

# Strömungs-Ungleichverteilung in Hochtemperatur-Wärmespeichern für den Kraftwerkseinsatz



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Volker Dreißigacker  
26.09.2008

# Überblick

- Hochtemperatur-Wärmespeicher
  - Einsatz von HT-Wärmespeichern
  - Speichertypen
- Untersuchung der Strömungsverteilung am Eintritt in das Speicherbett bei direktdurchströmten HT- Wärmespeichern
  - Axiale Einströmung
  - Radiale Einströmung
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

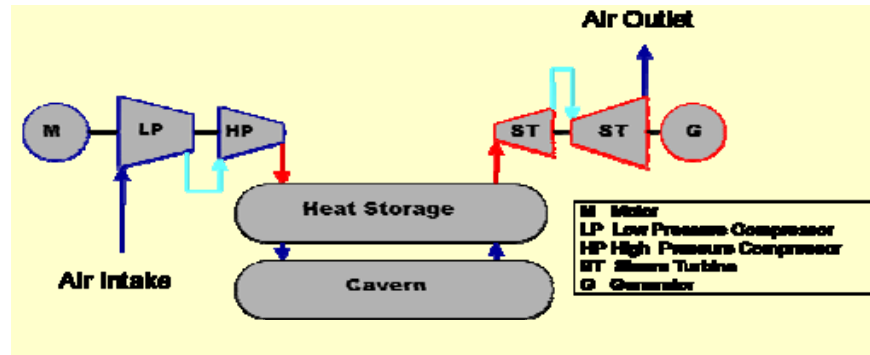
# Einsatz von HT-Wärmespeichern

## Einsatz von Hochtemperatur-Wärmespeicher (400-1300°C)

- Kraftwerkskonzepte zur Verstromung erneuerbarer Energie
- Großmaßstäbliche Stromspeicherung
- Nutzung von Industrieprozesswärme
- Flexibilisierung fossiler Stromerzeugung



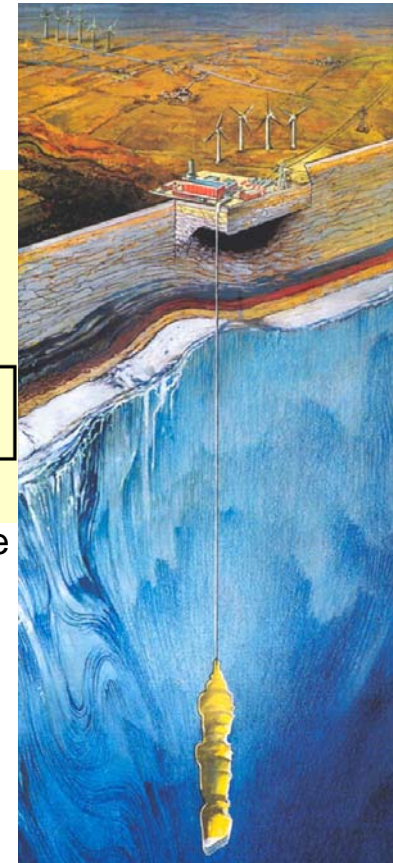
Abwärmennutzung



Druckluftspeicherkraftwerke



Solarthermische Kraftwerke



# HT-Wärmespeicher

## Speicherkonzepte und Speichieranforderungen

### Speicherkonzepte

- Sensible Wärmespeicher
  - Dampfspeicher (100-300°C)
  - Flüssigsalz Speicher (150-600°C)
  - Betonspeicher (bis 500°C)
  - **Regenerator-/Schütttspeicher (bis 1300°C)**
- Latent-Wärmespeicher
- Chemische Speicher



Flüssigsalz Speicher



Betonspeicher

### Speichieranforderungen

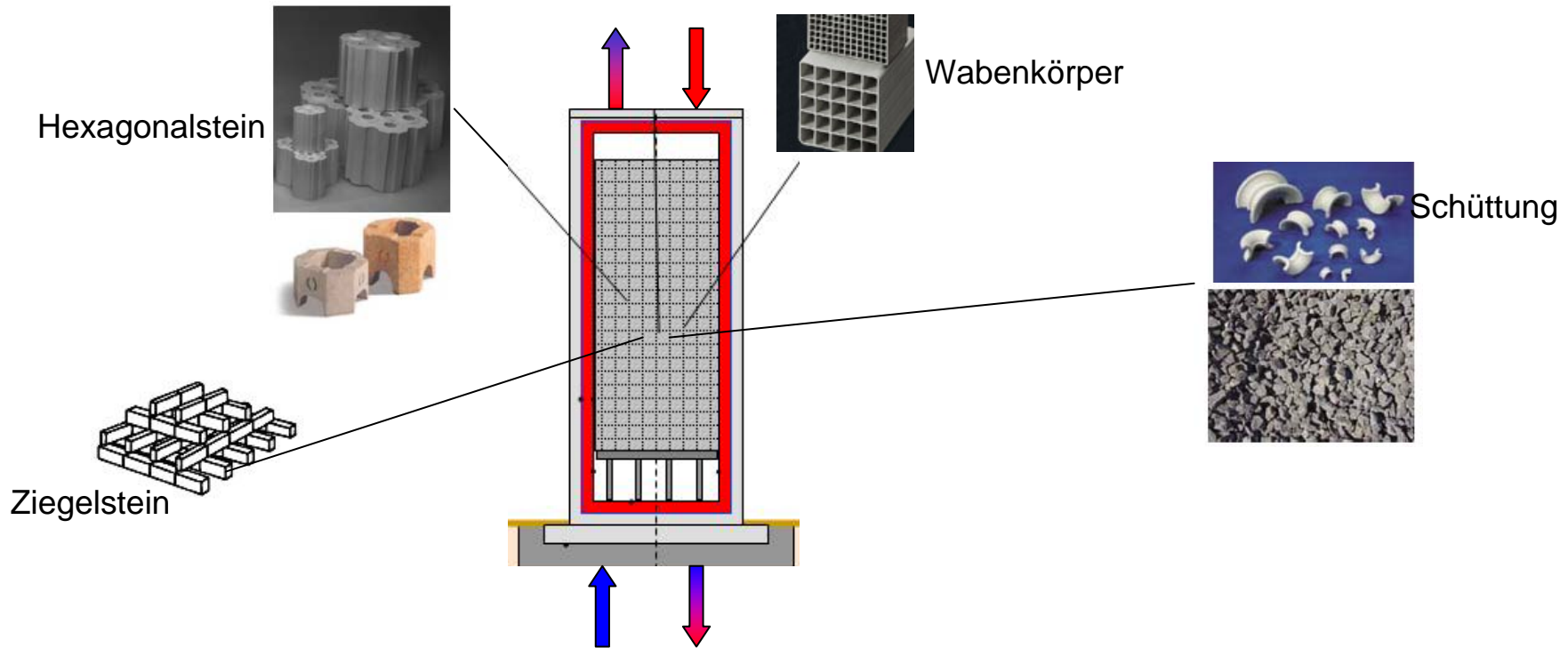
- Hohe Speicherkapazität
- Hohe Wärmeleistung
- Effektive Wärmeübertragung
- Kosten
- Lebensdauer



Regeneratorspeicher

# Regeneratorspeicher

## Speicherinventar und Auslegungskriterien



### Auslegungskriterien

- Erfüllung thermischer Voraussetzungen (Entladecharakteristik, Speicherausnutzung, ...)
- Mechanische Stabilität (Isolation, Inventar)
- Geeignete Strömungsverteilung über das Speicherbett

# Strömungsverteilung

## Problematik und Aufgabenstellung

### Problem

- Nicht oder schlecht durchströmte Gebiete der Speichermasse
- Thermisch unterschiedlich starke Nutzung der Speichermasse

### Offene Fragen

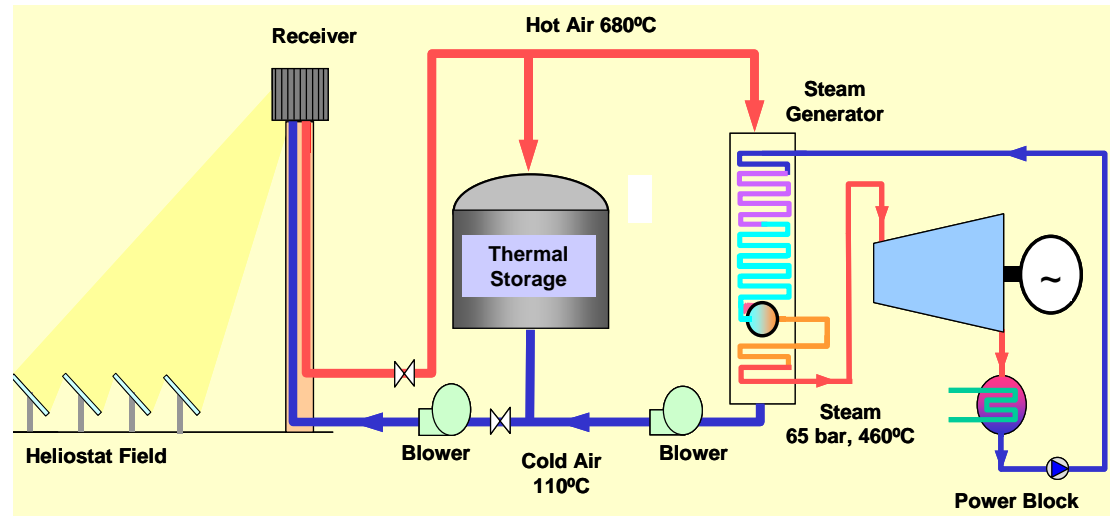
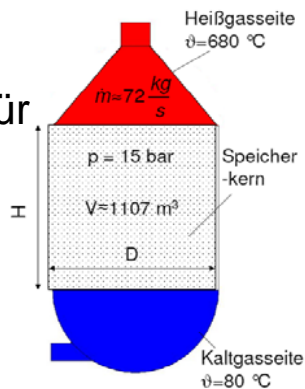
- Wie sieht die Strömungsverteilung am Eintritt in das Speicherbett aus (keine Quervermischung)?

### Ziel

- Gleichmäßige Durchströmung der Speichermasse
- Geeignete Verteilerstrukturen

### Randbedingung

Gasturbinenprozess für Solarturmkraftwerk

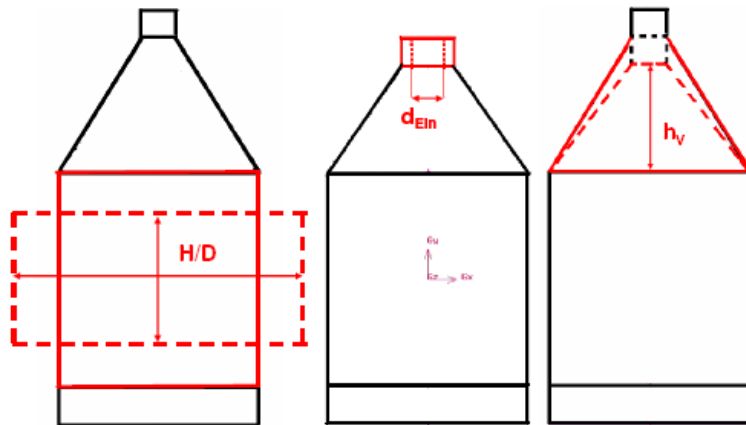


# Strömungsverteilung

## Geometrieeinfluß

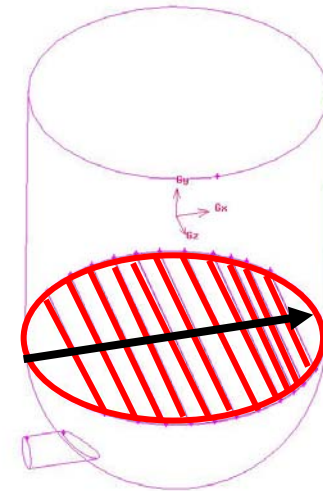
### Axiale Einströmung

- Einfluß des Druckverlustes im Speicherbett
- Einfluß der Verteilergeometrie
  - H/D-Verhältnis
  - Einströmdurchmesser
  - Verteilerhöhe
  - Einströmgeschwindigkeit



### Radiale Einströmung

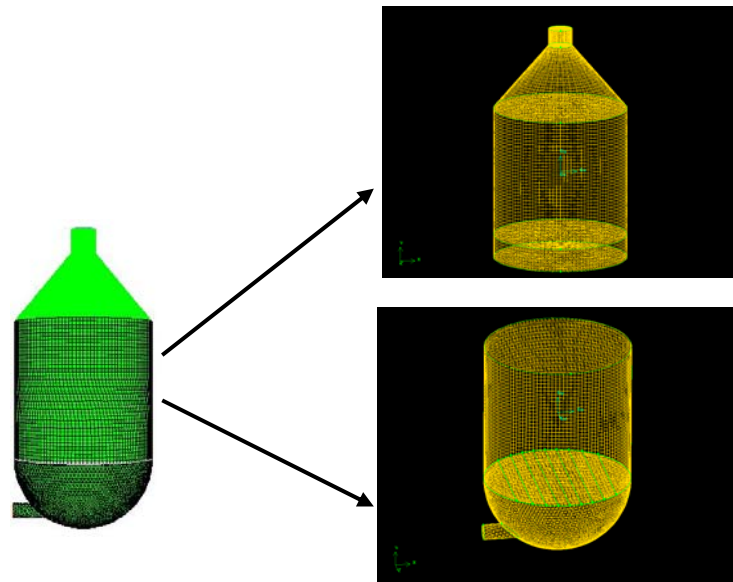
- Strömungsvergleichmäßigung durch Einsatz von Strömungswiderständen
- Segmentierter Aufbau



# CFD-Simulation der Strömungsverteilung

## Annahmen zur Modellerstellung

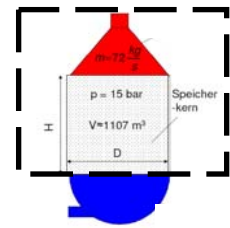
- Separate Betrachtung von Strömungsabschnitten
  - axiale Einströmung: Verteiler + Speicherbett
  - radiale Einströmung: Verteiler + Speicherbett
- Vereinfachte Darstellung der wärmeübertragenden und strömungstechnischen Vorgänge
  - Poröses Medium
- Keine Wärmeverluste (adiabat)



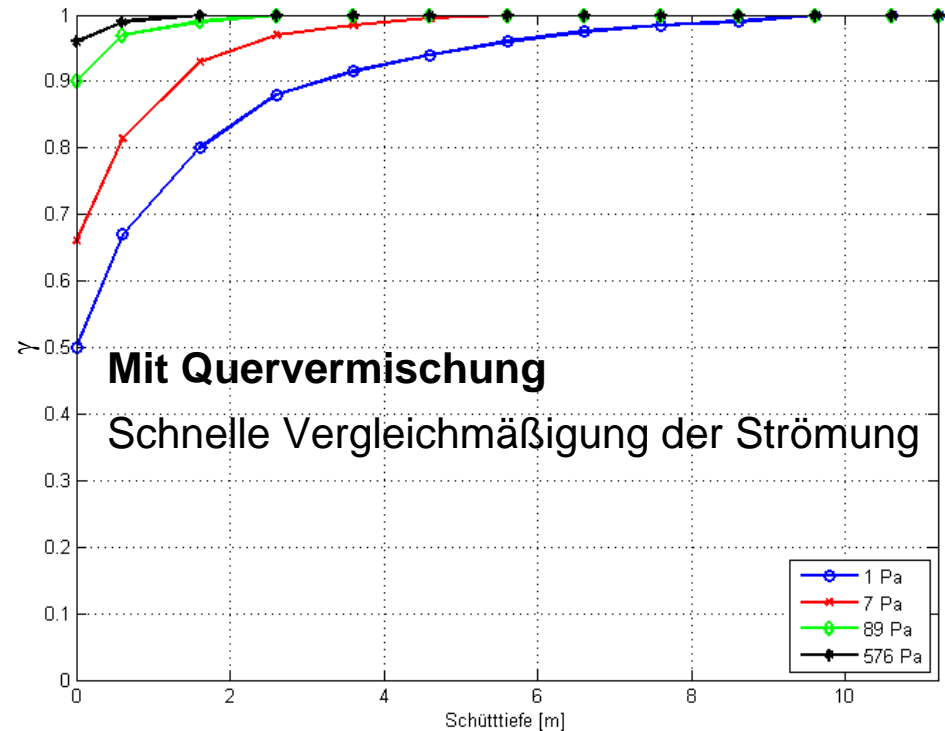
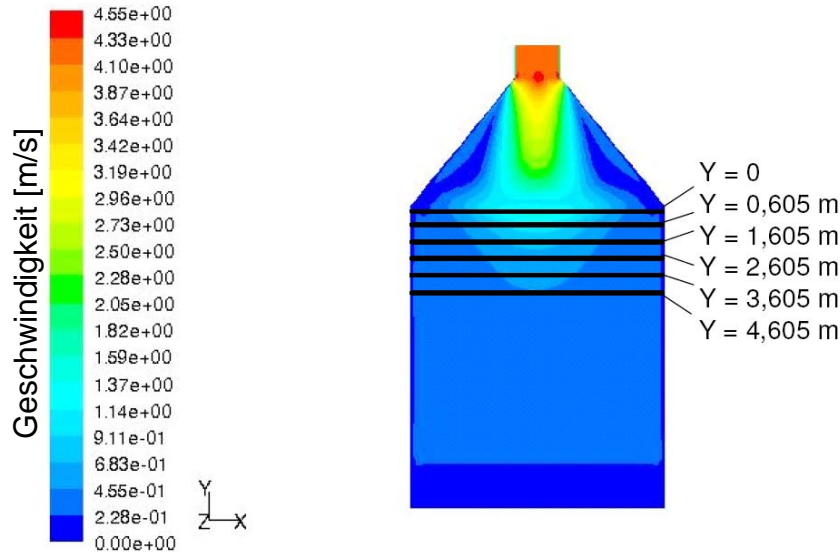


# CFD-Simulation der Strömungsverteilung

## Beurteilung der Strömungsvergleichmäßigung

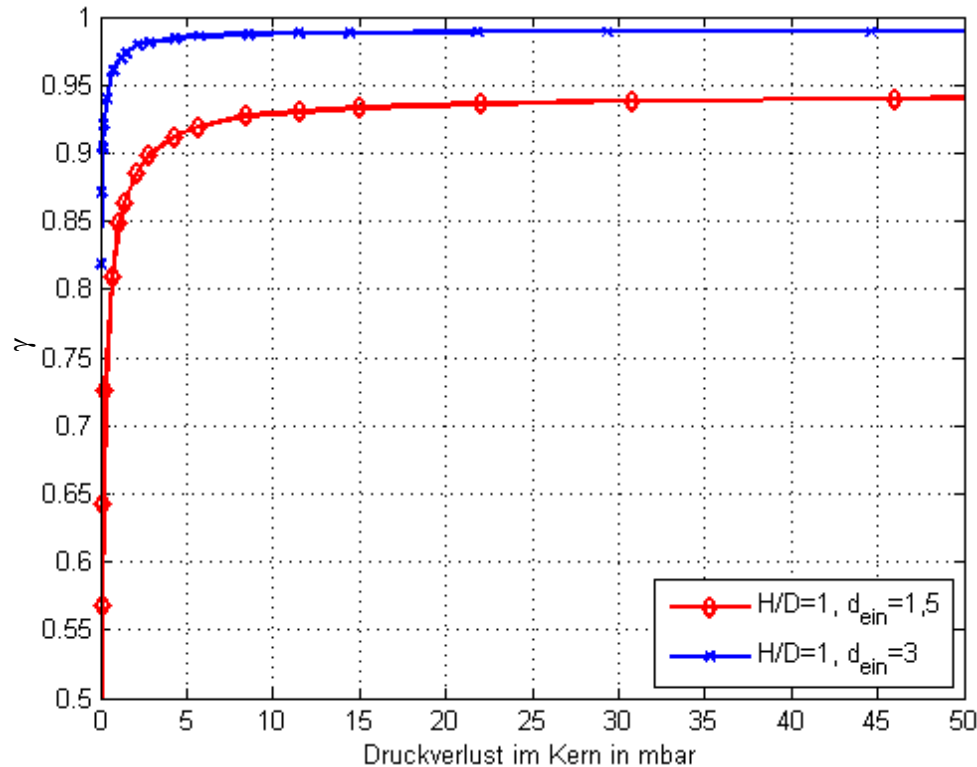
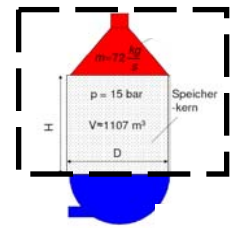


- Beurteilung der Strömungsverteilung über dimensionslosen Parameter  $\gamma$
- $\gamma$ -Parameter: relative Abweichung der Strömungsgeschwindigkeit
- Maximale Gleichverteilung bei  $\gamma=1$
- Maximale Ungleichverteilung bei  $\gamma=0$



# Ergebnisse: axial

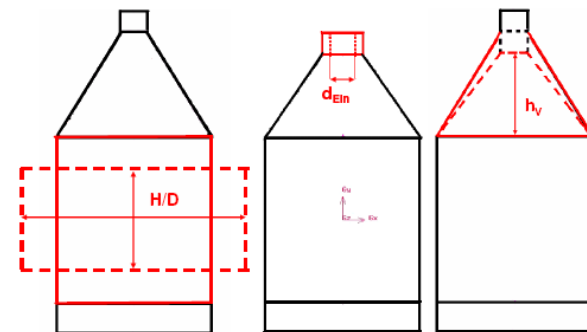
## Einfluss der Verteilergeometrie: Einströmdurchmesser



- Vorgabe des Druckverlustes im Speicherbett
- Variation des Einströmdurchmessers

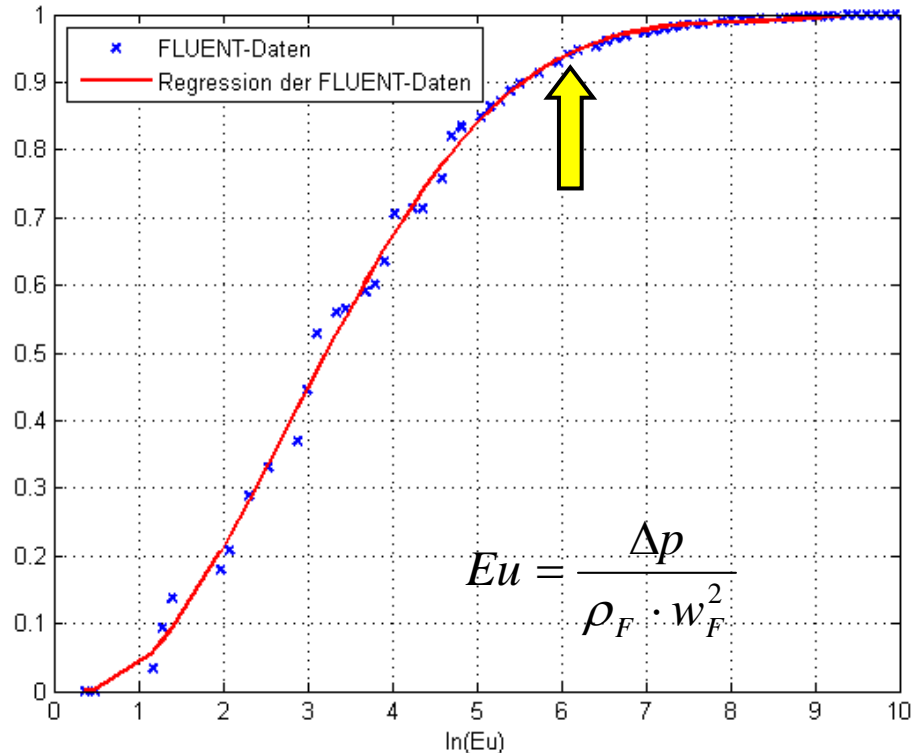
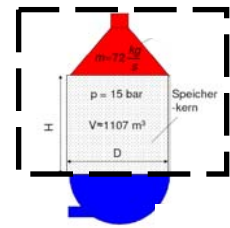
### Ergebnis:

- Zunahme der Gleichverteilung mit steigendem Druckverlust
- Maximale Gleichverteilung abhängig von Verteilergeometrie



# Ergebnisse: axial

## Korrelation zw. maximaler Gleichverteilung und Eu-Zahl



- Euler-Zahl als dimensionsloser Druckverlustrsbeiwert
- Normierung des Ungleichförmigkeitsgrad  $\gamma$

$$\gamma_{normiert} = \frac{\gamma - \gamma_{min}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}}$$

### Ergebnis:

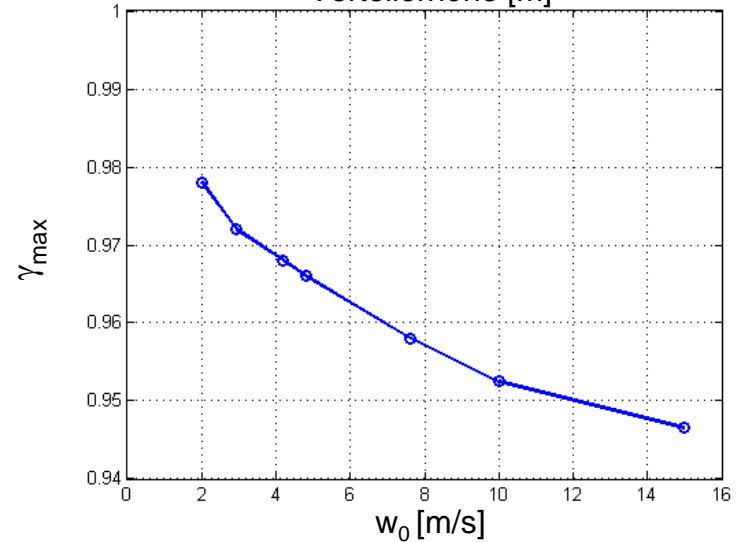
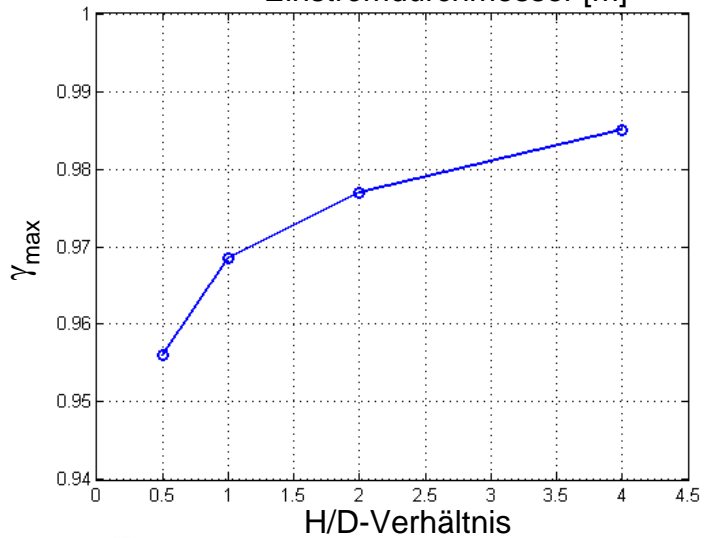
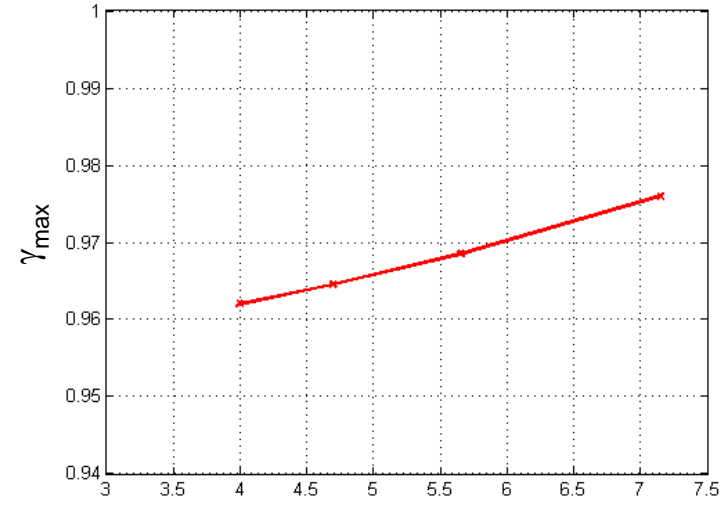
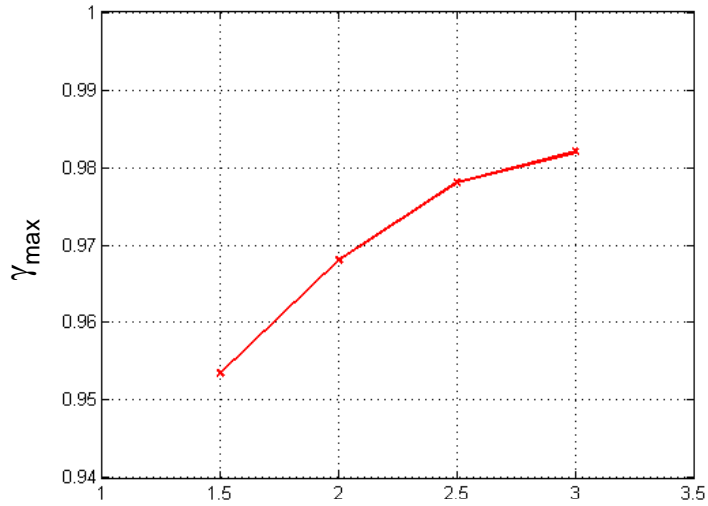
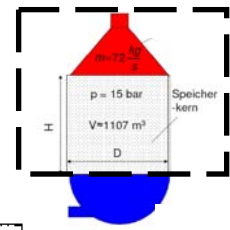
- Korrelation zw. Ungleichförmigkeitsgrad und Euler-Zahl
- Annähernde Gleichverteilung ab  $Eu > 400$



Zusammenhang zwischen  $\gamma_{max}$  und Verteilergeometrie

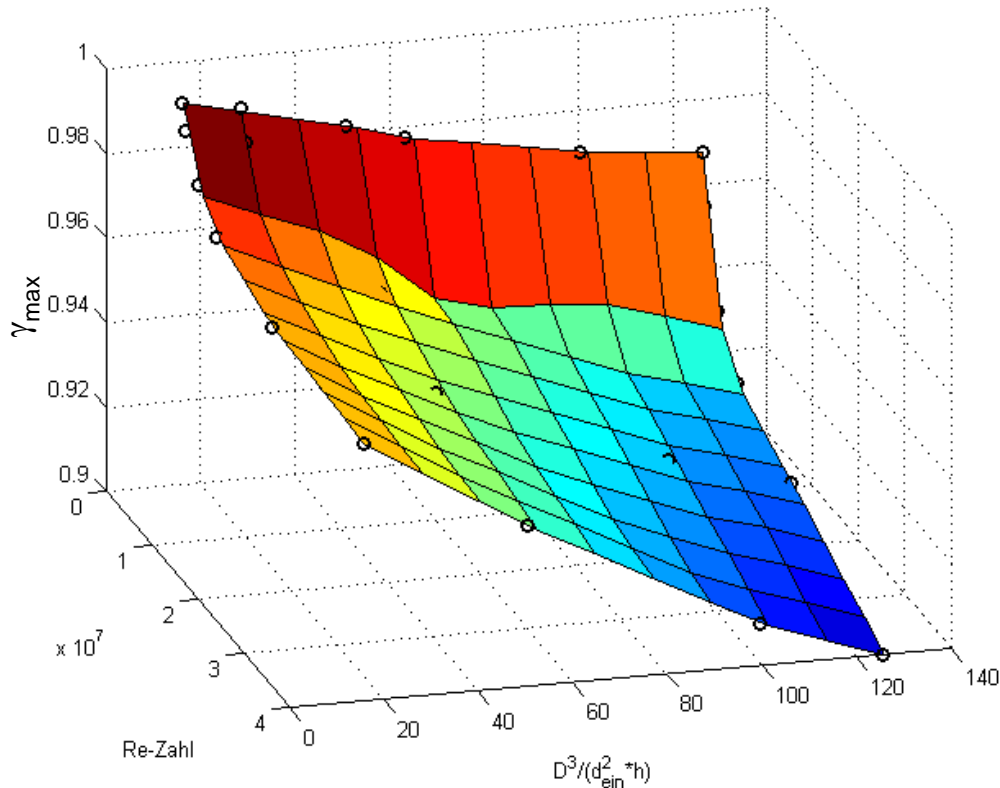
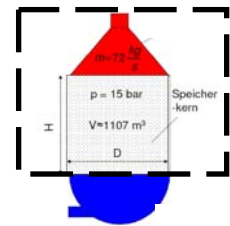
# Ergebnisse: axial

## Einfluß der Verteilergeometrie auf die max. Gleichverteilung



# Ergebnisse: axial

## Ansatz zur Beschreibung der maximalen Strömungsgleichverteilung



➤ Beschreibung der maximalen Gleichverteilung der Strömung über Diffusoransatz

➤ Widerstandsbeiwert  $\sim (A_2/A_1)$

➤ Widerstandsbeiwert  $\sim (D/h_V)$

➤ Widerstandsbeiwert  $\sim (Re_1)$

➤  $\gamma_{\max} \sim f(Re_1, (A_2/A_1) * (D/h_V))$



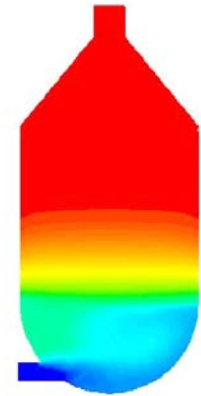
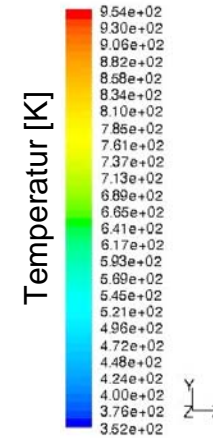
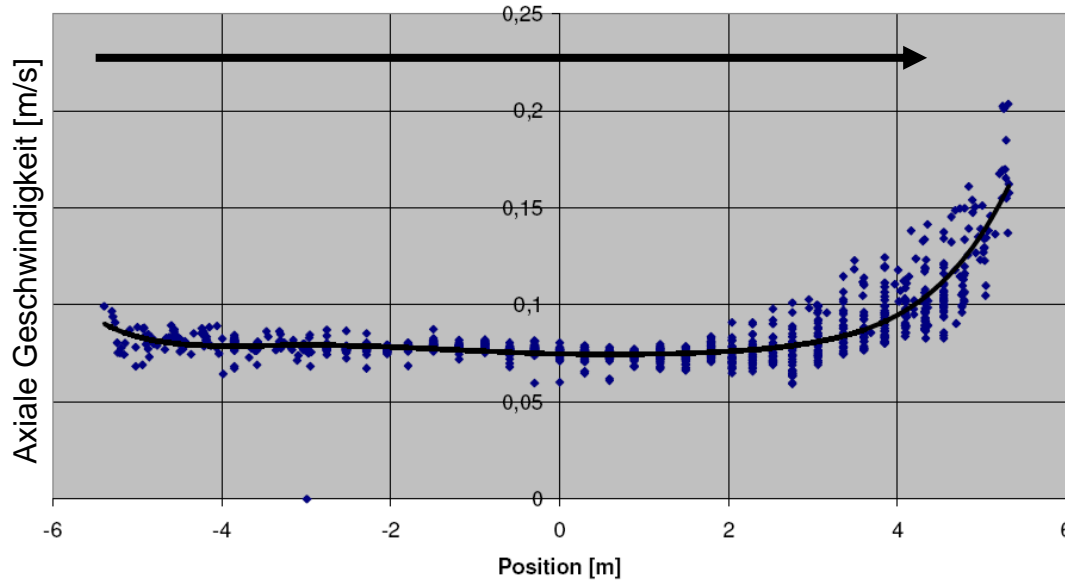
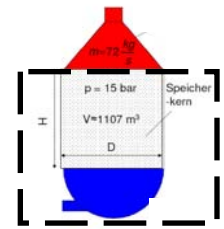
Ergebnis:

➤ Einfacher Ansatz zur Beschreibung der maximalen Strömungsgleichverteilung

➤ Einfache Abschätzung der benötigten Verteilerstruktur bei axialer Einströmung

# Ergebnisse: radial

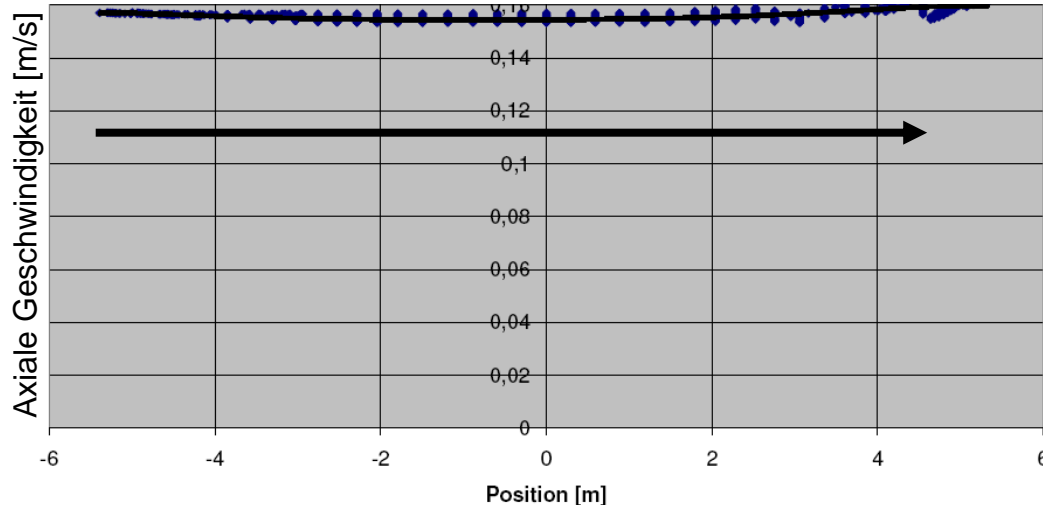
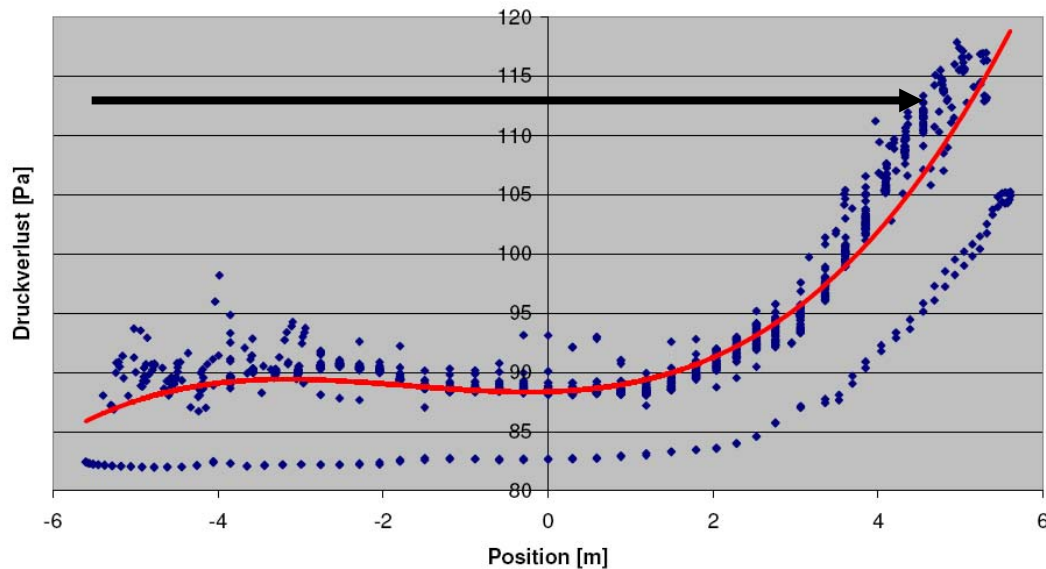
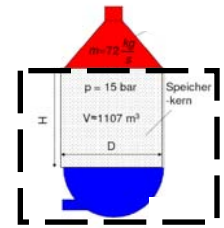
## Erhöhte Anforderung bei radialer Einströmung



- Erhöhte Anforderung bei der Strömungsgleichverteilung durch radiale Einströmung
- Radial ungleichmäßig thermische Beaufschlagung

# Ergebnisse: radial

## Maßnahmen zur Vergleichmäßigung



### Vorgehen:

- Einteilung des „Lochblechs“ in mehrere Segmente
- Vorgabe eines Strömungswiderstandes je Segment

### Ergebnis:

- Vergleichmäßigung der Strömung am Eintritt in das Speicherbett durch Generierung von Druckverlusten
- Druckverlustrverteilung des „Lochblechs“ abhängig von Geschwindigkeitsverteilung bei radialer Zuströmung

# Zusammenfassung

- Speicher stellen eine wichtige Komponente zur Reduzierung der Stromgestehungskosten solarer Energieträger dar
- Gleichmäßige Durchströmung des Speichers ist Voraussetzung für sinnvolle Speichervolumenausnutzung
- Vergleichmäßigung der Strömungsverteilung durch Erhöhung der Druckverluste
- Schnelle Strömungsvergleichmäßigung bei möglicher Quervermischung
- Axiale Einströmung (Speicherbetteintritt)
  - Korrelation zwischen Strömungsgleichverteilung und Euler-Zahl
  - Einfacher Zusammenhang zwischen der maximalen Strömungsgleichverteilung und der Verteilerstruktur
- Radiale Einströmung (Speicherbetteintritt)
  - Strömungsgleichverteilung durch Generierung von Druckverlusten (z.B. Lochblech)



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

