



# Antrag: Forschungs-Förderung

Villigen PSI, 29.09.2010

Bereichsleiter → I. Walthert, OVGA/406 → R. Horisberger

**Titel: Sekundärer Feinstaub vom Verkehr (S-Feinstaub)**
**ASTRA 2010/21**
**Antragsteller:**
**André Prévôt**.....

**Bereich / Labor:**

ENE / Labor für

Atmosphärenchemie.....

**Projektbeginn: ca. Januar 2011**..... **Projektdauer (Monate): 36**.....

☒ **Neuer Antrag,**     ☐ **Wiedererwägung oder**     ☐ **Fortsetzung zu Nr. ....**
☒ **Finanzierung durch Fördermittel aus „Drittmittelquellen“** (Termine: monatlich)

- SNF

☐

- KTI

☐

- EU-FP

☐
☐ EU Projekt bewilligt

- andere: ASTRA/BAFU...

☒
☐ externe Mittel zugesprochen

☒ inkl.

☐ ohne

PSI-Aufstockung für 1 Doktorandensalär

☒ **Finanzierung durch Zusatzmittel aus der „PSI-Reserve“** (Termine: 31. März, 31. Aug.)

- Investition

(INV-Antrag)

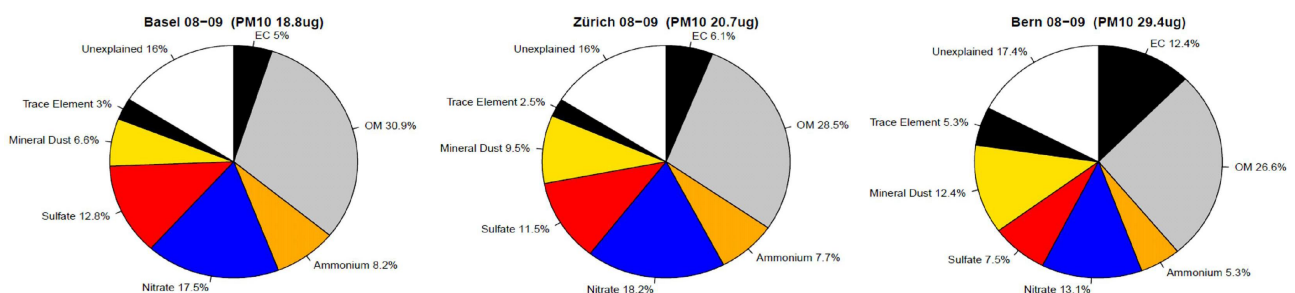
☒

- PSI-internes Forschungsprojekt

(FK-Antrag)

☐
**Zusammenfassung:**

Die Belastung der Luft mit PM<sub>10</sub>-Feinstaub ist eines der grössten Probleme der Luftreinhaltung. Dies ist nicht nur in der Schweiz, sondern in praktisch allen Gebieten auf der Welt der Fall, wo viele Leute leben. Beim Feinstaub unterscheidet man primäre, direkt emittierte Beiträge, die beispielsweise bei Abriebsprozessen oder bei unvollständiger Verbrennung von Treibstoffen entstehen (z.B. Dieseleruss), und sekundäre Beiträge, welche aus ursprünglich gasförmigen Stoffen stammen und erst in der Atmosphäre Feinstaub bilden. Wichtige gasförmige Vorläufer sind Ammoniak, Stickoxide, Schwefeldioxid und flüchtige organische Verbindungen. Neben den Russemissionen haben vor allem auch die sekundär gebildeten organischen Bestandteile eine starke Toxizität. Der Beitrag des Verkehrs, bzw. verschiedener Verbrennungsmotoren am sekundären Feinstaub kann für die Stickoxide relativ gut abgeschätzt werden mit der Annahme, dass der Verkehrsanteil am Nitrat proportional ist zum Emissionsanteil der Stickoxide. Bei den sekundären organischen Verbindungen ist das Feinstaubbildungspotential nicht einfach apriori abschätzbar, da die Flüchtigkeit und chemische Zusammensetzung der verschiedenen VOC im Abgas wichtig ist. Chemische Analysen des Feinstaubes in der Umgebungsluft zeigen einen hohen Anteil an organischen Verbindungen (OM, Organic Matter) (Figur 1).



Figur 1: PM<sub>10</sub>-Komponenten im Standortvergleich (Jahresdurchschnitt). Quelle: BAFU.

Bei der organischen Masse ist der sekundäre Anteil am OM im Winter an schweizerischen Mittellandstationen zwischen 55% in Zürich (städtischer Hintergrund) und 71% in Payerne. Im Sommer ist der sekundäre Anteil noch höher, mit Werten von 66% für Zürich und 96% in Payerne. Bisher berücksichtigten Abgasmessungen bei Fahrzeugen das sekundäre Partikelbildungspotential trotz ihrer grossen Bedeutung nicht. Diese Lücke soll durch dieses Projekt geschlossen werden. Die primären Emissionen und das sekundäre Feinstaubbildungspotential soll für folgende Fahrzeugkategorien/Emissionsquellen mit Hilfe einer neuen mobilen Smogkammer an Emissionsprüfständen quantifiziert werden:

- Lastwagen mit unterschiedlicher Abgasnachbehandlungstechnologie
- Diesel-PKWs bei hohen Geschwindigkeiten
- Benzinfahrzeuge während Kaltstartemissionen bei tiefen Temperaturen
- Motorräder (inklusive Mopeds)
- Non-road-Dieselmotoren wie Baumaschinen mit Partikelfilter
- Verwendung von Bio-Treibstoffen (exemplarische Beispiele)

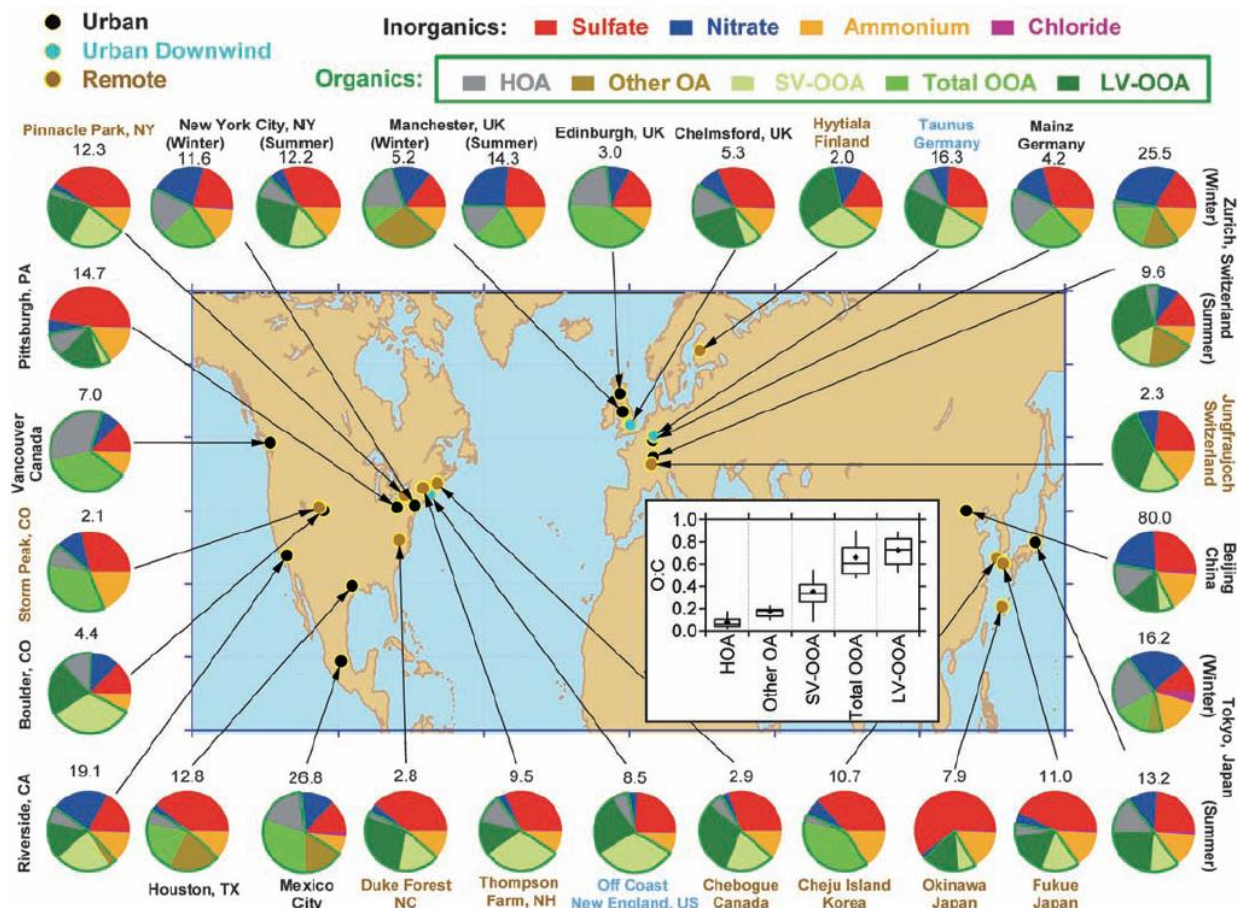
Aufgrund von Messungen und Überlegungen im Rahmen des CCEM-Projektes NEADS wurden diese Fahrzeuge/Motoren/Betriebsbedingungen als potentiell besonders relevant eingeschätzt. Die Resultate sollen dazu dienen, Abgasreinigungstechnologien umfassender zu beurteilen und Grundlagen für Verbesserungsmöglichkeiten bei den Emissionen aufzuzeigen. Schlussendlich soll der Strassenverkehrsanteil am sekundären Feinstaub in der Schweiz abgeschätzt werden. Das Messkonzept der mobilen Smogkammer soll in zukünftigen Projekten auf andere Emissionen wie Holzfeuerungen (insbesondere Messungen bei tiefen Temperaturen), Schiffsdieselmotoren, Flugzeug-Düsentriebwerke, kleine Motoren (z.B. Rasenmäher) und weitere ausgedehnt werden.

## 1. Forschungsplan

### 1.1 Stand der Forschung auf internationaler Basis

- ( - Ziele der internationalen Forschung; offene Fragestellungen; bisher verfolgte Lösungsansätze;
- aktuelle Prioritäten; inkl. Angabe von einschlägigen Referenzen externer Autoren )

Der Feinstaub wird nach wie vor als ein Hauptproblem bei der Luftqualität eingeschätzt. Vor allem auch aufgrund der ungenauen Kenntnisse bezüglich Emissionen, Bildungsmechanismen und weiteren Prozessen bezüglich Feinstaub sind die detaillierten Vorhersagen globaler Klimamodelle immer noch mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet. Wichtige Komponenten des Feinstaubes bezüglich Gesundheit, Strahlungsbilanz sind der elementare Kohlenstoff und die organische Masse. Der elementare Kohlenstoff entsteht bei Verbrennungsprozessen, zum Beispiel die motorische Verbrennung von fossilen Treibstoffen oder die Verbrennung von Biomasse oder ebenfalls fossilen Brennstoffen in Heizöfen. Bei der organischen Masse können primäre Emissionen von Verbrennungs- und anderen Prozessen, aber auch organische Moleküle, die vor allem durch die Oxidation von gasförmigen Vorläufern entstehen, beitragen. Jimenez et al. (2009) konnten zeigen, dass die organische Masse typischerweise zwischen 20 und 70% zum nicht-refraktären PM<sub>1</sub> (Partikuläre Masse der Partikel mit aerodynamischem Durchmesser < 1 µm) in der Nordhemisphäre beitragen (Figur 2). Alle Kuchendiagramme entsprechen dabei einer mehrwöchigen Messkampagne. In dieser Figur ist auch dargestellt, dass an allen Orten (städtisch und ländlich) das sekundäre organische Aerosol (Aerosol ist ein Synonym für Feinstaub) die organische Masse dominiert.

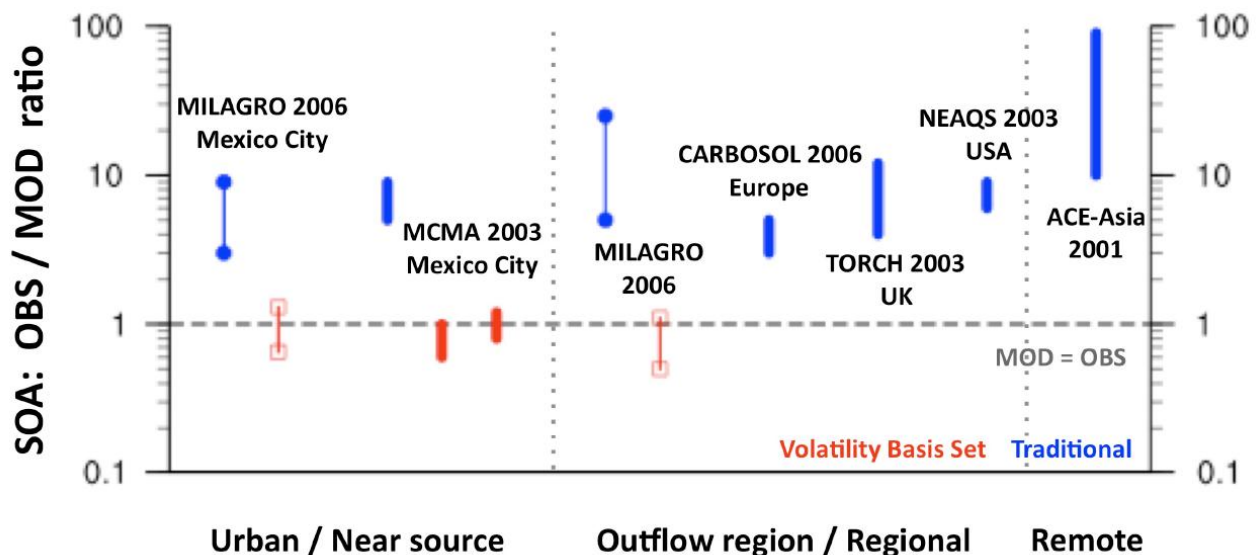


Figur 2: Mittlere Zusammensetzung des nicht-refraktären PM<sub>1</sub> an verschiedenen Standorten der Nordhemisphäre. HOA besteht vornehmlich aus primäre Emissionen vom Verkehr, Other OA aus Holzfeuerungs- und anderen Quellen, OOA (auch LV-OOA und SV-OOA) aus sekundär gebildetem organischem Feinstaub (Jimenez et al., 2009).

Dies bedeutet also, dass die sekundär aus flüchtigen organischen Kohlenstoffen gebildeten organischen Partikel mehr zum Feinstaub beitragen als die primär emittierten. Die Bildungsmechanismen dieser sekundären organischen Aerosole waren in den letzten Jahren und sind immer noch ein Schwerpunkt der Feinstaub-Forschung (Hallquist et al., 2009).

Klassisch werden in Smogkammern seit Mitte der neunziger Jahre bis heute die Feinstaub-Bildungspotentiale einzelner organischer Moleküle untersucht. Dabei wurde klar, dass bei den anthropogen emittierten Molekülen vor allem Aromaten (z.B. Toluol, Benzol, Trimethylbenzole) und bei den biogenen Emissionen vor allem Monoterpene, Sesquiterpene und seit neuem auch Isopren wichtig sind (z.B. Ng et al., 2007; Hoffmann et al., 1997; Kroll et al., 2006).

Volkamer et al. (2006) konnten zeigen, dass in Mexiko-City die Bildung von sekundärem organischem Aerosol ebenso wie auch in anderen Studien deutlich unterschätzt werden, wenn diese klassischen Vorläuferschadstoffe berücksichtigt werden. Robinson et al. (2007) konnten in einer bahnbrechenden Publikation in Science zeigen, dass bei den Verkehrsemissionen vor allem die Oxidation von halbflüchtigen, langkettigen und bei genügender Verdünnung gasförmigen Moleküle zur sekundären organischen Aerosolbildung beitragen. Die Aromaten tragen nur einen geringen Teil zur Aerosolbildung bei. Ähnliches wurde auch für Holzfeuerungsmissionen gefunden (Grieshop et al., 2009). Bei diesen Studien konnte gezeigt werden, dass sich die organische Massenkonzentration im Feinstaub oft innerhalb von 2-3 Stunden durch Bildung von sekundärem organischem Material mindestens verdoppeln kann. Der Einbezug dieser halbflüchtigen Emissionsanteile in Modellen führt nun zu deutlich besseren Modellresultaten, wie zum Beispiel in Hodzic et al. (2010) für Mexiko gezeigt werden konnte (Figur 3).



Figur 3: Verhältnis der beobachteten und modellierten sekundären organischen Aerosolkonzentration mit traditionellen Modellen (blau) und dem neuen Konzept (Volatility Basis Set) (Hodzic et al., 2010).

Dieser Modellansatz birgt noch viele Unsicherheiten. Es muss eine Flüchtigkeitsverteilung der organischen Emissionen angenommen werden (Shrivastava et al., 2008), die von der Carnegie Mellon Universität aufgrund von Dieselmessungen abgeschätzt wurde. Wie in Kapitel 1.2 dargestellt führen verschiedene Abgasnachbehandlungstechnologien zu verschiedenem organischem Produktionspotential. Das heisst, dass die Annahmen von Shrivastava et al. (2008) nicht für beliebige Fahrzeuge und Motoren mit verschiedenen Technologien und Brennstoffen verwendet werden können. Generell kann angenommen werden, dass Verbrennungstechnologien mit hohen organischen flüchtigen und organischen Partikelemissionen auch zu potentiell hohen sekundär gebildeten Feinstaubmengen führen. Beispielsweise kann angenommen werden, dass die sekundäre Feinstaubproduktion von Benzin-PWs bei funktionierendem Katalysator eher klein ist. Bei Kaltstart, insbesondere bei tiefen Temperaturen, können aber sehr hohe VOC (volatile organic compounds, flüchtige organische Kohlenstoffe) Emissionen auftreten (Weilenmann et al., 2009). Bei minus 20 Grad Celsius wird bei einem Kaltstart soviel VOC emittiert wie bei 2000-5000 Kilometern bei funktionierendem Katalysator. Es kann weiter angenommen werden, dass bei diesen Bedingungen auch potentiell viel Feinstaub aus diesen Emissionen entstehen kann. Auch Motorräder und Mopeds emittieren neben Partikeln auch signifikante VOC-Mengen (etwa 20% der Personenwagen in der Schweiz, persönliche Mitteilung von BAFU, 2010), währenddem in einem EU-Report (2009) sogar abgeschätzt wurde, dass im Jahre 2020 in Europa ohne weitere Massnahmen Zweiräder die wichtigste Fahrzeugkategorie für VOC-Emissionen sein werden. Der Ansatz von Shrivastava et al. (2008) zur Beschreibung der Emissionen muss auf jeden Fall verfeinert werden. Die Modellbeschreibung der weiteren Oxidation der Emissionen wie konzeptionell in Jimenez et al. (2009) beschrieben muss durch quantitative Untersuchungen wie diese erst vollständig entwickelt werden.

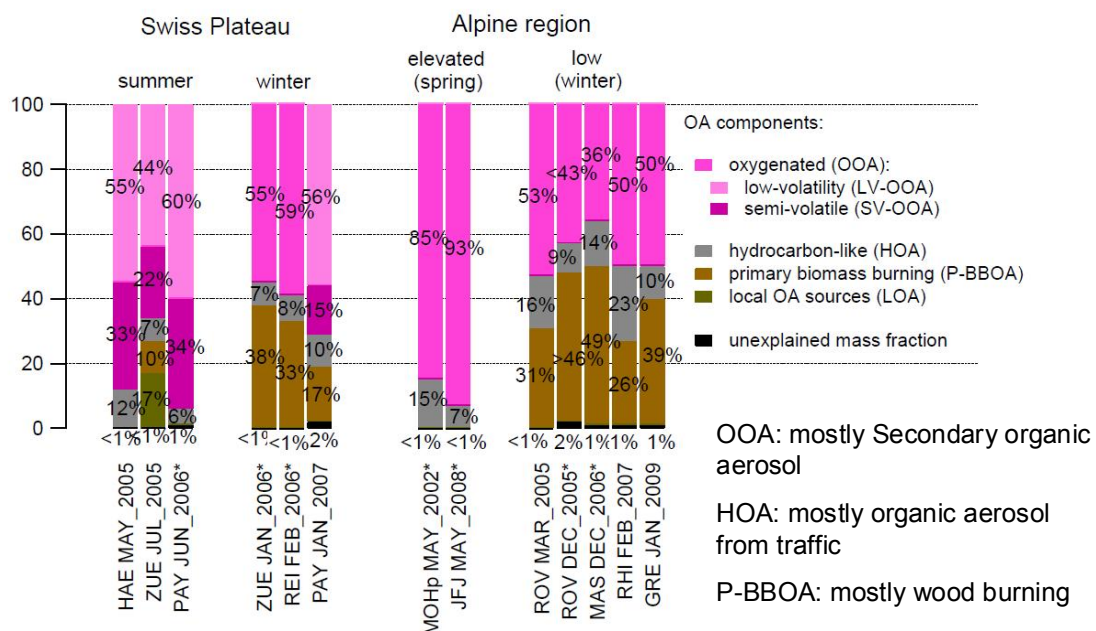


## 1.2 Stand der eigenen Forschung

- ( - Kurze Darstellung der Forschungsarbeiten. Welches sind die wichtigsten wissenschaftlichen Erfolge und Ergebnisse der letzten 3 Jahre? Welches sind die Highlights?
- Nennung der wichtigsten eigenen Publikationen/Berichte)

Das Labor für Atmosphärenchemie am Paul Scherrer Institut betreibt seit 2004 eine Smogkammer mit dem Fokus der Feinstaubbildungsmechanismen (Paulsen et al., 2005). In den ersten Jahren wurden vor allem der Oxidationsmechanismen und Aerosolbildungsmechanismen einzelner Moleküle wie beispielsweise Trimethylbenzol und  $\alpha$ -Pinen untersucht (z.B. Metzger et al., 2008). Dabei konnte erstmals gezeigt werden, dass die Bildung von Oligomeren möglicherweise ein wichtiger Prozess bei sekundären Feinstaubbildung ist (Kalberer et al., 2004, Baltensperger et al., 2005). Das Aerosolmassenspektrometer von Aerodyne, welches die On-Line-Messung der chemischen Zusammensetzung des nicht-refraktären Feinstaubes erlaubt, wurde mit anderen Instrumenten an der Smogkammer seit etwa 2005 eingesetzt (Alfarra et al., 2006; Baltensperger und Prevot, 2008). Zusammenhänge zwischen Oxidationsgrad und Hygroskopizität konnten aufgezeigt werden (Duplissy et al., 2008; Jimenez et al., 2009). Das Labor für Atmosphärenchemie lieferte wichtige Resultate zum Review-Paper zu sekundärem organischem Feinstaub von Hallquist et al. (2009) und konnte im Science-Paper von Jimenez et al. (2009) aufzeigen, wie insbesondere Aerosolmassenspektrometermessungen verwendet werden können, um im Feld primäre und sekundäre Feinstaubquellen zu unterscheiden, wie im Labor das Prozessieren von organischen Molekülen untersucht werden kann, und wie dieses Prozessieren konzeptionell modelliert werden kann.

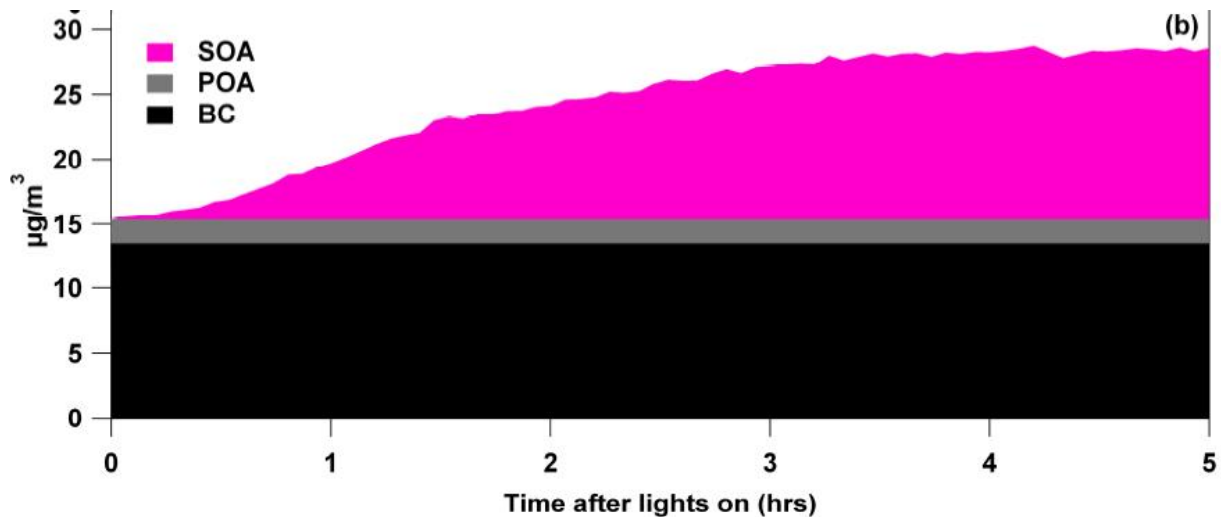
Die heute von vielen Gruppen verwendeten statistischen Methoden zur Unterscheidung der primären und sekundären Quellen wurden von Lanz et al. (2007) erstmals angewandt, und kürzlich erschien eine Zusammenstellung von verschiedenen Messkampagnen in der Schweiz und nahem Ausland (Lanz et al., 2009) (Figur 4). Das wichtigste Resultat in diesem Zusammenhang war, dass das organische Aerosol in der Schweiz durch die sekundären Anteile dominiert wird, wie auch in Jimenez et al. (2009) gezeigt.



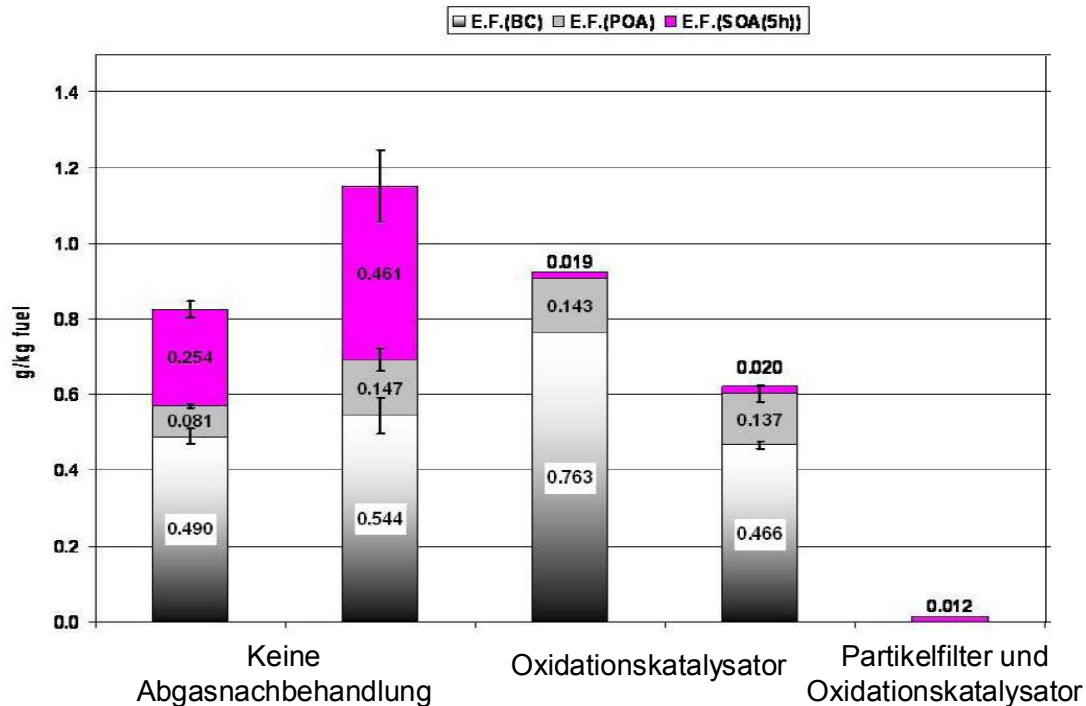
Figur 4: Relative Anteile am organischen Aerosol bei verschiedenen Kampagnen : HAE: Härkingen, ZUE: Zürich, PAY: Payerne, REI: Reiden, MOHp: Hohenpeissenberg, JFJ: Jungfrauoch, ROV: Roveredo, MAS: Massongex, RHI: Rheintal, GRE: Grenoble. Die grauen Anteile entsprechen im wesentlichen dem Verkehrsbeitrag, die braunen den Holzfeuerungsbeiträgen und die rosafarbenen den sekundären organischen Aerosolbeiträgen (Lanz et al., 2009).

Die sekundären Beiträge variieren im schweizerischen Mittelland zwischen 55% und 71% im Winter und zwischen 66% und 94% im Sommer. Auch an den alpinen Stationen sind die sekundären Anteile dominant. Einzig in den Alpentälern waren die primären Beiträge etwas höher, insbesondere von den Holzfeuerungen.

An der Smogkammer wurden in den letzten 2 Jahren auch Oxidationsexperimente von Diesel- und Holzfeuerungsmissionen durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass bei Dieselfahrzeugen signifikante Mengen an sekundärer organischer Masse gebildet werden können (Chirico et al., 2010a) (Figur 5). Am Anfang des Experimentes nach starker Verdünnung bestehen die Partikel vor allem aus schwarzem Kohlenstoff und etwas organischer Masse. Nach 5 Stunden Oxidationszeit ist die organische Massenkonzentration ähnlich gross wie der schwarze Kohlenstoff und besteht zu fast 80% aus sekundärem Material.



Figur 5: Typische Entwicklung der Konzentrationen von schwarzem Kohlenstoff (BC), primärer organischer Masse (POA) und sekundärer organischer Masse (SOA) eines Dieselfahrzeuges ohne Abgasnachbehandlung in der PSI-Smogkammer. Die Wandverluste in diesem Smogkammerexperiment sind korrigiert. (Chirico et al., 2010a).

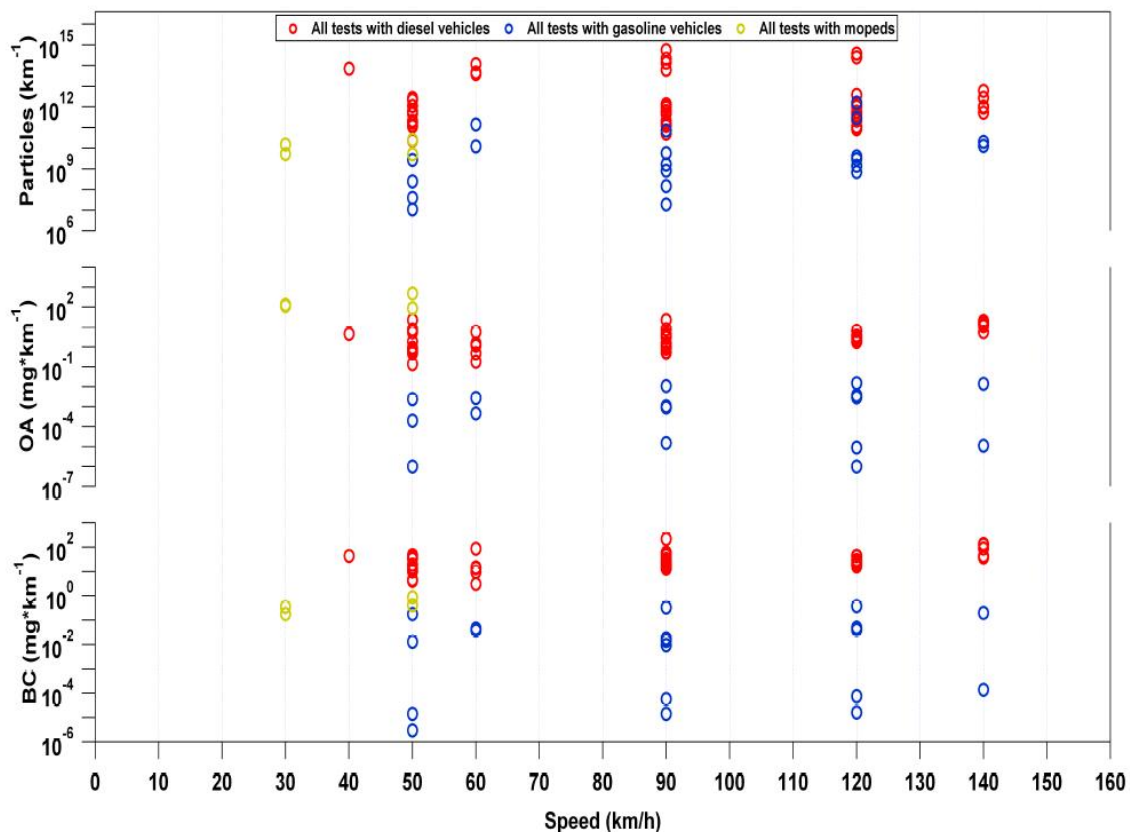


Figur 6: Emissionsfaktoren in g Feinstaub pro Kilogramm Treibstoff für den schwarzen Kohlenstoff, die organische Masse und die sekundär produzierte organische Masse für Fahrzeuge mit verschiedenen Abgasnachbehandlungsmethoden (Chirico et al., 2010a).

Figur 6 zeigt, dass die primären Emissionen durch Partikelfilter stark minimiert werden können. Das neue ist jedoch, dass der Oxidationskatalysator zu einer starken Reduktion der sekundär gebildeten Feinstaubmasse führt. Die Abgasnachbehandlungsmethoden beeinflussen also die primären Emissionen und das sekundäre

Aerosolproduktionspotential. Um die Auswirkungen motorischer Emissionen auf die Feinstaubkonzentration in der Aussenluft abschätzen zu können, müssen deshalb die direkten Emissionen aber auch die potentiell hohen sekundären Feinstaubanteile erfasst werden.

In der Doktorarbeit von Roberto Chirico wurden neben dem sekundären Produktionspotential auch die primären Emissionen von verschiedenen Fahrzeugen (Lastwagen, Personenwagen, Mopeds) mit verschiedenen Treibstoffen in Ispra untersucht (Chirico et al., 2010b, Giechaskiel, 2010). Ein Überblick der Emissionen der Partikelanzahl, der organischen Masse und des schwarzen Kohlenstoffes ist in Figur 7 als Funktion der Geschwindigkeit dargestellt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Emissionen der organischen Masse von Mopeds 1 bis 2 Größenordnungen höher sind als diejenigen der Dieselfahrzeuge (inklusive ein Lastwagen) und 5-8 Größenordnungen (!) höher als bei Benzinfahrzeugen. Zudem wurden viel höhere VOC-Emissionen bei Mopeds festgestellt.



Figur 7: Feinstaubemissionen (Partikelanzahl, organische Aerosolmasse, schwarzer Kohlenstoff (BC)) von Diesel- und Benzin-Fahrzeugen sowie Mopeds. (Chirico et al., 2010b).

Bei Dieselfahrzeugen wurden vor allem bei den höheren Geschwindigkeiten (90 km/h beim Lastwagen und 120-140 km/h bei den Personenwagen) erhöhte Emissionen der organischen Masse und des Verhältnisses von organischer Masse zu schwarzem Kohlenstoff bei Fahrzeugen mit Oxidationskatalysator festgestellt (nicht offensichtlich in Figur 7 aufgrund der logarithmischen Skala). Möglicherweise funktioniert der Oxidationskatalysator bei diesen hohen Lasten nicht mehr optimal, und die Emissionen von Feinstaubvorläufern könnten bei solchen Bedingungen sehr hoch sein.

In diesem Projekt soll nun das Know-how an den Emissionsprüfständen mit den Smogkammeruntersuchungen gekoppelt werden, in dem man diese Smogkammerexperimente direkt vor Ort bei den Emissionsprüfständen durchführt. Dies ist direkt an der PSI-Smogkammer nicht möglich.

### 1.3 Darstellung der Forschungsziele und des Forschungsplans

- ( - Wichtigste Probleme/Fragestellungen, die gelöst werden sollen, Innovationen bei der Problemlösung.
- Welche Ergebnisse werden erwartet? - Erfolgskriterien;
- für Dissertationen: Arbeitsplan und Nennung der akademischen Leitung)

Die Ziele in diesem Projekt sind:

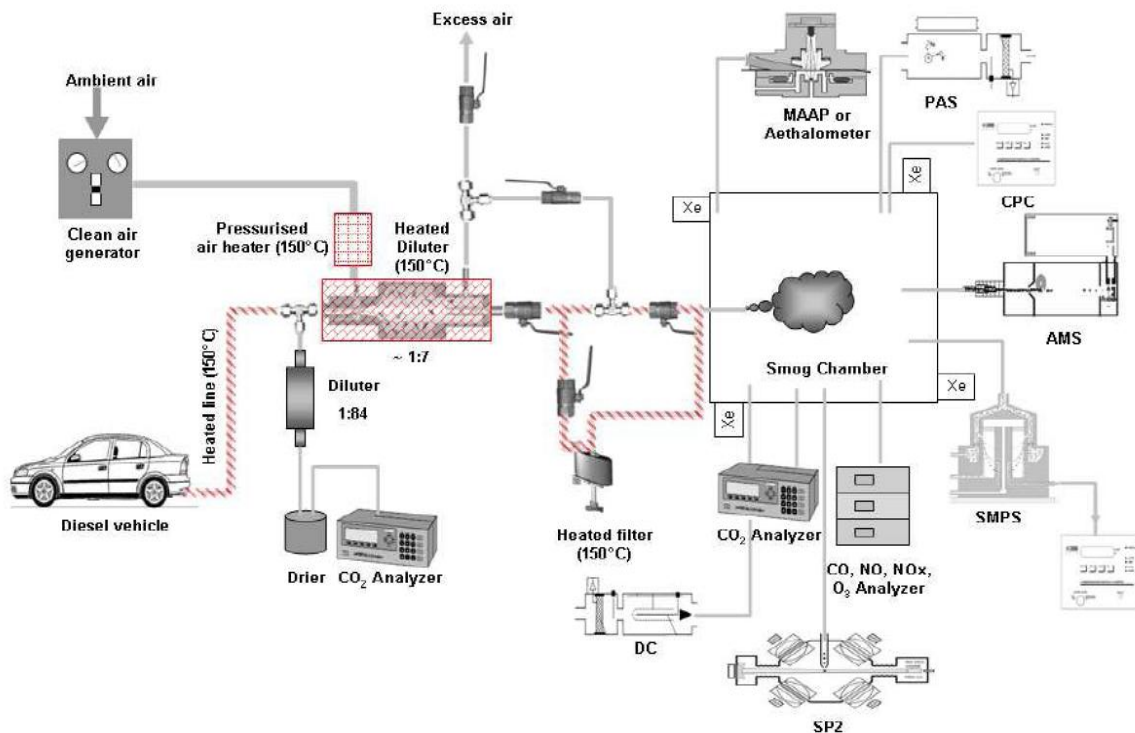
A) Emissionsmessungen von schwarzem Kohlenstoff (BC) und organische Masse (OM) von folgenden Emissionsquellen:

- Lastwagen mit unterschiedlicher Abgasnachbehandlungstechnologie
- Diesel-PKW's bei hohen Geschwindigkeiten
- Benzinfahrzeuge während Kaltstartemissionen bei tiefen Temperaturen
- Motorräder (inklusive Mopeds)
- Non-road Dieselmotoren wie Baumaschinen mit Partikelfiltern
- Verwendung von Bio-Treibstoffen (exemplarische Beispiele)

B) Bestimmung der sekundären Feinstaubbildung für die Emissionsquellen in A)

C) Beurteilung der Abgasreinigungstechnologien bezüglich primärer und sekundärer Emissionen

D) Abschätzung der Strassenverkehrsanteile am sekundären Feinstaub in der Schweiz



Figur 8: Experimenteller Setup für die Messungen der sekundären Aerosolproduktion an der PSI-Smogkammer.



## Vorgehensweise

Die organischen Feinstaubemissionen sollen mit neuesten State-of-the-Art analytischen Messgeräten an Fahrzeugprüfständen (im Joint Research Center in Ispra, an der Empa und an der Abgasprüfstelle und Motorenlabor Nidau in Biel) on-line gemessen werden. Im Joint Research Centre der Europäischen Kommission in Ispra<sup>1</sup> steht seit kurzem ein Rollenprüfstand für ganze Lastwagen zur Verfügung, bei welchem nicht nur wie üblich die Emissionen der Motoren, sondern die Emissionen des Gesamtsystems gemessen werden können. Eine mobile Smogkammer soll gebaut werden (ca. 8-10m<sup>3</sup>) mit welcher unter Benützung der gleichen Analytik direkt bei den Fahrzeugprüfständen das Feinstaubbildungspotential bei verschiedenen Fahrbedingungen bestimmt werden kann. Am Paul Scherrer Institut können ohne Prüfstand nur sehr limitiert reale Emissionsbedingungen für verschiedene Fahrzeuge simuliert werden.

Der Setup soll ähnlich wie bei der PSI-Smogkammer sein (Figur 8). Die neue Kammer soll in einem Anhänger Platz finden, welcher mit dem PSI-Messmobil (gesponsert durch IVECO) gezogen werden kann. Die Instrumente werden im Messmobil installiert. Die Kammer kann bei Bedarf aus dem Anhänger gerollt werden oder sogar in der Teststandhalle selber aufgebaut werden. Statt der Xenon-Bogenlampen werden hier wie bei anderen Smogkammern auch üblich sogenannte Blacklights (oder Solarium-Lampen) verwendet, welche vor allem Licht im photochemisch wichtigen Wellenbereich emittieren. Das Verdünnungssystem wird den Gegebenheiten bei den Prüfständen angepasst. Schlussendlich sollen aber mit 2 Dekati-Injektionsverdünnern und Silco-Steel-Leitungen die Emissionen in die Kammer gebracht werden. Die geplanten Messungen beinhalten verschiedene Parameter, um die Resultate interpretieren zu können. Beispielsweise hat die Ozon- und Stickoxidkonzentration einen signifikanten Einfluss auf die Chemie und insbesondere die Geschwindigkeit der Reaktionen in der Kammer. Prinzipiell sollen die Experimente ähnlich wie bei Chirico et al. (2010b) durchgeführt werden. Es wird erwartet, dass 1 Experiment pro Tag möglich sein wird.

Tabelle 1: Instrumente und Parameter, welche bei diesen Untersuchungen gemessen werden.

Parameter	Instrument
Organische Masse	Aerosolmassenspektrometer (Aerodyne High Resolution ToF)
Schwarzer Kohlenstoff	MAAP (Multi Angle Absorption Photometer), Aethalometer
Aerosolgrössenverteilung	SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)
Totalkohlenstoff (THC) und Nicht-Methankohlenwasserstoffe (NMHC)	Flammenionisationsdetektion (FID) mit selektiver katalytischer Verbrennung
Kohlenmonoxid	UV-Fluoreszenz
Kohlendioxid	IR-Absorption
Stickoxide, Schwefeldioxid, Ozon	Standardinstrumente
EC und OC (Elementarer und organischer Kohlenstoff)	Sunset-Lab Thermooptisches Verfahren

Zusätzliche mehr forschungsorientierte Messungen sollen für ausgewählte Experimente ergänzt werden. Thermodesorbermessungen sollen Aufschluss über die Flüchtigkeit der primären und sekundären

---

<sup>1</sup> Durch eine enge Zusammenarbeit mit dem Joint Research Center der europäischen Union hat die Schweiz im Bereich Luftreinhaltung den Informationsaustausch mit der EU verstärkt und gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aufgenommen. <http://www.uvek.admin.ch/dokumentation/00474/00492/index.html?lang=de&msg-id=14492>

organischen Masse dienen. Hygroskopizitätsmessungen können dazu dienen, die Alterung bezüglich physikalischer klimarelevanter Eigenschaften zu charakterisieren. Während des Projektes ist auch geplant, eine Flow-Tube zu entwickeln, um zu testen, ob das sekundäre Oxidationspotential auch mit einem einfacheren Setup quantitativ korrekt bestimmbar ist.

### **Begründung für die Auswahl der Emissionsquellen**

Die Auswahl der Fahrzeuge/Motoren und Prüfbedingungen wurde aufgrund der heutigen Kenntnis getroffen. Wichtig für die sekundäre Produktion von Feinstaub scheinen Bedingungen zu sein, wo auch hohe primäre organische Emissionen und/oder hohe VOC-Emissionen vorhanden sind. Beispielsweise sind Benzinfahrzeuge mit funktionierendem Katalysator mit hoher Wahrscheinlichkeit für die sekundäre Produktion von sekundärer organischer Masse in der Schweiz nicht wichtig. Im Moment finden ähnliche Untersuchungen von Benzinfahrzeugen in der USA statt. Aufgrund der Resultate dieser Studie kann das Programm dieses Projektes angepasst werden.

Die Publikation der Empa (Weilenmann et al., 2009) hat klar gezeigt, dass bei Kaltstart von Benzinfahrzeugen (vor allem auch bei tiefen Temperaturen) sehr hohe Emissionen von Kohlenwasserstoffen gefunden werden, welche potentiell mit erhöhtem sekundären Feinstaub einhergehen.

In der Schweiz sind bezüglich primärer organischer Masse die Dieselfahrzeuge am wichtigsten. Bei den Personenwagen scheinen jedoch die Emissionen und das sekundäre Bildungspotential durch die Kombination von Oxidationskatalysator und Feinstaubfilter gelöst werden können. Es gilt jedoch zu testen, ob dies auch bei hohen Lastbedingungen (starke Beschleunigung, hohe Geschwindigkeiten) auch der Fall ist. Bei den Lastwagen gibt es verschiedene Technologien, die wohl verschiedene Auswirkungen auf die primären Emissionen und den sekundären Feinstaub haben. Letzteres wird bei der Wahl der Technologie noch zu wenig berücksichtigt.

Wir konnten durch Messungen in Ispra zeigen, dass Mopeds sehr hohe primäre Emissionen aufweisen. Man findet auch hohe VOC-Emissionen. Diese Kombination führt zur Vermutung, dass die Emissionen der 2-Räder in der Schweiz und Europa für die Feinstaubbelastung trotz der im Vergleich geringeren gefahrenen Kilometer wichtig sein könnten. Im internationalen Kontext, vor allem in asiatischen Megacities, sind diese Emissionen noch wichtiger als in Europa.

Im Gegensatz zu den Diesel-Personenwagen haben die grösseren Baumaschinen zwar Partikelfilter, jedoch keine Oxidationskatalysatoren. Es könnte sein, dass der Einfluss der Baumaschinen- und anderen non-road-Dieselmotor-Emissionen auf die Feinstaubkonzentrationen aufgrund der sekundären Feinstaubbildung trotz der Filter nach wie vor sehr gross ist.

Da in Zukunft vermehrt Biotreibstoffe verwendet werden, soll auch der Einfluss dieser Treibstoffe auf die primären und sekundären Emissionen untersucht werden. Häufig beinhalten solche Treibstoffe schon am Anfang mehr Sauerstoff. Dies hat einerseits Einfluss auf die Verbrennung und kann Einfluss haben auf die Art der organischen Partikelemission und dem sekundären Produktionspotential.

Die Auswahl der Experimente in diesem Projekt kann in Absprache mit der Begleitgruppe (siehe 1.6) im Verlaufe des Projektes aufgrund der Resultate in den Experimenten oder neuer publizierter Resultate in der allgemeinen Literatur angepasst werden.

### Forschungsplan des Postdocs/Doktoranden (Doktorvater: Urs Baltensperger)

Zeitraum Monate	Involvierte Personen	Arbeit
1-3	Doktorand, (Postdoc)	Einarbeitung in die Literatur (Fokus: Smogkammeruntersuchungen PSI, Carnegie Mellon, Emissionsmessungen)
1-4	Techniker, Postdoc, (Doktorand)	Bau der Smogkammer
1-6	Doktorand, (Postdoc)	Einarbeitung des Doktoranden in die Messmethodiken unter Anleitung des Postdocs (Aufwand vor allem gross beim Aerosolmassenspektrometer)
4-6	Postdoc, Doktorand	Test der Smogkammer am PSI. Vergleichsmessungen zwischen der PSI-Kammer und der mobilen Kammer
7-8 (Absprache mit Ispra)	Doktorand, Postdoc	Kampagne 1 von Prüfstandsmessungen in Ispra mit detaillierten Untersuchungen von Lastwagenemissionen und (je 2) beispielhafte Tests von Kaltstart-Benzin, Diesel-PW bei hohen Geschwindigkeiten, Motorräder. ein üblicher Biotreibstoff
9-16	Doktorand, (Postdoc)	Detaillierte Analyse der Daten von der Kampagne
14-16	Postdoc, (Doktorand)	Publikation über Setup und Vergleichsmessungen am PSI
	Doktorand, (Postdoc)	Publikation über die Resultate (Emissionen/SOA-Potential) von Lastwagen mit unterschiedlicher Abgasnachbehandlung
17	Doktorand/Postdoc	Kampagne 2 von Prüfstandsmessungen in Biel bezüglich non-road Dieselmotoren wie Baumaschinen
18-19	Doktorand/Postdoc  Postdoc, (Doktorand)	Kampagne 3 (Detaillierte Planung abhängig von Kampagne 1): Messungen in Ispra und ev. an der Empa  Messungen mit Flowtube, Thermodesorber
20-28	Doktorand/Postdoc	Auswertungen und 2 Publikationen der Kampagnen; Fokus auf High-Resolution-ToF-Analyse
29	Doktorand/Postdoc	Kampagne 4 (Detaillierte Planung abhängig von bisherigen Resultaten): Fokus auf offene Fragen oder zusätzliche interessante Fragestellungen
30-36	Doktorand/Postdoc	Komplette Auswertung, Abschluss der Dissertation, Publikationen bezüglich <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesamtüberblick des SOA-Potentials und Oxidationsgrad der organischen Aerosolmasse</li> <li>- Thermodesorber und Flowtube-Messungen</li> <li>- Abschätzung des SOA-Potentials des Verkehrs in der Schweiz</li> <li>- Schlussbericht des S-Feinstaub Projektes</li> </ul>

## 1.4 Bedeutung des Vorhabens

- (- Einfluss der Ergebnisse auf die Ausrichtung der internationalen Forschung in diesem Fachbereich;
- Anerkennung der PSI-Beiträge in der internationalen Fachwelt;
- Potential für die Entwicklung neuer Methoden und Technologien;
- mögliche Implikationen auf heutige Prozesse und Technologien.)

Die Publikationen von Robinson et al. (2007), Hallquist et al. (2009) und Jimenez et al. (2009) haben den Weg vorgezeichnet. Die Oxidation der primären halbflüchtigen organischen Moleküle ist mitentscheidend für das Verständnis der Bildung von sekundärem organischem Aerosol (SOA). Mit einer stationären Smogkammer am PSI sind die Möglichkeiten für diese wichtigen sekundären organischen Bildungsprozesse verschiedenster Verbrennungsprozesse sehr limitiert. Die neue Smogkammer wird die folgende zukünftige Forschung ermöglichen:

- SOA – Bildung von Fahrzeugen ( unter kontrollierten Bedingungen (repräsentative Messzyklen, hohe Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, etc.) : Dieses Projekt
- SOA – Bildung von grossen Motoren (z.B. Baumaschinen) : Dieses Projekt
- SOA – Bildung von Schiffsemissionen (an Prüfständen (z.B. PSI) und direkt auf Schiffen)
- SOA – Bildung von Flugzeugemissionen (an Flugzeugturbinen-Prüfständen und für den Taxi-Betrieb auf Flughäfen)
- SOA – Bildung von Holzfeuerungen bei tiefen Temperaturen (die neue Kammer kann bei Aussenlufttemperaturen betrieben werden)
- SOA – Bildung von einem Mix von Fahrzeugen (Messungen von SOA durch Verwendung von Strassentunnelluft)
- SOA – Bildung von industriellen Emissionen
- SOA – Bildungsprozesse in der Aussenluft ganz generell (z.B. durch Füllen der Smogkammer mit Aussenluft in einem Wald oder Aussenluft am Abend in einem Dorf mit vielen Holzfeuerungen)

Das Studium solcher Prozesse ist entscheidend, um die Feinstaubbildung in der Atmosphäre quantitativ zu verstehen und beschreiben. Momentan gibt es international erst eine solche mobile Kammer (Carnegie Mellon Universität, Pittsburgh, USA), von welcher aber noch nichts publiziert wurde. Zusammen mit dieser Universität, zu der hervorragende Kontakte bestehen, könnte das PSI die weltweite Federführung in dieser Forschungsrichtung bilden.

Im Rahmen dieses Projektes wird getestet, ob die Oxidation in einer Flowtube (in Minuten) die Oxidation in der mobilen Smogkammer simulieren kann. Falls diese Flowtube funktioniert, könnte man sich vorstellen, dass die Messung des SOA-Potentials von Emissionen generell bei Emissionserhebungen durchgeführt werden könnte. Bei Diskussion dieser Ideen in Ispra hat sich die Firma Matter für eine solche Entwicklung/Kommerzialisierung interessiert.

Die Resultate dieses Projektes werden aufzeigen, bei welchen Bedingungen welche Fahrzeuge wieviel Feinstaub durch ihre Emissionen generieren können. Dies könnte neue Gesetzesregelungen und technologische Entwicklungen fördern, welche die Feinstaubbelastung effizient senken. Mögliche Resultate können sein, dass

- die Katalysatoren bei Benzinfahrzeugen vorgeheizt werden sollten,
- die Oxidationskatalysatoren bei den Diesel-PW für höhere Lasten ausgelegt werden müssten,
- bei Lastwagen eine Technologiepräferenz gegeben werden könnte,
- die Entwicklung von Oxidationskatalysatoren für non-road Dieselmotoren wie Baumaschinen gefordert werden sollte, sowie
- neue Abgasvorschriften für Moped erlassen werden sollten, welche wiederum einen Technologieschub zur Folge hätten.

## **1.5 Zeitliche Entwicklung**

( - Vorarbeiten / Vorprojekte, - Aufbauphase, - Exploitation / Meilensteine, - Auslaufphase / absehbares Ende)

Der Zeitplan ist detailliert im Forschungsplan in 1.3 dargestellt. Hier ist der Ablauf kurz dargestellt:

Start: 1.1.2011 (auch später möglich)

Monate 1-4 : Bau der Smogkammer

Meilenstein 1, Monat 5: Bau der Smogkammer abgeschlossen

Monate 5-7 : Test der Smogkammer/Vergleich mit PSI-Kammer

Meilenstein 2, Monat 7: Test der Smogkammer abgeschlossen

Monate 8-9 : Erste Messkampagne in Ispra

Meilenstein 3, Monat 9: Erste Messkampagne abgeschlossen

Monate 9-16: Auswertungen der 1. Kampagne und Planung der nächsten Kampagne.

Meilenstein 4, Monat 17: Erste Publikationen eingereicht

Monate 17-19: 2. und 3. Messkampagne

Meilenstein 5, Monat 20: Messkampagnen abgeschlossen

Monate 20-28: Auswertung der Messkampagnen

Meilenstein 6, Monat 29: Weitere Publikationen eingereicht

Monat 29: Letzte Messkampagne, insbesondere um offene Fragen zu klären

Meilenstein 7, Monat 30: Messkampagnen des Projektes abgeschlossen

Monate 30-36: Finale Auswertungen, Verfassung des Schlussberichts

Meilenstein 8, Ende Monat 36: Schlussbericht abgeschlossen, Überblickspublikationen geschrieben

## **1.6 Kritische Randbedingungen**

( - Voraussetzungen, - kritischer Pfad, - Risiken)

Eine Begleitgruppe wird gebildet, welche zusammen mit dem PSI die Fortschritte des Projektes bespricht. Aufgrund der Ergebnisse in den Kampagnen können auch Änderungen im Messkonzept oder bei der Art der Experimente vorgenommen werden. Die Begleitgruppe trifft sich 1-2 mal pro Jahr.

Die Begleitgruppe wird aus anerkannten Fachleuten auf verschiedenen Gebieten bestehen und setzt sich provisorisch wie folgt zusammen:

Martin Schiess, BAFU, Vorsitz

Thomas Gasser, ASTRA

Sascha Grunder, TCS

Peter Maly, Ostluft

Martin Weilenmann, Empa

Jan Czerwinski, AFHB Biel



Meinrad Signer, FIAT Powertrain Technologies

## 2. Vertreter von BAFU

Kritisch für das Projekt ist der Zugang zu den Prüfständen. Das Joint Research Center in Ispra hat uns die Zusammenarbeit ohne Kostenfolge zugesichert. Ein wissenschaftlicher Mitarbeiter (Alessandro Zardini) tritt in diesem Herbst eine Stelle in Ispra an. Herr Zardini hat vor ein paar Jahren an der ETH in Zusammenarbeit mit dem Labor für Atmosphärenchemie seine Doktorarbeit abgelegt. Er soll in diesem Projekt stark involviert werden, sodass die jetzt schon enge und gute Zusammenarbeit mit dem Joint Research Center noch einfacher wird. Der Zugang zu den Prüfständen in Biel und Dübendorf sollte gemäss Gesprächen ohne Probleme möglich sein, wobei nur der Zugang in Biel für das Projekt kritisch ist, weil in Ispra im wesentlichen alles gemacht werden kann, was in Dübendorf möglich ist. Der Vorteil ist, dass unsere Messungen nicht viel Zusatzaufwand benötigen, da wir beispielsweise die Emissionen normaler Testzyklen in unsere Kammer abzweigen können. Die allfälligen zusätzlichen Kosten für die Experimente in der Schweiz sind nicht Teil dieses Projektvorschlages. Die genauen Daten unserer Experimente müssen deshalb gut abgesprochen werden und im Rahmen von bereits geplanten Emissionsstudien stattfinden.

### 1.7 Literatur

- Alfarra, M. R., D. Paulsen, M. Gysel, A. A. Garforth, J. Dommen, A. S. H. Prevot, D. R. Worsnop, U. Baltensperger, and H. Coe (2006), A mass spectrometric study of secondary organic aerosol formed from the photooxidation of anthropogenic and biogenic precursors in a reaction chamber, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 5279-5293.
- Baltensperger, U., M. Kalberer, J. Dommen, D. Paulsen, M. R. Alfarra, H. Coe, R. Fisseha, A. Gascho, M. Gysel, S. Nyeki, M. Sax, M. Steinbacher, A. S. H. Prevot, S. Sjögren, E. Weingartner, and R. Zenobi (2005), Secondary organic aerosols from anthropogenic and biogenic precursors, *Faraday Discussions on Atmospheric Chemistry*, 130, 265-278.
- Baltensperger, U., A.S.H. Prevot (2008) Chemical analysis of atmospheric aerosols, *Anal. Bioanal. Chem.*, 390, 277-280.
- Chirico, R., P. F. DeCarlo, M. F. Heringa, T. Tritscher, R. Richter, A. S. H. Prevot, J. Dommen, E. Weingartner, G. Wehrle, M. Gysel, M. Laborde, and U. Baltensperger (2010a) Impact of aftertreatment devices on primary emissions and secondary organic aerosol formation potential from in-use diesel vehicles: results from smog chamber experiments, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 10, 16055-16109.
- Chirico, R., M. Clairotte, T.W. Adam, M.F. Heringa, P.F. DeCarlo, B. Giechaskiel, M. Elsasser, C. Astorga, T. Streibel, M. Sklorz, R. Zimmermann, G. Martini, U. Baltensperger, A.S.H. Prevot (2010b) Regulated and unregulated emission characterization from different type of vehicles powered with different fuels: Results from chassis dynamometer studies, *Atmos. Chem. Phys.*, in preparation.
- Duplissy, J., M. Gysel, M.R. Alfarra, J. Dommen, A. Metzger, A.S.H. Prevot, E. Weingartner, A. Laaksonen, T. Raatikainen, N. Good, S.F. Turner, G. McFiggans, U. Baltensperger (2008) Cloud forming potential of secondary organic aerosols under near atmospheric conditions, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L03818.
- EU-Report (2009) Study on possible new measures concerning motorcycle emissions, Nr. 08.RE.0019.V4.
- Giechaskiel, B., R. Chirico, P.F. DeCarlo, M. Clairotte, T. Adam, G. Martini, M.F. Heringa, R. Richter, A.S.H. Prevot, U. Baltensperger, C. Astorga (2010) Evaluation of the Particle Measurement Programme (PMP) protocol to remove vehicles' exhaust aerosol volatile phase, *Sci. Tot. Environ.*, 408, 5106-5116.
- Grieshop, A.P., J.M. Logue, N.M. Donahue, A.L. Robinson (2009) Laboratory investigation of photochemical oxidation of organic aerosol from wood fires 1: measurement and simulation of organic aerosol evolution, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1263-1277.
- Hallquist, M., J.C. Wenger, U. Baltensperger, Y. Rudich, D. Simpson, M. Claeys, J. Dommen, N.M. Donahue, C. George, A.H. Goldstein, J.F. Hamilton, H. Herrmann, T. Hoffmann, Y. Iinuma, M. Jang, M.E. Jenkin, J.L. Jimenez, A. Kiendler-Scharr, W. Maenhaut, G. McFiggans, Th.F. Mentel, A. Monod, A.S.H. Prevot, J.H. Seinfeld, J.D. Surratt, R. Szmigielski, J. Wildt (2009) The formation, properties and impact of secondary organic aerosols: current and emerging issues, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 5155-5235.
- Hoffmann, T., J.R. Odum, F. Bowman, D. Collins, D. Klockow, R.C. Flagan, J.H. Seinfeld (1997) Formation of organic aerosols from the oxidation of biogenic hydrocarbons, *J. Atmos. Chem.*, 26, 189-222.

- Jimenez, J.L., M.R. Canagaratna, N.M. Donahue, A.S.H. Prevot, Q. Zhang, J.H. Kroll, P.F. DeCarlo, J.D. Allan, H. Coe, N.L. Ng, A.C. Aiken, K.S. Docherty, I.M. Ulbrich, A.P. Grieshop, A.L. Robinson, J. Duplissy, J.D. Smith, K.R. Wilson, V.A. Lanz, C. Hueglin, Y.L. Sun, J. Tian, A. Laaksonen, T. Raatikainen, J. Rautiainen, P. Vaattovaara, M. Ehn, M. Kulmala, J.M. Tomlinson, D.R. Collins, M.J. Cubison, E.J. Dunlea, J.A. Huffman, T.B. Onasch, M.R. Alfarra, P.I. Williams, K. Bower, Y. Kondo, J. Schneider, F. Drewnick, S. Borrmann, S. Weimer, K. Demerjian, D. Salcedo, L. Cottrell, R. Griffin, A. Takami, T. Miyoshi, S. Hatakeyama, A. Shimono, J.Y. Sun, Y.M. Zhang, K. Dzepina, J.R. Kimmel, D. Sueper, J.T. Jayne, S.C. Herndon, A.M. Trimborn, L.R. Williams, E.C. Wood, A.M. Middlebrook, C.E. Kolb, U. Baltensperger and D.R. Worsnop (2009) Evolution of organic aerosols in the atmosphere, *Science*, 326, 1525-1529.
- Kalberer, M., D. Paulsen, M. Sax, M. Steinbacher, J. Dommen, A.S.H. Prévôt, R. Fisseha, E. Weingartner, V. Frankevich, R. Zenobi, U. Baltensperger (2004) Identification of polymers as major components of atmospheric organic aerosols, *Science*, 303, 1659-1662.
- Kroll, J.H., N.L. Ng, S.M. Murphy, R.C. Flagan, J.H. Seinfeld (2006) Secondary organic aerosol formation from isoprene photooxidation, *Environ. Sci. Technol.*, 40, 1869-1877.
- Lanz, V.A., A.S.H. Prévôt, M.R. Alfarra, C. Mohr, P.F. DeCarlo, S. Weimer, M.F.D. Gianini, C. Hueglin, J. Schneider, O. Favez, B. D'Anna, C. George, U. Baltensperger (2009) Characterization of aerosol chemical composition by aerosol mass spectrometry in Central Europe: an overview, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 9, 24985-25021.
- Lanz, V.A., M.R. Alfarra, U. Baltensperger, B. Buchmann, C. Hueglin, and A.S.H. Prevot (2007), Source apportionment of submicron organic aerosols at an urban site by linear unmixing of aerosol mass spectra, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 1503-1522.
- Metzger, A., J. Dommen, K. Gaeggeler, J. Duplissy, A.S.H. Prevot, J. Kleffmann, Y. Elshorbany, A. Wisthaler, U. Baltensperger (2008) Evaluation of 1,3,5 trimethylbenzene degradation in the detailed tropospheric chemistry mechanism, MCMv3.1, using environmental chamber data, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6453-6468.
- Ng, N.L., J.H. Kroll, A.W.H. Chan, P.S. Chhabra, R.C. Flagan, J.H. Seinfeld (2007) Secondary organic aerosol formation from m-xylene, toluene, and benzene, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 3909-3922.
- Paulsen, D., J. Dommen, M. Kalberer, A.S.H. Prévôt, R. Richter, M. Sax, M. Steinbacher, E. Weingartner, U. Baltensperger (2005), Secondary organic aerosol formation by irradiation of 1,3,5 trimethylbenzene-NO<sub>x</sub>-H<sub>2</sub>O in a new reaction chamber for atmospheric chemistry and physics, *Environ. Sci. Technol.*, 39, 2668-2678.
- Robinson, A.L., N.M. Donahue, M.K. Shrivastava, E.A. Weitkamp, A.M. Sage, A.P. Grieshop, T.E. Lane, J.R. Pierce, S.N. Pandis (2007) Rethinking organic aerosols: Semivolatile emissions and photochemical aging, *Science*, 315, 1259-1262.
- Shrivastava, M. K., T.E. Lane, N.M. Donahue, S.N. Pandis, A.L. Robinson (2008) Effects of gas particle partitioning and aging of primary emissions on urban and regional organic aerosol concentrations, *J. Geophys. Res.*, 113, D18301.
- Volkamer, R., J.L. Jimenez, F. San Martini, K. Dzepina, Q. Zhang, D. Salcedo, L.T. Molina, D.R. Worsnop, M.J. Molina (2006) Secondary organic aerosol formation from anthropogenic air pollution: Rapid and higher than expected, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17811.
- Weilenmann, M., J.-Y. Favez, R. Alvarez (2009) Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories, *Atmos. Environ.*, 43, 2419-2429.

## 2. Mittel, Partner

### 2.1 Materieller Bedarf

( - Investitionen, Geräte, Betriebsmittel, - sonstige finanzielle Mittel); (inkl. zeitliche Entwicklung)

#### Kosten für den Bau der mobilen Kammer

<b>Smogkammer</b>	CHF
Anhänger	33000
Nullluftgenerator	20000
Kompressor	14000
Blacklights	6000
Gestell	3000
3 Teflonsäcke	25000
2 Dekati-Verdünner	32000
Stromversorgung	3000
Silcosteel-Leitungen, Heizung, Diverses	15000
<b>Instrumente</b>	
CO Instrument	70000
Aethalometer oder MAAP	30000
Ozon, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> (von der Empa, für SO <sub>2</sub> Revision nötig)	3000
THC / NMHC – Gerät	30000
CO <sub>2</sub> - Gerät	27200
SMPS (bestehend aus DMA und CPC)	88000
TOTAL	399200

### 2.3 Externe Partner

- Forschungspartner (Kompetenz, Bedingungen, Verträge);
- Förderungsorganisationen, Industriepartner, Sponsoren u.a.

Die Betreiber der Prüfstände, JRC Ispra, Berner Fachhochschule Biel und Empa Dübendorf werden eng mit dem PSI bei den Experimenten und der Interpretation zusammenarbeiten. Vertreter der Empa und der Berner Fachhochschule sind in der Begleitgruppe vertreten. Dabei sind vor allem die Kompetenzen bei der Auswahl der Emissionsbedingungen und bei der Verdünnung der Emissionen wichtig für dieses Projekt.

### **3. Technologie-Transfer**

#### **3.1 Patentrecherche**

( - Ergebnis der Recherche; wichtigste existierende Patente)

#### **3.2 Eigene Patente**

#### **3.3 Potential für neue Patente**

Falls die Flowtube am Prüfstand erfolgreich für das SOA-Potential eingesetzt werden kann, könnte das Potential für ein neues Patent abgeklärt werden. Ähnliche Flowtubes gibt es jedoch bereits in verschiedenen Forschungsgruppen, die bisher aber meist für anderes verwendet worden sind.