

# Moment mal ...: Warum ist die Luft feucht?

T. Wilhelm, R. Müller

## 1. Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit ist kein Standardthema des Physikunterrichts. Wenn man allerdings die Wärmelehre kontextorientiert unterrichten will, kommt man kaum um die Luftfeuchtigkeit herum. Mit ihr kann man erklären, wann es warum zur Nebel-, Wolken- oder Taubildung kommt.

Nehmen wir an, wir haben bei einer Lufttemperatur von 20 °C eine absolute Luftfeuchtigkeit von 10,4 g/m<sup>3</sup>. Das bedeutet, in jedem Kubikmeter Luft befinden sich 10,4 g gasförmiges Wasser. Flüssiges Wasser (zum Beispiel Regentropfen oder Nebeltröpfchen) und Eis (zum Beispiel Schneekristalle oder Hagelkörner)

werden bei der Luftfeuchtigkeit nicht

mitgerechnet. Wir können außerdem nachschlagen (siehe Abb. 1), dass bei der Temperatur von 20 °C die maximale Luftfeuchtigkeit 17,3 g/m<sup>3</sup> ist (Sättigungsfeuchtigkeit). Man sagt, mehr könne die Luft nicht an Wasserdampf aufnehmen. Die relative Luftfeuchtigkeit ist das Verhältnis zwischen der absoluten Luftfeuchtigkeit und der maximalen Luftfeuchtigkeit. In diesem Fall ergibt das  $10,4 \text{ g} / 17,3 \text{ g} = 60 \%$ . Kühlen wir also die Luft ab, ohne dass gasförmiges Wasser dazukommt oder verschwindet, ist bei etwa 11 °C die maximalen Luftfeuchtigkeit gleich der absolute Luftfeuchtigkeit von 10,4 g/m<sup>3</sup> (siehe Abb. 1) und damit die relative Luftfeuchtigkeit 100 %. Bei weiterer Abkühlung muss deshalb Wasser kondensieren, an Oberflächen bilden sich Tröpfchen.

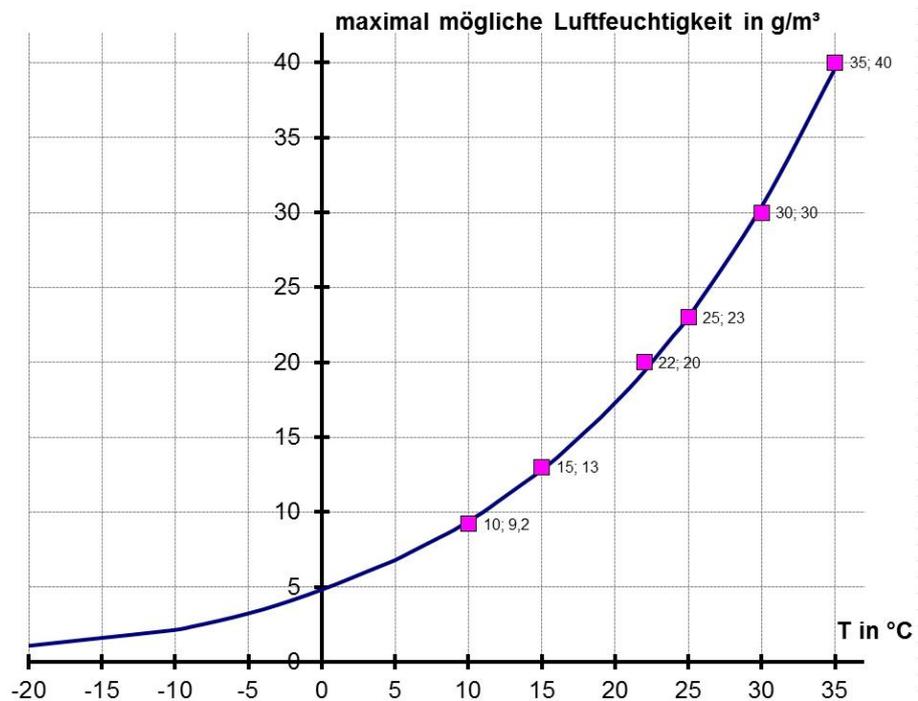


Abb. 1: Maximal mögliche Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur, angegeben in g/m<sup>3</sup>

Grundsätzlich gibt es zwei Wege, die relative Luftfeuchtigkeit zu ändern. Zum einen, indem Wasserdampf durch Verdunstung hinzukommt oder durch Kondensation entfernt wird. Zum anderen, indem die maximal mögliche Luftfeuchtigkeit durch eine Temperaturänderung geändert wird, ohne dass ein einziges Wasserdampfmolekül zu- oder abgeführt wird.

Viele Haushalte haben ein Messgerät, das neben Temperatur und Luftdruck auch die relative Luftfeuchtigkeit anzeigt. Diese Angabe ist deshalb von Bedeutung, weil sich der Mensch nur in einem relativ engen Luftfeuchtigkeitsbereich wohl fühlt. Als sogenannte Behaglichkeitszone wird oft 40 % bis 60 % relative Luftfeuchtigkeit angegeben. Eine zu geringe Luftfeuchtigkeit führt zu einer Austrocknung der Haut und insbesondere der Schleimhäute. Dies kann Hautjuckreiz, juckende Augen und eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Erkältungskrankheiten zur Folge haben. Ferner kann es zu elektrostatischen Aufladungen kommen. Bei zu hoher Luftfeuchtigkeit bildet sich in dem Raum Schimmel an kühlen Wänden, was gesundheitsschädlich ist. Für Allergiker ist es zudem sehr wichtig zu wissen, dass sich Hausstaubmilben erst ab 60 % Luftfeuchtigkeit wohlfühlen und vermehren. Außerdem führt eine hohe Luftfeuchtigkeit zu stärkerem Schwitzen. Aber der Mechanismus des Schwitzens, mit dem der Körper sich abkühlt, funktioniert unter diesen Bedingungen nicht mehr effektiv. Der abgesonderte Schweiß verdunstet nur noch schlecht, weil die Wasserdampfmenge in der Luft schon fast ihren maximal möglichen Wert erreicht hat. Die erhoffte Abkühlung durch die Verdunstungskälte bleibt aus und man fühlt sich unwohl und beklagt sich darüber, dass es schwül ist.

In gut beheizten und stark belüfteten Räumen sinkt die Luftfeuchtigkeit im Winter zu weit ab, was z.B. bei älteren, windundichten Gebäuden auftritt. In modernen winddichten Wohnhäusern ohne Lüftungsanlage ist dagegen die Luftfeuchtigkeit eher zu hoch, so dass zu häufigem Lüften geraten wird. Die Kunst besteht also zumindest in modernen Wohnhäusern im richtigen Lüften.

Die relative Luftfeuchtigkeit ist also für uns von großer Bedeutung und dafür ist es wichtig, wie groß die maximale Luftfeuchtigkeit bei der jeweiligen Temperatur ist. Hier kann man nun fragen: Ist das eigentlich auch davon abhängig, wie die Luft zusammengesetzt ist? Was ist, wenn wir den Raum über einer Wasseroberfläche mit nur einem bestimmten Gas füllen? Und ist die Luftfeuchtigkeit auch vom Luftdruck abhängig? Was ist, wenn über flüssigem Wasser gar kein Gas vorhanden ist?

## **2. Die Schwammtheorie der Luftfeuchtigkeit**

Hinter der Formulierung, dass Luft in Abhängigkeit von der Temperatur nur eine gewisse Höchstmenge Wasserdampf aufnehmen kann, kann sich eine Fehlvorstellung befinden, die als „Schwammtheorie der Luftfeuchtigkeit“ bezeichnet wird [1+2]. Wie ein Schwamm kann die Luft nach dieser Vorstellung eine gewisse Menge Wasserdampf aufnehmen, bis sie „gesättigt“ ist. Kalte Luft kann nicht so viel Wasserdampf aufnehmen wie warme, und daher kommt

es beim Abkühlen kalter Luft zur Kondensation von flüssigem Wasser – einem Schwamm vergleichbar, dessen Aufnahmekapazität durch Zusammendrücken verringert wird.

Wenn man lange genug wartet, stellt sich in einem abgeschlossenen Volumen, in dem sich Luft und ein offenes Gefäß mit Wasser befindet, eine relative Luftfeuchtigkeit von 100 % ein. Nach der Schwammtheorie ist hier gerade so viel Wasser verdunstet, wie die Luft aufnehmen kann. Wenn nun keine Luft in dem Gefäß über dem Wasser wäre, wäre demnach auch nichts mehr da, was den Wasserdampf aufnehmen kann. Gemäß der Schwammtheorie sollten wir also erwarten, dass der Raum oberhalb des Wassers frei von Wasserdampf bleibt. Das Experiment zeigt etwas anderes: Unbekümmert von der Abwesenheit der Luft füllt sich der Behälter mit Wasserdampf und widerlegt so die Vorhersage der Schwammtheorie.

Die korrekte Erklärung ist, dass sich die trockene Luft und der gasförmige Wasserdampf so verhalten, als wäre das andere Gas nicht vorhanden. Die maximale Wasserdampfmenge in einem Volumen ist allein eine Eigenschaft des Wassers, die letztlich auf seine molekularen Eigenschaften zurückgeht. Die Luft hat nichts damit zu tun! Deshalb ist es auch egal, wie die trockene Luft zusammengesetzt ist und welchen Druck sie hat.

Die Schwammtheorie hält sich so hartnäckig, weil die physikalische Terminologie unglücklich geprägt worden ist. Die „Luftfeuchtigkeit“ hat eigentlich nichts mit der Luft zu tun. Die Formulierung „Luft nimmt Wasser auf“ ist irreführend. Auch der Begriff der „Sättigung“ bei der „Sättigungsfeuchtigkeit“ darf nicht analog zur Sättigung einer Lösung verstanden werden. Die Sättigungsfeuchtigkeit ist auch nicht von der Temperatur der Luft bestimmt, sondern von der Temperatur der verdunstenden Wasseroberfläche. Die Nennung der Temperatur der Luft ist dennoch im Alltag oft sinnvoll, da verdunstende Wasserflächen oft näherungsweise die Lufttemperatur annehmen. Wenn die Wasseroberfläche aber deutlich wärmer als die Luft ist, verdunsten die Wassermoleküle mit einer der Oberflächentemperatur entsprechenden Verdunstungsrate, nicht mit einer Verdunstungsrate, die der Lufttemperatur entspricht.

### **3. Dampfdruck**

Gasförmiges Wasser wird in der Physik Wasserdampf genannt und ist unsichtbar. Im Alltag bezeichnet man mit Wasserdampf jedoch sichtbares Wasser, z.B. das, was man über einem kochenden Topf aufsteigen sieht. Sichtbar sind jedoch nur Wassertröpfchen, also flüssiges Wasser.

Wasserdampf als gasförmiges Wasser verhält sich wie andere Gase auch. Luft ist ein Gasgemisch und der Wasserdampf in der Luft ist lediglich eine weitere Komponente des Gemisches. Deshalb beschreibt man in der Hochschulphysik alles mit dem Partialdruck des Gases Wasserdampf, also dem Druck, den nur dieses Gas allein erzeugt. Nach dem Gesetz von Dalton ist der Druck eines Gasgemisches (aus idealen Gasen) die Summe der Partialdrücke der Einzelgase. Der Partialdruck eines Einzelgases ist definiert als der Druck, den es bei gleicher Temperatur hätte, wenn es allein im Volumen wäre [1].

Die absolute Luftfeuchtigkeit kann auch als momentan herrschender Partialdruck des Wasserdampfes angegeben werden. Der Sättigungsdampfdruck bei der jeweiligen Temperatur ist der maximal mögliche Wasserdampfdruck. Die relative Luftfeuchtigkeit gibt das Verhältnis dieses herrschenden Wasserdampfdrucks zum Sättigungsdampfdruck an. Die Verdunstungsrate oder die Kondensationsrate ist nur vom Partialdruck des Wasserdampfes in der Luft abhängig, nicht aber von dem Anteil des Luftdrucks, den die anderen Bestandteile der Luft liefern.

Der Sättigungsdampfdruck des Wasserdampfs ist also vollkommen unabhängig davon, ob Luft vorhanden ist oder nicht. D.h. über einer Wasseroberfläche im luftleeren Raum stellt sich der gleiche Wasserdampfdruck ein, wie bei der gleichen Temperatur in Anwesenheit von Luft. Dieser Wasserdampfdruck wird in Anwesenheit von Luft als Partialdruck des Wasserdampfs bezeichnet. Die unanschauliche Angabe mit dem Partialdruck macht deutlicher, dass es sich nur um eine Eigenschaft des Wassers handelt und nicht um eine Eigenschaft der Luft.

#### **4. Formulierungen**

Auch wenn man in der Schule keine Partialdrücke verwendet und die Schwammtheorie nur bei alltagsfernen Vorgängen falsche Vorhersagen fördert, braucht man die Schwammtheorie nicht. Um sie nicht zu unterstützen, sollte man darauf achten, wem man bei Verdunstung und bei Kondensation die aktive Rolle zuerkennt. Beim Verdunsten und beim Sieden nimmt nicht die Luft Wasserdampf auf, sondern flüssiges (oder gefrorenes) Wasser gibt Wasserdampf ab. Beim Kondensieren gibt nicht die Luft Wasserdampf ab, sondern das Wasser bildet Tropfen und wird flüssig. Feuchte Luft hat demnach nicht Wasser aufgenommen, sondern Wasserdampf ging in die Luft hinein.

#### **Literatur**

- [1] Müller, R.: Thermodynamik. Vom Tautropfen zum Solarkraftwerk, Walter de Gruyter GmbH, Berlin, 2014
- [2] Bohren, C. A.; Albrecht, B. A.: Atmospheric Thermodynamics, Oxford University Press, Oxford, 1998

#### **Anschrift des Verfassers**

Prof. Dr. Thomas Wilhelm, Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main, [wilhelm@physik.uni-frankfurt.de](mailto:wilhelm@physik.uni-frankfurt.de), [www.thomas-wilhelm.net](http://www.thomas-wilhelm.net);

Prof. Dr. Rainer Müller, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Technische Universität Braunschweig, Bienroder Weg 82, 38106 Braunschweig, [rainer.mueller@tu-bs.de](mailto:rainer.mueller@tu-bs.de).