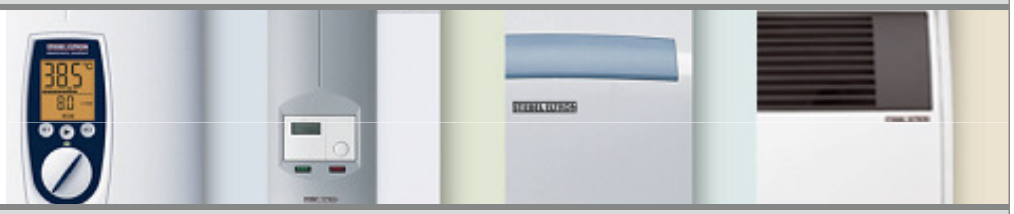
WARMWASSER ERNEUERBARE ENERGIEN KLIMA RAUMHEIZUNG

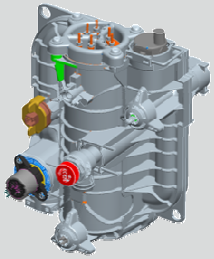
STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

Mathcad

Berechnung hydraulischer Verluste fluidführender Systeme



Dipl.-Ing. Carsten Hüge



Agenda

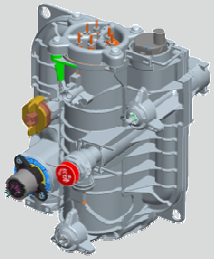
STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

> **Beschreibung der Problemstellung**
  Definition der Druckverluste im Hydraulikmodul

> **Lösung mit Mathcad**
  Entwicklung eines geeigneten Modells

> **Testergebnisse**
  Korrelation mit konkreten Testergebnissen

> **Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse**



Kunststoff-Hydraulikmodul
Druckverluste (1)

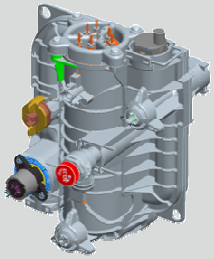
STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

> Für eine neu zu entwickelndes, hochintegratives Kunststoff-Hydraulikmodul wurden folgende, für diese Darstellung relevanten Randbedingungen in der Produktspezifikation vorgegeben:

- nominaler Volumenstrom: **$(dV/dt)_0$=2,5m³/h** (41,7l/min)
- maximaler Druckverlust (bei $(dV/dt)_0$): **Δp=150mbar** (15000Pa)

> Dieser maximale „Druckverlust“ ist letztlich direkt mitverantwortlich für die Gesamtenergieeffizienz der Wärmepumpensysteme in die die Baugruppe eingebaut wird.

> „Konventionell“, d.h. diskret aufgebaut, liegt der Druckverlust der durch das Hydraulikmodul dargestellten Komponenten bei über 250mbar, d.h. die erforderliche Pumpenleistung nach Optimierung ist 40% geringer.



Kunststoff-Hydraulikmodul
Druckverluste (2)

STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

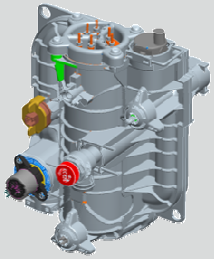
Der Gesamtdruckverlust der Baugruppe setzt sich zusammen aus

> **Reibungsdruckverlusten**

abhängig von:
- Reynoldszahl (->turbulente/ laminare Strömung) **Re**
- Strömungsgeschwindigkeit **w**
- Rohrrauhigkeit **k**
- Dichte des Mediums ρ

> **Stoßdruckverlusten**

abhängig von:
- Widerstandbeiwert ζ
- Strömungsgeschwindigkeit **w**
- Dichte des Mediums ρ



Kunststoff-Hydraulikmodul
Mathcad Modell (1)

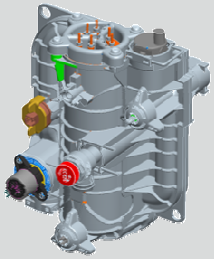
STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

> Zur Bestimmung der temperaturabhängigen Druckverluste wurden zunächst die existierenden Tabellenwerte für die temperaturabhängigen Stoffwerte:

- kinematische Viskosität $\nu=f(\theta)$
- Dichte $\rho=f(\theta)$

durch Polynominterpolation innerhalb des interessanten Intervals bestimmt.

Hierzu wurde aus den Tabellenwerten (VDI-Wärmeatlas) mittels einer Matrixgleichung die Polynomkoeffizienten für die Interpolationsgleichung bestimmt.



Kunststoff-Hydraulikmodul
Mathcad Modell (2)

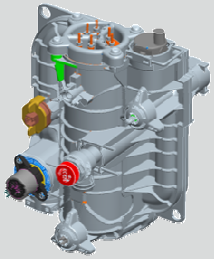
STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

> Die – für den Druckverlust der Gesamtbaugruppe – charakteristischen Parameter wurden für jedes Element im Fließweg in Vektoren dargestellt und hinsichtlich ihres Beitrages zum Gesamtdruckverlust bewertbar gemacht.

Dies ermöglicht eine spätere Skalierung/ Änderung der Detaillierung des Modells -> Erweiterbarkeit

> Die Zusammenfassung der einzelnen Beiträge zum Gesamtdruckverlust wurden mittels Mathcad Programmen als Funktionen des Volumenstroms und der Temperatur aufgebaut um eine Auswertung (und Variation) hinsichtlich dieser beiden Größen zu ermöglichen.

> Es folgte eine Auswertung der Volumenstrom- sowie Temperaturabhängigkeit der einzelnen Beiträge zum Gesamtdruckverlust.

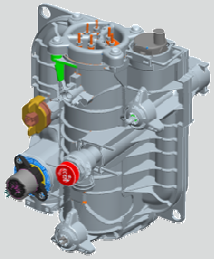


Kunststoff-Hydraulikmodul
Korrelation mit realen Messdaten

STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

- Die Prognose des Druckverlustes der Hydraulikbaugruppe belief sich auf **158mbar** bei Nennvolumenstrom von **2,5m³/h**.
- Reale Messungen ergaben einen Wert von **145mbar**.
- Bei den Messungen ergaben sich mehr oder weniger stark ausgeprägte Temperaturabhängigkeiten des Volumenstroms bei ansonsten unveränderten Prüfstandseinstellungen. Es wurden Abweichungen von bis zu +3% bezogen auf den Nennvolumenstrom bei 20°C festgestellt, die zunächst nicht erklärbar waren.

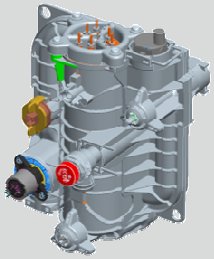
  Nach Modifikation des Mathcad-Modells zur Abbildung der Temperaturabhängigkeit der relevanten Stoffwerte zeigte sich, dass die gemessenen Abweichungen jedoch durch aus im plausiblen Rahmen liegen.
  (Diese Anpassung entspricht dem vorliegenden Stand der Mathcad Implementierung)



Kunststoff-Hydraulikmodul
Zusammenfassung der Erkenntnisse

STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

- Die Prognose des Druckverlustes der Hydraulikbaugruppe war sehr gut in Deckung mit den tatsächlichen Messergebnissen.
- Die „Plausibilisierung“ der vorgefundenen Temperaturabhängigkeit der Messergebnisse war mit Mathcad sehr einfach möglich – eine zu gleichem Zweck durchgeführte CFD-Analyse führte nicht zu ähnlich schnellen und konkret nachvollziehbaren Ergebnissen (Transparenz)!



STIEBEL ELTRON
Technik zum Wohlfühlen

Vielen Dank!