

Entwicklung eines Verfahrens zur schnellen und genauen Stoffwertberechnung mit Spline-Interpolation für die Simulation fortschrittlicher energietechnischer Prozesse

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar
Mitarbeiter: M. Kunick
Laufzeit der Projekte: 2013 – 2018

Projekte der SMWK-Vorlauftforschung

Projekt: 02/2013 – 12/2014

Entwicklung einer Guideline als internationalen Standard für die Berechnung der thermodynamischen Eigenschaften von Wasserdampf und Wasser in numerischen Strömungssimulationen mit CFD als Projekt der International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS).

Projekt: 08/2015 – 12/2016

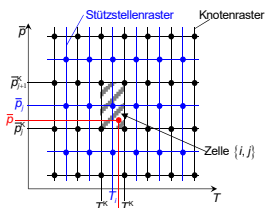
Integration entwickelter Spline-Stoffwertalgorithmen in industrielle Anwendersoftware zur numerischen Strömungssimulation (CFD) und zur Modellierung instationärer energietechnischer Prozesse.

Projekt: 02/2016 – 06/2018

Simulation fortschrittlicher energietechnischer Prozesse mit fluiden Stoffgemischen auf Grundlage einer schnellen und genauen Stoffwertberechnung mit Spline-Interpolation.

Spline-Based Table Look-up Method (SBTL-Verfahren)

In drei SMWK-Projekten im Zeitraum bis 2018 wurde das Spline-basierte Stoffwert-Berechnungsverfahren (SBTL) zur schnellen und genauen Berechnung thermophysikalischer Stoffeigenschaften in aufwändigen Prozesssimulationen entwickelt und in Programmen zur Simulation energietechnischer Maschinen, Apparate und Anlagen erfolgreich angewendet.



- Variablentransformationen (z.B., $p \rightarrow \bar{p}$):
 - Verbesserung der Genauigkeit (Linearisierung)
 - Umformung des Interpolationsbereichs in Rechteckform
- Definition eines rechteckigen, stückweise äquidistanten Stützstellenrasters (schnelle Algorithmen zur Zellsuche)
- Definition der Zellen im Knotenraster
- Berechnung aller Koeffizienten a_{ijk} des bi-quadratischen Splinepolynoms mit stetigen ersten Ableitungen:

$$h_{i,j}(\bar{p}, T) = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 a_{ijkl} (\bar{p} - \bar{p}_i)^{k-1} (T - T_j)^{l-1}$$

Die entwickelten SBTL-Funktionen sind im Vergleich zur Berechnung mit dem Industriestandard IAPWS-IF97 für Wasser und Wasserdampf

- je nach Funktion 30 bis 270 mal schneller Funktion
- und geben die Funktionen mit einer Genauigkeit von 10 bis 100 ppm wieder

Projektpartner

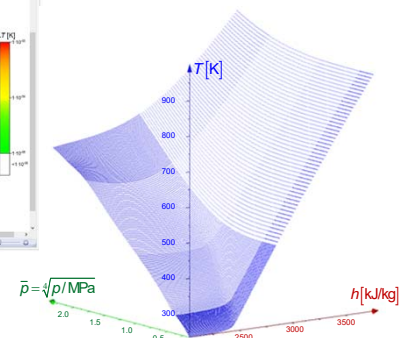
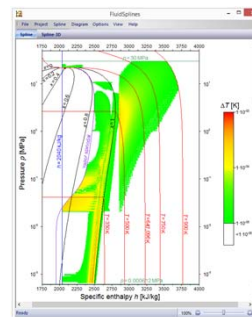
- Deutsches Zentrum für Luft- u. Raumfahrt (DLR), Köln
 - Simulation von Dampf und Gasturbinen mit der CFD-Software TRACE
- Siemens Gas and Power, Erlangen
 - Simulation von energietechnischen Anlagen mit der Inhaus-Software KRAWAL und DYNAPLANT
- STEAG Energy Services, Zwingenberg/Essen
 - Simulation von energietechnischen Anlagen mit der Software EBSILON Professional

Folgeprojekte

- BMWi in Kooperation mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
- Ruhr-Universität Bochum, Chair of Thermal Turbomachines and Aeroengines, Bochum
- Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
- Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen
- Idaho National Laboratory, Idaho Falls

Software FluidSplines

Generierung von SBTL-Funktionen für beliebige Stoffe



Ergebnisse

- Durch die Integration des SBTL-Verfahrens in TRACE wurden die Rechenzeiten um den Faktor 10 reduziert.
- Mit dem SBTL-Verfahren werden die Rechenzeiten zur Auslegung von energietechnischen Anlagen in KRAWAL und EBSILON halbiert.
- Die Simulationsergebnisse sind praktisch identisch zu denen, die mit den aktuellen Gleichungen der IAPWS berechnet wurden.
- IAPWS Guideline SBTL als internationaler Standard (2015)
- Veröffentlichung als VDI-Fortschrittsbericht, Reihe 6, Nr. 618 (2018)
- Veröffentlichung in der Zeitschrift Journal of Engineering for Gas Turbines and Power (eingereicht)



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.