

nach der alten Methode und in einem Falle auch die nach W i n d i s c h berechneten Salze angeführt. Um die ganze Rechnung nicht unnötigerweise zu erschweren, haben wir sie auf nur 3 Kationen und 3 Anionen beschränkt und K und Na als Na zusammengefaßt, Kiesel säure und Ammonium dagegen wegen ihrer geringen Mengen ganz vernachlässigt. Es wurden also immer nur Mg, Ca, CO₃, SO₄ und Cl bestimmt. Na wurde rechnerisch eingesetzt. Aus den 3 Kationen und 3 Anionen ergeben sich nach der Dissoziationstheorie neun mögliche Salze. Was die Berechnung der Salze anbelangt, so wurde folgendermaßen verfahren. Stehen z. B. die Milligrammäquivalente von Mg, Ca und Na, wie beim Weserwasser vom 20. 8. 23 im Verhältnis von 3,347 : 4,075 : 6,879, so werden sie in diesem Verhältnis auch die Milligrammäquivalente jedes der 3 Anionen zur Salzbildung beanspruchen müssen. Bindet also Mg von den Milligrammäquivalent-Zahlen jedes Anions 3,347 Teile, so wird demnach Ca 4,075 und Na 6,879 Teile binden. Wir müssen also alle 3 Anionen nach diesem Verhältnis teilen und die zugehörigen Teilwerte eines jeden Anions mit dem betreffenden Kation verbinden. Man kann natürlich auch umgekehrt von den Anionen ausgehen und die Milligrammäquivalente der Kationen in dem Verhältnis der Anionen teilen und die entsprechenden Teilwerte der Kationen mit jedem Anion verbinden; das Endresultat ist in beiden Fällen dasselbe. Wenn wir also die im Wasser in Frage kommenden möglichen Salze kennenzulernen wollen, so kann unseres Erachtens nur die von uns angegebene Berechnungsart herangezogen werden. Grünhut³⁾ führt als Beispiel für die Unrichtigkeit der alten Berechnungsart die Analyse von ein und demselben Wasser an, das jedoch zu verschiedenen Zeiten geschöpft worden ist. Nach der alten Berechnungsart ergeben sich die Unterschiede im Salzgehalt, die auf eine Veränderung des Wassers hinweisen, während nach der Ionenberechnung beide Wässer als identisch zusammengesetzt angesehen werden müssen. Selbstverständlich würde das letztere Resultat auch nach der von uns angeregten Berechnung erhalten werden.

[A. 13.]

Gesetzliche Temperatur — gesetzliche Wärmemenge.

Von Dr. FRIEDRICH AUERBACH, Berlin.

(Eingeg 21.1. 1925.)

Es ist in den Kreisen der Wissenschaft und Technik vielleicht nicht allgemein beachtet worden, daß wir seit einigen Monaten durch ein Reichsgesetz einen wichtigen Fortschritt auf dem Gebiete des Meßwesens erreicht haben, einen Fortschritt, der manchem unwe sentlich erscheinen mag, dem aber eine nicht zu unterschätzende ökonomische, rechtliche, ja auch gesundheitliche Bedeutung zukommt, und der auch bei den Chemikern, mögen sie der reinen Wissenschaft oder ihren Anwendungen dienen, sorgfältige Beachtung verdient.

Schwer genug ist uns dieser Schritt gefallen! Wir schütteln manchmal den Kopf über die sonst so praktischen Engländer, weil sie sich noch immer nicht von ihren umständlichen und unübersichtlichen Maß-, Gewichts- und Münzverhältnissen zum Dezimalsystem durchgerungen haben. Aber ist es etwa vernünftiger, wenn zwei Deutsche sich über das Wetter des Tages nicht einigen können, weil der eine an seinem Fenster ein Réaumur-, der andere ein Celsiusthermometer hängen hat? Oder wenn das Kindermädchen beim Anrichten des Bades sich nicht zu helfen weiß, weil

das Badethermometer links andere Zahlen zeigt als rechts? Wenn die Mieter eines Hauses mit dem Vermieter streiten, weil sie im Mietvertrag die Erwärmung der Zimmer durch die Sammelheizung auf 17° und die des Warmwassers auf 55° ausbedungen haben und jede der beiden Parteien etwas anderes darunter versteht? Wenn die Fabrikanten und Händler zahlreiche Thermometersorten in dreierlei Ausführung — mit Teilung nach Réaumur, nach Celsius und nach beiden Skalen — beschaffen und auf Lager halten müssen? Wenn der Schulunterricht in der Wärmelehre damit anfängt, daß die Schüler lernen müssen, Grade Celsius, Réaumur und Fahrenheit ineinander umzurechnen? Jahrzehntelang hat man sich bemüht, durch Verwaltungsmaßnahmen diesen Unfug aus der Welt zu schaffen; aber wenn auch Réaumurthermometer längst nicht mehr amtlich geprüft werden und in Krankenhäusern und anderen öffentlichen Anstalten nicht benutzt werden dürfen, so erhielten sie sich doch hartnäckig im privaten Gebrauch und in manchen Gewerben, namentlich in den Brauereibetrieben und den zugehörigen Laboratorien. Erst die nach dem Niederbruch Deutschlands kräftig einsetzenden Normalisierungsbestrebungen — als Mittel zur Verbilligung und Vereinfachung der Produktion — gaben den entscheidenden Anstoß, indem der Normenausschuß der Deutschen Industrie (durch seinen Ausschuß für Druck- und Wärmemessung) gemeinsam mit dem Deutschen Verband technisch-wissenschaftlicher Vereine bei der Reichsregierung unter eingehender Begründung eine gesetzliche Regelung dieser Frage beantragte. Auch jetzt noch waren manche Schwierigkeiten innerhalb der Behörden zu überwinden, und es vergingen noch drei Jahre, bis der Gesetzentwurf eine allen Instanzen zusagende Fassung erhalten hatte. Dafür konnte der Reichstag in wenigen Minuten das Gesetz verabschieden, das nun endlich für die Wärmelehre und Wärmewirtschaft den Zustand schafft, der für Mechanik und Elektrizität schon lange besteht. Sind doch seit mehr als einem halben Jahrhundert die Einheiten der Länge, der Fläche und des Raumes, der Masse und des Gewichts in Deutschland gesetzlich festgelegt, seit mehr als 20 Jahren auch die Einheiten der Stromstärke, der Spannung und der Energie.

Auf dem Gebiete der thermischen Messungen handelt es sich um zwei zu messende Größen, die Wärmemenge und die Temperatur, jene von der Dimension einer Energiemenge, diese deren Intensitätsfaktor. (Der andere, der Kapazitätsfaktor der thermischen Energie, die Entropie, spielt für unmittelbare Messungen keine Rolle).

Eine Einheit der Wärmemenge besonders festzusetzen, wäre eigentlich entbehrlich gewesen; denn, wie eben erwähnt, besitzen wir schon lange eine gesetzliche Einheit der Energie, die Wattstunde, und im Sinne des Gesetzes der Erhaltung der Energie ist es gleichgültig, ob die Energie in Form von mechanischer oder elektrischer Arbeit oder von Wärme gewonnen und gemessen wird. In der Tat ist auch diese Einheit oder vielmehr ihr tausendfacher Wert, die Kilowattstunde (kWh) im Gesetze als eine Einheit für die Messung von Wärmemengen aufgestellt. Aber da erfahrungsgemäß in weiten Kreisen der Technik mit „Watt“ immer nur ein elektrischer Begriff verknüpft wird (so daß es unendliche Mühe macht, bei der Bemessung mechanischer Leistungen die altmodische Pferdestärke durch das Kilowatt zu verdrängen) und da ferner in zahllosen und vielseitig benutzten Tabellenwerken Wärmemengen fast durchweg in der spezifischen thermischen Einheit, der Calorie ausgedrückt sind, so läßt auch das Gesetz neben der Kilowattstunde die Kilocalorie (kcal) als Einheit der Wärmemenge zu. Bekanntlich wird die Calorie in verschiedener Weise

³⁾ Grünhut, Nahrungsmittelchemie in Vorträgen, S. 498.

definiert und hat dementsprechend etwas verschiedene Werte, je nachdem man die Erwärmung des Wassers von 0° auf 1° , von $3,5^\circ$ auf $4,5^\circ$, von $14,5^\circ$ auf $15,5^\circ$, von 18° auf 19° oder von 0° auf 100° zugrunde legt. Das Gesetz hat unter diesen Einheiten die 15° -Calorie gewählt. Hoffentlich wird sich auch das nunmehr amtliche Einheitszeichen kcal durchsetzen! Die bisherige verschiedene Schreibweise für „große“ und „kleine“ Calorien hat nur zu häufig Mißverständnisse hervorgerufen.

Da die beiden nebeneinander geltenden Einheiten der Wärmemenge, die Kilowattstunde und die Kilocalorie, auf ganz verschiedenartigen Messungsverfahren, einerseits elektrischen, andererseits thermischen, beruhen, ist auch ihr gegenseitiges Verhältnis mit einer für praktische Zwecke genügenden Annäherung im Gesetz festgelegt, indem gesagt wird, daß $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$ „gleich zu erachten ist“, eine Zahl, die sich leicht aus dem mechanischen Wärmeäquivalent ($1 \text{ } 15^\circ\text{-Calorie} = 4,186 \cdot 10^7 \text{ erg} = 4,186 \text{ Wattsekunden}$) ableiten läßt.

Viel schwieriger war die Festlegung des anderen thermischen Maßes, der Temperatur¹⁾. Längenmaße und Masseneinheiten lassen sich bei geeigneter Wahl des Materials und der Lagerungsbedingungen jahrhundertelang unveränderlich aufbewahren und als Normalmaße verwenden. Eine Temperatur läßt sich nur dadurch definieren, daß man genaue Bedingungen angibt, um sie immer wieder herzustellen. Das ist bekanntlich besonders einfach für den Schmelzpunkt und den Siedepunkt des Wassers unter gewissen Normalbedingungen, und so kamen natürlich diese beiden Fixpunkte, die das hundertteilige Thermometer begrenzen, auch für die gesetzliche Festlegung der Temperatur in erster Linie in Betracht. Aber damit ist noch nichts über die Art der Teilung zwischen diesen beiden Punkten und oberhalb und unterhalb derselben gesagt. Die ursprüngliche Teilung nach Celsius setzte die gleichmäßige Ausdehnung des Quecksilbers voraus. Bekanntlich hat man später die Einteilung der Skale auf die viel gleichmäßigeren thermischen Ausdehnung der Gase oder besser auf ihre thermische Druckzunahme bei konstantem Volumen gegründet, bis man schließlich wegen der Abweichungen der realen Gase von den einfachen Gasgesetzen dazu überging, die Zustandsänderungen eines „idealen Gases“ (wie es nur innerhalb gewisser Grenzen sich verwirklichen läßt) der Thermometrie zugrunde zu legen. Da die so gewonnene Teilung auch aus den Gesetzen der Thermodynamik sich ableiten läßt, wird sie die „thermodynamische Skale“ genannt²⁾. Natürlich wäre es ausgeschlossen, die einzelnen Thermometer auf diesem Wege herzustellen oder auch nur zu prüfen; vielmehr müssen nach den „thermodynamischen Temperaturen“ Normalthermometer anderer Art hergestellt und mit diesen die einzelnen, praktisch gebrauchten Thermometer verglichen werden. Hierüber werden weiter unten noch einige Worte zu sagen sein.

Zunächst seien hier die wichtigsten Bestimmungen

¹⁾ Die nun amtlich anerkannte Bezeichnung „Temperatur“ wird hoffentlich vor weiteren Verdeutschungsversuchen verschont bleiben. Selbst in wissenschaftlichen Abhandlungen liest man häufig „die Wärme der Luft“! Und doch weiß jede Hausfrau, daß ein kleiner und ein großer Topf heißen Wassers von gleicher „Temperatur“ ganz verschiedene Mengen „Wärme“ enthalten. Aber ebenso unglücklich ist die Verdeutschung „Wärme-grad“, weil sie zu einer Verwechslung von Größe und Einheit führt: Temperatur ist die zu messende Größe, Grad deren Einheit.

²⁾ Vgl. hierzu F. Henning, Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung. Vieweg. Braunschweig 1915.

des „Gesetzes über die Temperaturskale und die Wärmeeinheit“ vom 7. August 1924 (Reichsgesetzbl. S. 679) wiedergegeben:

„§ 1. Die gesetzliche Temperaturskale ist die thermodynamische Skale mit der Maßgabe, daß die normale Schmelztemperatur des Eises mit 0° und die normale Siedetemperatur des Wassers mit 100° bezeichnet wird.

Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt hat diese Temperaturskale festzulegen und bekanntzumachen.

„§ 2. Die gesetzlichen Einheiten für die Messung von Wärmemengen sind die Kilocalorie (kcal) und die Kilowattstunde (kWh).

Die Kilocalorie ist diejenige Wärmemenge, durch welche 1 kg Wasser bei Atmosphärendruck von $14,5^\circ$ auf $15,5^\circ$ erwärmt wird.

Die Kilowattstunde ist gleichwertig dem Tausendfachen der Wärmemenge, die ein Gleichstrom von 1 gesetzlichem Ampere in einem Widerstand von 1 gesetzlichem Ohm während einer Stunde entwickelt, und ist 860 kcal gleich zu erachten.

„§ 3. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt setzt fest, um wieviel die Angaben der Meßgeräte, die auf den gesetzlichen Einheiten nach § 1 und § 2 beruhen, von den Sollwerten abweichen dürfen.

„§ 4. Im geschäftlichen Verkehr, insbesondere bei Ausübung eines Berufs oder Gewerbes, sind für die Bestimmung und Messung von Temperaturen und Wärmemengen die gesetzlichen Einheiten (§§ 1, 2) maßgebend. Die Verwendung von Meßgeräten, die größere als die zulässigen Abweichungen (§ 3) aufweisen, ist verboten.

Gleiches gilt, soweit Behörden oder der Öffentlichkeit dienende Einrichtungen in Erfüllung ihrer Aufgaben Temperaturen oder Wärmemengen zu bestimmen oder zu messen haben.

Der Reichsminister des Innern ist ermächtigt, gemeinsam mit dem Reichswirtschaftsminister unter Zustimmung des Reichsrats Vorschriften darüber zu erlassen, wie weit die im Abs. 1 bezeichneten Meßgeräte amtlich beglaubigt oder einer wiederkehrenden amtlichen Überwachung unterworfen sein sollen.

„§ 5. Für die Prüfung und Beglaubigung der Meßgeräte ist die Physikalisch-Technische Reichsanstalt zuständig.

Der Reichsminister des Innern kann die Befugnis zur Prüfung und Beglaubigung andern Stellen übertragen. Alle für die amtliche Prüfung dienenden Normalgeräte müssen durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt beglaubigt sein.“

„§ 6 überträgt der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt die Aufsicht und Überwachung des Prüfwesens, § 7 enthält die Strafbestimmungen, § 8 läßt das Gesetz im allgemeinen sofort, die Verbote und Strafen der §§ 4 und 7 aber erst nach Jahresfrist in Kraft treten.“

So darf man hoffen, daß in kurzer Frist in Handel und Gewerbe, in Badeanstalten und Schulen, in Heiz- und Kühlräumen nur noch hundertteilige Thermometer anzu treffen sein werden, und zwar solche, deren Fehler das zulässige Maß nicht überschreiten. Zwar ist die Festsetzung der duldbaren Fehlertoleranzen der ungeprüften Thermometer (nach § 3 des Gesetzes) bisher noch nicht erfolgt. Aber im übrigen hat die Physikalisch-Technische Reichsanstalt eingehende Ausführungsbestimmungen erlassen, die in der „Bekanntmachung über die gesetzliche Temperaturskale und die Prüfung von Thermometern“ vom 20. September 1924³⁾ veröffentlicht sind und für den Chemiker beson-

³⁾ Reichsministerialbl., S. 335; vgl. auch Ann. d. Phys. [4] 75, 853 [1924].

deres Interesse bieten. Wohl selten wird eine gesetzliche Anordnung den Niederschlag einer solchen Fülle langjähriger exakterer, rein wissenschaftlicher Arbeit enthalten wie der I. Abschnitt dieser Bekanntmachung, der die Temperaturskale festlegt.

Die Reichsanstalt ist dabei so vorgegangen, daß sie einerseits eine Reihe von Fixpunkten — außer den beiden schon im Gesetz selbst genannten — festlegt, anderseits Verfahren und Formeln angibt, wie zwischen diesen Fixpunkten und darüber hinaus die Temperatur zu messen ist. Die Fixpunkte sind hierunter zusammengestellt; die mit einem Sternchen bezeichneten sind solche „zweiter Ordnung“, d. h. sie dienen nicht zur unmittelbaren Festlegung der Skale. Vorausgeschickt sei, daß der normale Schmelzpunkt des Eises sich ebenso wie alle anderen Schmelzpunkte (Smp.), Erstarrungspunkte (Ep.) und Umwandlungspunkte (Up.) auf den Druck der normalen Atmosphäre von 760 mm Quecksilbersäule, gemessen bei der Dichte 13,595 und der Schwerbeschleunigung von 980,665 cm/sec², bezieht; bei den Siedepunkten (Sdp.) und Sublimationspunkten (Sbp.) ist der Einfluß des Druckes (p mm Quecksilbersäule) durch Interpolationsformeln berücksichtigt, die zwischen 680 und 780 mm Quecksilbersäule (bei Naphthalin und Benzophenon zwischen 750 und 760 mm) gelten.

Fixpunkte:

| | | | |
|--|----|----------------------|---|
| 1. Sdp. von O ₂ | :- | 183,00° | + 0,0126 (p - 760) |
| 2. Sdp. " CO ₂ | :- | 78,50° | + 0,01595 (p - 760) ² |
| 3. Smp. " Hg | :- | 38,87° | - 0,000011 (p - 760) ² |
| 4. Smp. " H ₂ O | :- | 0,000° | |
| *5. Up. " Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O | :+ | 32,38° | |
| 6. Sdp. " H ₂ O | :+ | 100,000° | + 0,0367 (p - 760) - 0,000023 (p - 760) ² |
| *7. Sdp. " C ₁₀ H ₈ | :+ | 217,9 ₀ ° | + 0,058 (p - 760) |
| *8. Ep. " Sn | :+ | 231,8 ₀ ° | |
| *9. Sdp. " (C ₆ H ₅) ₂ CO | :+ | 305,9 ₀ ° | + 0,063 (p - 760) |
| *10. Ep. " Cd | :+ | 320,9 ₀ ° | |
| *11. Ep. " Zn | :+ | 419,4 ₅ ° | |
| 12. Sdp. " S | :+ | 444,60° | + 0,0909 (p - 760) - 0,000048 (p - 760) ² |
| *13. Ep. " Sb | :+ | 630,5 ₀ ° | |
| 14. Ep. " Ag | :+ | 960,5 ₀ ° | |
| 15. Smp. " Au | :+ | 1063° | |
| *16. Ep. " Cu | :+ | 1083° | |
| *17. Smp. " Pd | :+ | 1557° | |
| *18. Smp. " Pt | :+ | 1770° | |
| *19. Smp. " W | :+ | 3400° | |

Zur Festlegung der übrigen Skalenteile werden drei verschiedene Meßgeräte vorgeschrieben: für die tieferen Temperaturen das Platin-Widerstandsthermometer, für mittlere das Thermoelement, für die höchsten das optische Pyrometer.

Für den Widerstand R eines reinen Platingrades gilt zwischen -193° und 0° die Interpolationsformel:

$$R_t = R_0 (1 + a_1 t + b_1 t^2 + c_1 t^3),$$

deren 4 Konstanten R₀, a₁, b₁, c₁ für jedes einzelne Widerstandsthermometer durch Eichung bei den Fixpunkten Nr. 1, 2, 3, 4 zu bestimmen sind. Zwischen 0° und +630,5° gilt:

$$R_t = R_0 (1 + a_2 t + b_2 t^2),$$

deren Konstanten R₀, a₂, b₂ durch Eichung bei den Fixpunkten Nr. 4, 6, 12 zu bestimmen sind.

Das Thermoelement soll zwischen den Fixpunkten Nr. 13 und 15 benutzt werden und aus Pt gegen eine Legierung von Pt mit 10% Rh bestehen; wenn sich die eine Lötstelle in schmelzendem Eise befindet, berechnet sich die Temperatur der anderen Lötstelle aus der elektromotorischen Kraft E des Elementes nach der Formel:

$$E = a_3 + b_3 t + c_3 t^2 + d_3 t^3,$$

deren Konstanten a₃, b₃, c₃, d₃ durch Eichung des Thermoelementes bei den Fixpunkten Nr. 11, 13, 14, 15 zu ermitteln sind.

Oberhalb des Goldschmelzpunktes ist das optische Pyrometer nach dem Verfahren der Isochromaten⁴⁾ zu benutzen, d. h. es wird die von einem schwarzen Körper bei der Temperatur t ausgesandte Helligkeit H_t einer bestimmten Spektralfarbe von der Wellenlänge λ (in cm) verglichen mit seiner Helligkeit H_{Au} bei der Temperatur des schmelzenden Goldes. t berechnet sich dann nach der Formel:

$$\ln \frac{H_t}{H_{Au}} = \frac{1,43}{\lambda} \left(\frac{1}{1336} - \frac{1}{t + 273} \right).$$

Die in diesen Vorschriften — einige Zusätze und Erläuterungen sind hier weggelassen — gegebenen Anhaltpunkte fassen den neuesten Stand der Grundlagen der Thermometrie zusammen und sind daher auch unabhängig von ihrem besonderen Zweck von grösster Bedeutung.

Der II. Abschnitt der Bekanntmachung enthält die „Prüfung“ und stellt unter anderem die Anforderungen fest, die an prüffähige Flüssigkeitsthermometer zu stellen sind. Sie erstrecken sich auf die Beschaffenheit des Glases, die Form der Capillare, die Reinheit des Quecksilbers oder der sonstigen Flüssigkeit, auf eine Gasfüllung über der Flüssigkeit, die Art der Teilstriche und das Maß der Unterteilung, die Befestigung der Skale, Maximum- und Minimum-Vorrichtungen, Aufschriften usw. Ein geprüftes Thermometer wird beglaubigt, wenn es die folgenden Fehlergrenzen innehält:

| Skalenumfang Grad | Skaleneinteilung | | | | mehrf. Grad |
|----------------------|---------------------|-------------------------|------------------|--|----------------|
| | 1/100, 1/50 Grad | 1/20, 1/10, 1/5 Grad | 1/2, 1/1 Grad | | |
| - 190 bis + 20 | — | 1 | 3 | | — |
| - 80 " + 20 | — | 0,5 | 1 | | — |
| - 30 " + 100 | 0,05 | 0,25 | 0,5 | | — |
| - 5 " + 200 | — | 0,5 | 1 | | — |
| - 5 " + 300 | — | 1 | 2 | | — |
| - 5 " + 400 | — | — | 3 | | 5 |
| - 5 " + 700 | — | — | 5 | | 10 |

Solchen Thermometern wird der Reichsadler, das Zeichen PTR oder das einer andern, von der Reichsanstalt beaufsichtigten Thermometerprüfstelle, eine laufende Nummer und die Jahreszahl aufgeätzt. Thermometer, deren Fehler nur bis zur Hälfte der obigen Grenzen gehen, werden als „Präzisionsinstrumente“ durch einen fünfstrahligen Stern gekennzeichnet. Im übrigen wird entweder der grösste beobachtete Fehler aufgeätzt oder auf Antrag ein Prüfungsschein beigegeben, der die Fehler des Instrumentes an den geprüften Punkten enthält.

Die Prüfung und Beglaubigung von Fieberthermometern ist bekanntlich durch ein besonderes Gesetz geregelt.

[A. 14.]

Nachdenkliches zum 150. Geburtstag von André Marie Ampère¹⁾.

(Eingeg. 30.1. 1925.)

Manches in den zahlreichen Gedenkaufsätzen der großen Tagespresse vor und am 22. Januar d. J. kann nicht ohne Widerspruch und Berichtigung bleiben. Vor allem z. B. „... und noch viel weiterhin sichtbar ist das Denkmal, das die Wissenschaft ihm errichtete, indem sie eines der wichtigsten elektrischen Maße, das für die

⁴⁾ Vgl. hierzu das oben angeführte Buch von Hennig.

¹⁾ Nach Darlegungen des Unterzeichneten in der „Ges. f. Gesch. d. Naturw. usw. am Niederrhein“, am 13. 2. 1925.