

## ■ Temperaturen sehen

Bestimmte Materialien zeigen einen temperaturabhängigen Farbwechsel. Die Eigenschaften dieser thermochromen Systeme macht man sich in ganz verschiedenen Anwendungen zunutze.

Eltern kennen das Problem: Steigt der Nachwuchs auf Brei um, besteht die Gefahr, dass er sich am heißen Essen den Mund verbrennt. Findige Hersteller haben da längst Abhilfe geschaffen. Sie bieten Löffel an, die sich verfärben, wenn der Brei zu heiß ist. So sehen die Eltern auf einen Blick, ob das Essen tatsächlich mundgerecht ist. Auch Merchandising-Artikel wie Badeenten oder Tassen zeigen solche Temperaturabhängigkeiten: Kommen sie mit heißem Wasser beziehungsweise einem heißen Getränk in Berührung, verändert sich ihre Farbe oder ein Bildmotiv wird sichtbar. Kühlen sie ab, nehmen sie wieder ihr ursprüngliches Aussehen an. Inzwischen gibt es sogar Kleidung und Möbel, die solche Effekte zeigen.

Hinter dem Phänomen steckt die Thermochromie: Bestimmte Materialien wechseln in Abhängigkeit von der Temperatur ihre Farbe. Beispiele für solche Substanzen sind der rote Rubin, der sich beim Erhitzen grün färbt und beim Abkühlen wieder rot wird, oder Zinkoxid, das bei Raumtemperatur weiß ist und erhitzt gelb wird. Für die industrielle Anwendung der Thermochromie spielen Rubin und Zinkoxid jedoch keine Rolle, hier setzen die Hersteller entweder auf Flüssigkristalle oder auf Leukofarbstoffe.

Ursachen für das thermochrome Verhalten sind temperaturabhängige Veränderungen der Kristall- oder Molekülstruktur geeigneter Substanzen. Im ersten Fall ändert sich die Gitterkonstante und damit auch das Reflexions- und Beugungsvermögen des Materials. Im zweiten Fall ändert sich das Absorpti-



Abb. 1 Bei diesem Batterietester spricht eine dünne Schicht thermochromer Tinte, die auf einem Leukofarbstoff beruht, auf Wärme durch Fingerkontakt an. Je wärmer die Schicht wird, desto transparenter ist sie.



Mit einem Badethermometer erkennen Eltern sofort, ob die Wassertemperatur für ihren Schützling kindgerecht ist. Je nach Temperatur werden unterschied-

liche Symbole auf dem Streifen sichtbar. Hinter dem Phänomen steckt die Thermochromie.

onsverhalten eines großen Moleküls, weil einige seiner intramolekularen Bindungen sich temperaturabhängig öffnen bzw. schließen. Bei vielen Substanzen gehen die thermochromen Eigenschaften sowohl auf die kristalline Struktur als auch auf intramolekulare Vorgänge zurück, etwa bei kristallinen Strukturen organischer Verbindungen.

### Änderungen mit Flüssigkristallen oder Leukofarbstoffen erfassen

Flüssigkristalle mit thermochromen Eigenschaften sind im Prinzip mit Flüssigkristallen in Flachbildschirmen vergleichbar, sprechen allerdings nicht auf Spannungsänderungen, sondern auf Temperaturänderungen an. Sie lassen sich so fertigen, dass sie als dünne Schichten mit steigender Temperatur jeweils andere Wellenlängen selektiv reflektieren. Über einen gewissen Temperaturbereich hinweg durchlaufen solche Materialien also das ganze Spektrum von farblos über rot, gelb, grün und blau – bis sie wiederum farblos werden. Erreichen lässt sich das zum Beispiel – in Analogie zu spannungsgesteuerten Flüssigkristallen – durch eine geordnete Drehung. Dieser Vorgang ist – wie bei einem Flachbildschirm – reversibel.

Formulierungen geeigneter Flüssigkristalle gibt es inzwischen für einen weiten Temperaturbereich von tiefen Minusgraden bis weit über 100 °C. Mit ihnen lassen sich noch Temperaturänderungen von einigen Zehnteln Grad Celsius erfassen. Diese extreme Empfindlichkeit hat ihren Preis: Die industrielle Herstellung thermochromer Flüssigkristalle ist aufwändig und damit teuer. Sehr viel billiger geht es mit Leukofarbstoffen, allerdings sind diese nicht so temperaturempfindlich, weil ihr Farbumschlag auf einer chemischen Reaktion und einer damit einhergehenden Umbildung der Molekülstruktur beruht. Mit Leukofarbstoffen lassen sich aber immerhin noch Temperaturänderungen von einigen Grad Celsius nachweisen. Sie sind zudem widerstandsfähiger als Flüssigkristalle.

Bei Leukofarbstoffen handelt es sich um Systeme, deren Moleküle zwei unterschiedliche Formen annehmen können, von denen die eine farblos ist. Hierfür eignen sich prinzipiell viele organische Verbindungen, welche letztlich die richtige ist, hängt von der konkreten Anwendung ab. Ein solches thermochromes System besteht aus einem Farbstoff in einem geeigneten Lösungsmittel, der mit

einer schwachen Base oder Säure in Wechselwirkung tritt. Die Temperatur bestimmt dann, auf welcher Seite des Säure-Base-Gleichgewichts das System sich gerade befindet. Da es dabei zu einer Umbildung des beteiligten Farbstoffmoleküls kommt, ändert sich das Absorptionsverhalten des Systems und damit seine Farbe. Die Reaktion ist reversibel. Mit starken Säuren oder Basen lassen sich aber auch irreversible Farbveränderungen erzielen, was ebenfalls für einen Sensor interessant sein kann: zum Beispiel um nachzuweisen, dass ein zu kühlendes Produkt einer unerwünscht hohen Temperatur ausgesetzt war.

### Batterien testen

Eine klassische Anwendung der Thermochromie sind Teststreifen von Primärzellen. Mit ihnen kann der Besitzer einer Batterie schnell feststellen, ob sie noch genügend Energie liefern kann. Dazu legt er jeweils einen Finger auf einen Kontaktpunkt und beobachtet, ob eine Farbsäule noch ausreichend lang ist (Abb. 1). Ein solcher Batterietester besteht aus einer dünnen Lage elektrisch leitfähiger Tinte, die entlang eines schmaler werdenden Streifens aufgebracht ist: Das breite Ende des Streifens markiert den Ladezustand „gut“, das schmale Ende den Zustand „schwach“. Fließt nun durch den Fingerkontakt ein elektrischer Strom durch die leitfähige Tintensäule, entsteht aufgrund ihres elektrischen Widerstands Wärme. Über der elektrisch leitfähigen Schicht ist eine Lage aus gewöhnlicher Tinte aufgedruckt – sie sorgt sozusagen

für das Design. Darüber befindet sich dann als dritte Lage eine dünne Schicht thermochromer Tinte, die auf einem Leukofarbstoff beruht. Sie spricht auf die Wärme an: Je wärmer diese thermochrome Tintenschicht wird, desto höher fällt ihre Transparenz aus. Da der Teststreifen sich zum „schwachen“ Ende hin verjüngt, genügt dort schon ein kleiner elektrischer Strom, um die thermochrome Tinte durchsichtig werden zu lassen, dagegen ist am „guten“ Ende ein höherer Strom erforderlich.

Eine weitere klassische Anwendung der Thermochromie sind Streifenthermometer (Abb. 2). In der Medizin dienen sie als einfache Stirnthermometer, an Aquarien überwachen sie die Wassertemperatur, und bei manchen Bierfässern signalisieren sie die richtige Trinktemperatur. Thermolacke wiederum sorgen dafür, dass sich die Oberflächentemperatur von Gegenständen visualisieren lässt, was zum Beispiel für die Sicherheitsüberwachung in der Prozessindustrie von Interesse ist. Um die schnelle Kontrolle von Bauteiltemperaturen geht es auch bei Anwendungen der Thermochromie in der Folien- und Papierherstellung: Wenn tonnenschwere Walzen sich gegeneinander drehen, genügen schon winzige Ungenauigkeiten, dass sich diese unkontrolliert aufheizen. Ein thermochromer Anstrich auf der Walze macht diese gefährliche Erwärmung sichtbar, sodass der Maschinenführer rechtzeitig eingreifen und Schäden an den teuren Bauteilen verhindern

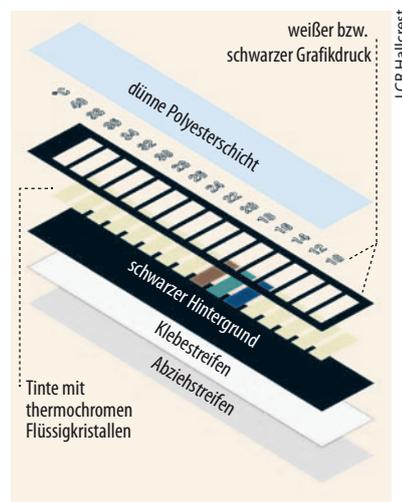


Abb. 2 Streifenthermometer sind mehrlagig aufgebaut. Thermochrome Flüssigkristalle bilden eine der Schichten, um die Temperaturveränderung farblich anzuzeigen. Für die jeweiligen Temperaturintervalle werden dabei unterschiedliche Tinten verwendet. Das komplette System ist nur einige hundert Mikrometer dick.

kann. Ähnliche Signalwirkung haben Schrauben, deren Köpfe mit einem thermochromen Anstrich versehen sind: Lockern sich die Schrauben von Stromschiene, steigt der elektrische Widerstand und damit die Temperatur – was dank der lackierten Schraubenköpfe ohne langes Messen sofort erkennbar ist. Selbst bei Kosmetika finden thermochrome Systeme Verwendung, unter anderem in Skin-Repair-Produkten. Babylöffel und Zaubertasse sind für die Thermochromie also nur die Spitze des Eisbergs.

Michael Vogel