

Berechnung der thermophysikalischen Eigenschaften von feuchter Luft bis zu Drücken von 1000 bar

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Joachim Kretzschmar VDI, Zittau

Dr.-Ing. Ines Stöcker VDI, Zittau

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Seibt, Rostock

Kurzfassung

Fortgeschrittene Speichersysteme mit Luft werden für extrem hohe Drücke konzipiert. Auf Grund der gleichzeitig vorliegenden niedrigen Temperaturen kann die enthaltene feuchte Luft nicht mehr als ideales Gasgemisch mit der gültigen VDI-Richtlinie 4670 berechnet werden.

Eine erheblich höhere Genauigkeit wird mit der Berechnung der feuchten Luft als ideale Mischung der realen Fluide trockene Luft und Wasserdampf bzw. Wasser erreicht. Dabei erfolgt die Berechnung der trockenen Luft nach dem NIST-Standard /1/ von Lemmon et al. Der Wasserdampf und das flüssige Wasser in der feuchten Luft werden mit dem internationalen Industrie-Standard IAPWS-IF97 /2/ berechnet. Die Berechnung des Eises in der Luft erfolgt nach dem NIST-Standard /3/ von Wexler.

In diesem Zusammenhang wird ein Vergleich der Berechnung von Luft als ideale Mischung realer Fluide mit der Berechnung als ideales Gasgemisch nach der neuen VDI-Richtlinie 4670 vorgenommen. Es werden Grenzen aufgezeigt, ab welchen Parametern die Luft nicht mehr als ideales Gasgemisch berechenbar ist.

Vorge stellt wird die Programmbibliothek LibHuAir zur Ermittlung der thermodynamischen Zustandsgrößen einschl. Umkehrfunktionen und Transporteigenschaften von feuchter Luft als ideale Mischung realer Fluide. Berücksichtigt werden die Erhöhung des Sättigungsdruckes von Wasser in Luftatmosphäre unter Druck (Poynting-Effekt) sowie die Dissoziation bei hohen Temperaturen nach VDI-Richtlinie 4670. Die Anwendbarkeit erstreckt sich bis zu Drücken von 1000 bar und Temperaturen von 1700 °C. Folgende thermodynamische Zustandsgrößen und Transporteigenschaften sind berechenbar:

- Dichte und spezifisches Volumen
- Enthalpie und innere Energie
- isobare und isochore Wärmekapazität
- Entropie
- Isentropenexponent und Schallgeschwindigkeit
- Wärmeleitfähigkeit
- dynamische und kinematische Zähigkeit .

Zusätzlich können die in Prozessmodellierungen benötigten Umkehrfunktionen aus den gegebenen Variablen Druck und Enthalpie, Druck und Entropie, Temperatur und Entropie sowie Enthalpie und Entropie berechnet werden.

Die entwickelte Stoffwert-Programmbibliothek LibHuAir kann für die Berechnung von Bauteilen und Anlagen mit feuchter Luft unter hohem Druck, wie Kompressoren, Entspannungsturbinen, Druckluftspeicher, Wärmeübertrager etc., verwendet werden.

Zur komfortablen Nutzung der Bibliothek in Excel[®] wird das Add-In FluidEXL angeboten. Für Mathcad[®] steht das Koppelprogramm FluidMAT bereit. Die zugehörige Dynamic Link Library kann außerdem von Anwenderprogrammen unter Windows[®] aufgerufen werden.

Des Weiteren ist die Darstellung von großformatigen h,x -Diagrammen für gewünschte Gesamtdrücke in Publikationsqualität möglich.

Detaillierte Informationen sind dem Internet unter <http://thermodynamik.hs-zigr.de> entnehmbar.

Die Langfassung des Beitrags enthält die Publikation

Kretzschmar, H.-J.; Stöcker, I.; Hellriegel, T.; Kleemann, L.; Seibt, D.:

"Berechnung der thermophysikalischen Eigenschaften von trockener und feuchter Luft unter Druck"

in den VDI-Berichten Nr. 1681 (2002), S. 259-263.

/1/ Lemmon, E. W.; Jacobsen, R. T.; Penoncello, S. G.; Friend, D. G.:

Thermodynamic Properties of Air and Mixtures of Nitrogen, Argon and Oxygen from 60 to 2000 K at Pressures to 2000 MPa.

J. Phys. Chem. Ref. Data 29 (2000) Nr. 2, S. 331-385

/2/ Wagner, W.; Cooper, J.R.; Dittmann, A.; Kijima, J.; Kretzschmar, H.-J.; Kruse, A.; Mares, R.; Oguchi, K.; Sato, H.; Sifner, Stöcker, I.; O.; Takaishi, Y.; Tanishita, I.; Trübenbach, J.; Willkommen, Th.:

The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam.

Journal of Eng. for Gas Turbines and Power 122 (2000) Nr. 1, S. 150-182

/3/ Hyland, R. W.; Wexler, A.:

Formulations for the Thermodynamic Properties of Saturated Phases of H₂O from 173.15 K to 473.15 K.

Report No. 2793 (RP-216), National Bureau of Standards, Washington D.C. (1983)