



THERMODYNAMIK

**RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**

I. Buljina, R. Span und E. Baumhögger

# Wärmeübertragung beim Behältersieden von n-Pentan/Hexadekan-Gemischen

Wärme- und Stoffübertragung, 25.-26. Februar 2008  
Universität Magdeburg

## Gliederung

**RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM**

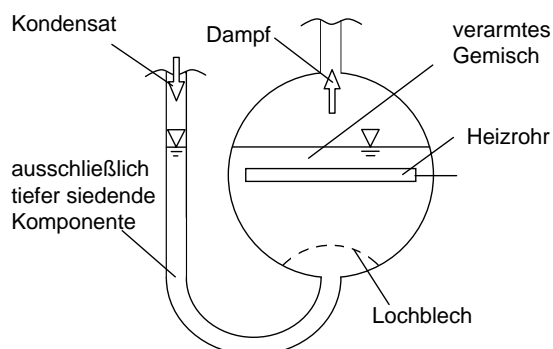
I. Buljina, R. Span und E. Baumhögger

- Einleitung und Motivation
- Versuchsanlage und Versuchsdurchführung
- Messergebnisse und Vergleich mit Literaturdaten für reine Stoffe
- Messergebnisse für n-Pentan/Hexadekan-Gemische
- Vergleich mit Korrelationen aus der Literatur
- Zusammenfassung und Ausblick

- Seit langem Arbeit an siedenden hochviskosen Gemischen
- Untersuchung des Behältersiedens als Grenzfall angelaufen
- Weitsiedendes niedrigviskoses Gemisch als Referenz
- Weitsiedender Gemisch = n-Pentan/Hexadekan ( $\Delta T_{SN} > 100 \text{ K!}$ )
- Kältemittel/Öl-Gemische für kleine Ölanteile  $< 10 \text{ mass.}\%$
- Reinstoffdaten Öle fehlen i.d.R., Öle häufig oberflächenaktiv

Slide 3

## Versuchsanlage



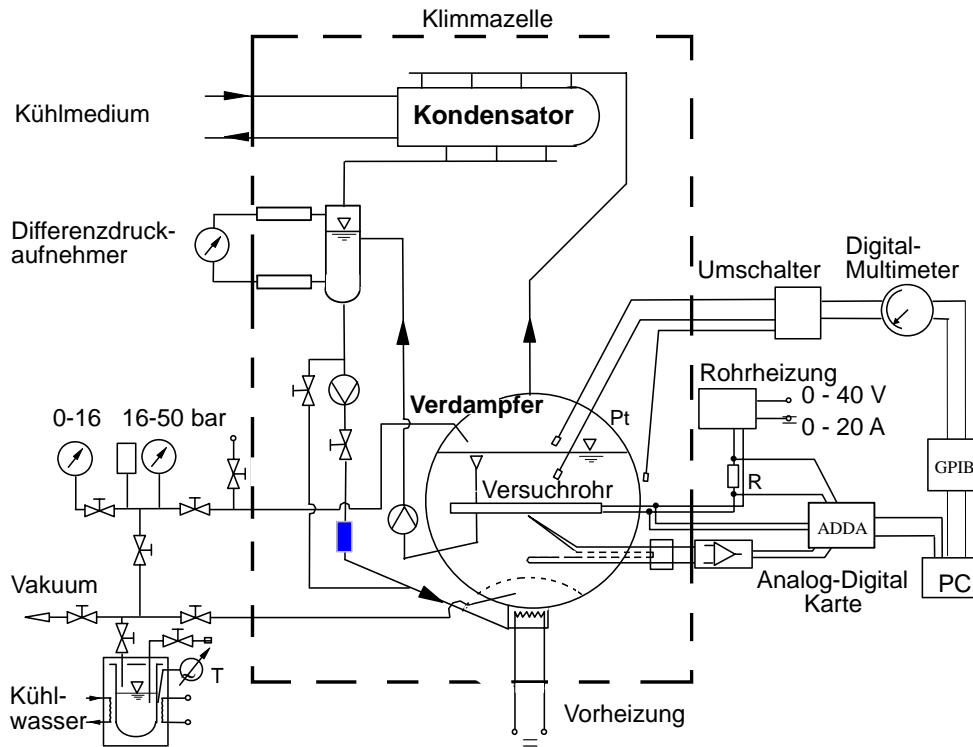
Verdampfer Normsiedeapparatur



modifizierte Normsiedeapparatur

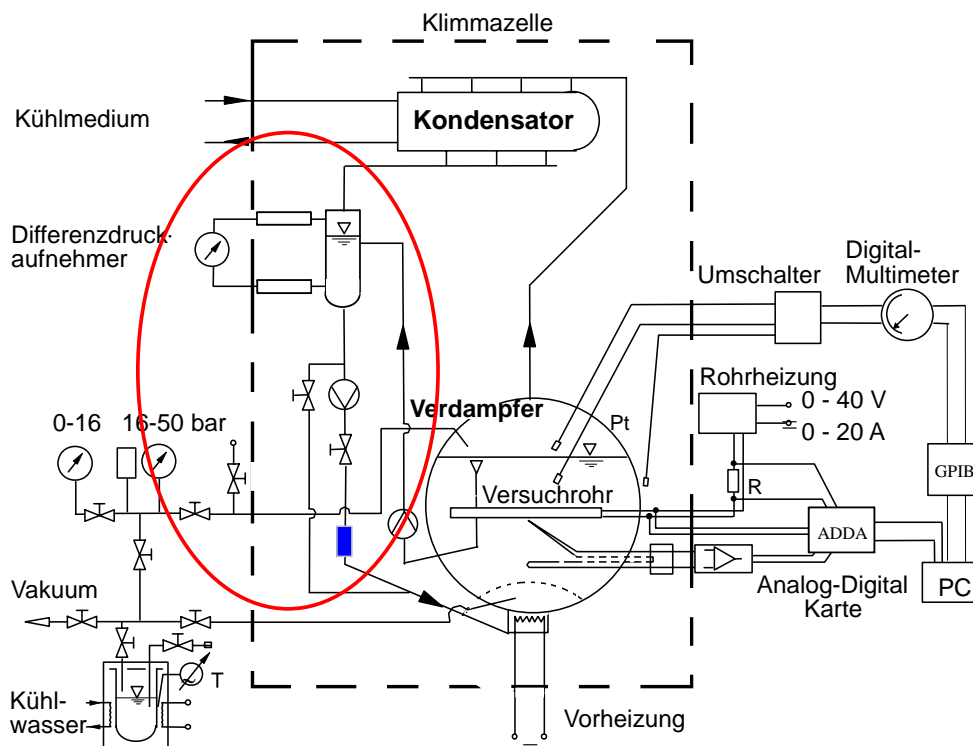
Slide 4

# Versuchsanlage

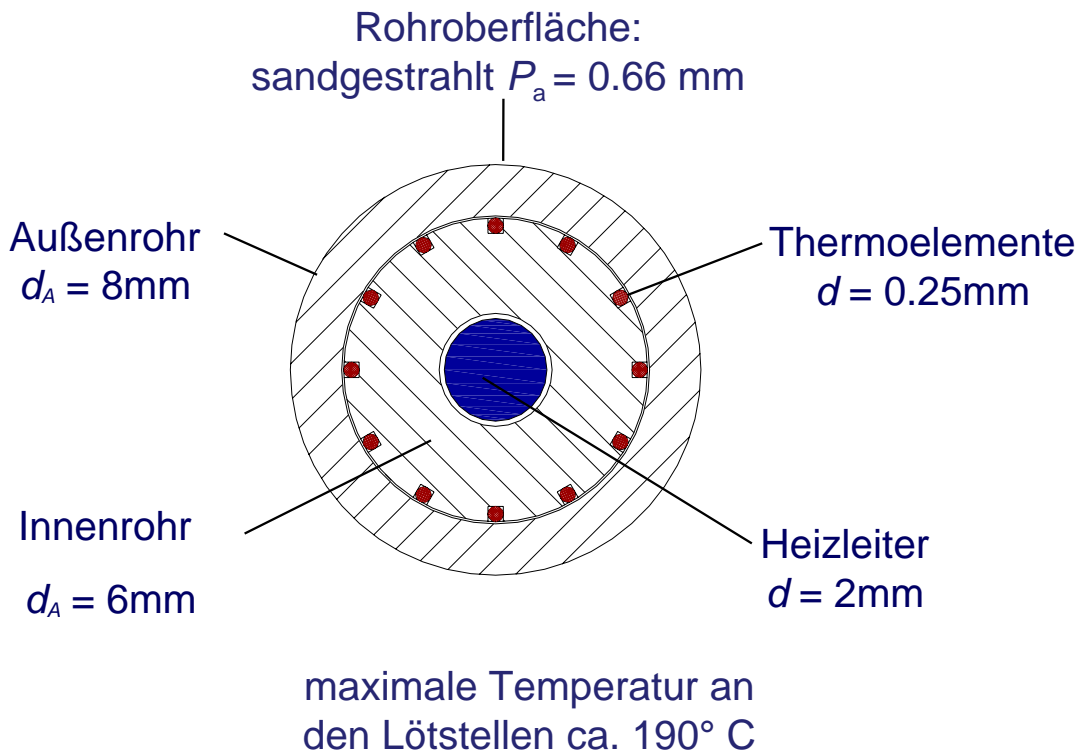


Temperaturbereich von -30 bis 150°C  
bis zu einem Druck von 50 bar

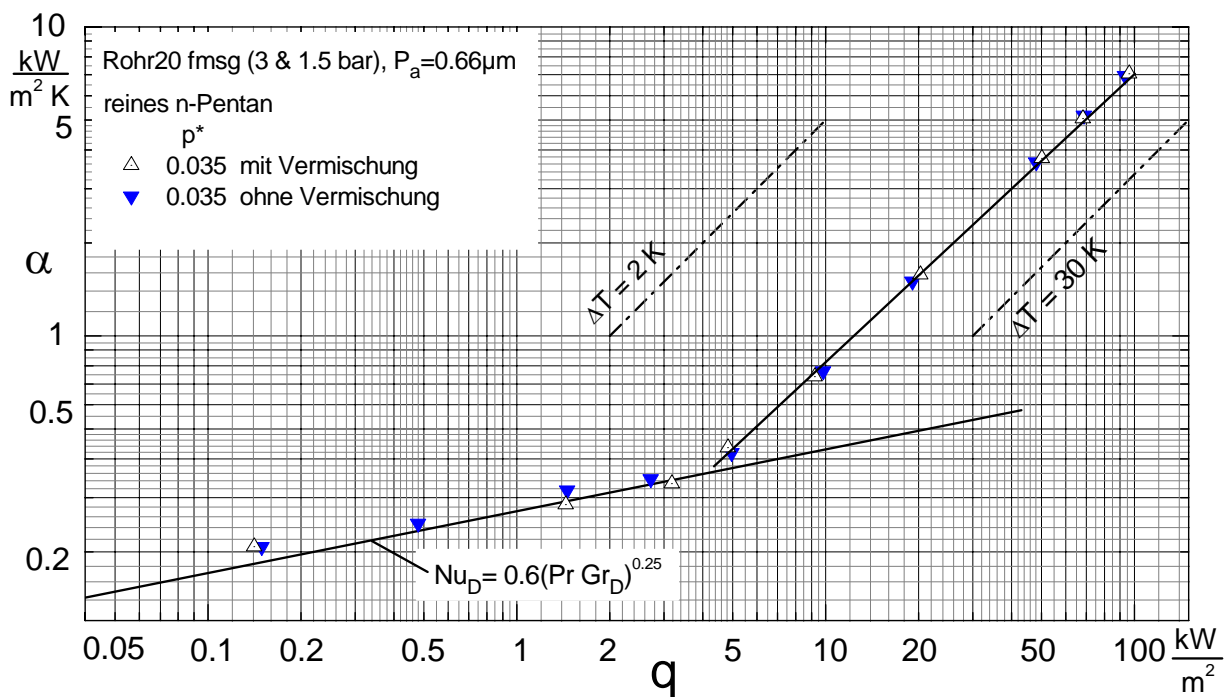
# Versuchsanlage

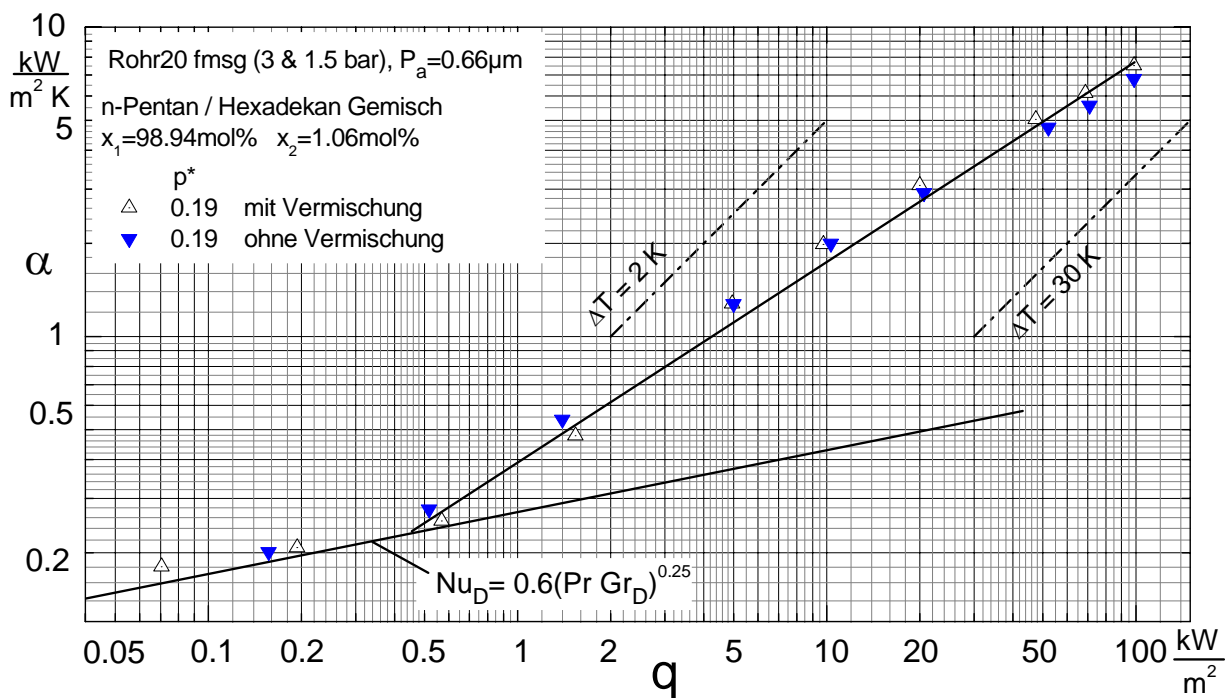


Temperaturbereich von -30 bis 150°C  
bis zu einem Druck von 50 bar

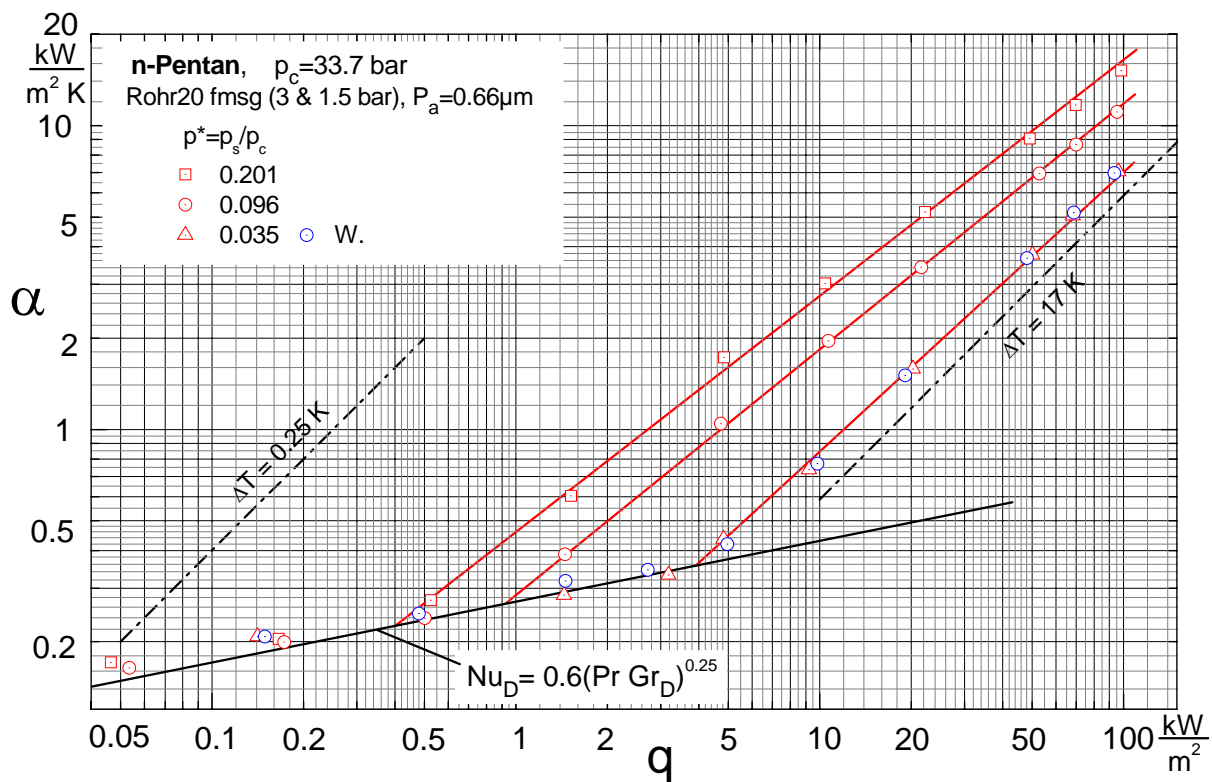


## Einfluss des Zwangsumlaufs



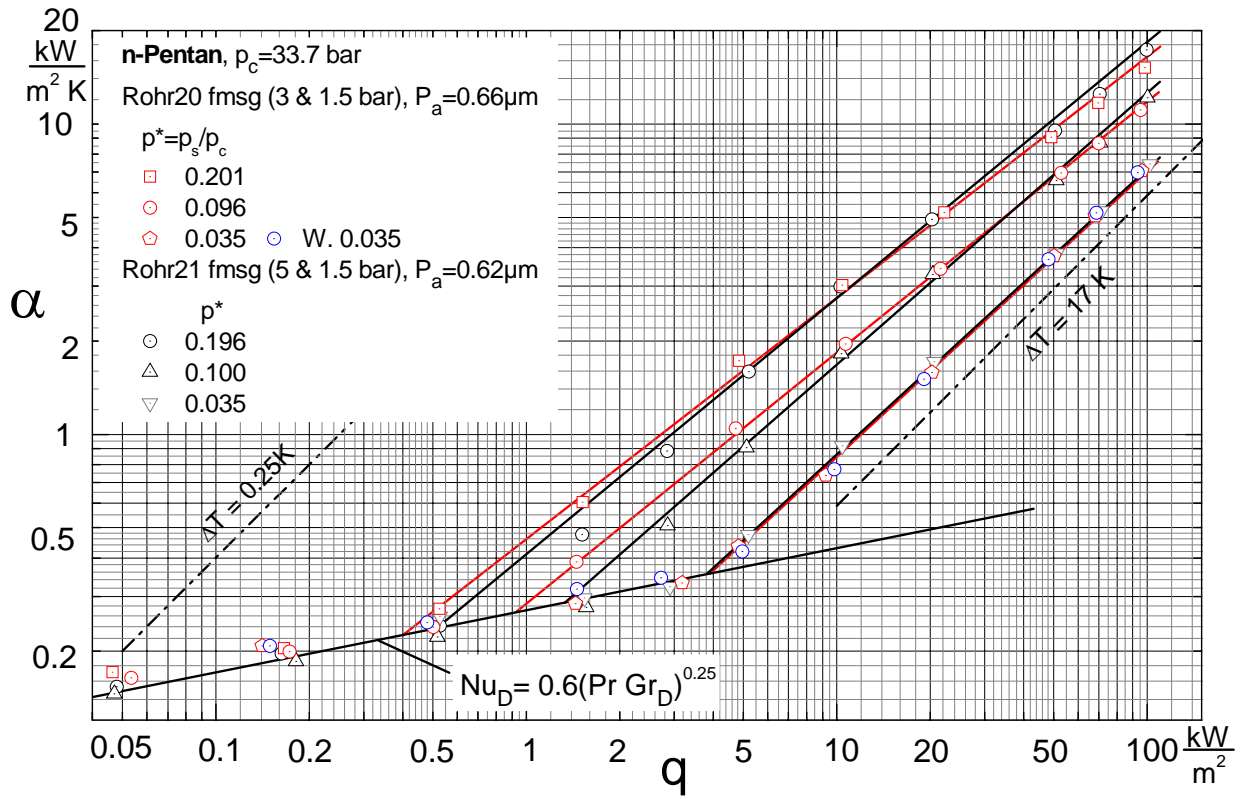


## $\alpha(q)$ - Abhängigkeit für n-Pentan

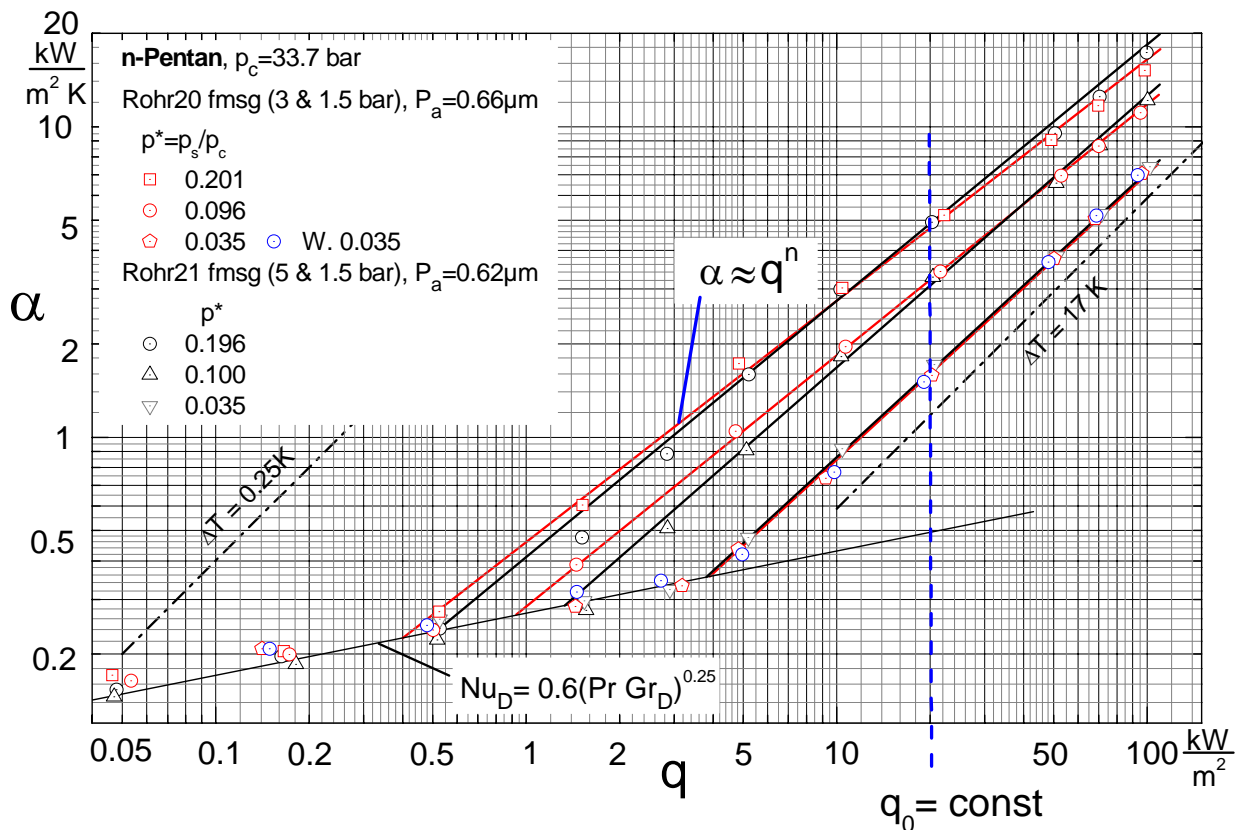




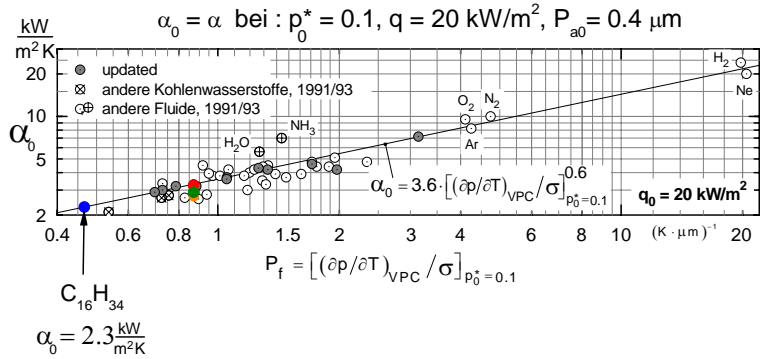
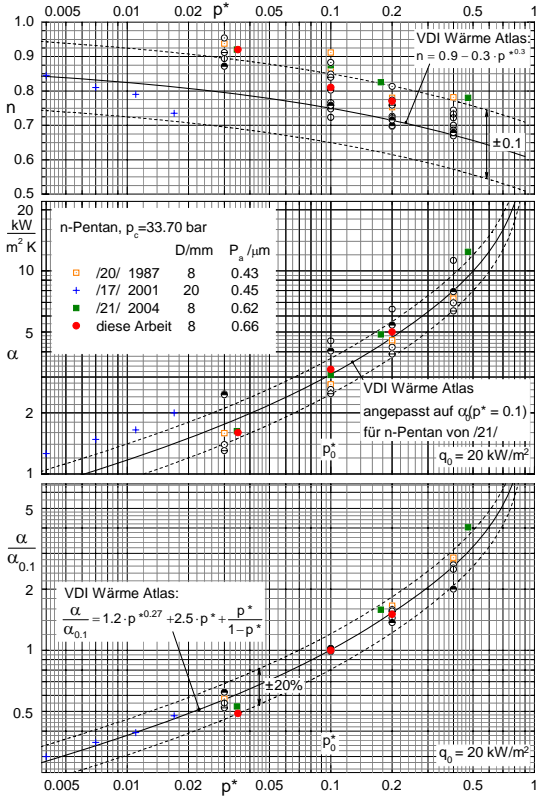
# $\alpha(q)$ - Abhängigkeit für n-Pentan



# $\alpha(q)$ - Abhängigkeit für n-Pentan

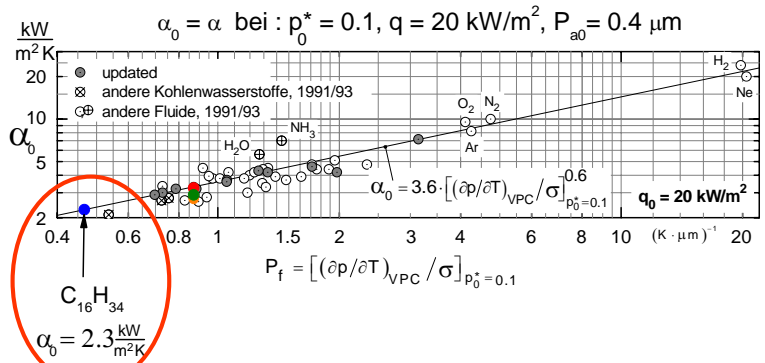
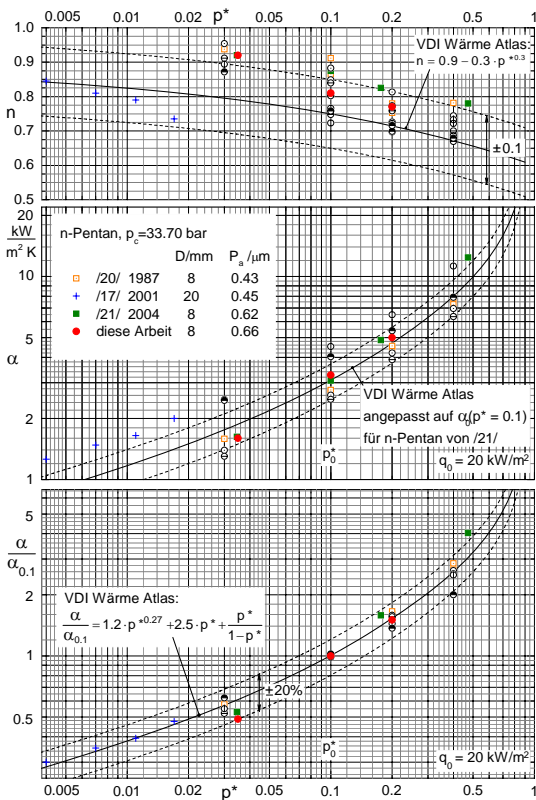


# $\alpha(p^*)$ - Abhängigkeit für n-Pentan



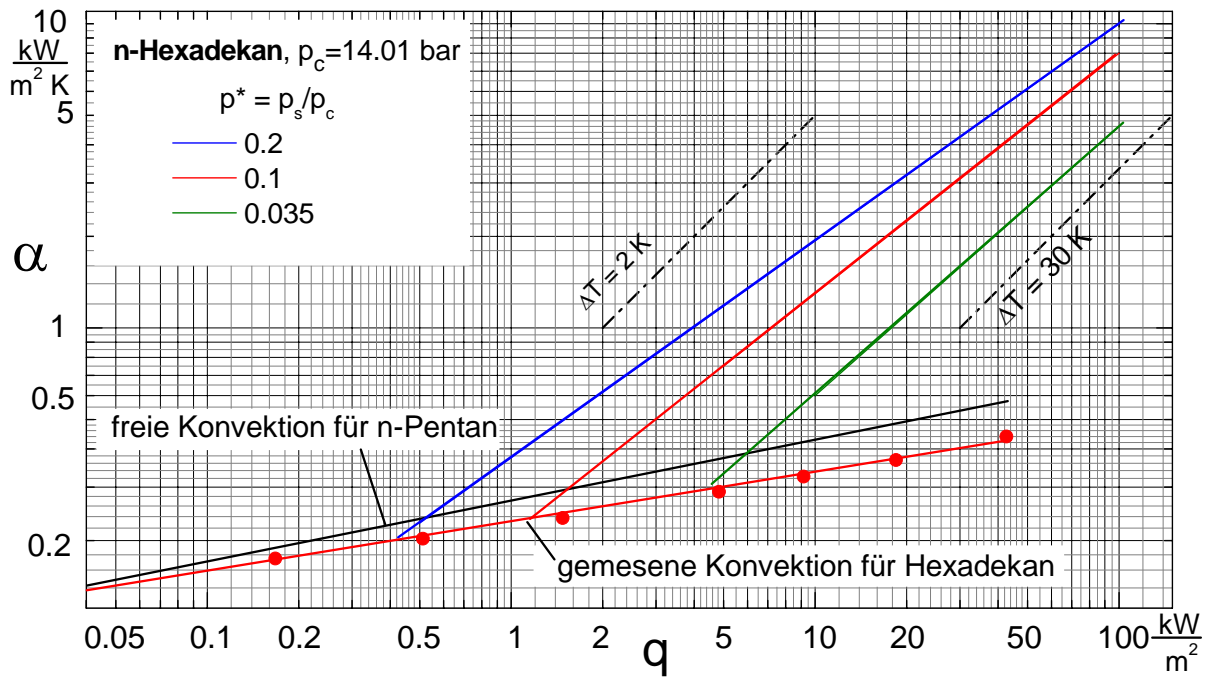
Kotthoff /Gorenflo Übersichtartikel  
in Refrigeration, Vol.31, No.3, 2008

# $\alpha(p^*)$ - Abhängigkeit für n-Pentan

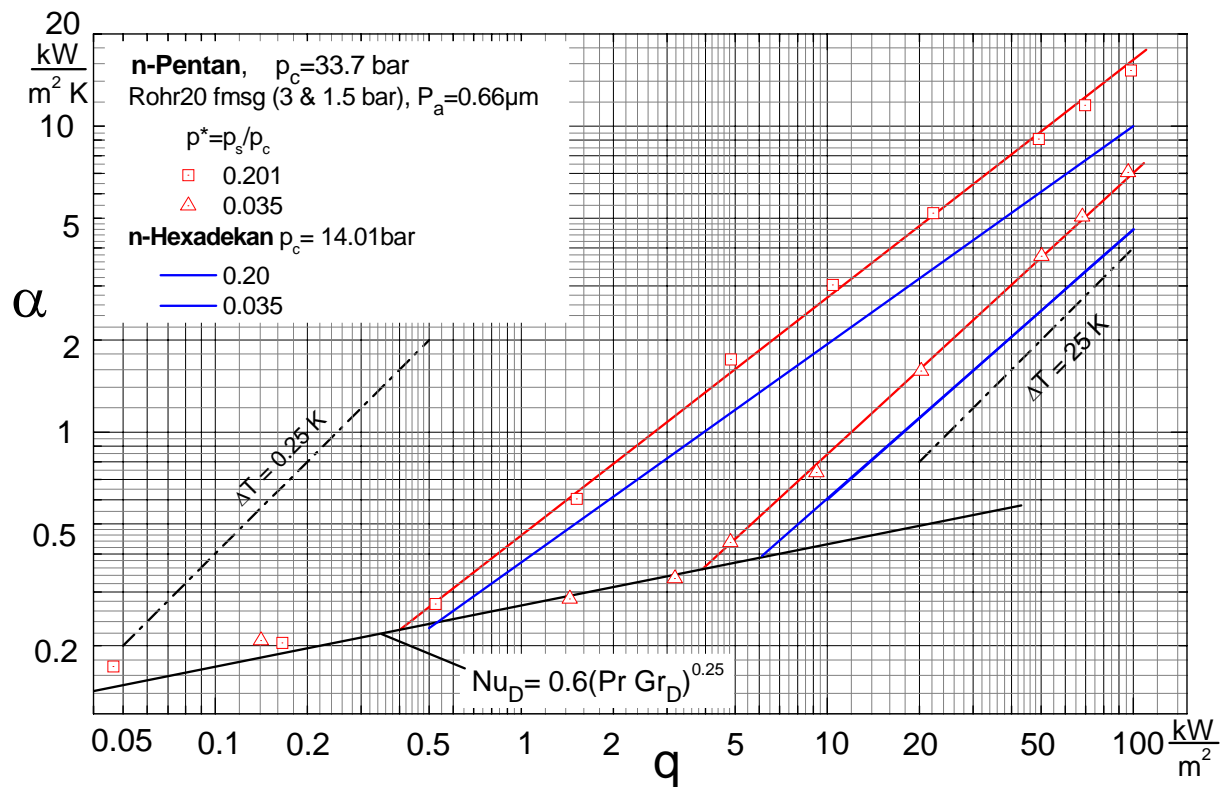


Kotthoff /Gorenflo Übersichtartikel  
in Refrigeration, Vol.31, No.3, 2008

# Berechnete $\alpha$ -Werte für Hexadekan

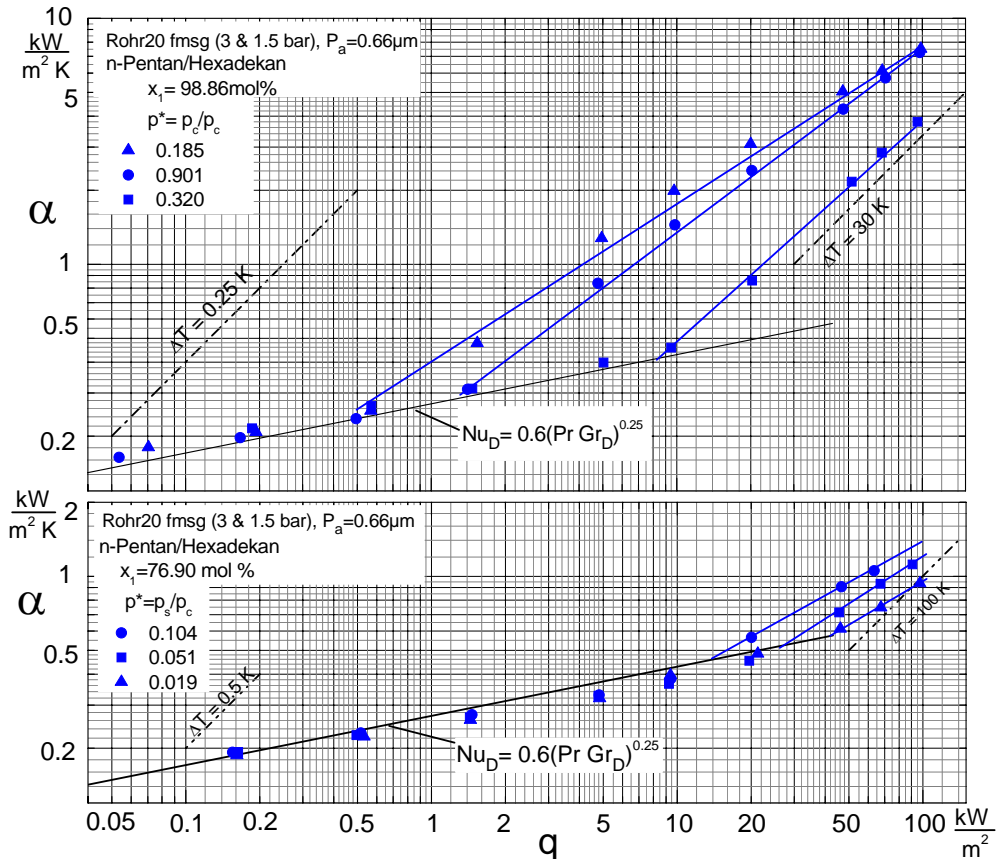


# Berechnete $\alpha$ -Werte für Hexadekan



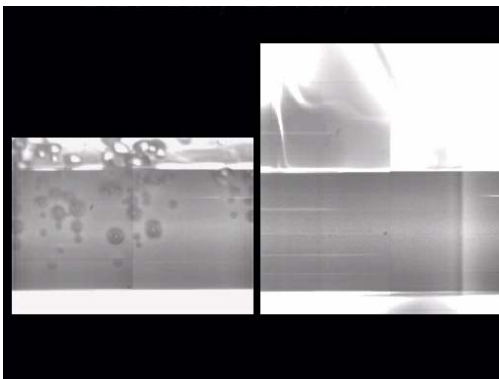
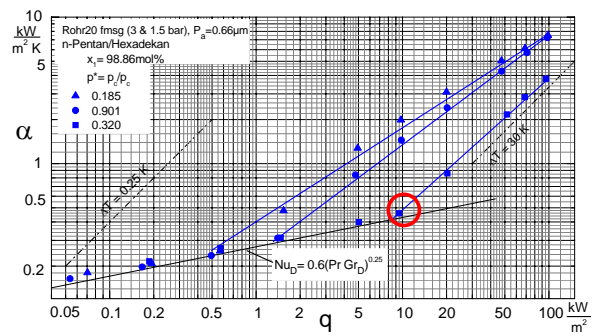
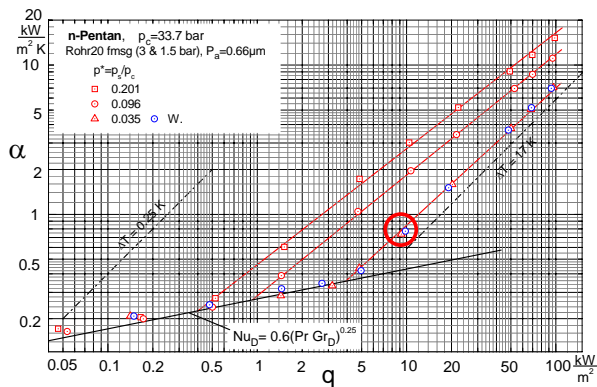


# n-Pentan/Hexadekan Gemische

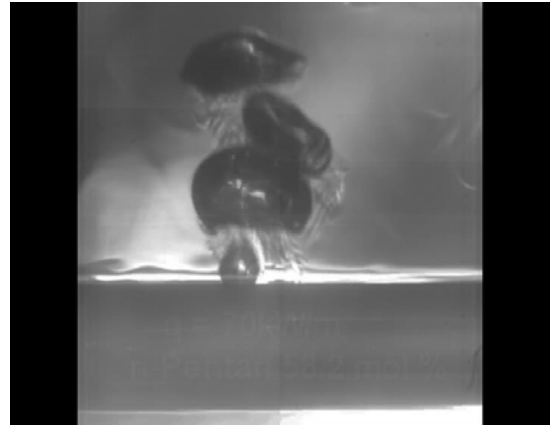
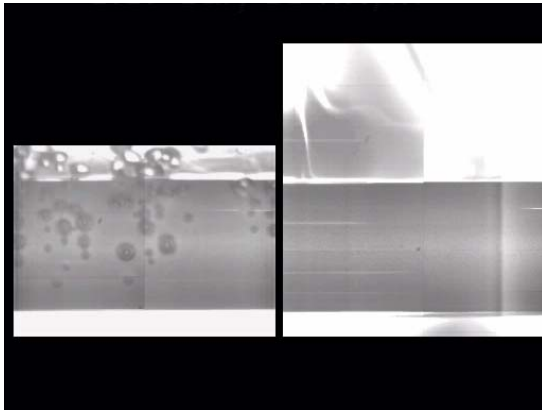
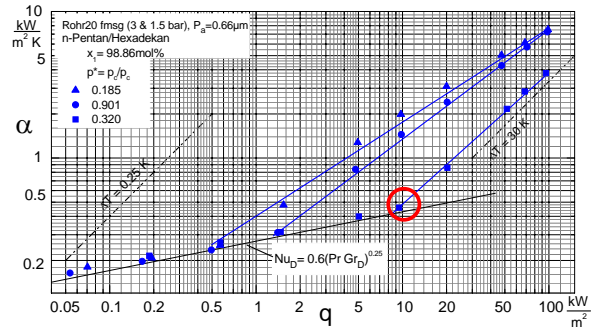
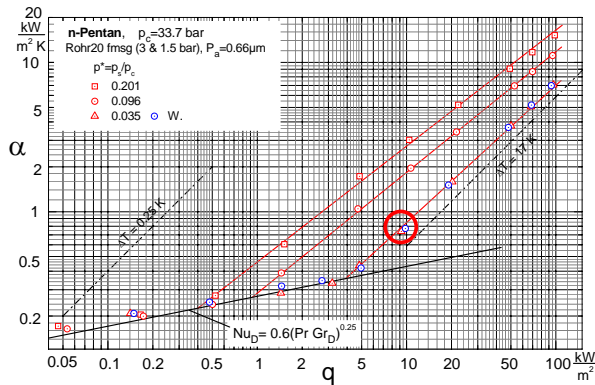


Slide 17

# n-Pentan/Hexadekan Gemische



Slide 18



## Vergleich mit Korrelationen

- Jungnickel  
1980

$$\frac{\alpha_{mix}}{\alpha_{id,m}} = \left( 1 + C_{St} \cdot |y_1 - x_1| \cdot \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right) \cdot \dot{q}^{0,48+0,1 \cdot x_1} \right)^{-1}$$

mit  $\alpha_{id,m} = (x_1 \cdot \alpha_1) + (x_2 \cdot \alpha_2)$

- Schlünder  
1982

$$T_{ph} - T_s \approx \left( 1 - \exp\left( -\frac{B_0 \cdot q}{\rho_l \cdot \Delta h_v \cdot \beta} \right) \right) \cdot ((T_{s1} \cdot (x_1 - y_1)) + (T_{s2} \cdot (x_2 - y_2)))$$

$$\frac{\alpha_{mix}}{\alpha_{id,T}} = \left( 1 + \left\{ \frac{(T_{ph} - T_s)}{\Delta T_{id}} \right\} \right)^{-1} \quad \text{mit} \quad \frac{1}{\alpha_{id,T}} = \left( \frac{x_1}{\alpha_1} \right) + \left( \frac{x_2}{\alpha_2} \right)$$

- Thome u.  
Shakir  
1987

$$T_{ph} - T_s \approx \left( 1 - \exp\left( -\frac{B_0 \cdot q}{\rho_l \cdot \Delta h_v \cdot \beta} \right) \right) \cdot \Delta T_{bp}$$

## Vergleich mit Korrelationen

- Jungnickel  
1980

$$\frac{\alpha_{mix}}{\alpha_{id,m}} = \left( 1 + C_{St} \cdot |y_1 - x_1| \cdot \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right) \cdot \dot{q}^{0,48+0,1 \cdot x_1} \right)^{-1}$$

mit  $\alpha_{id,m} = (x_1 \cdot \alpha_1) + (x_2 \cdot \alpha_2)$

- Schlünder  
1982

$$T_{ph} - T_s \approx \left( 1 - \exp \left( - \frac{B_0 \cdot q}{\rho_l \cdot \Delta h_v \cdot \beta} \right) \right) \cdot ((T_{S1} \cdot (x_1 - y_1)) + (T_{S2} \cdot (x_2 - y_2)))$$

$$\frac{\alpha_{mix}}{\alpha_{id,T}} = \left( 1 + \left\{ \frac{(T_{ph} - T_s)}{\Delta T_{id}} \right\} \right)^{-1} \quad \text{mit} \quad \frac{1}{\alpha_{id,T}} = \left( \frac{x_1}{\alpha_1} \right) + \left( \frac{x_2}{\alpha_2} \right)$$

- Thome u.  
Shakir  
1987

$$T_{ph} - T_s \approx \left( 1 - \exp \left( - \frac{B_0 \cdot q}{\rho_l \cdot \Delta h_v \cdot \beta} \right) \right) \cdot \Delta T_{bp}$$

Slide 21

## Vergleich mit Korrelationen

- Jungnickel  
1980

$$\frac{\alpha_{mix}}{\alpha_{id,m}} = \left( 1 + C_{St} \cdot |y_1 - x_1| \cdot \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right) \cdot \dot{q}^{0,48+0,1 \cdot x_1} \right)^{-1}$$

mit  $\alpha_{id,m} = (x_1 \cdot \alpha_1) + (x_2 \cdot \alpha_2)$

- Schlünder  
1982

$$T_{ph} - T_s \approx \left( 1 - \exp \left( - \frac{B_0 \cdot q}{\rho_l \cdot \Delta h_v \cdot \beta} \right) \right) \cdot ((T_{S1} \cdot (x_1 - y_1)) + (T_{S2} \cdot (x_2 - y_2)))$$

$$\frac{\alpha_{mix}}{\alpha_{id,T}} = \left( 1 + \left\{ \frac{(T_{ph} - T_s)}{\Delta T_{id}} \right\} \right)^{-1} \quad \text{mit} \quad \frac{1}{\alpha_{id,T}} = \left( \frac{x_1}{\alpha_1} \right) + \left( \frac{x_2}{\alpha_2} \right)$$

- Thome u.  
Shakir  
1987

$$T_{ph} - T_s \approx \left( 1 - \exp \left( - \frac{B_0 \cdot q}{\rho_l \cdot \Delta h_v \cdot \beta} \right) \right) \cdot \Delta T_{bp}$$

Slide 22

# Vergleich mit Korrelationen

- Jungnickel  
1980

$$\frac{\alpha_{mix}}{\alpha_{id,m}} = \left( 1 + C_{St} \right)$$

mit  $\alpha_{id,m} = (x_1 \cdot a$

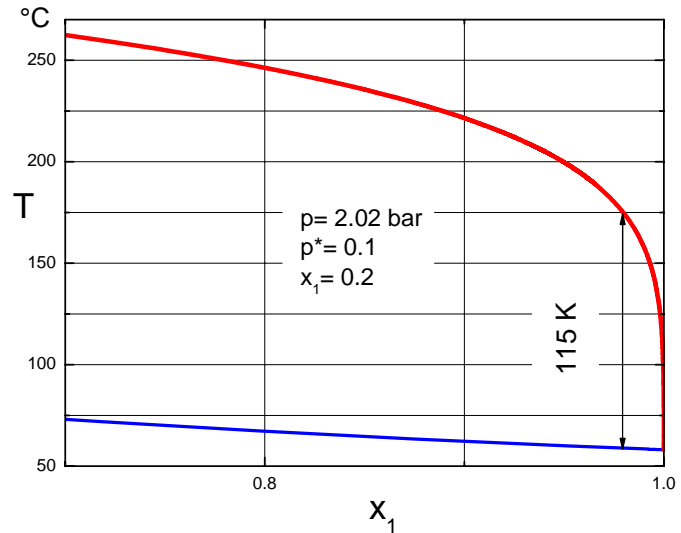
- Schlünder  
1982

$$T_{ph} - T_s \approx \left( 1 - \exp \left( - \right. \right.$$

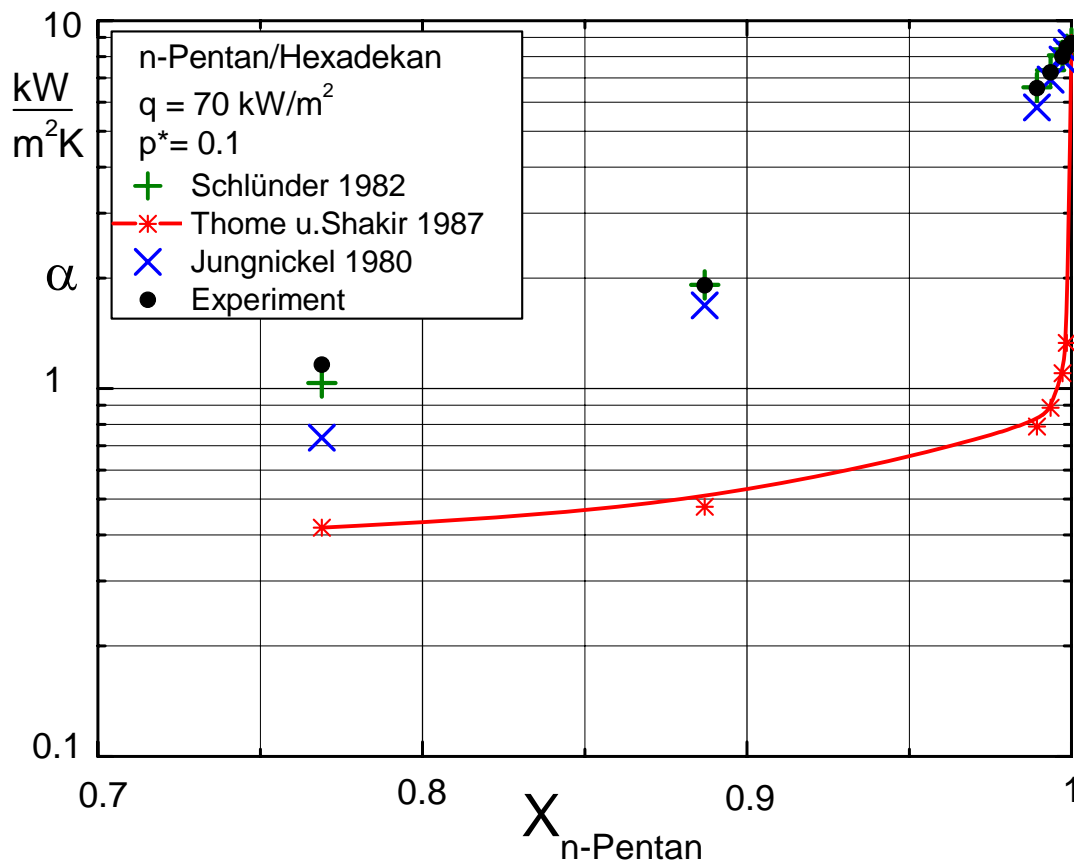
$$\left. \left. \frac{\alpha_{mix}}{\alpha_{id,T}} = \left( 1 + \left\{ \frac{T_{ph}}{\Delta} \right. \right. \right.$$

- Thome u.  
Shakir  
1987

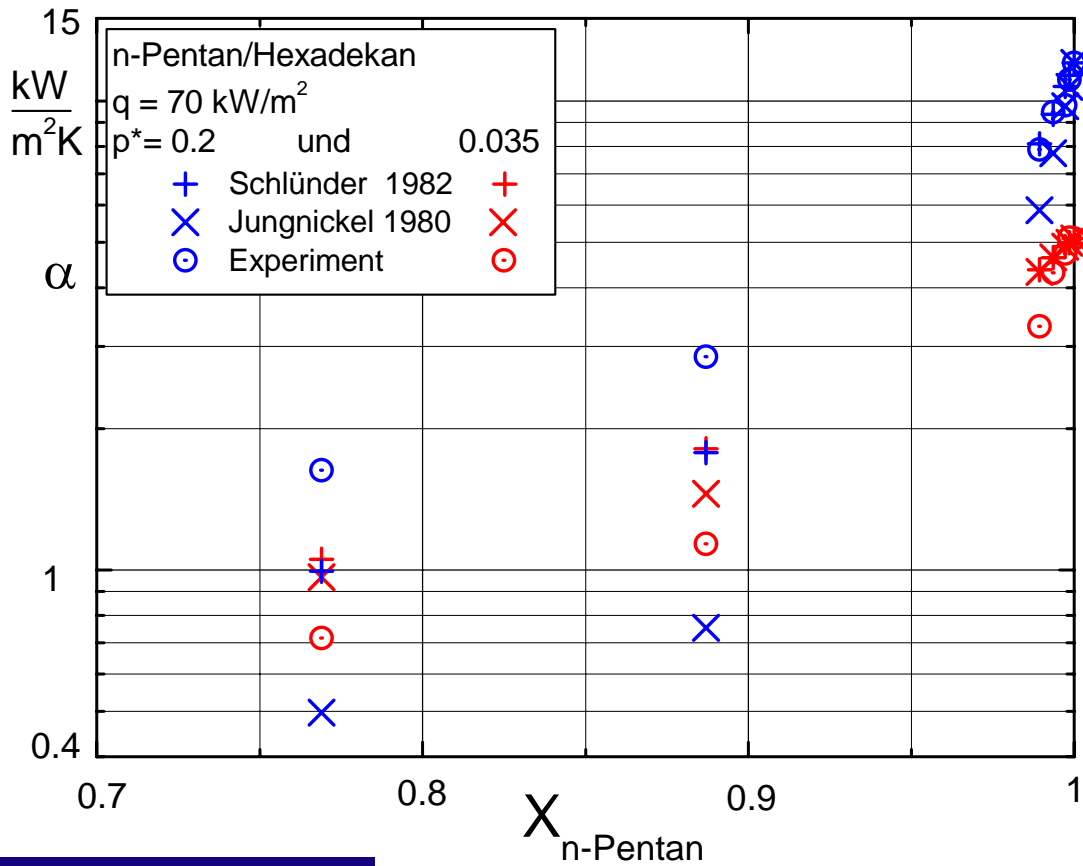
$$T_{ph} - T_s \approx \left( 1 - \exp \left( - \frac{B_0 \cdot q}{\rho_l \cdot \Delta h_v \cdot \beta} \right) \right) \cdot \Delta T_{bp}$$



# Vergleich mit Korrelationen

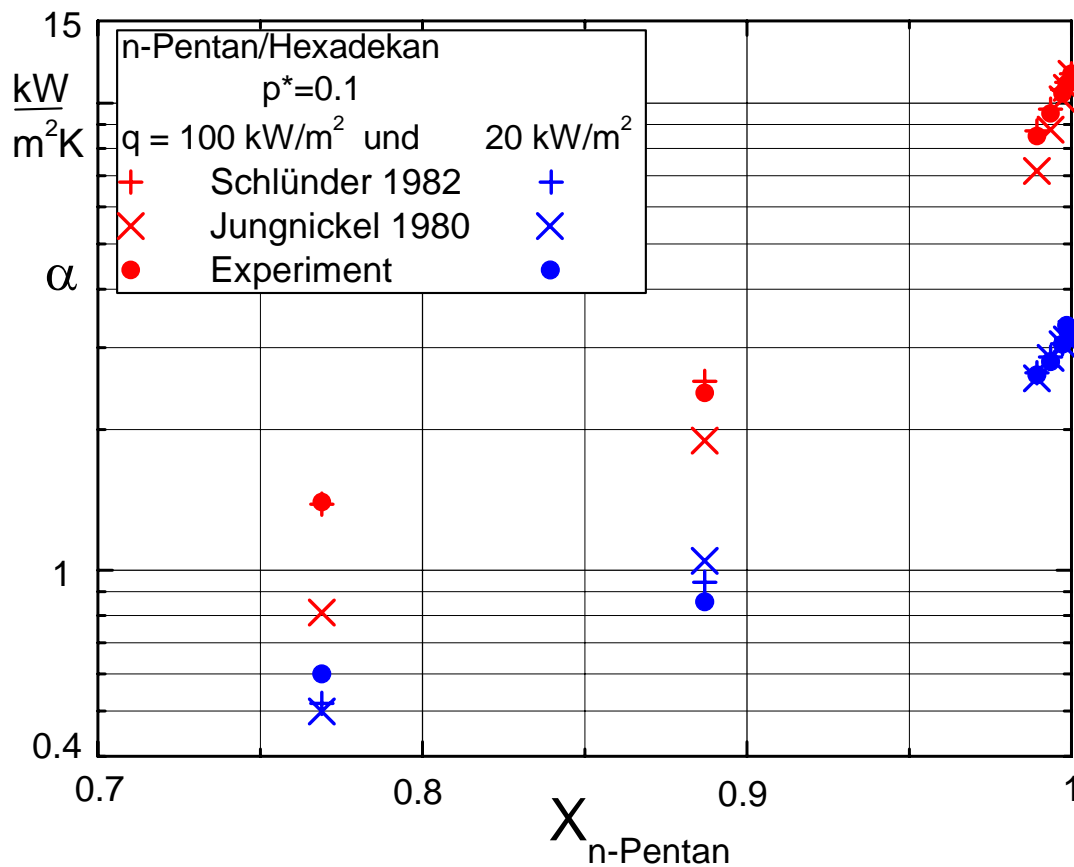


### Vergleich mit Korrelationen



Slide 25

### Vergleich mit Korrelationen



Slide 26



## Zusammenfassung und Ausblick

- Modifizierte Normalsiedeapparatur wurde mit n-Pentan verifiziert
- Gemisch n-Pentan/Hexadekan wurde in weiten Konzentrationsbereichen vermessen
- Daten für Gemisch mit  $\Delta T_{SN} \approx 250$  K (bisher max.  $\Delta T_{SN} \approx 132$  K)
- Ergebnisse verdeutlichen die physikalischen Zusammenhänge beim Sieden weitsiedender Gemische
- Experimentelle Ergebnisse mit existierenden Korrelationen verglichen
  
- Zentrales Interesse gilt weiterhin hochviskosen Gemischen!

Slide 27

## Zusammenfassung und Ausblick



- Zentrales Interesse gilt weiterhin hochviskosen Gemischen!

Slide 28