

# Innovationen für die quantitative Charakterisierung von verkehrsbedingten Partikeln:

von Reifen/Strassenabrieb bis hin zu Russpartikeln



**Juanita Rausch,**  
**Mario Meier und Thomas Zünd**



# Einleitung: verkehrsbedingte Partikel



Grosse Wirkung auf...



## Klima

Störung ...

- der Strahlungsenergiebilanz
- des Wasserkreislaufs
- der Temperatur
- der Zirkulation der Atmosphäre und Ozeane

## Gesundheit

- Atemwegserkrankungen
- Herz-Kreislauferkrankungen
- Allergieverkrankungen

(e.g. Pöschl, 2005)

# Hauptfrage/Ziel dieser Studie

Die Ermittlung der Konzentration von Staub in der Atmosphäre ist sehr wichtig!  
e.g. PM10, PM2.5, PMtot ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )



Aber können wir zusätzliche Information aus Staubproben gewinnen?

**Ziel: die verschiedenen Partikelgruppen identifizieren und den jeweiligen Anteil von natürlichen und anthropogenen Partikeln quantitativ bestimmen**

# Probenahme: Sigma-2 Passivsammler



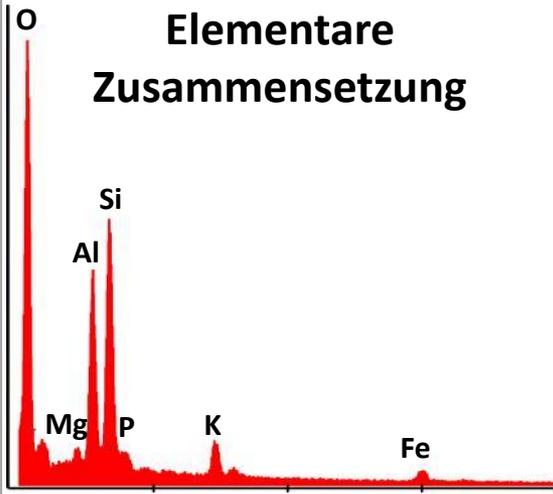
Bildbreite: ca. 20 cm

- Partikel zwischen 2.5-80  $\mu\text{m}$  geometrischen Durchmesser können quantitativ durch das Sedimentationsprinzip gesammelt werden (VDI, 2013).
- Substrat: vergoldete Alu-REM Träger (Goldsubstrate ermöglichen die morphochemische Analyse von C-haltigen Partikeln!)
- Zeitintervall der einzelnen Proben: 2 Wochen
- Abstand zur Strasse: 2.5-8 m
- Höhe zum Strassenniveau: 2-2.5 m

# Standorte: verschiedene Geschwindigkeitsbegrenzung



# Methodologie der Einzelpartikelanalyse: REM



### Morphologische Daten

- Geometrischer Durchmesser
- Fläche
- Umfang
- u.v.a.

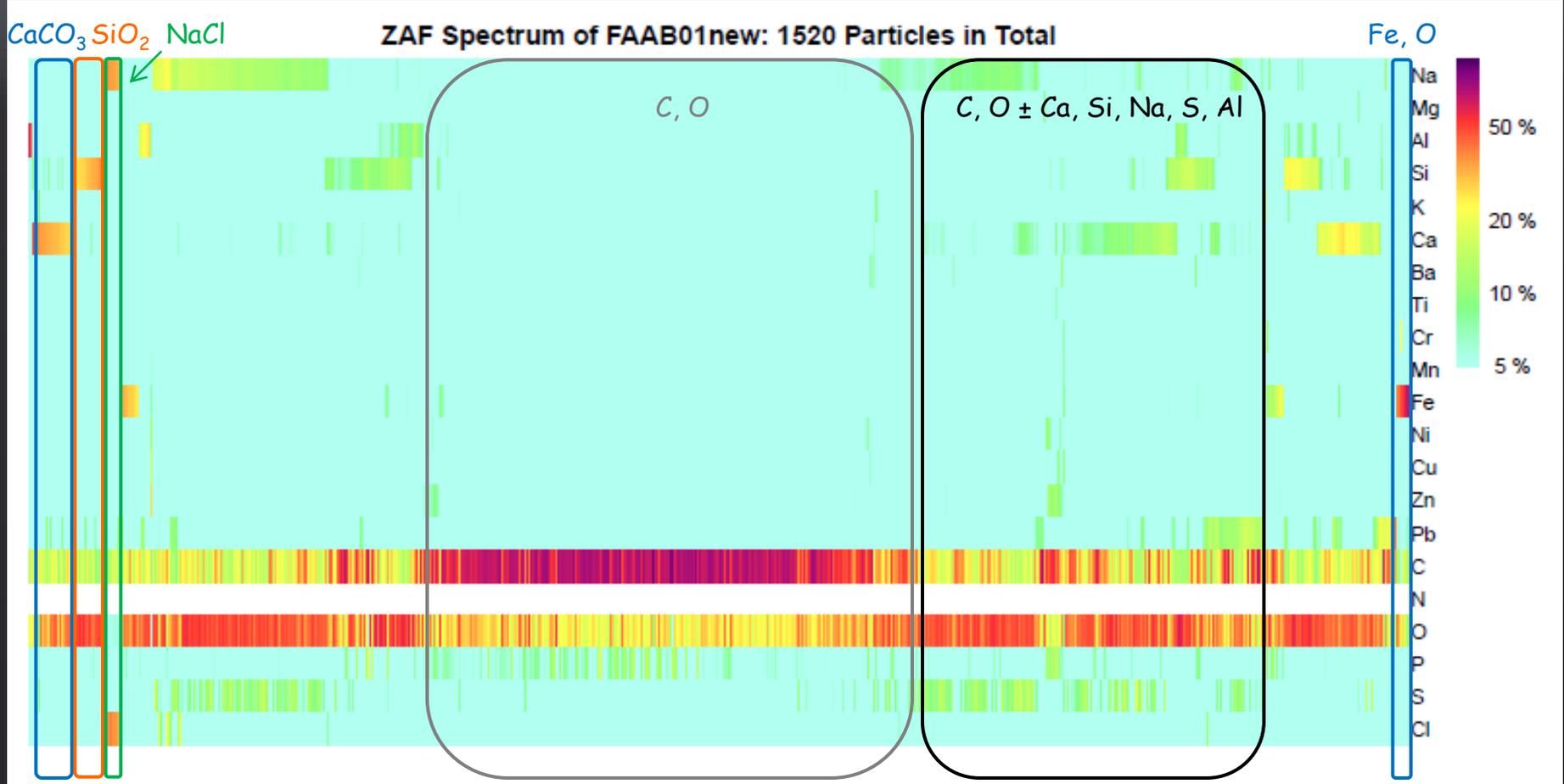
### Bestimmbare Parameter

- Partikelanzahl
- Größenverteilung
- Massenkonzentration

Bestimmbar für alle Partikel oder einzelne Größen-/Stoffklassen

# KTI (Kommission für Technologie und Innovation) Projekt: Standardisierter Partikelklassifikator für REM-Daten

Beispiel: FAAB01: 120 km/h

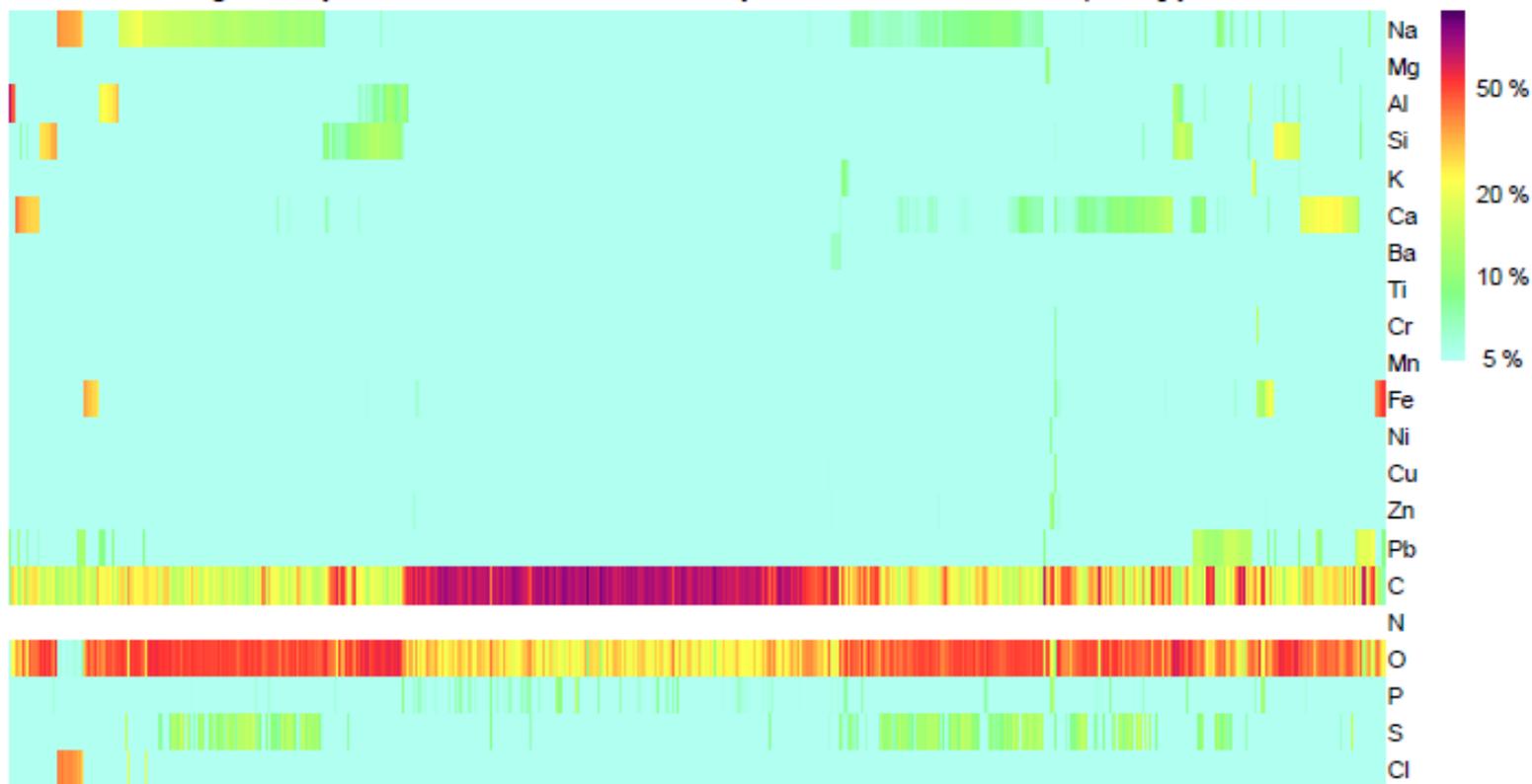


In Kooperation mit der Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften

# KTI Projekt:

## Größenklassierte Massen- und Partikelanzahlkonzentrationen

Log ZAF spectrum of FAAB01new: 586 particles with diameter (2.5,5]  $\mu\text{m}$



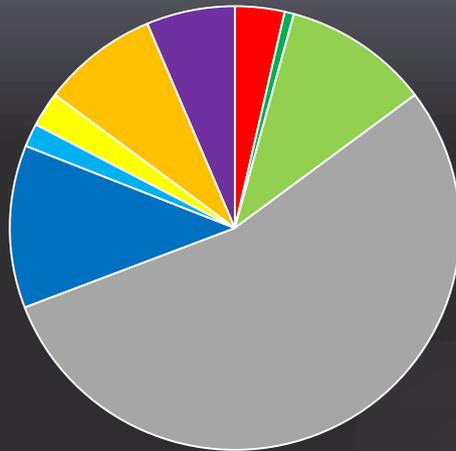
UNI  
FR

Chemische Klassifikation von Partikeln in definierten Partikelgrößen

e.g.: 2.5-5.0  $\mu\text{m}$   $\varnothing$ , 5.0-10  $\mu\text{m}$   $\varnothing$ , 10-20  $\mu\text{m}$   $\varnothing$ , 20-40  $\mu\text{m}$   $\varnothing$ , 40-80  $\mu\text{m}$   $\varnothing$

# Resultate: Berechnung der Massenkonzentration der verschiedenen chemischen Klassen

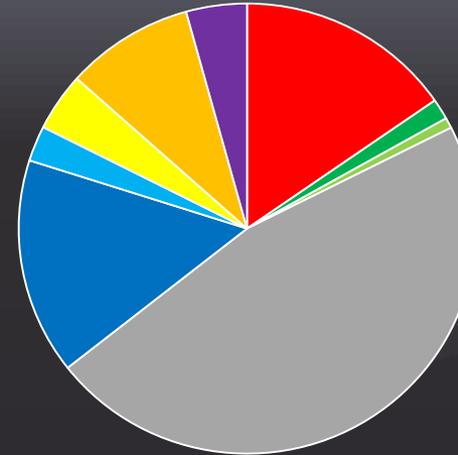
## FAAB01



- Quarz
- Gips
- Schwefel
- Kohlenstoff
- Karbonate
- Eisen
- Ca-Silikate
- Andere Silikate
- Andere

PM<sub>C</sub> bei 120 km/h; 12.0 µg · m<sup>-3</sup>

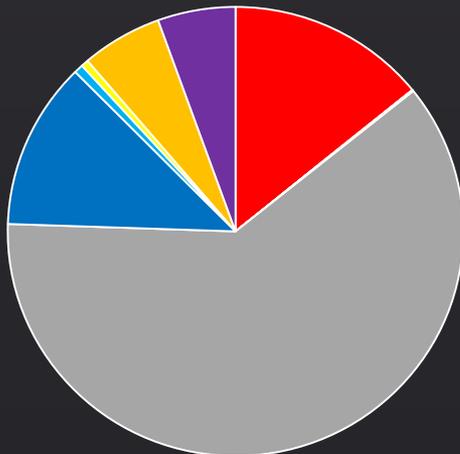
## FAAB03



- Quarz
- Gips
- Schwefel
- Kohlenstoff
- Karbonate
- Eisen
- Ca-Silikate
- Andere Silikate
- Andere

PM<sub>C</sub> bei 80 km/h; 3.6 µg · m<sup>-3</sup>

## FAAB04



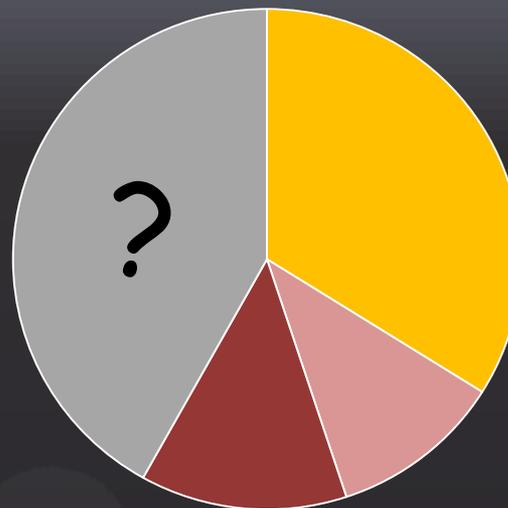
- Quarz
- Gips
- Schwefel
- Kohlenstoff
- Karbonate
- Eisen
- Ca-Silikate
- Andere Silikate
- Andere

PM<sub>C</sub> bei 50 km/h; 3.4 µg · m<sup>-3</sup>

Zeitraum: 29.8 - 11.9.2014  
Probenahme: Sigma-2 Passivsammler  
Akzeptorfläche: Goldsubstrate  
Analysemmethode: REM-EDS

# Resultate: weitere Unterteilung der C-dominierenden Partikeln auf chemischer Basis

Konzentration Total (2.5 - 80 µm)			
	FAAB01	FAAB03	FAAB04
	Cm (µg/m3)	Cm (µg/m3)	Cm (µg/m3)
Quarz	0.611587447	0.96197281	0.863055287
Gips	0.114382504	0.093193933	0
Schwefel	1.805983395	0.046772538	0.006084169
Kohlenstoff	9.336936164	2.929367862	3.737212147
Karbonate	2.035041513	0.971653641	0.734669083
Eisen	0.290602995	0.159364773	0.03931132
Ca-Silikate	0.43470184	0.260937716	0.031629123
Andere Silikate	1.439066014	0.56911195	0.350163748
Andere	1.089602372	0.269212906	0.336647132
Konzentration Coarse (2.5 - 10 µm)			
	FAAB01	FAAB03	FAAB04
	Cm (µg/m3)	Cm (µg/m3)	Cm (µg/m3)
Quarz	0.260555477	0.396453837	0.387277803
Gips	0.114382504	0.093193933	0
Schwefel	1.593009231	0.046772538	0.006084169
Kohlenstoff	7.217656766	2.016390727	2.080711349
Karbonate	0.984629131	0.477574647	0.371160416
Eisen	0.227312832	0.09021179	0.03931132
Ca-Silikate	0.14615729	0.043913571	0.031629123
Andere Silikate	0.689008445	0.182137233	0.196077109
Andere	0.793557641	0.213487777	0.283941531



- Pollen  
C, O, P ± K, S
- Reifen/Strassenabrieb  
C, O, Si, Ca ± S, K, Al, Fe, Zn, P, Cu
- Reifenabrieb (ohne Ca)  
C, O, Si ± Al, P, S, Fe, Zn, Cu
- C-dominierte (unklassiert)

Und nun?

Können uns morphologische Parameter weiter helfen?

# Fraktalanalyse

## Quantitative Charakterisierung der Partikel Morphologie

**Fraktal:** fraktale Objekte weisen einen hohen Grad von Skaleninvarianz bzw. Selbstähnlichkeit auf (d.h. das Objekt besteht aus mehreren verkleinerten Kopien seiner selbst).

Beispiele in der Natur:

Grüner Blumenkohl «Romanesco»



Baum



Flusssystem



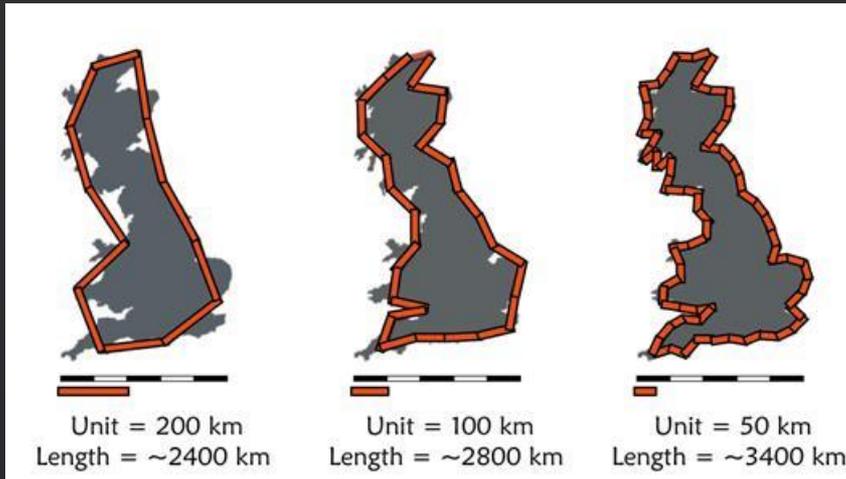
... Blutgefäße, Pflanzen (e.g. Farnen), Küstenlinie usw...

# Fraktalanalyse

## Quantitative Charakterisierung der Partikel Morphologie

### Klassisches Beispiel:

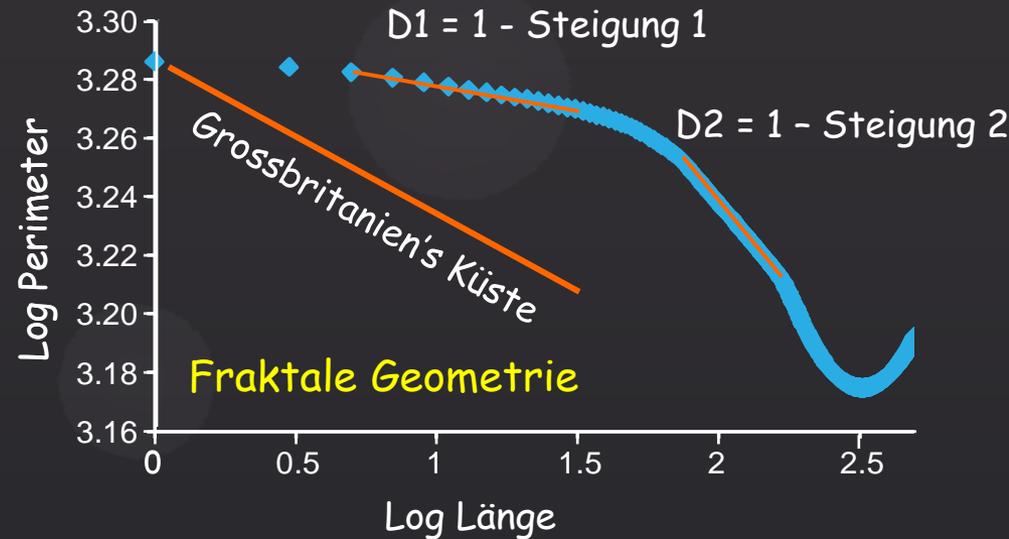
Wie lang ist die Küste von Grossbritannien?



Modifiziert nach Mandelbrot (1967)

Je kleiner die Messeinheit, desto grösser der Perimeter des analysierten Objektes.

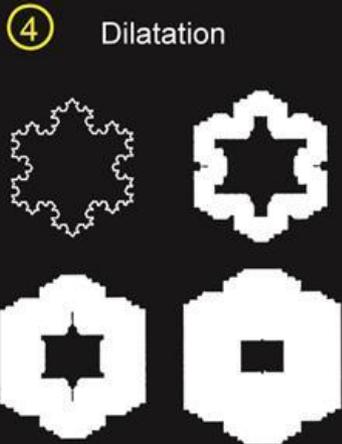
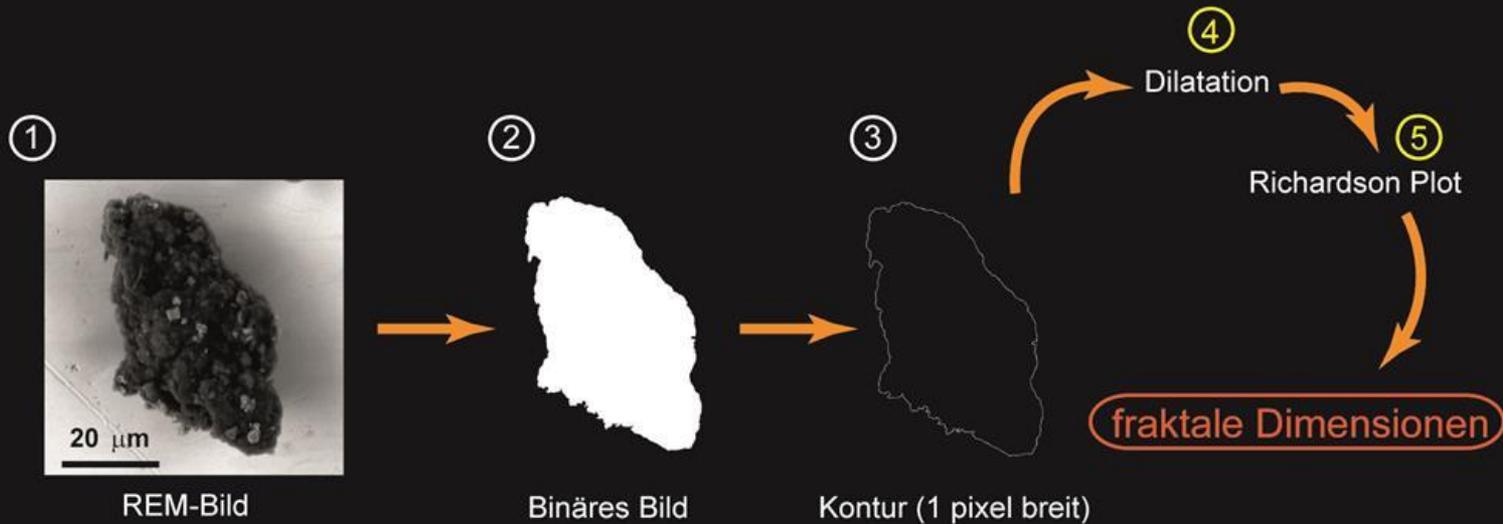
Richardson Plot :



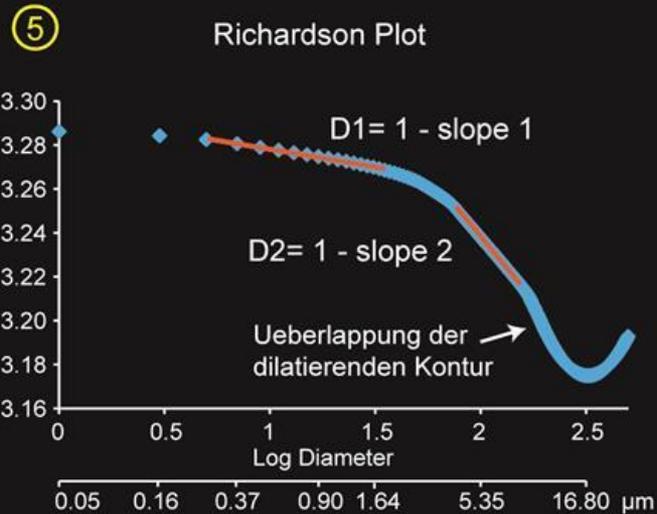
Zwei Steigungen = Pseudofraktale Geometrie mit:

D1: textuelle fraktale Dimension  
D2: morphologische fraktale Dimension

# Fraktalanalyse: methodologische Schritte



Flook (1978)



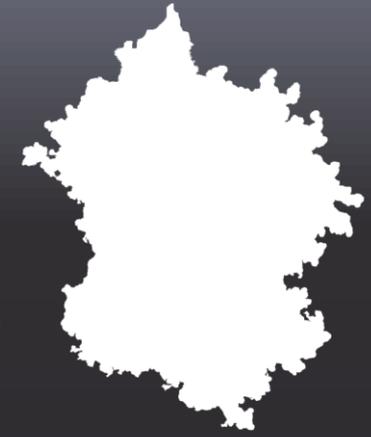
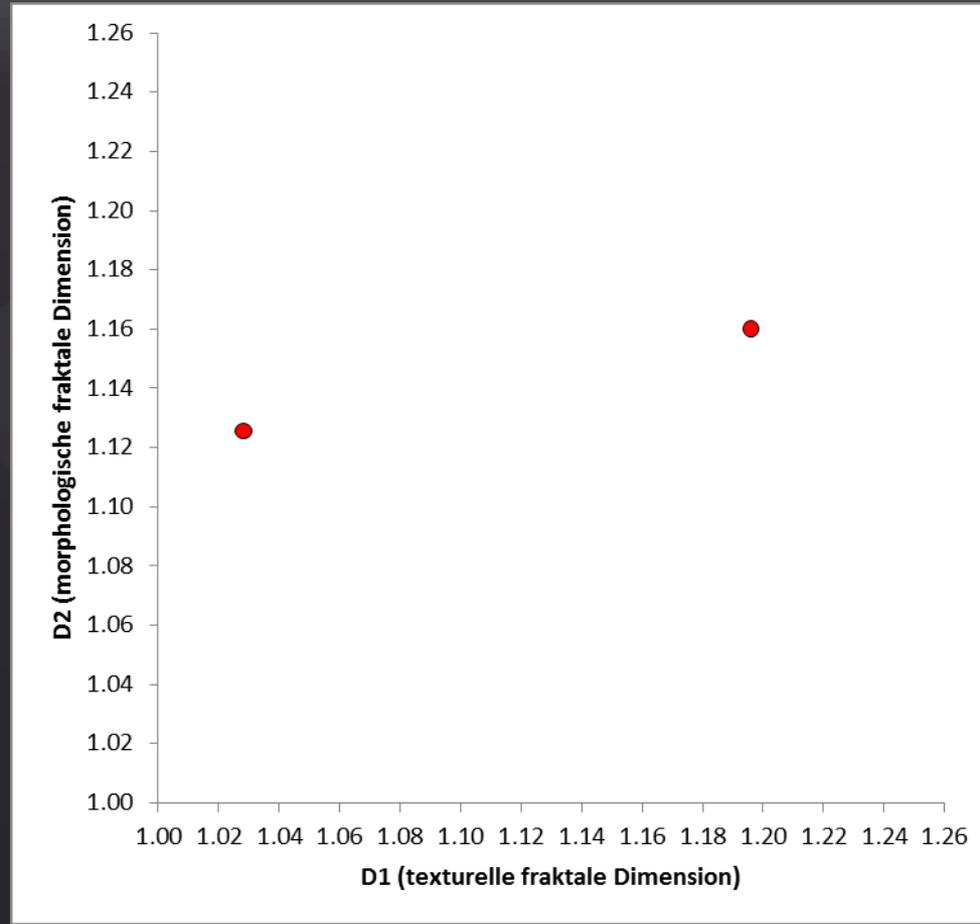
D1: textuelle (small-scale) fraktale Dimension  
D2: morphologische (large-scale) fraktale Dimension



# Fraktale Geometrie: D1 vs. D2 Diagramm



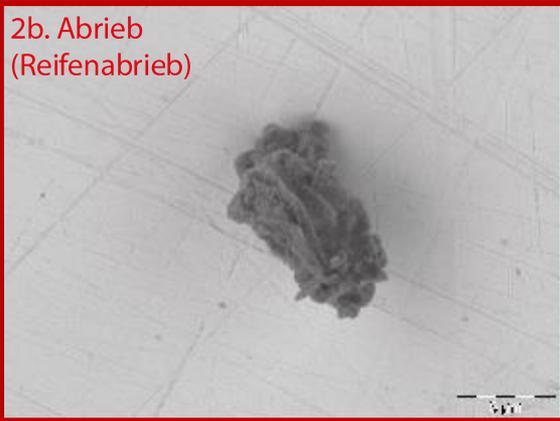
Ähnliche Morphologie  
(D2 Werte).  
Aber einfachere  
Textur (D1 Werte)!



Komplexe Morphologie  
und Textur (D1 und  
D2 Werte).

# FAAB (Fraktal-Analyse auf ABriebpartikeln):

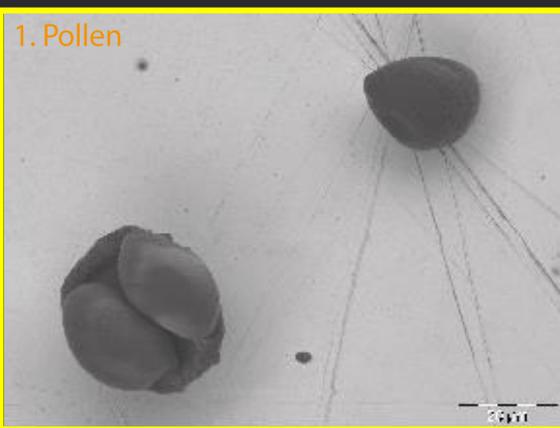
2b. Abrieb  
(Reifenabrieb)



2a. Runder Abrieb  
(Strassenabrieb)

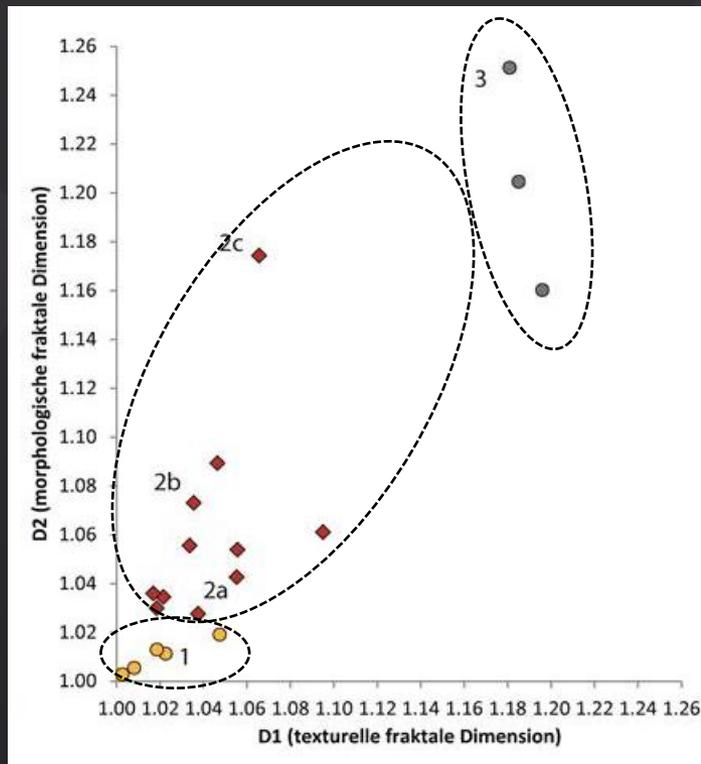


1. Pollen

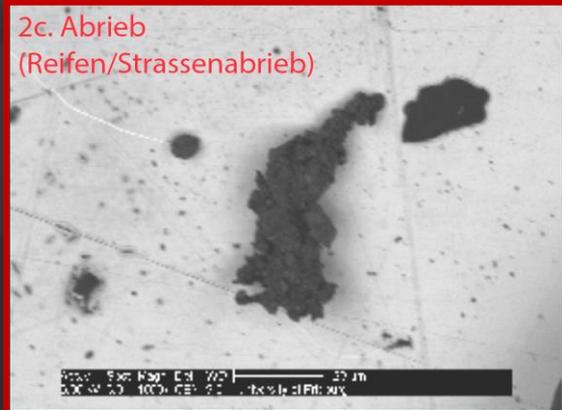


## Schlussfolgerung:

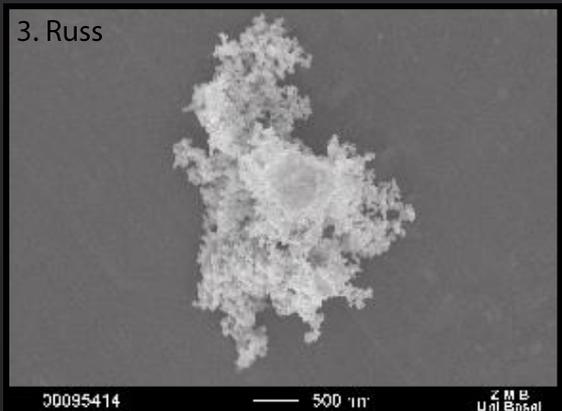
Partikel unterschiedlicher Quellen weisen unterschiedliche fraktale Dimensionen auf.



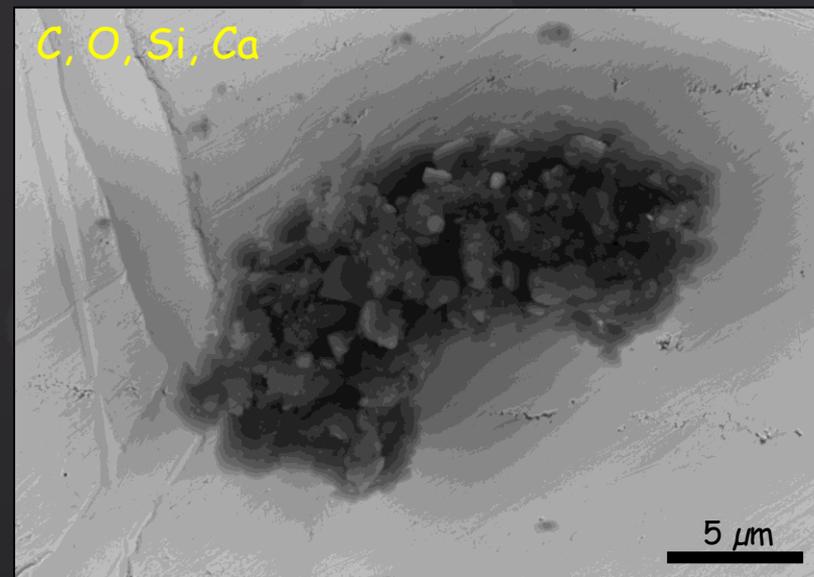
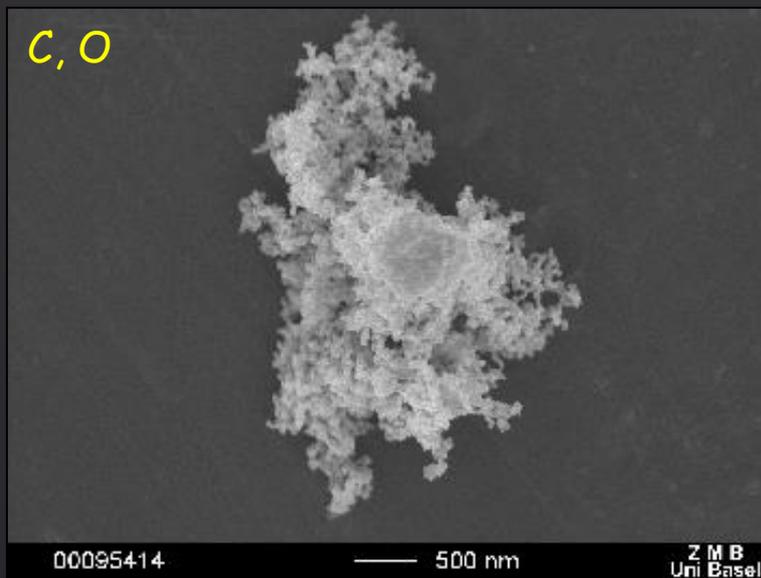
2c. Abrieb  
(Reifen/Strassenabrieb)



3. Russ



# Fazit



Chemische und morphologische Unterscheidungsmerkmale

Eine Quantifizierung der Massenkonzentration von Abriebpartikeln, Pollen und Russagglomeraten ist möglich!

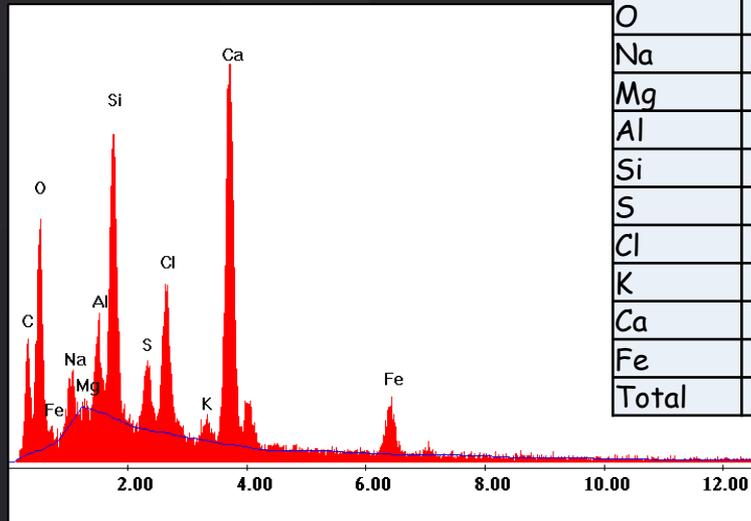
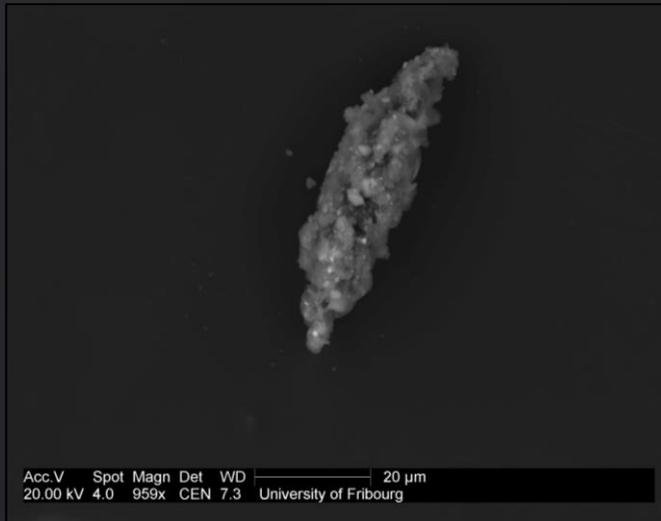
# Ausblick

## A.) Automatisierung der Methodologie:

- Unterscheidung der Partikel auf chemischer Basis: Standardisierter Partikelklassifikator
- Routine für die Fraktalanalyse existiert bereits. Routine für Bildbearbeitung notwendig für Fraktalanalyse wird entwickelt

## B.) Entwicklung von Borsubstraten:

- Borsubstrate erlauben eine optimale morpho-chemische Analyse für Kohlenstoff bis Blei.



Element	wt. %
C	29.77
O	28.5
Na	2.6
Mg	0.18
Al	2.48
Si	8.14
S	2.03
Cl	4.66
K	0.73
Ca	15.37
Fe	5.55
Total	100



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!

Email: [juanita.rausch@particle-vision.ch](mailto:juanita.rausch@particle-vision.ch)

