Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

STAATSMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND KUNST | Freistaat SACHSEN

SMWK-Vorlaufförderung

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

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar
Mitarbeiter: M. Kunick

Laufzeit: 07.2015 – 12.2017

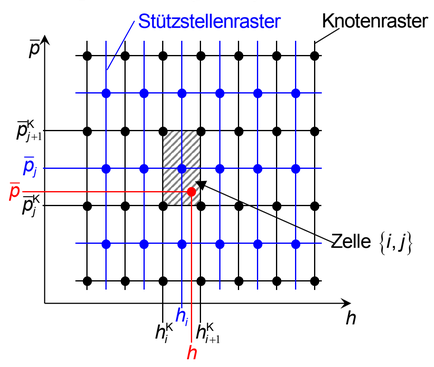
Fakultät Maschinenwesen

Aufgabenstellung

Zur schnellen und genauen Berechnung thermophysikalischer Stoffeigenschaften in numerischen Prozesssimulationen wurde das Spline-basierte Stoffwert-Berechnungsverfahren (SBTL) in zwei SMWK-Projekten im Zeitraum 2011-2014 entwickelt und dazu eine international verbindliche Richtlinie der International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS) erarbeitet. Damit wird es erstmals möglich die realen Stoffeigenschaften in besonders aufwändigen Prozesssimulationen zu berücksichtigen.
Im Rahmen dieses Projektes soll das SBTL-Verfahren in die industrielle Nutzung überführt und in verschiedene CFD-Programme sowie in Software zur Berechnung instationärer Prozesse integriert werden (siehe Arbeitsplan).

SBTL-Verfahren und Software

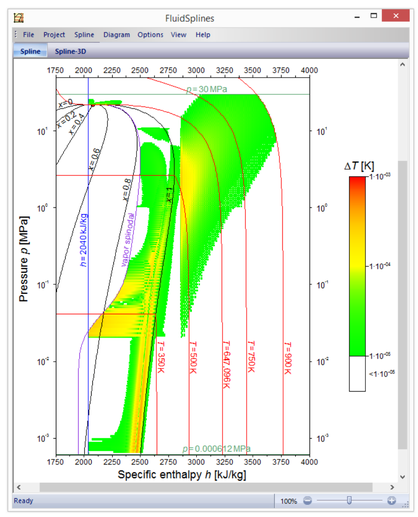
Beispiel: $T(p,h)$

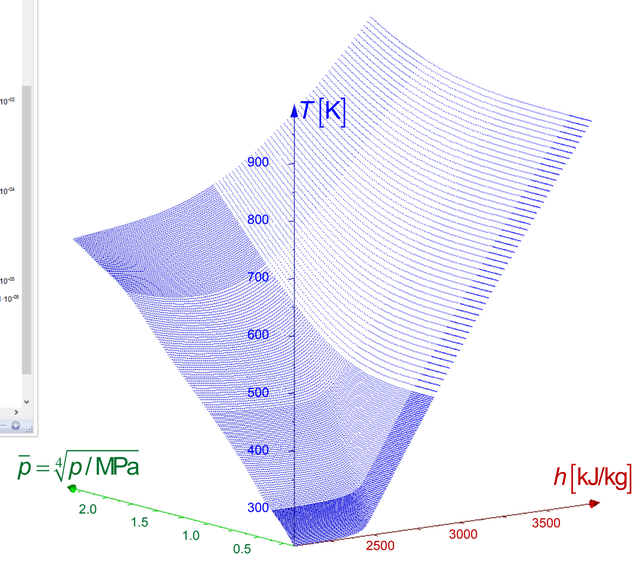


1) Variablentransformationen (z.B., $p \rightarrow \bar{p}$):
   - Verbesserung der Genauigkeit (Linearisierung)
   - Umformung des Interolationsbereichs in Rechteckform
2) Definition eines rechteckigen, stückweise äquidistanten Stützstellenrasters (schnelle Algorithmen zur Zellsuche)
3) Definition der Zellen im Knotenraster
4) Berechnung aller Koeffizienten a_{ijkl} des bi-quadratischen Splinepolynoms (stetige erste Ableitungen):

$$T_{\{i,j\}}(\bar{p},h) = \sum_{k=1}^{3}\sum_{l=1}^{3} a_{ijkl}\left(\bar{p}-\bar{p}_i\right)^{k-1}\left(h-h_j\right)^{l-1}$$

FluidSplines:
Generierung von SBTL-Funktionen für beliebige Stoffe





Berechnung inverser Funktionen (num. konsistent):

SBTL-Funktionen von (p,h):		(p,T):	(p,s):	(h,s):
Temperatur	$T^{SPL}(p,h)$	$h^{INV}(p,T)$		
Spez. Volumen	$v^{SPL}(p,h)$	$v^{SPL}, s^{SPL}, w^{SPL}, \eta^{SPL}(p, h^{INV})$		
Spez. Entropie	$s^{SPL}(p,h)$		$h^{INV}(p,s)$	
Schallgeschwindigkeit	$w^{SPL}(p,h)$	$T^{SPL}, v^{SPL}, w^{SPL}, \eta^{SPL}(p,h^{INV})$		$p^{INV}(h,s)$
Dynamische Zähigkeit	$\eta^{SPL}(p,h)$		$T^{SPL}, v^{SPL}, w^{SPL}, \eta^{SPL}(p^{INV},h)$	

SBTL-Funktionen von (p,h) im Vergleich zur Berechnung mit dem Industriestandard IAPWS-IF97:
- bis zu 30 mal schneller
- Abweichungen kleiner 1-10 ppm

Arbeitsplan und aktueller Arbeitsstand

07.2015-11.2015	Erarbeitung von Stoffwert-Berechnungsprogrammen auf der Grundlage des SBTL-Verfahrens für die Simulation instationärer Prozesse und deren Integration in EBSILON von STEAG Energy	✓
10.2015-01.2016	Gemeinsame Implementierung der SBTL-Stoffwert-Algorithmen mit SIEMENS Energy in deren Kreisprozess-Berechnungsprogramm KRAWAL und in die Software DYNAPLANT	✓
02.2016-08.2016	Erarbeitung von Stoffwert-Berechnungsprogrammen auf der Grundlage des SBTL-Verfahrens für CFD-Anwendungen zur numerischen Strömungssimulation und deren Integration in TRACE vom Deutschen Zentrum für Luft- u. Raumfahrt (DLR)	✓
09.2016-12.2016	Integration der SBTL-Stoffwert-Algorithmen in die Programmsysteme von ALSTOM und GE	⌛
09.2016-03.2017	Integration der SBTL-Stoffwert-Algorithmen in ANSYS CFX und FLUENT	⌛

- Mit dem SBTL-Verfahren werden die Rechenzeiten zur Auslegung von Kraftwerksanlagen in KRAWAL halbiert.
- Durch die Integration des SBTL-Verfahrens in TRACE wurden die Rechenzeiten um den Faktor 10 reduziert.
- Die Simulationsergebnisse sind praktisch identisch zu denen, die mit den aktuellen Gleichungen der IAPWS berechnet wurden.
- Vorträge und Poster (seit Projektbeginn 07.2015):
  - EBSILON Professional Anwendertagung 2015 – Vortrag
  - 16th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery 2016 – Vortrag
  - ASME Turbo EXPO 2016 – Poster (ASME Poster Award)

Ausblick

- Weitere Projektbearbeitung nach Arbeitsplan
- Publikation des Verfahrens und dessen Anwendung im ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power