

... TIEF EINATMEN?

# Luft: Ein äußerst interessantes Fluid



Ausatmen nach einem Workout in kalter Umgebung lässt Luft, oder besser die darin enthaltene Feuchte, sichtbar werden

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

Die nackten Fakten erscheinen nicht sonderlich aufregend oder 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 dieses Fluid 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.

### WÄRMEKAPAZITÄT:

bezogen auf Masse	0,28 Wh / (kg x K)
bezogen auf Volumen	0,34 Wh / (m <sup>3</sup> x K)

Luft ist kompressibel und eigentlich geruchsfrei. Die Wärmeleitfähigkeit von Luft beträgt 0,0261 W/(mK). Die elektrische Leitfähigkeit für Luft ist kleiner als 10-10S/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

#### DICHTE:

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

Im Dichtevergleich erkennt man gut: 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

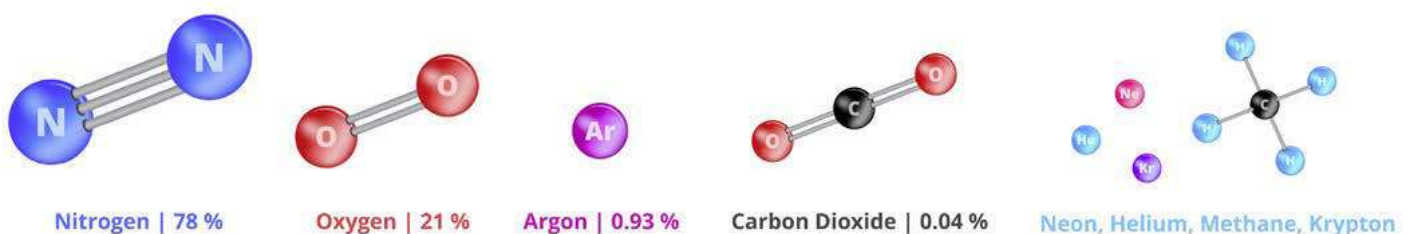
Der Vergleich der Wärmekapazität macht deutlich, warum die Heizungstechnik in der Regel Wasser für den Wärmetransport verwendet. Soll möglichst viel Wärmeenergie vom Kessel zu den Heizkörpern transportiert werden, wählen wir meistens Wasser als Wärmeträgermedium. Die Wärmekapazität von Luft ist viermal geringer als die von Wasser. Um also die gleiche Menge an Energie vom Kessel zu einem Heizkörper zu schicken, müsste viermal mehr Masse transportiert werden.

### KOMPRESSIBILITÄT:

Stoff	Wert in Wh/kg x K	Eigenschaft
Luft	0,28	kompressibel
Wasser	1,163	nahezu inkompressibel

Luft ist sehr leicht komprimierbar. Wird der Raum für ein eingeschlossenes Luftvolumen z.B. halbiert, verdoppelt sich

## COMPOSITION OF AIR



Die Zusammensetzung von Luft und wie man sich die jeweiligen Moleküle vorstellen kann

der Druck. Für Wasser gilt erfahrungsgemäß, dass es nicht komprimiert werden kann.

Die Folgen dieser Tatsache:

1. 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, übergeht, 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.
2. 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, verhält sich aber unter den Druckschwankungen nahezu wie Luft. Stickstoff diffundiert nur nicht so schnell durch die Kunststoffmembrane wie Luft.



Bild: Getty Images/Stockphoto

## WÄRMELEITFÄHIGKEIT:

Stoff	Wert in W / (m x K)
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 als Isolator oder dämmender Stoff gezählt werden kann. Die Isolierwirkung 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 es jedoch wichtig, dass durch eine Schicht aus Luft mehr Wärme transportiert wird als durch ein gleich dicke Schicht aus 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 Isolierwirkung, die Hersteller von hoch-

**Ein Sektkühler bietet der zimmerwarmen Umgebungsluft eine Temperatur zum Kondensieren des Wasseranteils in der Luft. Im Mollier-Diagramm (Seite 14) lässt sich der Prozess nachvollziehen**

wertigen Isolierglasfen. Drückt man nämlich Argon zwischen zwei Scheiben, werden die Wärmeverluste eines solchen Fensters gegenüber einer Füllung nur mit Luft insgesamt reduziert. Ein Vakuum ließe sich dauerhaft in diesen Zwischenraum zwischen zwei Scheiben viel schlechter ziehen, obwohl der Zahlenwert für die Isolierwirkung 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.

## ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT:

Stoff	
Luft	0,0000000001 S/m
Wasser	0,5 S/m



**Wer auf dem Dorf aufgewachsen ist, kennt diesen Test ohne Messgerät: Trockener Grashalm leitet den Strom nicht, denn Luft ist ein Isolator. Ein feuchter Grashalm hingegen kann Strom leiten und ist als Indikator für einen eingeschalteten elektrischen Weidezaun zu gebrauchen**

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.

Im Selbstversuch gelangt man kribbelnd zu Erkenntnissen, wenn man folgenden Versuch durchführt: Man nehme einen trockenen Grashalm zwischen die Finger und lege das entfernte Ende auf einen elektrischen Weidezaun. Schiebt man diesen Halm langsam in Richtung Zaun, ändert sich erst etwas, wenn die Finger den Zaun berühren. Feuchtet man den Grashalm an, wird während der Annäherung das Zucken des Stroms bereits spürbar.

### 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 ODER H-X-DIAGRAMM

Auf den ersten Blick verwirrend, kann man nach kurzer Einführung in die Bedeutungen der Linien und

Kurven das dahinterstehende Prinzip verstehen. Links auf der senkrechten Y-Achse ist die Temperatur aufgetragen. Die waagerechte X-Achse stellt die Zunahme an absoluter Feuchte dar.

#### 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 furztrockene Luft ab (es darf im Gegensatz zur Fleischtheke nicht ein bisschen mehr sein) und stelle eine 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 annähernd 70 % relativer Feuchte liegt.



### DICTIONARY

Zusammensetzung	= Composition
Luft	= Air
Stickstoff	= Nitrogen
Sauerstoff	= Oxygen
Kohlendioxid	Carbon Dioxide



Bild: Condaïr

**Mollier-Diagramm mit den 3 Ablesebeispielen des Berichts:**

**A: 20 °C, absolute Feuchte von 10 (g/kg)**

**B: 20 °C, relative Feuchte von 100 %**

**C: abs. Feuchte von 10 (g/kg) bei 100 % relativer Feuchte**

Um den Wert für die relative Feuchte von 70 % aus dem Ablesebeispiel A zu überprüfen, ist das nächste Ablesebeispiel geeignet.

#### Ablesebeispiel B:

Temperatur 20 °C bei einer relativen Feuchte von 100 % beträgt die absolute Feuchte 14,60 g/kg  
14,60 g/kg beträgt also das Maximum bei dieser Temperatur.

Rechnerische Erkenntnis aus den Ablesebeispielen A und B:

$$\frac{10 \text{ g/kg}}{14,6 \text{ g/kg}} \cdot 100 \% = 68,5 \%$$

Erkenntnis aus den Ablesebeispielen A und B:

Luft von 20 °C kann maximal (100 % ist maximal) 14,6 g/kg an Feuchte aufnehmen. Feuchten über 14,6 g/kg zeigen sich als Tauwasser oder Nebel. Ist weniger als 14,6 g Wasser in einem Kilogramm Luft enthalten (z. B. 10 g/kg), so kann dies in Prozent (z. B. 68,5 %) ausgedrückt werden.

#### Ablesebeispiel C:

Absolute Feuchte von 10 g/kg bei 100 % relativer Feuchte.

Ablesung: 14,0 °C

Das Mollier-Diagramm gibt Aufschluss, dass 10 g/kg Feuchte bei ca. 14,0 °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.

Dieser Zusammenhang ist übrigens der Grund dafür, dass man eine Flächentemperierung nicht beliebig runterkühlt.

## WER TRANSPORTIERT WÄRME AM BESTEN?

In einem Wettstreit zwischen Wasser und Luft als Wärmeträgermedium hat Wasser aus zwei Gründen die Nase vorn. Um die gleiche Wärmemenge zu transportieren, benötigt man 4-mal weniger Wasser- als Luftmasse. Außerdem lässt sich Wasser so gut wie nicht komprimieren, Luft schon. In einer Lüftungsanlage wird daher immer auch ein wenig Energie dafür aufgewendet, die Luft zu verdichten, statt diese zu bewegen. Eine Pumpe transportiert daher effizienter Wassermassen, als ein Ventilator Luftmassen bewegen kann.

Ein Fußboden mit 13 °C Oberflächentemperatur an einem schwülwarmen Sommertag wäre pitschnass durch den entstehenden Tau auf der Oberfläche.

## 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.

Beispiel: Ausatmen bei niedriger Umgebungstemperatur  
Beim Ausatmen hat Körperwärme die Atemluft auf ca. 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. 20 °C bis 15,6 g/kg). Wird in kalter Umgebung ausgeatmet, so kondensiert die in der Atemluft enthaltene Feuchte sehr schnell, da kalte Luft nur wenig Feuchte aufnehmen kann. Z. B. kann Luft von minus 5 °C maximal (bei 100 %) 2,7 g/kg Feuchte aufnehmen.

## TO BE CONTINUED

Die Fortsetzung der Auseinandersetzung mit Luft ist für die Berufspraxis des Anlagenmechanikers obligatorisch notwendig. Zum einen schreien die dichten Neubauten nach Lüftung, um ihren Bewohnern eine gesunde Umgebung anzubieten oder sie zumindest nicht dem eigenen Mief zu überlassen. Zum anderen haben die immer stärker auftretenden Fälle von Schimmelbildung mit Luft und insbesondere Lüftung zu tun. ■



## AUTOR



Dipl.-Ing. (FH) Elmar Held ist verantwortlicher Redakteur des SBZ Monteur. Er betreibt ein TGA-Ingenieurbüro, ist Dozent an der Handwerkskammer Münster und Hochschule Düsseldorf, sowie öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger  
Telefon (0 23 89) 95 10 21  
Telefax (0 23 89) 95 10 22  
held@sbz-online.de  
www.ingenieurbueroheld.de