

---

Simulation der Partikelfiltration mit

**GEO** DICT

---

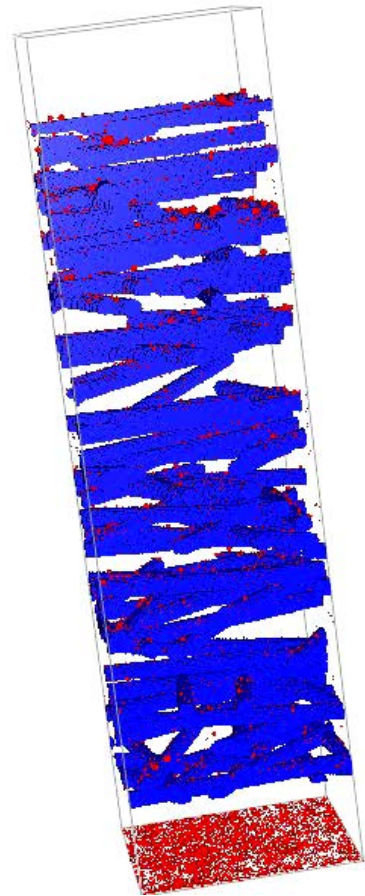


**Fraunhofer**  
ITWM

**MATH**  
2 MARKET

---

# Simulation der Partikelfiltration mit



---

Dr. Andreas Wiegmann

Dr. Stefan Rief

Dr. Jürgen Becker

Dr. Liping Cheng

Fraunhofer-Institute für Techno- und Wirtschaftsmathematik  
und Math2Market GmbH,  
Kaiserslautern

**11<sup>th</sup> Symposium *Textile Filters***

**Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.**

March 6<sup>th</sup> & 7<sup>th</sup> 2012, Chemnitz

---

---

## Wieso Math2Market & Fraunhofer ITWM / SMS?

Math2Market GmbH ist Ausgründung, die GeoDict vermarktet und entwickelt

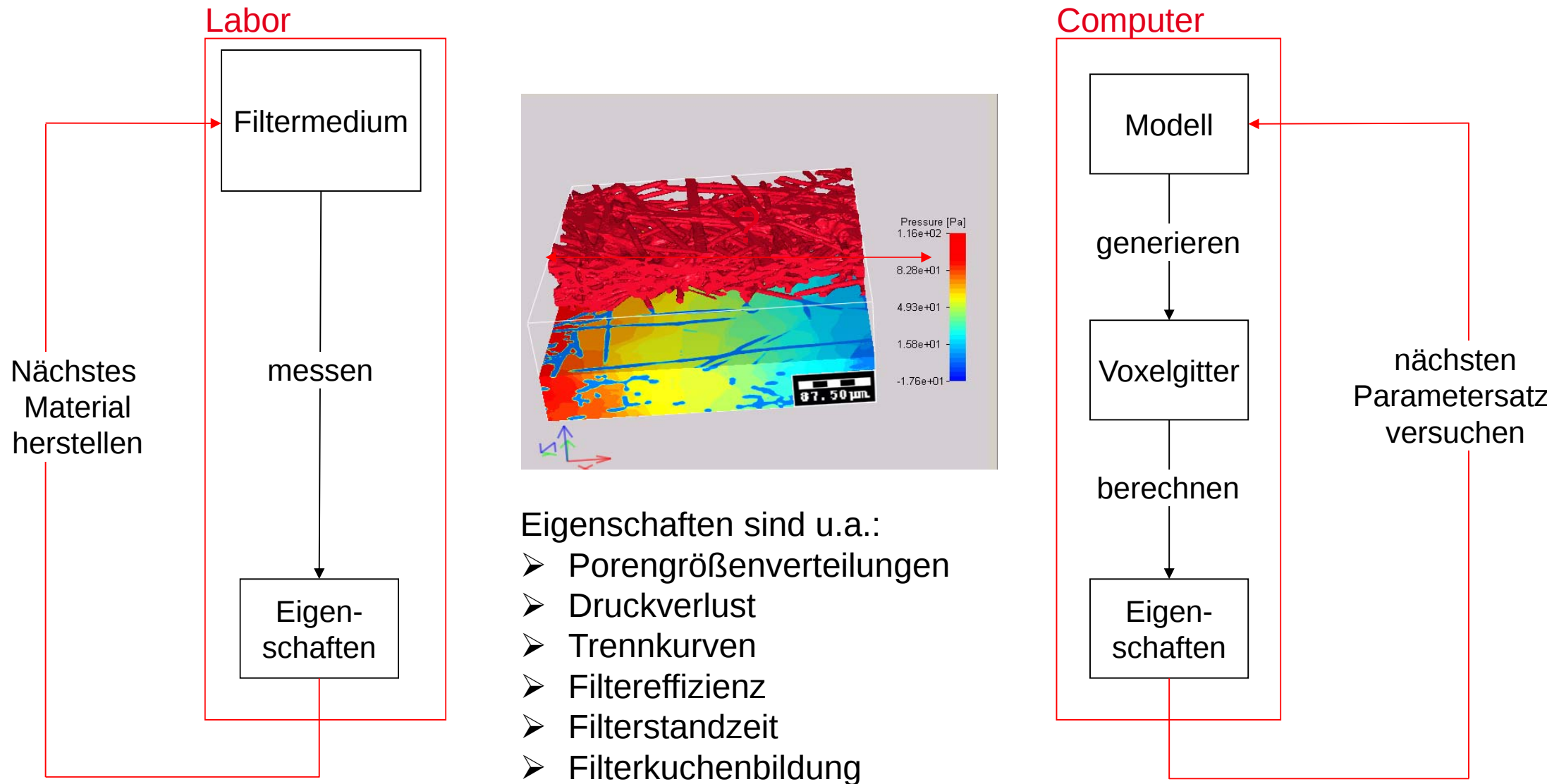
M2M gegründet 9/2011; Kern Team 4 Mitarbeiter wechseln im Laufe 2012 von SMS in M2M

Dr. Wiegmann ist bis 30. Juni 2012 sowohl

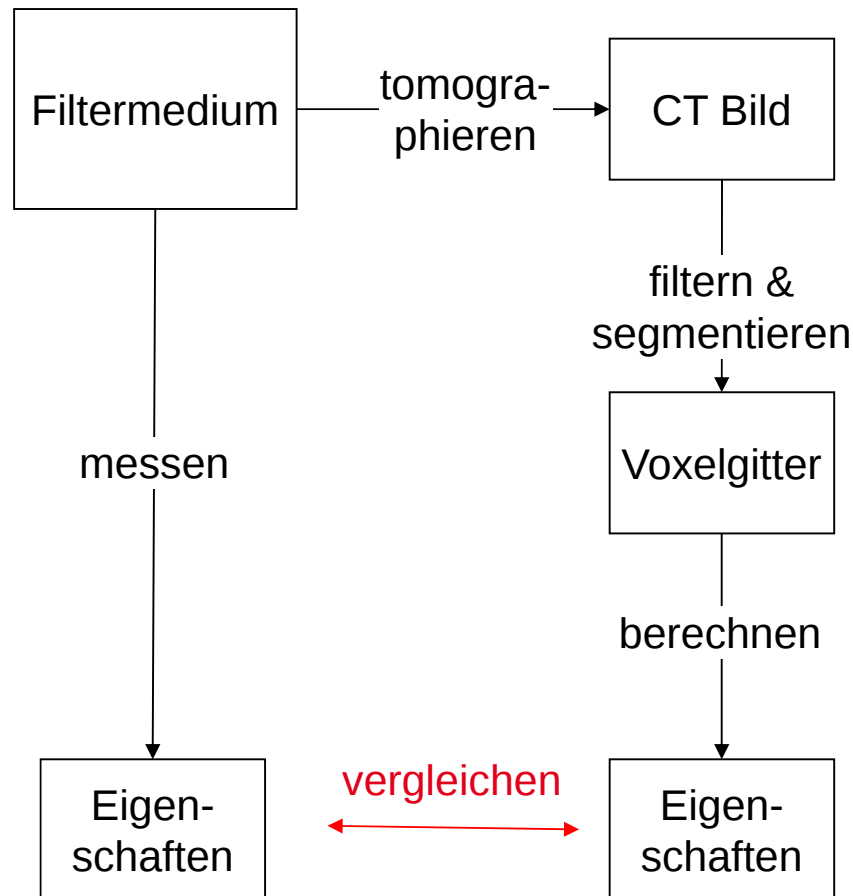
- Geschäftsführer der Math2Market GmbH (50% -> 100%)
- Stellvertretender Abteilungsleiter SMS am Fraunhofer ITWM (50% -> 0%)

M2M bietet

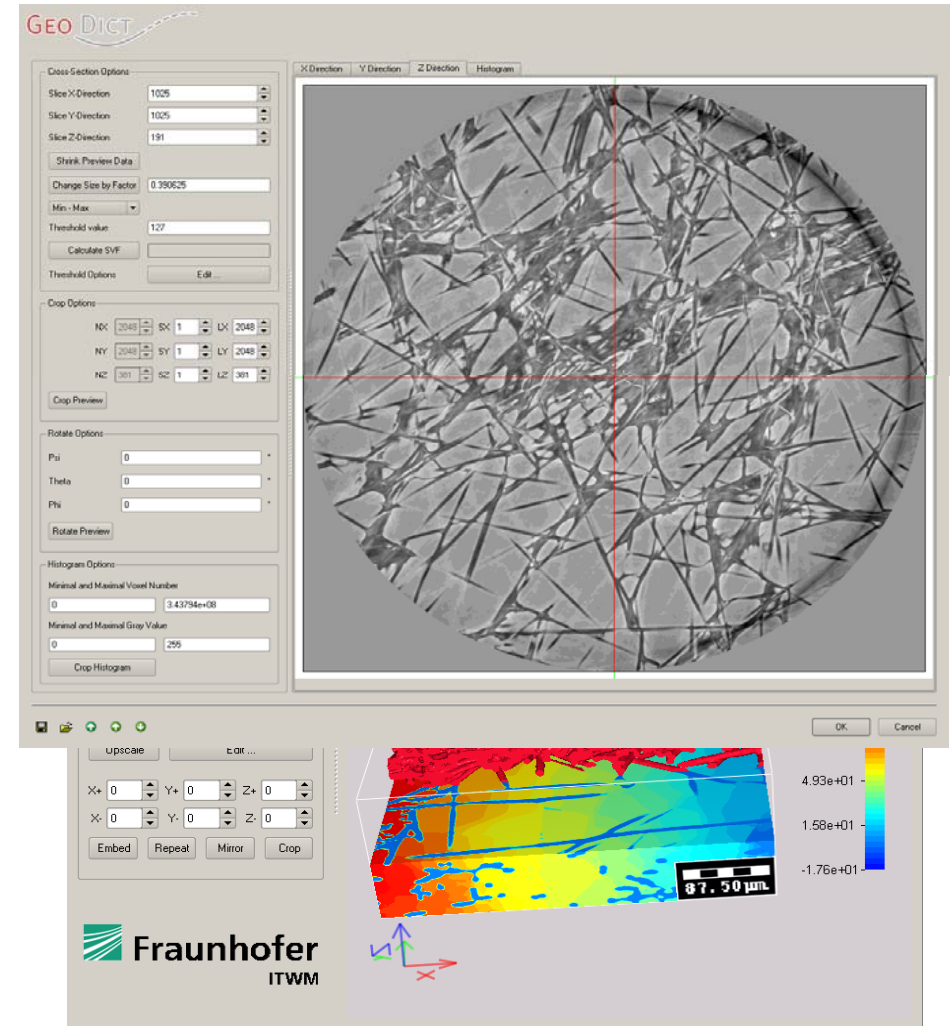
- Lizenzen
- Software support,
- Beratung zur Modellierung,
- GeoDict-basierte Dienstleistungen, Ingenieurbüro
- Kommerzielles Softwareengineering &
- Enge Anbindung ans Fraunhofer ITWM wenn mathematische Forschung benötigt wird



## Validierung – Schritt 1:

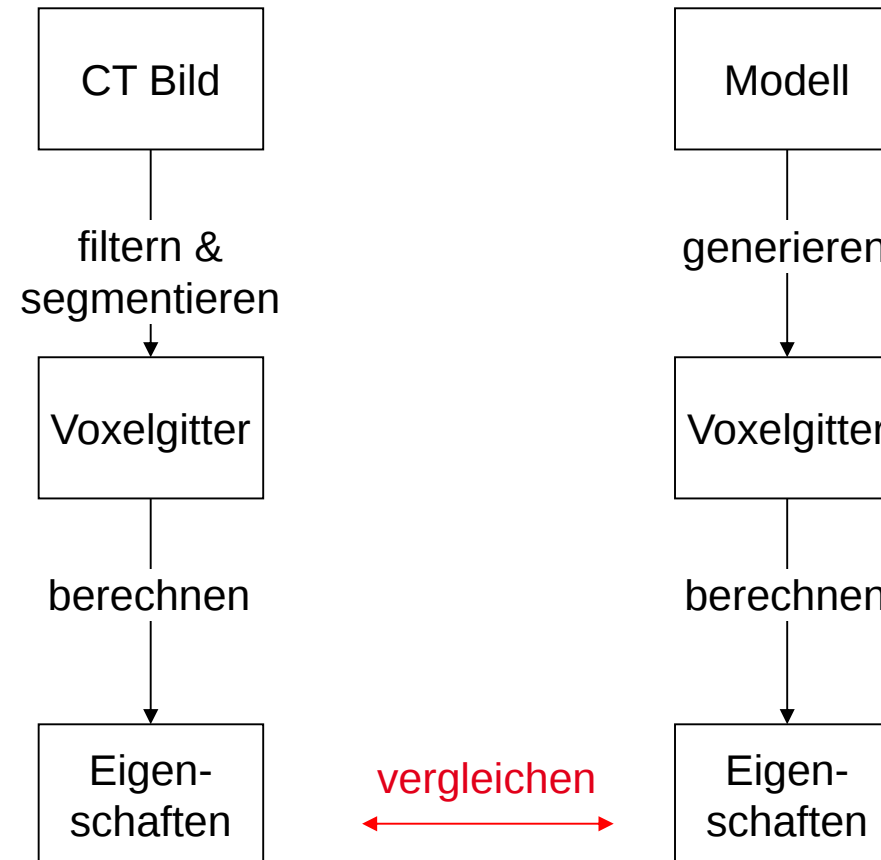


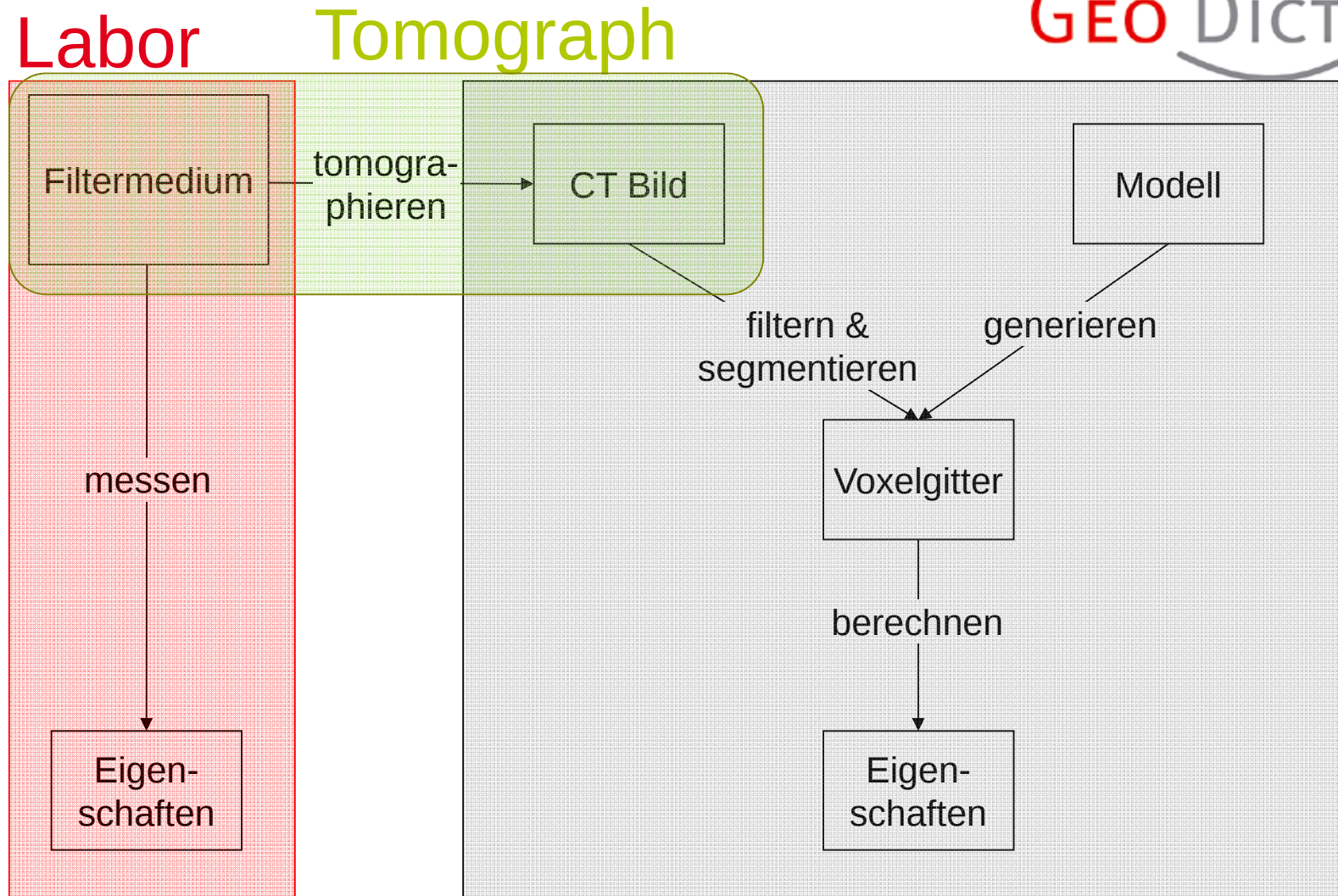
## Eigenschaftsberechnungen



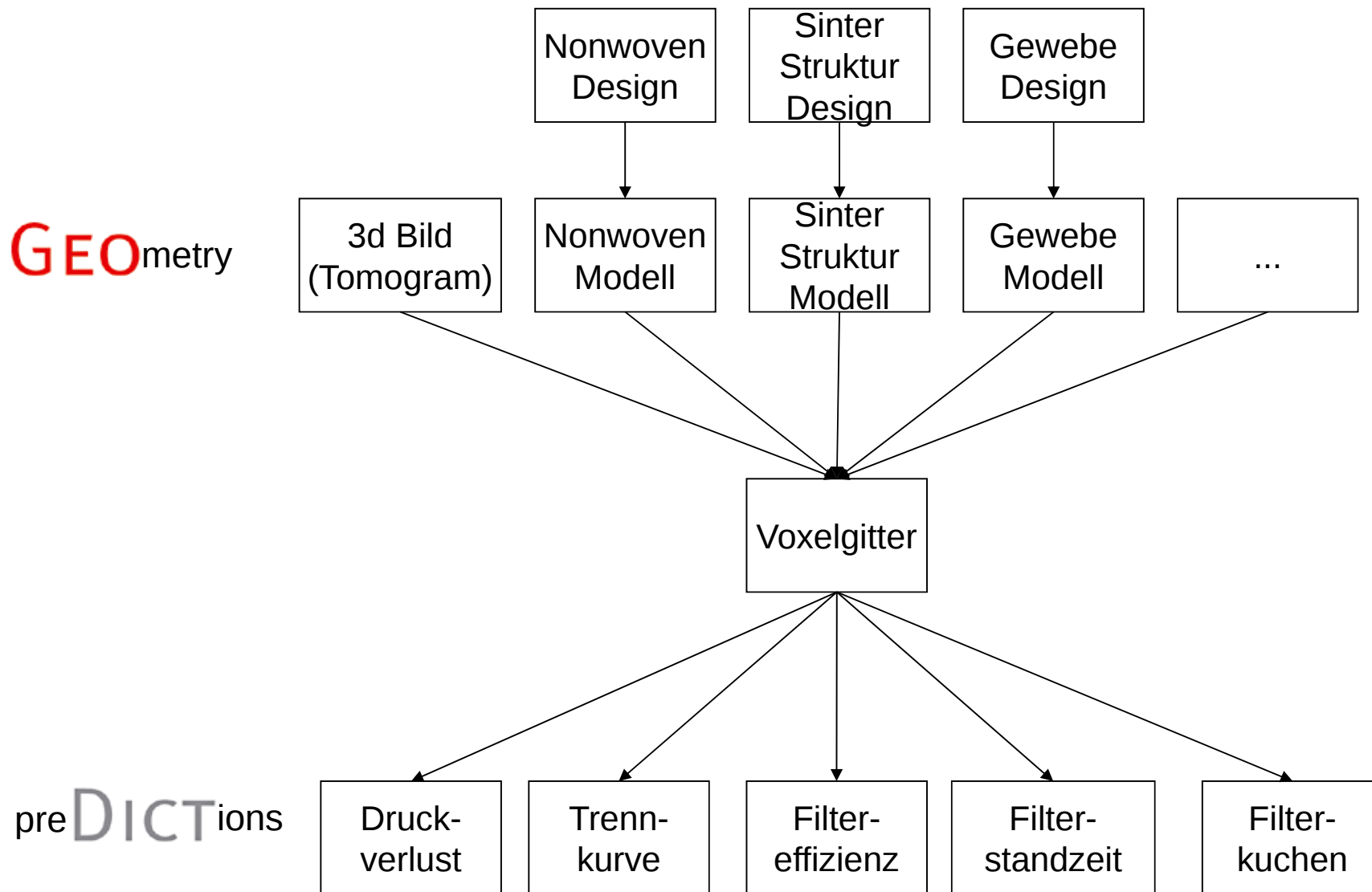
## Validierung – Schritt 1:

## Materialmodelle



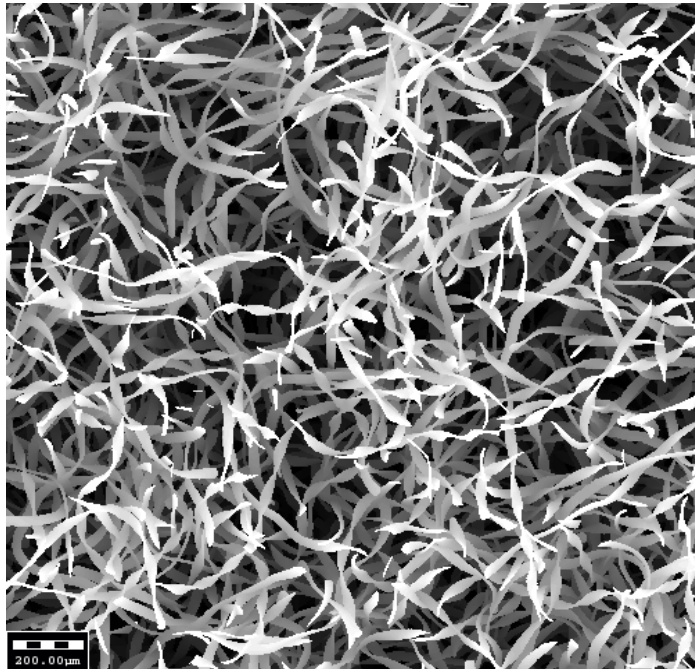


GEOmetry

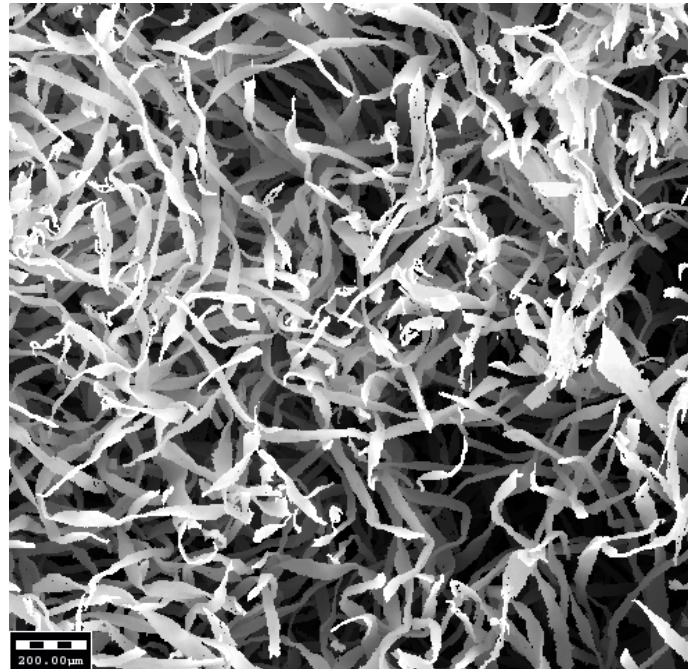


preDICTions

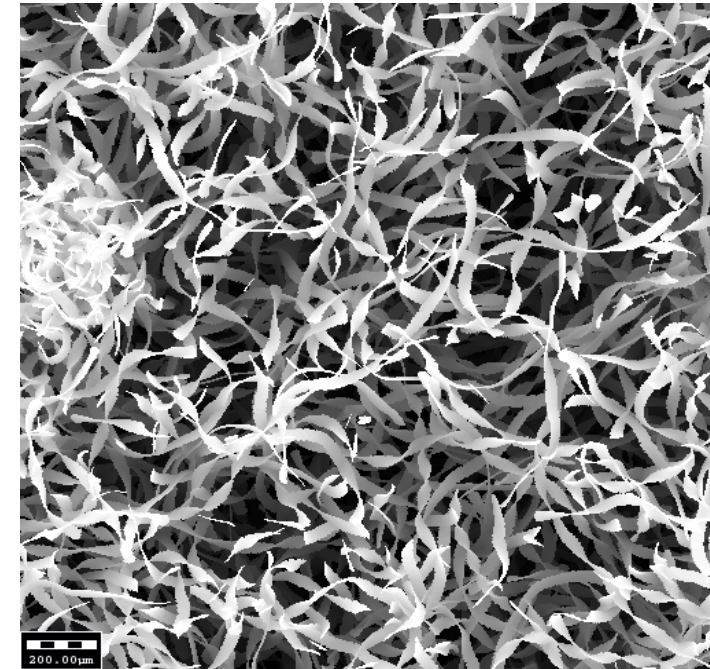
## Modell eines Vlieses



homogen



tomographiert



inhomogen

## GeoDict's vier Beschreibungssprachen (textiler) Filtermedien

- **Design:**  
Faserorientierung, Porosität / Flächengewicht, Faserdurchmesser / dtex, Faserquerschnittsform, Faserkrümmung, etc.
- **Objekte:**  
ns (Anzahl Segmente),  
Punkt(1), Punkt(2), ..., Punkt(ns), Durchmesser
- **Bild:**  
nx, ny, nz, (Anzahlen der Voxel in den drei Richtungen),  
dx, dy, dz, (Längen der Voxel in den drei Richtungen),  
c(1,1,1), c(1,1,2), c(1,1,3), ... c(nx, ny, nz)
- **Oberfläche:**  
nt (Anzahl Dreiecke),  
P(1,1),P(1,2),P(1,3),P(2,1),P(2,2),P(2,3),P(3,1),P(3,2),P(3,3),...,P(nt,1),P(nt,2),P(nt,3)

# Virtuelles Papier: zellulose Fasern & Feinstoffe



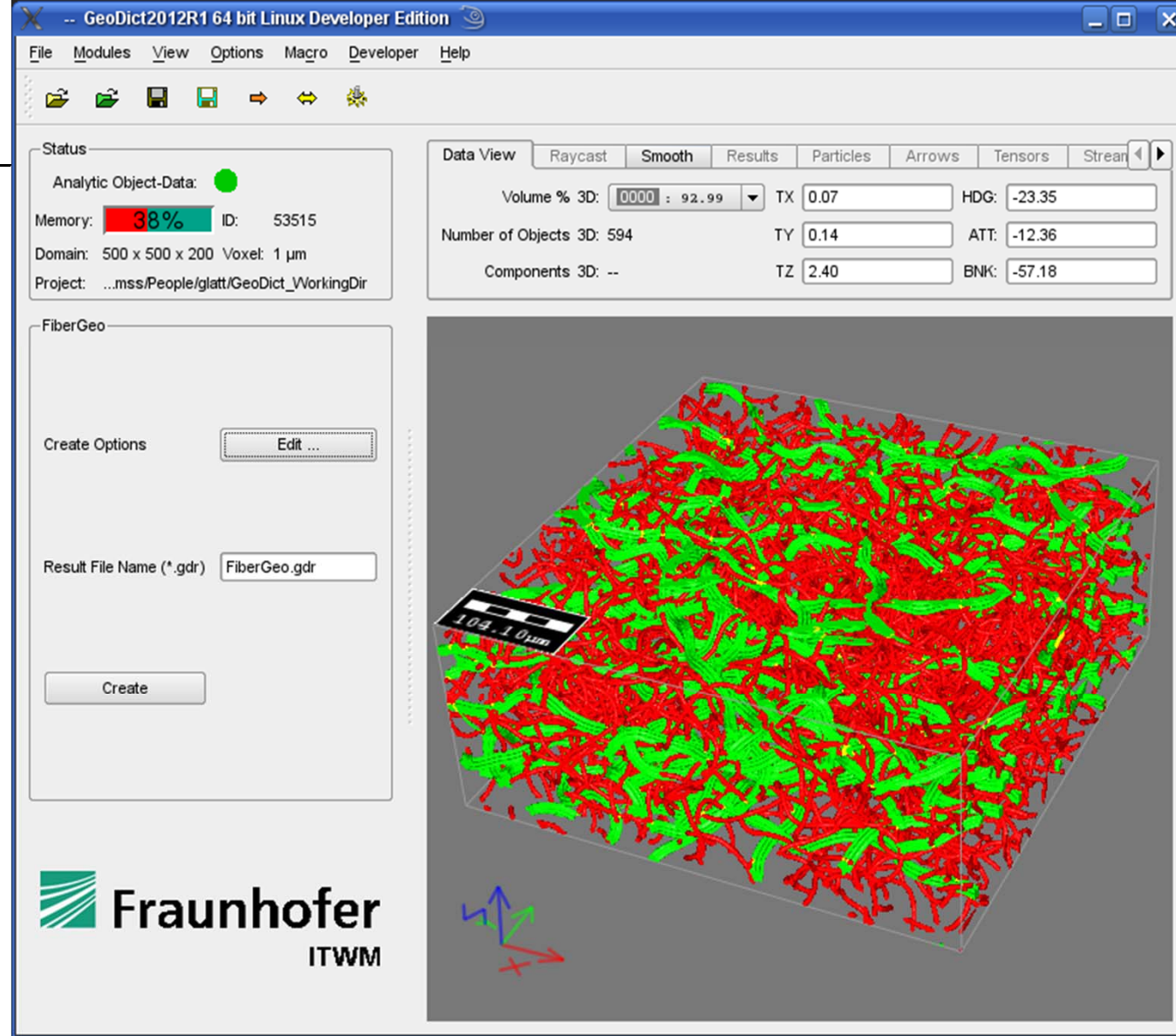
paper.gmc



paper.gad



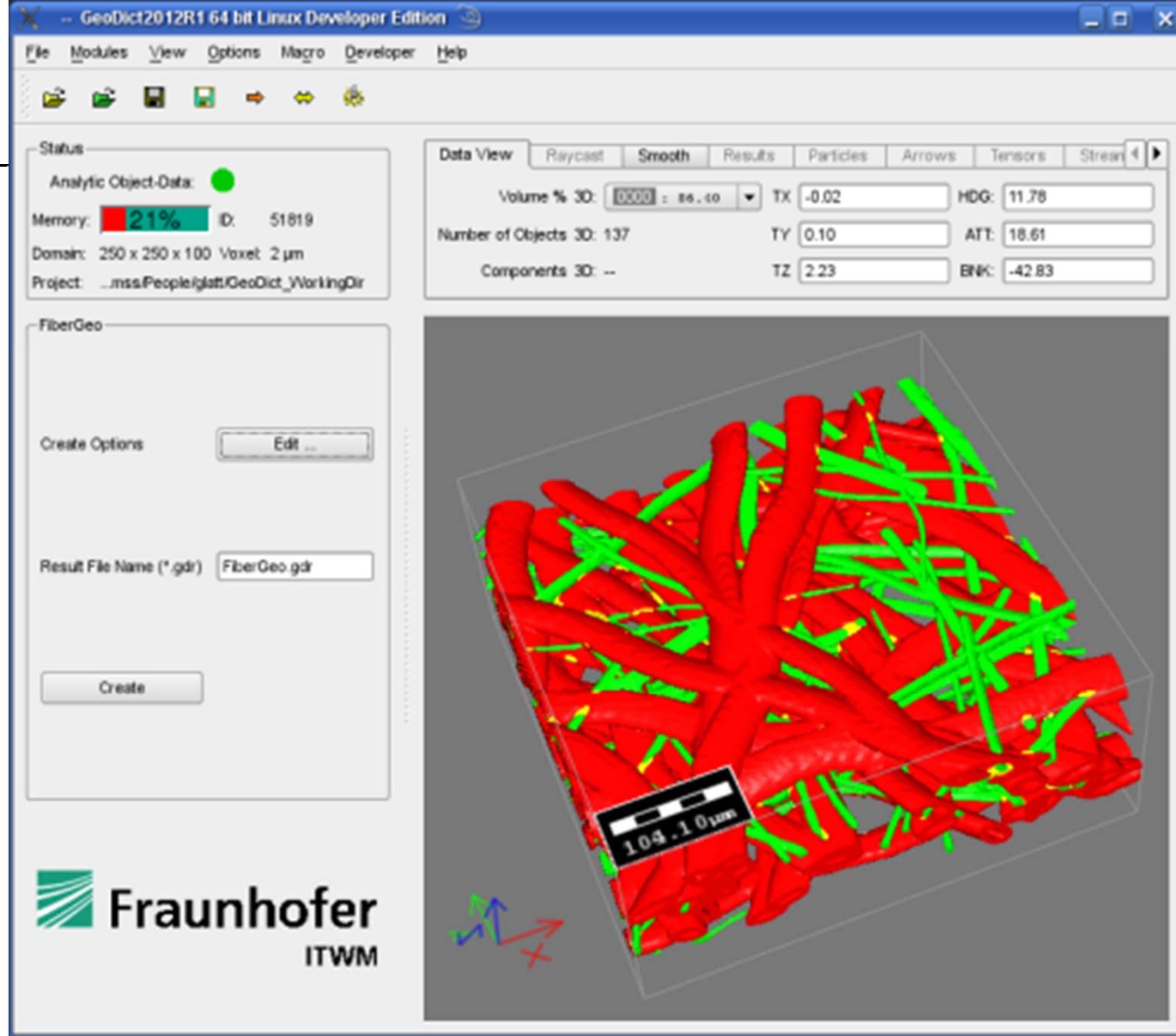
paper.leS



# Virtuelles Meltblown: gekrümmte Fasern



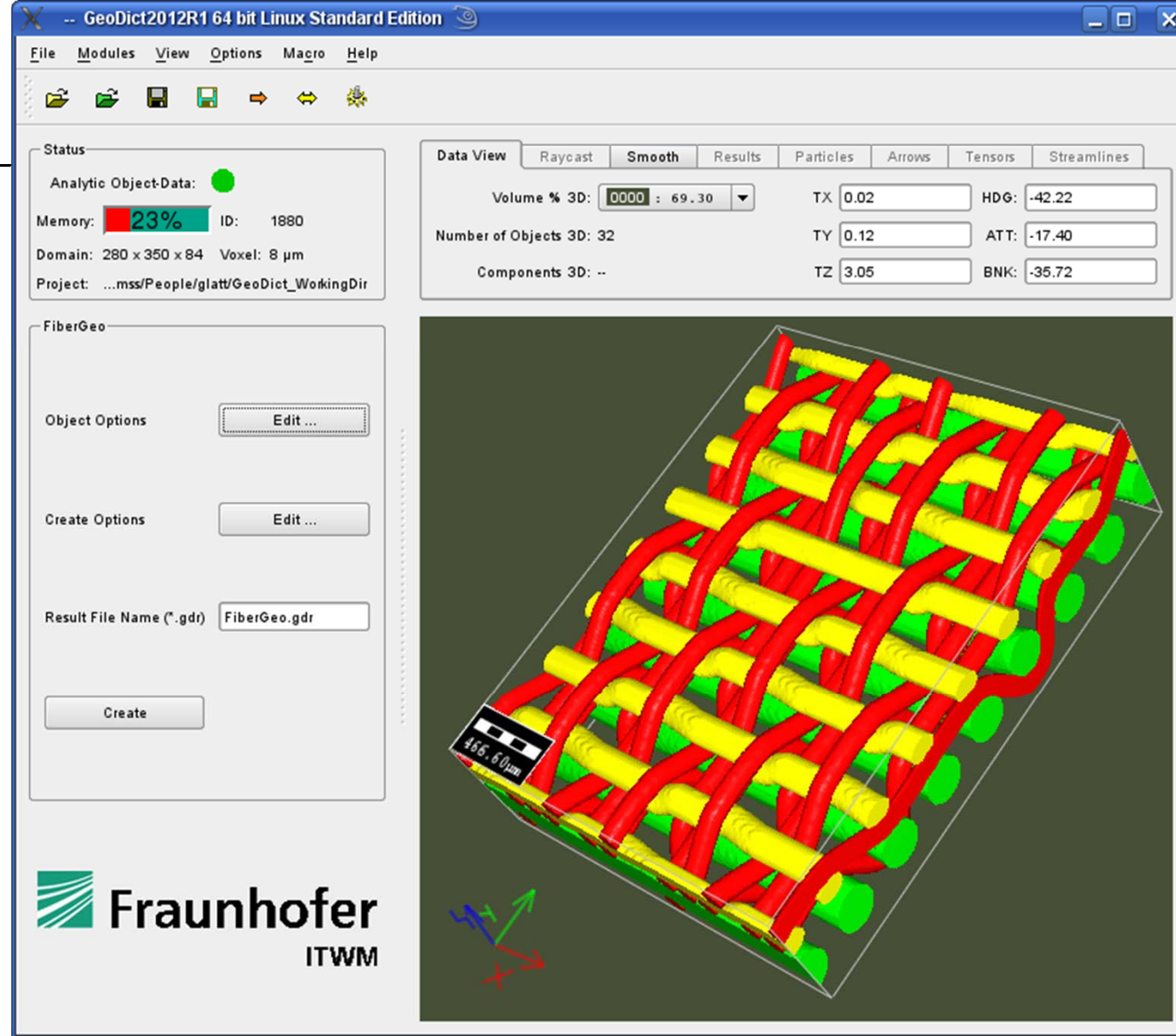
meltblown.gmc



# Virtuelle Gewebe: Mehrlagigkeit



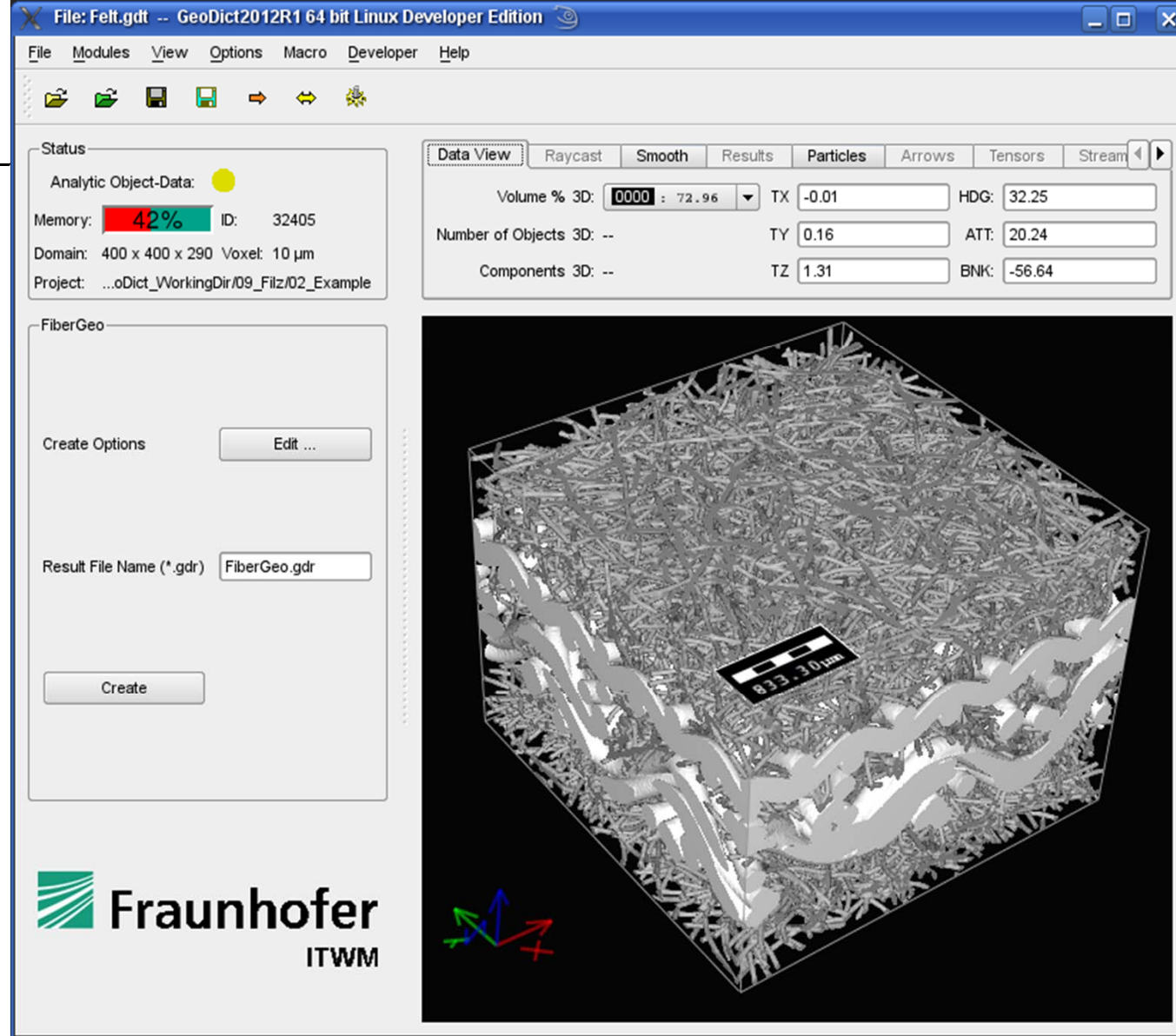
weave.gmc



# Virtuelles Filz: Gewebe, Vlies & Vernadlung



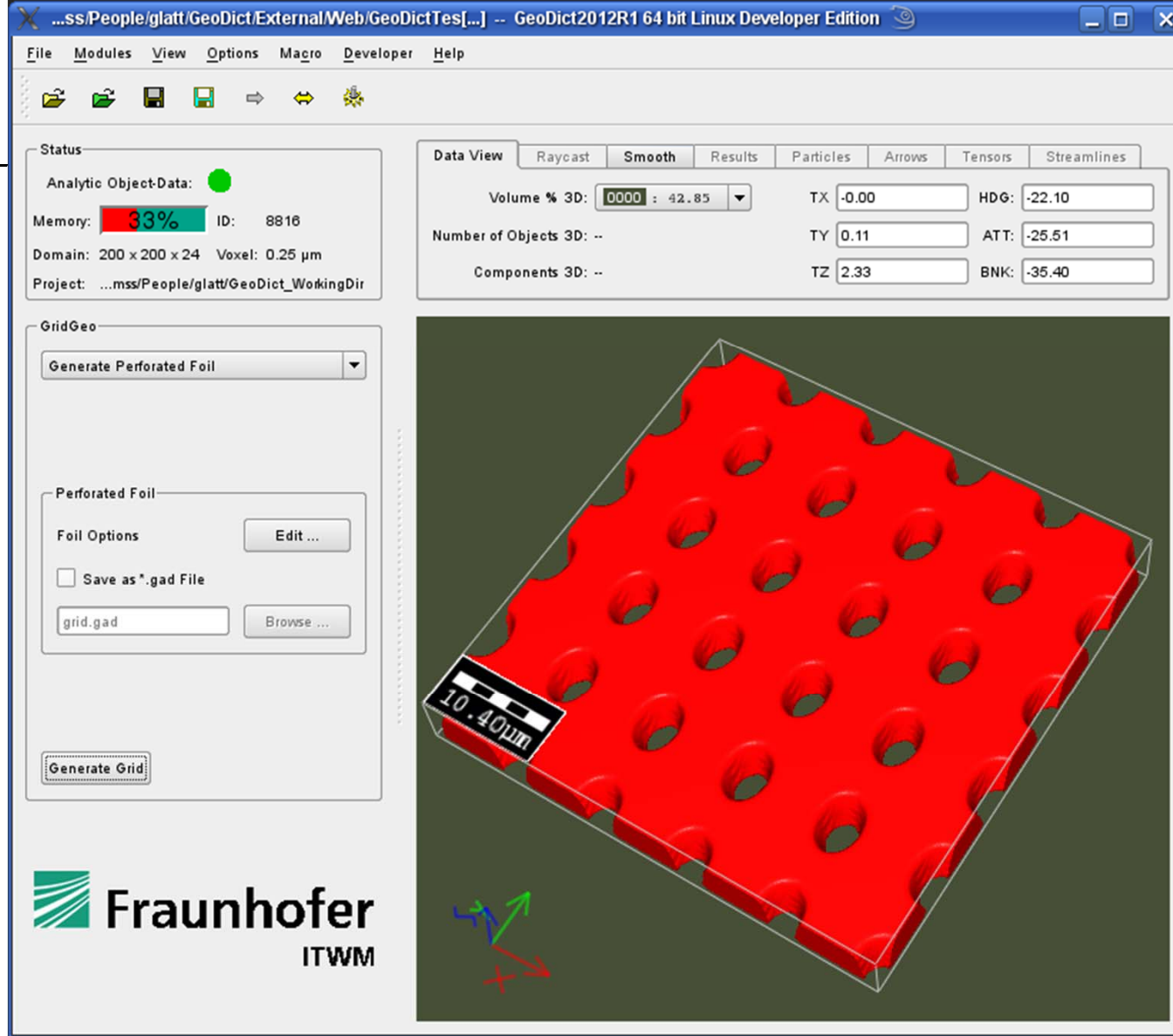
felt.gmc



# Virtual foil: oval & conical holes in arbitrary patterns



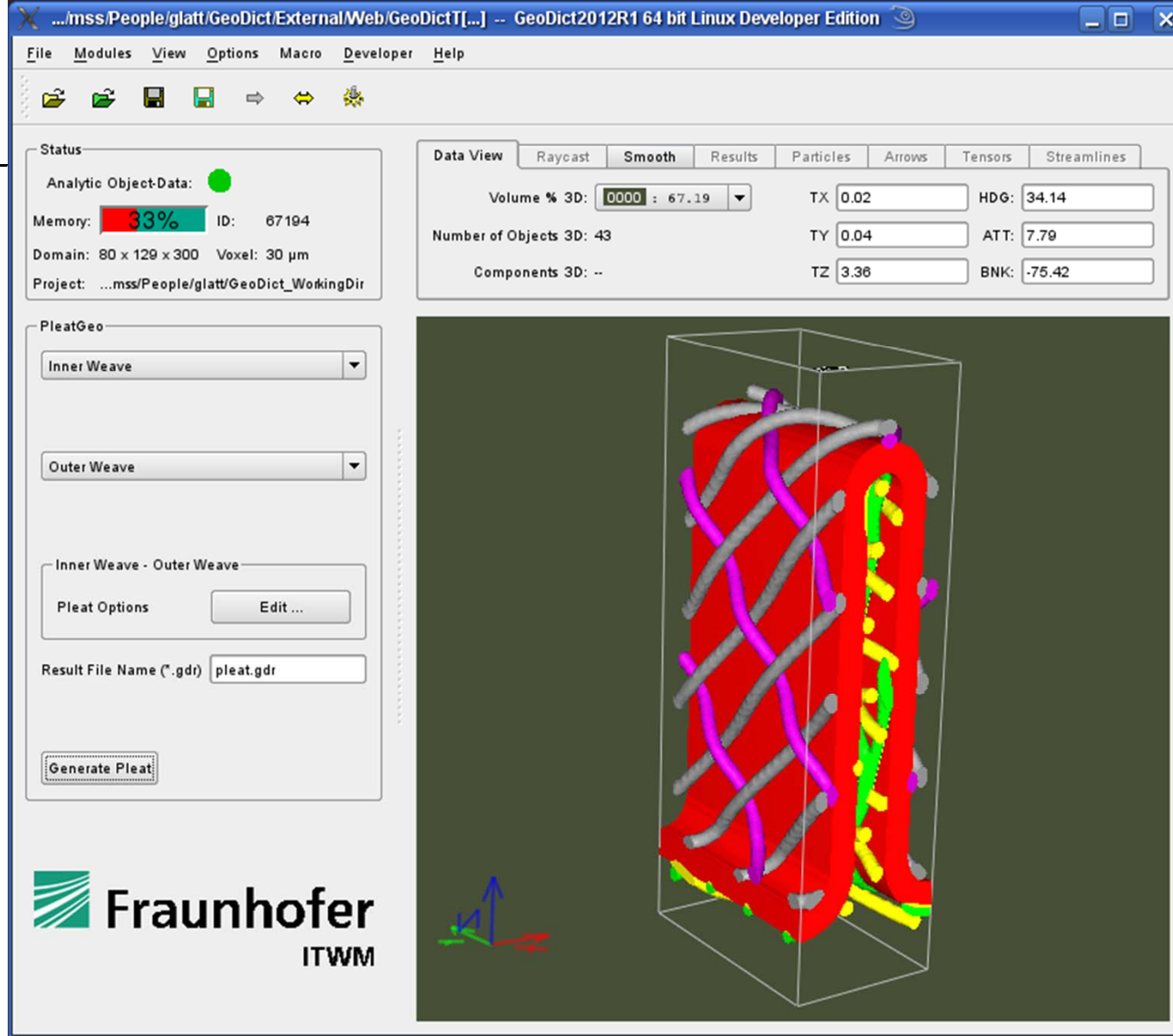
foil.gmc



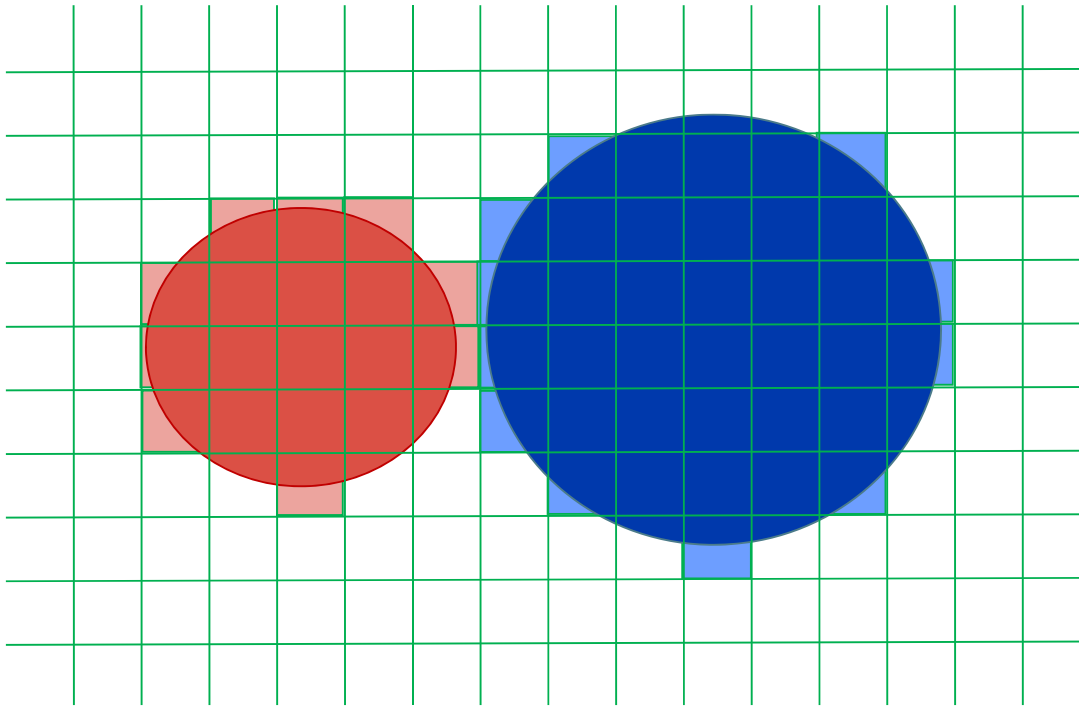
# Virtual pleat: filter media + interior and exterior support structures



pleat.gmc



# GeoDict Strukturen & Simulationen basieren auf winzigen Würfeln



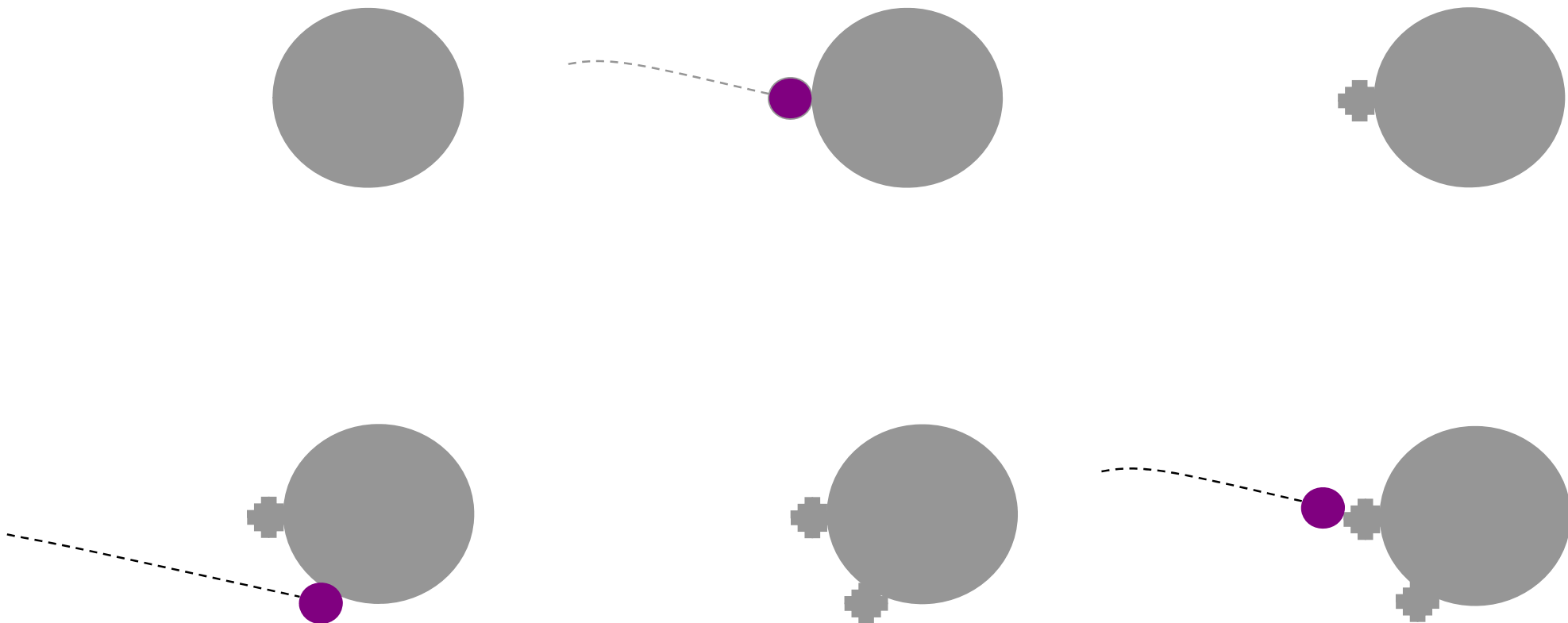
## Vorteile

- Einfache schnelle Gittergenerierung
- Kompatibel zur CT
- Einfache Strukturgenerierung
- Einfache Implementierung von “Lösern”
- Einfache Parallelisierung

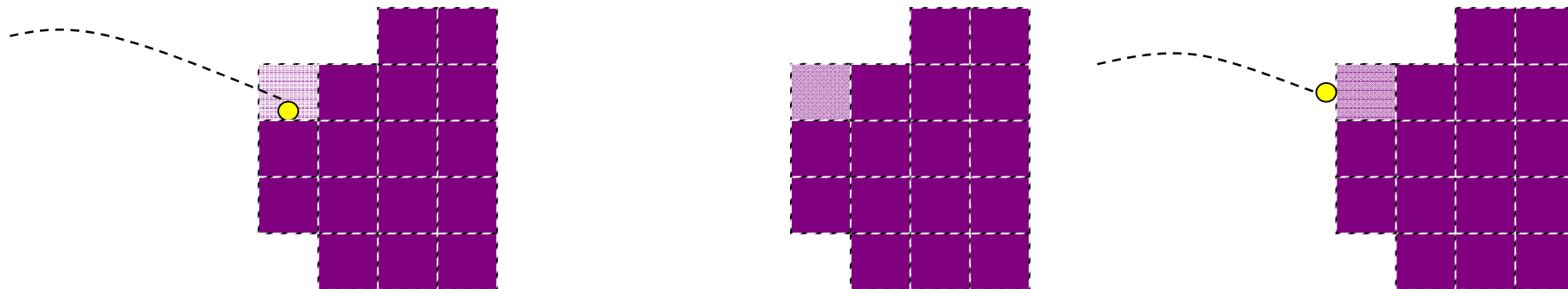
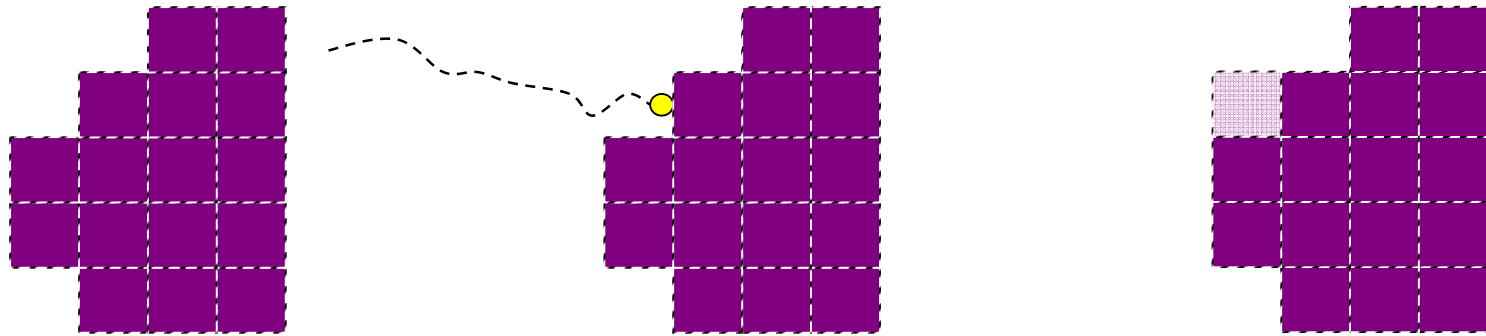
## Nachteile

- Auflösung kann viele Würfel erzwingen
- Führt zu sehr sehr großen Rechnungen

## Nano-Modus: Partikel werden durch das Rechengitter aufgelöst



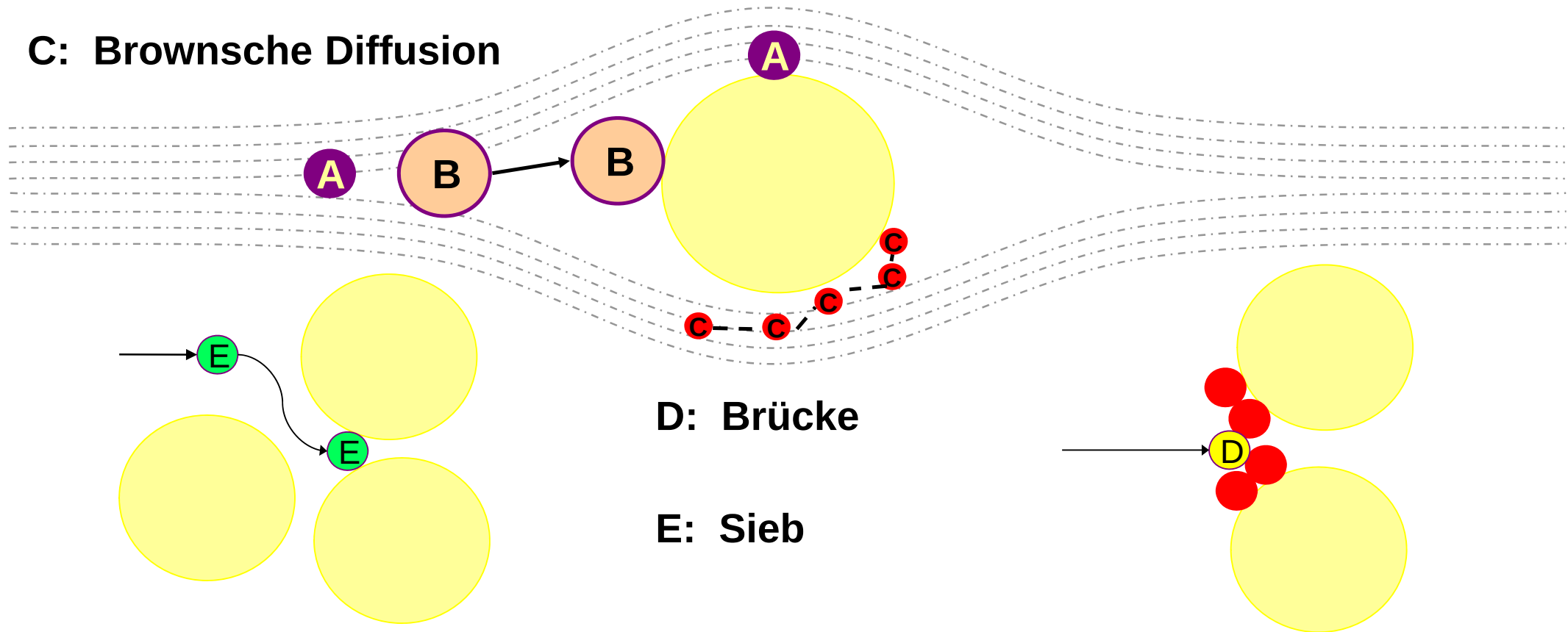
## Mikro-Modus: Partikel sind kleiner als das Rechengitter



A: Berührung

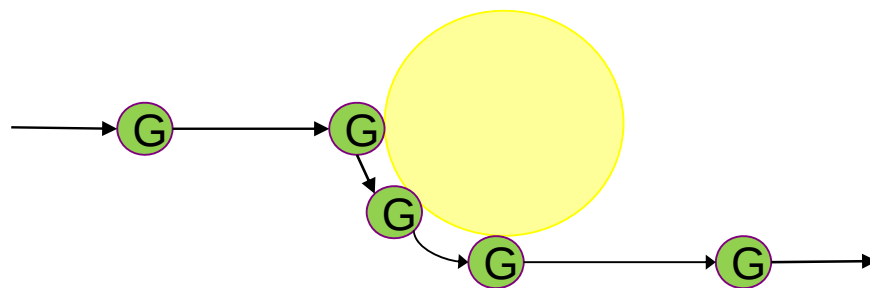
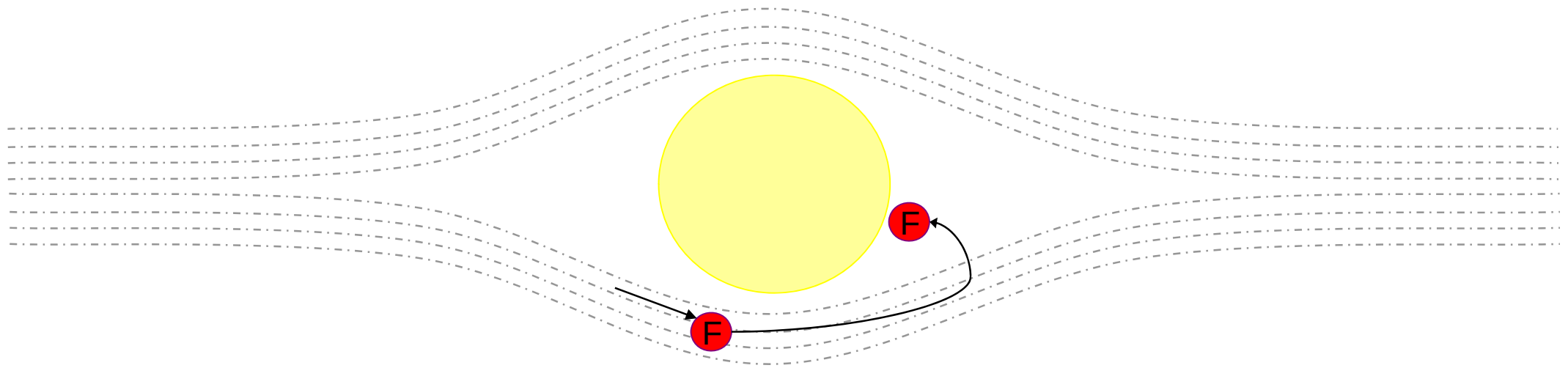
B: Trägheit

C: Brownsche Diffusion

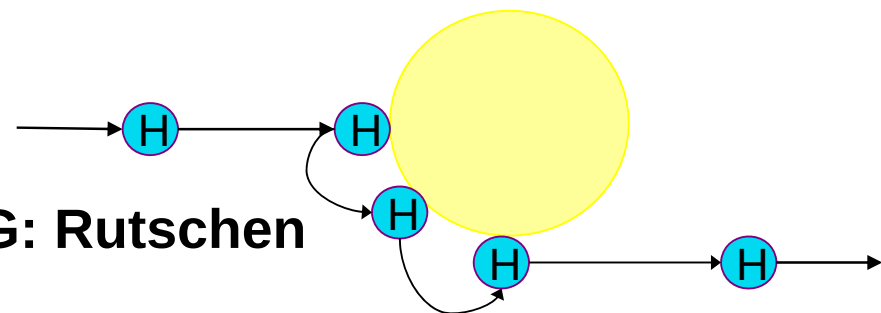


# Filtereffekte II und Moden der Partikelbewegung

**F: electrostatische Anziehung**



**G: Rutschen**



**H: Prallen**

$$d\vec{x} = \vec{v} dt, \text{ Reibung mit dem Fluid Elektrische Anziehung Diffusion}$$

$$d\vec{v} = -\gamma \times (\vec{v}(\vec{x}) - \vec{v}_o(\vec{x})) dt + \frac{Q\vec{E}_o(\vec{x})}{m} dt + \sigma \times d\vec{W}(t),$$

$$C_c = 1 + Kn \left( 1.142 + 0.558 e^{-0.999/Kn} \right),$$

$$\gamma = 6\pi\rho\mu\frac{R}{C_cm},$$

$$\sigma^2 = \frac{2k_BT\gamma}{m},$$

$$\langle dW_i(t), dW_j(t) \rangle = \delta_{ij} dt,$$

$$Kn = \frac{\lambda}{R},$$

$$\lambda = \frac{k_BT}{\sqrt{32\pi}R^2P}$$

$t$ : time

$\vec{x}$ : particle position

$\vec{v}$ : particle velocity

$R$ : particle radius

$m$ : particle mass

$q$ : particle charge

$T$ : ambient temperature

$P$ : total pressure

$d\vec{W}(t)$ : 3d probability (Wiener) measure

$\gamma$ : friction coefficient

$k_B$ : Boltzmann constant

$\vec{E}_o$ : electric field

$\vec{v}_o$ : fluid velocity

$\rho$ : fluid density

$\mu$ : fluid viscosity

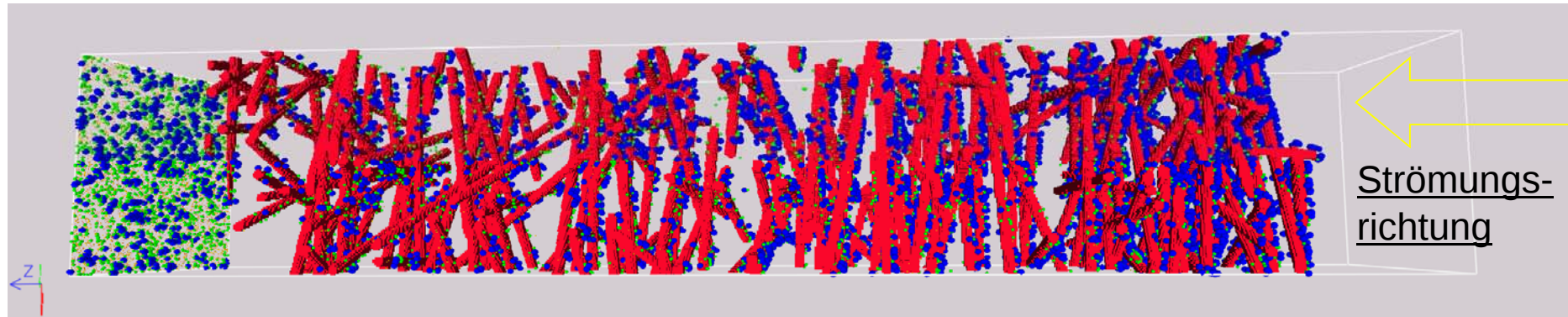
$$\alpha = 0.05,$$

$$d_F = 14,$$

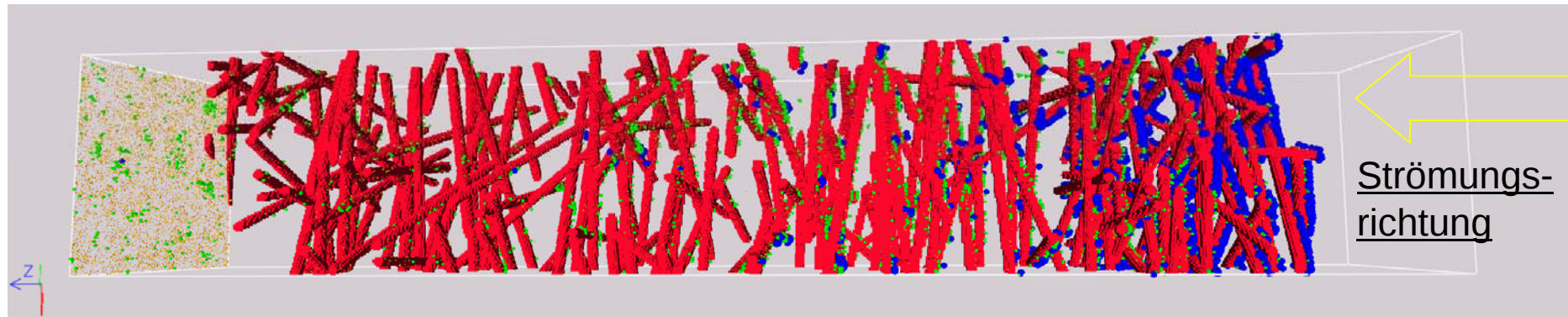
$$v = 0.1\text{m/s}$$

## Anlagerungseffekte

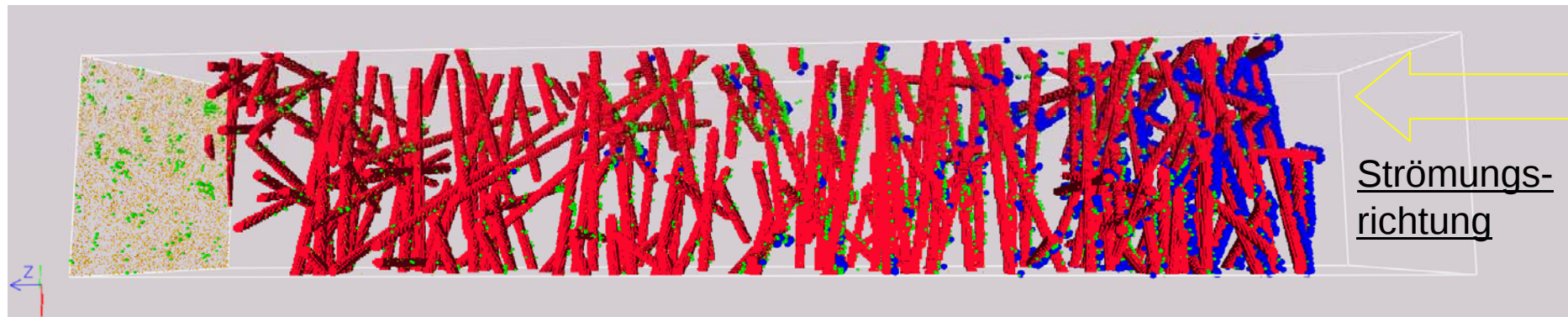
Berührung



Berührung  
+ Trägheit



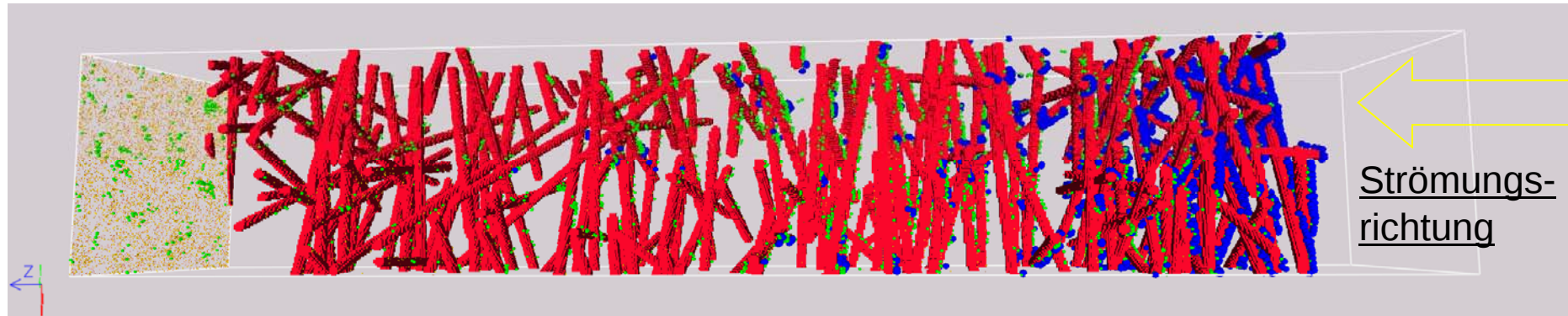
Berührung  
+ Trägheit  
+ Diffusion



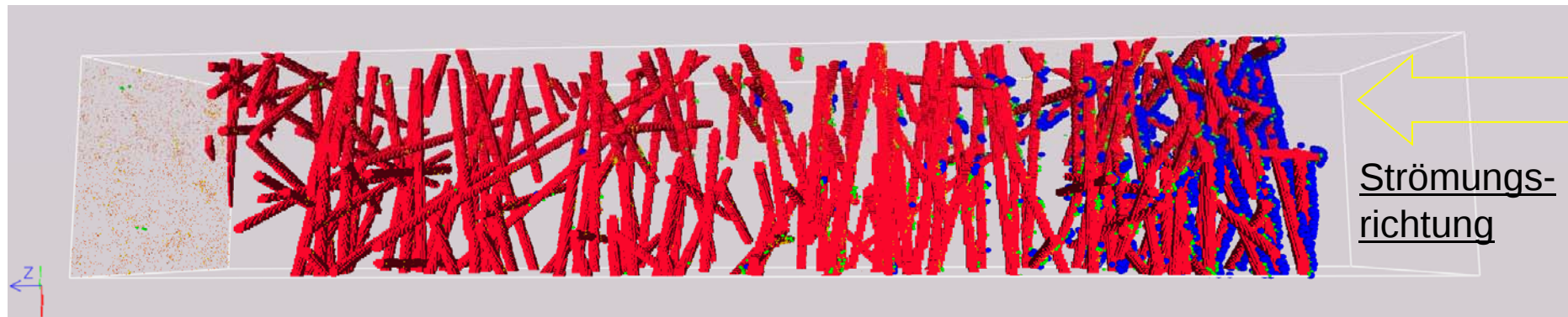
$\alpha = 0.05$ ,  
 $dF = 14$ ,  
Berührung + Trägheit + Diffusion

## Effekt der Anströmgeschwindigkeit

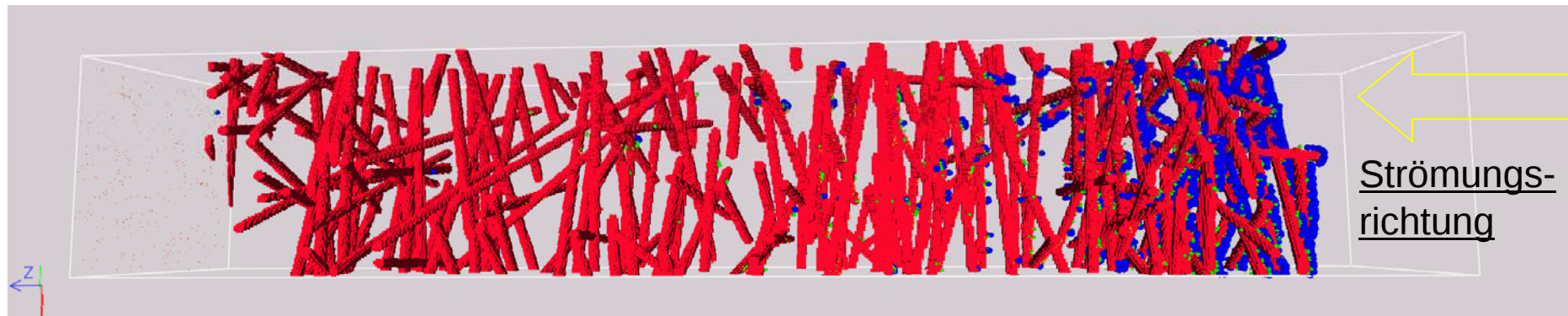
Geschwindigkeit  
 $v = 0.1 \text{ m/s}$



Geschwindigkeit  
 $v = 1 \text{ m/s}$



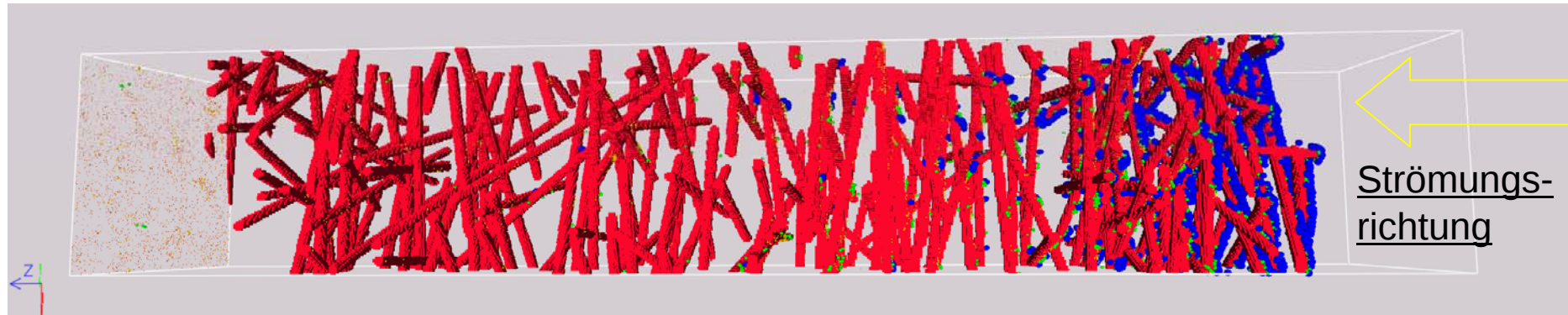
Geschwindigkeit  
 $v = 10 \text{ m/s}$



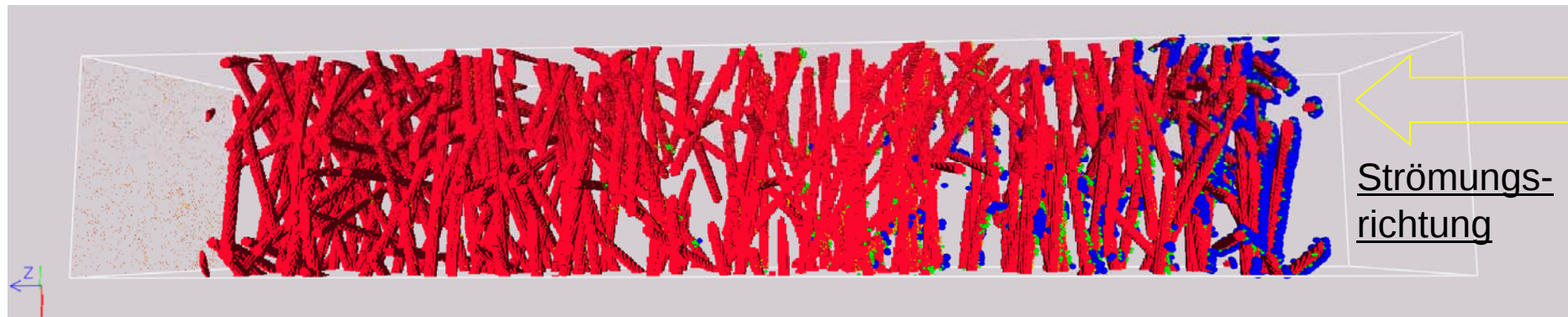
$dF = 14,$   
 $v = 1 \text{ m/s},$   
Berührung + Trägheit + Diffusion

## Effekt des Flächengewichts (hier: SVF)

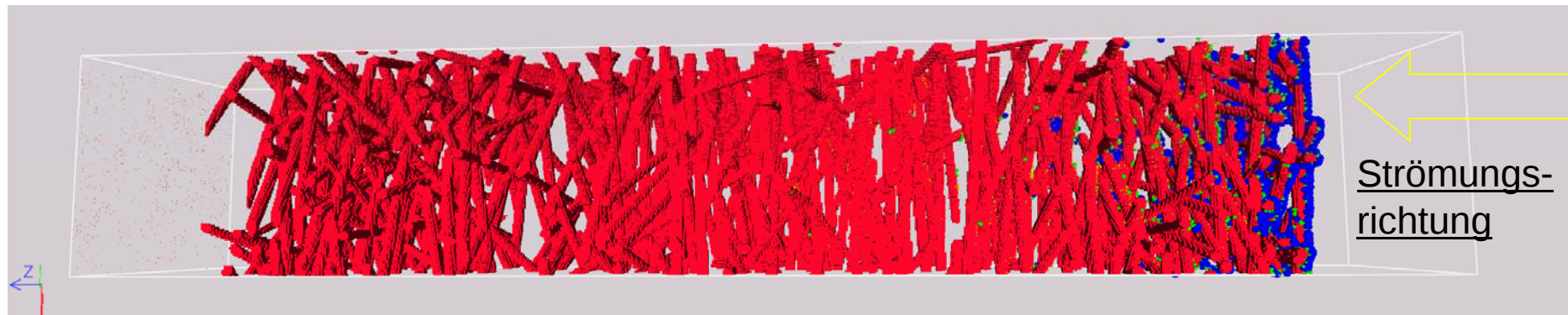
SVF  $\alpha=0.05$



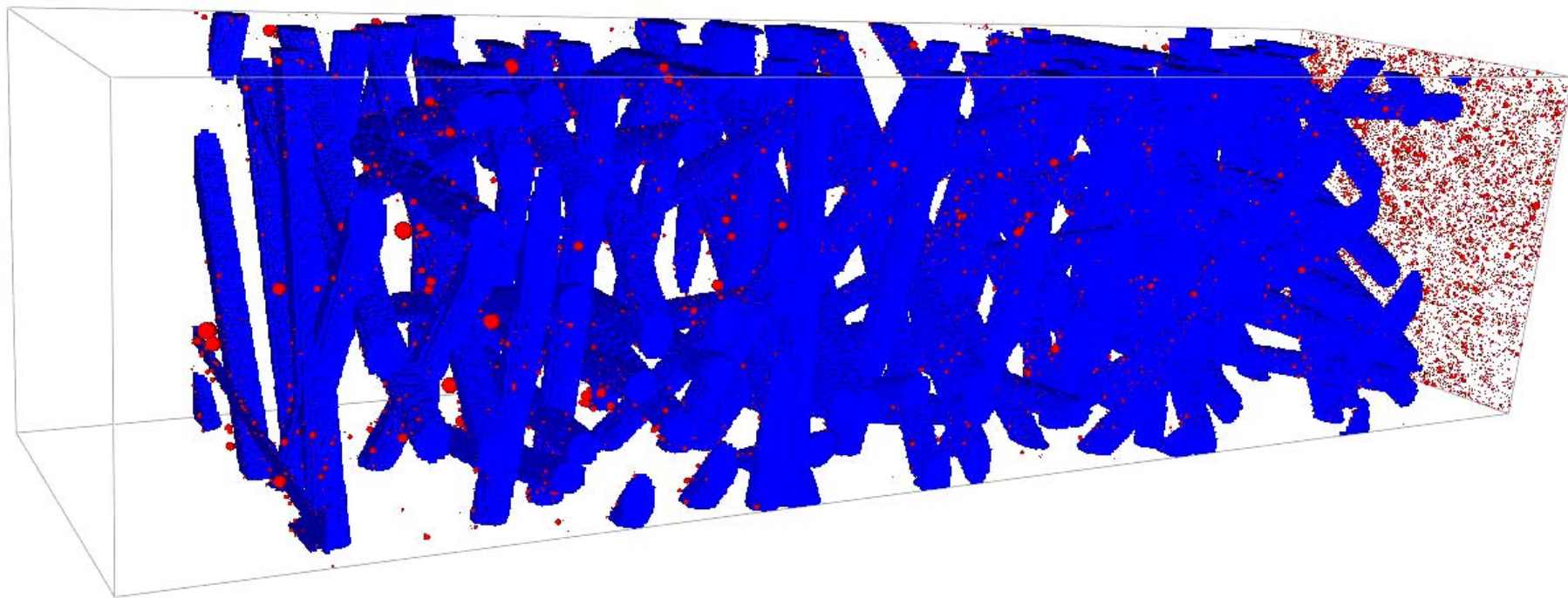
SVF  $\alpha=0.07$



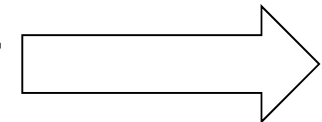
SVF  $\alpha=0.1$

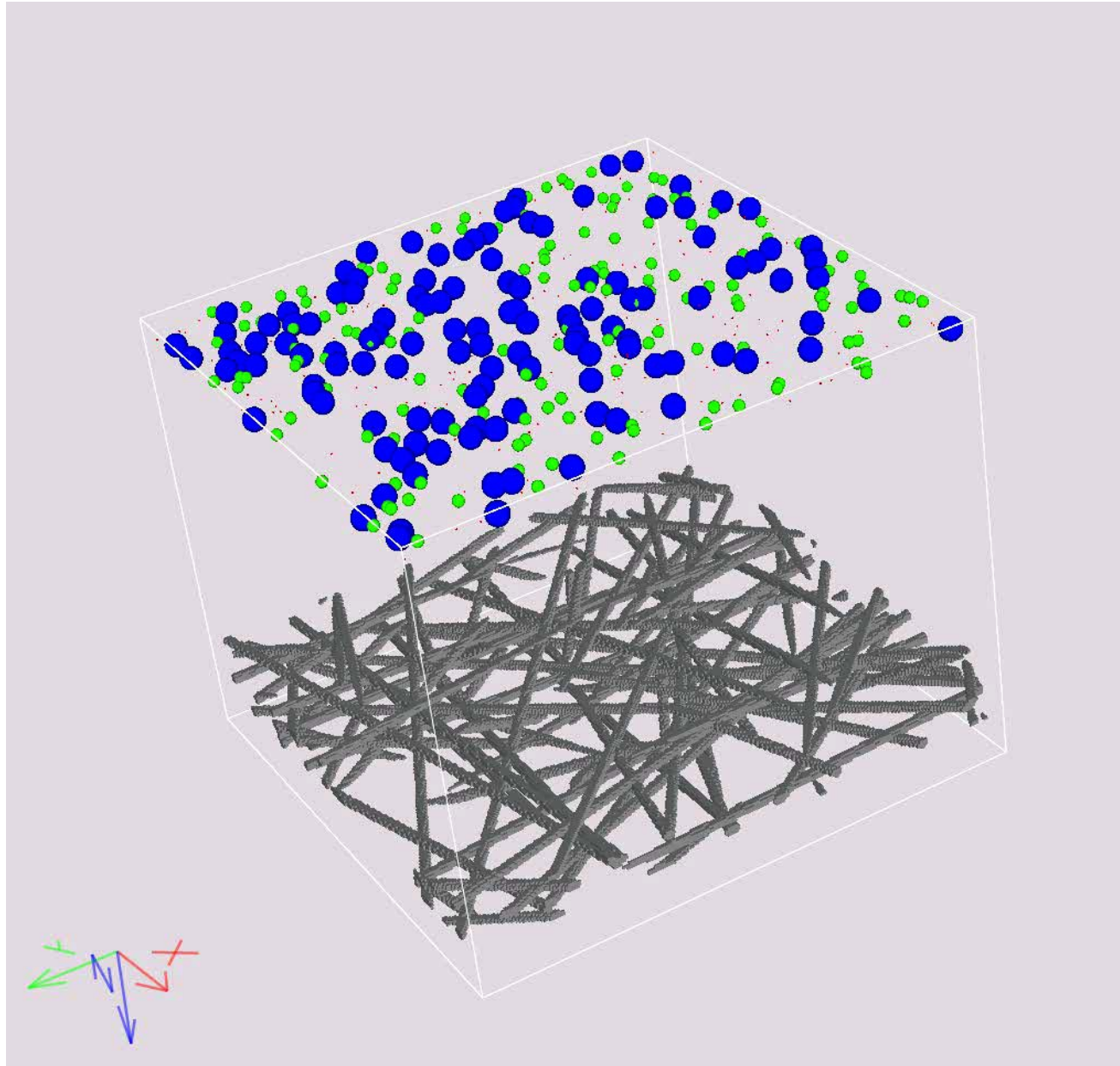


## Übergang von der Tiefenfiltration zur Kuchenfiltration in durchgängiger Simulation

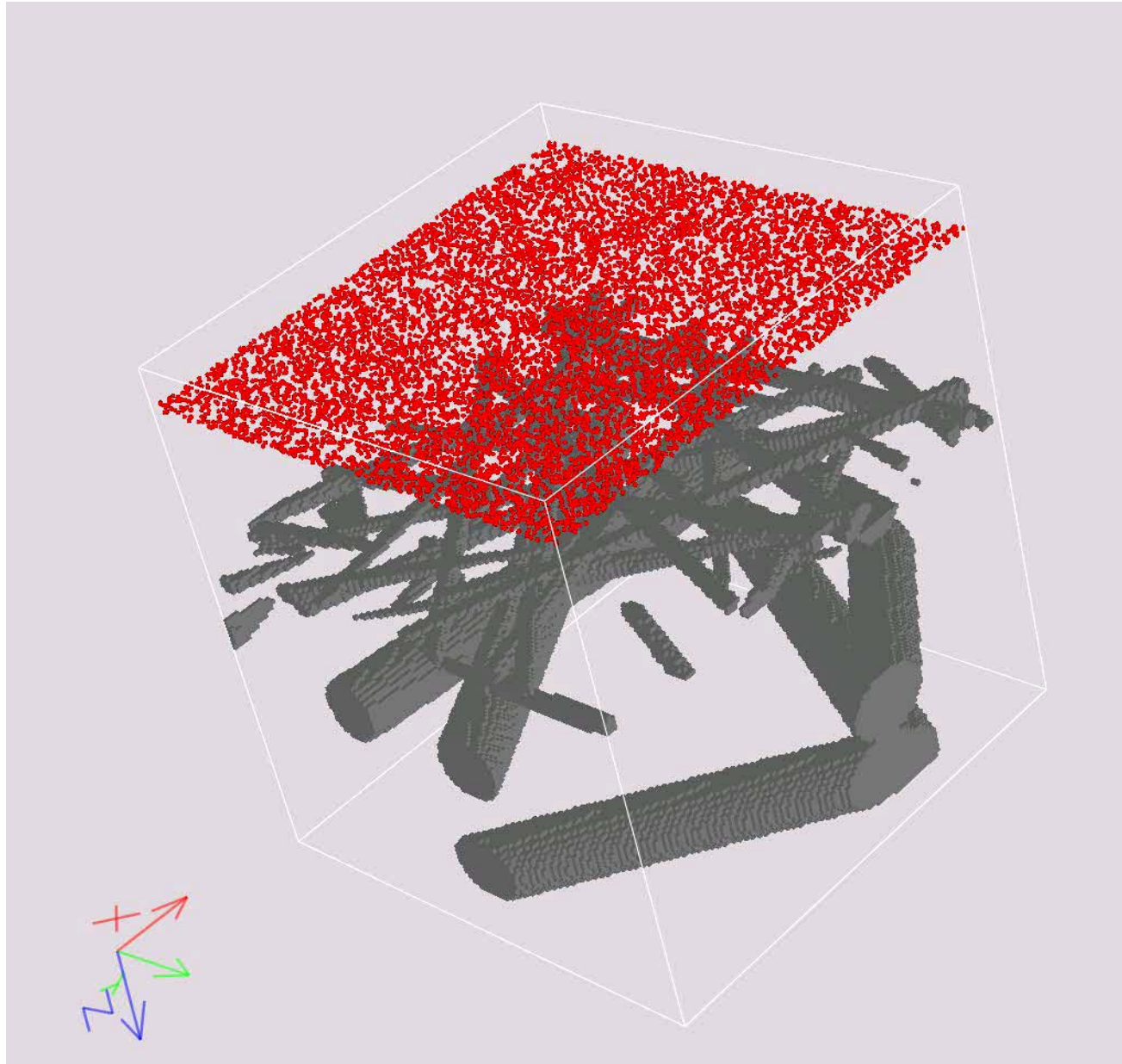


Strömungs-  
richtung





- Verlauf der Filtereffizienz
- Verlauf des Druckverlustes



- Nicht abgereinigte Partikel

# GeoDict Beiträge am Fraunhofer ITWM: 2001 - 2012

---

## **GeoDict**

Andreas Wiegmann  
Jürgen Becker  
Erik Glatt  
Stefan Rief  
Heiko Andrä  
Sven Linden  
*Kilian Schmidt*  
*Ashok Kumar Vaikuntam*  
*Rolf Westerteiger*  
*Christian Wagner*  
*Mohammed Alam*  
*Jianping Shen*

## **UsersGuide**

Barbara Planas  
Vita Rutka  
*Stefan Rief*  
*Andreas Wiegmann*

## **PoroDict / MatDict**

Erik Glatt  
Andreas Wiegmann  
Jürgen Becker  
*Kilian Schmidt*  
*Rolf Westerteiger*

## **PleatDict**

Andreas Wiegmann  
Oleg Iliev  
Stefan Rief  
Liping Cheng

## **FilterDict**

Jürgen Becker  
Stefan Rief  
Arnulf Latz  
Andreas Wiegmann  
*Kilian Schmidt*  
*Christian Wagner*  
*Rolf Westerteiger*

## **ThermoDict EJ Solver**

Andreas Wiegmann  
Liping Cheng  
*Rolf Westerteiger*

## **FlowDict Lattice Boltzmann**

Peter Klein  
Dirk Merten  
Konrad Steiner  
*Dirk Kehrwald*  
*Irina Ginzburg*  
*Doris Reinel-Bitzer*

## **FlowDict EJ Solver**

Liping Cheng  
Andreas Wiegmann  
Aivars Zemitis  
*Rolf Westerteiger*  
*Donatas Elvikis*  
*Vita Rutka*  
*Qing Zhang*

## **DiffuDict Knudsen Solver**

Jürgen Becker

## **ElastoDict**

Heiko Andrä  
Matthias Kabel  
Liping Cheng  
Andreas Wiegmann  
*Vita Rutka*  
*Donatas Elvikis*

## **FlowDict EFV Solver**

Andreas Wiegmann  
Liping Cheng

## **FiberGeo**

Jürgen Becker  
Erik Glatt  
Andreas Wiegmann  
Katja Schladitz  
*Joachim Ohser*  
*Hans-Karl Hummel*  
*Petra Baumann*

## **WeaveGeo**

Erik Glatt  
Andreas Wiegmann  
*Rolf Westerteiger*

## **SatuDict**

Jürgen Becker  
Andreas Wiegmann  
*Volker Schulz*  
*Rolf Westerteiger*

## **SinterGeo**

Jürgen Becker  
Erik Glatt  
Norman Ettrich  
*Kilian Schmidt*

## **PleatGeo**

Erik Glatt  
Andreas Wiegmann  
Jürgen Becker

## **PackGeo**

Erik Glatt  
Andreas Wiegmann  
*Joachim Seibt*

## **GridGeo**

Erik Glatt  
Liping Cheng  
Andreas Wiegmann  
*Rolf Westerteiger*

## **RenderGeo**

Matthias Groß  
Sven Linden  
Carsten Lojewski  
*Rolf Westerteiger*

## **PaperGeo**

Erik Glatt

[www.geodict.com](http://www.geodict.com)

[www.math2market.de](http://www.math2market.de)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit