

SMWK-Vorlauförderung

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

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Kretzschmar

Mitarbeiter: M. Kunick

Laufzeit: 2016 – 2018

Fakultät Maschinenwesen

Aufgabenstellung

In drei SMWK-Projekten im Zeitraum 2011-2017 wurde das Spline-basierte Stoffwert-Berechnungsverfahren (SBTL) zur schnellen und genauen Berechnung thermophysikalischer Stoffeigenschaften in aufwändigen Prozesssimulationen entwickelt, als international verbindliche Richtlinie der International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS) veröffentlicht und in verschiedene Programme zur Prozesssimulation integriert. Damit wurde es erstmals möglich, die realen Stoffeigenschaften in besonders aufwändigen Prozessberechnungen, wie beispielsweise numerischen Strömungssimulationen, zu berücksichtigen. Im Rahmen dieses Projektes soll das SBTL-Verfahren auf die Berechnung von Stoffgemischen übertragen werden (siehe Arbeitsplan).

SBTL-Verfahren für fluide Stoffgemische

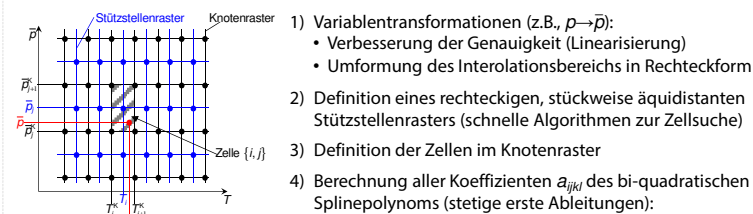
Berechnungsansatz:

Berechnung als ideale Mischung realer Fluide unter Berücksichtigung der Erhöhung des Sättigungspartialdrucks des Wasserdampfes und der Dissoziation der Gemisch-Komponenten

Beispiel: $h^*(p^*, T, \vec{\xi})$ für feuchte Verbrennungsgasgemische

$$\text{Partialdrücke: } p_i = p^* \cdot \frac{R_i}{R} \cdot \xi_i \quad \text{Enthalpie des Gemisches: } h^*(p^*, T, \vec{\xi}) = \sum_{i=1}^N \xi_i \cdot h_i(p_i, T) + \Delta h_{\text{Diss}}(p^*, T, \vec{\xi})$$

SBTL Stoffwertfunktionen für die Gemisch-Komponenten: z. B.: $h(p, T)$ für trockene Luft, Wasserdampf, CO₂, SO₂ ...



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

SBTL-Funktionen von (p, T) im Vergleich zur Berechnung aus den Fundamentalgleichungen der einzelnen Gemisch-Komponenten:

- bis zu 1000-mal schneller
- Abweichungen kleiner 1-10 ppm

Explizite SBTL Stoffwertfunktion für den Sättigungspartialdruck von Wasserdampf:

Gleichgewichtsbedingung: $g^{\text{vap}}(p_{\text{H}_2\text{O}}(T), T) - g^{\text{liq}}(p_{\text{H}_2\text{O}}(T), T) = g^{\text{vap}}(p_{\text{H}_2\text{O, sat}}(T), T) - g^{\text{liq}}(p^*, T)$

Zeitaufwändige Iteration durch explizite SBTL-Funktion

$p_{\text{H}_2\text{O, sat}}(p, T)$ ersetzen:

- mehr 10-mal schneller
- Abweichungen kleiner 1-10 ppm

Arbeitsplan und aktueller Arbeitsstand

- | | | |
|-----------------|---|---|
| 01.2016-12.2016 | Erarbeitung von Stoffwert-Algorithmen und der zugehörigen Software auf der Grundlage des SBTL-Verfahrens für feuchte Luft | ✓ |
| 01.2017-12.2017 | Erarbeitung von Stoffwert-Algorithmen und der zugehörigen Software auf der Grundlage des SBTL-Verfahrens für feuchte Verbrennungsgasgemische | ⌚ |
| 01.2018-10.2018 | Gemeinsame Implementierung der Stoffwert-Berechnungsprogramme für fluide Stoffgemische in die Prozessberechnungsprogramme der Industriepartnern und Tests | ⌚ |

- Projekt des Deutschen Zentrum für Luft- u. Raumfahrt (DLR), Köln:
Simulation von Gasturbinen mit Wassereinspritzung in den Verdichter bzw. in die Brennkammer.
- Projekt des Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen:
Simulation von Energiespeichern mit Druckluft.

Ausblick

- Weitere Projektbearbeitung nach Arbeitsplan
- Publikation des Verfahrens und dessen Anwendung in gemeinsamen Veröffentlichungen mit den Projektpartnern