

Berechnungsprogramm für **Feuchte Luft** und andere Gas-Dampf-Gemische

© Prof. Dr.-Ing. Thomas Maurer 2011

1 Wichtige Hinweise

Der Urheberschutz betrifft das Berechnungsprogramm in seiner Gesamtheit und seine einzelnen Bestandteile sowie das vorliegende Handbuch.

Bitte die Angaben zur Lizenzierung, Gewährleistung, Haftung beachten.

Da das vorliegende Berechnungsprogramm die Microsoft Excel[®] Umgebung nutzt, ist trotz Überprüfung nicht auszuschließen, dass das Berechnungsprogramm Viren, Trojaner, Malware und andere unerwünschte Bestandteile enthält.

Das Berechnungsprogramm wird fortwährend weiterentwickelt, sodass Beschreibungen des Berechnungsprogramms im Handbuch evtl. unzutreffend sind.

2 Beschreibung des Berechnungsprogramms

2.1 Allgemeine Hinweise

Dieses Programm soll eine universell nutzbare Basis zur Berechnung der Zustände bzw. Zustandsänderungen von feuchter Luft oder anderer Gas-Dampf-Gemische bieten. Entsprechend sind die berechenbare Temperatur-, Druck- und Wasserbeladungs-Bereiche groß gewählt.

Für die Stoffdaten werden aus verschiedenen Quellen gebräuchliche Zahlenwerte bzw. Berechnungsgleichungen zur Verfügung gestellt. Somit können Vergleiche von Berechnungsergebnissen mit unterschiedlichen Stoffwerten bzw. auch mit den Ergebnissen von anderen Arbeiten vorgenommen werden. In der Excel-Tabelle „Stoffdaten“ hat der Nutzer auch die Möglichkeit, eigene Berechnungsparameter

einzusetzen. Wünscht der Nutzer andere bzw. weitere Berechnungsgleichungen für Stoffwerte bzw. die Ermittlung von Koeffizienten, wird er gebeten, dies dem Urheber mitzuteilen.

Anwendungsmöglichkeiten des Programms sind technische Berechnungen, z.B. zur Auslegung von lufttechnischen Anlagen aller Art (Klimaanlagen, Trocknungsanlagen etc.) sowie für meteorologische Berechnungen.

Das Programm ist gegenwärtig nicht zur Berechnung von Zuständen mit unterkühltem Wasser (Wasser ist im unterkühlten Zustand flüssig unterhalb des kritischen Punktes von 0,01 °C) vorgesehen.

Es sei darauf hingewiesen, dass im Bedarfsfall der Programmumfang seitens des Lizenzgebers beschränkt werden kann, so dass z.B. nur unter Verwendung einer Bestimmungsgleichung für den Dampfdruck des Wassers gerechnet werden kann. Dies kann für eine normgerechte bzw. vertraglich vereinbarte Berechnungsbasis (z.B. für Klimaanlagen) zweckmäßig sein.

Das Programm besteht ausschließlich aus „Makros“ die in VBA programmiert sind. Die Datenein- und -ausgaben erfolgen ausschließlich in Excel. Damit ist eine bestmögliche Nutzung einschließlich der generierten Diagramme in Microsoft Office Anwendungen sichergestellt.

Die Darstellungsmöglichkeiten der Excel-Diagramme sind hinsichtlich der Gestaltungsmöglichkeiten, der maximalen Anzahl von darstellbaren Wertereihen (256) etc. eingeschränkt. Dennoch wurde Wert darauf gelegt, dass die Diagramme professionell gestaltet wirken und auf einfachem Weg vom Nutzer auch individuell gestaltet werden können. Der Urheber ist für Verbesserungsvorschläge und Anregungen bezüglich der Gestaltung, des Stoffdatenumfangs, der Berechnungsmöglichkeiten und der Bedienung dankbar.

Dem Wunsch von Nutzern, dieses Programm eigenen Kunden zur Durchführung von Berechnungen zu Verfügung zu stellen, evtl. mit Firmenhinweisen versehen, spezieller Gestaltung, speziellem Parameterbereich und evtl. auch einschließlich einer Vorauswahl von Produkten/Systemen, kann entsprochen werden.

2.2 Konzept

Der Nutzer hat bei seinen Berechnungen die Möglichkeit, aus unterschiedlichen Stoffdatenquellen zur Bestimmung der Zustandsgrößen auszuwählen. Er kann auch selbst diese Datenbasis erweitern und beispielsweise Koeffizienten für Dampfdruckkurven und Approximationsgleichungen vorgeben.

Damit kann beispielsweise in einfacher Weise überprüft werden, ob und in welchem Ausmaß sich unterschiedliche Datenquellen auf die Bestimmung der Zustandsgrößen auswirken. Nützlich ist dies beispielsweise, wenn unterschiedliche Ansichten bezüglich der Leistungsfähigkeit eines lufttechnischen Systems bestehen, die aufgeklärt werden sollen.

Auf den ersten Blick mag die Vielzahl der im Programm enthaltenen Wahlmöglichkeiten verwirren, jedoch wird der Nutzer schnell feststellen, dass für seine Problemstellung i.a.R. nur wenige Einstellungen einmalig festzulegen sind und viele der Optionen nicht benötigt werden.

Das Programm wurde für einen weiten Druckbereich bis etwa 1000 bar und einen weiten Temperaturbereich von etwa -100 °C bis 1000 °C formuliert. Auch die Wasserbeladung kann große Werte annehmen. Das Realgasverhalten kann für die Bestimmung der Dichte berücksichtigt werden. Anzumerken ist aber, dass eine Garantie für die problemlose Berechnung gegenwärtig (Stand 2009) aufgrund der Vielzahl an notwendigen Pogrammläufen nicht gegeben werden kann.

Außer der Bestimmung von feuchter Luft kann der Nutzer selbst die Eigenschaften des kondensierbaren Stoffes (= Wasser bei feuchter Luft) und des neutralen Gases (= trockene Luft bei dem Stoffgemisch feuchte Luft), also allgemein des Gas-Dampf-Gemisches, wählen. Dies ist z.B. bei der Betrachtung von befeuchtetem Wasserstoff bei Brennstoffzellen, von Lösungsmitteldämpfen in Trägergasen etc. nutzbar. Auch hier muss darauf hingewiesen werden, dass gegenwärtig keine Garantie für die problemlose Berechnung solcher Gemische gegeben werden kann (Stand 2009), da hierzu Rückmeldungen von der großen Vielfalt der möglichen Anwendungen erforderlich ist.

Das Programm nutzt ausschließlich die Excel-Umgebung. Damit ist der Einarbeitungsaufwand in das Programm sehr gering. Die ermittelten Daten können in bekannter Weise einfach weiterverarbeitet werden. Die erhaltenen Diagramme können beliebig nach eigenen Vorstellungen (um-)gestaltet und weiter ergänzt werden. Auf die in Windows so beliebte „Fenstertechnik“ wurde bewusst verzichtet. Es gibt nur zwei Tabellenblätter, eines, das Blatt „Tabelle1“, für die Berechnungen und die Darstellung des Diagramms. Auf diesem Blatt werden auch die Optionen zur Darstellung und die Darstellungseigenschaften in einer Tabelle festgelegt. Das Tabellenblatt „Stoffdaten“ beinhaltet die Auswahl und Festlegung der Stoffeigenschaft. Dies geschieht in einfachster Weise über Eintragen von Auswahl-Nummern in die entsprechenden Auswahlzellen. Ein zeitaufwendiges und unübersichtliches „Klicken“ durch Optionsfelder ist nicht notwendig, auch kein Setzen von „Häkchen“.

2.3 Berechnungs- und Darstellungsmöglichkeiten

Das Berechnungsprogramm kann

1. zur Berechnung von Zustandspunkten und
2. zur Darstellung von h,x-Diagrammen

verwendet werden. Im h,x-Diagramme können einzelne Zustandspunkte sowie z.B. ein Behaglichkeitsgebiet mit dargestellt werden.

Bei dem Stoffgemisch feuchte Luft¹⁾ ist ein einzelner Zustandspunkt bei gegebenem Druck von zwei unabhängigen Zustandsgrößen a und b abhängig. Die Eingabemöglichkeiten sind:

Auswahlkombination Nr.	Zustandsgröße a (Nr. 2 im Programm)	Zustandsgröße b (Nr. 3 im Programm)
1	Lufttemperatur	relative Feuchte
2	Lufttemperatur	absolute Feuchte
3	Lufttemperatur	Taupunkttemperatur
4	Lufttemperatur	Feuchtkugeltemperatur
5	Lufttemperatur	Wasserbeladung
6	Lufttemperatur	spezifische Enthalpie
7	Wasserbeladung	spezifische Enthalpie

Die Ergebnisgrößen sind:

- Luftdruck
- Lufttemperatur
- relative Feuchte
- absolute Feuchte
- Taupunkttemperatur
- Feuchtkugeltemperatur
- Wasserbeladung
- Sättigungswasserbeladung
- Sättigungsdampfdruck
- Dichte (feuchte) Luft
- Masse trockene Luft / Gesamtvolumen
- spezifische Enthalpie

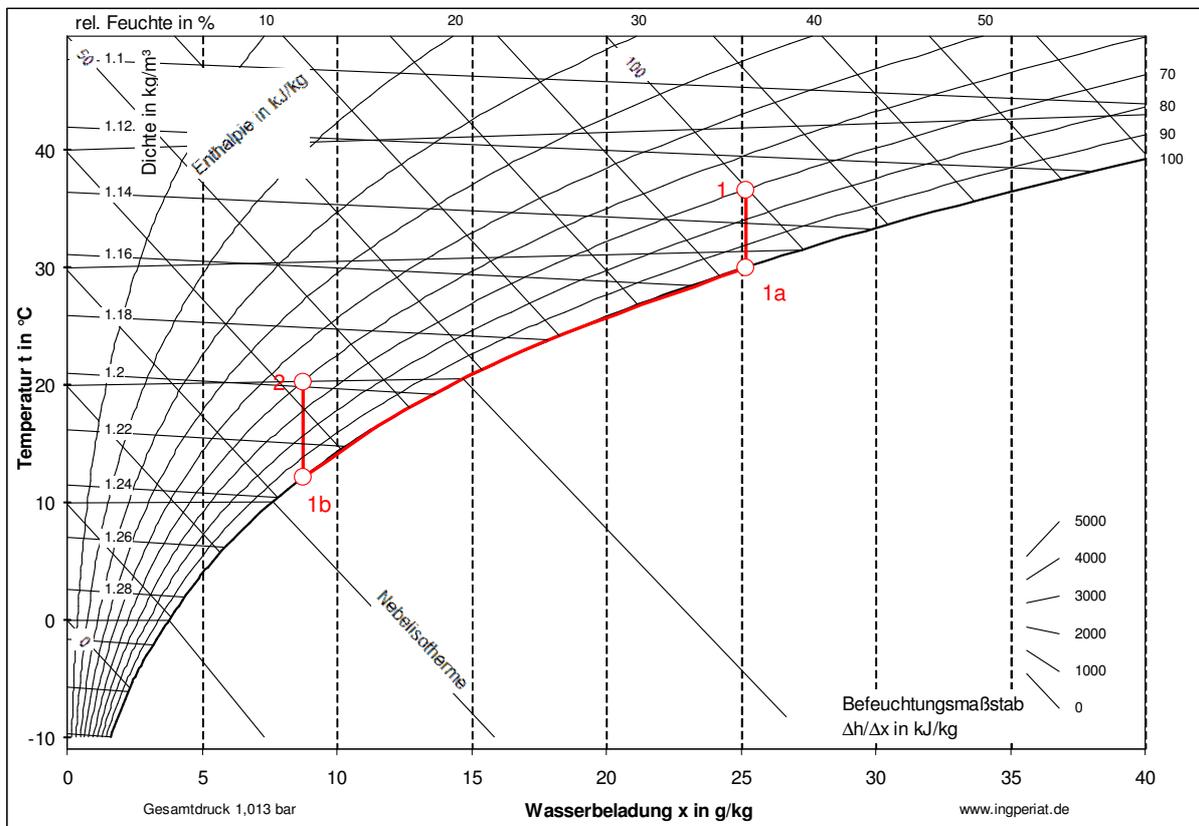
Das h,x-Diagramm ist in bekannter Weise dargestellt und kann im Quer- oder Hochformat angezeigt werden. Das Diagramm enthält als Darstellungsoptionen: Isothermen, Nebelisothermen, Isenthalpen, Isohumiden, Isopyknen, Befeuchtungsmaßstab, Zustandspunkte und Behaglichkeitsbereich.

¹ Allgemein können mit diesem Berechnungsprogramm die Zustandsgrößen eines beliebigen Gasgemisches bestehend aus neutralem Gas und kondensierbarem Stoff berechnet und dargestellt werden. Nachfolgend wird nur aus Gründen der Übersichtlichkeit nur auf Feuchte Luft eingegangen.

Die im Diagramm darzustellenden Zustandspunkte sind vom Nutzer in eine Tabelle einzutragen. Die Darstellungsart und Bezeichnung der Punkte sowie die Art der optionalen Verbindungslinien können festgelegt werden.

Die einzelnen Darstellungsoptionen sind übersichtlich in einer Tabelle zusammengestellt. Die einzelnen Optionen sind mit Nummern versehen, die vom Nutzer in die Tabelle der Diagrammoptionen eingetragen werden können.

Die Zustandspunkte des Behaglichkeitsgebietes nach DIN 1946-2 sind bereits in eine Tabelle eingetragen. Die einzelnen Zustände können vom Nutzer abgeändert werden:



2.3 Festlegung der Stoffdaten

Das Tabellenblatt „Stoffdaten“ bietet viele Wahlmöglichkeiten für die Bestimmung der Stoffeigenschaften. In der folgenden Tabelle ist eine Übersicht dargestellt. Im Berechnungsprogramm sind dazu auch Kommentare bzgl. des Anwendungsbereichs angegeben. Neben den üblichen Koeffizienten für die Berechnungsgleichungen besteht für den Nutzer die Möglichkeit, auch andere Koeffizienten einzusetzen.

Zu beachten ist, dass bei dem neutralen Gas während der Berechnung keine Prüfung erfolgt, ob dieser Stoff evtl. selbst kondensiert. (Im Bedarfsfall können hier Programmergänzungen zur Verfügung gestellt werden.)

Zur Berechnung der spezifischen Wärmekapazitäten können sowohl Koeffizienten für die mittleren als für die wahren Werte eingetragen werden. Das Berechnungsprogramm enthält eine Integrationsroutine zur Berechnung der mittleren Werte (die zur Bestimmung der Enthalpie erforderlich sind), falls wahre Werte ausgewählt werden.