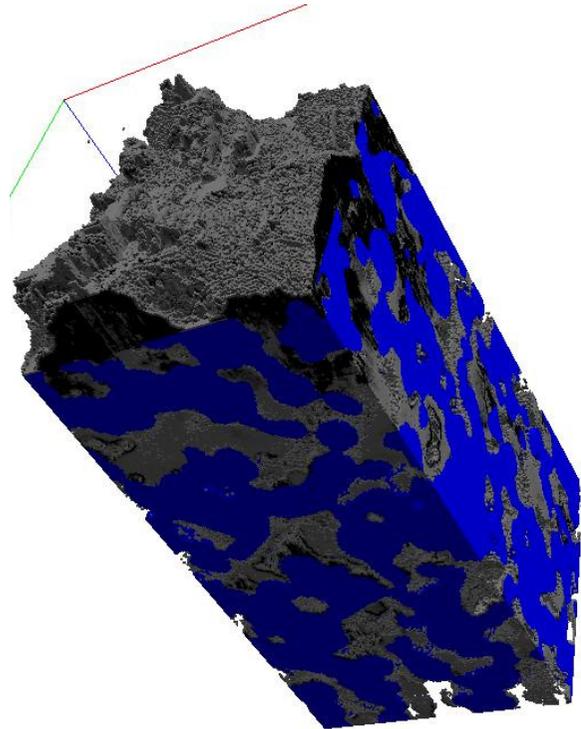

Fraunhofer Simulationswerkzeuge **GeoDict** / **FilterDict** zur Eigenschaftsberechnung von Dieselpartikelfiltern



Fraunhofer Institut
Techno- und
Wirtschaftsmathematik

Fraunhofer Simulationswerkzeuge **GeoDict** / **FilterDict** zur Eigenschaftsberechnung von Dieselpartikelfiltern



Dr. Stefan Rief

Fraunhofer Institut für Techno- und
Wirtschaftsmathematik, Kaiserslautern

NAFEMS Seminar

**Zuverlässiger Einsatz numerischer Simulationsmethoden in
der Vorausberechnung**

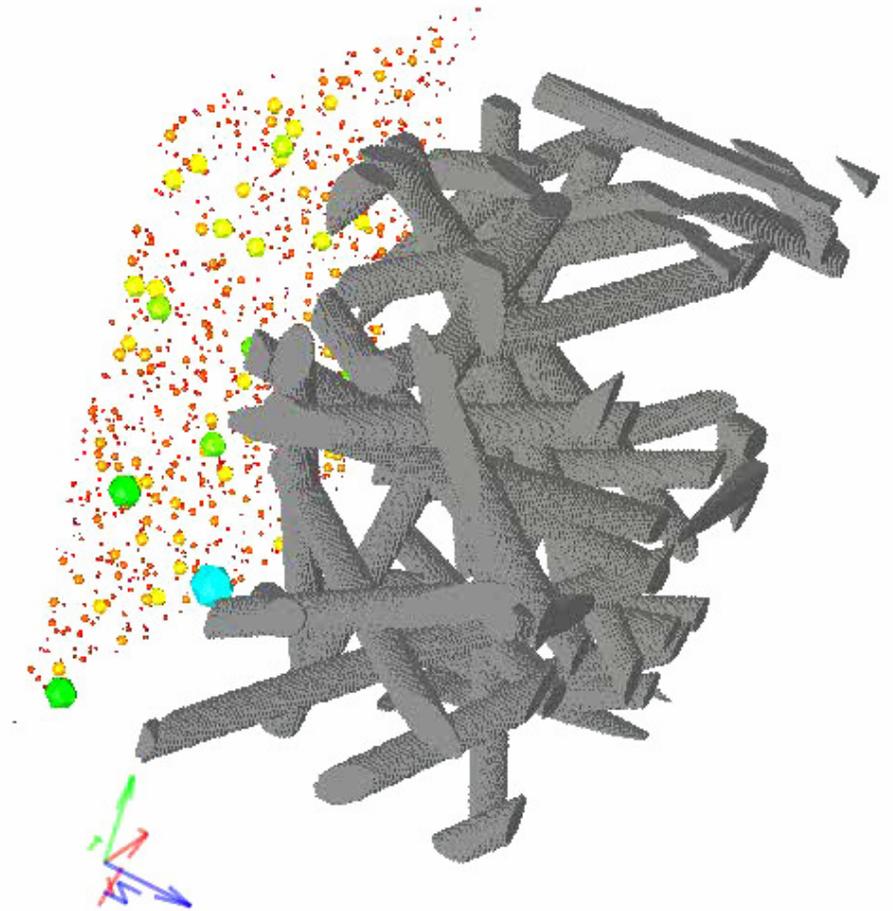
28. - 29. März 2007, Wiesbaden



Fraunhofer Institut
Techno- und
Wirtschaftsmathematik

Überblick

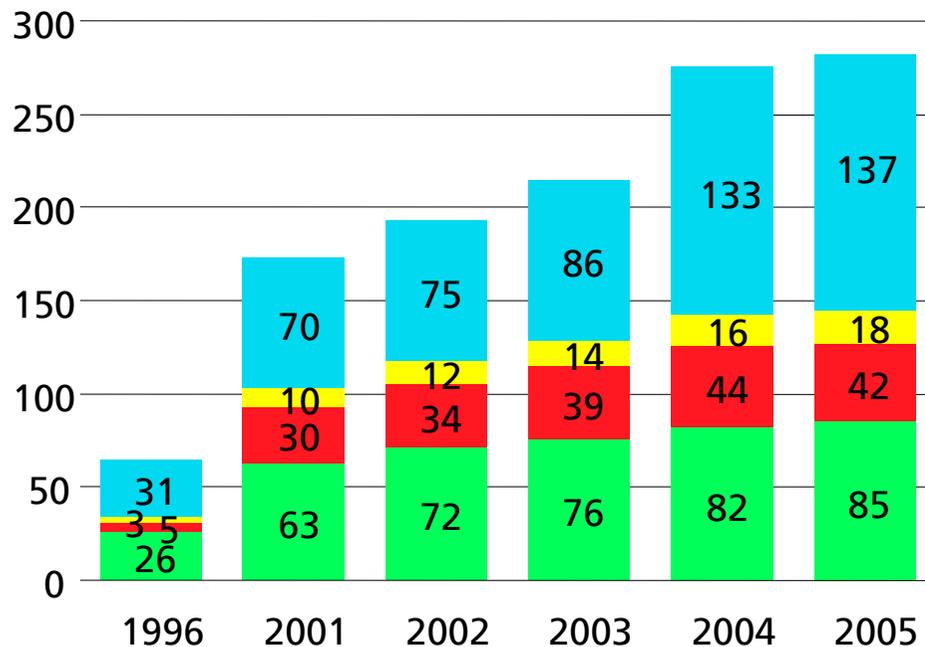
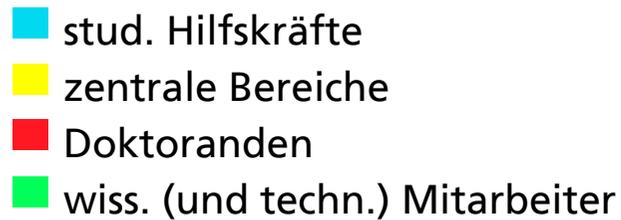
1. Fraunhofer ITWM und Virtuelles Materialdesign
 2. Virtuelle Filtergeometrien
 3. Simulation von Filtrationsprozessen
 - a) Modellierung
 - b) Simulationsbeispiele
 - c) Softwaretools
 4. Zusammenfassung und zukünftige Entwicklungen
-



1. Fraunhofer ITWM

- Anfang 80er Jahre: AG Technomathematik an der Universität Kaiserslautern von Prof. Neunzert
 - 1991: Zentrum für Techno- und Wirtschaftsmathematik an der Universität Kaiserslautern
 - **1995: Gründung des ITWM**
auf Initiative der Fraunhofer-Management-Gesellschaft (FhM) mit Unterstützung des Landes Rheinland-Pfalz
 - 1999: Evaluierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft (FhG)
 - 2000: Entscheidung des Senats der FhG über die Aufnahme des ITWM in die Fraunhofer-Gesellschaft
 - **1. Januar 2001:**
Erstes mathematisches Institut der Fraunhofer-Gesellschaft
 - 2002: Gründung des Fraunhofer Chalmers Center (FCC) in Göteborg (Schweden)
 - 2004: Gründung des Competence Center (CCC) in Catania (Italien)
-

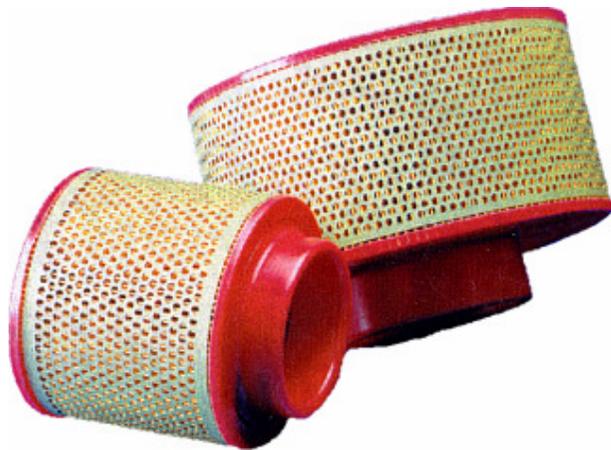
1. Fraunhofer ITWM



Abteilungen des Fraunhofer ITWM

- Transportvorgänge
- **Strömung und komplexe Strukturen**
- Modelle und Algorithmen in der Bildverarbeitung
- Adaptive Systeme
- Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit
- Optimierung
- Finanzmathematik
- Competence Center High Performance Computing

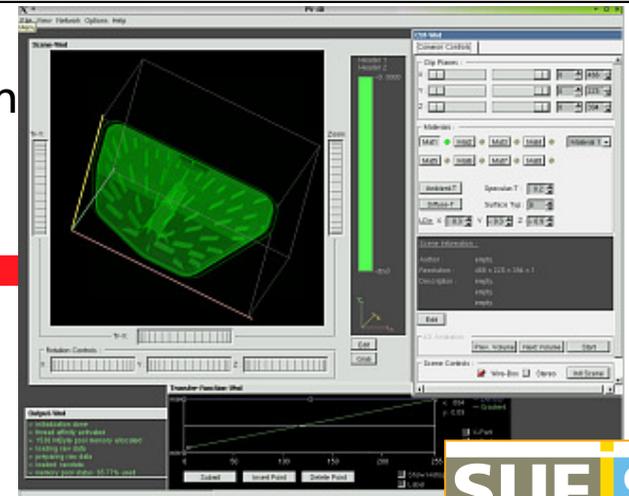
1. Virtuelles Materialdesign



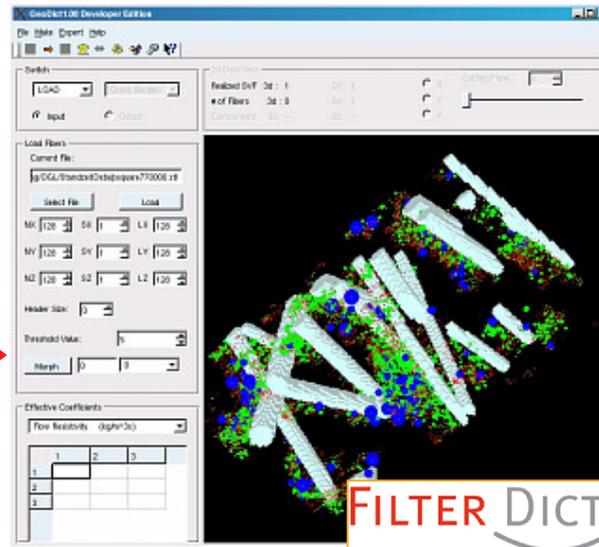
Materialauswahl,
Spezifikation des Bauraums

Geforderte Filtereigenschaften
erreicht ?

Virtueller
Designzyklus



Berechnung makroskopischer
Eigenschaften des Filters



FILTER DICT

Berechnung mikroskopischer
Eigenschaften des Filtermediums

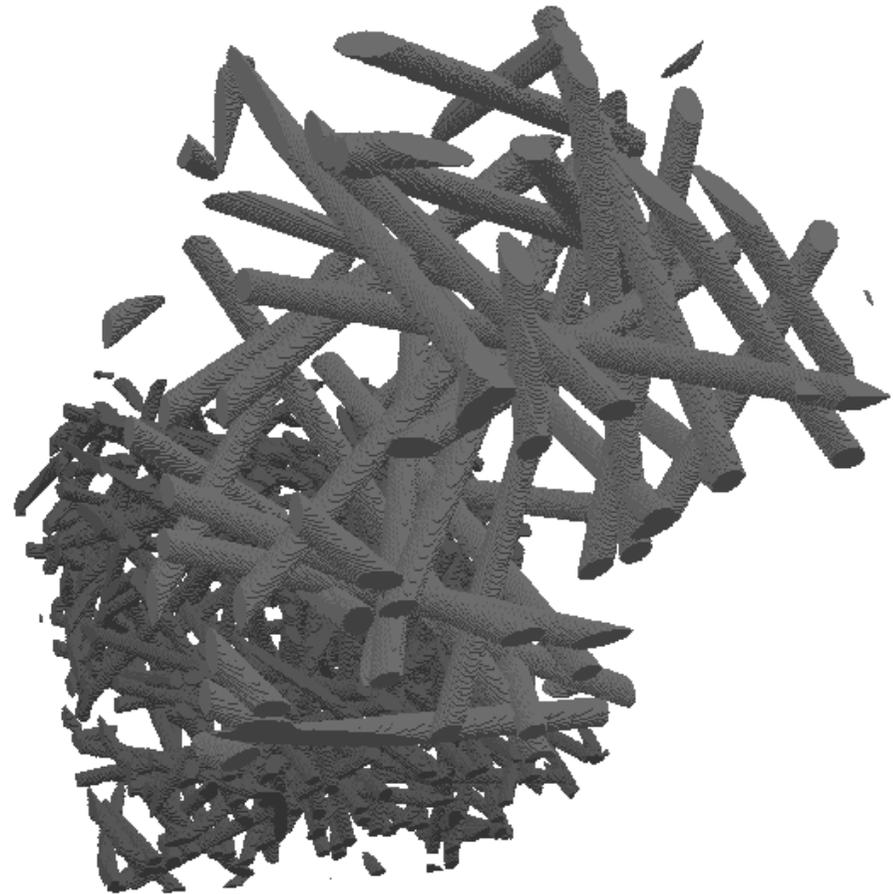


Fraunhofer
Institut
Techno- und
Wirtschaftsmathematik

2. Virtuelle Filtergeometrien

Virtuelles Nonwoven mit Gradientenstruktur

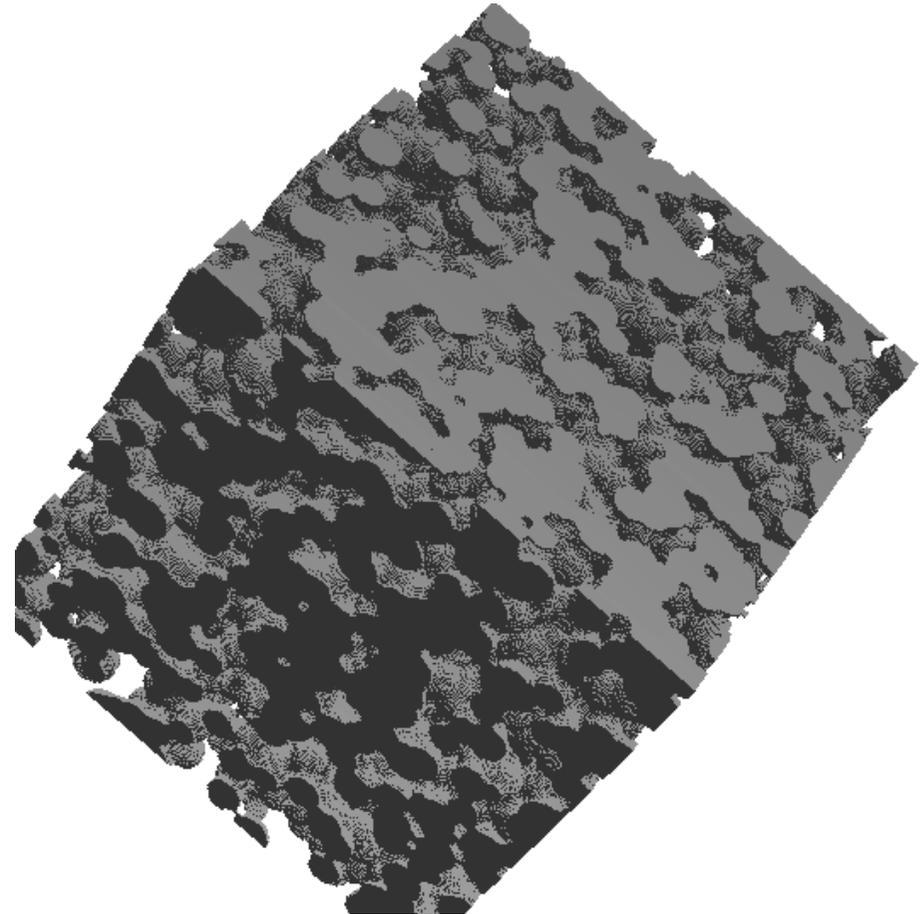
- Zufällig generiert mit garantierten spezifizierbaren Eigenschaften wie
 - Verteilungen der Faserdurchmesser und Faserquerschnitte
 - Faserorientierungen
 - Porositäten
 - Lagendicken
 - ...
- Schichtung zweier Lagen mit verschiedenen Parametern
- Benutzung (**flexibler**) Würfelgitter



2. Virtuelle Filtergeometrien

Virtuelle Sinterstruktur

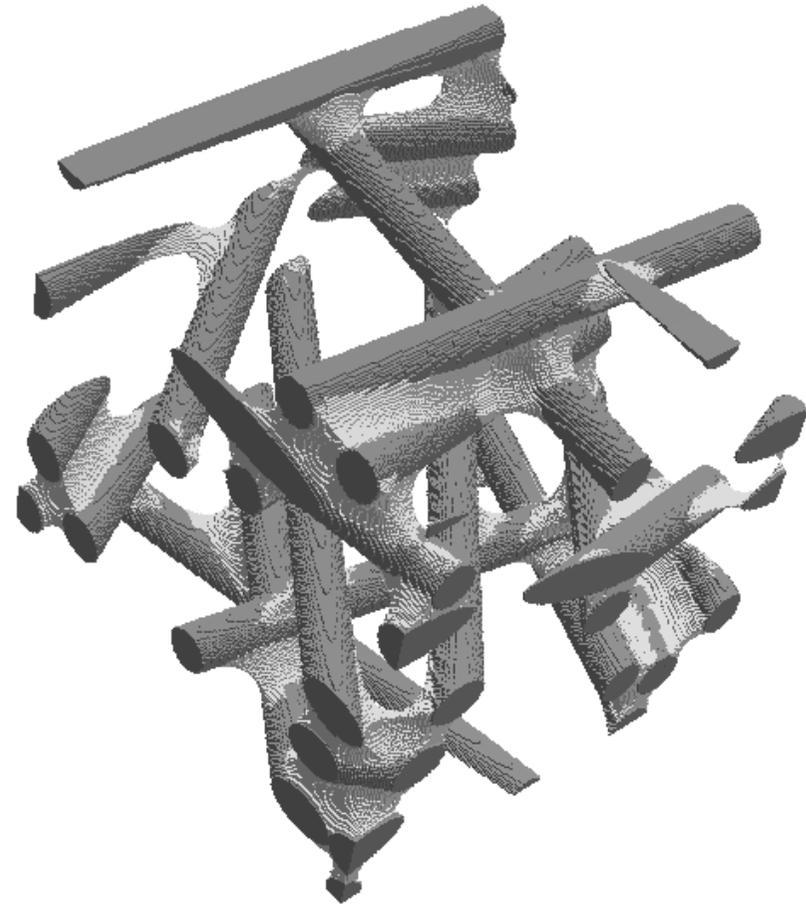
- Zufällig generiert basierend auf
 - Kugelpackung
 - Morphologischen Operationen zur Erzeugung der Sinterhalse
- Kugelpackung orientiert sich an Korngrößenverteilung im Sinterprozess
- Ansatz wurde in einem Projekt verwendet, da keine Tomographie herstellbar war
 - Auflösung unzureichend
 - Präparation der Proben schwierig



2. Virtuelle Filtergeometrien

Virtuelles Nonwoven mit Bindereintrag

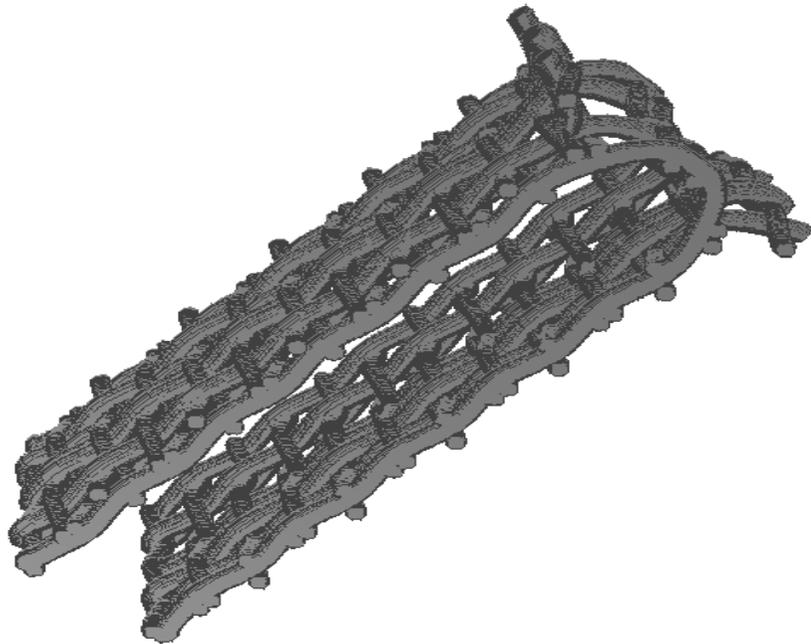
- Zufällig generiertes Nonwoven
- Morphologischen Operationen zur Erzeugung des Binders
- Menge des Binders direkt vorgebar
- Binder erscheint als neues Material in der Struktur mit *eigenen* Eigenschaften in der Simulation (-> wichtig für Elastizität)



2. Virtuelle Filtergeometrien

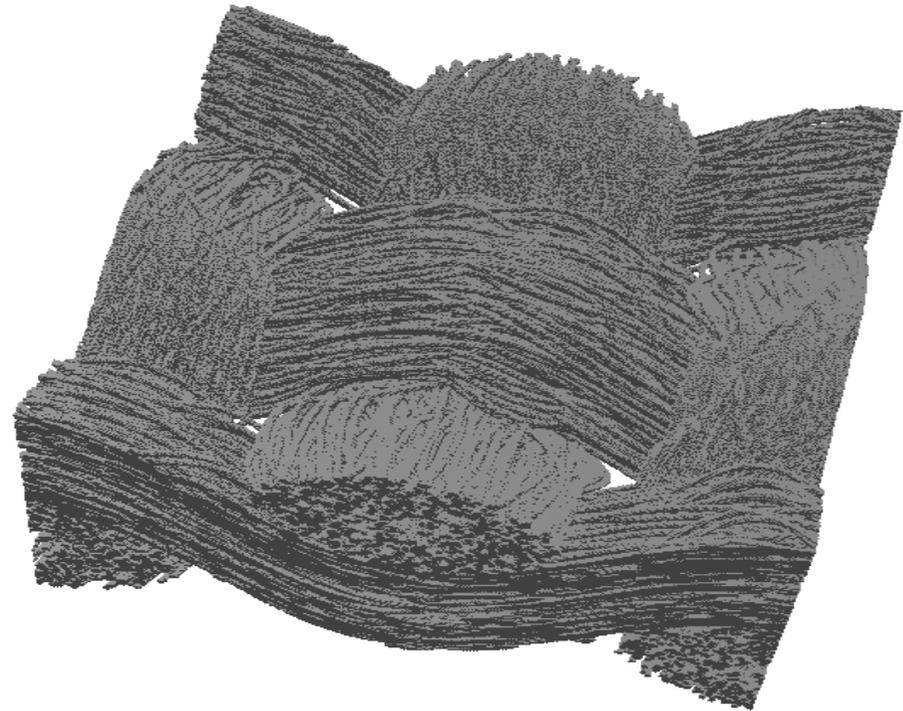
Virtuelles Drahtgewebe

- Exakte Vorgabe der Struktur
- Verwendbar als Stützgewebe für ein Nonwoven in einer Makrosimulation



Virtuelles Gewebe mit Leinwandbindung

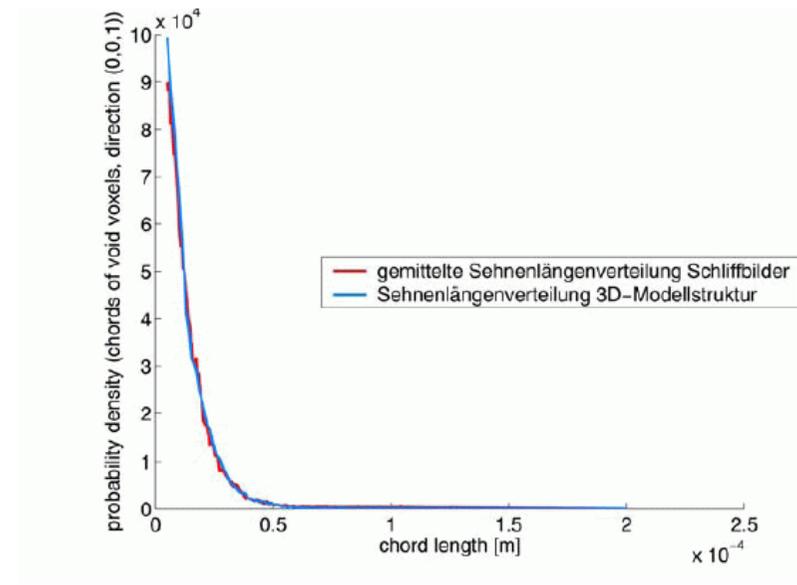
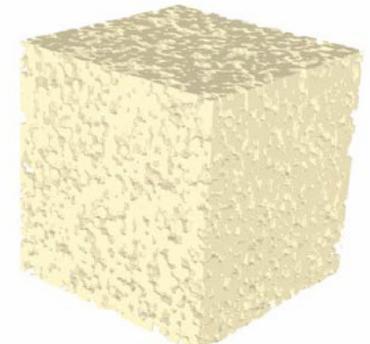
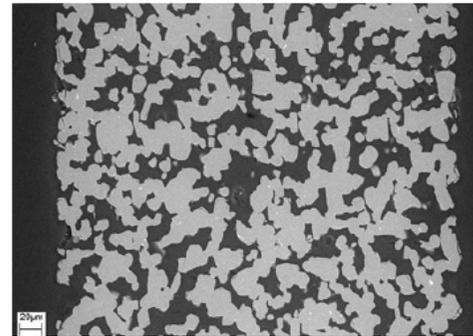
- Mischung von Deterministik und Zufall



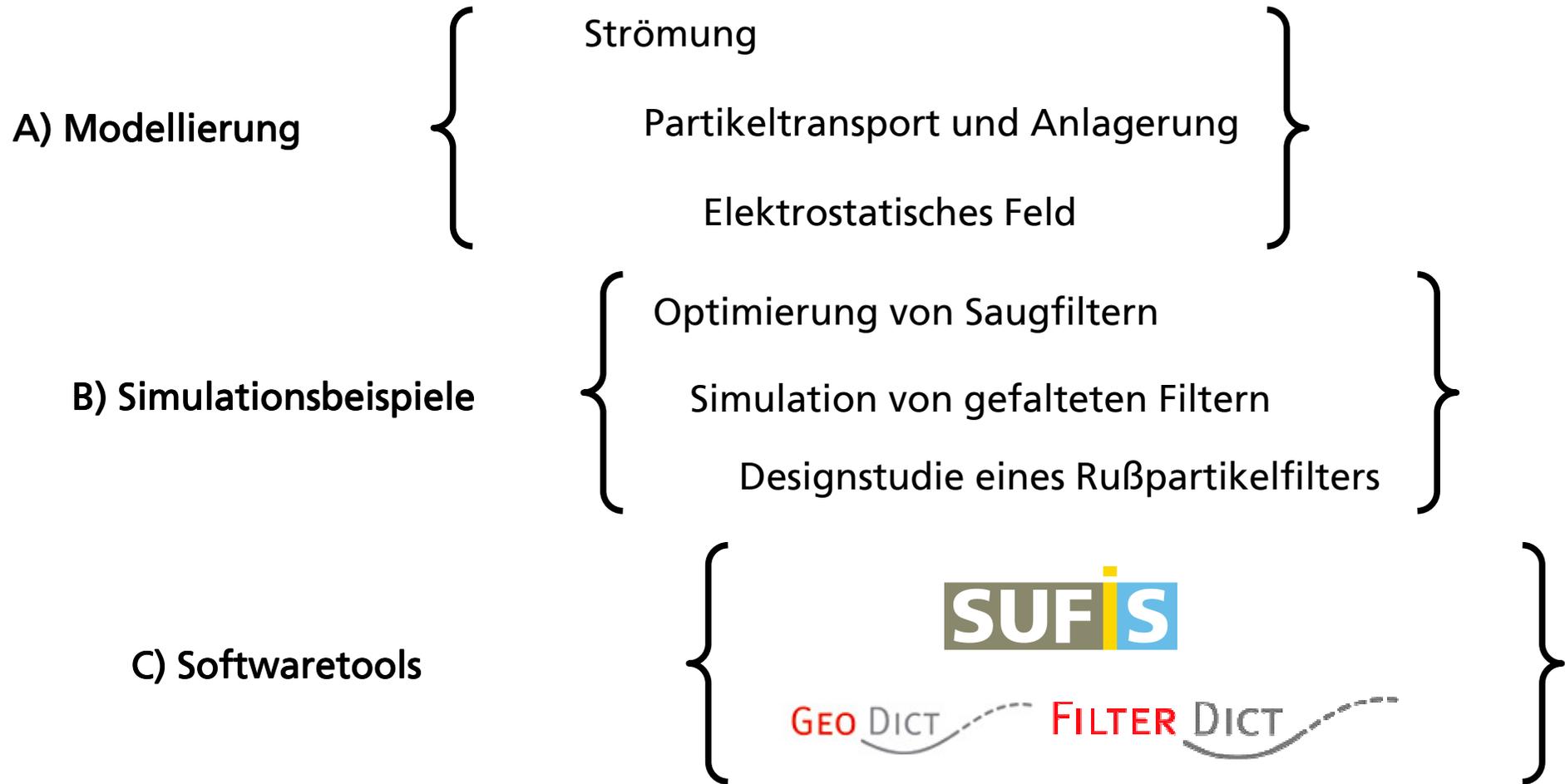
2. Virtuelle Filtergeometrien

Beurteilung der Qualität der virtuellen Strukturen

- optischer Vergleich
- Berechnung von Sehnenlängenverteilungen und Vergleich mit realen 2D-REM-Bildern
- Vergleich der Porositäten
- Vergleich von simulierten Eigenschaften und Messungen (Strömungswiderstand, Retention)



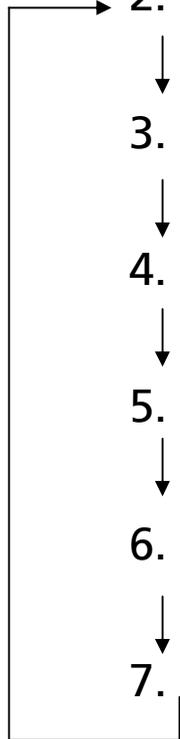
3. Simulation von Filtrationsprozessen



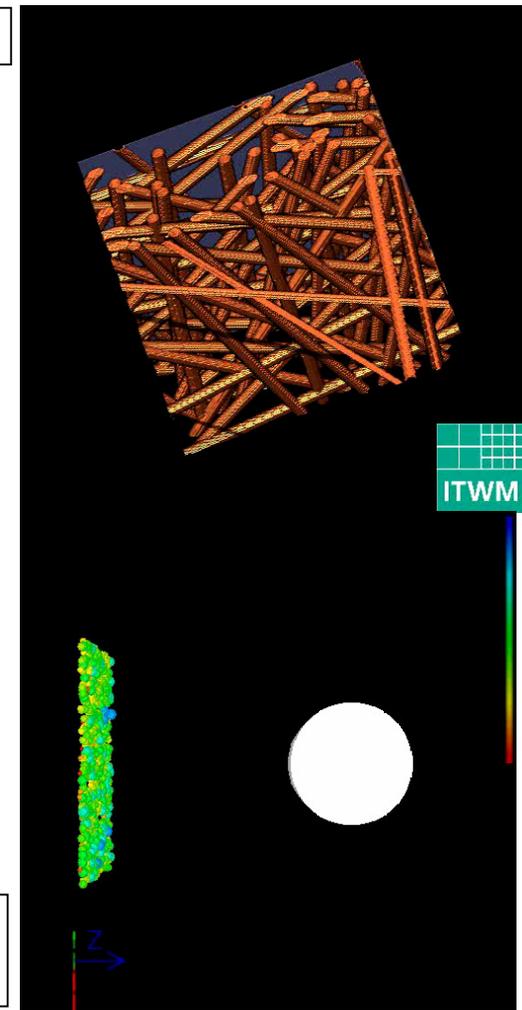
3. Simulation von Filtrationsprozessen - Modellierung

O
P
T
I
M
I
E
R
U
N
G

1. Bestimme Parameter für existierendes Material
2. Generiere Volumenbild für diese Parameter
3. Löse Navier-Stokes-Brinkmann-Gleichung
4. Löse elektrische Potentialgleichung
5. Löse Partikeltransport und Partikelanlagerung
6. Bestimme Filtereffizienz, Druckabfall / Lebensdauer
7. Neue Materialparameter



Strömung



Einzelfaser-simulation

3. Simulation von Filtrationsprozessen - Modellierung

Navier-Stokes-Brinkmann-Gleichung beschreibt die Strömung:

$$\begin{aligned} -\mu\Delta\vec{u} + \nabla\vec{u} \cdot \vec{u} + \kappa^{-1}\vec{u} + \nabla p &= \vec{f}, & (\text{Momentengleichung}) \\ \nabla \cdot \vec{u} &= 0, & (\text{Massenerhaltung}) \\ &+ \text{Randbedingungen,} \end{aligned}$$

wobei

- \vec{u} : Geschwindigkeit,
- p : Druck,
- \vec{f} : Kraftdichte,
- μ : Fluidviskosität und
- κ : Permeabilität poröser Würfel.



Henry Darcy
(1803-1858)

Bemerkungen

- Konvektiver Term optional bei schnellen Strömungen
- Brinkmann-Term optional bei Makrosimulation und Subgittermodell

3. Simulation von Filtrationsprozessen - Modellierung

Lagrange'sche Beschreibung des Partikeltransports:

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{v}$$

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

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

$$\sigma^2 = \frac{2k_B T \gamma}{m}$$

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

t :	Zeit
\vec{x} :	Partikelposition
\vec{v} :	Partikelgeschwindigkeit
R :	Partikelradius
m :	Partikelmasse
Q :	Partikelladung
T :	Umgebungstemperatur
k_B :	Boltzmannkonstante
$d\vec{W}(t)$:	3d-Wahrscheinlichkeitsmaß
\vec{E}_o :	Elektrisches Feld
\vec{v}_o :	Fluidgeschwindigkeit
ρ :	Fluiddichte
μ :	Fluidviskosität

Partikelanlagerung

- Kollisionsdetektion
- Partikel ist angelagert, wenn er Medium berührt hat



3. Simulation von Filtrationsprozessen - Modellierung

Abgebildete Abscheidemechanismen im Modell

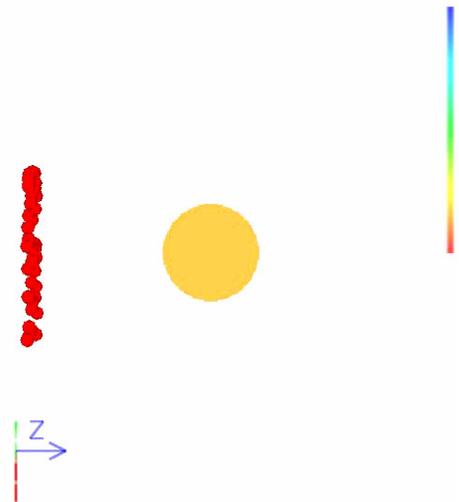
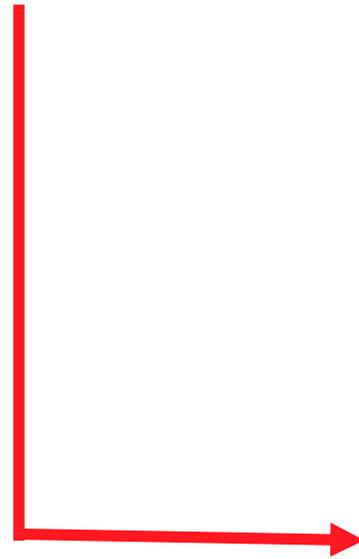
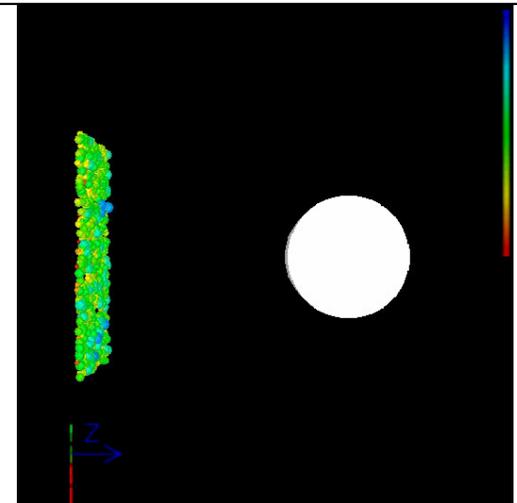
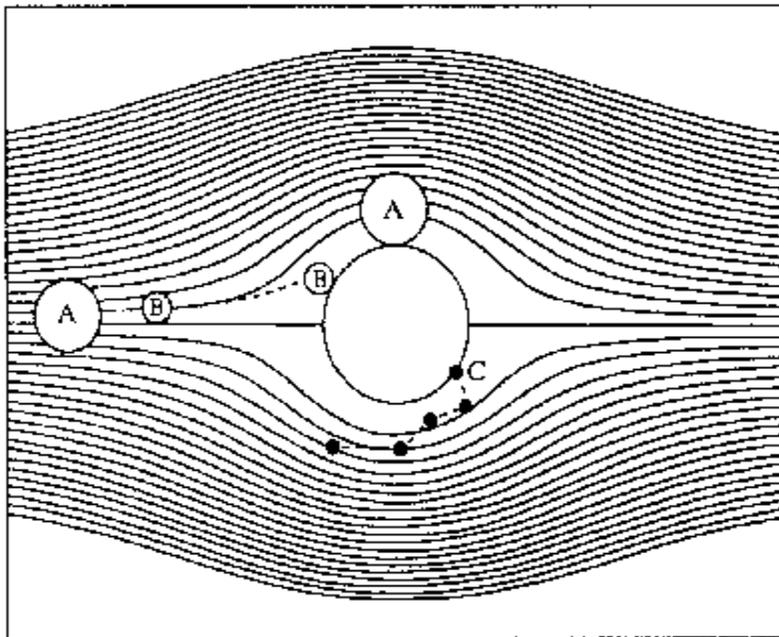
A) Sperreffekt

D) Siebeffekt

B) Trägheitseffekt

E) Elektrostatische Effekte

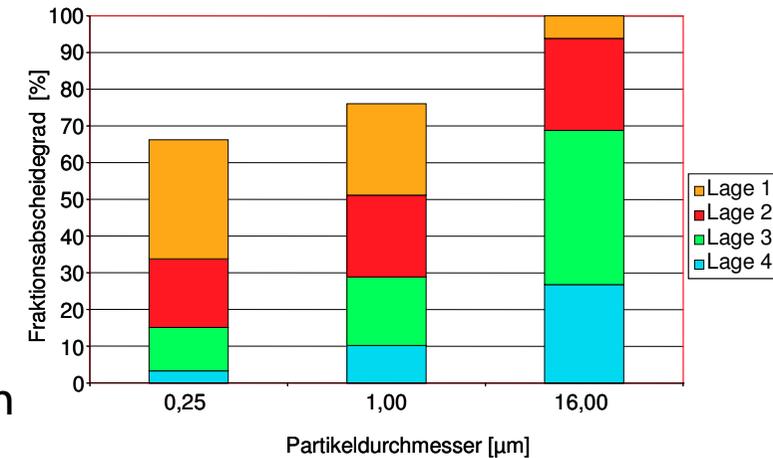
C) Brown'sche Bewegung



3. Simulation von Filtrationsprozessen - Modellierung

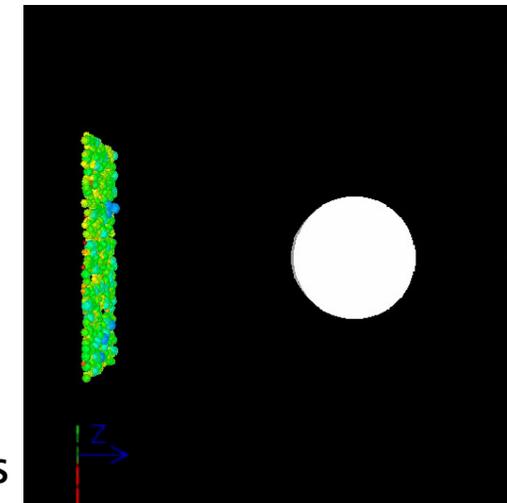
Simulation der Filtereffizienz

1. Filtergeometrie
2. Berechnung des Strömungsfeldes
3. Physikalischen Parameter sowie Partikelgrößenverteilung
4. Berechnung des Partikeltransports und Kollisionsdetektion
5. Berechnung der Filtereffizienz



Simulation der Filterstandzeit

1. Schritte 1 – 4 der Filtereffizienz-Simulation
2. Modifikation der Filtergeometrie durch deponierte Partikel
 - Solide Anlagerungsart -> Partikel in Geometrie eintragen
 - Poröse Anlagerungsart -> Partikel als Teil eines poröse Mediums



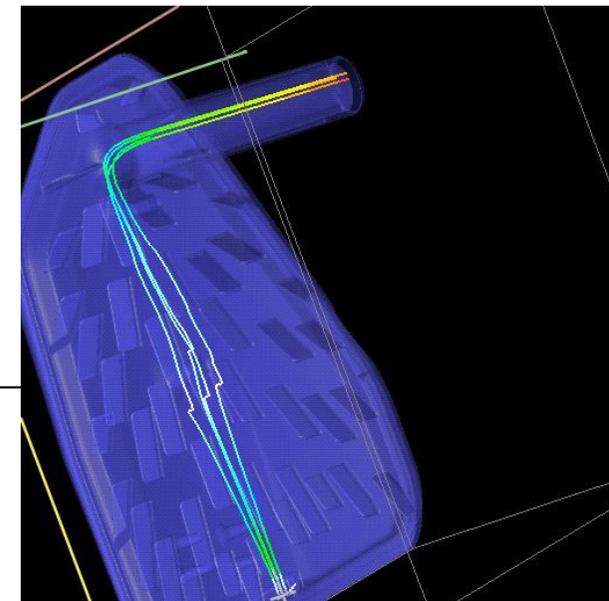
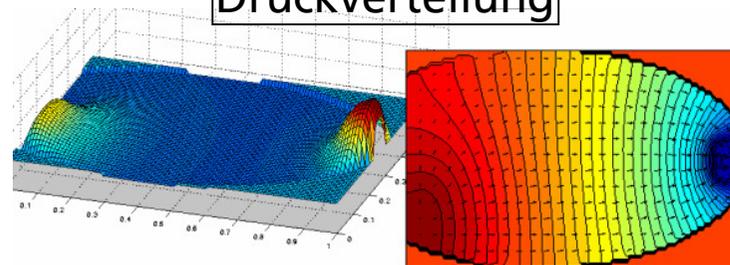
3. Simulation von Filtrationsprozessen - Simulationsbeispiele

Simulation von Saugfiltern

- Navier-Stokes-Brinkmann-Gleichung für freie und poröse Strömung
- Permeabilität des Filtermediums durch Messung oder Mikrostruktursimulation
- Optimierung der Stützrippen des Filtergehäuses hinsichtlich
 - Uniforme Beladung
 - Geringer Druckabfall
- Filterauslegungstool SuFiS



Druckverteilung



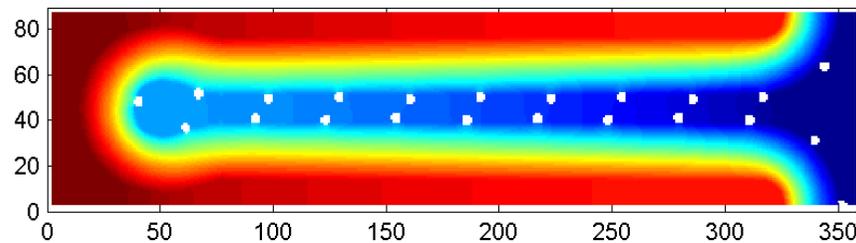
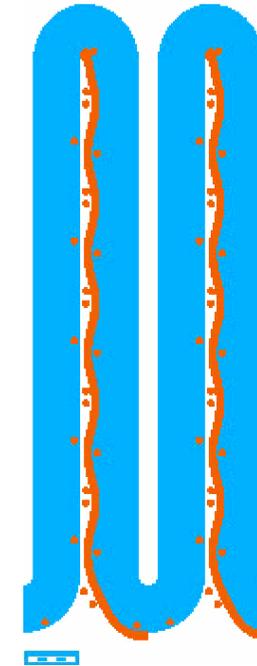
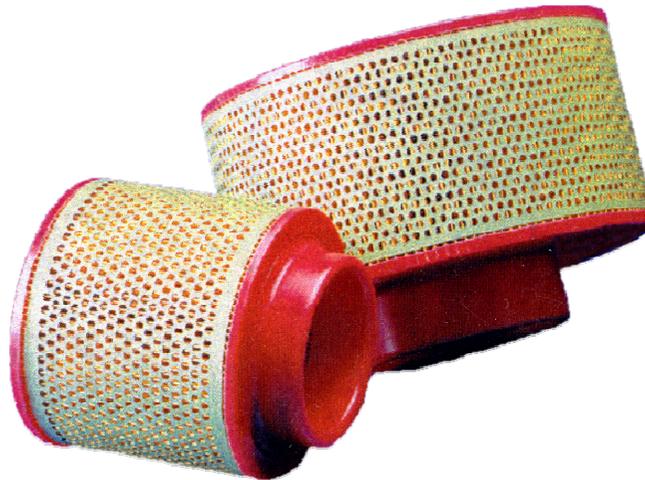
Stromlinien



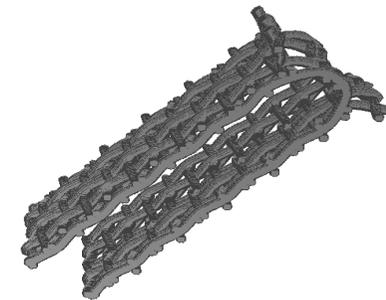
3. Simulation von Filtrationsprozessen - Simulationsbeispiele

Simulation von gefalteten Filtern

- Navier-Stokes-Brinkmann-Gleichung für freie und poröse Strömung
- Permeabilität des Filtermediums durch Messung oder Mikrostruktursimulation
- Studie zum effektiven Durchfluss in Abhängigkeit vom Drahtgewebe



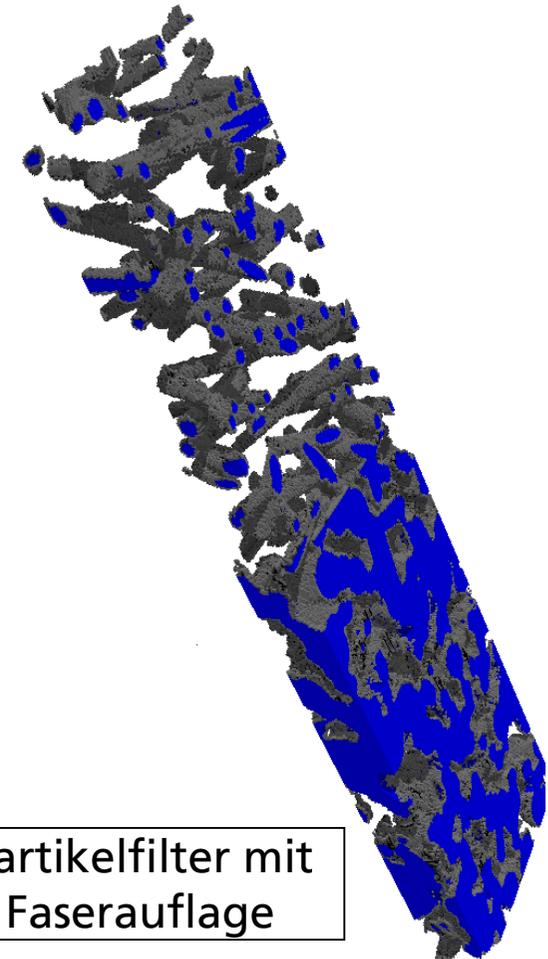
Druckverteilung



3. Simulation von Filtrationsprozessen - Simulationsbeispiele

Designstudie eines Rußpartikelfilters

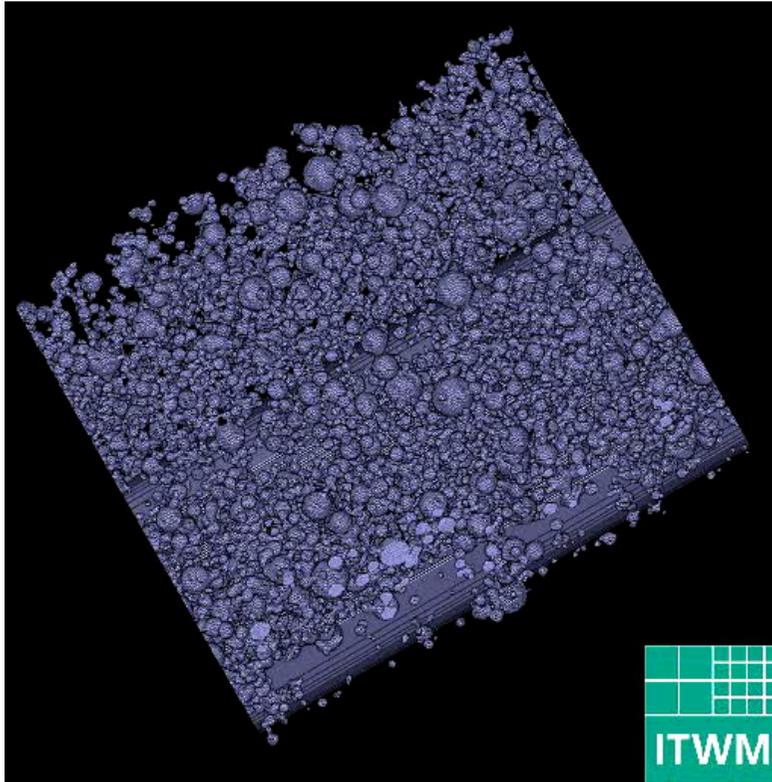
- Sinterstruktur mit und ohne Faserauflage im Hinblick auf Gegendruckverhalten
- Rußpartikel (50nm) sind sehr viel kleiner als Geometrie (1µm) -> poröse Anlagerungsart
- Navier-Stokes-Brinkmann-Gleichung für freie und poröse Strömung
- Permeabilität und maximaler Füllgrad der porösen Rußwürfel durch Einzelfasersimulation
- 500 Millionen Rußpartikel pro Standzeitsimulation



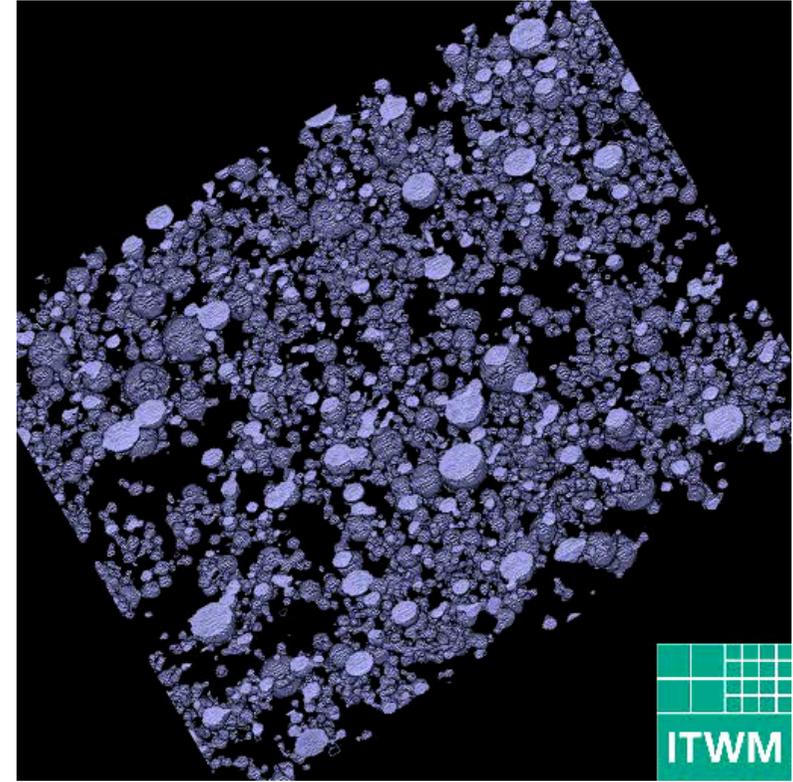
Partikelfilter mit
Faserauflage

3. Simulation von Filtrationsprozessen - Simulationsbeispiele

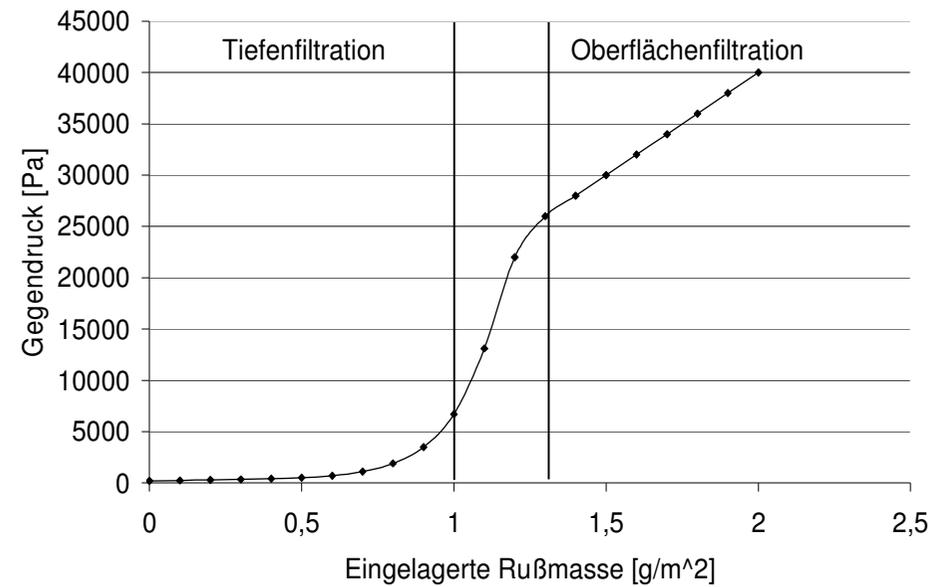
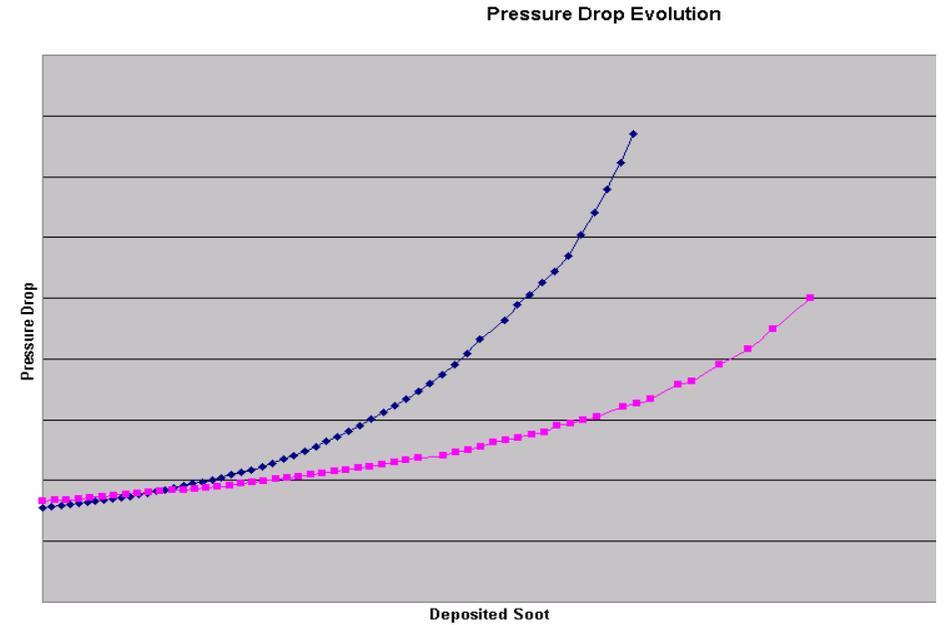
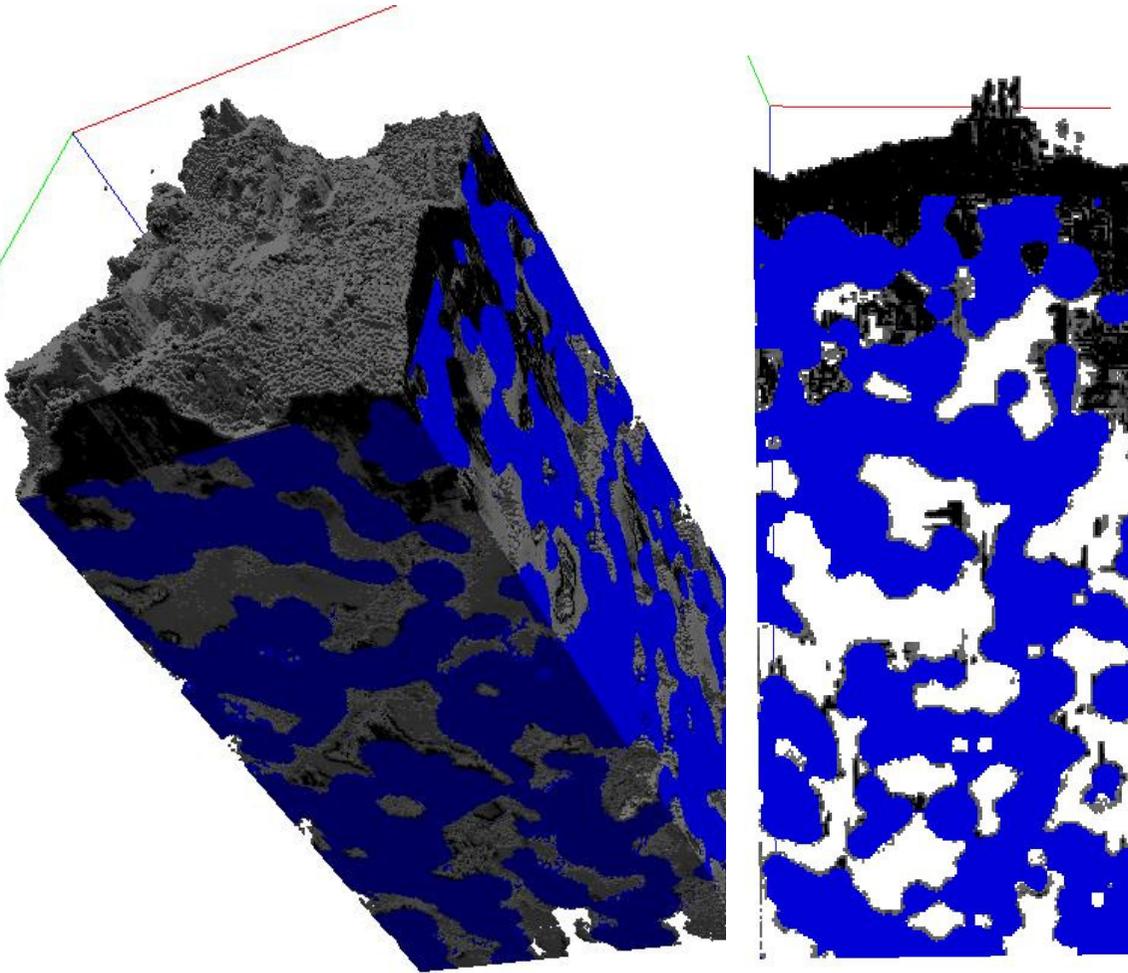
Einzelfasersimulation



Rußschicht aus
Einzelfasersimulation



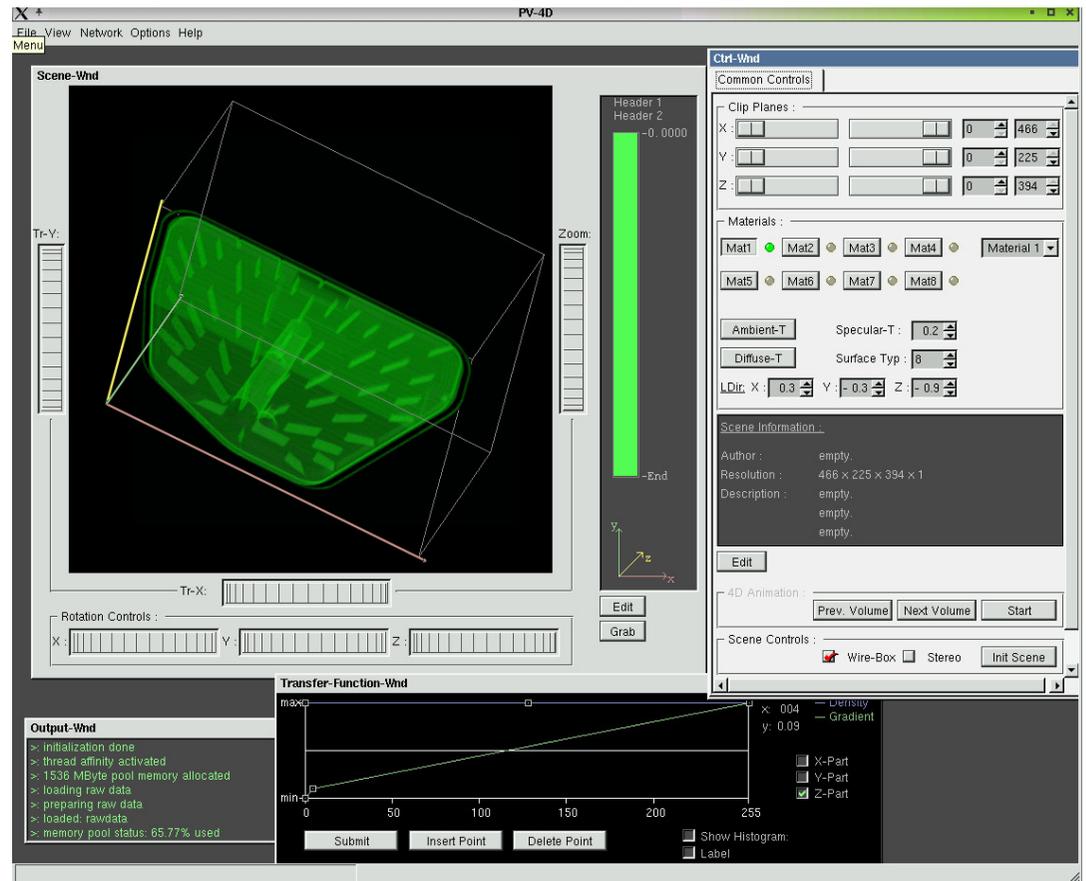
3. Simulation von Filtrationsprozessen - Simulationsbeispiele



3. Simulation von Filtrationsprozessen - Simulationstools

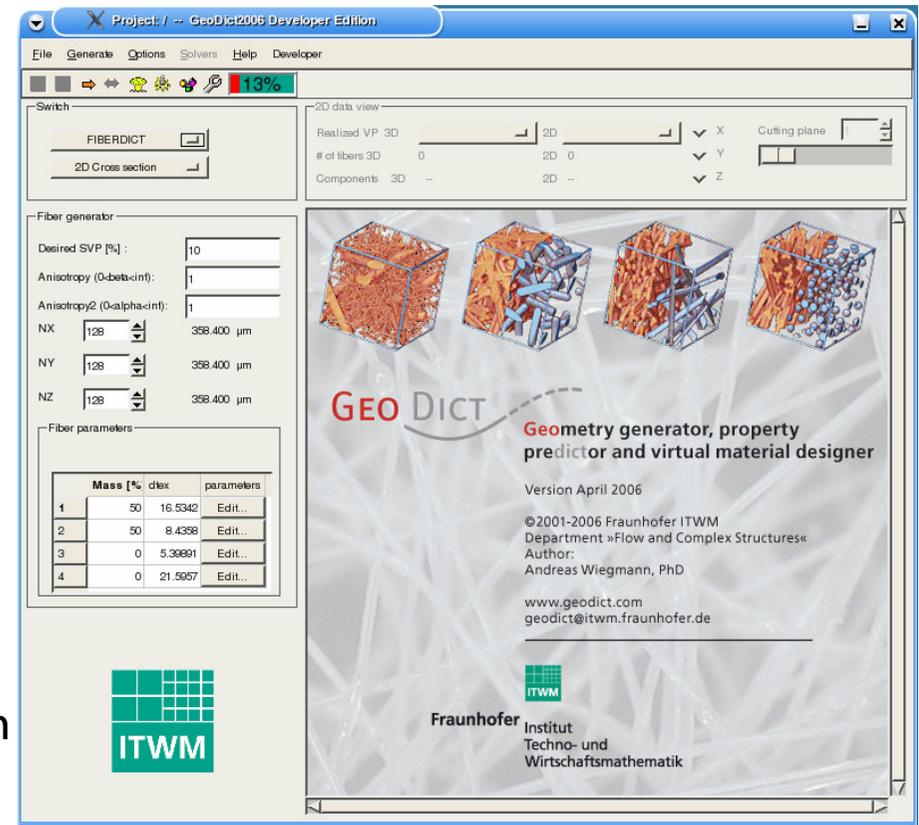


- Suction Filter Simulation
- Simulation kompletter Filtersysteme
- CAD-Schnittstelle
- Effiziente Numerik für Navier-Stokes-Brinkmann-Gleichung
- Berechnung der Druckverteilung und Geschwindigkeiten im kompletten System Filtergehäuse und Filtermedium
- Im Einsatz als Filterauslegungssoftware für Getriebefilter (SPX/IBS Filtran)



3. Simulation von Filtrationsprozessen - Simulationstools

- Modulare Software 
 - **FiberDict**: Nonwoven-Generator
 - **SinterDict**: Generator für Sintermaterialien
 - **FilterDict**: Partikelfiltration
 - **SatuDict**: Kapillardruckkurven
 - **PoroDict**: Porengrößenverteilung
 - 3D-Bildbearbeitung für z.B. Tomographien
 - Berechnung effektiver Materialeigenschaften
 - ...



- Demoversion und weitere Informationen unter www.geodict.com

4. Zusammenfassung und zukünftige Entwicklungen

Aktueller Stand

- Virtuelle Strukturgenerierung
- Strömungswiderstände
- Filtereffizienzen
- Standzeit
- an Beispielen Kopplung der Skalen realisiert
- Softwaretools



Geplante Entwicklungen

- Virtuelle Strukturgenierung
- Nachstellung standardisierter Prüfverfahren
- Kopplung der Längenskalen
Nano – Mikro – Makro
- Ablösung – direkt und in Standzeitsimulation
- Elektrostatische Effekte (Messtechnik)
- allgemeine Partikelformen und Partikelspin
- Partikel-Partikel-Wechselwirkung
- Partikelrückwirkung auf Fluidströmung
- Fluid-Struktur-Interaktion

GeoDict 2007 – Entwicklungsteams

Lattice-Boltzmann-Team

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

SatuDict-Team

Jürgen Becker
Dirk Kehrwald
Volker Schulz
Andreas Wiegmann
Rolf Westerteiger

Elastic-Solver-Team

Heiko Andrä + Dimiter Stoyanov

GeoDict-Team

Andreas Wiegmann
Jürgen Becker
Heiko Andrä
Katja Schladitz
Ashok Kumar Vaikuntam
Rolf Westerteiger
Christian Wagner
Joachim Ohser
Hans-Karl Hummel
Jianping Shen
Petra Baumann

Volume-Rendering-Teams

Carsten Lojewski
Rolf Westerteiger

FilterDict-Team

Stefan Rief
Arnulf Latz
Andreas Wiegmann
Kilian Schmidt
Christian Wagner
Rolf Westerteiger
Stephan Nowatschin

FD-Solver-Team

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

