

Dr. Stefan Rief

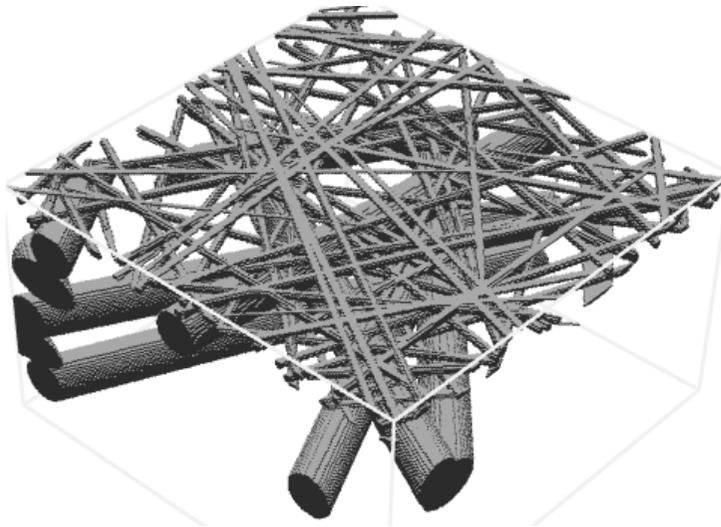
Fraunhofer-Institut

Techno- und Wirtschaftsmathematik, Kaiserslautern

Forschungsforum

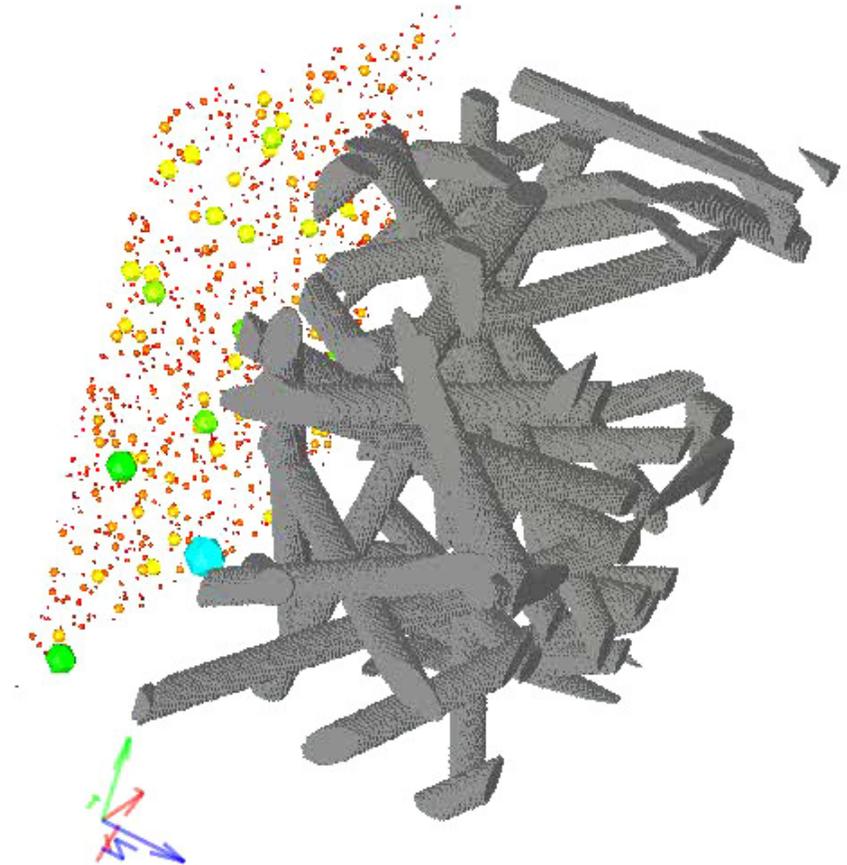
Modellierung und Prognose von Eigenschaften faserbasierter Produkte

26. März 2009, Heidenau

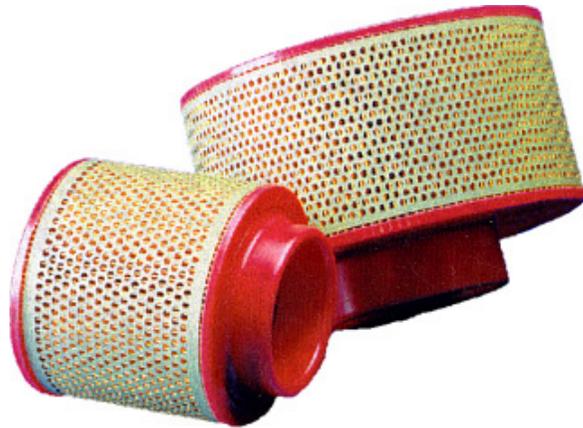


Überblick

1. Virtuelles Materialdesign
 2. Strukturgenerierung an Beispielen
 - Nonwoven, Gewebe, Membrane, Agglomerate, Sintermaterialien
 3. Simulation
 - Bubble Point der Gasdiffusionsschicht einer Brennstoffzelle
 - Druckabfall an gefalteten Ölfiltern
 - Papierentwässerung
 - Rußpartikelfilter
 4. Zusammenfassung
-



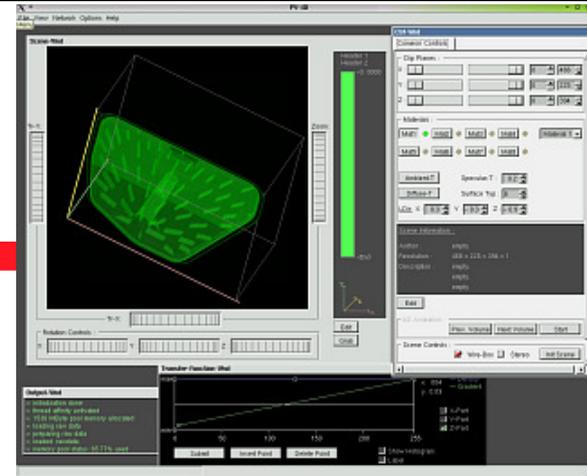
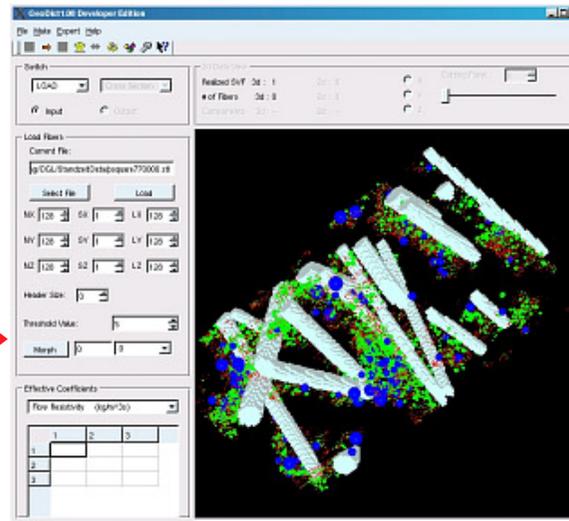
1. Virtuelles Materialdesign



Bestimmung / Variation der Materialparameter

Geforderte Materialeigenschaften erzielt ?

Virtueller Designzyklus



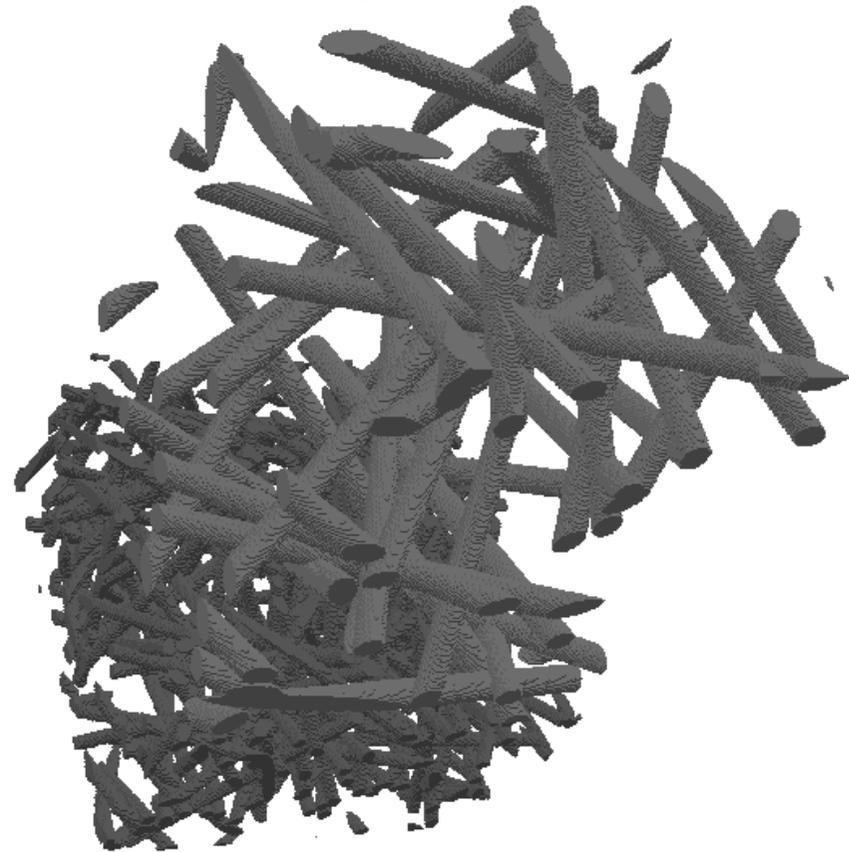
Berechnung makroskopischer Eigenschaften des Filters

Berechnung mikroskopischer Eigenschaften des Filtermediums

2. Virtuelle Strukturgenerierung

Virtuelles Nonwoven mit Gradientenstruktur

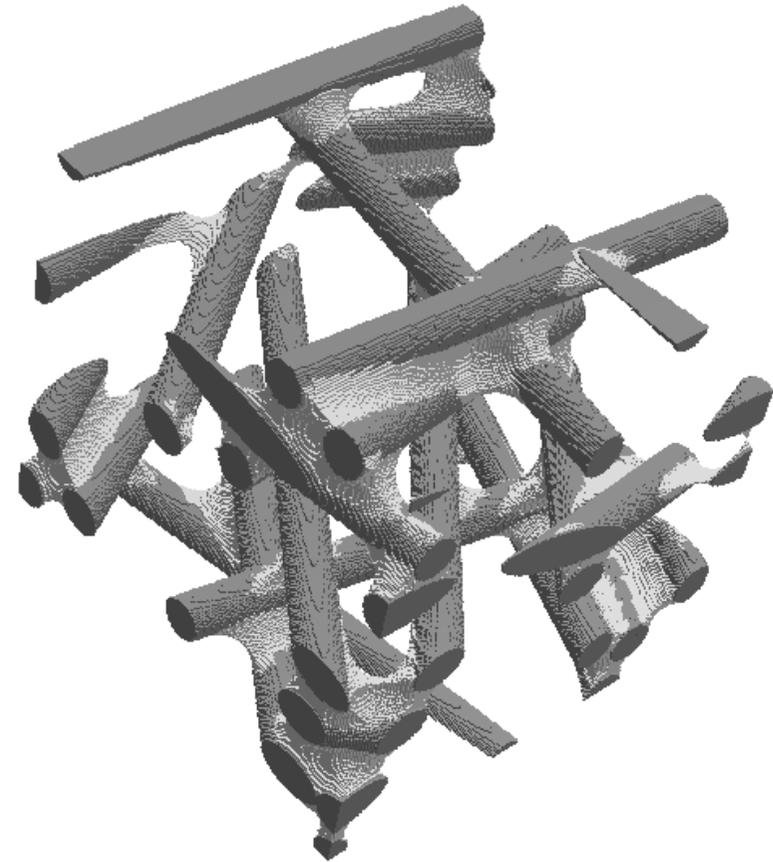
- Zufällig generiert mit garantierten spezifizierbaren Eigenschaften wie
 - Verteilungen der Faserdurchmesser und Faserquerschnitte
 - Faserorientierungen
 - Porositäten
 - Lagendicken
 - ...
- Schichtung zweier Lagen mit verschiedenen Parametern
- Benutzung flexibler Würfelgitter



2. Virtuelle Strukturgenerierung

Virtuelles Nonwoven mit Bindereintrag

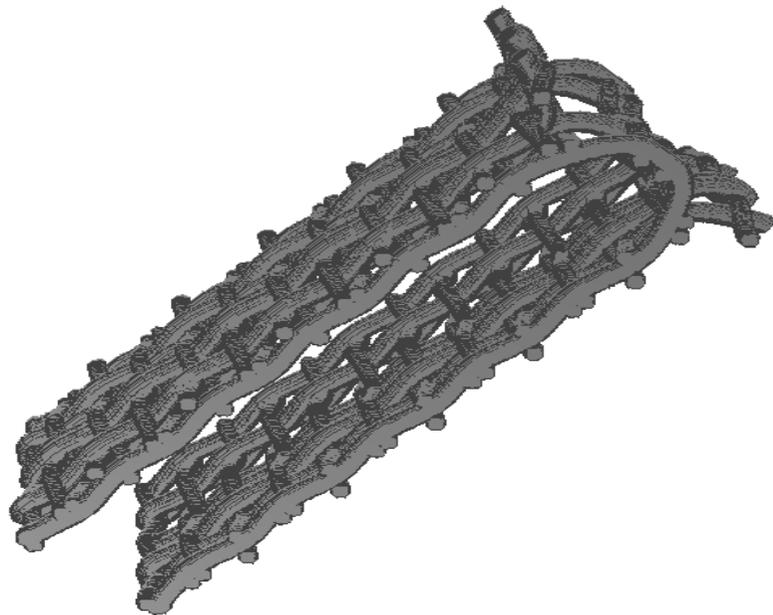
- Zufällig generiertes Nonwoven
- Morphologischen Operationen zur Erzeugung des Binders
- Menge des Binders direkt vorgebar
- Binder erscheint als neues Material in der Struktur mit *eigenen* Eigenschaften in der Simulation (-> wichtig z.B. für Elastizität)



2. Virtuelle Strukturgenerierung

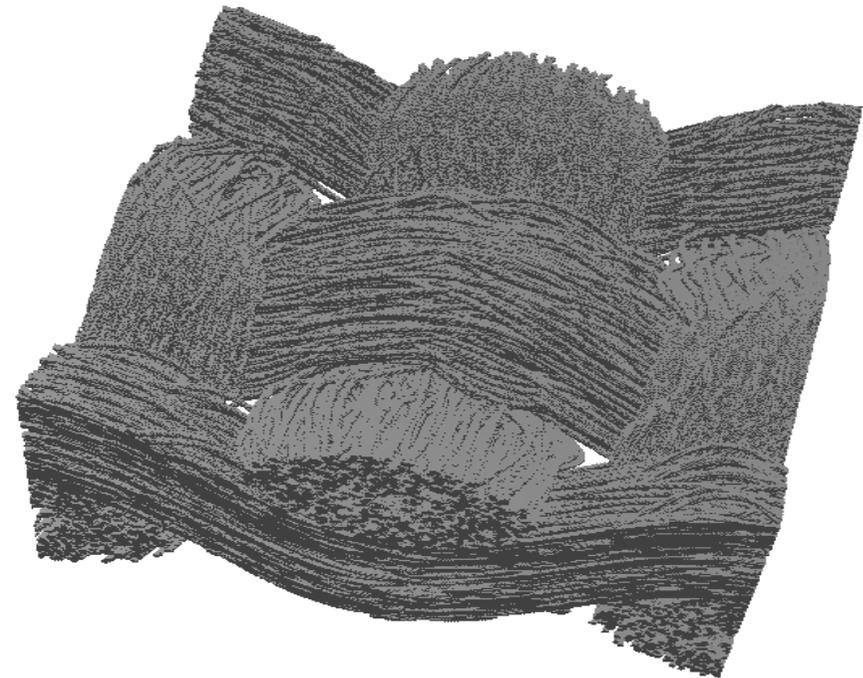
Virtuelles Drahtgewebe

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



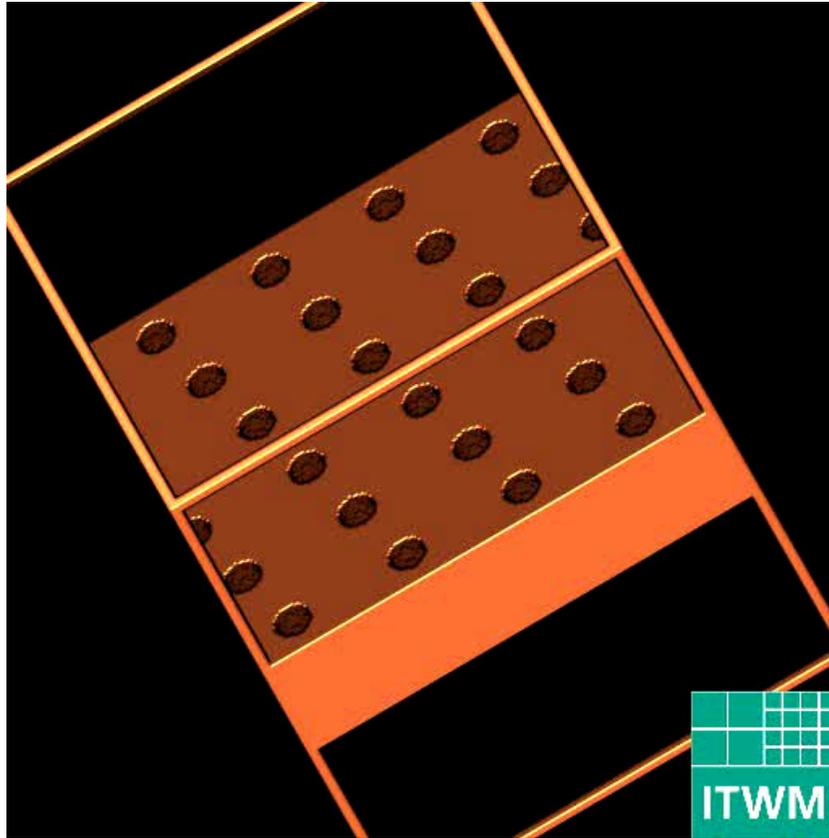
Virtuelles Gewebe mit Leinwandbindung

- Mischung von Deterministik und Zufall

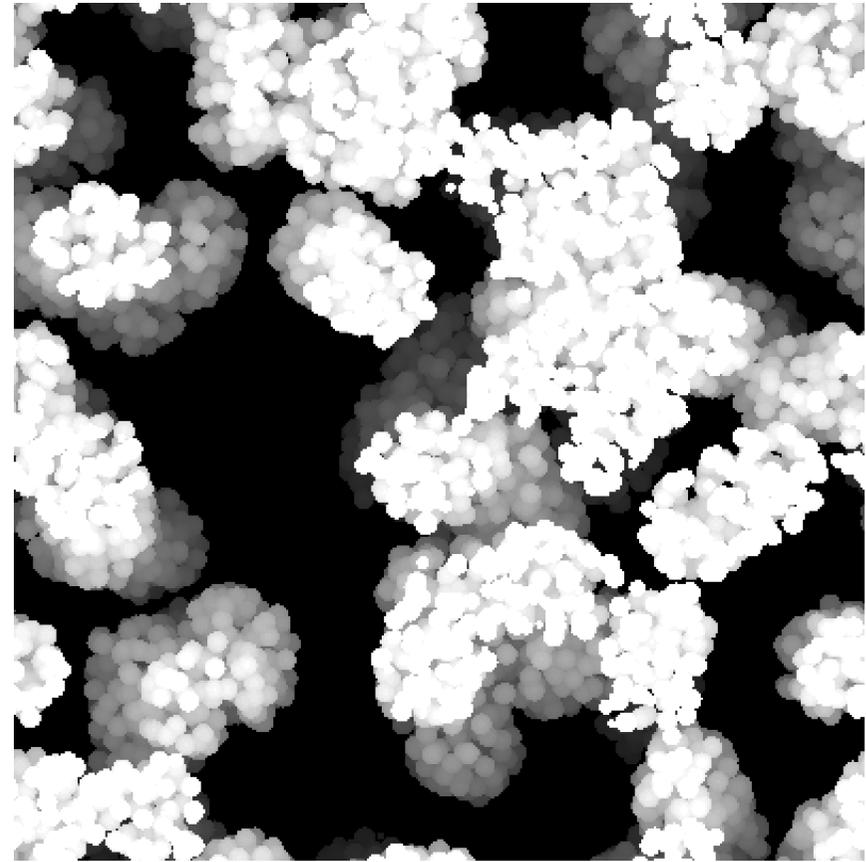


2. Virtuelle Strukturgenerierung

Membran



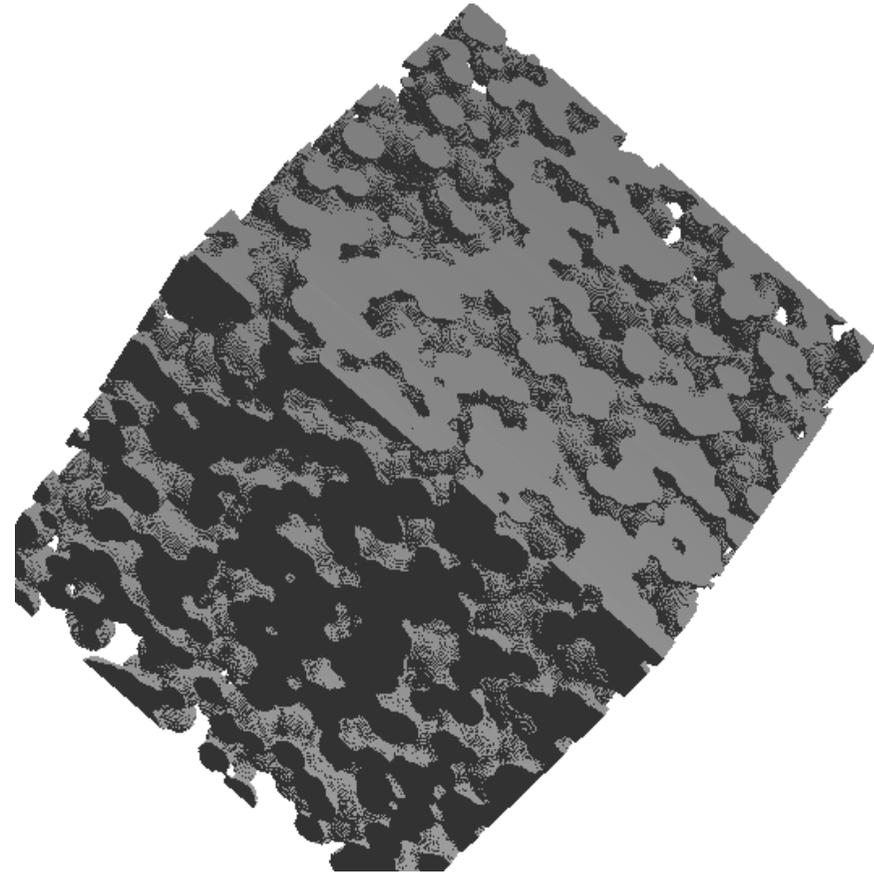
Agglomerat



2. Virtuelle Strukturgenerierung

Virtuelle Sinterstruktur

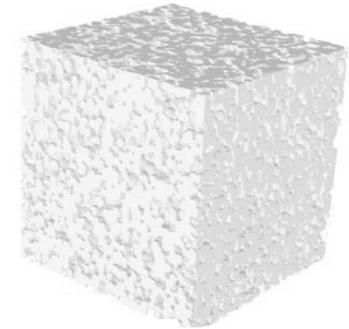
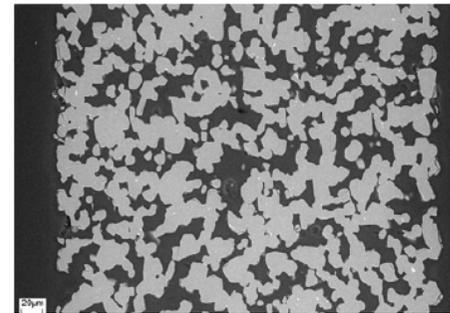
- Zufällig generiert basierend auf
 - Kugelpackung
 - Morphologischen Operationen zur Erzeugung der Sinterhalse
- Kugelpackung orientiert sich an Korngrößenverteilung im Sinterprozess
- Ansatz wurde in einem Projekt entwickelt, da keine Tomographie herstellbar war



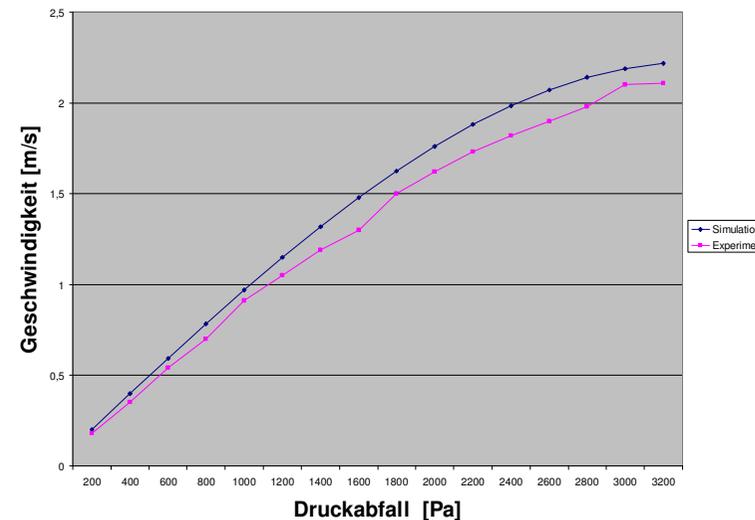
2. Virtuelle Strukturgenerierung

Beurteilung der Qualität einer generierten Struktur

- "Das Auge"
- Porosität, spezifische Oberfläche
- Sehnenlängenverteilungen
- Porengrößenanalyse
- Durchströmungseigenschaften
- Bubble Point, Kapillardruckkurven
- Filtrationseigenschaften
- Akustische Eigenschaften



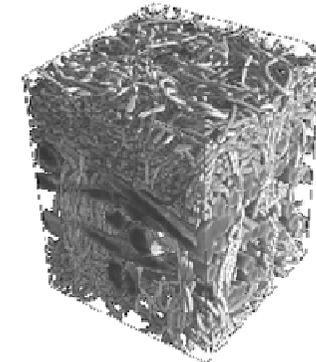
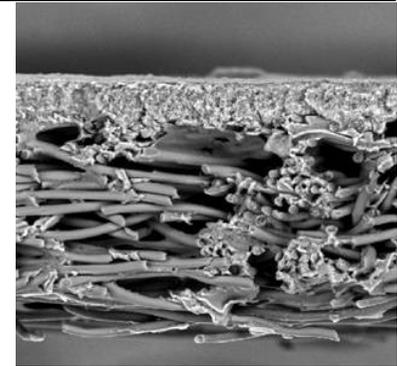
Vergleich von Durchströmungseigenschaften



3. Simulation von Struktureigenschaften

Anwendungsbeispiele

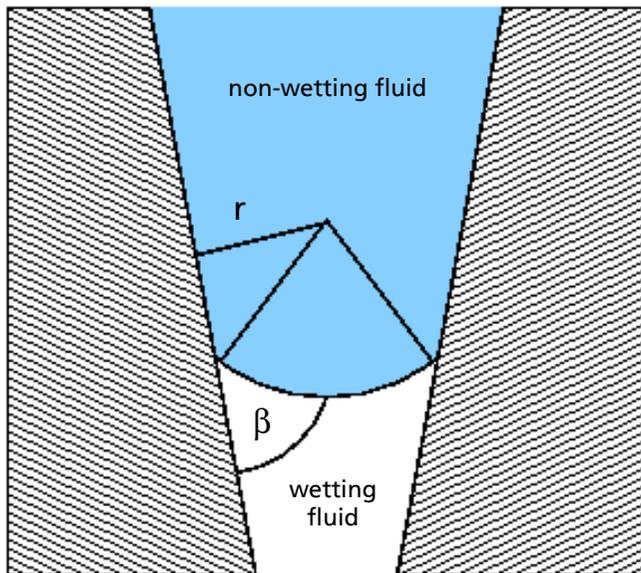
- Brennstoffzelle: Bubble Point Berechnung der Gasdiffusionsschicht
- Ölfilter: Simulation des Struktur abhängigen Druckabfalls
- Papiermaschine: Simulation der Papierentwässerung
- Rußpartikelfilter: Designstudie



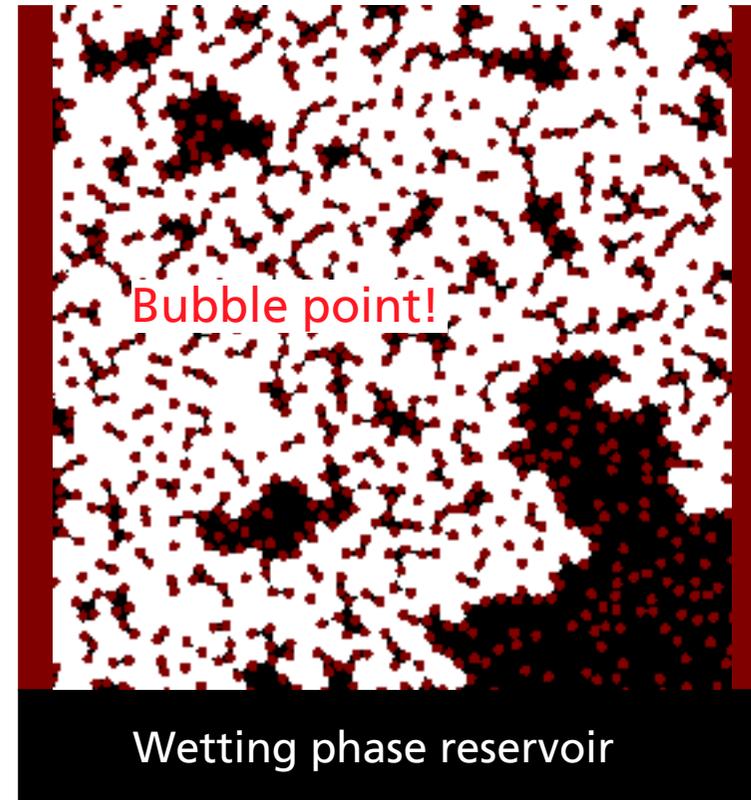
3. Simulation von Struktureigenschaften

Bestimmung des Bubble Points mittels Porenmorphologie

- Young-Laplace-Gleichung: $p_c = \frac{2\sigma}{r} \cos \beta$
- Pore gefüllt, wenn $p_c \geq \frac{2\sigma}{r} \cos \beta$

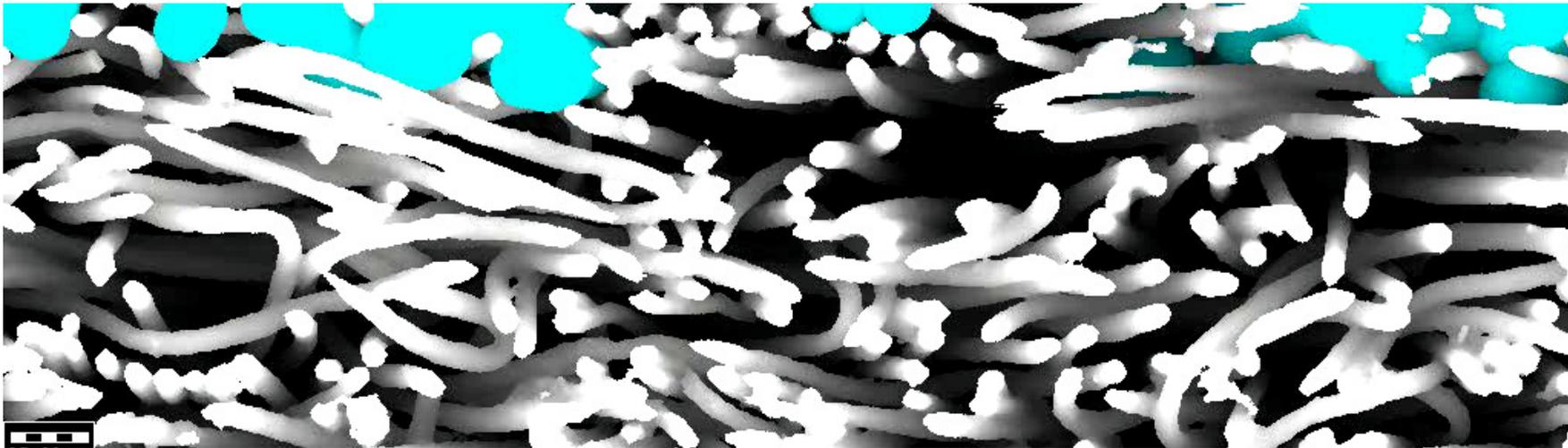


Non-wetting phase reservoir



3. Simulation von Struktureigenschaften

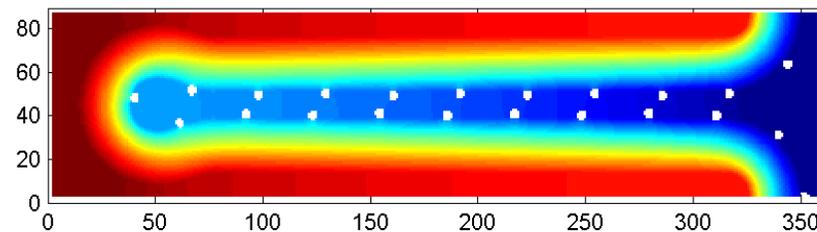
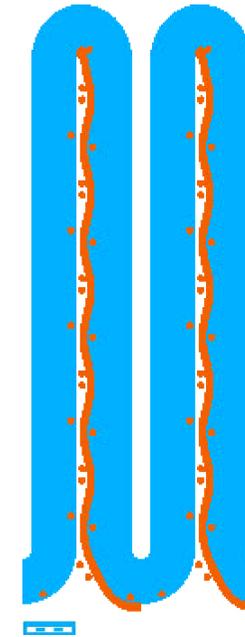
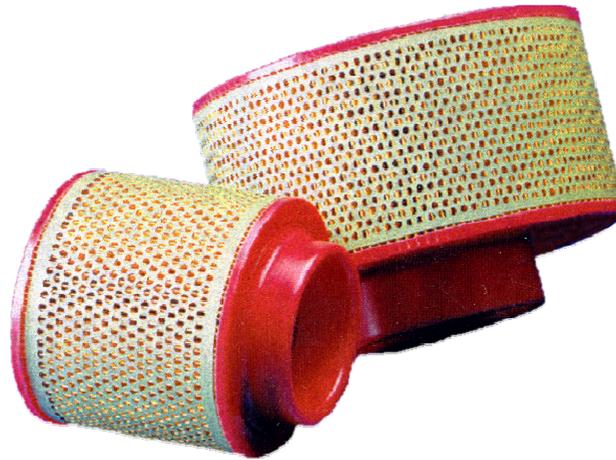
Gasdiffusionsschicht: Wasserverteilung am Bubble Point



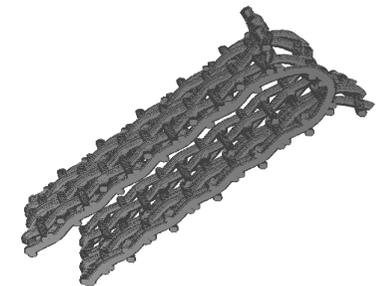
3. Simulation von Struktureigenschaften

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



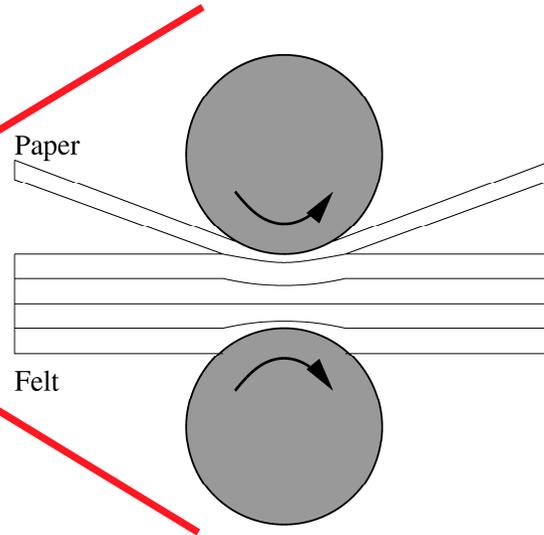
3. Simulation von Struktureigenschaften

Modellierung und Simulation der Pressenpartie einer Papiermaschine

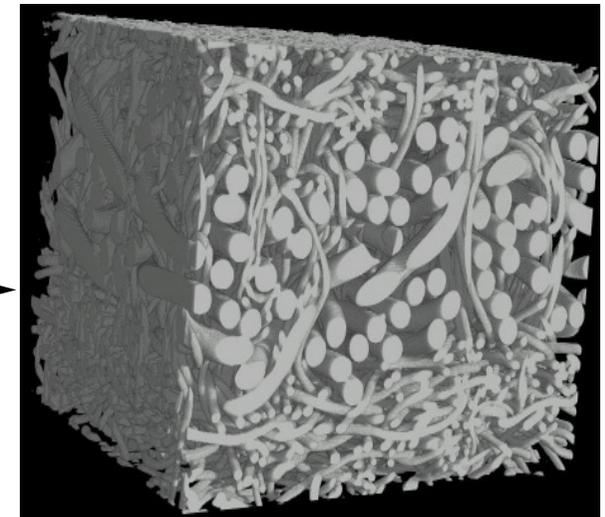
Papiermaschine



Pressspalt



Pressfilz



3. Simulation von Struktureigenschaften

Makroskopisches Pressspalt-Modell

Deformation

- Papier: viskoelastisch-plastisch

$$\tau(x) = E_1(\varepsilon_1(x)) + \Lambda_1 c \frac{d}{dx} E_1(\varepsilon_1(x)) - K \cdot \tau_{max}(x),$$
$$\tau_{max}(x_0) := \max_{x \leq x_0} \tau(x)$$

- Filz: viskoelastisch

$$\tau(x) = E_i(\varepsilon_i(x)) + \Lambda_i c \frac{d}{dx} E_i(\varepsilon_i(x)), \quad i = 2 \dots n.$$

Strömung

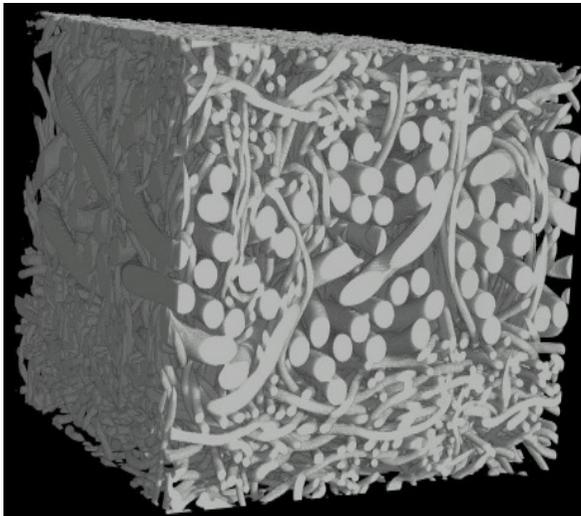
- Zwei-Phasen Darcy Gesetz
- Richards Annahme: Luft unendlich beweglich
- Druck – Sättigungsrelation
- Nichtlineare Filtrationsgesetze in der voll gesättigten Zone:

$$- \operatorname{div} \left(S(p_f) \Phi \mathbf{v}_s \right)$$
$$= - \operatorname{div} \left(\frac{\mathbf{K}_f^0}{\mu_f} \frac{\Phi^3}{1-\Phi^2} S(p_f)^b \cdot \nabla p_f - \mathcal{F}_0^{\text{nl}}(\nabla p_f, \Phi) \right)$$

3. Simulation von Struktureigenschaften

Modellierung und Simulation der Pressenpartie einer Papiermaschine

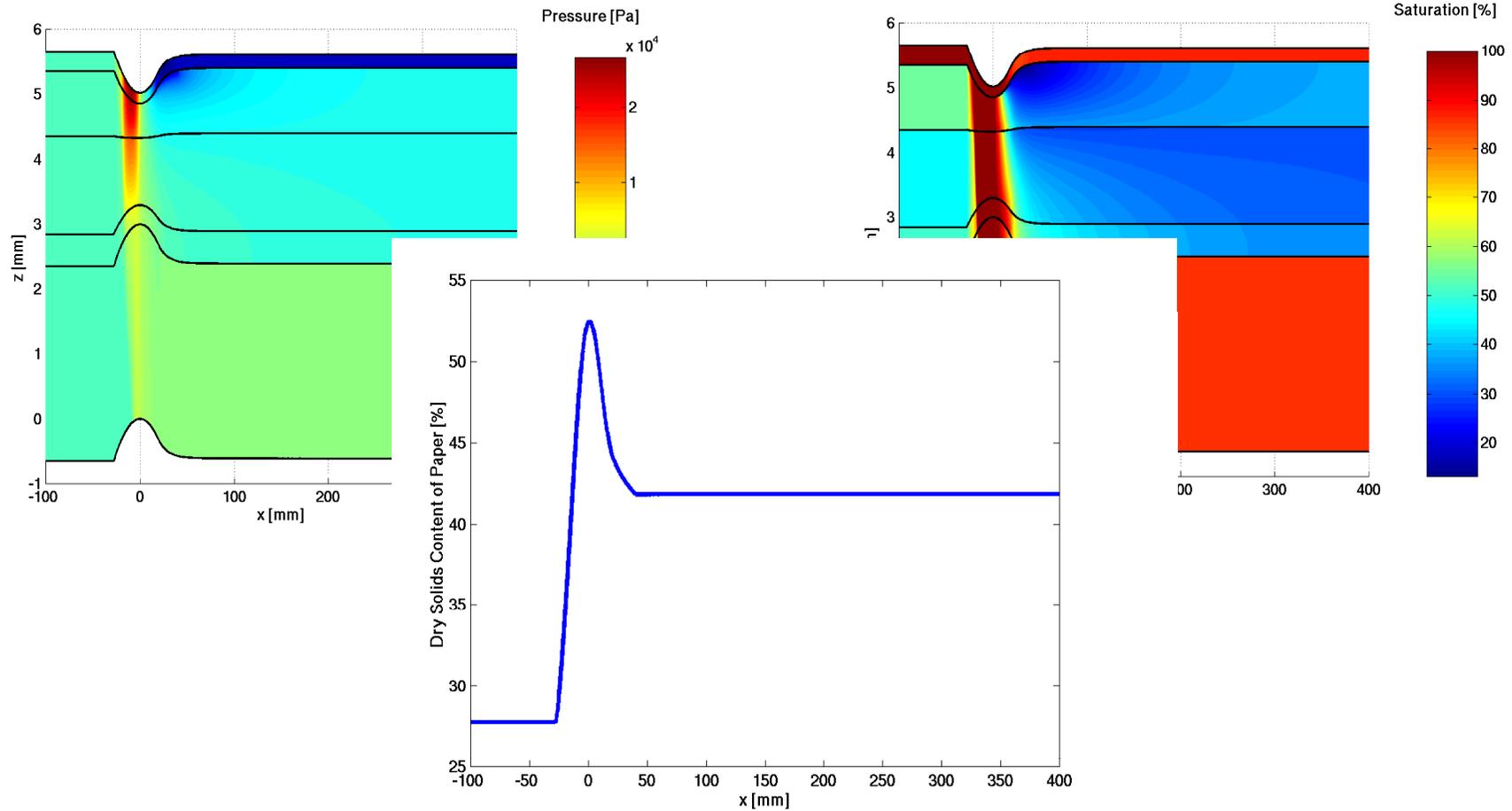
Tomographie



GeoDict als Eingabeparameterlieferant für Makrosimulation:

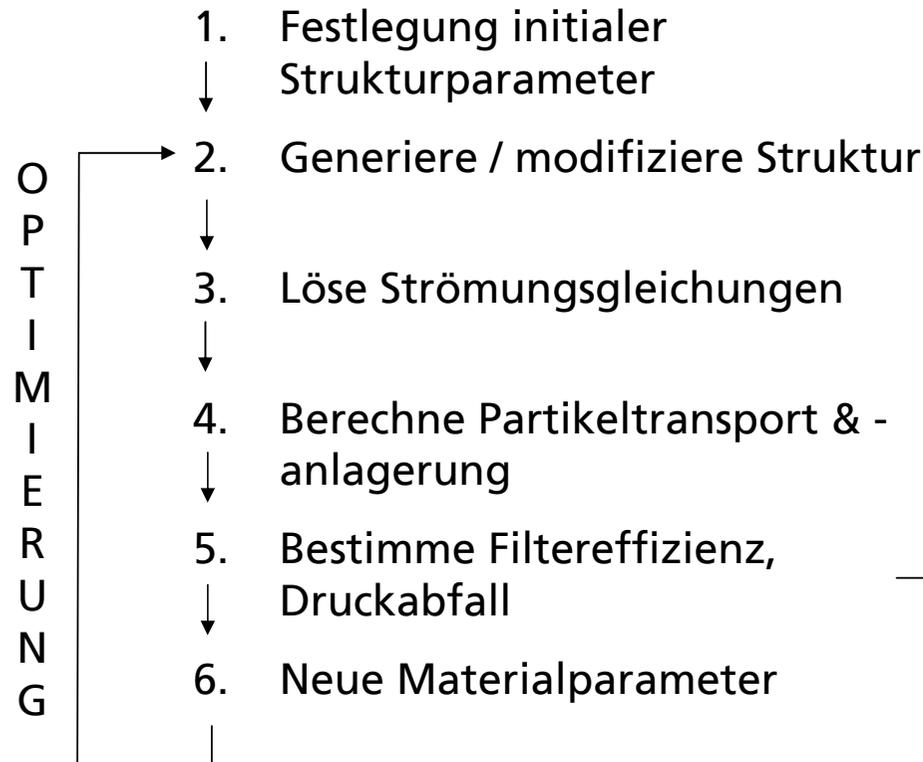
- Bildbearbeitung (Filtern, Zuschnitt)
- Analyse der Porositätsverteilung
- Berechnung der schichtweisen Permeabilität
- Porositäts- und Permeabilitätsänderung unter virtueller Verpressung
- Druck-Sättigungskurven via Porenmorphologiemethode

3. Simulation von Struktureigenschaften

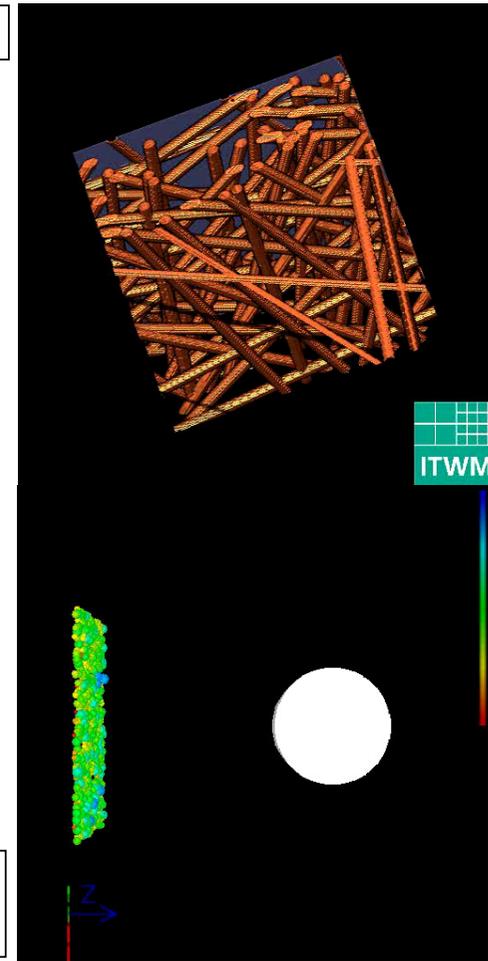


3. Simulation von Struktureigenschaften

Simulation von Filtrationsprozessen



Strömung

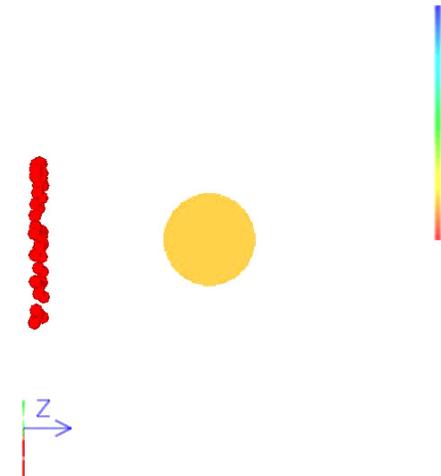
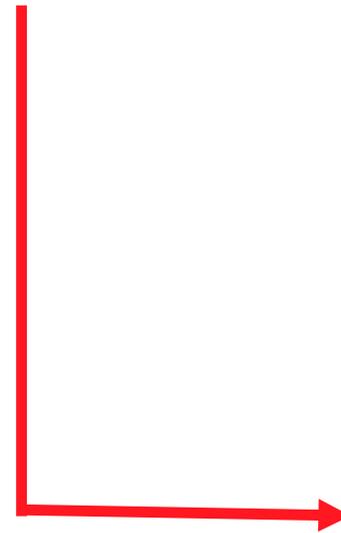
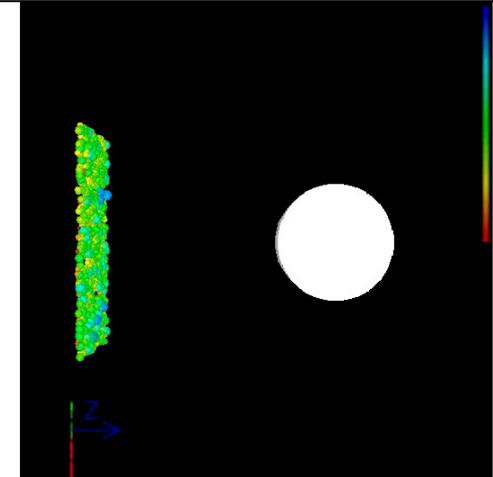
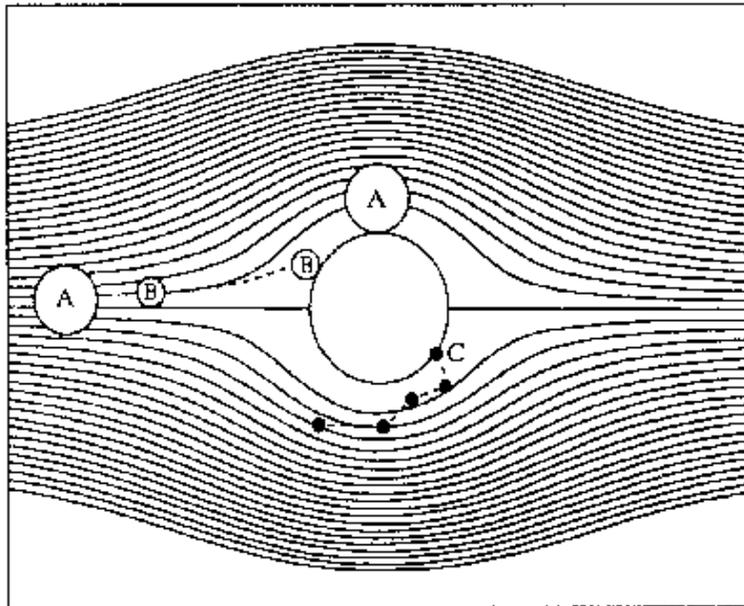


Einzelfaser-simulation

3. Simulation von Struktureigenschaften

Im Modell abgebildete Abscheidemechanismen

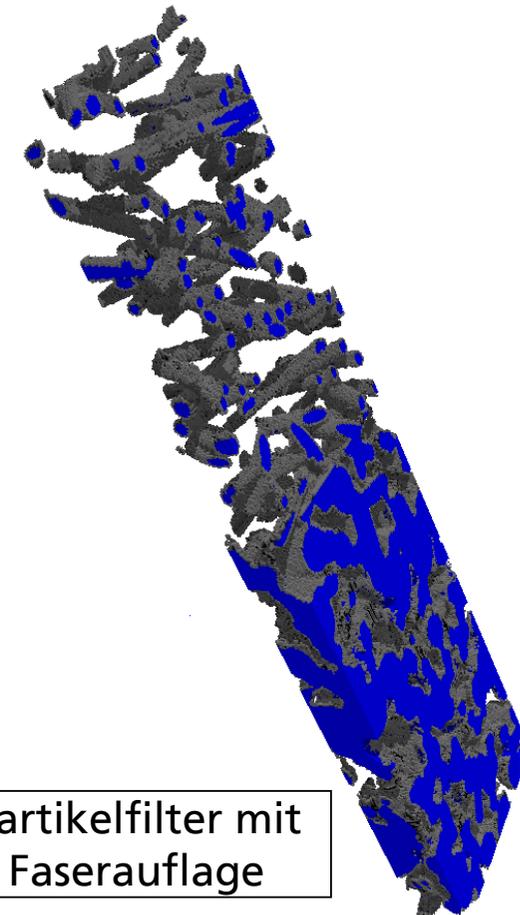
- A) Sperreffekt
- B) Trägheitseffekt
- C) Brown'sche Bewegung
- D) Siebeffekt
- E) Elektrostatische Effekte



3. Simulation von Struktureigenschaften

Designstudie eines Rußpartikelfilters

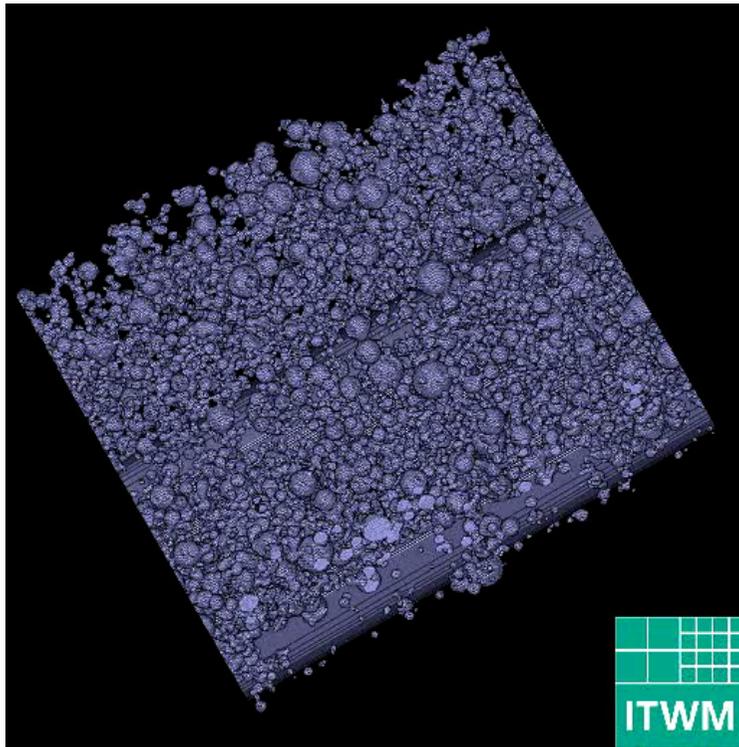
- Sinterstruktur mit und ohne Faserauflage im Hinblick auf Gegendruckverhalten
- Rußpartikel (80 nm) sind sehr viel kleiner als Struktur (1 μm) -> poröse Anlagerungsart
- Navier-Stokes-Brinkmann-Gleichung für freie und poröse Strömung
- Permeabilität und maximaler Füllgrad der porösen Rußwürfel durch Einzelfasersimulation
- 500 Millionen Rußpartikel pro Standzeitsimulation



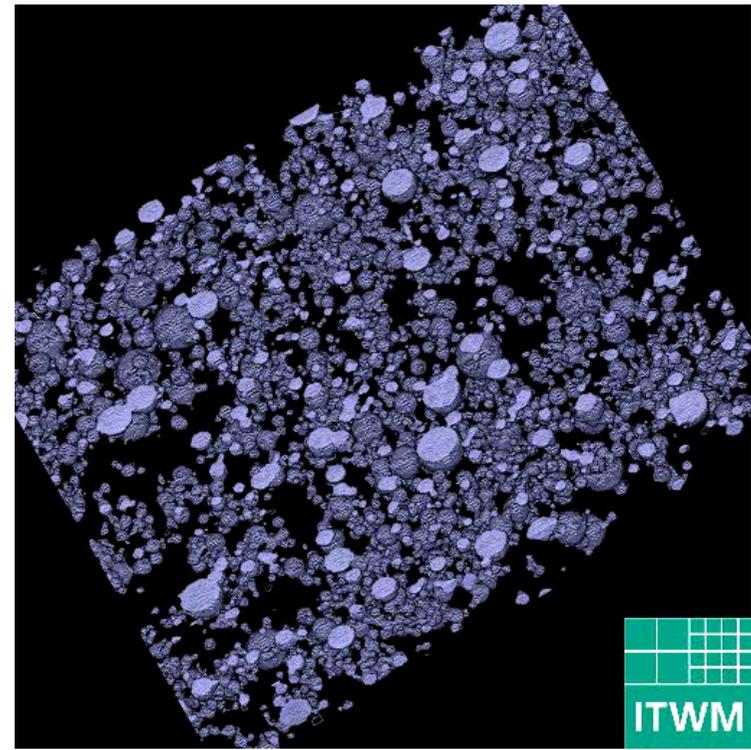
Partikelfilter mit
Faserauflage

3. Simulation von Struktureigenschaften

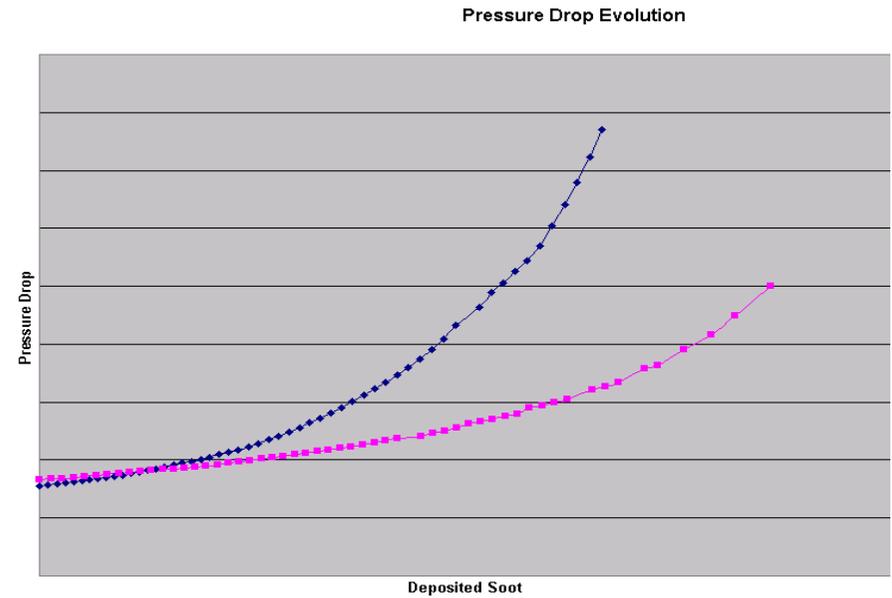
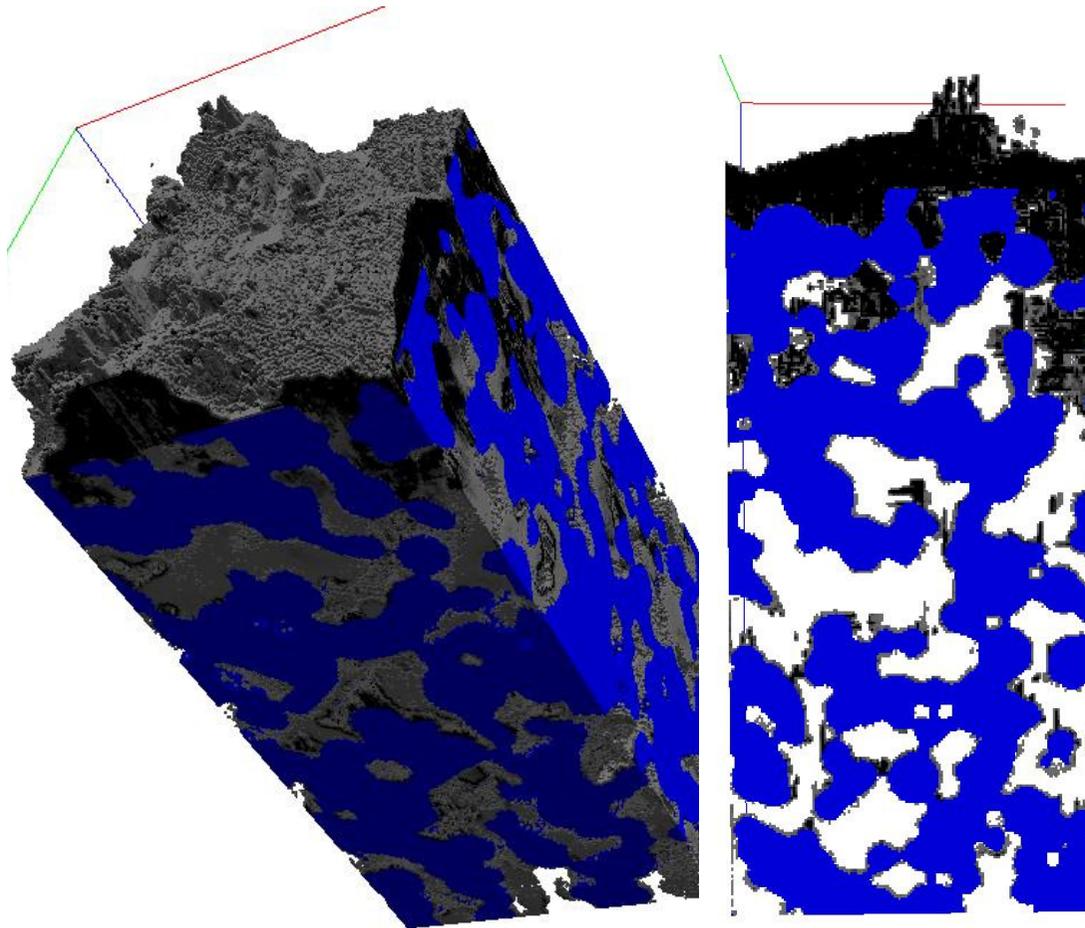
Einzelfasersimulation



Rußschicht aus Einzelfasersimulation

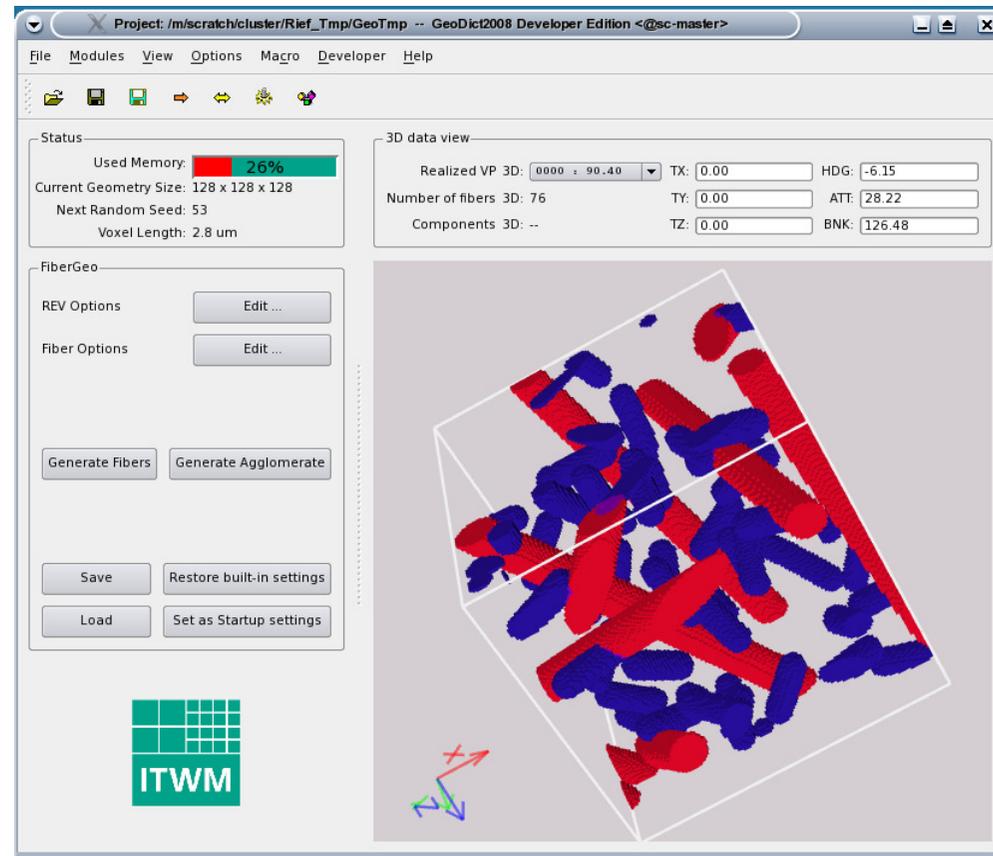


3. Simulation von Struktureigenschaften



4. Zusammenfassung (und mehr ...)

- **FiberGeo**, **SinterGeo**, **WeaveGeo**, **GridGeo**, **PackGeo** (Strukturgeneratoren)
- **ProcessGeo** (3d Bildbearbeitung)
- **LayerGeo** (Schichtungen)
- **ImportGeo** (z.B. Tomographie, STL)
- **ExportGeo** (z.B. Fluent, Abaqus)
- **FlowDict** (Strömungseigenschaften)
- **ElastoDict** (Effektive Elastizität)
- **ThermoDict** (Wärmeleitfähigkeit)
- **DiffuDict** (effektive Diffusion)
- **FilterDict** (Filtration)
- **SatuDict** (Kapillardruckkurven)
- **PoroDict** (Porengrößenverteilung)
- **AcoustoDict** (Absorptionseigenschaften)



GeoDict Development Teams



The **GeoDict** Team

Andreas Wiegmann
Jürgen Becker
Kilian Schmidt
Heiko Andrä
Ashok Kumar Vaikuntam
Rolf Westerteiger
Christian Wagner
Mohammed Alam
Jianping Shen

The **PoroDict** Team

Andreas Wiegmann
Jürgen Becker
Rolf Westerteiger

The **PleatDict** Team

Andreas Wiegmann
Oleg Iliev
Stefan Rief

The **FilterDict** Team

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

The **SatuDict** Team

Jürgen Becker
Volker Schulz
Andreas Wiegmann
Rolf Westerteiger

The **RenderGeo** Teams

Carsten Lojewski
Rolf Westerteiger
Matthias Groß

The **FiberGeo** Team

Andreas Wiegmann
Katja Schladitz
Joachim Ohser
Hans-Karl Hummel
Petra Baumann

WeaveGeo & **PleatGeo**

Andreas Wiegmann

The **SinterGeo** Team

Kilian Schmidt
Norman Ettrich

The **ElastoDict** Team

Heiko Andrä
Dimitar Stoyanov
Andreas Wiegmann
Vita Rutka
Donatas Elvikis

GridGeo & **PackGeo**

Andreas Wiegmann

FlowDict Lattice Boltzmann **Team**

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

FlowDict EJ Solver Team

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

Software for Generation, Simulation, Visualization:



www.geodict.com

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !