

Schnelle Stoffwertberechnung mit Spline-Interpolation für numerische Strömungssimulationen und die Berechnung instationärer Prozesse

Matthias Kunick^{a,1}, Hans-Joachim Kretschmar^a,
Francesca di Mare^b, Uwe Gampe^c

^a *Fachgebiet Technische Thermodynamik, Hochschule Zittau/Görlitz,
Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau.*

^b *Institut für Antriebstechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Linder Höhe, 51147 Köln.*

^c *Institut für Energietechnik, Professur für Thermische Energiemaschinen und -anlagen,
Technische Universität Dresden, 01062 Dresden.*

¹ *Tel: 03583 61 1817, Fax: 03583 61 1846, E-Mail: MKunick@hszg.de*

Konventionelle Kraftwerke müssen viel häufiger in ihrer Leistung geregelt werden, da die Energiegewinnung mit Wind- und Solaranlagen starken zeitlichen Schwankungen unterliegt. Die so notwendig gewordene instationäre Prozessführung ist schon in der Auslegung neuer energietechnischer Anlagen zu berücksichtigen. Außerdem kommen zur Optimierung von Anlagenkomponenten immer häufiger numerische Strömungssimulationen (CFD) zum Einsatz. Diese extrem aufwändigen Prozessberechnungen erfordern sehr genaue und besonders schnelle Stoffwertberechnung zur Ermittlung der Zustandsgrößen in Abhängigkeit von innerer Energie und Dichte (u, ρ) und von Enthalpie und Druck (h, p). Zusätzlich werden numerisch konsistente Umkehrfunktionen, beispielsweise $u(p, \rho)$, benötigt.

Um diesen Anforderungen zu entsprechen, wurde ein Spline-basiertes Stoffwertberechnungsverfahren entwickelt. Das Verfahren und dessen praktische Anwendung werden vorgestellt.

Das Verfahren beinhaltet die Generierung eines optimierten Datenrasters zur Interpolation von Stoffwerten als den wichtigsten Schritt zur Anwendung der Spline-Interpolation. Für den vorgegebenen Gültigkeitsbereich und die geforderte Genauigkeit wird die Anzahl der Stützstellen minimiert. Erreicht wird dies durch eine geeignete Transformation der Variablen. Mit dem verwendeten bi-quadratischen Interpolationsansatz wird die Stetigkeit der Stoffwertfunktion und ihren ersten Ableitungen gewährleistet. Eine besondere Eigenschaft des entwickelten Verfahrens ist, dass Umkehrfunktionen mit vollständiger numerischer Konsistenz berechnet werden.

Die Anwendbarkeit und der Nutzen des Verfahrens für numerische Strömungssimulationen wurden in einem gemeinsamen Projekt mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR Köln, anhand der CFD-Software TRACE nachgewiesen. Hierzu wurden die benötigten Zustandsfunktionen der Industrie-Formulation IAPWS-IF97 für Wasser und Wasserdampf mit einer Genauigkeit von 10 ppm durch Spline-Funktionen nachgebildet. Bei der Strömungssimulation von Dampfturbinenstufen mit TRACE konnte im Vergleich zur Anwendung der IAPWS-IF97 die Rechenzeit um Faktoren größer als 10 reduziert werden. Bemerkenswert ist, dass gegenüber der sonst üblichen Berechnung mit dem Modell des idealen Gases sich die Rechenzeit lediglich um den Faktor 1,4 erhöht, obwohl die Genauigkeit der IAPWS-IF97 realisiert wird.

Zur praktischen Anwendung des Verfahrens für verschiedene Stoffe wurde die Software FluidSplines entwickelt. Mit ihr können für ein vorgegebenes Arbeitsfluid im benötigten Zustandsbereich Spline-Funktionen für die geforderte Genauigkeit generiert werden.

Für das vorgestellte Verfahren wurde eine Guideline der International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS) erarbeitet, die nach Evaluation zum internationalen Standard für die Berechnung der Eigenschaften von Wasserdampf in CFD erhoben werden soll.