

Hochschule Zittau/Görlitz (FH)
Fachgebiet Technische Thermodynamik
<http://thermodynamik.hs-zigr.de>

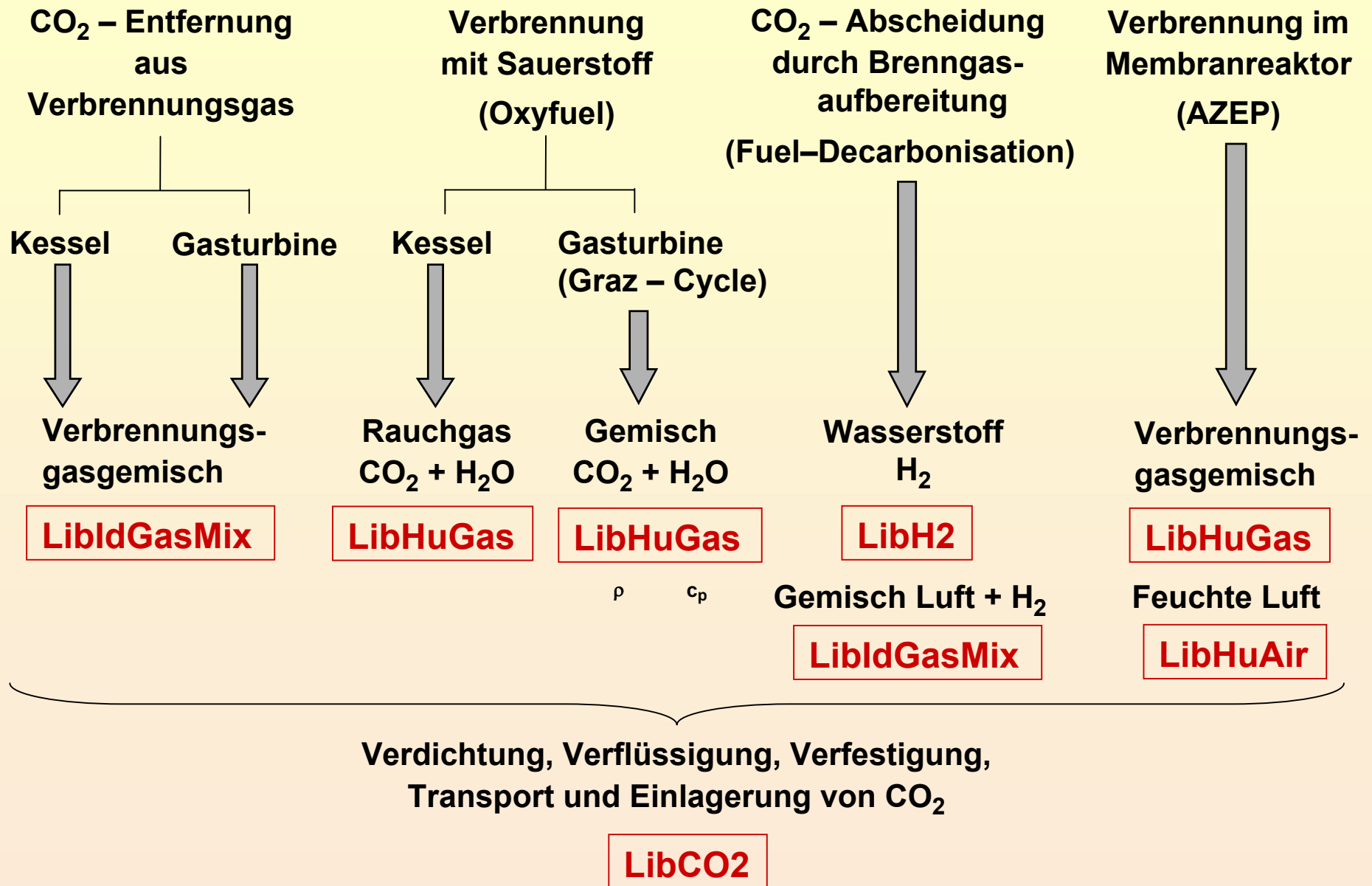
H.-J. Kretzschmar, I. Stöcker, I. Jähne, M. Kunick

Stoffwertberechnung für Arbeitsfluide in CO₂ – freien Energieumwandlungsprozessen

Inhalt:

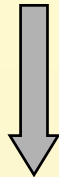
- ▶ **CO₂ –freie Energieumwandlungsprozesse**
- ▶ **Energiespeicherung und Wasserstoffwirtschaft**
- ▶ **Kältetechnik und Wärmepumpen**
- ▶ **Energieumwandlungsprozesse mit Stoffgemischen**
- ▶ **Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren**
- ▶ **Aktuelle Entwicklungen in Wasserdampfforschung**

Energieumwandlungsverfahren mit CO₂ - Rückhaltung



Energiespeicherung und Wasserstoffwirtschaft

**Druckluftspeicher
(EU – Projekt AA-CAES)**



**Feuchte Luft
unter Druck**

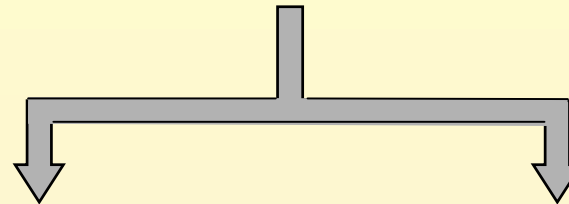
LibHuAir

ρ c_p

**Berechnung als ideale
Mischung der realen Fluide**

- trockene Luft nach Lemmon et al. (2000)
- Wasserdampf und Wasser nach IAPWS-IF97

**Wasserstoffspeicher und
Wasserstoffwirtschaft**



**Wasserstoff
unter Druck**

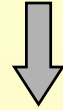
LibH2

ρ c_p

**Berechnung mit genauester
Zustandsgleichung von
Younglove (1982)**

**Flüssiger
Wasserstoff**

Kältetechnik und Wärmepumpen

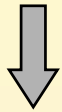


Aktuelle Kältemittel

Kältemittel	Bibliothek	Berechnung
Ammoniak	LibNH3	Tillner-Roth et al. (1993)
R134a	LibR134a	Tillner-Roth und Beahr (1994)
Propan	LibPropan	Bücker et al. (2004)
Iso-Butan	LibButan_Iso	Bücker et al. (2004)
n-Butan	LibButan_n	Bücker et al. (2004)
Kohlendioxid	LibCO2	Span und Wagner (1996)

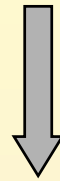
Energieumwandlungsprozesse mit Stoffgemischen

Dampfturbinenkraftwerk
mit Gemisch $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
(Kalina – Prozess)



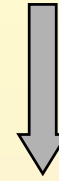
Gemisch
 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Absorptions-
kältemaschinen



Gemische
 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr}$

Absorptions-
wärmepumpen



Gemische
 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr}$

Bibliotheken

LibAmWa für $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ nach Tillner-Roth und Friend (1998)

LibWaLi für $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr}$ nach Kim und Infantre Ferreira (2004)

Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren



**Kühlmittel
Helium**

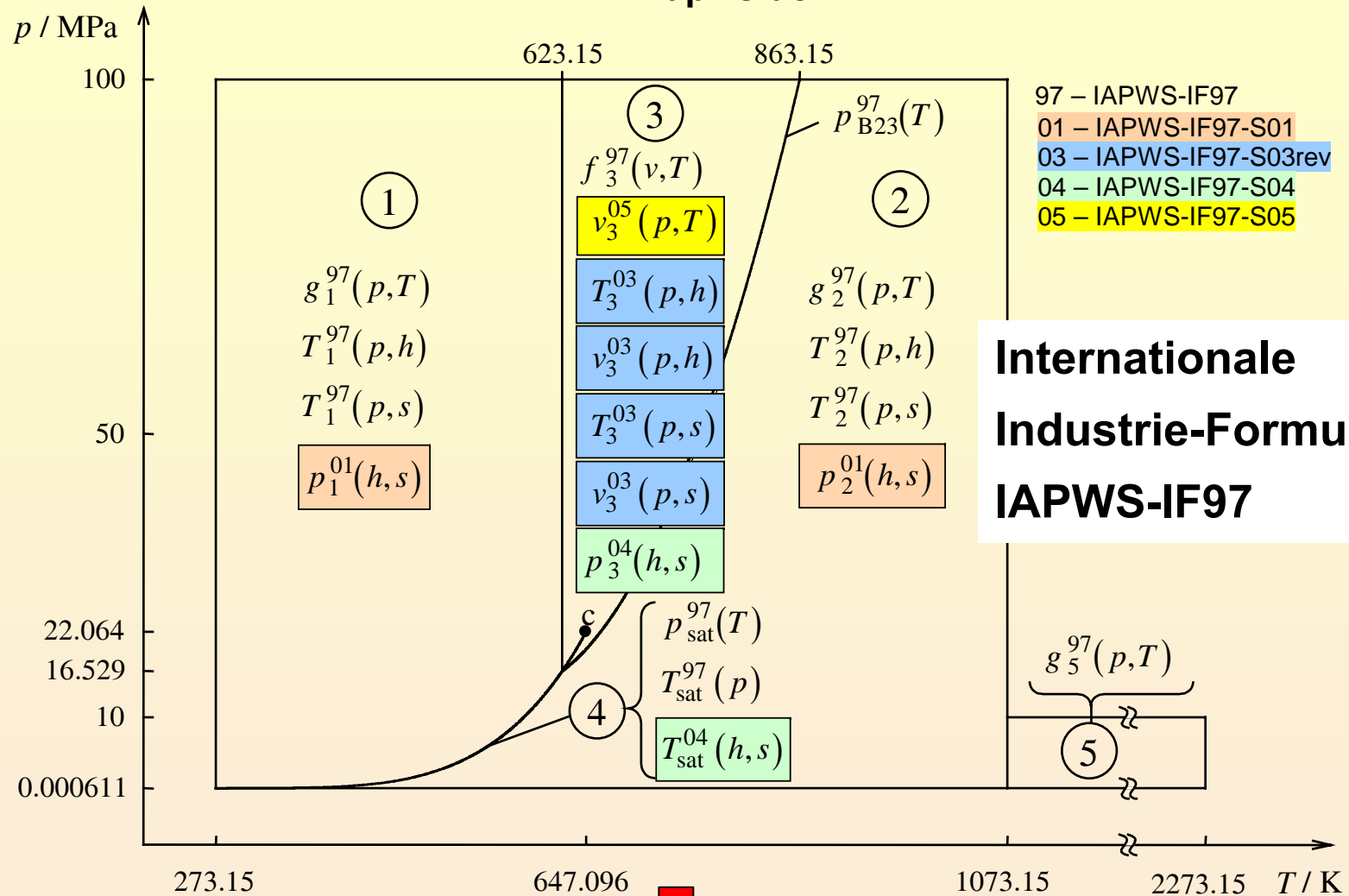
Bibliothek

LibHe

**Berechnung mit genauester Zustandsgleichung
von McCarty (1990)**

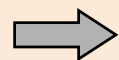
Aktuelle Entwicklungen in der Wasserdampfforschung

www.iapws.de



**Internationale
Industrie-Formulation
IAPWS-IF97**

Alle Eigenschaften als Funktion von (p, T) , (p, h) , (p, s) , (h, s) ohne Iterationen berechenbar !



Bibliothek

LibIF97rev

Rechenzeitvergleich

Computing Time Ratio (CTR)

$$CTR = \frac{\text{Rechenzeit für Iteration der Fundamentalgleichung}}{\text{Rechenzeit der Rückwärtsgleichungen}}$$

Bereich	CTR			
	Funktionale Abhängigkeit			
	(p,h)	(p,s)	(h,s)	(p,T)
① Flüssigkeit	25	38	35	-
② Überhitzter Dampf	11	14	46	-
③ Kritischer Bereich	14	14	10	17
④ Nassdampf	-	-	77	-



Prozessberechnung 2... 3 mal schneller

Weitere Aktivitäten der IAPWS

- **neue Formulierung für dynamische Viskosität**
→ Annahme 2006
- **Formulierung für Eis**
→ Annahme 2006
- **Entwicklung einer neuen Formulierung für Meerwasser gemeinsam mit IAPSO**
- **Neue Wasserdampf tabel "International Steam Tables" mit allen Rückwärtsgleichungen in Vorbereitung**

Informationen: www.iapws.de

Zusammenfassung

Stoffwert-Bibliotheken in Epsilon

Wasserdampf	LibIF97
Ideale Verbrennungsgasgemische	LibIDGAS
Reale Verbrennungsgasgemische	LibHuGas
Kohlendioxid	LibCO2
Ammoniak	LibNH3

Weitere Stoffwert-Bibliotheken

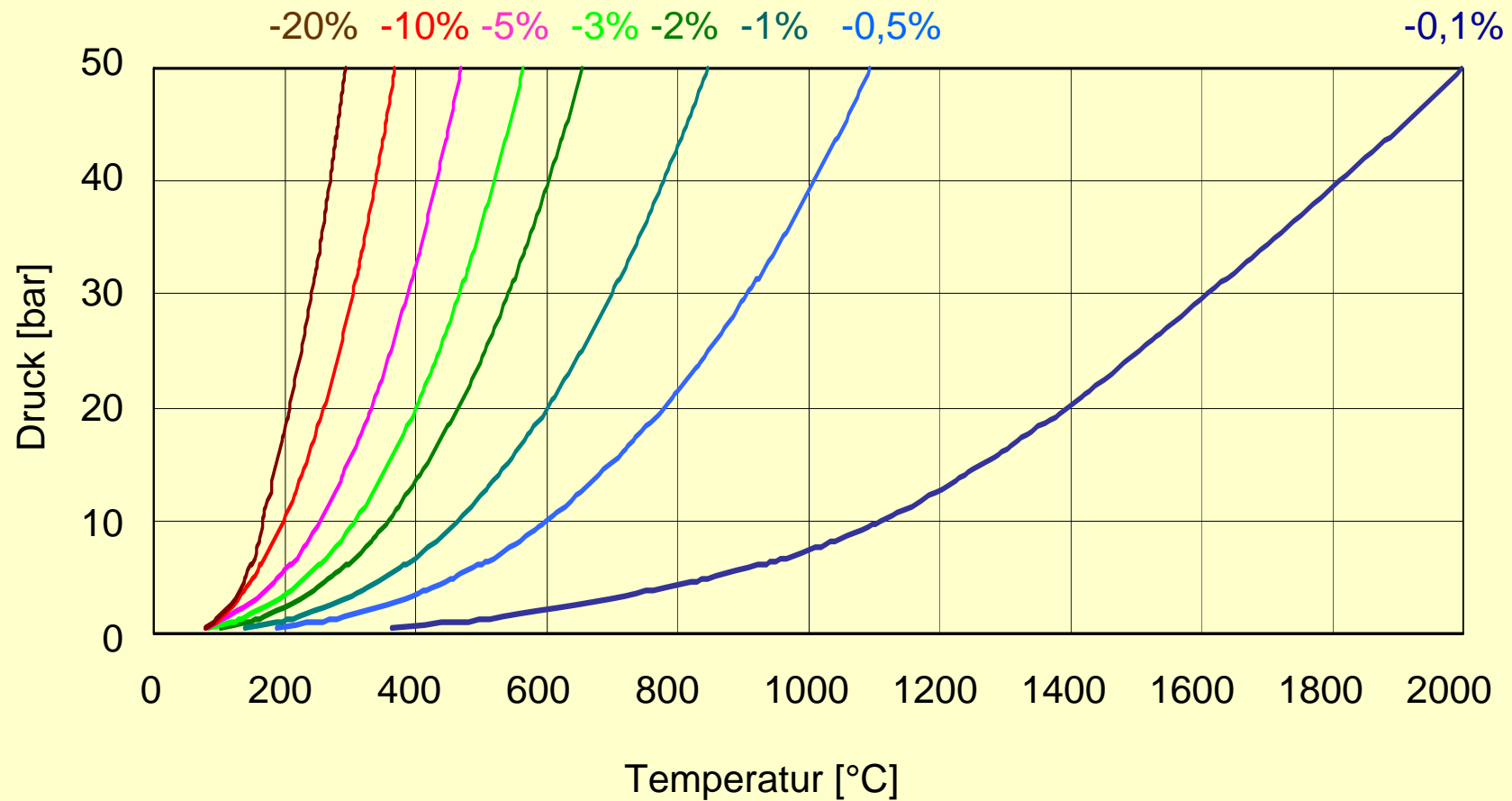
Wasserdampf mit ergänzenden Standards	LibIF97rev
Feuchte reale Luft	LibHuAir
Wasserstoff	LibH2
Helium	LibHe
R134a	LibR134a
Propan	LibPropan
Iso-Butan	LibButan_Iso
n-Butan	LibButan_n
NH3 + H2O	LibAmWa
H2O + LiBr	LibWaLi

<http://thermodynamik.hs-zigr.de>

Realgasverhalten eines Gemisches aus 50 % Wasserdampf und 50 % CO₂

Isobare Wärmekapazität

$$(c_p^{ig} - c_p) / c_p$$

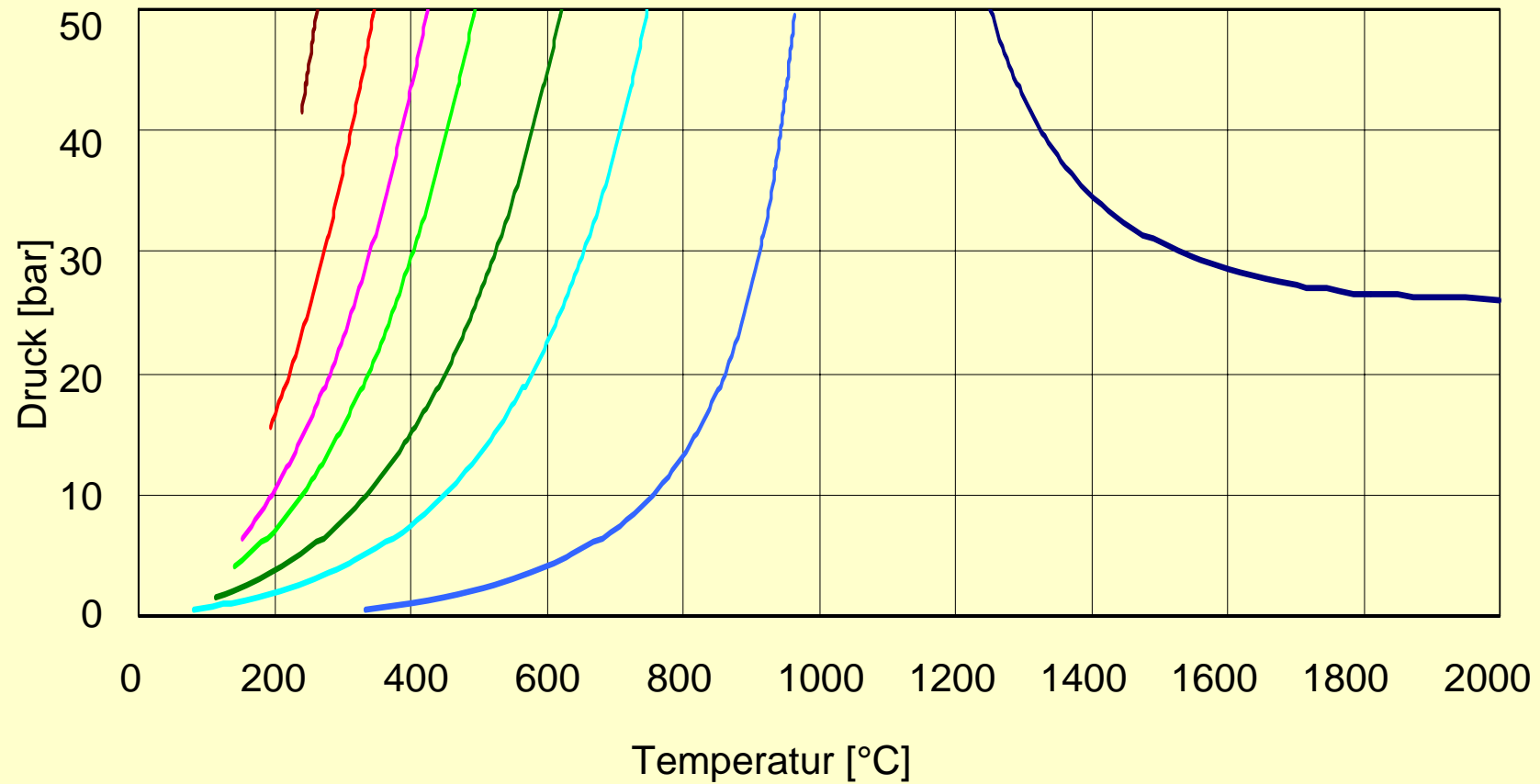


Realgasverhalten eines Gemisches aus 50 % Wasserdampf und 50 % CO₂

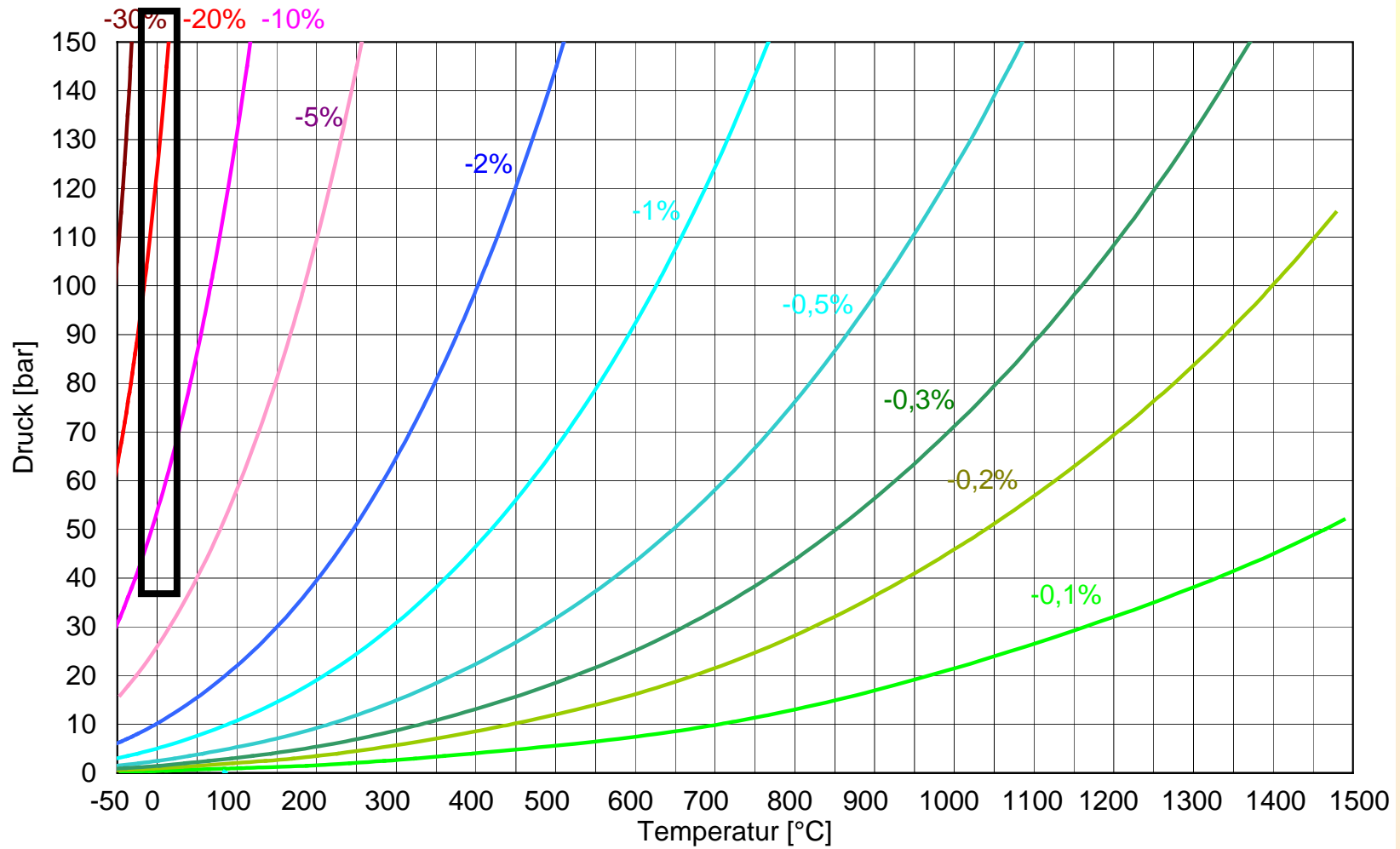
Dichte

$$(\rho^{ig} - \rho) / \rho$$

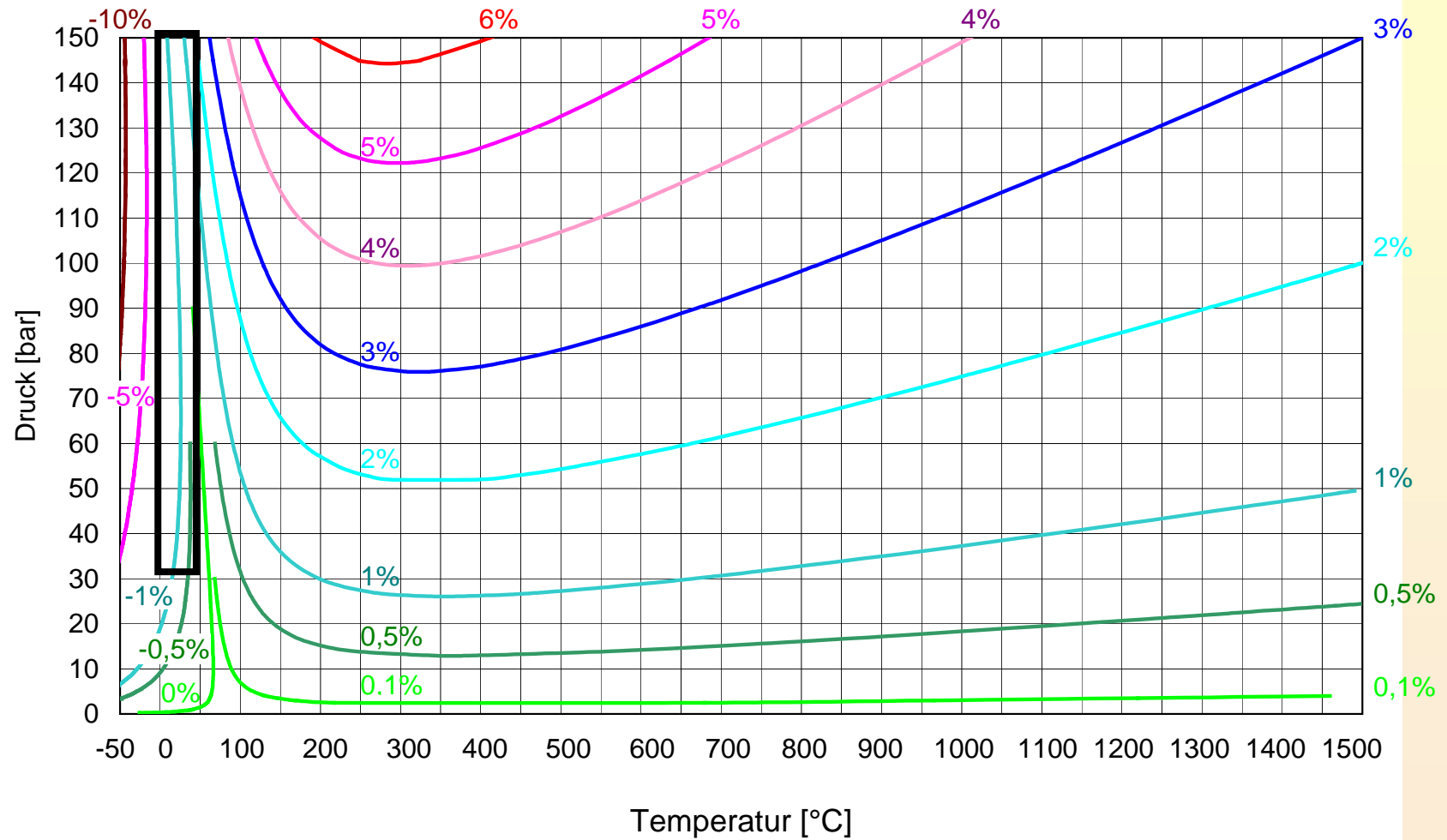
-10% -5% -3% -2% -1% -0,5% -0,1% 0,1%



Einfluß des Realgasverhaltens auf die isobare Wärmekapazität c_p von Luft



Einfluß des Realgasverhaltens auf die Dichte ρ von Luft



Einfluss des Realgasverhaltens auf die isobare Wärmekapazität c_p von Wasserstoff

$$(c_p^{\text{ig}} - c_p) / c_p$$

