

## VERKEHRSABRIEB: Erkenntnisse von Strassen und Eisenbahnen

### Inhalt

Bestimmung von PM10 Anteilen aus dem Strassen- und Eisenbahnverkehr

### Neuigkeit

Konventionelle Staubbmessungen ergeben keine Aussagen zu den Quellenanteilen. Die Problematik liegt darin, dass es kaum Kenntnisse über die Eigenschaften der Partikel aus den einzelnen Quellen gibt. Dies ist aber eine Voraussetzung, um eine Herkunftsbestimmung vornehmen zu können.



Abb. 1: Oben: Detailbild eines Pneus mit gut sichtbarem Strassenabrieb und Staub. Unten: Bild eines Eisenbahngleises, wo die Interaktion zwischen Rädern, Bremsen und Schienen zu erkennen ist.

Particle Vision ist es nun gelungen die Probenahme, die Analytik und die Auswertemethodik auf diese Fragestellung so zu optimieren, dass auch eine Differenzierung der Partikel, welche durch den Strassen- und den Eisenbahnverkehr (Abb. 1) verursacht werden in einer Umweltprobe möglich ist.

Dazu werden sowohl die chemischen als auch die physikalischen Partikeleigenschaften in die Differenzierung einbezogen. Der prozentuelle Anteil kann für alle Elemente zwischen Kohlenstoff und Blei bestimmt und berücksichtigt werden.

### Bestehendes Wissen

Wie aus vielen Publikationen schon bekannt ist, sind motorische Partikel in Quellennähe kleiner als PM2.5. Abrieb und Aufwirbelungspartikel aus dem Strassen- und Eisenbahnverkehr zeigen ein breiteres Spektrum in der Grössenverteilung.

Partikel aus Abriebprozessen (Pneu-, Brems-, Strassen-, Schienen-, und Pantograph-Abrieb) weisen unterschiedliche morpho-chemische Fingerprints auf und können über Tracerelemente identifiziert werden.

### Pneu- und Bremsabrieb von Autos

Die mechanisch erzeugten Pneuabriebpartikel weisen eine längliche und irreguläre Morphologie auf (Abb. 2).

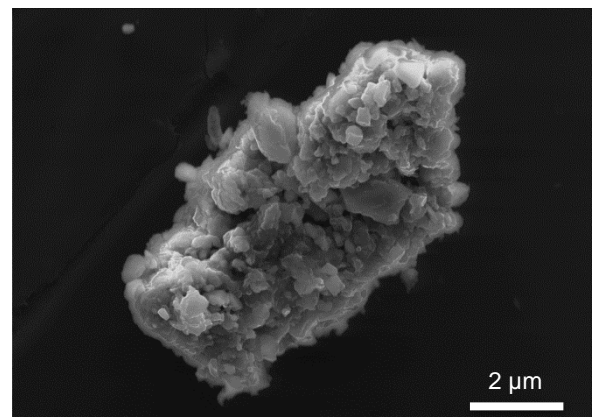


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopisches (REM) Bild eines Pneubtriebpartikels gemischt mit einem gewissen Anteil an Strassenabriebpartikeln.

Aus chemischer Sicht besteht reiner Pneu (Abb. 3, oben) aus einem Gemisch von Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Silizium (Si) und Spuren von Schwefel (S), Natrium (Na) und Zink (Zn) (Abb. 4).

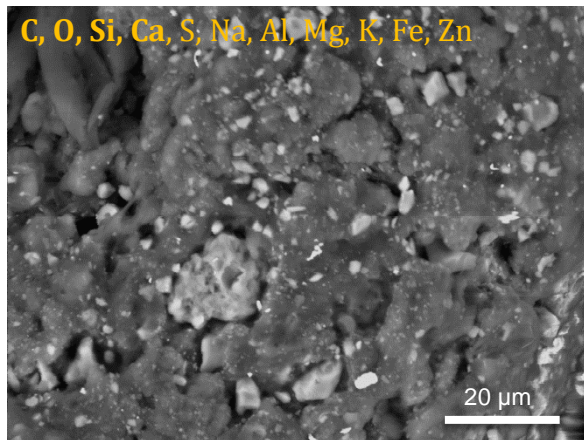
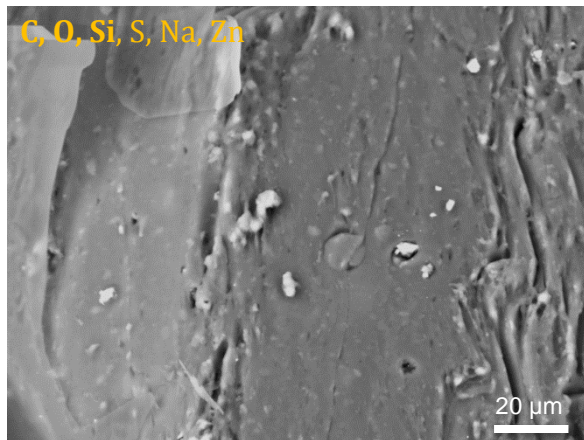


Abb. 3: Oben: REM-Bild eines reinen Pneubtriebpartikels, das durch eine glatte und relativ homogene Textur charakterisiert ist. Unten: REM Bild eines Pneubtriebpartikels gemischt mit Strassenabrieb und Strassenstaub. Während die dunkelgraue Oberfläche dem reinen Pneubtrieb entspricht, stellen die hellen, kleinen Partikel mineralische Partikel dar.

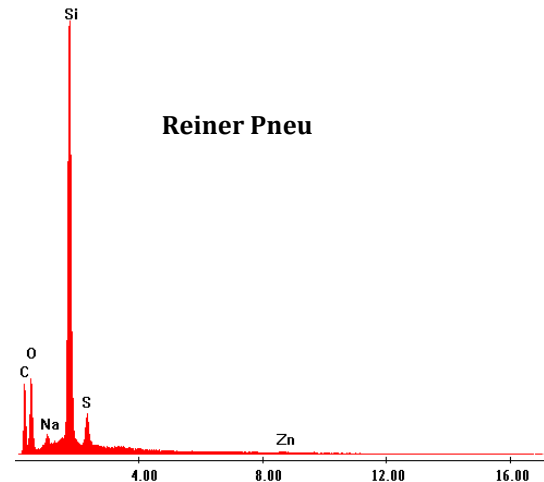


Abb. 4: Elementarspektrum des reinen Pneubtriebs aus der energiedispersiven Spektroskopie (EDS).

Je nach Vermischungsgrad mit Strassenabrieb, der durch das wiederholte Walken zwischen Pneu und Strasse beim Fahren entsteht, kommen weitere Elemente wie Kalzium (Ca), Aluminium (Al), Eisen (Fe), Kalium (K) und Magnesium (Mg) dazu (Abb. 5 und 6).

Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale zwischen reinem Strassenabrieb und Pneubtrieb ist der viel tiefere Kohlenstoffgehalt und der eindeutig höhere Kalziumanteil in Strassenabrieb.

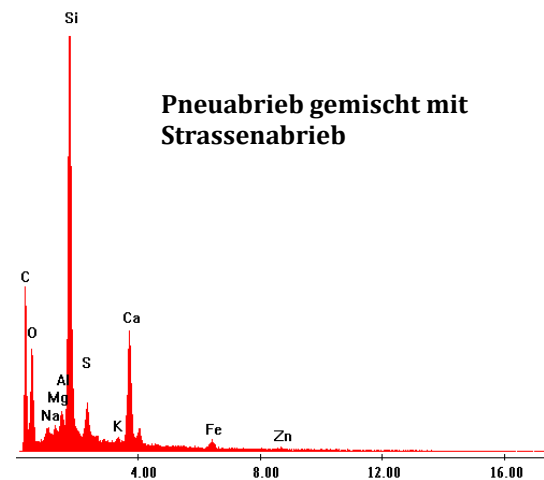


Abb. 5: EDS Spektrum, das die typische Zusammensetzung eines gemischten Pneubtriebs aufzeigt.

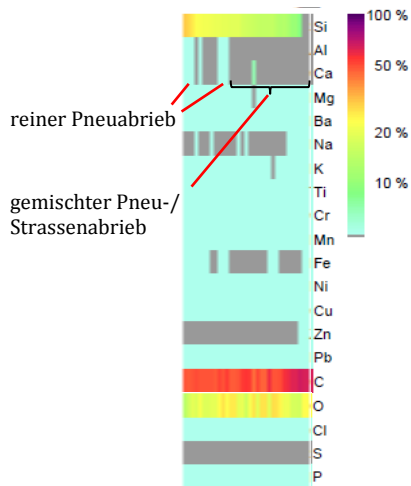


Abb. 6: Heatmap von 28 Pneuabriebpartikeln. Die Partikel, die keinen Ca und Al beinhalten stellen reine Pneuabriebpartikel (ohne Agglomeration von Strassenabrieb) dar. Die graue Farbe steht für prozentuale Anteile zwischen 0.5-7 Gew. %.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Strassenverkehrsabriebs sind Bremsabriebpartikel. Diese können durch das Vorkommen von Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Antimon (Sb) und Barium (Ba) von den anderen Abriebpartikeln chemisch unterschieden werden. Ausserdem zeigen sie durch die thermische Belastung eine eher rundliche Form auf.

### Eisenbahnabrieb

Im Gegensatz zum Pneu-/Strassensabrieb weisen Eisenbahnabriebpartikel eine glattere Textur und zugleich eckigere Morphologien auf (z. B. Schienenabrieb, Abb. 7). Eisenbahnpartikel aus thermisch belasteten Prozessen (z.B. Bremspartikel) weisen eine eher rundliche Form auf und sind typischerweise kleiner als solche, die aus rein mechanischen Prozessen entstehen.

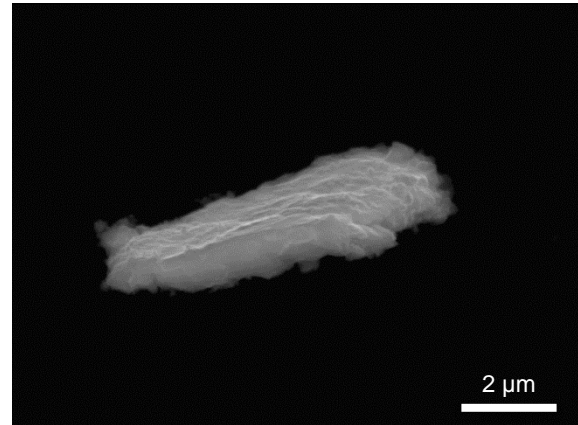


Abb. 7: REM Bild eines Schienenabriebpartikels.

Schienenabrieb besteht vorwiegend aus Eisen (Fe), variablen Anteilen an Sauerstoff (O) und je nach Legierung Spuren von Kohlenstoff (C), Mangan (Mn) und Silizium (Si) (Abb. 8). Partikel mit sehr hohem Kupfergehalt stammen aus dem Oberleitungs- oder dem Motorwicklungsabrieb. Manche Eisenbahnabriebpartikel beinhalten auch neben Kupfer (Cu) einen höheren Anteil an Kohlenstoff (C) und Blei (Pb), die aus dem Stromabnehmer (Pantograph) stammen dürften. In manchen Fällen enthalten Eisenbahnpartikel auch höhere Konzentrationen von Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ), welches aus Bremsvorgängen mit Quarzsand als Bremsverstärker zurückzuführen ist.

Eisenbahnbremsabrieb ist durch das Vorkommen von zahlreichen Schwermetallen wie Fe, Cu, Zn, Sb, Ni, Mn, Cr und durch Elemente aus beigemischten mineralischen Komponenten wie Talkfasern und Glimmer (d.h. Si, Mg, Al, Ca, K etc) charakterisiert.

### Weitere Unterscheidungsmöglichkeiten

Auch die Partikelgrößenverteilung unterscheidet sich zwischen Strassen/Pneu- und Eisenbahnabrieb. Während Eisenbahnpartikel ein Maximum bei  $d_g$  2.5-5.0  $\mu\text{m}$  aufweisen, liegt das Maximum der Pneu/Strassenabriebpartikel zwischen  $d_g$  10 und 40  $\mu\text{m}$ .

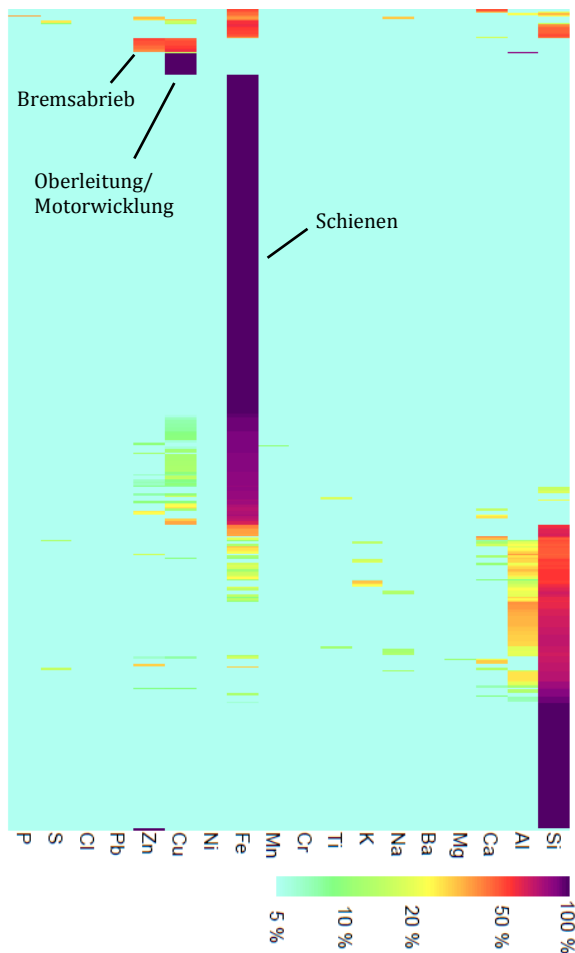


Abb. 8: Heatmap einer Umweltprobe von einem eisenbahndominierten Standort. Es wurden 520 Partikel mittels automatischer REM/EDS analysiert. In diesem Diagramm ist ersichtlich, dass mehr als 60 % der analysierten Partikel hauptsächlich aus Eisen (Fe), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) bestehen. Somit kann rückgeschlossen werden, dass mehr als 60 % der Partikel an diesem Standort aus dem Eisenbahnbetrieb stammen. Die Silizium (Si)- und Aluminium (Al)-haltigen Partikel stellen den mineralischen Hintergrund dar.

### Fazit

Die unterschiedlichen Grössenverteilungen, Morphologien und chemischen Zusammensetzungen zwischen Strassen-, Pneu- und Eisenbahnabriebpartikeln ermöglichen eine effiziente Partikelherkunftsbestimmung auf einer Umweltprobe.

Mit der neuen Methode von Particle Vision GmbH können:

- Partikelmissionen aus verschiedenen dominanten Quellen **qualitativ** und **quantitativ** differenziert werden.
- Strassen- und Eisenbahnverkehrsabrieb in einer Probe voneinander unterschieden werden.
- Verbrennungspartikel von Abriebpartikeln differenziert werden.
- Der PM10 Anteil (Partikelanzahl und Massenkonzentration) an Strassenverkehrs- und Eisenbahnstandorten bestimmt werden.

Für weitere Informationen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Dr. Juanita Rausch: 076 513 70 30

[info@particle-vision.ch](mailto:info@particle-vision.ch)  
[www.particle-vision.ch](http://www.particle-vision.ch)