

LUFT – EIN ÄUSSERST INTERESSANTES MEDIUM

# Tief einatmen, bitte!

Für uns Menschen seit der Geburt das normalste auf der Welt, für die Anlagentechnik ein hilfreicher Knecht und insgesamt ein interessantes Medium: die Luft.



Jeder so wie er mag: In der Sauna wird die Luft derart mit Feuchtigkeit angereichert, dass die Nutzer ordentlich schwitzen

Nach nackten Fakten erscheint Luft nicht sonderlich aufregend und spektakulär. Ein Kubikmeter Luft wiegt unter Normbedingungen, also bei 0 °C und 1013 mbar Luftdruck, gerade mal 1,293 kg. Pro Kilogramm dieser Luft müssen rund 0,28 Wattstunden an Energie eingesetzt werden, will man diese Masse an Gas um ein Kelvin von z. B. 0 °C auf 1 °C erwärmen. Diese Wärmekapazität entspricht dann rund 0,34 Wattstunden, bezogen auf einen Kubikmeter bei gleicher Temperaturdifferenz von einem Kelvin. Luft ist kompressibel und eigentlich geruchsfrei. Die Wärmeleitfähigkeit von Luft beträgt 0,0261 W/(mK). Die elektrische Leitfähigkeit ist kleiner als 10<sup>-10</sup> S/m. Dabei setzt sich die Luft aus Stickstoff (78 %), Sauerstoff (21 %), Argon (0,9 %), Kohlendioxid (0,04 %) und vielen weiteren Spurengasen zusammen.

### IM VERGLEICH WIRD'S INTERESSANT

Alles in allem also weder physikalisch noch chemisch gesehen besonders aufregend. Vergleicht man die Werte der Luft allerdings mit denen anderer Stoffe, mit denen man zutun hat, wird es schon spannender

### DICHTE:

Stoff:	Wert in kg/m <sup>3</sup> :
Erdgas	0,84
Luft	1,293
Flüssiggas (Propan)	2,011

Im Dichtevergleich kann erkannt werden: Erdgas steigt in der Umgebungsluft auf (weil leichter), während Flüssiggas zu Boden sinkt (weil schwerer). Einige Sicherheitsvorschriften im Umgang mit diesen, für den Anlagenmechaniker alltäglichen Gasen, berücksichtigen genau diesen Umstand.

### WÄRMEKAPAZITÄT:

Stoff:	Wert in Wh/(kg x K):
Luft	0,28
Wasser	1,163

Der Vergleich der Wärmekapazität macht deutlich, warum die Heizungstechnik in der Regel Wasser für den Wärmetransport (vom Kessel zum Heizkörper) verwendet. Gegenüber der Wärmekapazität von Luft, die ja noch leichter verfügbar wäre als Wasser, ist die Wärmekapazität viermal geringer. Um also die gleiche Menge an Energie vom Kessel zum Heizkörper zu schicken, müsste viermal mehr Masse transportiert werden.

### WÄRMELEITFÄHIGKEIT:

Stoff:	Wert in W/(mK)
Vakuum	~ 0,0
Argon	0,016
Luft	0,0261
Polystyrol	0,035 – 0,05
Wasser	0,58

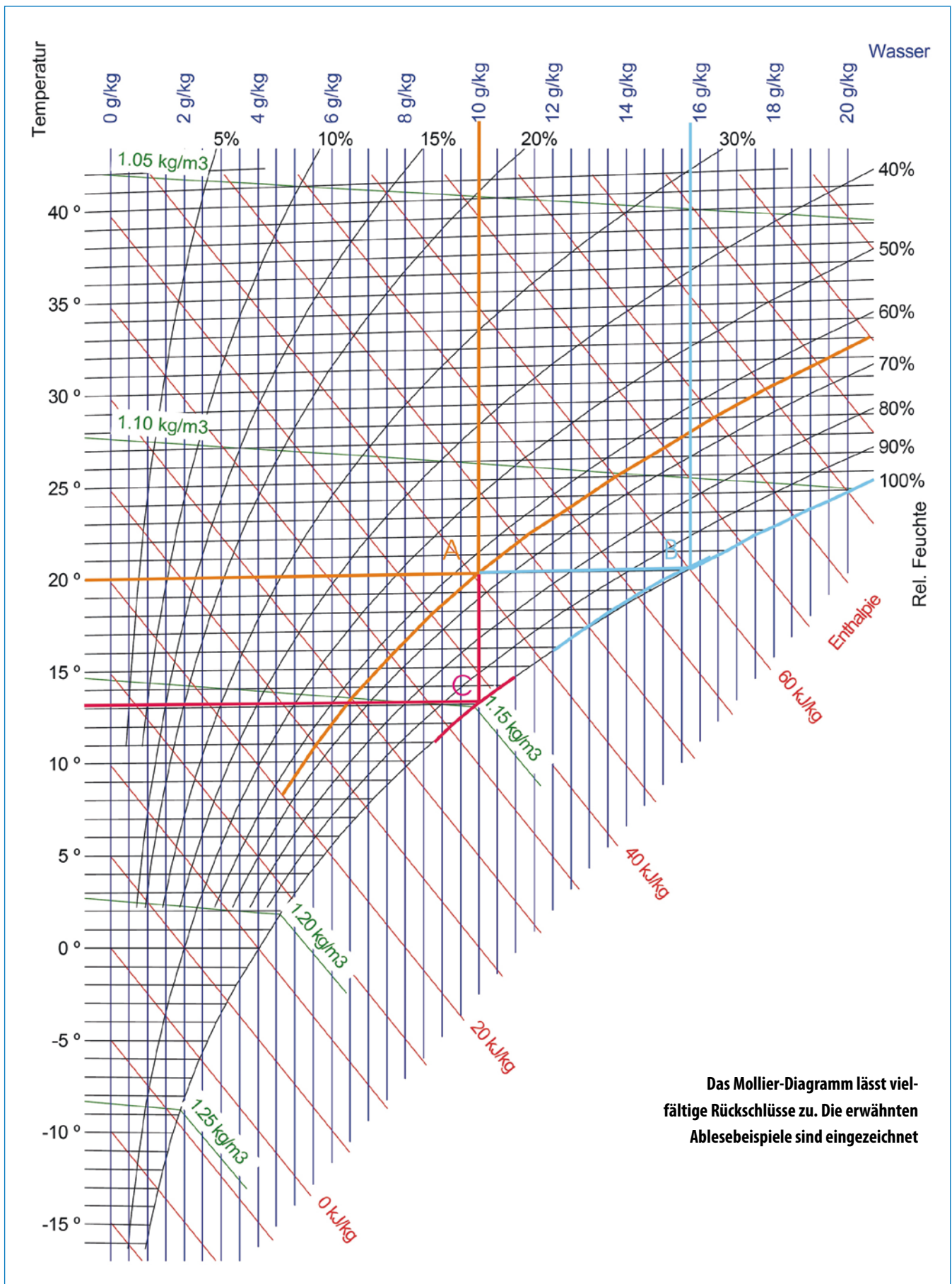
Die Wärmeleitfähigkeit birgt einige Überraschungen. Zuerst einmal kann festgehalten werden, dass Luft tatsächlich eher zu den Dämmungen gezählt werden kann. Die Dämmwirkung scheint ja sogar auf den ersten Blick besser als die von Polystyrol. Es muss jedoch erwähnt werden, dass der tatsächliche Wärmetransport, z. B. in der Außenwand eines Wohnhauses, nicht alleine von der Wärmeleitfähigkeit der jeweiligen Schicht abhängt. Wärme wird eben auch per Strahlung und nicht allein durch Leitung übertragen. Aber das ist ein anderes Thema.

Für die Anlagentechnik ist jedoch wichtig, dass durch eine Schicht aus Luft mehr Wärme transportiert wird als durch eine gleich dicke Schicht aus beispielsweise Argon. Argon ist ein Edelgas mit, wie der Name schon vermuten lässt, sehr zurückhaltendem und daher edlem Verhalten. Zunutze machen sich diese gegenüber Luft bessere Dämmwirkung die Hersteller von Solaranlagen. Drückt man nämlich Argon zwischen Absorber und der transparenten Abdeckung, werden die Wärmeverluste der Solaranlage gegenüber einer Füllung nur mit Luft insgesamt reduziert. Ein Vakuum ließe sich dauerhaft in diesen Zwischenraum von Solarkollektoren sehr viel schlechter ziehen, obwohl der Zahlenwert für die Dämmwirkung noch bessere Werte erwarten lässt.

Die Wärmeleitfähigkeit von Wasser ist erfahrungsgemäß sehr viel höher (Faktor 22) als die von Luft. Wer jemals mit durchnässter Kleidung in der Kälte ausharren musste, weiß ein Lied davon zu singen.

### KOMPRESSIBILITÄT:

Stoff:	Kompressibilität:
Luft	kompressibel (Wert für Kompressionsmodul = 1,01·10 <sup>5</sup> Pa)
Wasser	nahezu inkompressibel (Wert für Kompressionsmodul = 2,08·10 <sup>9</sup> Pa)



Das Mollier-Diagramm lässt vielfältige Rückschlüsse zu. Die erwähnten Ablesebeispiele sind eingezeichnet

Luft ist sehr leicht komprimierbar. Wird der Raum für ein eingeschlossenes Luftvolumen z. B. halbiert, verdoppelt sich der Druck. Für Wasser gilt erfahrungsgemäß, dass es nicht komprimiert werden kann. Die Folgen dieser Tatsache: Wasser lässt sich einfacher transportieren als Luft. Während beim Anschubsen von Luftteilchen immer auch ein bisschen der aufgewendeten Energie in eine statische Druckerhöhung also Kompression übergehen, wird angeschubstes Wasser die Bewegung unverzögert übertragen. Pumpen transportieren folglich Wasser effizienter, als Ventilatoren dies mit Luft tun können. Daher ist es auch wiederum effizienter, Wasser als Wärmelieferant vom Kessel zu den Heizkörpern zu schicken als Luft. Luft lässt sich wegen seiner Kompressibilität gut als Puffer für Druckschläge und zum Auffangen von Volumenausdehnungen in z. B. Heizungsanlagen verwenden. Ein normales Membranausdehnungsgefäß ist zwar mit Stickstoff gefüllt, der verhält sich aber unter den Druckschwankungen nahezu wie Luft. Stickstoff diffundiert nur nicht so schnell durch die Membrane wie es die Luft tun würde.

### ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT:

Stoff:	Wert in S/m:
Luft	0,0000000001
Wasser	0,5

Luft ist ein erstklassiger Isolator. Zum Beispiel ist die elektrische Leitfähigkeit von Wasser gegenüber Luft rund 5 Milliarden Mal größer. Die Auswirkungen dieser Tatsache finden sich in den vielfachen Sicherheitsvorschriften, die auch in der Anlagentechnik unbedingt eingehalten werden müssen. Man denke nur an Sicherheitsabstände (also Luft) zwischen einer Dusche (also Wasser) und einem elektrischen Anschluss.

### FURZTROCKEN ODER FEUCHT?

Luft ist imstande Wasser aufzunehmen. Ein Satz den man so unterschreiben kann, wird es doch im alltäglichen Leben zum

Teil sichtbar. Beispielsweise beim Saunaaufguss oder beim Kochen werden die Nebelschwaden anfangs sichtbar um sich dann, im wahrsten Sinne, in Luft aufzulösen. Dabei nimmt die Luft der Sauna bzw. der Küche immer mehr Feuchte auf. In der Sauna wird dieser Vorgang, je nach Saunatyp, so weit getrieben, bis der Saunagänger unter der drückenden Schwüle zu schwitzen beginnt. In der Küche versucht man häufig durch Abzugshauben die Feuchte und meist auch Gerüche abzutransportieren. Ein anderer Vorgang aus dem täglichen Leben wird erst bei kalten Umgebungstemperaturen sichtbar. Beim Ausatmen in kaltem winterlichem Umfeld wird die im Atem enthaltene Feuchte sichtbar. In warmer Umgebung ist der Feuchtegehalt beim Ausatmen unverändert, zeigt sich aber nicht. Diese Phänomene aus dem Erfahrungsschatz des täglichen Lebens lassen sich im Mollier-Diagramm sehr schön darstellen.

### MOLLIER HATTE ES DRAUF

Auf dem ersten Blick verwirrend, kann man nach kurzer Einführung in die Bedeutungen der Linien und Kurven das dahinter stehende Prinzip des Mollier- oder h-x-Diagramms verstehen. Links an der Y-Achse ist die Temperatur aufgetragen. Die X-Achse stellt die Zunahme an Feuchte dar. Diese Feuchte wird als absolute Feuchte bezeichnet und anhand eines Ablesebeispiels kurz erläutert.

#### Ablesebeispiel A:

Temperatur 20 °C bei einer absoluten Feuchte von 10 Gramm pro Kilogramm Luft (g/kg)

Erläuterung für diesen Zustand der Luft: Man wiege 1 Kilogramm furtrockene Luft ab (es darf im Gegensatz zur Fleischtheke nicht ein bisschen mehr sein) und stelle ein Schale mit 10 Gramm Wasser in dieses abgewogene Volumen und bringe diese Zutaten auf 20 °C. Wenn das Wasser dieser Schale komplett verdunstet ist, wird gemessen. Hier kann abgelesen werden, dass dieser Zustand der Luft bei einer relativen Feuchte von 65% liegt. Um den Wert für die relative Feuchte von 65% aus dem Ablesebeispiel A zu überprüfen, ist das nächste Ablesebeispiel geeignet.

#### Ablesebeispiel B:

Temperatur 20 °C bei einer absoluten Feuchte von 15,60 g/kg Hier kann festgehalten werden, dass die relative Feuchte bei 100 % liegt.

### ERKENNTNIS AUS DEN ABLESEBEISPIELEN A UND B:

Luft von 20 °C kann maximal (100 % ist maximal) 15,6 g/kg an Feuchte aufnehmen. Feuchten über 15,6 g/kg zeigen sich als Tauwasser oder Nebel. Ist weniger als 15,6 g Wasser in einem Kilogramm Luft enthalten (z. B. 10 g/kg), kann dies in Prozent (z. B. 65%) ausgedrückt werden.



## DICTIONARY

Atem	=	breath
aflösen	=	dissolving
Feuchte	=	humidity
Luft	=	air
spezifische Wärmekapazität	=	specific heat capacity

Und auch ein Sektkühler kann ins Schwitzen kommen, wenn die Luft auf seiner Oberfläche den Taupunkt unterschreitet



## LETZTES ABLESEBEISPIEL UND LETZTE ERKENNTNISSE:

### Ablesebeispiel C:

Absolute Feuchte von 10 g/kg bei 100 % relativer Feuchte  
Ablesung: 13,2 °C

Das Mollier-Diagramm gibt Aufschluss, dass 10 g/kg Feuchte bei etwa 13,2 °C gerade noch gelöst werden. Eine weitere Temperaturabnahme hat die Unterschreitung der 100%-Linie zur Folge. Das Wasser würde kondensieren. Würde also in diesem Raum mit 20 °C Lufttemperatur eine kühle Fläche mit nur 13 °C Oberflächentemperatur geboten, so würde an dieser Fläche die Feuchte als Tau auftreten.

## SPIELEREI ODER SERIÖSER HINTERGRUND?

Die Möglichkeiten etwas aus dem Mollier-Diagramm zu lesen sind äußerst vielfältig. Viele Prozesse und Erkenntnisse lassen sich anschaulich erklären, hat man das Prinzip der Darstellung erstmal erfasst. Die genannten Effekte aus dem täglichen Leben lassen sich als Prozess nun einfacher beschreiben. Ein Beispiel ist das Ausatmen bei niedriger Umgebungstemperatur. Beim Ausatmen hat Körperwärme die Atemluft auf rund 34 °C erwärmt. Die in der Atemluft enthaltene Feuchte wird bei warmer Umgebung meist einfach aufgelöst, da warme Luft große Mengen an Feuchte aufnehmen kann (z. B. bei 20 °C bis 15,6 g/kg). Wird in kalter Umgebung ausgeatmet, so kondensiert die in der Atemluft enthaltene Feuchte kurzfristig, da kalte Luft nur wenig Feuchte aufnehmen kann. Beispielsweise kann Luft von minus 5 °C maximal (bei 100%) 2,7 g/kg Feuchte aufnehmen.

Die Fortsetzung der Auseinandersetzung mit Luft ist für die Berufspraxis des Anlagenmechanikers obligatorisch notwendig. Zum einen schreien die mittlerweile sehr dichten Neubauten nach Lüftung um ihre Bewohner vor dem Erstickungstod zu retten oder sie zumindest nicht ihrem eigenen Mief zu überlassen. Auch die immer stärker auftretenden Fälle von Schimmelbildung haben mit dem Thema Luft und insbesondere Lüftung zu tun. ●

## RICHARD MOLLIER

Geb. 30. November 1863 in Triest; gest. 13. März 1935 in Dresden; war Professor für angewandte Physik und Maschinenbau in Göttingen und Dresden und ein Pionier der Erforschung physikalischer Daten für die Wärmelehre, insbesondere für Wasser, Dampf und feuchte Luft.