

Klein, kleiner, am kleinsten –

**Was verbirgt sich eigentlich hinter
Mikro- und Nanoverfahrenstechnik?**

Wie groß sind eigentlich “Mikro” und “Nano”?



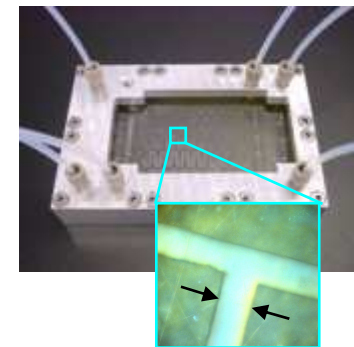
Chemieverbundanlage Leuna ~5km



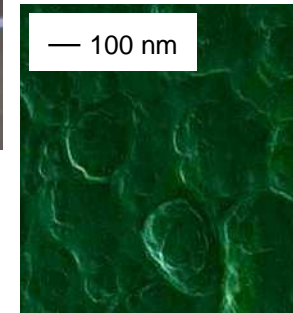
Rührkesselreaktor ~ 1m



Laborreaktor ~ 10cm



Mikroreaktor ~100µm



Nanotropfen ~ 20nm

$$1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 10^0 \text{ m}$$

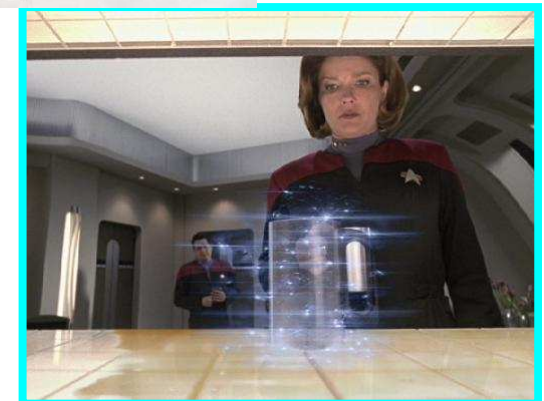
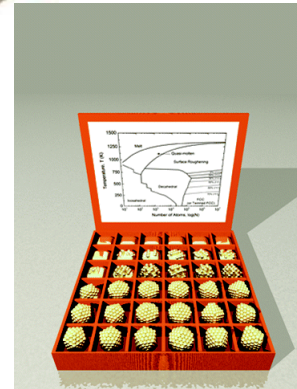
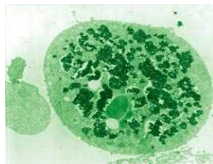
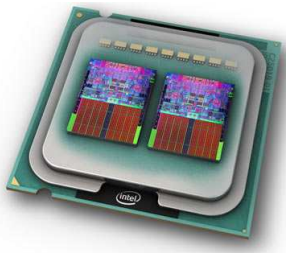
$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

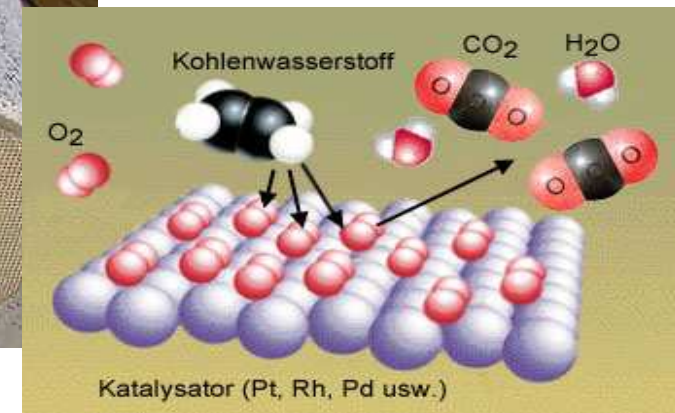
Warum Mikro- und Nanoverfahrenstechnik?

- Miniaturisierung der Technik: Elektronik, Medizin, Chemie, Biologie
- Ressourcenschonung/Ressourcenlimitierung
- Energieeffizienz/Lokale Energieerzeugung/Lokale Produkterzeugung
- Verbesserte Einsicht in physikalische und chemische Phänomene
- Mess- und Manipulationsmöglichkeiten auf der Mikro- und Nanoebene
- Entwicklung leistungsstarker Computer- Simulation der Mikro- und Nanoskalen

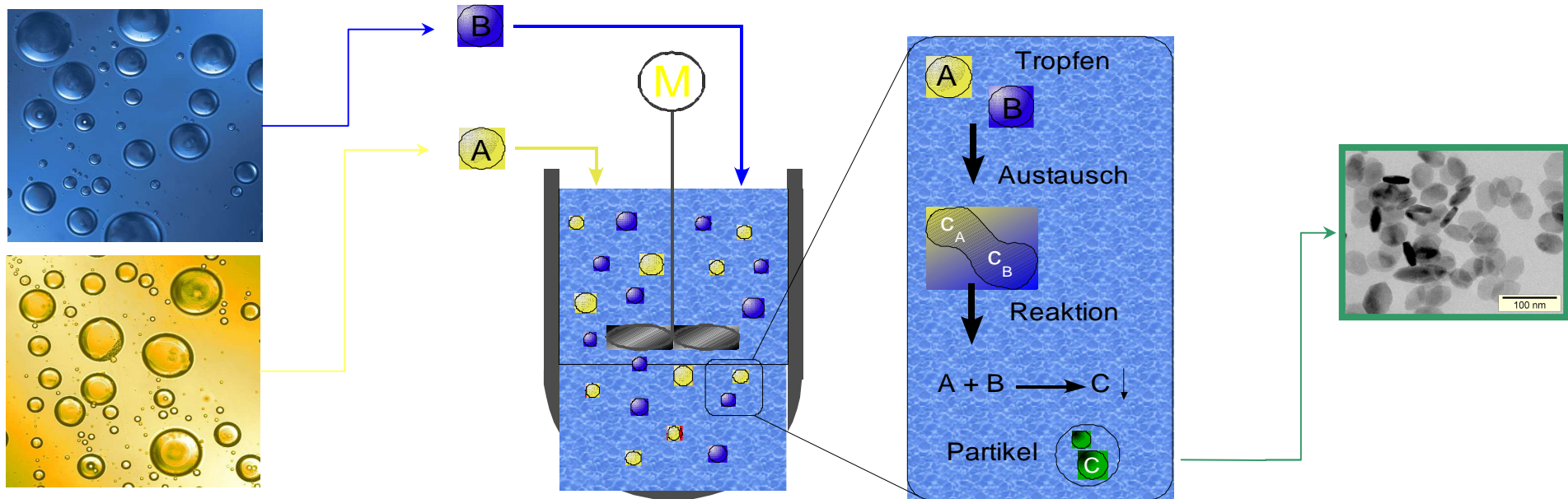


Beispiel Auto-Katalysator

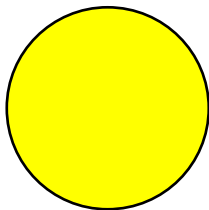
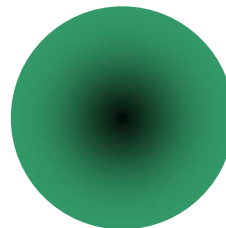
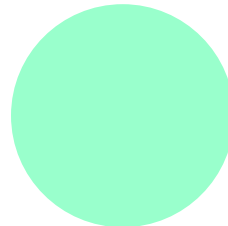
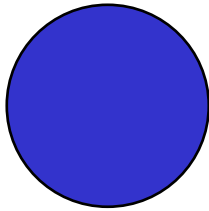
- Oberflächenaktive Reaktionen zum Abbau von Kohlenwasserstoffen
 - Große Oberfläche mit wenig Material beschichten
 - Teure Katalysatoren effektiv einsetzen
 - Geordneter Einbau von Nanopartikeln zur Erhöhung der Reaktivität
- Verfahrenstechnik zur Erzeugung von Mikroporen-Strukturen mit Nanopartikeln



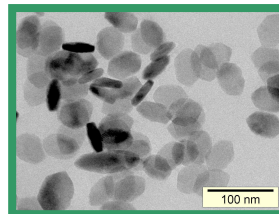
Nanopartikelherstellung in Emulsionstropfen



Wie funktioniert das mit den Tropfen?



Wozu braucht man Nanopartikel?

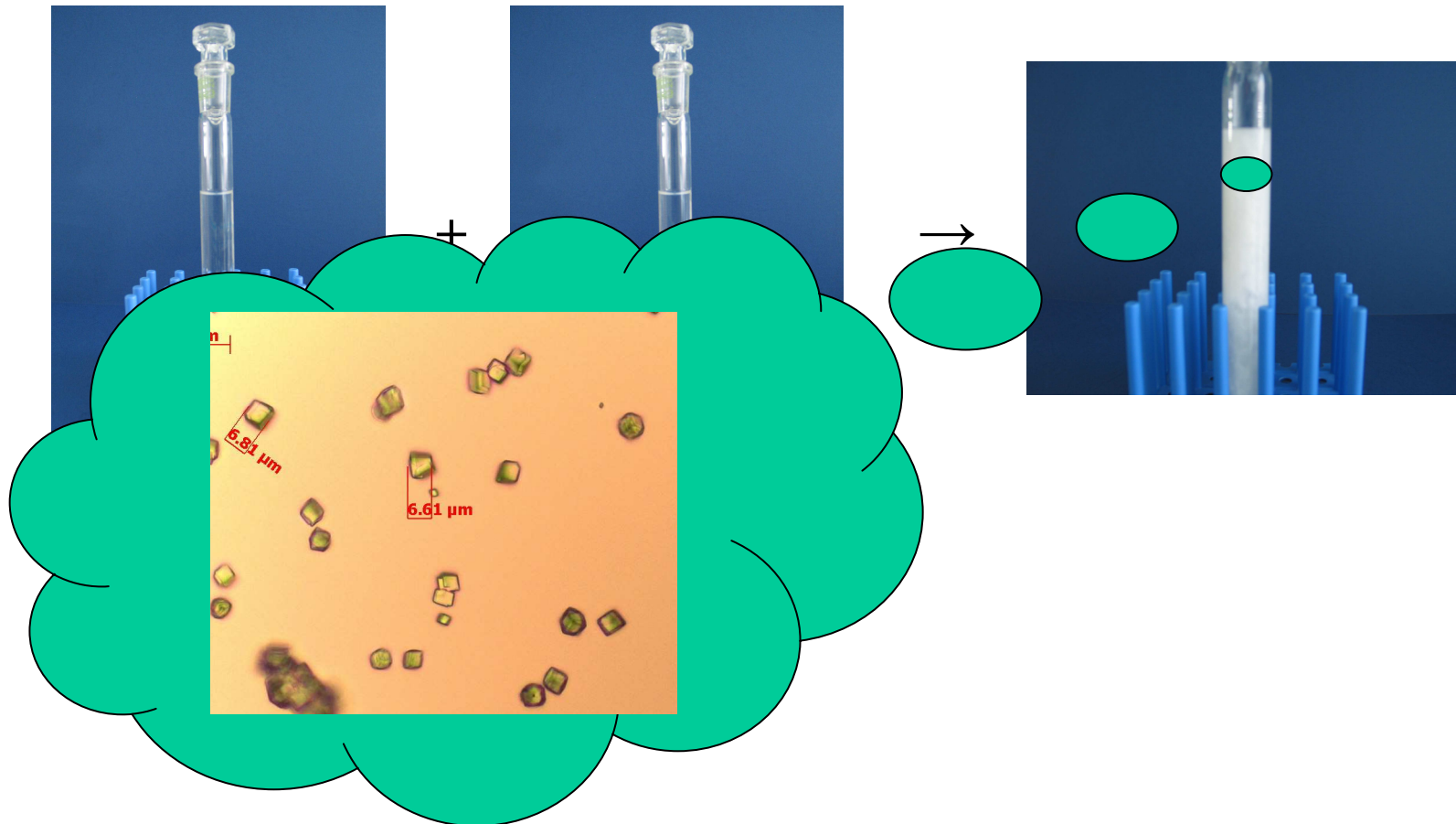


Spiegel mit **Anti-Beschlag-**
Nanobeschichtung



Wie kann man Partikel erzeugen?

Fällungsreaktionen z.B.: $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2 \text{NaCl} \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow$

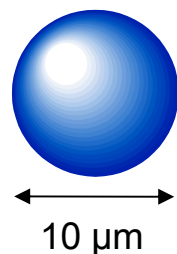


Schöne Kristalle gibt es auch in unserem Technikum an der Experimentierstrasse!

Warum soll man Partikel in Tropfen erzeugen?

Verkleinerung des Reaktionsvolumens!

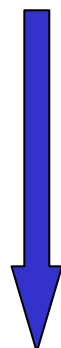
(Wer es ganz genau wissen will, wie man das ausrechnet:
 Reaktandenkonzentration im Wassertropfen 0.1 mol/l
 und Partikeldichte von CaCO₃ 2.2g/cm³)



$$V \approx 5 \cdot 10^{-16} \text{ m}^3 \quad N_{\text{Moleküle}} \approx 30 \cdot 10^9 \quad d_{\text{Partikel}} \approx 1.6 \mu\text{m}$$

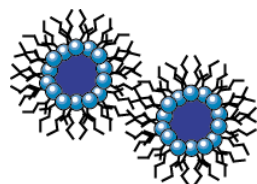
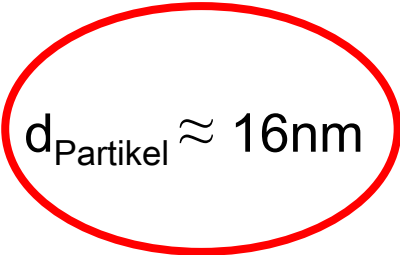


$$V \approx 5 \cdot 10^{-19} \text{ m}^3 \quad N_{\text{Moleküle}} \approx 30 \cdot 10^6 \quad d_{\text{Partikel}} \approx 160 \text{ nm}$$



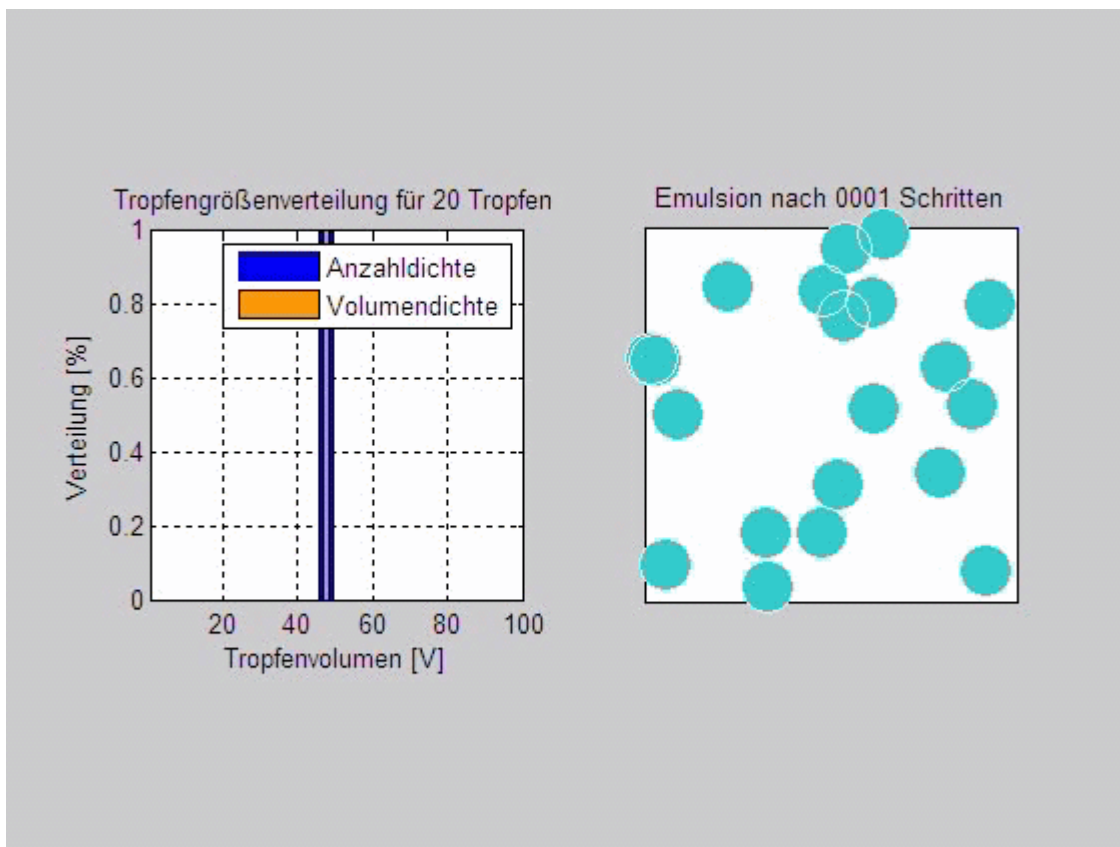
100 nm

$$V \approx 5 \cdot 10^{-22} \text{ m}^3 \quad N_{\text{Moleküle}} \approx 30.000 \quad d_{\text{Partikel}} \approx 16 \text{ nm}$$



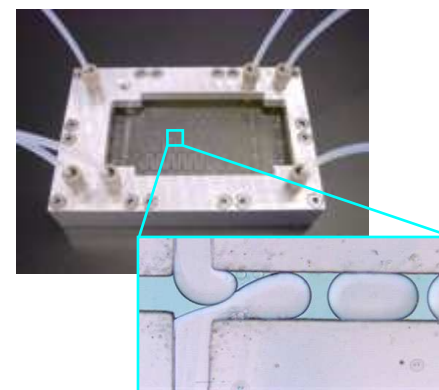
Emulsionstropfen als Reaktoren!

Wie sollen die Tropfen erzeugt werden?



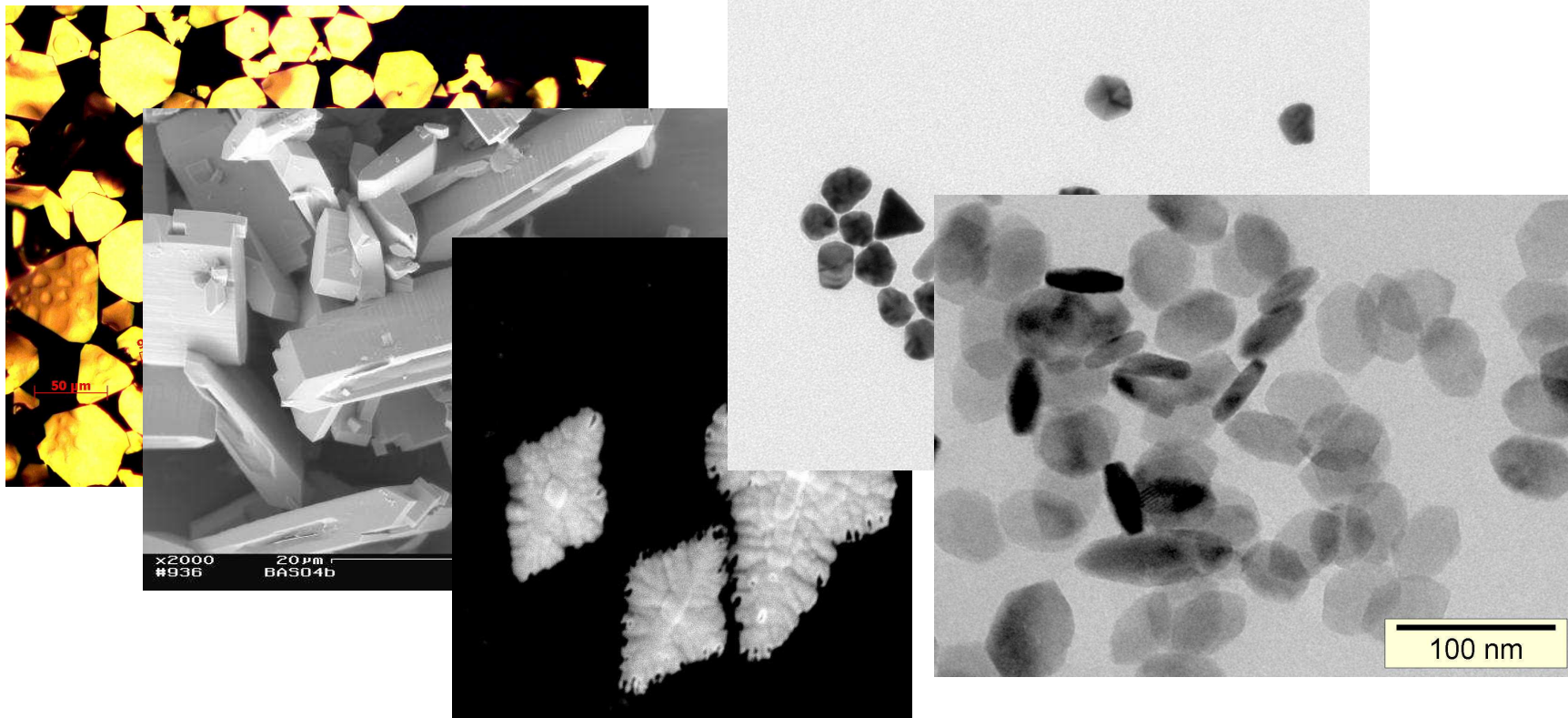
Verschieden große Tropfen – verschieden große Partikel!

Emulsionherstellung mit Mikrotechnik!



Gleich große Tropfen
→ gleich große Partikel!

Welche Partikel können erzeugt werden?



- Kontrolle und Steuerung von Partikeleigenschaften: Größe, Form, Zusammensetzung, etc. durch Prozessvariation
- Prozessverständnis durch Modellierung und Simulation

Wie kann man diese Prozesse modellieren?

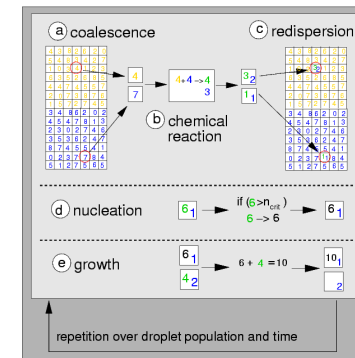
Populationbilanzen

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial d_p} (G(c_c, d_p) \cdot f) = (B_{agg} - D_{agg}) + (B_{bruch} - D_{bruch})$$

- System von Integro-Differential-Gleichungen
- Raten für deterministische Vorgänge

Echt-Zeit-Berechnung zur Prozesskontrolle

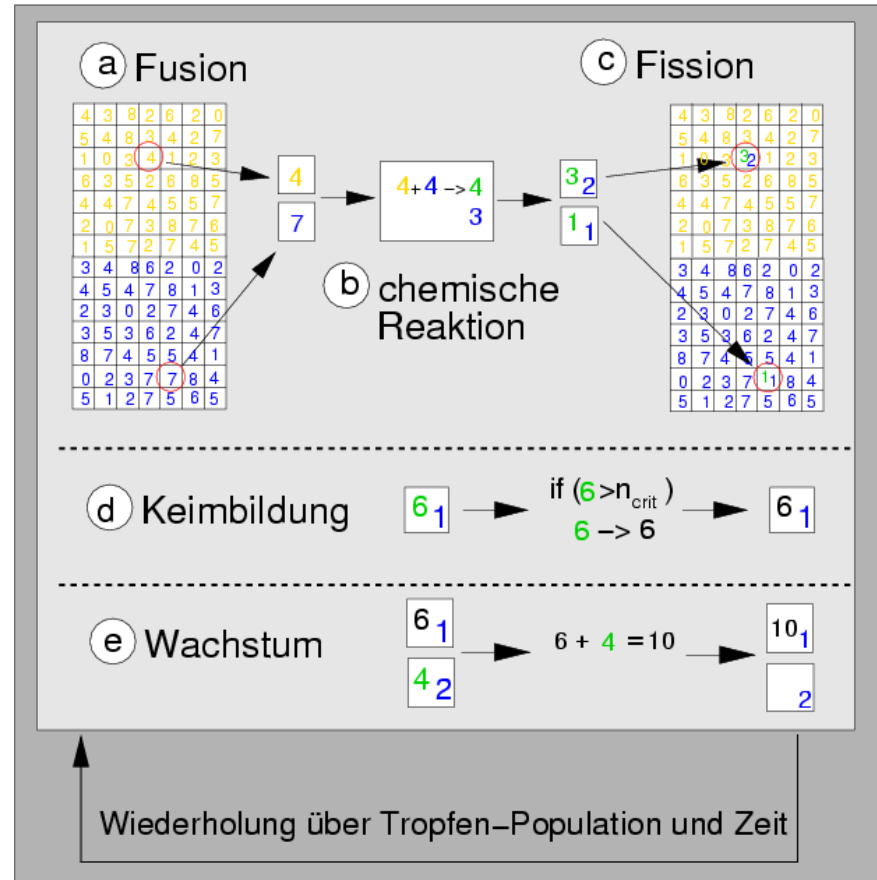
Monte Carlo Simulationen



- Diskrete System mit Wahrscheinlichkeiten
- Zufallszahlen für dynamische Änderungen

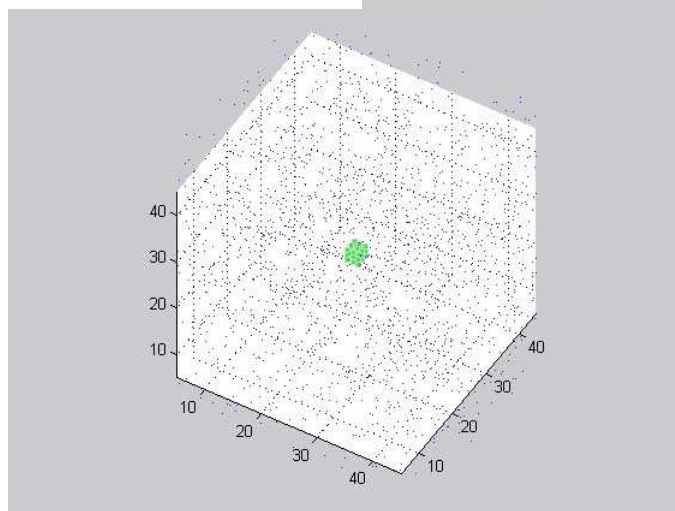
Modellvalidierung von komplexen Phänomenen

Wie helfen uns Zufallszahlen bei der Monte-Carlo-Simulation?

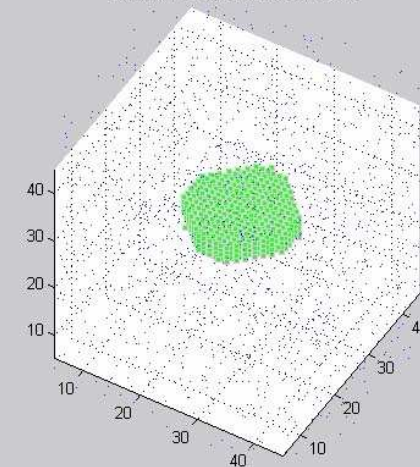


Sie wollen selbst dem Zufall auf die Sprünge helfen?
Dann bedienen Sie doch unseren Ü-Ei-Computer an der Experimentierstrasse im Technikum!

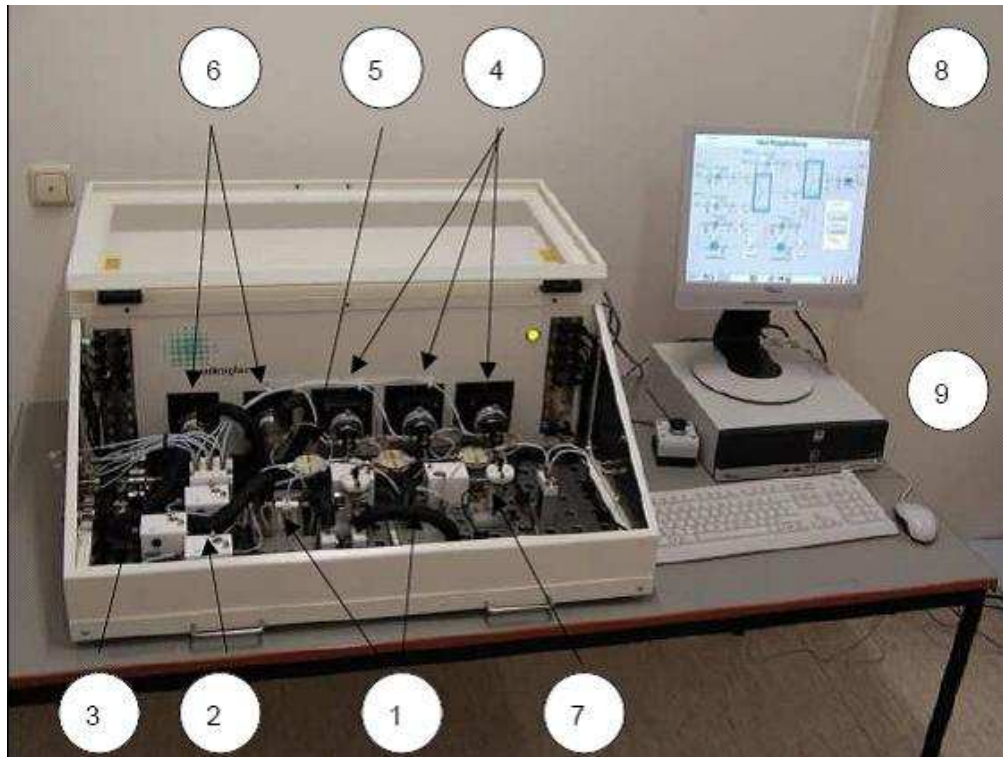
Wie entstehen die Nanopartikel?



Brownian 3D Crystallization 1 Steps



Zukunft - Der Mikroreaktor als Partikel-Replikator



- Steuerung und Regelung des Produktionsprozesses zur Herstellung maßgeschneiderter Nanopartikel mit verschiedener Größe, Form, Zusammensetzung, Funktionalität etc.
- Übertragung auf industrielle Stoffsysteme
- Erarbeitung von Methoden zur Weiterverarbeitung der Nanopartikel
- Recycling des Emulsion zur Etablierung geschlossener Stoffkreisläufe

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Einladung zur Laborbesichtigung:

Für alle, die noch es noch etwas genauer wissen wollen:
Interessierte Zuhörer können jetzt im Anschluß mit Dr. Voigt
das Mikro- und Nanolabor hier im Institut in Raum N2.08 besichtigen.
Bitte beim Vortragenden melden.