



Feuchte Luft Genauigkeit

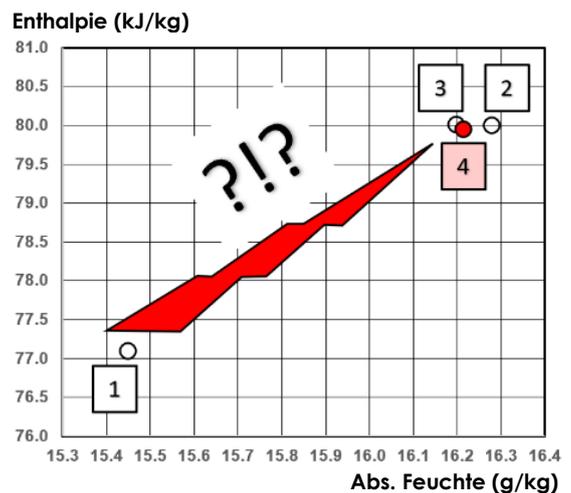
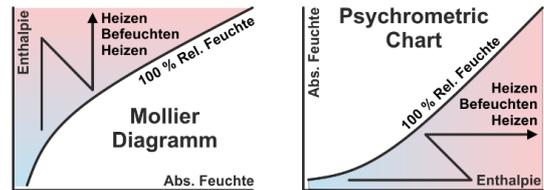
Es gibt kostenlose Software, wobei man vielfach feststellen muss, dass wenn etwas nichts kostet, dies auch nicht viel Wert ist. Es gibt Software, welche nur die Hälfte kostet, wobei man sagen muss, dass diese vielleicht auch nur die Hälfte der Möglichkeiten bietet. Es gibt unsere Software, welche momentan von mehr als 8'200 Ingenieuren weltweit eingesetzt wird.

Unter www.unilab.eu ist zu lesen: **Wir bieten seit über 30 Jahren hochwertige Wärmeübertragungssoftware. Wir sind das einzige Softwarehaus mit einer hauseigenen Abteilung für Wärmetechnik.** Doch ich entwickle schon seit 1987 neutrale Software für denselben Markt beschäftige mich seit 1970 ausschliesslich mit der Thermodynamik für lamellierte Wärmetauscher. Deshalb hat mich die **Qualität von Unilab-Software** stützig gemacht. Verschiedene Online-Rechner zum Mollier-HX-Diagramm ergaben bei einem Luftdruck von 1.013 bar, einer Temperatur von 38°C und einer relativen Feuchte von 39% erhebliche Abweichungen.

1. www.unilab.eu
2. www.i-r-b.de
3. www.hassler-kaeltetechnik.de
4. www.zcs.ch

In Fachbüchern findet man die spezifische temperaturbezogene Wärmekapazität. Dieser Wert zeigt auf, wie viel Energie aufgewendet werden muss, um das Medium bei entsprechender Temperatur um 1°C zu erwärmen. Will man wissen, welche Energie benötigt wird, um das Medium von t1 auf t2 oder von 0 auf t zu erwärmen, muss das Mittel der spezifischen temperaturbezogenen Wärmekapazität bestimmt werden.

AHH (Air Humid Handling) = All in one!



$$cp = \frac{\int_{t_1}^{t_2} cp_t dt}{t_2 - t_1} \rightarrow cp = \frac{\int_0^t cp_t dt}{t}$$

Wenn schon das Mollier-HX-Diagramm Abweichungen von 1 g/kg absoluter Feuchte aufzeigt, stellt sich die Frage nach der Genauigkeit bezüglich der Berechnung von lamellierten Wärmetauschern...

Bereits 1967 an der technischen Hochschule in Winterthur wurde vergeblich darauf hingewiesen, dass bei Prozessen mit Gasen nur der trockene Massenstrom in kg/h konstant bleibt. Trotzdem wird in Ausschreibungen in der Klimatechnik immer der feuchte Volumenstrom in m3/h ausgeschrieben, natürlich **ohne Bezug auf die Anlagenhöhe über Meer und ohne Bezug auf die Temperatur und relative Feuchte.**

Dies ist die ideale Grundlage für **Abweichungen bis 40%** in Angeboten für lamellierte Wärmetauscher, obwohl vergeblich darauf hingewiesen wird, **man solle als Basiswerte eine Temperatur von 20°C und eine relative Feuchte von 40% festlegen.**

Ich habe vergeblich entsprechende Vereine, wie den SWKI in der Schweiz, den VDI in Deutschland und hunderte planende Ingenieure ohne jeglichen Erfolg darauf hingewiesen. Nun schreiben wir das Jahr 2025, also 58 Jahre später, und ich muss total desillusioniert feststellen, dass sich diesbezüglich überhaupt nichts geändert hat.

Nehmen wir als Beispiel eine Luftmenge von 10'000 m3/h bezüglich 20°C/40% auf Meereshöhe, wobei die Luft von -16°C/100% auf 24°C/5.007% erwärmt werden soll. Das entspricht einem trockenen Massenstrom der Luft von 11'927.808 kg/h und einer Leistung von 133.591 kW.

Mit der **Software AHH** (Mollier-HX-Diagramm) wurde die Luftmenge von 10'000 m3/h zuerst am Eintritt und anschliessend am Austritt festgelegt, was bezüglich der Leistung zu einer **inakzeptablen Abweichung von 16%** führt. Befindet sich die Anlage in Zermatt auf einer Höhe von 1'600 Meter über Meer, so ergibt sich nur noch eine Leistung von 109.541 kW und eine **inakzeptable Abweichung von 40%!**

Korrekte physikalische Konstanten für Luft und Wasser spielen eine wichtige Rolle bei der Berechnung von Prozessen mit feuchter Luft und deshalb auch im Mollier-HX-Diagramm. Ich verwende dafür international mehrfach bestätigte Werte.

Universelle Gaskonstante	J/kMolK	8'314.463
Verdampfungswärme von Wasser bei 0.01°C	J/kg	2'500'500.000
Molekulargewicht von Wasser	kg/kMol	18.015
Molekulargewicht von Luft	kg/kMol	28.949

Das führte zur Frage eines Kunden: Warum wird in der Software DEH, der Wirtschaftlichkeit von Klimageräten mit Energierückgewinnung aufgeführt, dass man für **100 Tonnen Befeuchtung einen Energieaufwand von 69.458 MWh benötigt**, egal ob man mit Wasser oder Dampf befeuchtet?

Verdampfungswärme von Wasser bei 0.01°C	J/kg	2'500'500.000
Verdampfungsenergie	t	100.000
Verdampfungsenergie	kg	100'000.000
Energiebedarf (2'500'500x100'000/3600)	Wh	69'458'333.333
Energiebedarf	kWh	69'458.333
Energiebedarf	MWh	69.458

Kennzahl im Mollier-HX-Diagramm

$$C = \frac{Q}{\Delta tm} = kA$$

Unter Optionen/Luftstromeingang die Einheit m³/h bezogen auf 20°C/40% auswählen. Man bekommt die Luftmenge in kg/h, welche durch alle Prozesse hindurch konstant bleibt.

Prozess 1: Definition der Luftmenge = 30'000 m³/h

Unter Optionen/Luftstromeingang die Einheit kg/h wählen und damit alle Folgeprozesse berechnen.

Prozess 2: Wärmerückgewinnung im Winter

Prozess 3: Zuluft-Nacherwärmung im Winter

Prozess 4: Zuluft-Befeuchtung im Winter

Prozess 5: Abluft-Befeuchtung im Sommer

Prozess 6: Kälterückgewinnung im Sommer

Prozess 7: Zuluft-Nachkühlung im Sommer

Prozess 8: Zuluft-Nacherwärmung im Sommer

In den Prozessen für das Erhitzen und Kühlen von Luft müssen die Temperaturen für das flüssige Medium, wie zum Beispiel für Wasser oder Solen, eingegeben werden. Aus diesen Werten wird die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz berechnet. Dividiert man die Leistung durch die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz, bekommt man eine Kennzahl.

Für den k-Wert gelten Grössen zwischen 0.03 bis 0.06 kW/m²K, wobei diese in erster Linie von den zulässigen Druckverlusten abhängen. Nun weiss man, was an Fläche für die Wärmetauscher nötig ist. Wenn man aus Erfahrung auch noch die spezifischen Kosten kennt, kann man abschätzen, wieviel dieser Wärmetauscher kosten dürften.

Beispiel für den Erhitzer (3)

Leistung Q = 275.389 kW

Mittlere log. Temp. diff. Δtm = 24.355 K

Kennzahl C = 275.389 / 24.355 = 11.307 kW/K

k-Wert = 30 W/m²K = 0.03 kW/m²K

Erhitzerfläche A = 11.307 / 0.03 = 376.910 m²

Spezifische Kosten S = 10 CHF/m²

Erhitzerpreis = 10 x 376.910 = CHF 3'769

Beispiel für einen Kühler (7)

Leistung Q = 303.500 kW

Mittlere log. Temp. diff. Δtm = 8.406 K

Kennzahl C = 303.500 / 8.406 = 36.103 kW/K

k-Wert = 60 W/m²K = 0.06 kW/m²K

Kühlerfläche A = 36.103 / 0.06 = 601.753 m²

Spezifische Kosten S = 10 CHF/m²

Kühlerpreis = 10 x 601.753 = CHF 6'018

Beispiel für ein WRG-System (2)

Leistung Q = 203.784 kW

Mittlere log. Temp. diff. Δtm = 11.178 K

Kennzahl C = 203.784 / 11.178 = 18.231 kW/K

2 Wärmetauscher im WRG-System

Kennzahl C = 2 x 18.231 = 36.462 kW/K

Pro Wärmetauscher im WRG-System

k-Wert = 30 W/m²K = 0.03 kW/m²K

WT-Fläche A = 36.462 / 0.03 = 1215.400 m²

Spezifische Kosten S = 10 CHF/m²

WT-Preis = 10 x 1215.400 = CHF 12'154

2 Wärmetauscher total CHF 24'308

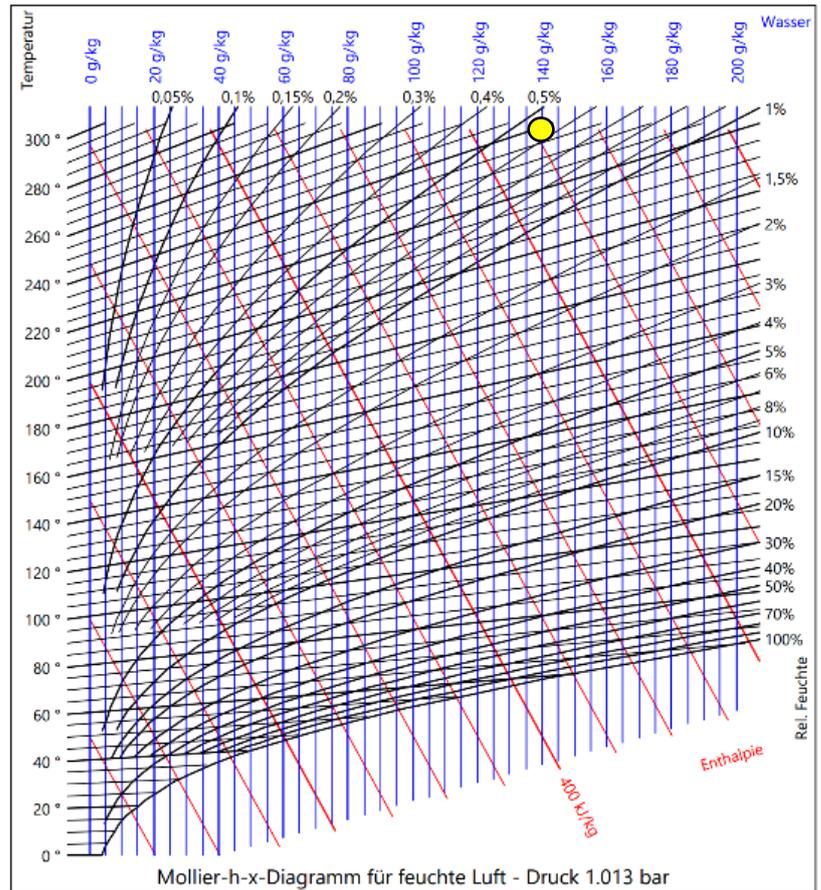
Das **Mollier-HX-Diagramm** eignet sich vor allem in einem Temperatur- und Feuchtigkeitsbereich, wo die Temperaturgeraden nur moderat ansteigen und deshalb nicht als störend empfunden werden.

Unterstützter Bereich

Druck von 0.03 bis 16 bar
 Temperatur von -100 bis 300°C
 Feuchte von 0 bis 1000 g/kg

Gelber Punkt

240°C/140 g/kg.



Weniger als 80 Ingenieure der Verfahrenstechnik, also 100-mal weniger Ingenieure als in der HLKK-Branche, bevorzugen mein **in Excel entwickeltes Mollier-TX-Diagramm**, wo alle Temperaturgeraden horizontal verlaufen. Dafür werden die Enthalpie-Geraden zu Enthalpie-Kurven.

Unterstützter Bereich

Druck von 0.03 bis 16 bar
 Temperatur von -100 bis 500°C
 Feuchte von 0 bis 3000 g/kg

Gelber Punkt

240°C/140 g/kg

Mollier TX Diagramm für: Luftdruck = 1.01325 bar

