



Moderne Strömungssimulationen in Mikrosystemen

-
**Virtuelle Produktentwicklung in
Medizintechnik und Maschinenbau**

Catrin Bludszuweit-Philipp
ASD Advanced Simulation & Design GmbH

www.asd-online.com

1



Virtuelle Produktentwicklung

durch

**Anwendung computergestützter
Simulationsverfahren der
numerischen Fluidmechanik (CFD)
und Festkörpermechanik (FEM)**

2

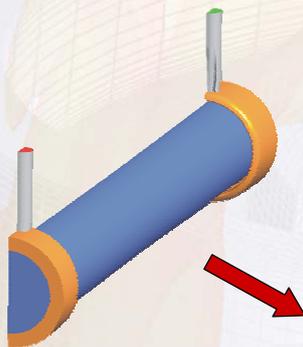
Was sind Simulationen ?

Entsprechend der VDI-Richtlinie 3633 versteht man unter Simulation

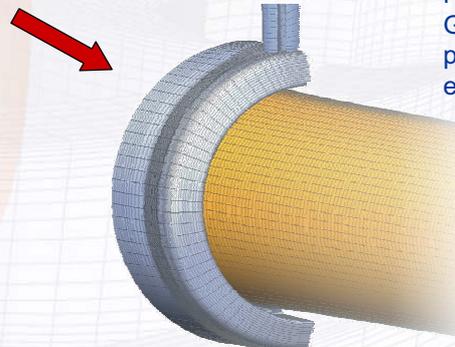
„das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“ .

3

Was sind Simulationen ?

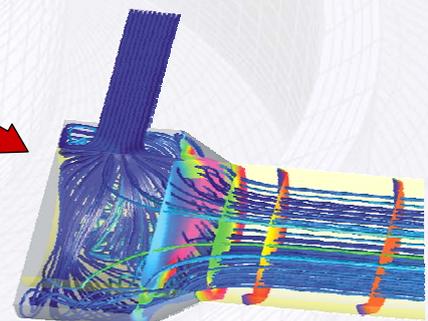


CAD Modell des zu berechnenden Gerätes



Numerisches Modell – Erstellung eines Gitters zur Berechnung der physikalischen Erhaltungsgleichungen in einzelnen Elementen des Gitters

Auswertung der Ergebnisse aller berechneten physikalische Größen



Beispiel: Dialysatorberechnung

4

Warum Simulationen ?



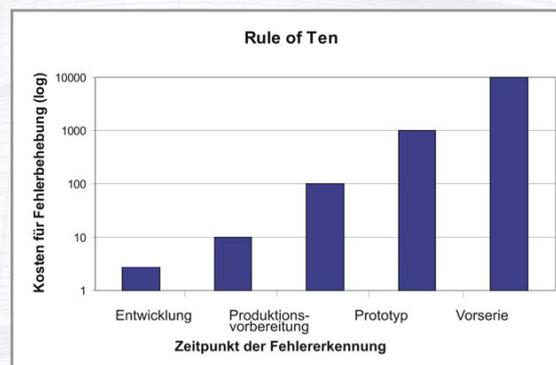
- **unüberschaubare Komplexität** und **Vielfältigkeit** vieler technischer und biologischer Prozesse
 - > experimentelle Untersuchung oder exakte mathematische Lösung entweder unmöglich oder sehr kostenintensiv und zeitaufwendig
- **Flexibilität** und **schnelles, kundenorientiertes Neu- und Umgestalten** von Produkten überlebensnotwendig für viele Unternehmen
- **Effizienzsteigerung**
 - verbesserte Analysemöglichkeiten ⇒ verkürzte Konstruktionszyklen
 - Einsparung von Zeit und Senkung der Kosten durch geringe Prototypenserien
 - schnellere Markteinführung von Produkten

5

Warum Simulationen ?



- **Kosteneinsparung**



- **operative, taktische und strategische Entscheidungsunterstützung**
- **Belastungsminimierung**
Reduzierung von *in-vitro* Experimenten und Tierversuchen
- **Produktpräsentationen und Marketinghilfe**

6

Erfolg von Simulationen



korrekte Modellierung des Systems und seiner Parameter

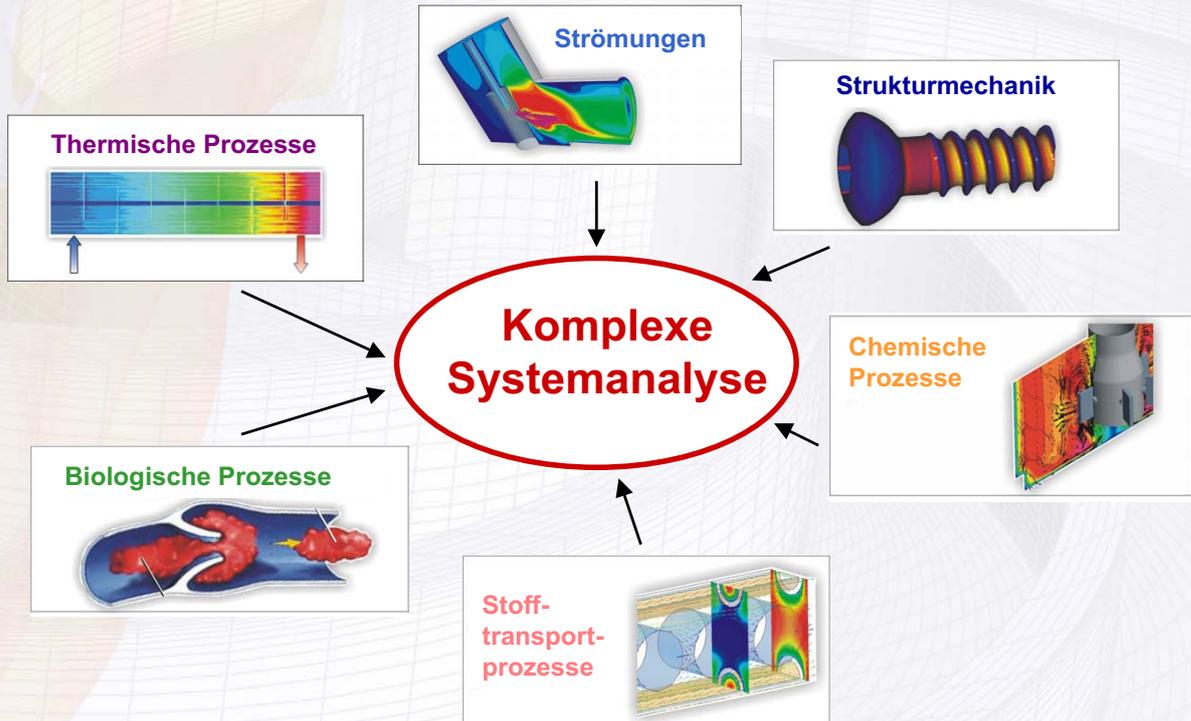


Auswahl geeigneter Simulationswerkzeuge - leistungsfähige Hard- und Software



fachgerechte und kritische Bewertung und Interpretation der Simulationsergebnisse

Ingenieurtechnische Simulationen





Modellierung und Simulation in der Mikrofluidtechnik



Computational Fluid Dynamics (CFD)

Fluid (Flüssigkeiten + Gase) als Kontinuum:

- ➔ Homogenes Medium
- ➔ Fluideigenschaften als makroskopische Größen (Viskosität, Dichte, Wärmeleitfähigkeit, ...)

Mikrofluidtechnik

Sehr kleine Abmessungen:

- ➔ Grenzbereich der Kontinuumsbetrachtung
- ➔ Freie Weglänge bei Gasen (Knudsen-Zahl $Ku = l/L$)
- ➔ Annäherung an Dimensionen von Zellen / Zellverbänden



CFD in der Mikrosystemtechnik

Strömungsmechanische Gehäuseoptimierung:

- ➔ Druckverlust, Geschwindigkeitsverteilung, Scherraten, Konzentrationsverteilungen, ...

Einfluss von Fertigungstoleranzen:

- ➔ Variation von Druckverlust, Geschwindigkeit, Scherraten in Abhängigkeit der Abmessungen

Auslegung von „Einzelapparaten“:

- ➔ Kleinstmischkammern, Pumpen, Reaktoren, ...

Thermische Fragestellungen:

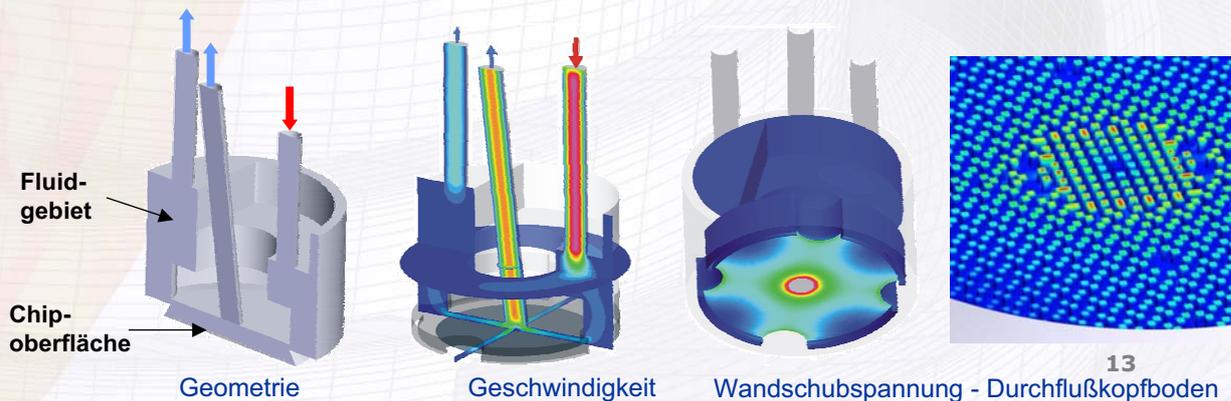
- ➔ Beheizung, Kühlung, Wärmehaushalt von biologischen oder chemischen Mikroreaktoren, ...

Durchflußkopf eines Mikrochips (Biophysik / Uni Rostock)

Analyse der Strömungsverhältnisse

- ➔ Berechnung der stationären 3D Geschwindigkeitsverteilung
- ➔ Vergleich verschiedener geometrischer Varianten
- ➔ Auswertung insbesondere hinsichtlich Wandschubspannung

Ziel ➔ **Minimierung der Scherkräfte auf der Chipoberfläche**



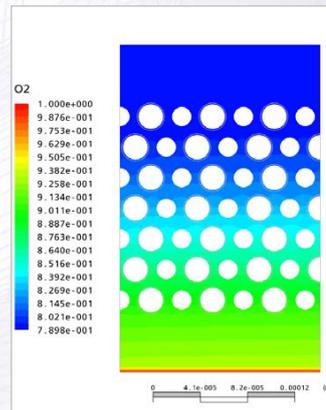
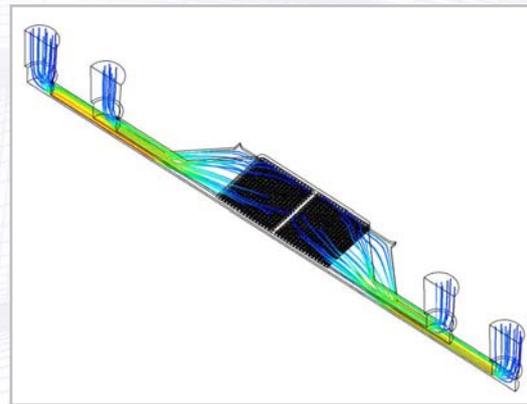
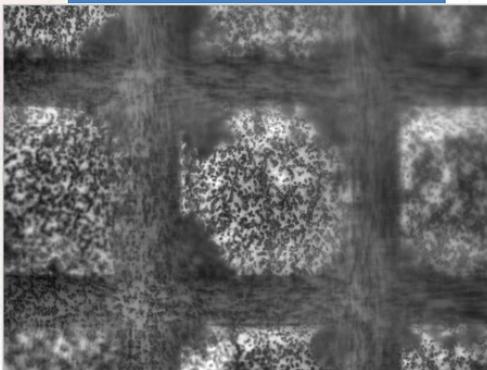
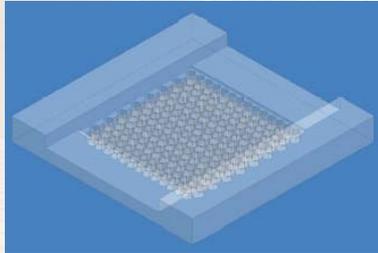
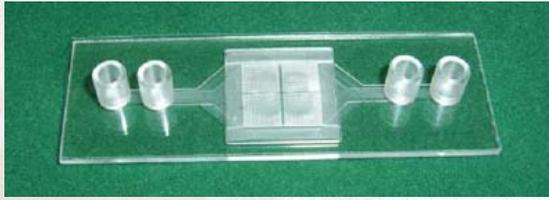
Kooperationsprojekt: „Fluidiksimulation für Zellkultivierungssysteme“ (TU Ilmenau, FZ Karlsruhe)

Teilprojekt der ASD GmbH:

„Entwicklung eines generalisierten Simulationstools zur Analyse und Optimierung von Mikrozellkultivierungssystemen“

- ➔ Modellierung der **Zell-Zell + Zell-Fluid-Interaktionen** einschließlich Stoffwechsel (→ **Bioreaktor**)
- ➔ Modellierung des **Gastransportes / Atmung**
- ➔ Simulation des **Einflusses von Gaseinschlüssen** auf Strömungsverhältnisse
→ freie Oberfläche = Grenzfläche Gas - Flüssigkeit / Kapillarkräfte
- ➔ Modellierung der **Strömung in den Kapillarräumen** im Zellverband
- ➔ **Anwendung des Gesamtmodells auf ein Hepatozytenzellsystem**

Anwendungsbeispiel Bioreaktor



15

Anwendungsbeispiel Mikroreaktor



Kooperationsprojekt AMIKRO:

„Ultraschallgestützte katalytische Multiphasenreaktionen in Mikrostrukturen – Sichere und kontinuierliche Prozessführung bei hohen Drücken und Temperaturen am Beispiel der Aminierung von Kohlenwasserstoffen –“

Kooperationspartner:



Teilprojekt der ASD GmbH:

„Simulation eines Zweiphasensystems (Wasser/organische Phase) für verschiedene Mikroreaktoren, Temperaturen und Fließgeschwindigkeiten“

16

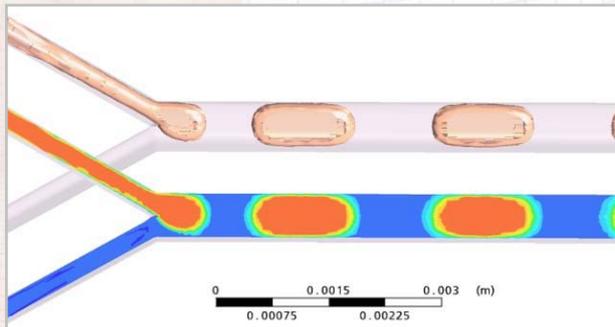
Anwendungsbeispiel Mikroreaktor



- ➔ **Ziel:** Gewährleistung eines segmentierten Flusses mit maximaler Phasengrenzfläche
- Vergleich unterschiedlicher Reaktorgeometrien



- ➔ **Methode:**
- Nicht- mischbare Komponenten werden als Zweiphasensystem beschrieben
 - Grenzflächen werden als freie Oberflächen aufgelöst
 - Berücksichtigung von Grenzflächenspannung und Kontaktwinkel



Simulation des segmentierten Flusses (oben) und Darstellung der Phasenverteilung im Mikroreaktor (unten)

- ➔ **Ergebnis:**
- Gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment
 - Optimierung im Vorfeld aufwendiger Fertigung und Testung



17

Zusammenfassung



Grundsätzlich gibt es vier zwingende Gründe zum Einsatz von Simulationen:

Einblick

Vorschau

Effizienzsteigerung

Belastungsminimierung