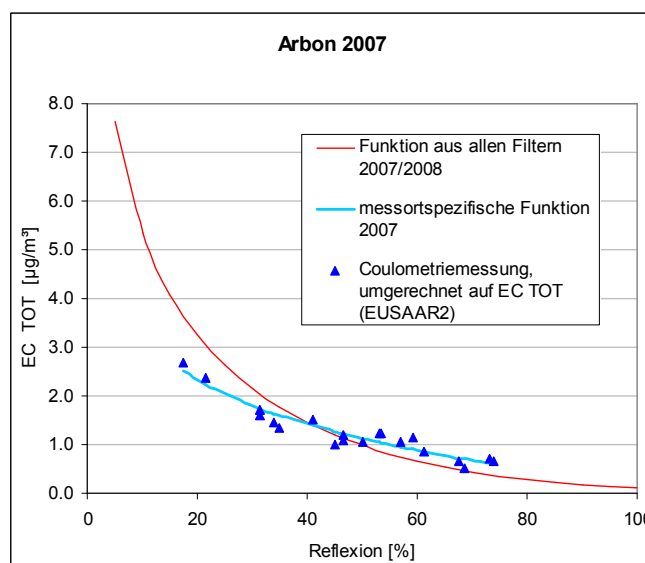


Abbildung 7: Bestimmung von $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ für Arbon 2007

4.5 Ergänzungen 2009 und weiteres Vorgehen

Auch in den kommenden Jahren werden weiterhin an allen Messorten mit High Volume Sammlern mit dem bisher angewandten Stichprobensystem Proben auf Quarzfasernfiltern gesammelt, die mittels Reflektometrie analysiert werden. Von den Filtern des Jahres 2009 wurden wiederum acht Filter je Messort bei Carbotech auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ analysiert, diesmal direkt mit dem Heizprogramm EUSAAR2. Die bisherige Umrechnungsfunktion zur Bestimmung von $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ aus Reflektometermessungen, welche aus den Daten von 2007 und 2008 gebildet wurde, kann weiterhin angewendet werden. Wie schon 2007 sind auch 2009 die Abweichungen einzelner Filter zwischen dem Funktionsresultat und den direkt im Labor ermittelten $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ -Werten etwas grösser als

2008. Es wird vermutet, dass während Inversionslagen mit hoher Feinstaub PM10-Belastung und somit stark geschwärtzten Filtern, also geringer Reflexion, die Reflexionsmessung mit etwas grösserer Unsicherheit behaftet ist. Auf den Jahresmittelwert haben diese Abweichungen aber kaum einen Einfluss.

Somit behält die in Kapitel 4.2 beschriebene Umrechnungsfunktion ihre Gültigkeit. Bei Bedarf wird die Funktion zur Umrechnung von zukünftigen Messungen aktualisiert.

4.6 Umrechnung von kontinuierlichen Messungen

Da die kontinuierlichen Messsysteme Betastaubmeter (FH 62 I-R) und MAAP sowohl für die Feinstaub PM10-Messung als auch für die Russmessung mit einem Standardverfahren abgeglichen werden müssen, werden an allen OSTLUFT-Stationen mit solchen Geräten parallel dazu High Volume Sammler betrieben. Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, wird alle 12 Tage ein Quarzfaserfilter für die Russprobenahme eingesetzt. Pro Messort wird jährlich aus den 8 im Labor bestimmten $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ Messwerten und den entsprechenden Tagesmittelwerten von MAAP und Betastaubmeter (FH 62 I-R) mit Russmesskopf eine standortsspezifische Umrechnungsfunktion erstellt. Diese wird anschliessend auf die gesamte Jahresmessreihe angewendet. Aus der Gesamtheit der Tagesmittelwerte wird der Jahresmittelwert gebildet.

Somit liegen für die Standorte mit kontinuierlich messenden Geräten zur Russanalyse sowohl Tagesmittelwerte für das ganze Jahr als auch ein Jahresmittelwert für $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ vor. Die definitiven Werte können erst Ende Jahr ermittelt werden, wenn die Kalibrationsfunktion aktualisiert wurde.

Zur Darstellung der aktuellen Tageswerte im Internet soll analog zu den Feinstaub PM10-Daten die Kalibrationsfunktion des Vorjahres verwendet werden. Die Werte werden als provisorisch gekennzeichnet.

4.7 Messunsicherheit

Gemäss Angaben der Empa (persönliche Information) beträgt die Unsicherheit der TOT-Analyse mit dem Gerät von Sunset Labs 6-7%. Die zusätzliche Unsicherheit durch Probenahme und Aufarbeitung der Filter ist gering. Insgesamt wird mit einer kumulierten Messunsicherheit von plus/minus 10-15% gerechnet.

5. Russ in der Ostschweiz

Da Russ eine fassbare Grösse ist, die sich auch kommunizieren lässt, wird in diesem Kapitel von Russmessungen gesprochen, auch wenn es sich genau genommen um EC-Messungen handelt. In den Grafiken wird jeweils Russ (EC) angegeben. Die hier dargestellten EC-Werte entsprechen $EC_{TOT(EUSAAR2)}$.

5.1 Jahresmittelwerte 2007, 2008 und 2009

Die mit Reflektometermessungen analysierten Filterstichproben wurden aufgrund der in Kapitel 4.2 beschriebenen Funktion auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet. Der Mittelwert aller Filter eines Standortes pro Jahr entspricht dem Jahresmittelwert.

Die höchsten Russ-Jahresmittelwerte von 2.18 bis 3.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden an den strassennahen Standorten Zürich Schwamendingen (an der Autobahn), Zürich Schimmelstrasse und Opfikon Balsberg gemessen. In Siedlungsgebieten wurden Russkonzentrationen von 0.66-1.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Quellenferne Standorte wie Höhenklinik Wald (ZH), Weerswilen (TG) und Hemmental (SH) erreichten im Jahresmittel zwischen 2007 und 2009 Russkonzentrationen zwischen 0.40 und 0.72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch diese Werte sind deutlich höher als die angestrebte maximale Belastung von 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemäss EKL (2009), (vgl. Kapitel 2.3).

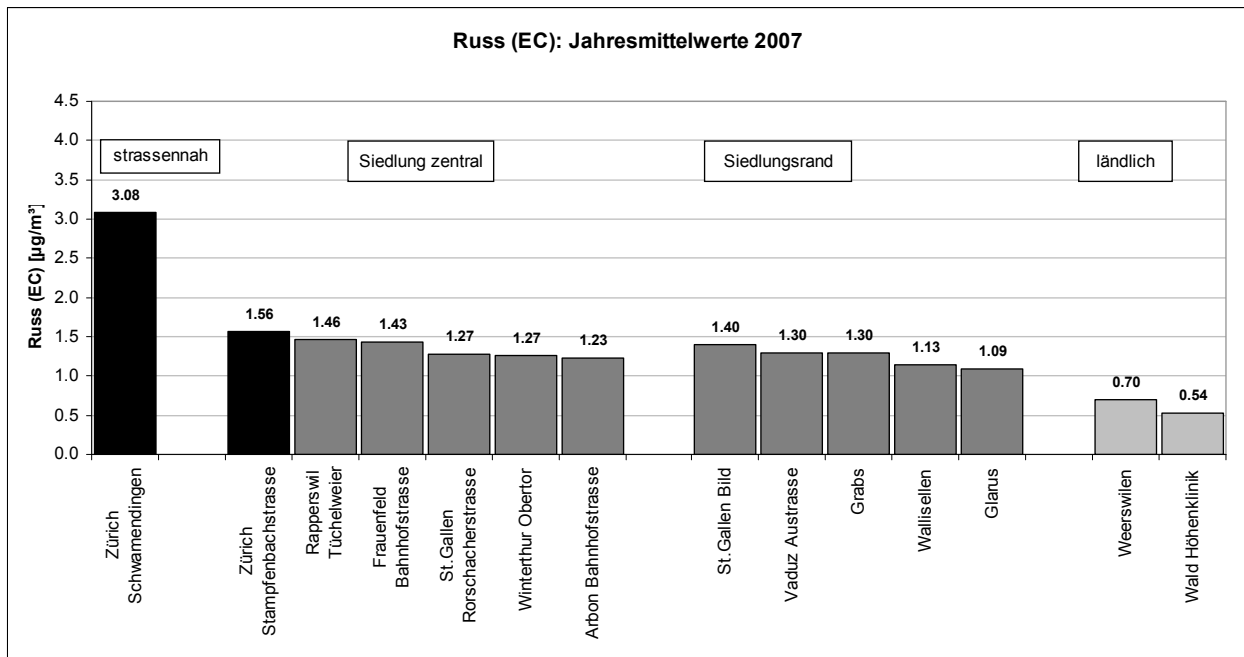


Abbildung 8: Russ-Jahresmittelwerte 2007 in der Ostschweiz: Reflektometrie-Messungen der Filterproben aus den High Volume Sammlern, auf $\text{EC}_{\text{TOT(EUSAAR2)}}$ umgerechnet.

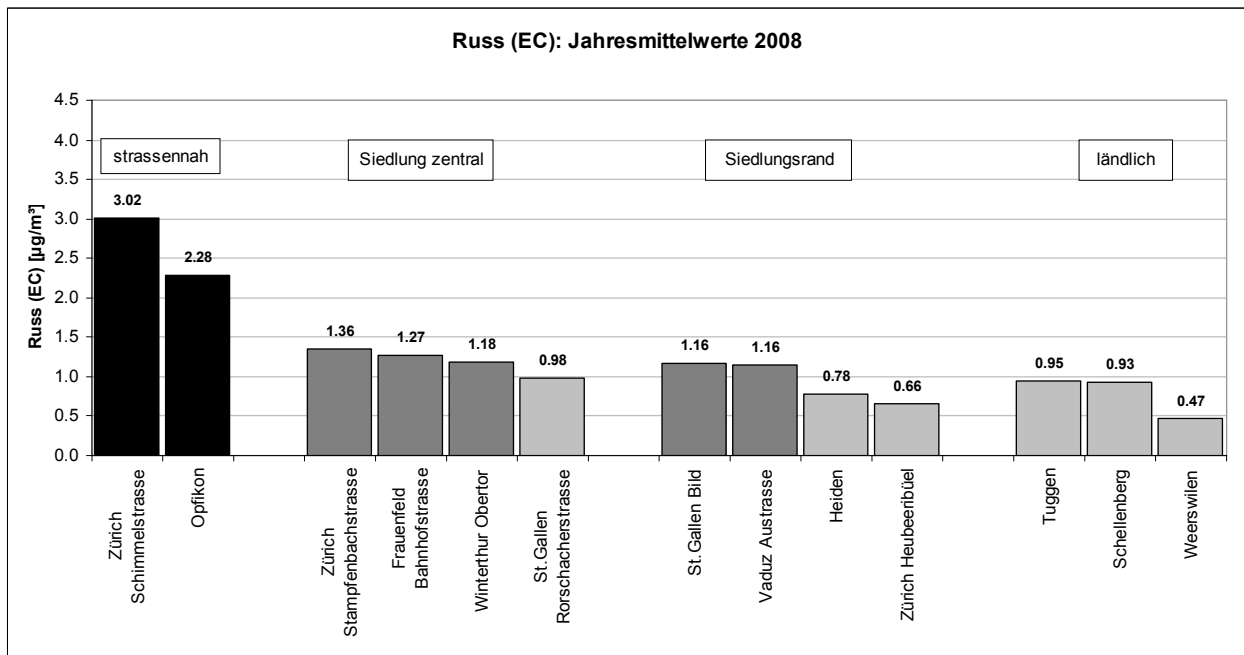


Abbildung 9: Russ-Jahresmittelwerte 2008 in der Ostschweiz: Reflektometrie-Messungen der Filterproben aus den High Volume Sammlern, auf $\text{EC}_{\text{TOT(EUSAAR2)}}$ umgerechnet.²

² Die Messstation Zürich Heubeerbüel wird von der Stadt Zürich (UGZ) betrieben, welche die Daten OSTLUFT zur Verfügung stellt.

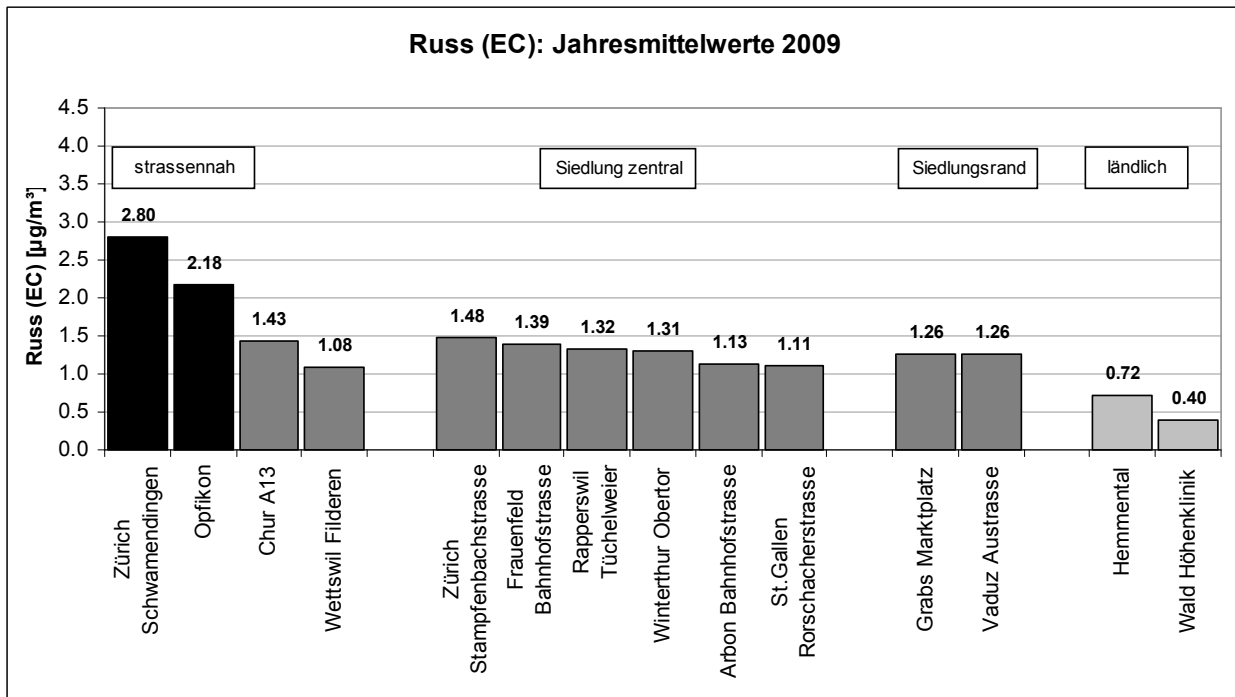


Abbildung 10: Russ-Jahresmittelwerte 2009 in der Ostschweiz: Reflektometrie-Messungen der Filterproben aus den High Volume Sammlern, auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet.³

5.2 Anteil von Russ am Feinstaub PM10

Für die meisten Standorte liegt der Russanteil am PM10 zwischen 5 und 8%. Dies gilt auch für die Station Zürich Stampfenbachstrasse, die einen durchschnittlichen zentralen städtischen Standort in Zürich repräsentiert. Sie weist zwar eine hohe PM10-Belastung mit Überschreitung des Jahresmittel-Grenzwertes auf. Der Russanteil am PM10 ist jedoch vergleichbar mit anderen, weniger stark belasteten Ostschweizer Regionen. Hingegen weisen die stark verkehrsbeeinflussten Standorte mit ebenfalls sehr hohen PM10-Werten einen deutlich höheren Russanteil von 9.8% -12.2% am gesamten Feinstaub auf. Dies ist in Schwamendingen an der Autobahn sowie an den Standorten Zürich Schimmelstrasse und Opfikon Balsberg erkennbar. Die autobahnbeeinflussten Standorte am Siedlungsrand wie Chur A13 und Wettswil Filderen (ZH) sind einer durchschnittlichen Russbelastung wie in Siedlungsgebieten ausgesetzt. Standorte mit der geringsten Feinstaub-Belastung weisen einen tiefen Russanteil von unter 5% des gesamten Feinstaubes auf. Es sind dies vor allem ländliche und wenig verkehrsbeeinflusste Gebiete, zum Beispiel Hemmental (SH), Weerswilen (TG) und Höhenklinik Wald (ZH), aber auch Zürich Heubeeribüel und Heiden.

Bei den hier dargestellten Russanteilen handelt es sich um Gewichtsprozente des $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ am gesamten Feinstaub PM10. Da Russ aus ultrafeinen Partikeln besteht, ist sein Anteil an der Partikelzahl deutlich höher als der Gewichtsanteil.

Die Anzahl der Russpartikel ist also an strassennahen Standorten deutlich grösser als an quellenfernen. Anwohner von stark befahrenen Strassen sind permanent hohen Russ-Belastungen ausgesetzt. Die Russbelastung ist aber in allen untersuchten Gebieten deutlich höher als die angestrebte maximale Belastung von $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

³ Die Messstation Wettswil Filderen wird vom Kanton Zürich (AWEL) betrieben, welcher die Daten OSTLUFT zur Verfügung stellt.

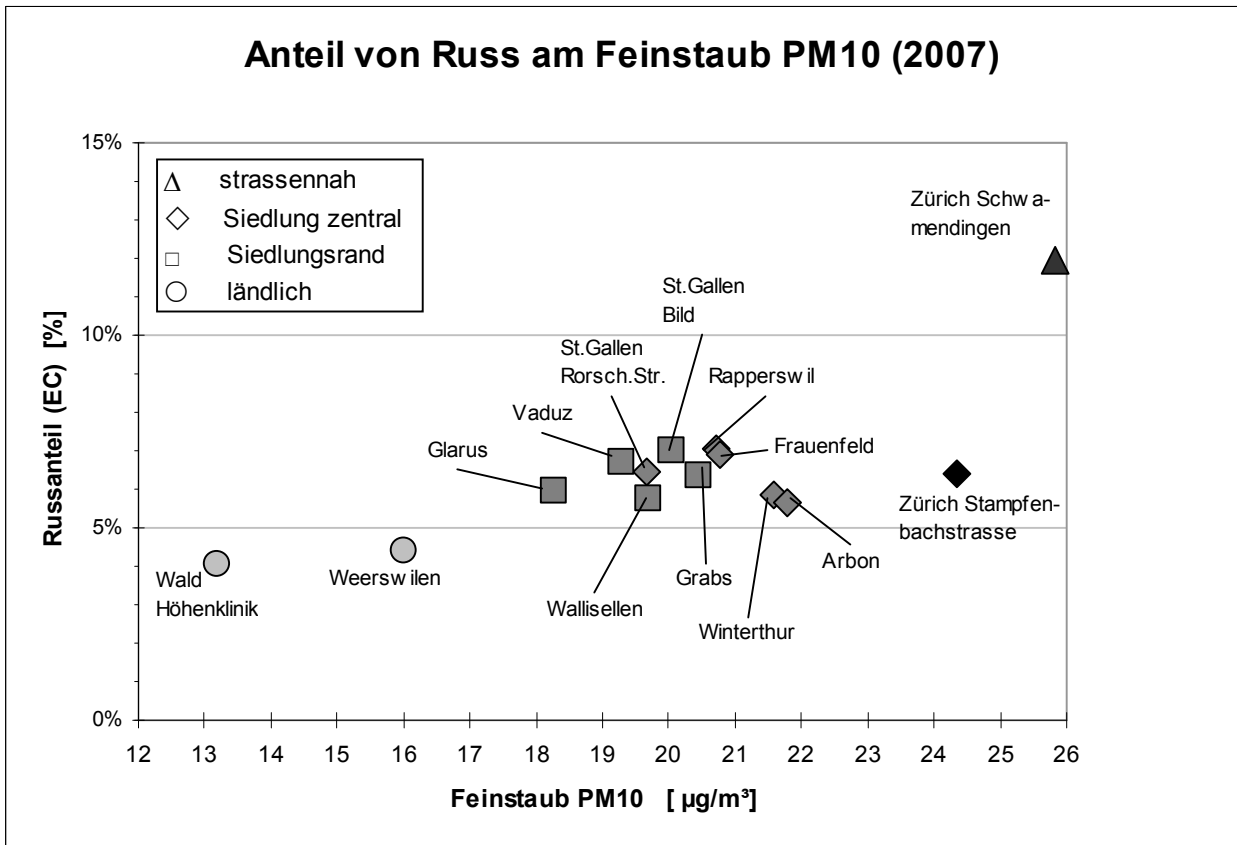


Abbildung 11: 2007: prozentualer Russanteil am Feinstaub PM10 für alle Messstationen

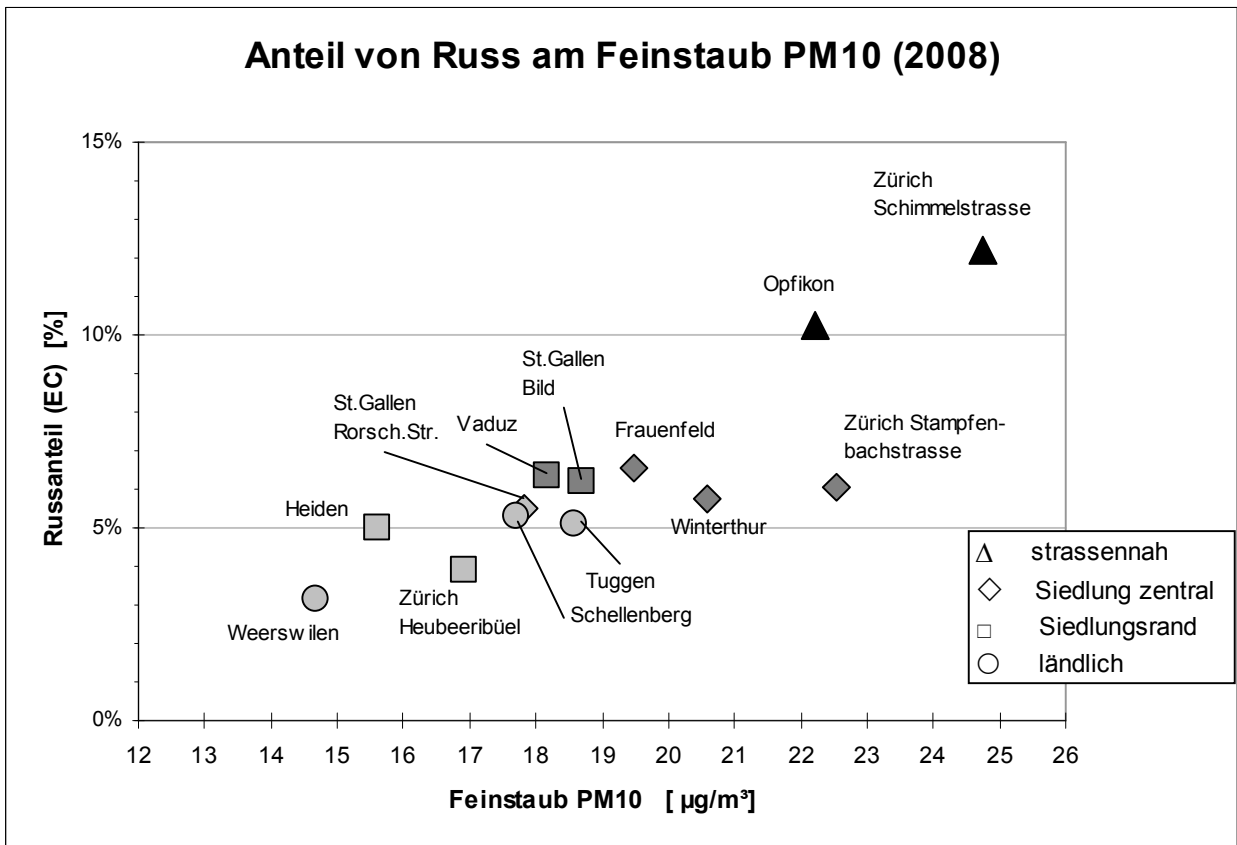


Abbildung 12: 2008: prozentualer Russanteil am Feinstaub PM10 für alle Messstationen

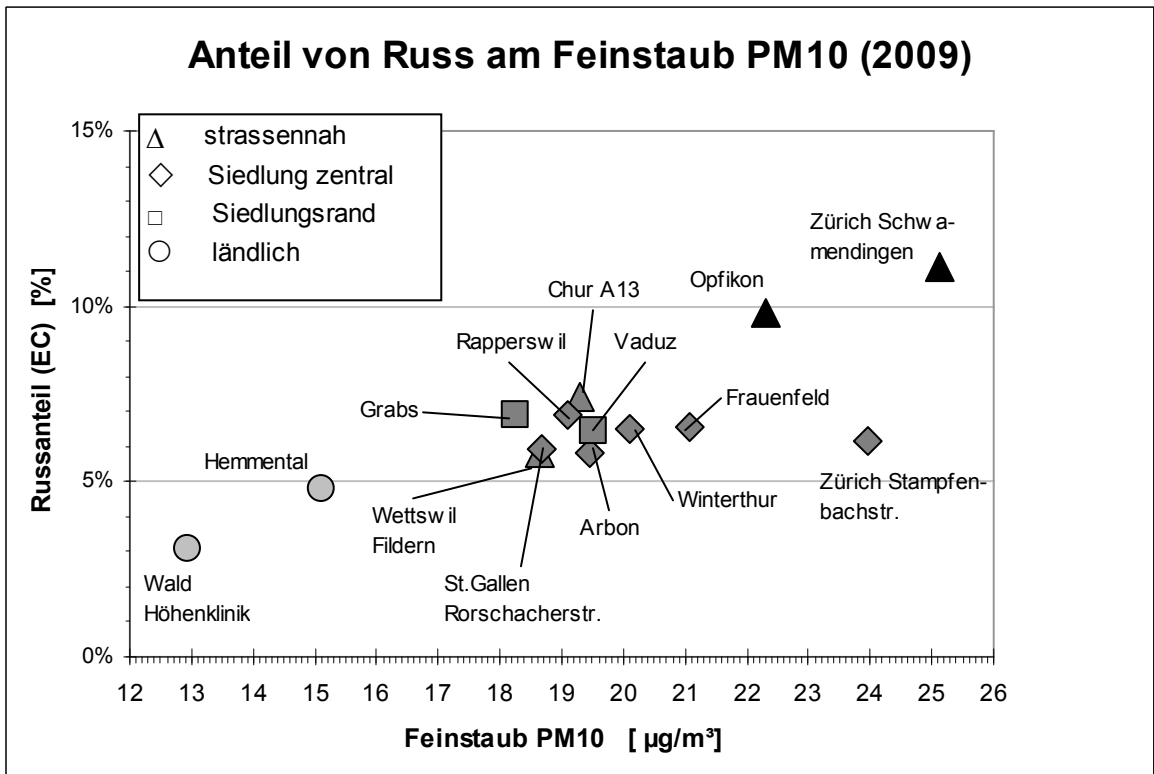


Abbildung 13: 2009: prozentualer Russanteil am Feinstaub PM10 für alle Messstationen

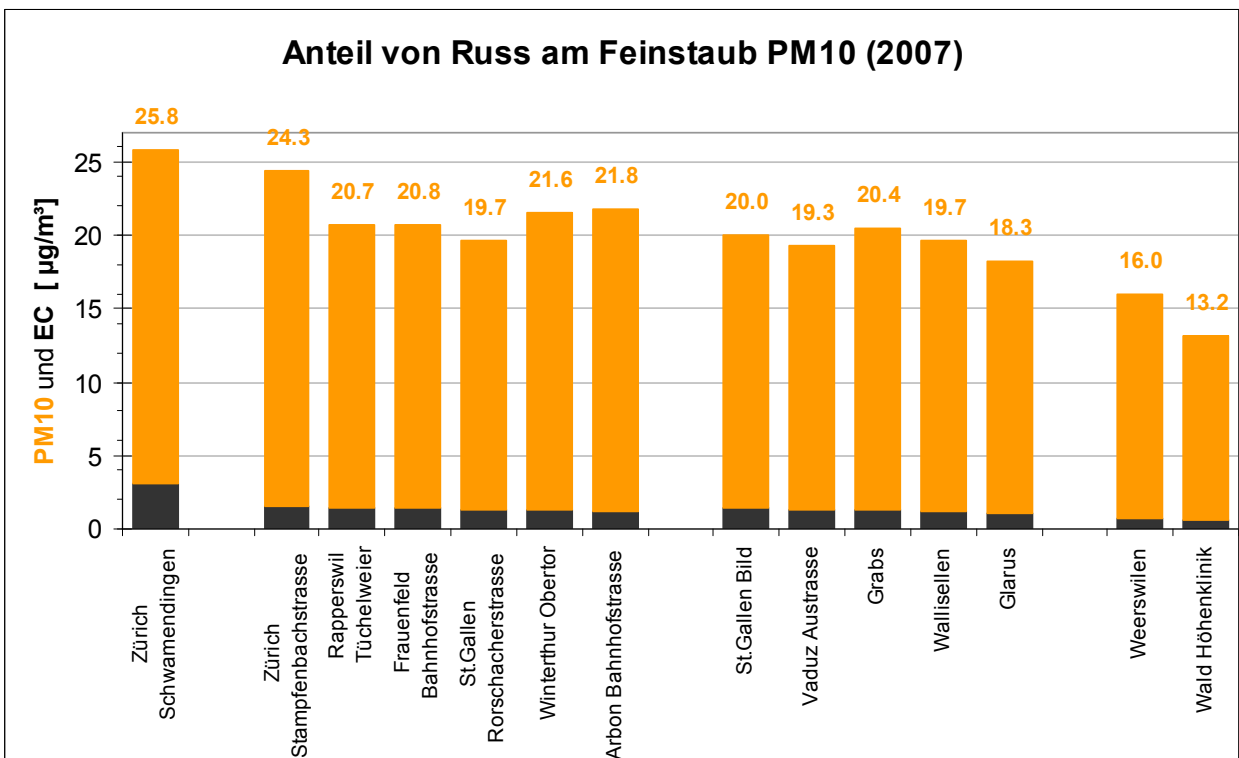


Abbildung 14: 2007: Jahresmittelwerte PM10 (orange) und Russ (schwarz)

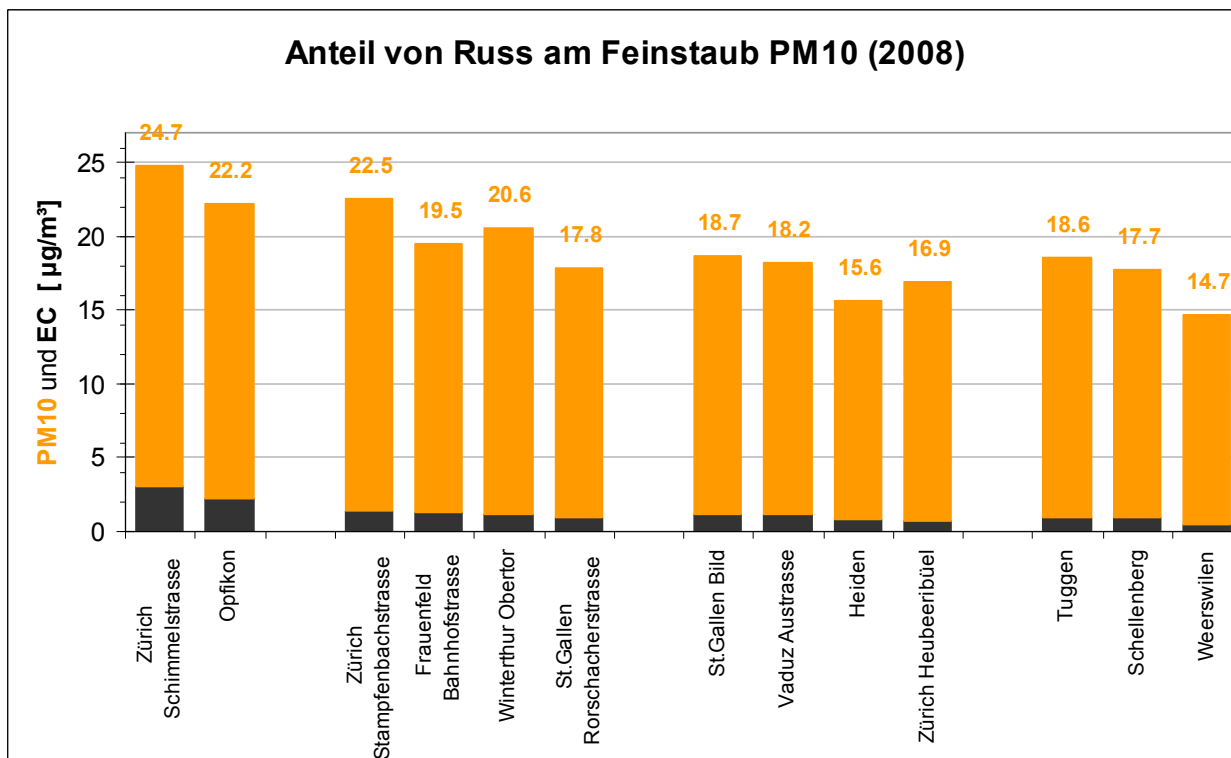


Abbildung 15: 2008: Jahresmittelwerte PM10 (orange) und Russ (schwarz)

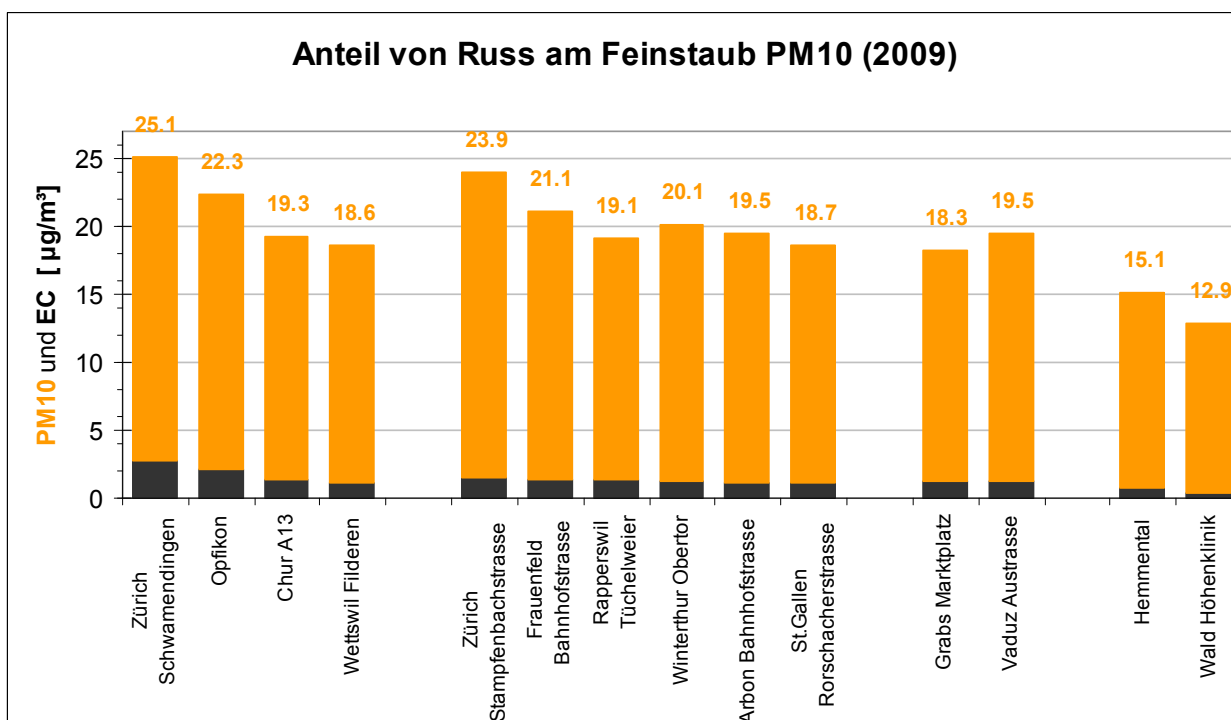


Abbildung 16: 2008: Jahresmittelwerte PM10 (orange) und Russ (schwarz)

5.3 Entwicklung der letzten Jahre

Seit 2001 wird an den OSTLUFT-Stationen Zürich Stampfenbachstrasse sowie abwechselnd an den Standorten Zürich Schimmelstrasse und Schwamendingen mit einem Betastaubmeter (FH 62 I-R) kontinuierlich Russ gemessen, seit 2005 auch an der Station Vaduz Austrasse. Die Messungen werden gemäss Kapitel 4.6 auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet.

Die Russkonzentration hat an diesen Standorten mit langfristigen Messungen seit Beginn des Jahrzehnts etwas abgenommen. Im Jahr 2008 wurden in Zürich Schimmelstrasse noch immer hohe 3.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, 2009 an den dann untersuchten Standorten zwischen 1.24 und 2.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

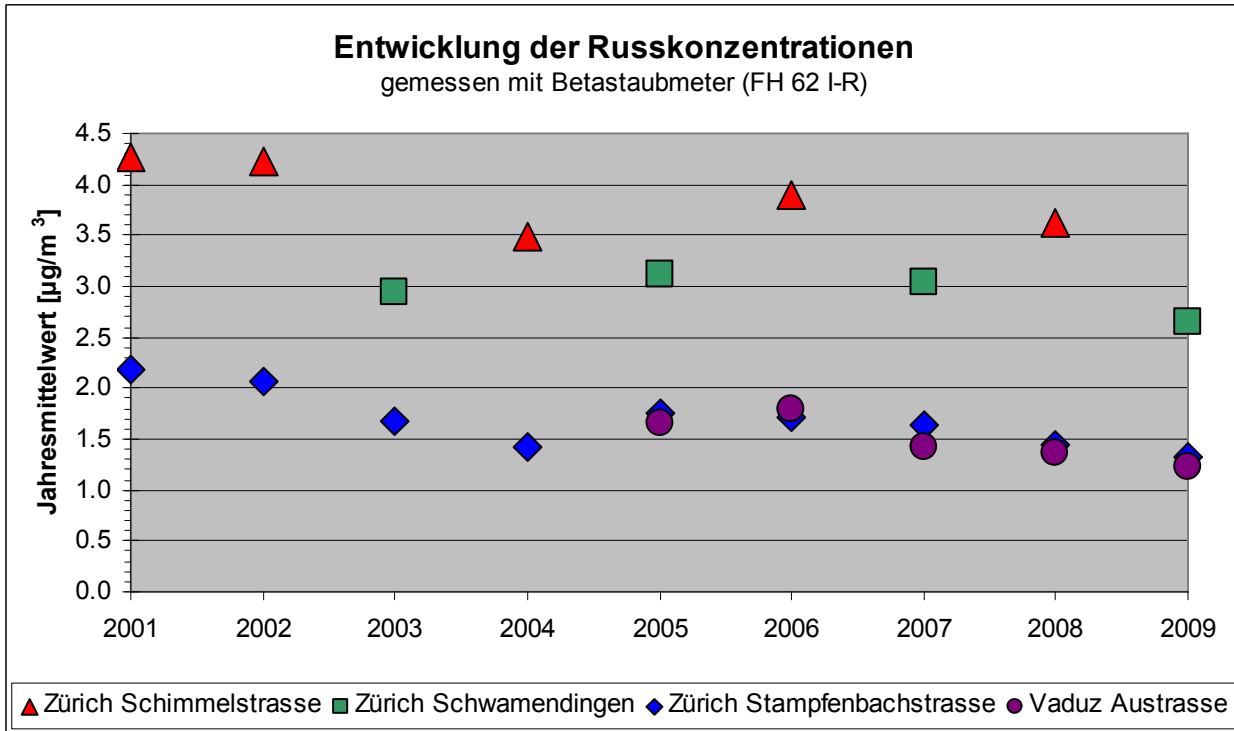


Abbildung 17: Entwicklung der Russkonzentration an den strassennahen Stationen im OSTLUFT-Gebiet seit 2001, gemessen mit Betastaubmeter (FH 62 I-R) und umgerechnet auf $\text{EC}_{\text{TOT}}(\text{EUSAAR2})$

Die MAAP-Geräte (Multi Angle Absorption Photometer) wurden 2007 bis 2009 für Projektmessungen eingesetzt. Aus den vorhandenen Daten lassen sich keine Jahresmittelwerte bilden und auch keine Trends feststellen. Die Daten werden hier trotzdem dargestellt (Abbildung 18). Der Mittelwert wurde jeweils über die vorhandenen Messperioden je Jahr gebildet. Die Messperioden sind in Tabelle 3 aufgeführt. In den gemessenen Perioden wurden mittlere Russkonzentrationen zwischen 0.65 (Wettswil Weierächer) und 1.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (St.Gallen Bild) erreicht.

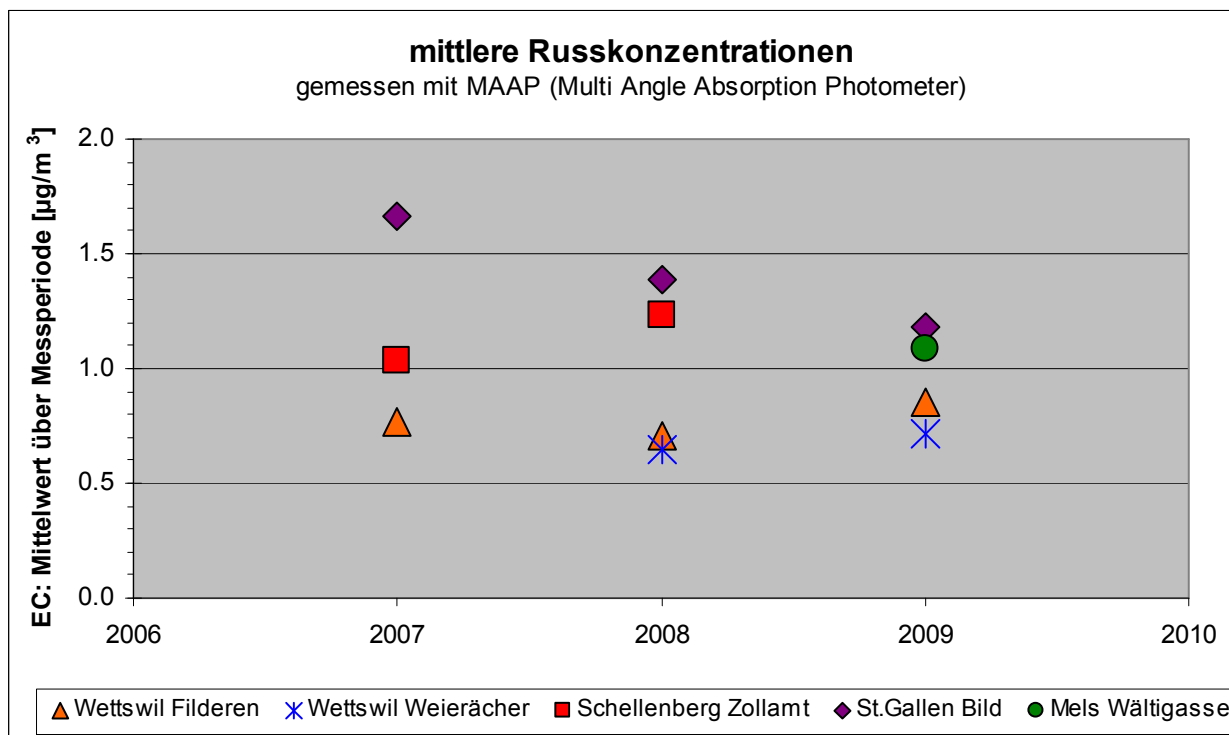


Abbildung 18: Mittlere Russkonzentrationen, gemessen mit den MAAP-Geräten und umgerechnet auf EC_{TOT(EUSAAR2)}. Der Mittelwert wurde jeweils über die vorhandenen Messperioden (vgl. Tabelle 3) gebildet. Es handelt sich nicht um Jahresmittelwerte.

Messperioden der MAAP-Geräte	2007		2008		2009	
	von	bis	von	bis	von	bis
Schellenberg Zollamt	25.01.07	24.06.07	15.01.08	13.03.08		
St.Gallen Bild	22.02.07	31.05.07	01.01.08	15.05.08		
	24.07.07	16.09.07				
	21.11.07	31.12.07				
Wettswil Filderen	21.03.07	13.05.07	01.01.08	08.07.08		
	07.07.07	31.12.07	19.07.08	13.08.08		
			22.08.08	31.12.08		
Wettswil Weierächer			04.04.08	31.12.08	01.01.09	16.09.09
					22.12.09	31.12.09
Mels Wältigasse					30.09.09	31.12.09

Tabelle 3: Messperioden der MAAP-Geräte. Die MAAP-Geräte wurden 2007 bis 2009 für Projektmessungen eingesetzt. Die Messperioden an den einzelnen Standorten sind aus dieser Tabelle erkennbar. Für Abbildung 18 wurde jeweils der Mittelwert über die vorhandenen Perioden gebildet.

5.4 Wochengang

Anhand des mittleren Wochengangs der Russkonzentration lässt sich der Einfluss des Schwerverkehrs auf den Dieselausstoß aufzeigen. Am stark verkehrsbelasteten Standort Zürich Schwamendingen zeigt die sehr hohe Russbelastung eine deutliche Abnahme an den Wochenenden mit dem Fahrverbot für Lastwagen. An den Stationen Zürich Stampfenbachstrasse und Vaduz Austrasse ist dieser Wochenendeffekt weniger deutlich. Beide Standorte weisen weniger Schwerverkehr auf als Zürich Schwamendingen.

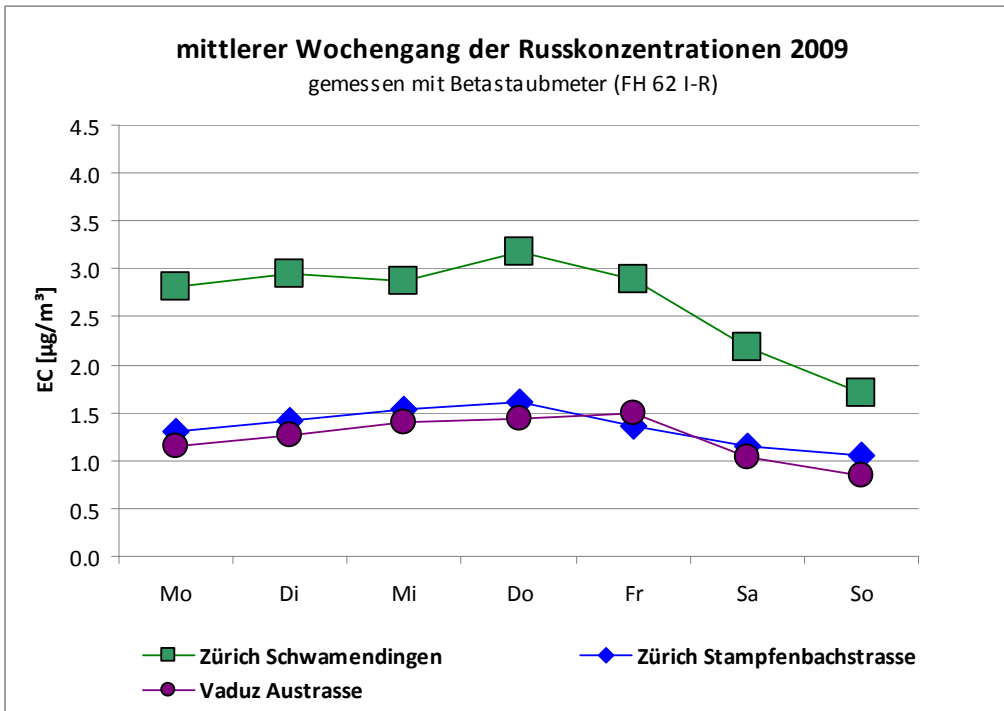


Abbildung 19: mittlerer Wochengang der Russkonzentration an strassennahen Standorten, gemessen mit Betastaubmeter (FH 62 I-R) und umgerechnet auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$, gemittelt über das Jahr 2009.

Aus den vorhandenen MAAP-Daten wurden die Wochengänge jeweils über die Projektdauer gemittelt. Deshalb lassen sich diese Wochengänge nicht direkt untereinander vergleichen. Alle Messstandorte weisen einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Rückgang der Russkonzentration am Wochenende auf. Am deutlichsten ist dieser in St.Gallen Bild erkennbar, wo der Werkverkehr unter der Woche zu höheren Konzentrationen führte.

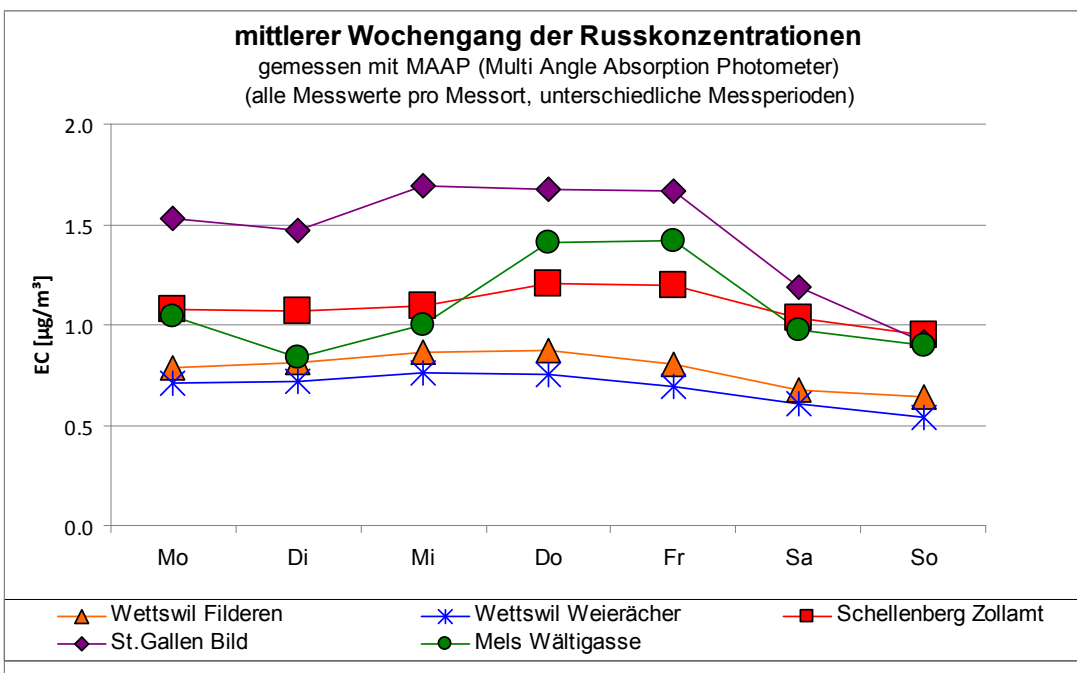


Abbildung 20: mittlerer Wochengang der Russkonzentration, gemessen mit MAAP (Multi Angle Absorption Photometer) und umgerechnet auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$, gemittelt über die jeweils vorhandenen Messperioden 2007-2009. Die Mittelungsperioden sind für die einzelnen Standorte unterschiedlich (vgl. Tabelle 3).

6. Schlussfolgerungen für die Öffentlichkeitsarbeit

6.1 Früher von OSTLUFT publizierte Daten

In den OSTLUFT-Jahresberichten wurden bis 2008 Russdaten der Betastaubmeter (FH 62 I-R) veröffentlicht. Diese wurden mit Coulometrie-Messungen gemäss VDI 2465 Blatt 1 kalibriert. Die Werte sind deutlich höher als $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ (bis anderthalbmal so hoch).

Ab dem Jahresbericht 2009 werden $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ -Werte publiziert. Somit sind die Ergebnisse vergleichbar mit jenen der NABEL-Messstationen des BAFU. Zeitreihen werden rückwirkend angepasst. Einzelwerte können nicht mit Daten aus alten Jahresberichten verglichen werden. Dieser Sachverhalt wird im Jahresbericht 2009 erläutert. Auch im Internet wird darauf hingewiesen.

Da beim Russ vor allem die Dosis relevant ist, ist die Veröffentlichung des höchsten Tagesmittelwertes wenig sinnvoll. Beim Jahresrückblick sollten nur Jahresmittelwerte beziehungsweise Mittelwerte über längere Zeitreihen (z.B. mittlere Wochengänge) kommuniziert werden.

6.2 Publikation von Tagesmittelwerten aus kontinuierlich messenden Geräten im Internet

Im Internet werden in Zukunft Jahresmittelwerte und aktuelle Tagesmittelwerte (z.B. vom Vortag) veröffentlicht. Diese beziehen sich immer auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$. Da die kontinuierlich und sequentiell messenden Geräte MAAP und Betastaubmeter (FH 62 I-R) erst nach Ablauf des Jahres bei vorliegen der standortspezifischen Kalibrierfunktion definitiv umgerechnet werden können, wird jeweils mit der Funktion der Vorperiode gearbeitet. Die Daten werden als provisorisch gekennzeichnet.

7. Literatur

- Carbotech: D. Hofer (2009): Qualitätssicherung EC/OC Analytik an Quarzfaserfiltern: Juni 2009 – November 2009.
- F. Cavalli, M. Viana, K. E. Yttri, J. Genberg, and J.-P. Putaud (2009). Toward a standardised thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the eusaar protocol. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 2(5):2321-2345.
- Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL) (2008). Feinstaub in der Schweiz. Statusbericht. Stand 2007.
- Empa: H. Herich, Ch. Hügli (2010). Monitoring der Russimmissionen im Rahmen des NABEL. Zwischenbericht 2009.
- OSTLUFT: P. Maly (2005): Russ-Monitoring an Standorten mit hohem Anteil Strassenverkehr
- OSTLUFT (2010): Luftbelastung 2009. Jahresbericht.
- Thudium, J. (2010): Zusammenfassung zu Untersuchungen atmosphärischer Partikel im Gebiet von OSTLUFT
- UMEG (2003): Messungen zum Vollzug der 23. BImSchV in Baden-Württemberg, Mai 2001 bis Mai 2002.
- VDI 2465 Blatt 1: Messen von Russ (Immission) - Chemisch-analytische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes nach Extraktion und Thermodesorption des organischen Kohlenstoffes
- VDI 2465 Blatt 2: Messen von Russ (Immission) - Thermographische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes nach Thermodesorption des organischen Kohlenstoffes

8. Anhang

8.1 Begriffsdefinitionen

Russ (Quelle: BAFU)

Russ umfasst alle primären kohlenstoffhaltigen Partikel eines unvollständigen Verbrennungsprozesses. Er besteht vor allem aus elementarem Kohlenstoff (EC) und organischen Verbindungen (OC). Immissionsseitig wird oft der elementare Kohlenstoff allein als Russ bezeichnet (z.B. in der deutschen 23. BImSchV). Dieser Bericht bezieht sich ebenfalls nur auf EC.

EC: Elemental Carbon

Elementarer Kohlenstoff in graphitähnlicher Form

OC: Organic Carbon

Organischer Kohlenstoff. Dazu zählen alle organischen Verbindungen, welche an Partikel gebunden sind. Sie können von menschlichen Aktivitäten verursacht sein oder einen natürlichen Ursprung haben. OC hat keine messbare Farbe.

TC: Totaler partikelförmiger Kohlenstoff

Summe aus elementarem (EC) und organischem Kohlenstoff (OC). Er umfasst ausser Russ auch die in der Atmosphäre sekundär gebildeten organischen Partikel und biologisches Material.

BC: Black Carbon

Der Licht absorbierende Kohlenstoff BC ist keine definierte Grösse. Die kontinuierlichen Messgeräte Beta-Staubmeter (FH 62 I-R) und MAAP messen BC aufgrund von Reflexions- und Transmissionsmessungen. BC zeigt einen guten linearen Zusammenhang zu EC. Somit können die gemessenen BC-Werte in $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet werden.

TOT: Thermo-optical Transmission

Messverfahren zur Bestimmung von EC (vgl. Kapitel 3.1.3). Nach diesem Verfahren wird in Europa verbreitet EC bestimmt, so auch im NABEL-Messnetz des BAFU an der Empa seit 2009. Dabei wird das von der European Commission, Joint Research Centre JRC, Institute for Environment and Sustainability entwickelte Temperaturprogramm gemäss EUSAAR2 angewandt (Cavalli et al., 2009).

8.2 Technische Details zu den Analyseverfahren

8.2.1 Coulometrie (gemäss VDI 2465, Blatt 1)

vgl. Kapitel 3.1.1

Die Bestimmung von OC erfolgt indirekt mit zwei separaten Filterrondellen. Eine der Filterrondellen wird ohne vorherige Extraktion ins Analysegerät geschoben. Das gebildete CO_2 entspricht der totalen Kohlenstoffkonzentration (TC), enthalten sind EC und OC. Die zweite Filterrondelle wird mit einem polaren/unpolaren Lösungsmittelgemisch vorbehandelt. Dabei werden die organischen Kohlenstoffverbindungen gelöst und entfernt. Diese vorbehandelte Filterrondelle wird im Analysegerät mit demselben Heizprogramm zu CO_2 verbrannt. Die resultierende CO_2 -Menge entspricht der Kohlenstoffkonzentration des EC. Bei den durchgeführten Analysen wurden immer EC und OC bestimmt. Die OC-Konzentration wird in diesem Bericht nicht ausgewertet. Sie ist aber mit einem

Faktor zwei bis fünf im Verhältnis zur EC-Konzentration eine wichtige Komponente des Feinstaubes, die zur totalen Masse beiträgt und mit teilweise giftigen Substanzen auch ein relevanter Parameter für die gesundheitlichen Auswirkungen des Feinstaubes darstellt.

8.2.2 Thermographie (gemäss VDI 2465, Blatt 2)

vgl. Kapitel 3.1.2

Thermographie ist die Messung von Russ durch thermographische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes nach Thermodesorption des organischen Kohlenstoffes. Bei der Thermografie erfolgt die Bestimmung von OC und EC in einem Messablauf. Dabei wird die Filterrondelle in einem ersten Schritt in einer Heliumatmosphäre schrittweise aufgeheizt. Das gebildete CO₂ entspricht der OC-Konzentration. Im zweiten Schritt des Analyseverfahrens wird nach Zugabe von wenigen Volumenprozenten Sauerstoff zum Helium EC zu CO₂ umgewandelt und gemessen. Während des Aufheizens im ersten Schritt pyrolysiert allerdings auch ein Teil der organischen Kohlenstoffverbindungen. Der dabei entstandene Kohlenstoff wird im zweiten Schritt zusammen mit dem vorhandenen EC zu CO₂ umgesetzt. Die EC-Konzentration wird vor allem bei der Analyse von Filtern aus ländlichen Gegenden mit einem hohen Anteil von "organic matter" im Feinstaub überschätzt.

8.2.3 TOT: Thermo-optical Transmission (EUSAAR2)

vgl. Kapitel 3.1.3

Beim TOT Messverfahren wird wie bei der Thermographie der Filter in einem ersten Schritt unter Heliumatmosphäre stufenweise aufgeheizt. Das Aufheizen erfolgt relativ langsam. Das freigesetzte CO₂ wird zu Methan konvertiert und in einem Flammenionisationsdetektor (FID) gemessen. Die nächste Aufheizstufe erfolgt erst, wenn im FID kein CO₂ mehr angezeigt wird. In einem zweiten Schritt erfolgt unter Zugabe von Sauerstoff in der Heliumatmosphäre eine Verbrennung von EC zu CO₂ mit anschliessender Messung als CH₄. Auch im TOT-Messgerät erfolgt während des ersten Messschrittes eine je nach Zusammensetzung des Feinstaubes unterschiedlich starke Pyrolyse des OC zu EC. Während der Analyse wird die Transmission des Filters mit einem Laserstrahl verfolgt. Aufgrund der zunehmenden Absorption des Laserlichts im ersten Analyseschritt kann der pyrolysierte Teil des OC am Schluss der Analyse rechnerisch wieder von der gemessenen EC-Konzentration abgezogen werden.

8.2.4 Manuelle Analyse von Quarzfaserfiltern mittels Reflektometrie

vgl. Kapitel 3.2.1

Die Probennahme der Quarzfaserfilter mittels High Volume Sammler erfolgt in jedem Jahr und an allen Stationen nach demselben Stichprobensystem: Alle 12 Tage wird ein Filter bestaubt (Beginn am 12. Januar), was 30 Filter pro Jahr ergibt. Die Filter sind regelmässig über das Messjahr verteilt und schliessen alle Wochentage ein. 2007 erfolgte die Probennahme auf geglähten Quarzfaserfiltern von Whatman (QMA). Da sich im Laufe des ersten Messjahrs herausstellte, dass die Quarzfaserfilter einen Glasfaseranteil mit Bindemittel enthalten, wurden die Filter in den folgenden Messjahren 2008 und 2009 nicht mehr gegläht. Ab dem Messjahr 2010 wird für die Probennahme auf einen reinen Quarzfaserfilter gewechselt (Pall Tissuquartz 2500QAT-UP). Die Filter werden auch für zukünftige Messungen nicht vorgeglüht. Bei Carbotech (2009) sind die unterschiedlichen Eigenschaften der Filter beschrieben.

Die Proben wurden wie alle anderen Feinstaubfilter in Pergaminhüllen verpackt verschickt. Von jedem Quarzfaserfilter wurde mit einem planen Schneider ein Stück von ungefähr einem Viertel der Filterfläche abgeschnitten. Die Reflektometermessung aller Quarzfaserfilter je Messort und Jahr wird im ALU beim Kanton Schaffhausen durchgeführt. Dazu wird eine schwarze Kunststoffplatte mit Loch auf den Filter gelegt. Der Messkopf des Reflektometers wird aufgesetzt und der Messwert von drei Messpunkten ins Datenblatt eingetragen. Die Kalibration des Reflektometers erfolgt am Anfang und wiederholt während der Messung. Dazu werden zwei zum Reflektometer

gehörende Filter verwendet, die zum Schutz unter einer Glasplatte liegen: Mit dem weissen Filter wird 100% Reflexion eingestellt, der graue Filter hat eine Reflexion von 33%. Somit sind der Nullpunkt und die Steigung der Messgeraden definiert.

8.2.5 Eberline Betastaubmeter mit zusätzlichem Russmesskopf (FH 62 I-R)

vgl. Kapitel 3.2.3

Der Russmesskopf ist direkt neben der PM10 Messkammer montiert. Somit wird PM10 kontinuierlich gemessen, der BC Wert jedoch nur sequentiell nach erfolgten Filterwechsel alle zwei bis sechs Stunden.

Nach der vorgewählten Probenahmezeit öffnet sich die Messkammer und somit auch der Russmesskopf. Ein weisses Stück Filterband wird unter den Russmesskopf transportiert. Während sich die Messkammer und der Russmesskopf kurz schliessen, erfolgt ein Weissabgleich. Die eigentliche Messung erfolgt als Russzahl (RZ) die bei weissem Filterband 0.43 entspricht. Danach öffnen sich Messkammer und Russmesskopf erneut, und der bestaubte Filterfleck wird unter den Russmesskopf verschoben. Die Reflexionsmessung erfolgt mit einer roten LED als Lichtquelle mit einem festen Reflexionswinkel. Die Russzahl der bestaubten Probe soll zwischen 1 und 8 liegen. Dies wird durch die vorgewählte Filterstandzeit je nach Belastung des Messorts erreicht.

Die Berechnungsformel für Black Carbon (BC) enthält zwei feste Erfahrungswerte, die werkseitig eingestellt sind ($k=0.95$ und $RM_1=17.5$). Die Russzahl bei Weissabgleich liegt geringfügig über null ($RZ_0 = 0.43$), die maximaler Schwärzung beträgt $RZ_{max}=9$. Das durchgesaugte Volumen wird auf aktuelle Bedingungen je Messperiode bezogen.

$$BC = - \frac{RM_1}{V} * \left(1 - \frac{RZ - RZ_0}{k * RZ_{max}} \right)$$

Der BC-Wert bleibt bis zum nächsten Filterwechsel derselbe. Die kontinuierlich erfassten BC-Werte sind somit zeitlich verschoben zur PM10-Messung. Zur Berechnung des Tagesmittelwertes muss der Mittelwert dementsprechend angepasst werden.

8.3 Umrechnung der coulometrisch bestimmten EC-Werte auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$

Station	Funktion	R ²	Jahr	Analyse EC _{TOT}
Zürich Schwamendingen Autobahn	$y = 0.85351x - 0.15382$	$R^2 = 0.84144$	2007	Empa
Zürich Schimmelstrasse	$y = 0.87522x + 0.13224$	$R^2 = 0.94852$	2008	Carbotech AG
Zürich Stampfenbachstrasse	$y = 0.77187x - 0.22702$	$R^2 = 0.98512$	2008	Carbotech AG
Rapperswil Tüchelweier	$y = 0.53209x + 0.13064$	$R^2 = 0.88242$	2007	Carbotech AG
Frauenfeld Bahnhofstrasse	$y = 0.80388x - 0.16245$	$R^2 = 0.99260$	2008	Carbotech AG
Winterthur Obertor	$y = 0.42019x + 0.20176$	$R^2 = 0.88694$	2007	Empa
Arbon Bahnhofstrasse	$y = 0.42224x + 0.29499$	$R^2 = 0.92831$	2007	Carbotech AG
St.Gallen Rorschacherstrasse	$y = 0.93611x - 0.25239$	$R^2 = 0.98998$	2008	Carbotech AG
St.Gallen Bild	$y = 0.82800x - 0.20784$	$R^2 = 0.84832$	2007	Empa
Vaduz Austrasse	$y = 0.74496x - 0.13612$	$R^2 = 0.91883$	2008	Carbotech AG
Grabs Marktplatz	$y = 0.54833x + 0.14972$	$R^2 = 0.92005$	2007	Empa
Wallisellen Dietlikonerstrasse	$y = 0.41558x + 0.21455$	$R^2 = 0.85428$	2007	Empa
Glarus Feuerwehrstützpunkt	$y = 0.61177x - 0.04856$	$R^2 = 0.92089$	2007	Carbotech AG
Zürich Heubeeribüel	$y = 0.70125x - 0.29026$	$R^2 = 0.95069$	2008	Carbotech AG
Schellenberg	$y = 0.72175x - 0.24098$	$R^2 = 0.96840$	2007	Carbotech AG
Weerswilen Weerstein	$y = 0.66969x - 0.16966$	$R^2 = 0.76339$	2008	Carbotech AG
Wald Höhenklinik	$y = 0.48950x - 0.0674$	$R^2 = 0.95136$	2007	Empa

Tabelle 4: Diese Zusammenstellung zeigt die lineare Umrechnungsfunktion für jeden Standort von den ursprünglichen mit Coulometrie bestimmten EC-Werten auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$. Für Erklärungen vgl. Kapitel 4.3.2. Für die Stationen Heiden, Opfikon und Tuggen lagen keine Coulometrie-Analysen vor. Die Filter dieser Stationen wurden 2008 direkt bei Carbotech auf EC_{TOT} analysiert.

8.4 Vergleich der Resultate aus den TOT-Heizprogrammen NIOSH 700+ und EUSAAR2

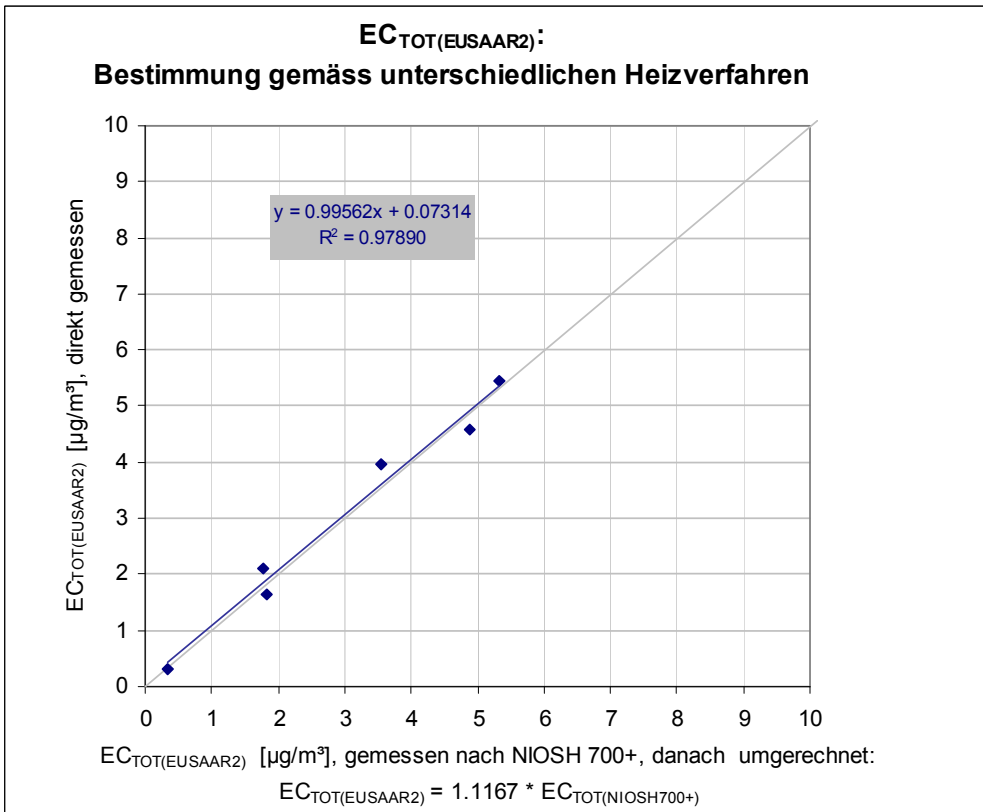


Abbildung 21: Methodenvergleich der unterschiedlichen TOT-Heizprogramme:
Für einige wenige Filter aus der Stadt Zürich, die zuvor von Carbotech mittels NIOSH 700+ analysiert und mit der von der Empa bestimmten Funktion

$$EC_{TOT(EUSAAR2)} = 1.1167 * EC_{TOT(NIOSH 700+)}$$

auf $EC_{TOT(EUSAAR2)}$ umgerechnet worden waren, wurde an der Empa EC_{TOT} auch noch direkt mit dem Heizprogramm EUSAAR2 bestimmt. Diese Grafik zeigt den Vergleich der beiden Resultate. Erwartungsgemäss stimmen sie sehr gut überein.