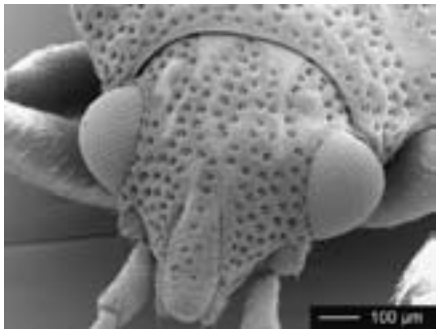
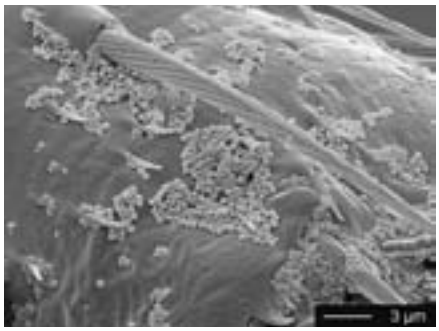
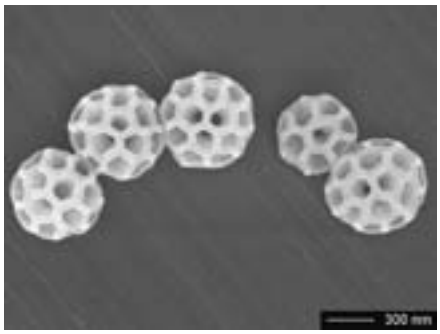
Einst zählten wir Bäume – heute zählen wir Feinstaubpartikel

Heinrich Zumoberhaus | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Lehnen Sie sich zurück, betrachten Sie die eindrücklichen Feinstaubbilder, staunen Sie über die horrende Anzahl Feinstaubpartikel in unserer Atemluft! Lassen Sie die Gedanken weiser Leute über natürliche und synthetische Vitamine und über die winzigen Stäube auf sich wirken, ziehen Sie weise Schlussfolgerungen! Wissenschaftliche Details erhalten Sie unter www.ag.ch/umwelt/zwergentechnologie.







Zikaden scheiden so genannte Brochosomen aus, diese sind wasserabweisend und dienen unter anderem als Regenschutz. Auch bei Wanzen (siehe Abbildungen) treten solche auf. Man findet die Brochosomen schlussendlich auch in unserer Atemluft. *Fotos: Denise Wyniger*

Der Cherokee-Heiler Rolling Thunder behauptete Anfang 1971: «Vitamine bedeuten Leben, eine bestimmte Lebenskraft, die nicht synthetisch hergestellt werden kann. Viele unterschiedliche Dinge mögen den meisten Menschen unter dem Mikroskop gleich erscheinen, aber es gibt mehr, als das Auge allein erfassen kann. Es wird sich noch ein Weg finden, um diesen Unterschied sichtbar zu machen – wie zum Beispiel den Unterschied zwischen synthetischem und natürlichem Vitamin C. Ich bin sicher, dass es Verfahren gibt, dies sichtbar zu machen, und ich habe das Gefühl, dass wir kurz davorstehen.»

Ideen weiser Menschen

Am 6. Mai 1972 berichtete der Biochemiker Justa Smith: Man hatte im Verlauf von gaschromatischen Untersuchungen einen fundamentalen biochemischen Unterschied zwischen natürlichem (lebendem) und synthetischem (totem) Vitamin C festgestellt: Die natürliche Ascorbinsäure ähnelte im Aufbau einer von starken vibrierenden Strahlenkränzen umgebenen plastischen Orange, die synthetische Ascorbinsäure hingegen bildete eine flache, farblose, zweidimensional konzentrische Kreisstruktur ohne Kraftlinien – sie glich einer toten geometrischen Zeichnung! (Heinz J. Stammel)

Der weise Narr Mulla Nasruddin (er ist so etwas wie der orientalische Eulenspiegel) behauptete Anfang 1998 – im gleichen Jahr erschien die erste Ausgabe von UMWELT AARGAU: Nicht die Masse ist das Mass des Feinstaubs, sondern die Partikelgrösse und die Partikelanzahl. Und er war überzeugt, dass Lufthygieniker in Kürze belegen werden, welch horrende Anzahl Feinstaubpartikel der Mensch täglich einatmet.

Am 30. Juni 2010 führte die Sektion Luft und Lärm der Abteilung für Umwelt mit der Firma Carbotech AG bei der Messstation Bärenmatte in Suhr hoch interessante Feinstaubmessungen durch. Wir zeigen Ihnen fantastische Bilder von Feinstaubpartikeln: fantastisch für den technisch interessierten Menschen, fürchterlich für die menschliche Lunge.

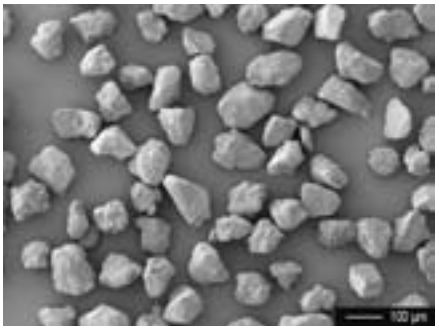
Die Sektion Luft und Lärm wird die Messungen periodisch wiederholen, um die Entwicklung bei den Staubwinzlingen zu verfolgen und damit frühzeitig Massnahmen planen zu können.

Feinstaub

Feinstaub (PM10, Particulate matter 10 Mikrometer) besteht aus Partikeln mit einem Durchmesser von weniger als 10 Tausendstelmillimetern, was etwa einem Zehntel des Durchmessers eines menschlichen Haars entspricht. Die als PM10 bezeichneten Luftschadstoffe gelangen einerseits als primäre Partikel in die Atmosphäre – so zum Beispiel bei der unvollständigen Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen.

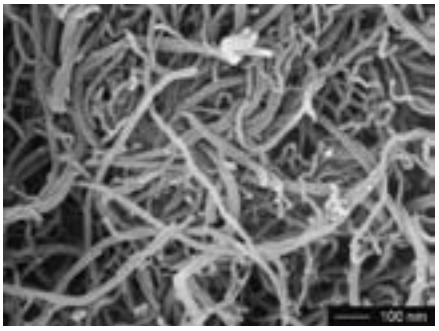
Andererseits gibt es auch die sekundären Partikel, die sich erst in der Luft aus gasförmigen Stoffen wie Ammoniak, Stickoxiden, Schwefeldioxid und organischen Verbindungen bilden.

Daneben gibt es aber auch faszinierende Partikel, welche uns die Natur beschert. Zikaden beispielsweise produzieren eine grosse Menge an so genannten Brochosomen, ein Granulat, welches unter anderem als Regenschutz wirkt. Diese kleinen kugelförmigen Objekte gehen aber ab und zu verloren und wurden auch am Strassenstandort Suhr deswegen im Feinstaub gefunden.

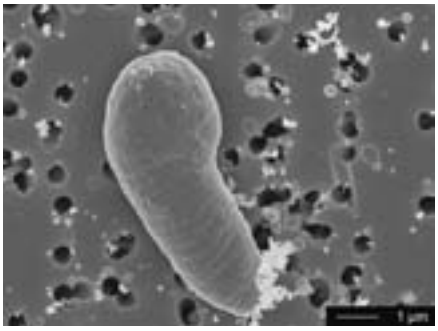


Saharastaub unter dem Rasterelektronenmikroskop

Alle Fotos: Marcel Düggelin



Kohlenstoffröhren von wenigen Nanometern Durchmesser sind in der Industrie im Einsatz.

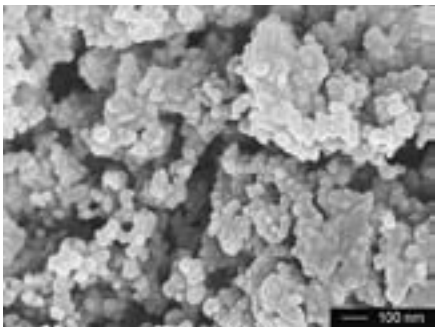


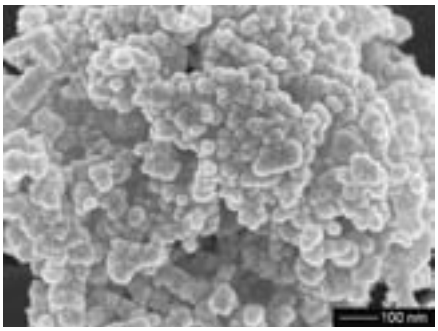
Pilzspore mit Russanhängsel inmitten von vielen kleinen Russpartikeln

Entwicklung des Feinstaubs

Die Naturwissenschaft versucht fast alles reduktionistisch zu erklären. Alles wird in Teile und immer weiter in kleinere Teile zerlegt und analysiert. Man weiss somit viel über viele Teile, aber sehr wenig über das Ganze.

Ähnlich verhalten sich die Feinstäube. Sie werden immer kleiner und feiner. Doch wir wollen die Eigenschaften der einzelnen Feinstaubkomponenten untersuchen, ohne dabei die Wechselwirkungen zwischen den Bestandteilen aus den Augen zu verlieren.





Die Feinstaubzusammensetzung aus gereinigten Industrieabgasen hat sich in den letzten 12 Jahren nur geringfügig verändert. Der Anteil der grossen Feinstäube hat sich verringert. Links: Russpartikel von 1998 in Suhr; rechts: Russpartikel von 2010 in Suhr.

Nanopartikel

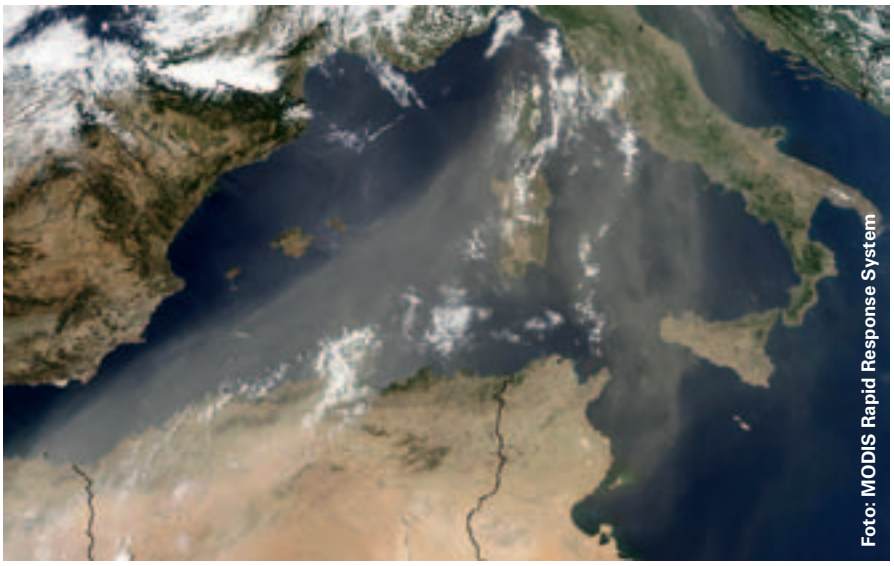
Darunter versteht man einen Verbund von wenigen bis einigen Tausend Atomen oder Molekülen. Der Name bezieht sich auf ihre Grösse, die typischerweise bei 1 bis 100 Nanometern liegt. Ein Nanometer entspricht 10^{-9} = 0,000 000 001 Meter.

Die natürlichen Saharastaubpartikel beispielsweise bestehen aus Siliziumoxid, Kalzium und Magnesiumverbindungen und sind relativ gross und doch finden wir sie im Feinstaub.

Die Partikel unserer technikgetriebenen Kultur werden immer kleiner und kleiner. Die so genannten Nanopartikel haben aber ganz andere Eigenschaften als ihre grossen Brüder. Die Forschung will diese Erkenntnis nutzen und erhofft sich dadurch wirtschaftliche Vorteile und Lösungen vorhandener Probleme.

Bei der Nanotechnologie will man frühzeitig agieren. Sicherheitsforschung soll verhindern, dass Nanomaterialien in die Umwelt gelangen. Die Aussenluft scheint davon noch verschont zu sein, aber in den Betrieben, wo damit gearbeitet wird, sind sie schon ins Filternetz gegangen.

Die Vorsilbe «nano» leitet sich aus dem griechischen «nanos» für «Zwerg» oder «zwergenhaft» ab. Wie wir uns vor diesen Zwergen schützen, hängt von unserer Kultur ab. Denn wenn die Sonne der Kultur tief scheint, dann werfen auch Zwerge einen grossen Schatten!



Satellitenaufnahme eines Staubsturms in Nordafrika. Die Staubfahne reicht dabei weit über das Mittelmeer hinaus.

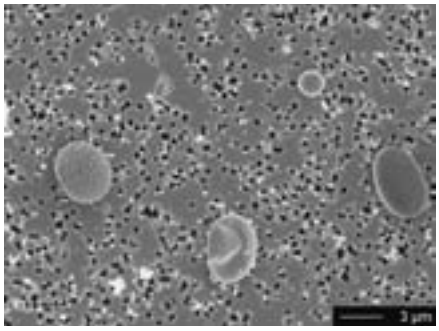
Industrieabgase werden gereinigt, soweit es wirtschaftlich tragbar ist. Der Rest, es sind vor allem die sehr feinen Stäube, gelangt in die Atemluft. Daran hat sich in den letzten Jahren wenig geändert, wie ein Vergleich der Russpartikel von 1998 und 2010 zeigt: Die mechanisch erzeugten grossen Partikel sind zwar mehrheitlich verschwunden, die winzigen Partikel sind aber geblieben.

Spannende Messungen in Suhr

Mit dem Niederdruckimpaktor (ELPI) der OSTLUFT – die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein – führte die Sektion Luft und Lärm der Abteilung für Umwelt zusammen mit Thomas Zünd der Firma Carbotech AG Feinstaubmessungen einmal anders durch.

Neben der Feinstaubkonzentration wurde auch die Partikelzahl bestimmt

Mit dem Niederdruckimpaktor können Feinstaubpartikel gesammelt und gezählt werden.



Pilzsporen, Pollen und Russpartikel

und verschiedene Proben für die Rasterelektronenmikroskopie genommen. Marcel Düggelin vom Zentrum für Mikroskopie der Uni Basel hat mit seiner über 30-jährigen Erfahrung in Rasterelekronenmikroskopie geholfen, für uns Menschen unsichtbare Dinge sichtbar zu machen.

Die Messungen vom 30. Juni an der Messstation Bärenmatte in Suhr lieferten folgende Ergebnisse:

- Feinstaubkonzentration von 20 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft;
- 50 Milliarden Partikel pro Kubikmeter Luft;
- 10 Prozent der Partikelgesamtzahl machen 90 Prozent der Masse aus.

Bedeutung von Feinstaubpartikeln für den Menschen

Die in Suhr gemessene Partikelanzahlkonzentration während den Verkehrsspitzenzeiten liegt bei zirka 50 Millionen Partikeln pro Liter Luft.

Ein Fussgänger, welcher am 30. Juni 2010 um 17.30 Uhr vor dem Lichtsignal zwei Minuten warten musste, atmete während den 120 Sekunden rund 7 Liter Luft und damit rund 350 Millionen Partikel ein – 3 Millionen Feinstaubpartikel pro Sekunde.

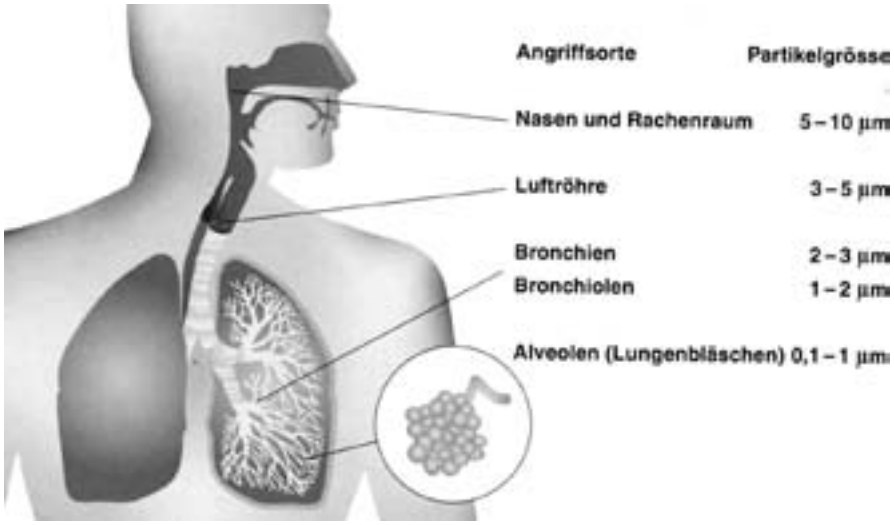
Die feinen Russpartikel besitzen eine grosse Oberfläche, an der sich viele Schadstoffe anlagern können, wie beispielsweise die krebserregenden Stoffe Benzol und Benzo(a)pyren. Die Filterwirkung des Nasen-Rachen-Raums reicht nicht aus, um feine Partikel mit weniger als 10 Mikrometer Durchmesser zurückzuhalten. Die feinen Partikel (PM2.5) dringen in die Lunge ein, die ultrafeinen Partikel (kleiner 1 Mikrometer) gelangen bis in die Lungenbläschen (Alveolen). Dort treten sie in das Gewebe ein, auch in die Zellen und sogar in den Zellkern, welcher die Erbsubstanz enthält.

Und was tun wir?

Ein bisschen Recycling, ein bisschen mit dem Fuss vom Gaspedal, ein Partikelfilter mit Bypass auf die Baumaschine, Gülle mit dem Schleppschlauch ausbringen, ein Multizyklonabscheider auf die Holzfeuerung, ein Hochkamin für eine Grossfeuerung, eine Unterschrift für saubere Energie… Genügt das für unsere Zukunft? Wohl kaum!

Gibt es eventuell keine technologische Lösung für unser Feinstaubproblem?

Wir Menschen wollen immer mehr, als gut für uns wäre, wir verschmutzen die Luft und nehmen in Kauf, da-



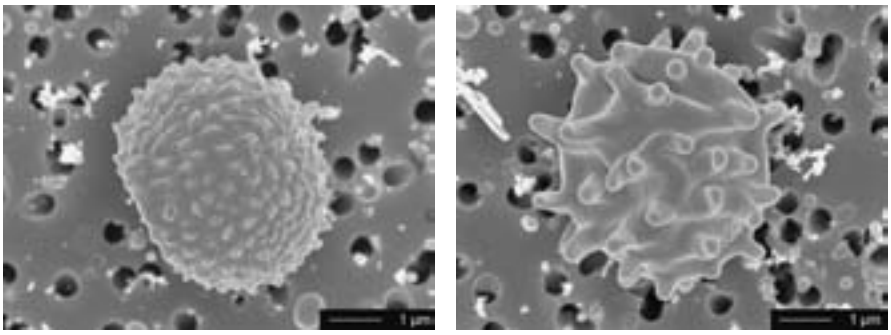
Der Feinstaub setzt sich in unseren Lungenbläschen fest.

durch das Wohl der Allgemeinheit zu zerstören. Dieses Phänomen erkannte bereits Aristoteles vor mehr als 2000 Jahren. Er sagte: «Dem Gut, das der grössten Zahl gemeinsam ist, wird die geringste Fürsorge zugeteilt.» Dieses Verhalten – eine Eigenschaft aller Bereiche unserer Kultur – nennen wir heute «Die Tragik der Allmende». Dabei handelt es sich um ein sozialwissenschaftliches Modell, nach dem frei verfügbare, aber begrenzte Ressourcen nicht effizient genutzt werden und durch Übernutzung bedroht sind. Der Ökologe Garrett Hardin nennt es so: «Und darin liegt die Tragik: Jeder Hirte ist der Gefangene eines Systems, das ihn zwingt, seine Herde grenzenlos zu vergrössern – in einer Welt, die begrenzt ist.»

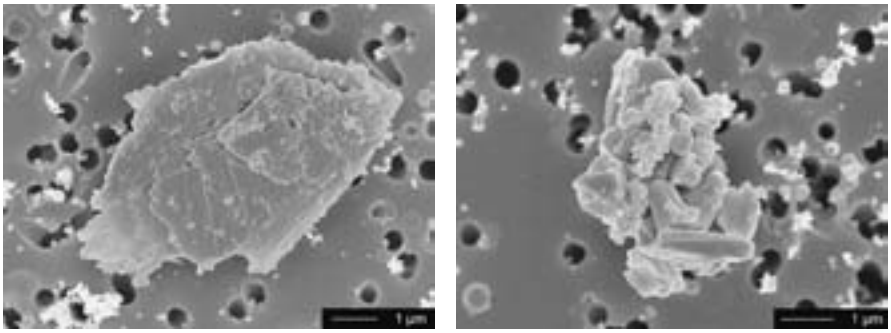
Dieser Artikel entstand in Zusammenarbeit mit: Denise Wyniger, Natur-Museum Luzern; Marcel Düggelin, Universität Basel; Thomas Zünd, Carbotech AG, Basel; Markus Schenk, Abteilung für Umwelt.

Weitere Informationen

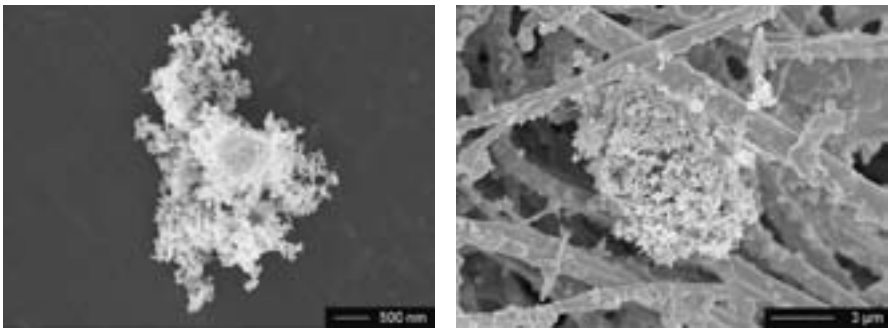
- Feinstaubmessungen Kanton Aargau: www.ag.ch/umwelt/zwergentechnologie
- Mulla Nasruddin: www.geistigenahrung.org/ftopic260.html
- Tragik der Allmende: http://de.wikipedia.org/wiki/Tragik_der_Allmende



Pilzsporen mit Russpartikel



Mineralische Partikel (Strassenabrieb, Bautätigkeit)



Russpartikel

KANTON AARGAU

Departement
Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung für Umwelt

Zusatzinformation zum Bericht Umwelt Aargau

Aarau, 2. November 2010

Technische Details zur Partikelmessung vom 30. Juni 2010 in Suhr Bärenmatt

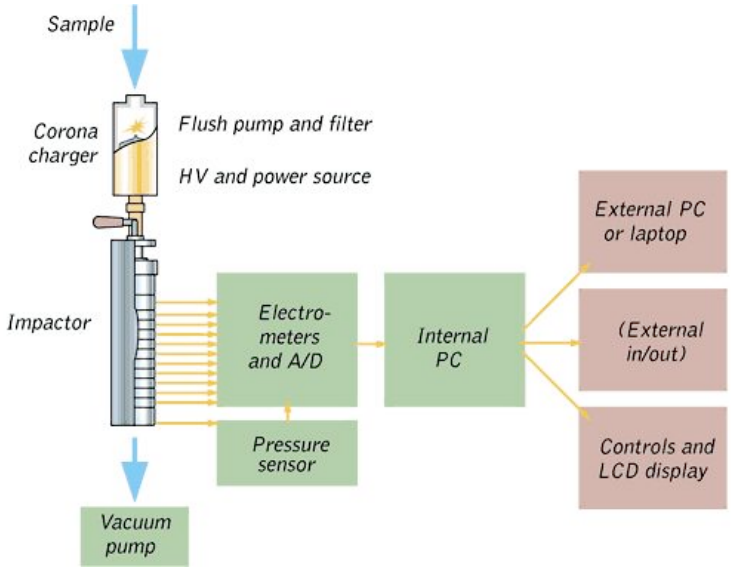
Messstation Suhr Bärenmatte
An diesem Standort misst die Abteilung für Umwelt seit dem Jahr 2000 routinemässig die Luftbelastung. Es werden folgende Parameter erfasst:

- Ozon
- Stickoxide
- Feinstaub (PM10)
- Windrichtung und Windgeschwindigkeit
- Globalstrahlung
- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit

Am 30.6. 2010 wurden diese Standardparameter zusätzlich mit der Messung der Partikelanzahlkonzentration und der morphologischen und chemischen Identifikation ergänzt.

Versuchsaufbau
Die Partikelanzahlmessung und die Probenahme der Partikel wurden mit einem elektrischen Niederdruck- Impaktor (ELPI)durchgeführt. Die Partikel wurden dabei auf Polycarbonatfiltern abgeschieden und unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) analysiert.

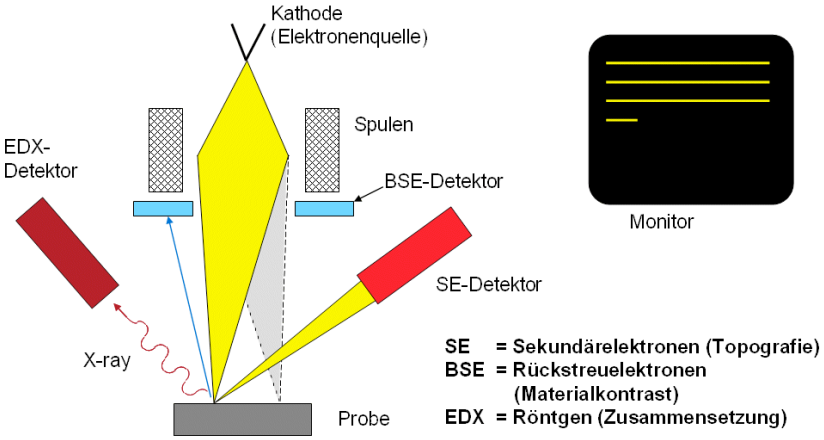
Messtechnik
a) ELPI
Ein Luftstrom von 30 l/m^3 wird vom ELPI angesaugt. Der Impaktor besteht aus 12 Stufen, die in Serie geschaltet sind. In jeder Impaktorstufe wird dem Gasstrom eine Richtungsänderung aufgezwungen und Partikel die auf Grund ihrer Größe dieser Richtungsänderung nicht folgen können, werden auf dem Impaktionsmedium abgeschieden.



Am Eintritt in das ELPI werden die Partikel durch ein Hochspannungsfeld elektrisch geladen. Werden Partikel auf einer der Impaktorstufen abgeschieden, so geben sie dort ihre Ladung wieder ab. Der daraus resultierende Strom wird gemessen und in eine Anzahl-Korngrößenverteilung umgerechnet.
Mit dem ELPI ist es somit möglich, die Korngrößenverteilung von Partikeln (insbesondere von Feinstaub) in der Aussenluft im Korngrößenbereich zwischen 7 und 10'000 nm im 6-Sekundentakt quasikontinuierlich zu messen.

b) Mikroskopie
Für die mikroskopische Bestimmung wurden folgende Mikroskoptypen eingesetzt:

- Hitachi S-4800
- Philips XL30 FEG ESEM
- Fei Nova Nano SEM 230



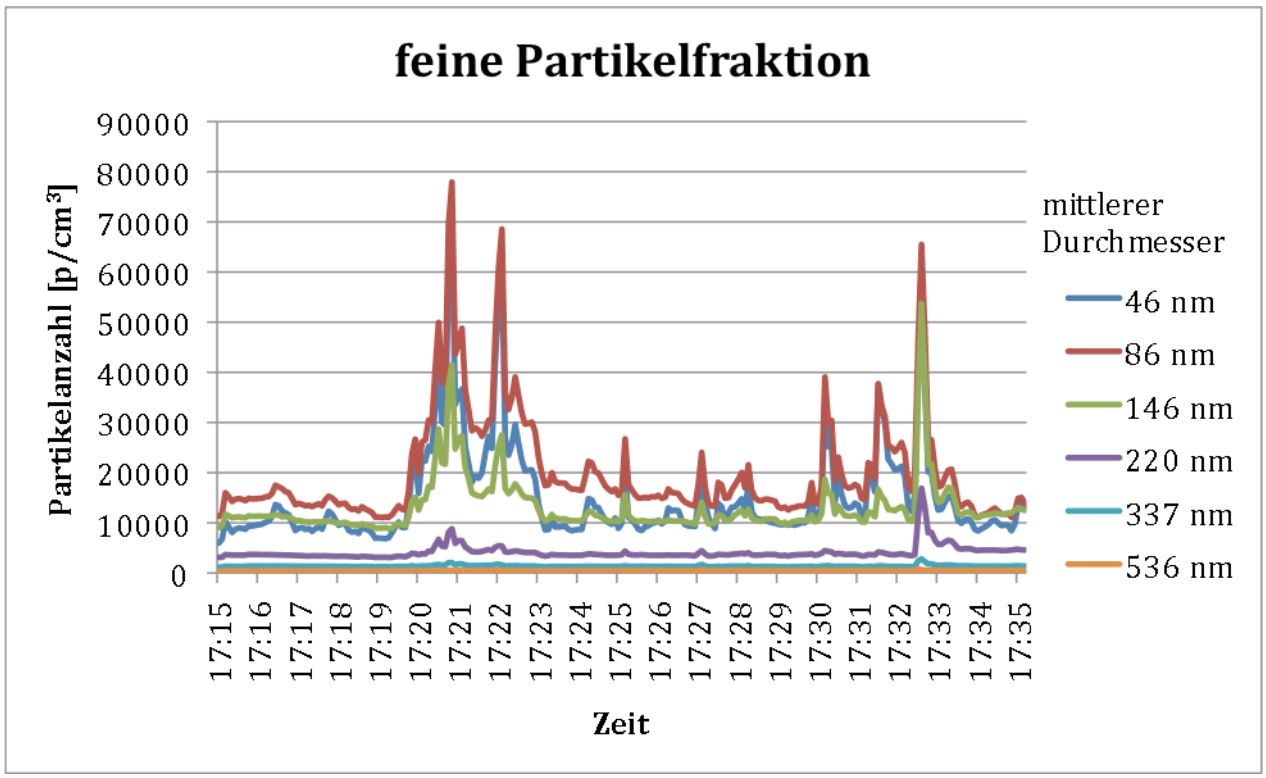
Um die elektrische Aufladung der Partikel unter dem Elektronenstrahl zu vermeiden, wurden alle Proben mit einer sehr dünnen Goldschicht versehen (Sputtern).

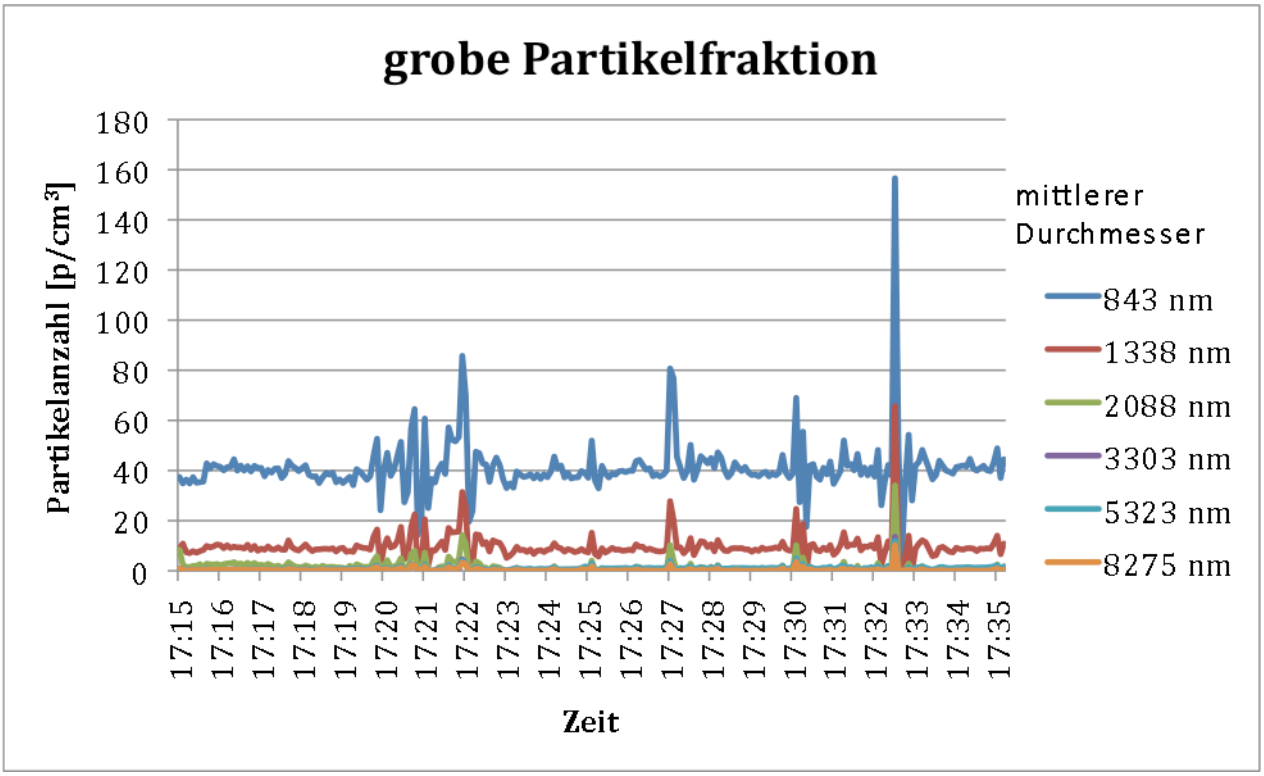
Für die chemische Identifikation wurden verschiedene Partikel unter dem EDX Detektor untersucht.

Versuchsresultate

Die Erwartungen bezüglich Partikelbelastung wurden mit der Messung bestätigt. Da der Messstandort in einem verkehrsbelasteten Gebiet liegt sind hohe Partikelanzahlkonzentrationen plausibel. Es ist zu beachten, dass es viel mehr kleine Partikel gibt als Grobe (Y- Achsenskalierung!).

Die morphologische Auswertung zeigt aber auch, dass zumindest im Sommer ein grosser Massenanteil aus biologischen Partikeln (Pollen, Sporen, Brochosomen etc.) stammt. Zudem zeigt sich, dass sich das Russproblem in den letzten 10 Jahren kaum verbessert hat. Nach wie vor sind sehr viele Russpartikel vorhanden. Diese treten in jeder Grössenklasse auf.





6 Sekundenmittelwerte, Partikelanzahl in Partikel pro Kubikzentimeter

Technische Erkenntnisse

Der Niederdruck Impaktor ist ein interessantes Gerät, welches die gleichzeitige Zählung der Partikel und deren Probenahme erlaubt. Für den stationären Einsatz gibt es kaum Einschränkungen und das Gerät funktionierte stabil und ohne Ausfälle.

Für den schnellen projektbezogenen Einsatz sind das Gerät und vor allem die leistungsfähige Vakuumpumpe zu schwer und reduzieren eine flexible Verwendung[1]. Zudem wird die Partikelsammeleffizienz durch das Abprallen der Partikel auf den Impaktorflächen erheblich reduziert. Das Abprallen könnte durch die Fettung der Impaktorflächen zwar reduziert werden. Dadurch wird jedoch das Mikroskopieren mit einem hochauflösenden Mikroskop eingeschränkt, da das Fett im Hochvakuum zu einer Verunreinigung der Elektronenkanone führen kann was zu hohen Kosten führt.

Die besten Resultate wurden mit Polycarbonatfiltern erreicht. Von der Verwendung von Alufolien als Impaktorsubstrat wird aus den dargelegten Gründen abgeraten. Bei den Staubproben aus dem Jahr 1998, welche auf Glasfaserfilter abgeschieden wurden, ist eine mikroskopische Analyse nicht optimal, da die Oberfläche zu rauh ist. Falls Staubproben mittels REM untersucht werden sollen, muss das richtige Filtermaterial dazu benutzt werden (das heute routinemässig verwendete Filtermaterial ist also für mikroskopische Untersuchungen zu ersetzen).

[1] Gilt für den verwendeten Typ. Das neue ELPI+ wiegt anstatt 35 kg „nur“ noch 22 kg. (ohne Vakuumpumpe)

Diese Erkenntnisse führten zu weiteren Versuchen und zu einer Optimierung bezüglich der Partikelanzahlmessung und der Partikelprobenahme. Die Verbesserungen erlauben nun, dass für die Zukunft ein äusserst flexibles und leistungsfähiges Messsystem für die Charakterisierung von Partikeln mit weniger Nachteilen zur Verfügung steht.

Zukunft / Folgemessungen
Mit den Erfahrungen des vorliegenden Versuches lassen sich die Partikel in Zukunft besser morphologisch und chemisch identifizieren. So ist es möglich, eine weitgehende chemische Identifikation des Feinstaubes vorzunehmen. Damit kann der Anteil der verschiedenen Emissionsquellen besser quantifiziert werden.

Technische Auskünfte
Abteilung für Umwelt des Kanton Aargau, Markus Schenk
Tel.: 062 835 33 85, Mail: markus.schenk@ag.ch

Carbotech AG, Basel, Thomas Zünd
Tel.: 061 206 95 51, Mail: t.zuend@carbotech.ch

Links
Mikroskopie: http://pages.unibas.ch/zmb/index.html
Probennahme: http://dekati.com/cms/
Bilderbestellung: umwelt.aargau@aargau.ch
Brochosomen: denise.wyniger@lu.ch

Dank
Wir danken Ostluft insbesonders Roy Eugster für die Bereitschaft dem Kanton Aargau den Niederdruckimpaktor zur freien Verfügung zu stellen.
Ebenso danken wir Marcel Düggelin vom ZMB der Uni Basel für die Unterstützung bei der Methodenentwicklung und die brillianten Bilder.
Einen weiteren Dank möchten wir Frau Denise Wyniger aussprechen, welche sich auch weiterhin mit dem Thema der Brochosomenherkunft beschäftigt.