

Trockene Lektüre

Bei richtiger Handhabung können Bücher und Dokumente Jahrtausende überstehen. Essenziell hierfür ist die genaue Messung und Kontrolle der Luftfeuchtigkeit.

Sabrina Patsch



Sir Marc Aurel Stein, ein britischer Archäologe, fand 1907 eine Druckversion des Diamant-Sutra in der „Höhle der tausend Buddhas“ nahe der antiken Seidenstraße. Der wichtige buddhistische Lehrtext untergliedert sich in 32 Abschnitte. Die mehr als fünf Meter lange Schriftrolle ist auf das Jahr 868 datiert und besteht aus sieben Streifen Papier, die mit Holztafeln bedruckt und anschließend zusammengefügt wurden. Bis auf einige Risse und Wasserflecken war das Druckerzeugnis beim Fund in beeindruckendem Zustand. Das Papier, aus der Rinde des Maulbeerbaums gefertigt, ist aufgrund der besonders langen Pflanzenfasern flexibel und haltbar. Außerdem konservierte die trockene Wüstenluft das Diamant-Sutra: Die vereinzelt entstanden vermutlich durch schwan-

kende Luftfeuchtigkeit. Nach dem Fund war es jedoch eine Herausforderung, das Druckstück zu erhalten.

Wie schnell und wie sehr sich Papier abnutzt, hängt maßgeblich von seiner Zusammensetzung und Lagerung ab. Papier besteht hauptsächlich aus Zellulosefasern pflanzlicher Stoffe, heute vor allem aus Holzfasern. Je länger die Fasern, desto reißfester ist das Papier und desto höher ist seine Qualität. Brechen die Zelluloseketten auf, wird das Papier dünn und brüchig. Als dominanter Prozess bei der Zersetzung gilt die Hydrolyse. Dabei lagert sich ein Proton an einem Sauerstoffatom der Zellulose an und spaltet die Bindung. Säuren sind Protonendonatoren und agieren daher als Katalysator. Sie können durch verschmutzte Luft oder bei der Herstel-

◀ Das Diamant-Sutra gilt mit mehr als 1150 Jahren als das älteste vollständig erhaltene und datierte Druckerzeugnis der Menschheit. Die Jahrhunderte hat es in trockener Wüstenluft nahezu unbeschadet überstanden.

lung ins Papier gelangen. Das für die Hydrolyse benötigte Wasser ist durch Luftfeuchtigkeit vorhanden.

Die absolute Luftfeuchtigkeit bezeichnet die Menge an Wasserdampf in einem bestimmten Volumen Luft. Wie viel Wasser die Luft maximal speichern kann, hängt vor allem von der Temperatur ab: Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasser kann sie enthalten. Wichtiger ist daher die relative Luftfeuchtigkeit: Sie gibt das Verhältnis von absoluter zu maximaler Luftfeuchtigkeit an. Neben der Hydrolyse bedroht in stehender, warmer Luft mit einer relativen Luftfeuchtigkeit über 65 Prozent auch Schimmelbildung das Papier. Außerdem schadet eine stark schwankende Luftfeuchtigkeit: Als hygroskopisches Material bindet Papier Feuchtigkeit aus der Umgebung und gibt sie wieder ab, sobald die Luft austrocknet. Dabei verformt es sich. Inhomogene Stellen, die durch trockene Tinte oder das Binden und Kleben mehrerer Seiten entstehen, können dann reißen. Daher sollte die Luftfeuchtigkeit über 30 bis 40 Prozent liegen und um weniger als 5 Prozent schwanken.

Um diese Grenzen einzuhalten, ist zunächst die Luftfeuchtigkeit genau zu bestimmen. Absorptionshygrometer messen die relative Luftfeuchtigkeit mit einem hygroskopischen Material. So nutzt ein Haarhygrometer die Längenänderung von menschlichem Haar: Je feuchter die Luft ist, desto mehr dehnt sich das Haar aus. Dieses Prinzip nutzen Thermohygrographen, die den zeitlichen Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit

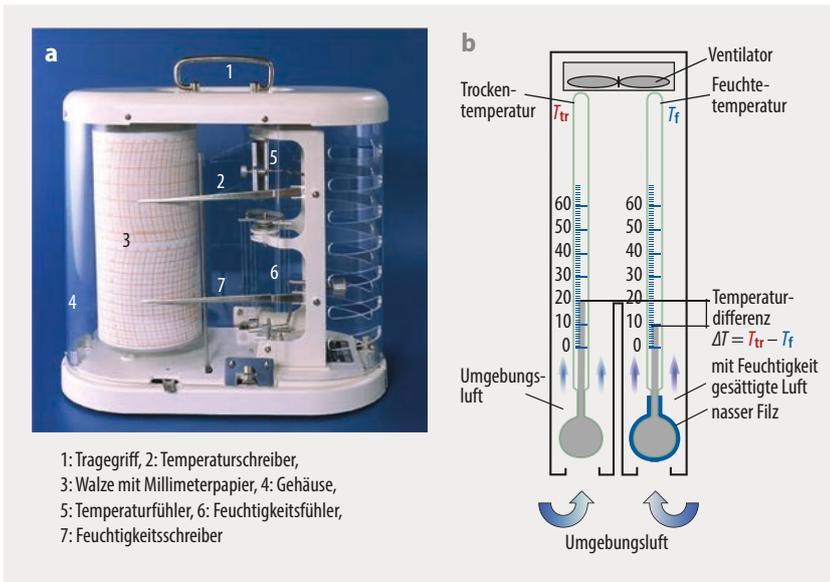


Abb. 1 Die Luftfeuchtigkeit lässt sich mit einem Thermohygrographen (a) oder mit einem Psychrometer (b) bestimmen.

auf einer rotierenden Papiertrommel aufzeichnen (**Abb. 1a**). Museen und Büchereien nutzen diese Geräte trotz des hohen Wartungsaufwands: Das Haarhygrometer muss regelmäßig regeneriert und kalibriert werden.

Moderne, elektronische Hygrometer nutzen die veränderlichen elektrischen Eigenschaften eines Sensors. Das Psychrometer oder Aspirationshygrometer besteht aus zwei Thermometern (**Abb. 1b**). Eines bestimmt die Temperatur der Raumluft; das andere ist in feuchtes Material, zum Beispiel ein Baumwoll- oder Filztuch, eingewickelt. Das Wasser im Tuch entzieht der Umgebung beim Verdampfen Wärme, sodass dieses Thermometer eine niedrigere Temperatur anzeigt. Je trockener die Luft ist, desto mehr Feuchtigkeit verdunstet und desto größer ist der Temperaturunterschied.

Strapaziöser Museumsalltag

Messungen mit Hygrometern zeigen, dass Exponate in Museen und Büchereien vielen Risiken ausgesetzt sind. Im Winter sinkt die relative Luftfeuchtigkeit beim Heizen; auch falsche Beleuchtung erwärmt die Luft und trocknet sie aus. Daneben sorgt das Publikum für starke Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit und erhöht diese durch seine Körpertemperatur, Atmung und Transpiration. Zunächst gilt es daher, die Tempe-

ratur mithilfe einer Klimaanlage zu stabilisieren. Bei zu trockener Luft helfen professionelle Luftbefeuchter, die Wasser gezielt verdampfen, indem sie es zu winzigen Tröpfchen zerstäuben oder auf einer großen Oberfläche verteilen.

Zu feuchte Luft lässt sich mittels dreier physikalischer Prinzipien trocknen. In Kondensationstrocknern strömt die feuchte Luft über eine kalte Fläche oder Spirale, an der das Wasser kondensiert und abfließt. Absorptionstrockner binden Wasser in einer hygroskopischen Flüssigkeit. Adsorptionsentfeuchter nutzen ein Trockenmittel wie Silikagel, auch Kieselgel genannt. Die kleinen, farblosen Kugeln finden sich in Papiertütchen

verpackt bei feuchtigkeitsempfindlicher Ware. Die Kügelchen bestehen aus amorphem Siliziumdioxid und besitzen mit etwa 800 m²/g eine extrem große spezifische Oberfläche. Das Silikagel, das beispielsweise einer Packung getrockneter Algen beiliegt, besitzt fast die gleiche Oberfläche wie ein Fußballfeld. Weil das Silikagel den Wasserdampf an der Oberfläche seiner Poren adsorbiert, ist der Vorgang reversibel. In Ausstellungsvitrinen stabilisieren daher mit Silikagel gefüllte Kissen die relative Luftfeuchtigkeit.

Um damit ganze Räume zu entfeuchten, wird das Trockenmittel in ein Rad eingepflegt (**Abb. 2**). Die feuchte Luft strömt über das Rad und gibt ihre Feuchtigkeit an das Silikagel ab, bevor sie zurück in den Raum fließt. Nach einer halben Umdrehung regeneriert sich das Silikagel in aufgewärmter, trockener Luft. Diese nun feuchte Luft wird anschließend nach draußen oder in einen anderen Raum abgeführt.

Besser als in Ausstellungsräumen lassen sich empfindliche Dokumente in einem Archiv schützen und lagern. Hier ist die Besucherzahl stark eingeschränkt, und in kleinen Räumen lassen sich spezielle Bedingungen aufrecht erhalten. Das Diamant-Sutra war nur anderthalb Jahre lang in der British Library in London zu bewundern: jede der sieben Seiten für zwei Monate. Heute befinden sie sich sorgfältig, einzeln verpackt in einer speziellen Box im Archiv der British Library, um so womöglich noch weitere tausend Jahre zu überdauern.

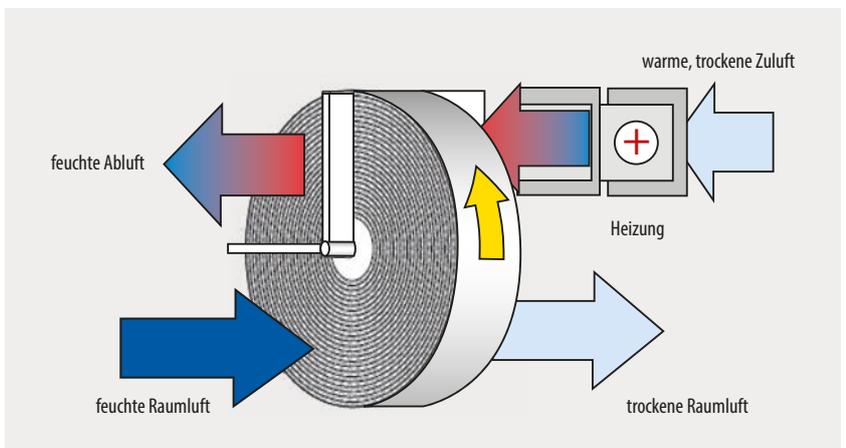


Abb. 2 Ein Adsorptionsentfeuchter leitet feuchte Raumluft durch ein Rad, das mit Trockenmittel gefüllt ist, sodass die Luft „trocknet“. Wenn sich das Rad weiterdreht, trifft das Trockenmittel auf warme Luft, an die es die Feuchtigkeit wieder abgibt.