

## Über den Gehalt der atmosphärischen Feuchtigkeit an schwerem Wasser.

Von Kenzo OKABE und Toshizo TITANI.

(Eingegangen am 24. November 1936.)

Wir haben das spezifische Gewicht bzw. den Gehalt des durch vollständige Kondensation der atmosphärischen Feuchtigkeit unter verschiedenen Bedingungen gewonnenen Wassers an schwerem Wasser festgestellt und dieses Feuchtigkeitswasser hinsichtlich dieser Eigenschaften mit gewöhnlichem Wasser verglichen. Die Messergebnisse sind zusammen mit den Bedingungen bei der Sammlung der Proben in der beiliegenden Tabelle wiedergegeben.

**Sammlung des Feuchtigkeitwassers.** Bei den Versuchen von Nr. 1 bis 16 wurde die ausserhalb des Laboratoriums aufgenommene atmosphärische Luft mittels einer Wasserstrahlpumpe in mit Kohlensäureschnee-Petroleumäther-Gemisch abgekühlte leere Waschflaschen eingesaugt. Dazu wurden sechs Waschflaschen von je 15 cm. Höhe und 3 cm. l. W. benutzt, die bei den Versuchen von Nr. 1 bis 13, wie Schema Abb. a zeigt, in drei Reihen von je zwei nebeneinander angeordnet wurden. Dagegen wurden bei den Versuchen Nr. 14 bis 16 alle sechs Flaschen in einer Reihe nebeneinander gestellt (vgl. Abb. b).

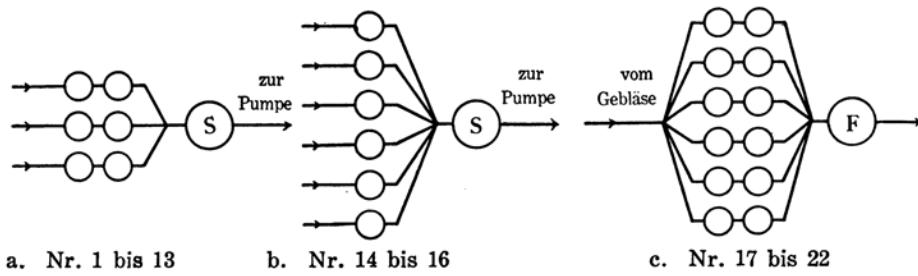


Abb. Die Anordnung der Flasche zur Sammlung des Feuchtigkeitwassers.

Tabelle

| 1                | 2           | 3         | 4                                  | 5                                | 6  | 7                              | 8   | 9   |
|------------------|-------------|-----------|------------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------|---|---|
| Ver-<br>suchsnr. | Datum       | Temp. °C. | relative<br>Feuchtig-<br>keit in % | Barometer-<br>stand<br>in mm. Hg | Wetter   | Versuchs-<br>dauer<br>in Stdn. | Menge des<br>gesammelten<br>Wassers in g. | $\Delta S$ gegen<br>Osaka-Leitungswasser in γ |
| 1                | 1935, 20/IX | 23.5      | 64                                 | 763.5                            | leichter Regenfall                                     | 5.0                            |   |   |
| 2                | " 21/IX     | 23.0      | 77                                 | 762                              | Regenwetter  | 4.5                            |   |   |
| 3                | " 23/IX     | 22.5      | 77                                 | 758                              | "  | 5.5                            |   |   |
| 4                | " 21/X      | 21.0      | 73                                 | 761                              | "  | 5.5                            |   |   |
| 5                | 1935, 25/IX | 25.5      | 72                                 | 748                              | trübes Wetter  | 6.0                            |   |   |
| 6                | " 26/IX     | 23.0      | 57                                 | 753                              | "  | 9.0                            |   |   |
| 7                | 1935, 10/X  | 22.0      | 47                                 | 767                              | schönes Wetter   | 4.5                            |   |   |
| 8                | " 12/X      | 24.0      | 54                                 | 764                              | "  | 3.5                            |   |   |
| 9                | " 16/X      | 22.5      | 68                                 | 764                              | trübes Wetter  | 7.0                            |   |   |
| 10               | " 21/X      | 22.0      | 47                                 | 768                              | sehr schönes W.  | 7.0                            |   |   |
| 11               | 1935, 30/X  | 21.0      | 48                                 | 763                              | schönes Wetter   | 5.0                            |   |   |
| 12               | " 31/X      | 20.0      | 43                                 | 766                              | sehr schönes W.  | 6.0                            |   |   |
| 13               | " 2/XI      | 19.0      | 62                                 | 769                              | "  | 7.5                            |   |   |
| 14               | 1936, 29/I  | 7.0       | 63                                 | 761                              | trübes Wetter  | 6.0                            |   |   |
| 15               | " 14/I      | 9.0       | 57                                 | 764                              | "  | 7.0                            |   |   |
| 16               | " 17/I      | 9.0       | 65                                 | 762                              | "  | 7.0                            |   |   |
| 17               | 1936, 22/VI | 30.0      | 64                                 | 759                              | trübes Wetter  | 3.5                            | 125                                       | -0.8  |
| 18               | 1936, 27/VI | 28.0      | 58                                 | 762                              | trübes Wetter<br>von Zeit zu Zeit<br>kleiner Regenfall | 5.0                            | 130                                       | -2.8  |
| 19               | 1936, 29/VI | 28.0      | 76                                 | ca. 760                          | trübes Wetter mit<br>leichtem Regenfall                | 4.5                            | 100                                       | -1.8  |
| 20               | 1936, 2/VII | 20.0      | 88                                 | ca. 760                          | Regenwetter  | 5.0                            | 135                                       | -3.0  |
| 21               | 1936, 6/VII | 20.0      | 87                                 | 760                              | Regenwetter  | ca. 3.0                        | 90  | -4.4  |
| 22               | 1936, 8/VII | 23.0      | 85                                 | 764                              | Regenwetter  | ca. 3.0                        | 80  | -3.8  |
|                  |             |           |                                    |                                  |  |                                | Mittel                                    | -3.7  |

Zwischen diesem Flaschensystem und der Wasserstrahlpumpe wurde immer eine mit konzentrierter Schwefelsäure beschickte grosse Waschflasche (S in den Abb. a und b) eingeschaltet, um die Rückdiffusion der Feuchtigkeit aus der Pumpe in die Flaschen zu verhindern. Beim Versuch Nr. 1 setzten wir in der Praxis jeder Reihe noch eine Flasche hinzu, so dass nun jede dieser drei Reihen aus drei Flaschen bestand. Da aber in diesen zugesetzten dritten Flaschen fast kein Wasser kondensiert gefunden wurde, haben wir sie in den späteren Versuchen Nr. 2 bis 13 fortgelassen. In den Versuchen Nr. 14 bis 16, wo die Strömungsgeschwindigkeit sehr klein war, konnten wir ohne Gefährdung des Resultates von der Anordnung mit zwei hintereinander verbundenen Flaschen absehen. Auf diese Weise gelang es uns, die atmosphärische Feuchtigkeit vollständig kondensiert im Flaschensystem anzusammeln. Aber da die Menge des kondensierten Feuchtigkeitswassers bei einem Versuch, der durchschnittlich einige Stunden dauerte (vgl. 7. Reihe der Tabelle) nur 10 bis 15 c.c. betrug, wurden einige Proben, die unter den fast gleichen Bedingungen gesammelt worden, vereinigt, das Gemenge gereinigt und zur Dichtemessung verwendet.

Bei den späteren Versuchen Nr. 17 bis 22 wurde dagegen bei jedem einzelnen Experiment eine zur Dichtemessung genügende Menge des Feuchtigkeitswassers gesammelt, indem wir doppelt so viele Kondensationsflaschen wie früher benutzten und die Strömungsgeschwindigkeit der Luft so gross wie möglich machten. Zwölf Flaschen wurden, wie Schema Abb. c zeigt, in sechs parallelen Reihen von je untereinander verbundenen Flaschen angeordnet und von aussen mit Eis gekühlt. Durch diese Flaschen wurde die ausserhalb des Zimmers durch ein kleines Flügelgebläse eingesaugte atmosphärische Luft geleitet. Die aus diesen Flaschen strömende Luft leiteten wir noch durch eine grosse 25 cm. hohe und 5 cm. weite Glasflasche (F in der Abb. c), die von aussen mit einem Kohlensäureschnee-Gemisch gekühlt wurde. Mittels dieser Anordnung gewannen wir bei mehrstündiger Durchströmung der Luft durchschnittlich 100 g. Feuchtigkeitswasser (vgl. 7. und 8. Reihe der Tabelle). Von dieser Wassermenge wurden 60 bis 70% in der vorderen Abteilung 20 bis 30% in der hinteren des mit Eis gekühlten Flaschensystems und der Rest von 10% in der letzten mit Kohlensäure gekühlten Flasche F gefunden. Eventuell schalteten wir zu allerletzt noch eine mit Kohlensäure gekühlte Flasche ein. Doch fanden wir in dieser Flasche selbst nach halbstündiger Durchleitung von Luft kein Kondensat. Dies überzeugte uns, dass die atmosphärische Feuchtigkeit durch unsere Anordnung fast vollständig kondensiert wurde. Eine minimale Fraktionierung des Feuchtigkeitswassers, zu der es eventuell durch unvollständige Kondensation kommen kann, übt

wegen des kleinen Dichteunterschiedes zwischen Feuchtigkeits- und gewöhnlichem Wasser keinen merklichen Einfluss auf das Endresultat aus.

**Reinigung und Dichtemessung des Feuchtigkeitswassers.** Das auf die obenangegebene Weise gesammelte Feuchtigkeitswasser wurde zunächst entweder durch Destillation (bei Nr. 1 bis 16) oder durch Filtration (bei Nr. 17 bis 22) von beigemengten Stäubchen befreit und dann unter Zusatz von Kaliumpermanganat und Ätzkali drei bis fünf Stunden lang sieden lassen. Dann wurde das Wasser aus dieser Lösung vollständig abdestilliert. Das abdestillierte Wasser wurde durch weitere dreimalige Destillation völlig gereinigt, und zwar wurde die erste Destillation unter Zusatz einer geringen Menge Phosphorpentoxyd, die zweite unter Zusatz von Bariumhydroxyd in kohlensäurefreiem Luftstrom und die letzte ebenfalls in kohlensäurefreier Luft ohne jeden Zusatz aber unter Verwendung eines Quarzkühlers durchgeführt. Das spezifische Gewicht des so gereinigten Feuchtigkeitswassers wurde nach der Schwebemethode mittels eines Quarzschwimmers mit dem des Osaka-Leitungswassers bei 9.5°C. verglichen. Die Messgenauigkeit dürfte  $\pm 0.5\gamma$  betragen. Den dabei gefundenen Dichteunterschied  $\Delta S$  zwischen dem Feuchtigkeitswasser und dem Osaka-Leitungswasser haben wir in der 9. Vertikalreihe der Tabelle wiedergegeben. Danach ist das Feuchtigkeitswasser um 1 bis 7 γ, durchschnittlich um 4 γ leichter als gewöhnliches Wasser.

**Diskussion.** Nimmt man an, dass die atmosphärische Feuchtigkeit durch die Verdampfung des Wassers auf der Erdoberfläche entsteht, so ist ohne weiteres zu erwarten, dass das Feuchtigkeitswasser spezifisch leichter als gewöhnliches Wasser sein muss. Was aber den quantitativen Dichteunterschied zwischen beiden anbetrifft, so ist die Sache insofern kompliziert, als die Dichte des Feuchtigkeitswassers bzw. dessen Gehalt an schwerem Wasser von vielen Faktoren abhängt. Dabei kommen zunächst die Bedingungen bei der Entstehung der Feuchtigkeit in Frage. Wenn z.B. gewöhnliches Süsswasser bei gewöhnlichen Temperaturen (5–35°C.) verdampft, muss die Dichte der ersten Fraktion um 3 bis 4 γ kleiner als gewöhnliches Wasser sein, das entsprechende Destillat aus Meerwasser dagegen um 2 bis 3 γ, weil bekanntlich Meerwasser durchschnittlich um 1.5 γ schwerer als Süsswasser ist.<sup>(1)</sup> Es handelt sich dabei aber um einen idealen Fall, wo die Verdampfung genügend langsam isothermisch verläuft. Nimmt die Verdampfungsgeschwindigkeit zu, so muss sich die resultierende Dichteabnahme des Destillats dementsprechend verändern.<sup>(2)</sup> Mit der Erhöhung der Temperatur bei der Ver-

(1) H. E. Wirth, T. G. Thompson und C. L. Utterback, *J. Am. Chem. Soc.*, **57** (1935), 400; *Nature*, **135** (1935), 662.

(2) Darüber, ob es sich dabei um die Vergrösserung oder Verminderung der Grösse der Dichteabnahme des Destillats handelt, kann man a priori nichts Bestimmtes sagen.

dampfung verringert sich offenbar die Dichteabnahme des Destillats und vice versa. Ausser den ebengeschilderten bei der Entstehung des Wassers in Frage kommenden Bedingungen kann auch folgender Umstand, auf den schon Eucken und Schäfer<sup>(3)</sup> hingewiesen haben, den Gehalt des Feuchtigkeitswassers an schwerem Wasser beeinflussen. Wenn z.B. ein Teil der Feuchtigkeit durch Regenfall abscheidet, muss der zurückbleibende Teil infolge fraktionierter Kondensation ärmer an schwerem Wasser, d.h. leichter werden. Durch das Zusammenwirken aller der ebenangegebenen Faktoren wird die Dichte des Feuchtigkeitswassers bestimmt. Die bei unseren Versuchen gefundene Grösse und Variation der Dichteabnahme des Feuchtigkeitswassers dem gewöhnlichen Wasser gegenüber lässt sich mit Hilfe der obenangeführten Faktoren genügend erklären.

Einige Autoren fanden bei ihren Versuchen<sup>(4)</sup> das *frisch* gefallene Schneewasser durchschnittlich um 2 bis 3 γ leichter als gewöhnliches Wasser, und es liegen für diese Erscheinung bereits einige Erklärungsversuche vor.<sup>(5)</sup> Aber bei unseren Versuchen ist ohne weiteres zu erwarten, dass das Schneewasser eine um einige γ kleinere Dichte als gewöhnliches Wasser besitzen muss, falls man annimmt, dass Schnee dadurch entsteht, dass atmosphärische Luft aus irgendeiner Ursache plötzlich abgekühlt und infolgedessen das Feuchtigkeitswasser, das sie enthält, fast restlos abgeschieden wird.

Der Nippon Gakujutsu-Schinkohkai (der Gesellschaft zur Förderung der japanischen Wissenschaft) sowie der Hattori-Hohkohkai (der Hattori-Stiftung) sind wir für ihre finanzielle Unterstützung zu herzlichstem Dank verpflichtet.

*Physikalisch-chemisches Laboratorium  
der Kaiserlichen Universität zu Osaka  
und  
Schiomi Institut für physikalische  
und chemische Forschung.*

---

(3) A. Eucken und K. Schäfer, *Göttinger Nachrichten, neue Folge*, **1935**, 137.

(4) E. Baroni und A. Fink, *Monatsh.*, **65** (1935), 386; *ibid.*, **67** (1936), 131, 193; A. Eucken und K. Schäfer, *Göttinger Nachrichten, neue Folge*, **1935**, 109, 137; W. A. Alexander und L. A. Munro, *Can. J. Research, B*, **14** (1936), 47; M. Harada und T. Titani, dieses Bulletin, **10** (1935), 206, 263.

(5) Vgl. die Mitteilungen von A. Eucken und K. Schäfer in Fussnote (3) sowie die von M. Harada und T. Titani in Fussnote (4).