

# **Simulation thermischer und hydraulischer Netzverluste in Energieversorgungssystemen**

**Dymola-Informationstag**

**15. November 2007**

**Dipl.-Ing. Philip Voll**

**Lehrstuhl für Technische Thermodynamik**

- Energiesystemtechnik am LTT
- Modellierung und Simulation von Energieversorgungssystemen (EVS)
- Modellierung eines Beispielsystems in Dymola/Modelica
- Praktische Fragestellungen

## Die Arbeitsgruppe Energiesystemtechnik am LTT

- theoretische Analyse von Energiesystemen
- Optimierung von Energiesystemen



## TOP-Energy

- Bearbeitung typischer Aufgabenstellungen eines Energieberaters
  - Datenaufnahme
  - Datenauswertung, -analyse
  - Berichterstellung
- Modul eSim zur Simulation von Energieversorgungssystemen
  - industrielle und kommunale Energieversorgungssysteme

- Betrachtungszeiträume von bis zu 1 Jahr
- Vereinfachung:
  - Vernachlässigung dynamischer Effekte
  - quasistationäre Simulation
  
- typische Zeitschrittweite: (Viertel-)Stundenwerte
  
- Methode: Einsatzoptimierung
- Vereinfachung:
  - linearisierte (Un-)Gleichungen
  
- Optimierung der Struktur von Energieversorgungssystemen für einen gegebenen Energiebedarf

## Einsatz von Dymola/Modelica:

- zum Vergleich mit TOP-Energy/eSim
  - dynamische Simulation
  - detailliertere Modellierung

## Zu modellierende Anlagen

- Anlagen zur Energieumwandlung
- Verteilnetze
- Energieverbraucher

## Typische Stoffsysteme

- Einphasig, z.B. flüssige Wärmeträger, Druckluft
- Zweiphasig, z.B. Dampf, Kältemittel in Wärmepumpen

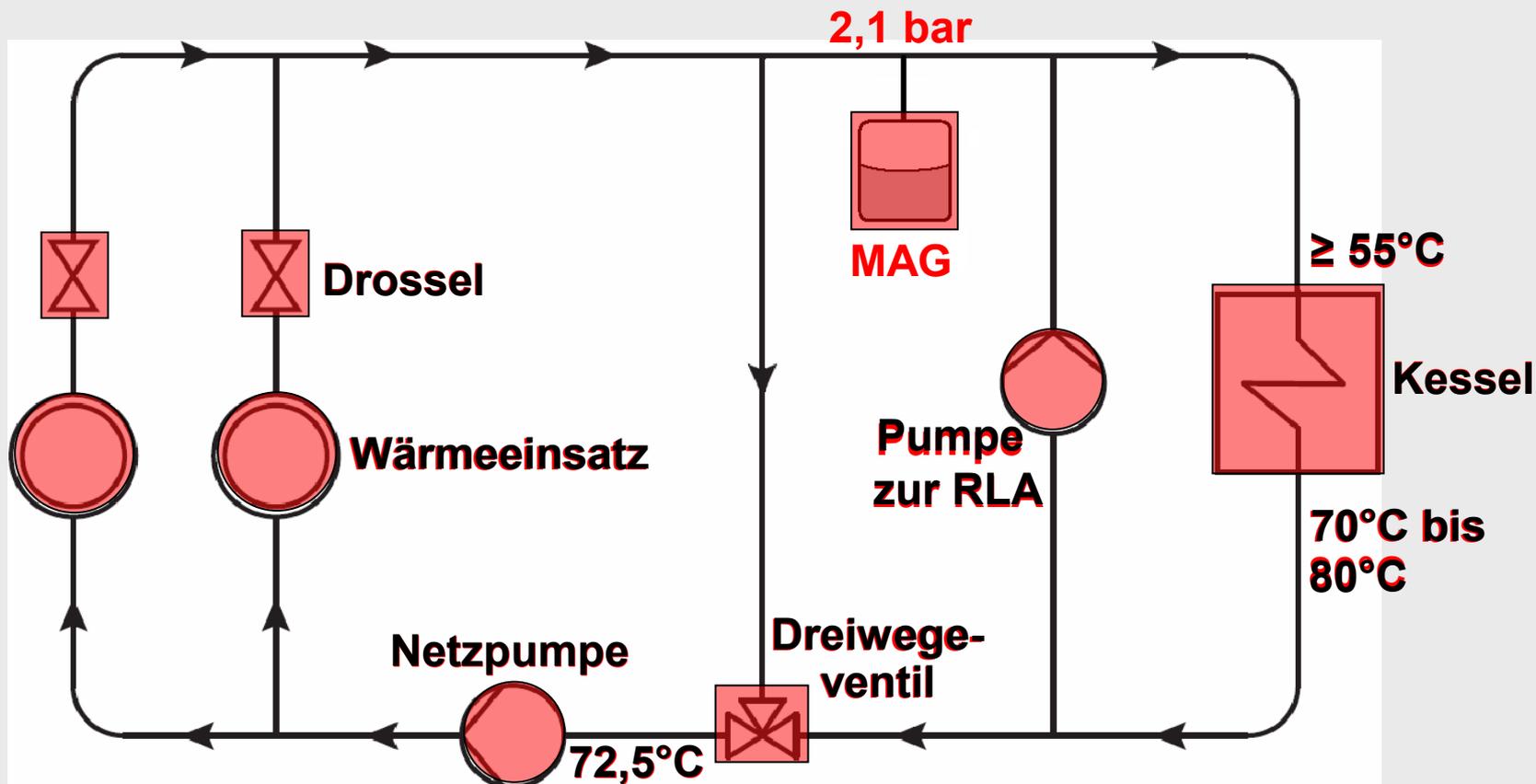
## Modellgleichungen aus

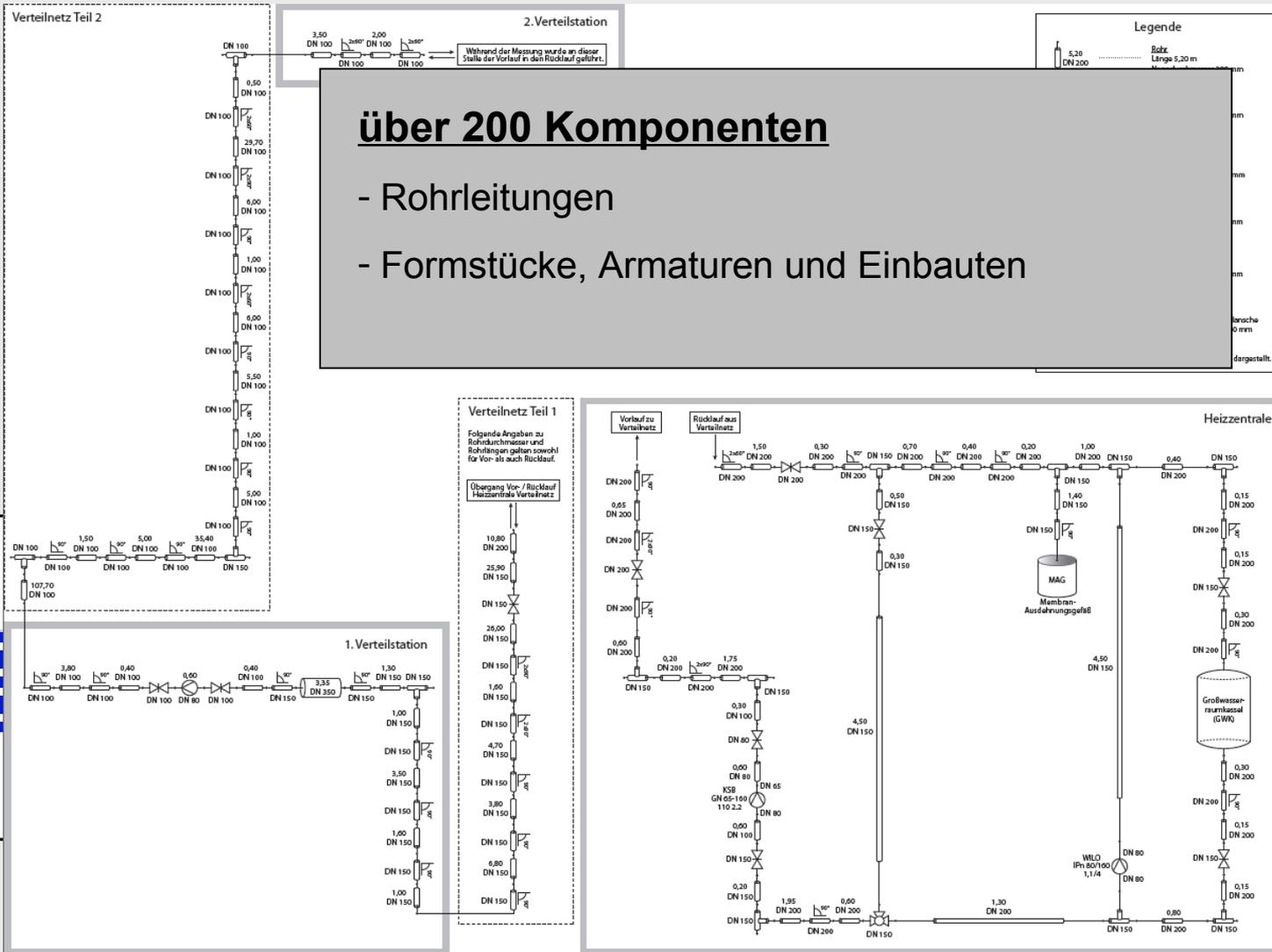
- Thermodynamik
  - Wärme- und Stoffübertragung
  - Fluidmechanik
- & weitere Disziplinen

- Simulation von Kraftwerksprozessen
- typische Modelle von Energiesystemen liegen vor
- eindimensionale Strömungssimulation unter Verwendung der Modelica.Media Bibliothek (Stoffmodelle)
  - Energie-, Massen- und Impulsbilanzgleichungen
  - Media: ideale Gase, inkompressible Flüssigkeiten, Wasser, Luft
- Schnittstellenvariablen und Konnektordefinitionen
  - Potenzialgröße: Druck
  - Flussgröße: Massenstrom
  - Ein- und Austrittsgröße: spezifische Enthalpie

→ Berechnung weiterer Zustandsgrößen geschieht mittels der Modelica.Media in Abhängigkeit der genannten Größen

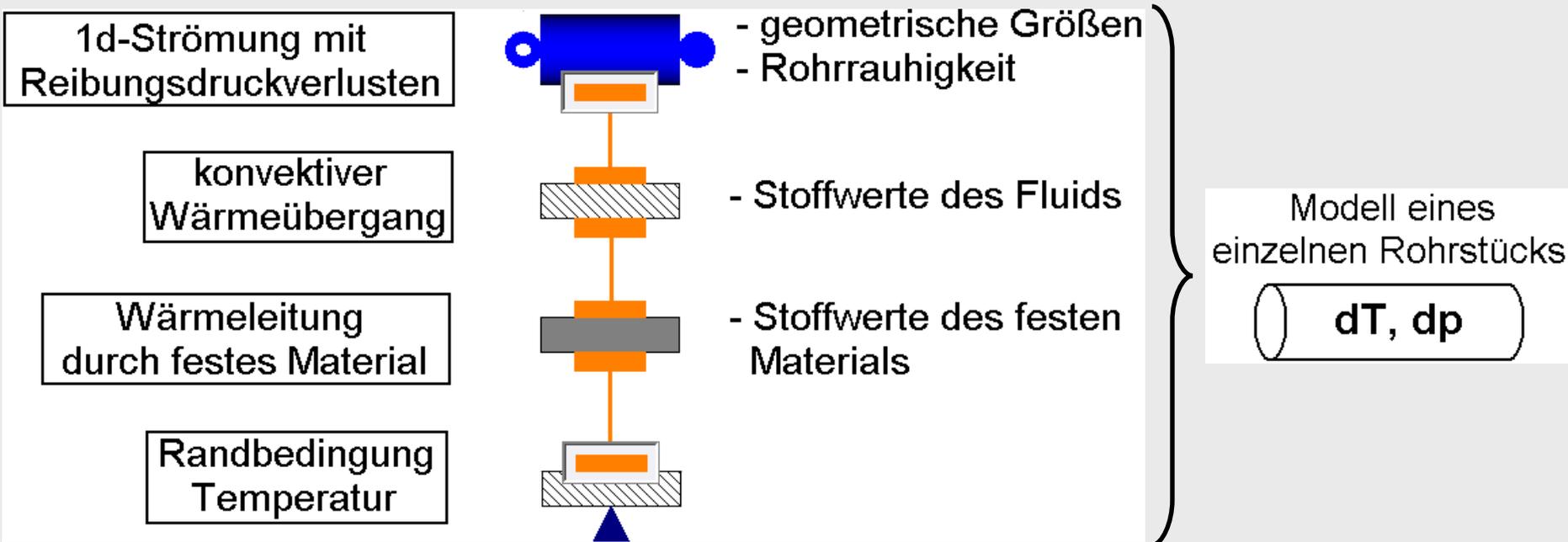
Wärmebedarf (18 Sommertage) 10,9 MWh





Reichung  
leichung  
lationen  
Gesetz

## Einzelnes Rohrstück (thermische und hydraulische Netzverluste)

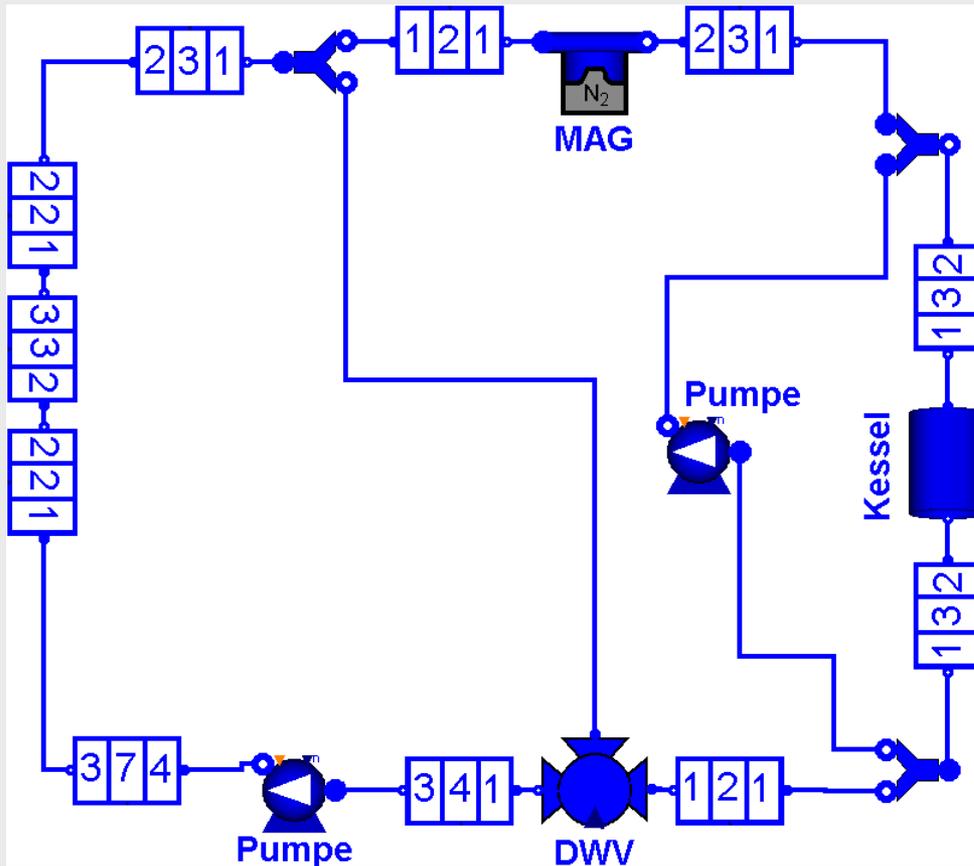


## Diskrete Druckverluste in Formstücken, Armaturen und Einbauten

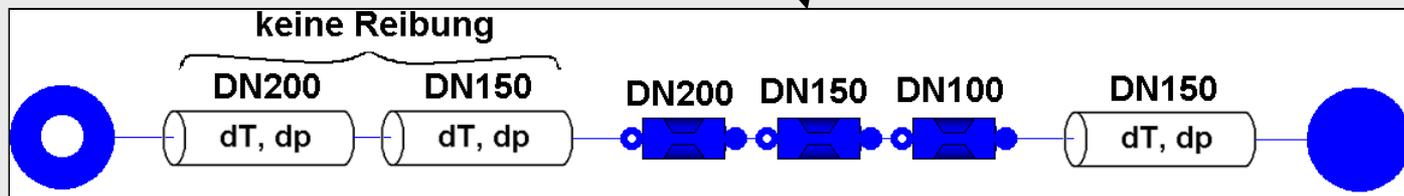


## Reduzierung der Modellkomplexität

- Zusammenfassen von Komponenten des Rohrnetzes
  - (A) ... Rohrstücke gleichen Durchmessers
  - (B) ... diskrete Druckverlustkomponenten gleichen Durchmessers
  - (C) ... Ersatzrohre berücksichtigen die Längen der diskreten Druckverlustkomponenten (keine Rohrreibung)
- strukturellen Merkmale des Verteilnetzes müssen erhalten bleiben
- Rohre mit unterschiedlicher Isolierung dürfen nicht zusammengefasst werden



➔ Modell der Heizungsanlage besteht aus nur 72 Rohrmodellen (vgl. > 200)



## ▪ Großwasserraumkessel

- Wasserraum  $\Leftrightarrow$  nicht diskretisiertes Rohrmodell
- Brenner  $\Leftrightarrow$  thermischer Konnektor mit Wärmequelle verbunden, konstanter Wirkungsgrad
- Abstrahlverluste  $\Leftrightarrow$  Senkenterm in Energiebilanz
- Zweipunktregler: Ein- / Abschalttemperatur

## ▪ Kreiselpumpen

- Pumpenkennlinie  $P(\dot{V})$ ,  $Z(\dot{V})$  für eine Drehzahl parametrieren
- Affinitätsgesetze  $\rightarrow$  Generierung des gesamten Pumpenkennfelds

## ▪ Dreiwege- und Drosselventile

- Ein- und austretende Massenströme werden entsprechend eines variablen Widerstands  $R(c)$  bestimmt:

$$\dot{m} \cdot R(c) = \Delta p \quad , \quad R(c) = R_0^c$$

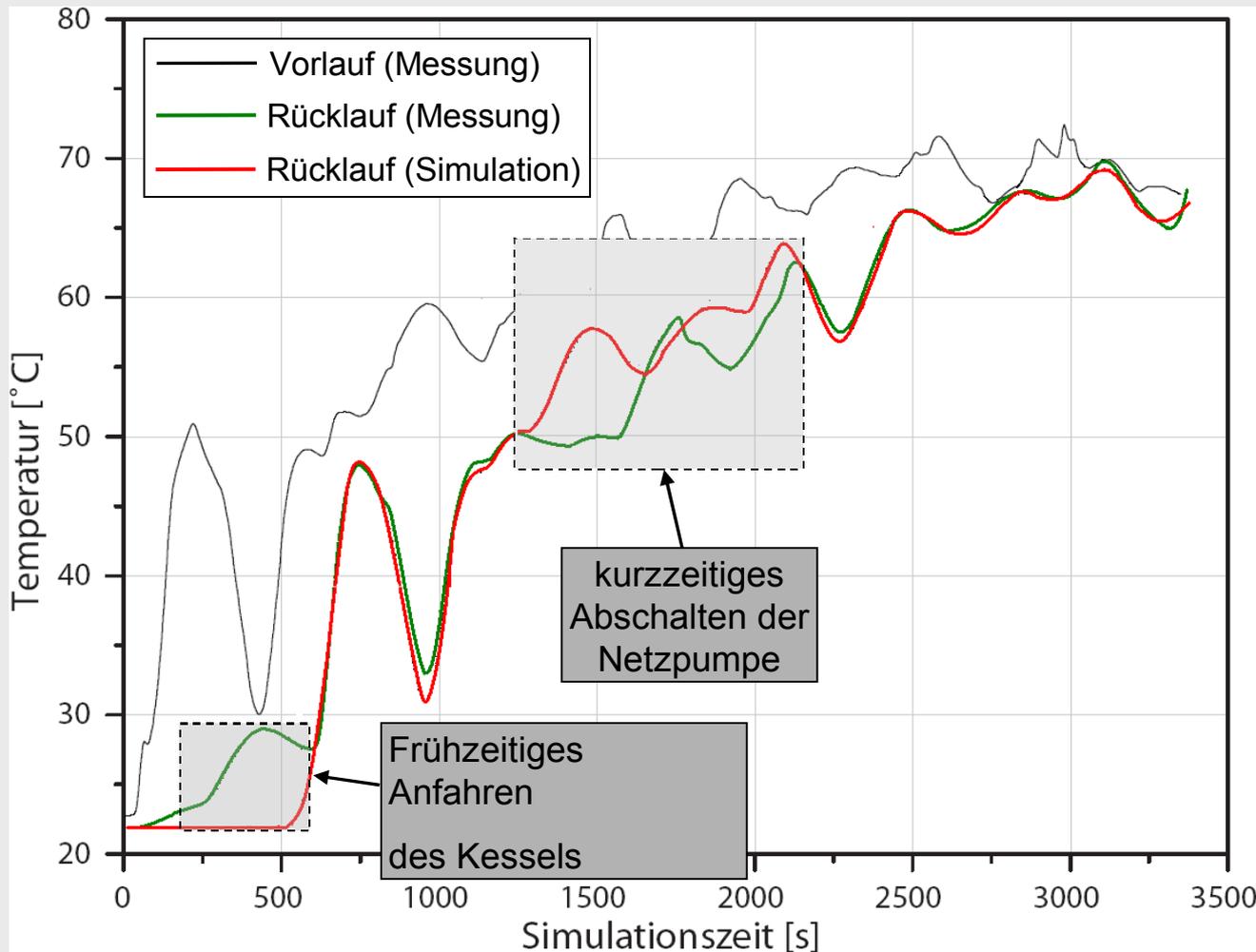
## ▪ Wärmeverbraucher

- als Wärmesenke modelliert

## ▪ Membranausdehnungsgefäß

- Netzdruck wird konstant gehalten

## DAE-System mit 33720 Gleichungen, Rechenzeit 11,8 Stunden



### Simulation Kaltstart

Aus Messung bekannt:

- Vorlauftemperatur ←
- Rücklauftemperatur

Simulation:

- Rücklauftemperatur

Nach Anfahren der Anlage:

- Temperaturspreizung  
Messung: 1,2°C  
Simulation: 1,1°C
- thermische Netzverluste  
Messung: 72 kW  
Simulation: 69,3 kW  
→ Abweichung: 3,8%

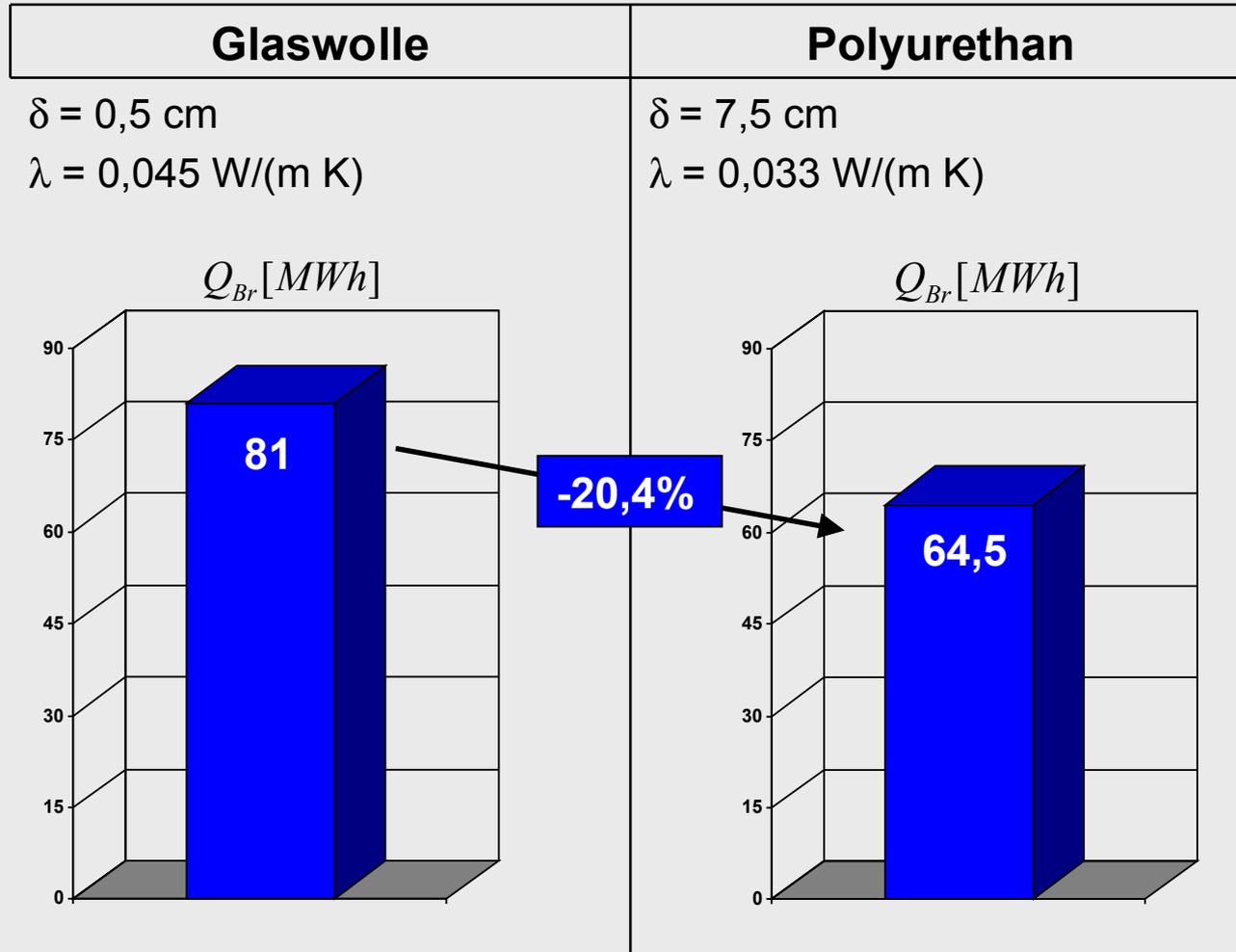
## Maßnahmen zur Senkung des Energieeinsatzes:

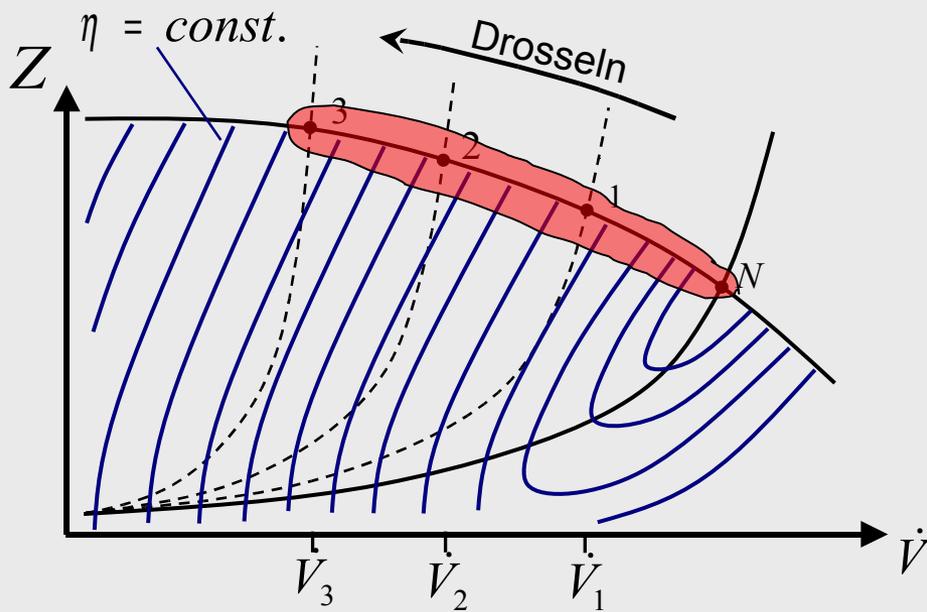
- Optimierung der Energieversorgungsstruktur
  - ***Senkung der Netzverluste***
- große Betrachtungszeiträume von bis zu einem Jahr
- kleinere Rechenzeiten notwendig
- gröbere Diskretisierung der Rohrmodelle notwendig

Intergrale Ergebnisse unabhängig von Diskretisierungstiefe

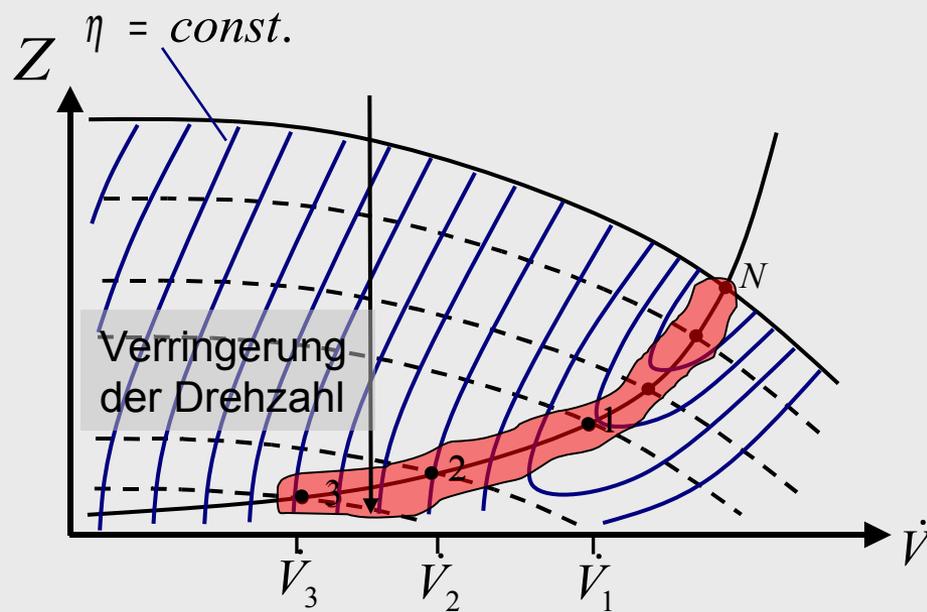
- Rohrmodelle nicht diskretisiert
- DAE-System mit 4612 Gleichungen (<15%, vgl. 33720)
- Rechenzeit Kaltstart: 5 Minuten (< 1%, vgl. 11,8 Stunden)

## 80 m lange Rohrstrecke (DN 200)





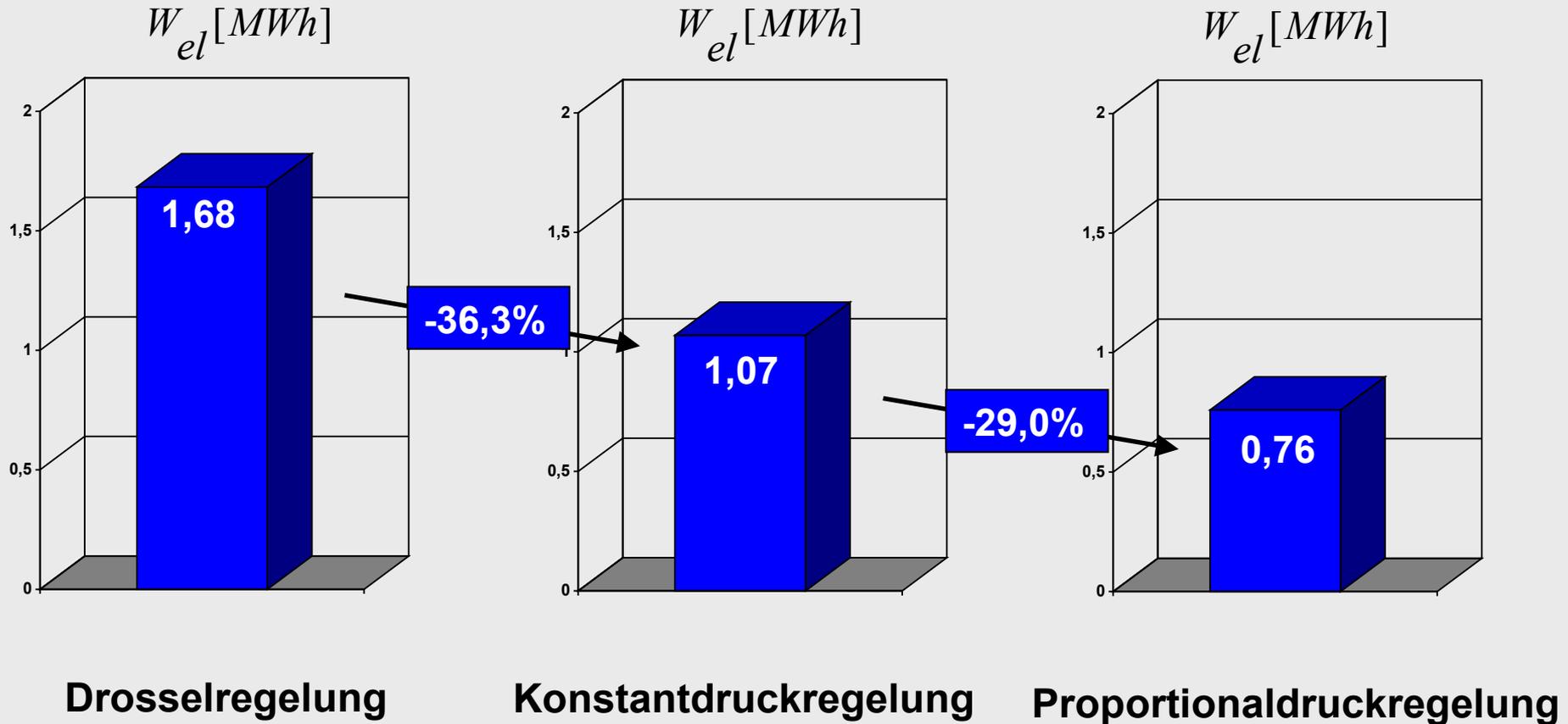
Drosselregelung



Drehzahlregelung

## Geringere Exergieverluste bei Drehzahlregelung:

- geringere Wärmeproduktion in Drossel
- Pumpe wird bei höherem Wirkungsgrad betrieben



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !