

FAHRENHEITS DAMPFTAFEL VON 1723

Fahrenheit ist – neben *Celsius* und *Réaumur* – vor allem als Schöpfer einer Temperaturskala bekannt, die auch heute noch in englisch sprechenden Ländern in Gebrauch ist. Die 300. Wiederkehr seines Geburtstages – des 24. Mai 1686 – gibt Gelegenheit, sich auch seiner Entdeckung eines grundlegenden thermodynamischen Phänomens zu erinnern, der Druckabhängigkeit der Siedetemperatur von Flüssigkeiten, die ihm bei der Kalibrierung seiner Quecksilberthermometer bekannt wurde.

U. Grigull, München *)

Vorgeschichte

Daniel Gabriel Fahrenheit wurde als Sohn einer wohlhabenden Danziger Kaufmannsfamilie geboren. Pläne, ihn wegen guter Schulleistungen auf ein Danziger Gymnasium zu schicken, ließen sich nicht verwirklichen, da beide Eltern 1701 durch einen Unglücksfall ums Leben kamen. Die vom Rat der Stadt Danzig eingesetzten Vormünder entschieden, daß *Daniel Gabriel*, als ältester von fünf Geschwistern, die väterliche Tradition fortsetzen und Kaufmann werden sollte. Sie schickten den Sechzehnjährigen zu einer befreundeten Firma

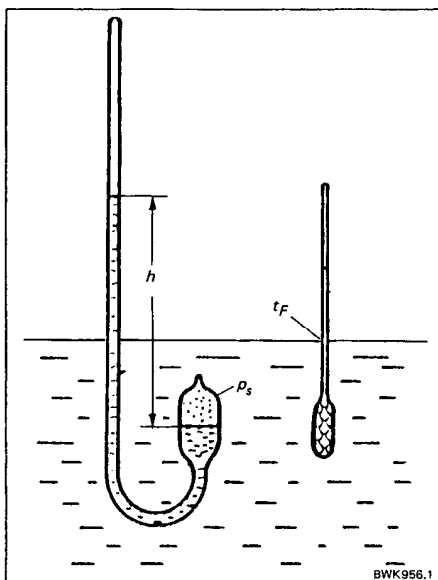


Bild 1: Glasapparatur zur Messung von Dampfdrücken

h Höhe der Quecksilbersäule,
 p_s Sättigungsdruck
 t_F Fahrenheittemperatur
Das linke Rohr ist etwa 1,3 m lang

Tabelle 1: Fahrenheit's Dampfdruckmessungen von Wasser, 1723

t_F	h	p_s	t_s	$p_s^{1/4}$
°F(206)	lignes	mbar	°C	mbar ^{1/4}
128	49½	148,5	55,2	3,49
144	80¼	240,7	64,4	3,94
152	97½	292,9	68,9	4,14
160	119	356,9	73,6	4,35
168	145¼	434,9	78,2	4,57
176	176	527,9	82,8	4,79
184	210½	631,4	87,4	5,01
192	249¼	747,9	91,9	5,23
200	292¼	876,5	96,6	5,44
207	333¼	999,8	100,6	5,62

*) Prof. Dr.-Ing. U. Grigull, Lehrstuhl A für Thermodynamik, Technische Universität München

nach Amsterdam in die Lehre. Während seines Amsterdamer Aufenthalts setzte sich bei Fahrenheit der Entschluß fest, nicht Kaufmann zu werden, sondern meteorologische Instrumente – vor allem Thermometer und Barometer – herzustellen, womit er in den Jahren 1706 oder 1707, also mit 20 oder 21 Jahren, beginnen haben muß.

Diese Weingeist-in-Glas-Thermometer fanden weite Verbreitung deswegen, weil sie miteinander übereinstimmten. Der Kunstgriff Fahrenheit's – das „affinium“ – bestand darin, daß er seine Skala von Anfang an durch reproduzierbare Fixpunkte definierte und damit den übrigen professionellen Thermometermachern überlegen war. Seine Skala verbreitete sich rasch zusammen mit seinen Thermometern als deren Nebenprodukt vor allem in England, wo er 1724 zum „Fellow of the Royal Society of London“ ernannt wurde. Während seines Aufenthalts in Berlin in den Jahren 1713/14 begann er probeweise mit der Herstellung von Quecksilber-in-Glas-Thermometern, die er ab 1717 in Amsterdam gewerbsmäßig fabrizierte.

Bei einem Vergleich zwischen Weingeist- und Quecksilberthermometern wurden Differenzen in den Anzeigen festgestellt, auch wenn beide Thermometer an den gleichen Fixpunkten kalibriert waren. Auf der Suche nach den Ursachen machte *Fahrenheit* zwei wichtige Entdeckungen: er fand, daß die Anzeige eines Quecksilberthermometers von der Glassorte abhängt, und daß die Temperatur des Siedepunktes von Wasser, der ihm später als Fixpunkt diente, sich mit dem Luftdruck ändert. Über diese zweite Entdeckung wird im folgenden berichtet.

Dampfdruckmessungen

Im April 1723 unternahm *Fahrenheit* Versuche über die „Elastizität“ von Wasserdampf unter dem Einfluß verschiedener Wärmegrade [1]. Die dazu verwendete Glasapparatur ist in Bild 1 wiedergegeben. Das linke Rohr ist ein Barometer nach *Torricelli* von einer Länge von 1,3 m. Der rechte Zylinder ist mit Wasser gefüllt, das vor dem Zuschneiden längere Zeit zum Sieden gebraucht wurde, um die Luft auszutreiben. Die Höhe der Quecksilbersäule wird dem Dampfdruck p_s durch die Gleichgewichtsbedingung der Quecksilbersäule h gehalten. Die Umgebungstemperatur betrug etwa 15 °C. Die zehn von *Fahrenheit* aufgenommenen Messungen

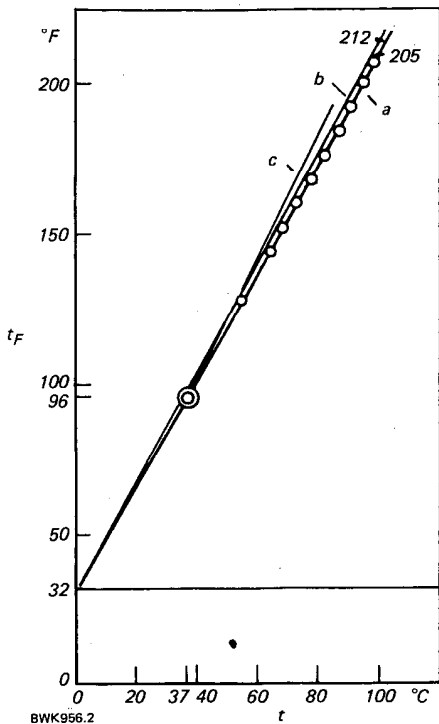


Bild 2: t_F, t -Diagramm mit den Dampfdruckmessungen Fahrenheit's (Kreise)
Gerade a für $t'_F = 205^\circ\text{F}$
Gerade b für $t'_F = 212^\circ\text{F}$
Kurve c extrapolierte Weingeistskala

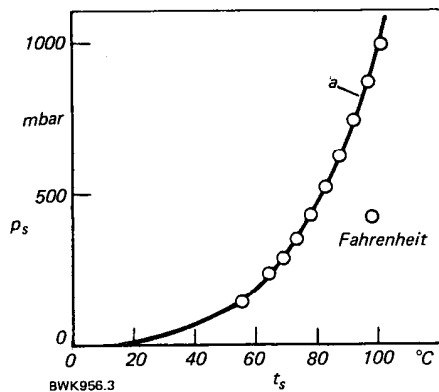


Bild 3: Fahrenheit's Meßwerte im Vergleich mit der heutigen Dampfdruckkurve a

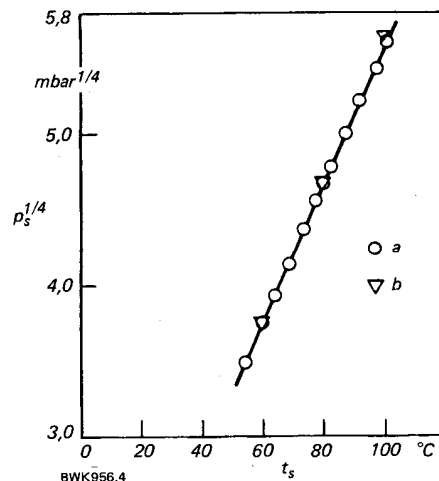


Bild 4: $p_s^{1/4}$ als Funktion der Sättigungstemperatur t_s nach Fahrenheit
a Fahrenheit's Meßwerte
b heutige Werte.

zeigt Tabelle 1. Die Höhe h wurde in Pariser Linien angegeben (1 ligne = 1/12 pouce = 2,256 mm).

Wie aus Fahrenheit's Briefen an Boerhave hervorgeht [1], könnte er um 1723 zwei verschiedene Skalen für seine Quecksilberthermometer verwendet haben [2]. Die eine wäre eine lineare Skala mit den Fixpunkten der früheren Weingeistskala, 32°F für den Eispunkt (0°C) und 96°F für die Körpertemperatur (37°C), zu der die Temperatur $t'_F \approx 205^\circ\text{F}$ für den normalen Wassersiedepunkt (100°C) gehört. Die andere wäre eine ebenfalls lineare Skala mit den Fixpunkten 32°F für den Eispunkt und $t'_F \approx 212^\circ\text{F}$ für den Wassersiedepunkt, bei welcher die Körpertemperatur nicht mehr Fixpunkt ist. Die zweite Skala entspricht der heutigen bis auf die noch fehlende Vorschrift für den Luftdruck. Zur Auswertung der von Fahrenheit angegebenen Meßwerte in Tabelle 1 muß die verwendete Skala bekannt sein.

Zur Entscheidung dieser Frage haben wir in Bild 2 die 10 Meßpunkte in ein t_F, t -Diagramm eingetragen mit t_F als Fahrenheit- und t als Celsiusstemperatur. Die Ordinaten sind die Fahrenheittemperaturen der linken Spalte der Tabelle 1. Als Abszissen wurden jene Celsiusstemperaturen verwendet, die den gemessenen Dampfdrücken nach heutiger Auffassung entsprechen. Die Höhen h der Quecksilbersäule wurden dazu hinsichtlich der Raumtemperatur korrigiert, d.h. mit dem Dichteverhältnis von Quecksilber $(\rho_{15}/\rho_0)_{\text{Hg}} = 0,997271$ multipliziert. In Bild 2 sind noch die Gerade a mit $t'_F = 205^\circ\text{F}$ und die Gerade b mit $t'_F = 212^\circ\text{F}$ eingetragen, mit der einheitlichen Celsiusstemperatur für den Wassersiedepunkt von 100°C .

Wie man erkennt, liegen die Meßpunkte näher an der Geraden a. Die beste Wiedergabe erhält man mit $t'_F = 206^\circ\text{F}$. Diese Skala wurde zur Auswertung verwendet und die zugehörige Einheit in Tabelle 1 mit $^\circ\text{F}(206)$ bezeichnet.

Die so gefundenen Sättigungswerte wurden in Bild 3 mit der heutigen Dampfdruckkurve verglichen. Die Übereinstimmung ist sehr befriedigend. Fahrenheit zeigt außerdem, daß die Werte $p_s^{1/4}$ der Sättigungstemperatur t_s im Meßbereich proportional seien. Das ist, wie aus Bild 4 hervorgeht, weitgehend erfüllt.

Die Druckabhängigkeit der Siedetemperatur von Flüssigkeiten ist eine grundlegende thermodynamische Beziehung, deren Bedeutung weit über die Thermometrie hinausgeht. Fahrenheit dürfte als einer der ersten die thermodynamischen Daten des Sättigungszustandes gemessen haben. Insofern wäre Tabelle 1 die älteste Dampf tabel.

Hypsobarometer

Die von Fahrenheit entdeckte Beziehung zwischen Siedetemperatur und Barometerstand ist ihm in ihren Anwendungen durchaus bewußt geworden. So schlägt er vor, Höhen von Bergen oder Tiefen von Schächten mit Hilfe von Thermometern zu bestimmen, ebenso den Barometerstand auf See, wo die Anwendung von Barometern wegen der Schiffsbewegungen schwierig ist. Hierfür

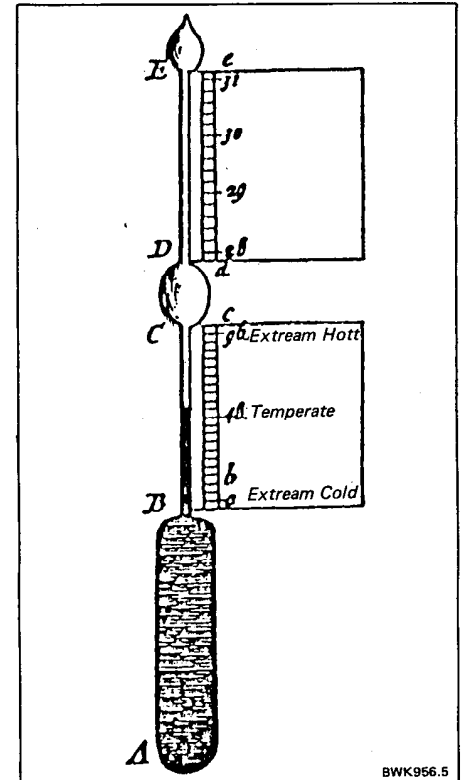


Bild 5: Hypsobarometer nach Fahrenheit, 1724; die Skala bc ist in Grad Fahrenheit, die Skala de in inches of mercury kalibriert

beschreibt er ein Hypsobarometer [3], das ein Quecksilberthermometer mit zwei verschiedenen Skalen ist, Bild 5. Die untere Skala (bc) dient zur Temperaturmessung zwischen 0°F (Extream Cold) und 96°F (Extream Hott). Taucht man das Thermometer in siedendes Wasser, so zeigt die obere Skala (de) die Siedetemperatur. Man kann aber, wie Bild 5 zeigt, diese Skala auch in Einheiten des barometrischen Drucks beschriften, bei unserem Beispiel zwischen 28 und 32 inches of mercury. Es ist aber nicht bestätigt, daß ein solches Instrument auch wirklich gebaut worden ist.

Schrifttum

- [1] van der Star, P.: Fahrenheit's Letters to Leibniz and Boerhave. Leiden u. Amsterdam: Rodopi 1983
- [2] Grigull, U.: Fahrenheit, a Pioneer of Exact Thermometry. Proc. 8th Intern. Heat Transfer Conf. (in Vorbereitung)
- [3] Fahrenheit, D.G.: Barometri novi descriptio (Beschreibung eines neuen Barometers). Phil. Trans. London 33 (1724), S. 179/180. Deutsche Übers. von A.J. v. Oettingen: Abh. über Thermometrie. Leipzig: Engelmann 1894, S. 17/18

BWK 956