

MEDEDEELINGEN
EN
VERHANDELINGEN.

39.

Dr. C. Braak. Het klimaat van
Nederland.

E. Verdamping.

Dr. C. Braak. The climate of
the Netherlands.

E. Evaporation.

HET KLIMAAT VAN NEDERLAND.
THE CLIMATE OF THE NETHERLANDS.

INHOUD.

| | Bladz. |
|---|--------|
| INLEIDING | 7 |
| FACTOREN, DIE INVLOED UITOEFENEN OP DE VERDAMPING | 8 |
| Verdampingsformule | 8 |
| WAARNEMINGEN VAN WATEROPPERVLAKKEN | 9 |
| Waarnemingen te De Bilt en Den Helder sedert 1897 | 9 |
| Maand- en jaargemiddelden te De Bilt | 10 |
| Oude waarnemingen te Utrecht en Den Helder | 11 |
| Waarnemingen in den Haarlemmermeerpolder | 13 |
| Waarnemingen te Oudorp, Leeuwarden, Apeldoorn, Dieren, Oude Wetering, Leiduin en Leeghwater | 15 |
| Vergelijking der uitkomsten | 16 |
| Waarnemingen bij Zutphen, bij Loenerveen, op Schokland en te De Bilt | 17 |
| Andere waarnemingen, van groote wateroppervlakken, ter vergelijking | 20 |
| WAARNEMINGEN VAN ANDERE DAN VRIJE WATEROPPERVLAKKEN | 22 |
| JAARLIJKSCHE EN DAGELIJKSCHE GANG DER VERDAMPING | 24 |
| Jaarlijksche gang | 24 |
| Dagelijksche gang | 25 |
| AFLEIDING DER CONSTANTEN VAN DE VERDAMPINGSFORMULE | 27 |
| Vroegere bepalingen | 27 |
| Waarnemingen te De Bilt, gewone verdampingsmeter | 28 |
| De Bilt. Waarnemingen in den vijver | 30 |
| Waarnemingen op Schokland | 31 |

CONTENTS.

| | Page |
|--|------|
| INTRODUCTION | 35 |
| FACTORS ON WHICH THE EVAPORATION DEPENDS . . | 35 |
| Evaporation formula | 35 |
| OBSERVATIONS OF WATER SURFACES | 36 |
| Observations at De Bilt and Den Helder since 1897 | 36 |
| Monthly and annual means at De Bilt | 37 |
| Older observations at Utrecht and Den Helder | 37 |
| Observations in the polder of the Haarlemmermeer | 38 |
| Observations at Oudorp, Leeuwarden, Apeldoorn, Dieren, Oude Wetering and Leeghwater | 38 |
| Comparison of the results | 38 |
| Observations near Zutphen, near Loenerveen, at Schokland and at De Bilt | 39 |
| Comparison with other observations concerning large sheets of water | 42 |
| OTHER OBSERVATIONS THAN THOSE OF FREE WATER SURFACES | 44 |
| ANNUAL AND DIURNAL VARIATION OF EVAPORATION | 45 |
| Annual variation | 45 |
| Diurnal variation | 46 |
| DEDUCTION OF THE CONSTANTS OF THE EVAPORATION FORMULA | 47 |
| Observations at De Bilt, ordinary evaporation pan | 48 |
| De Bilt. Observations in the pond | 50 |
| Observations on Schokland | 50 |

VERDAMPING.

INLEIDING.

1. In deze verhandeling zullen wij ons in de eerste plaats bezig houden met het eenvoudigste geval van het verdampingsvraagstuk, namelijk met de verdamping van een vrij wateroppervlak, waaromtrent de meeste waarnemingen zijn verricht. De beschikbare gegevens loopen sterk uiteen en zijn voor een groot gedeelte niet als absolute metingen te gebruiken, omdat voldoende nauwkeurige gegevens omtrent verschillende factoren, die op de verdamping invloed hebben, ontbraken. Hieronder zijn vooral te noemen



een nauwkeurige beschrijving van de omgeving, die de lucht-beweging beheerscht, vaak is ook de wijze van opstelling onnauw-keurig bekend en bijna steeds ontbreken waarnemingen van de water-temperatuur. Verande-ringen in de waarne-mingsplaats en in de instrumenten vermin-deren daarenboven dik-wijls de waarde der waarnemingen als rela-tieve metingen. De genoemde bezwaren gelden natuurlijk in veel geringere mate bij het afleiden van den

jaarlijkschen en dagelijkschen gang der verdamping.

Het meer ingewikkelde probleem der verdamping van andere oppervlakken dan het vrije wateroppervlak biedt nog veel grotere moeilijk-

heden en wij zullen ons beperken tot de vermelding van slechts enkele onderzoeken.

De uitkomsten der belangrijkste waarnemingen van de eerste soort zullen worden vermeld, ook die der oudere waarnemingen. Enkele der nieuwere zullen worden gebruikt voor de afleiding der constanten eener verdampingsformule, welke zullen kunnen dienen om voor bepaalde gevallen de verdamping te berekenen.

Een kaartje der waarnemingsstations wordt hierbij gevoegd.

FACTOREN, DIE INVLOED UITOEFENEN OP DE VERDAMPING.

2. VERDAMPINGSFORMULE.

Bij onze beschouwingen zullen wij gebruik maken van de formule

$$E = C (1 + \alpha t) (e_w - e_d) (1 + A v).$$

Hierin zijn C en A constanten, t is de luchttemperatuur in graden Celsius, α de uitzettingscoëfficiënt der lucht $= 1/273$, e_w de maximumspanning van den waterdamp bij de watertemperatuur in mm, e_d de dampspanning der lucht in mm en v de windsnelheid nabij het wateroppervlak, uitgedrukt in meters per seconde. De factor $1 + \alpha t$ is ingevoerd om rekening te houden met de grootere beweeglijkheid der gasmoleculen bij hoogere temperatuur. De evenredigheid met het verzadigingsgebrek $e_w - e_d$ blijkt, zooals wij later zullen zien, binnen zeer ruime grenzen der vochtigheid te gelden, zoowel voor droge als voor bijna verzadigde lucht. Er is niet nagegaan of de invloed der windsnelheid door een meer ingewikkelde betrekking nauwkeuriger was weer te geven dan door den eenvoudigen term $1 + A v$, omdat deze in verband met andere foutenbronnen werd geacht een voldoende nauwkeurigheid te geven. Gewoonlijk wordt aangenomen, dat de verdamping omgekeerd evenredig is met den luchtdruk. De afwijkingen in den luchtdruk zijn echter niet van voldoende beteekenis om er bij de berekening der gemiddelde verdamping rekening mee te houden.

De factoren $1 + \alpha t$, $e_w - e_d$ en $1 + A v$ veranderen voortdurend en voor een juiste berekening van E zou men feitelijk $E \triangleq E$ moeten bepalen over kleine tijdvakken, waarvoor de genoemde factoren als constant kunnen worden beschouwd, hetgeen zeer tijdroovend zou zijn. Aan dit bezwaar is eenigermate tegemoetgekomen, doordat de berekening wat de waarnemingen te land betreft afzonderlijk voor den morgen, den namiddag en den nacht is uitgevoerd. Voor het IJsselmeer, waar de dagelijksche gang der factoren geringer is, kan deze onderverdeling minder noodig worden

geacht. Uit een contrôleberekening is gebleken, dat de overblijvende fout te verwaarlozen is.

WAARNEMINGEN VAN WATEROPPERVLAKKEN.

3. WAARNEMINGEN TE DE BILT EN DEN HELDER SEDERT 1897.

Sedert October 1909 zijn te De Bilt en Den Helder verdampingsmeters opgesteld van gelijk model, bestaande uit een balans met koperen verdampingsbak, die een opening heeft van 400 cm². Na iedere aflezing wordt het water bijgevuld tot 2,5 cm onder den rand, overeenkomende met den nulstand van de balans. Bij regen kan het water nog 3 mm in den bak stijgen voordat het door een pijpje in het midden van den bak overloopt in een verzamelbak. De waterdiepte varieert van 3,5 cm aan den rand tot 5,5 cm in het midden. Als bescherming tegen sterken wind en zijdelingsche straling is de bak omgeven door een witgeverfden metalen cylinder, waarvan de bovenrand iets boven dien van den bak uitsteekt.

Vóór October 1909 was te De Bilt een instrument in gebruik, dat bijna 1 m hooger was opgesteld en dat dientengevolge, en waarschijnlijk ook omdat het minder goed tegen uitspatten door den wind beschermd was, hogere verdampingscijfers heeft gegeven. In Juli en Augustus 1903 is de verdampingsmeter eenigen tijd buiten werking geweest en waarschijnlijk zijn de lage cijfers van 1902 en Januari—Augustus 1903 aan een defect van het toestel toe te schrijven. De waarnemingen te De Bilt zijn begonnen in Mei 1897; met weglating van de bovengenoemde minder betrouwbare waarnemingen in 1902 en 1903, vindt men voor de tijdvakken Mei 1897—September 1909 en October 1909—December 1935 de onderstaande gemiddelden.

Gemiddelde verdamping in mm.

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| De Bilt: | | | | | | | |
| Mei 1897—Sept. 1909 . | 24.4 | 31.4 | 53.9 | 107.7 | 142.9 | 156.1 | |
| Oct. 1909—1935 | 16.2 | 24.6 | 53.3 | 83.9 | 122.0 | 132.8 | |
| Den Helder: | | | | | | | |
| Nov. 1897—Sept. 1909 . | 34.6 | 39.3 | 64.9 | 104.7 | 142.3 | 163.3 | |
| Oct. 1909—1935 | 25.5 | 30.6 | 57.3 | 90.9 | 130.7 | 149.0 | |
| | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar |
| De Bilt: | | | | | | | |
| Mei 1897—Sept. 1909 . | 160.7 | 141.1 | 91.5 | 53.6 | 27.1 | 20.3 | 1010.7 |
| Oct. 1909—1935 | 133.3 | 110.1 | 75.0 | 38.7 | 20.0 | 15.3 | 825.2 |
| Den Helder: | | | | | | | |
| Nov. 1897—Sept. 1909 . | 171.8 | 167.8 | 120.2 | 78.3 | 46.8 | 34.6 | 1168.6 |
| Oct. 1909—1935 | 158.3 | 145.6 | 110.2 | 70.4 | 39.5 | 28.5 | 1036.5 |

De eerste periode geeft overwegend hogere jaarsommen dan de tweede, namelijk zijn 5 van de 9 volledige jaarsommen in de eerste boven 1000 mm, tegen 1 van de 26 in de tweede (zie tabel 1).

Te Den Helder is op 15 September 1909 de nieuwe verdampingsmeter in gebruik genomen, van hetzelfde model als waarmede nu te De Bilt wordt waargenomen. Hij werd opgesteld in den tuin van den observator en is op 12 September 1917 verplaatst naar het nabijgelegen nieuwe observatieterein achter den zeedijk.

Vóór dien tijd werd een unster gebruikt. Een nieuw instrument werd op 9 October 1897 in gebruik genomen. Eerst werd waargenomen op een terrein ten O. van de Landskeet en in October 1908 werd een nieuw observatieterein gekozen nabij den observatietoren op den zeedijk.

De gemiddelde maand- en jaarcijfers zijn hierboven opgenomen. De grootere verdamping van de reeks 1897—1909, vergeleken met 1909—1935, is waarschijnlijk toe te schrijven aan sterkere blootstelling aan den wind. Gelijktijdige waarnemingen van den ouden verdampingsmeter op den dijk en den nieuwen in den tuin, verricht van September 1909 tot Augustus 1910, gaven 1160,4 mm op den dijk tegen 939,0 mm in den tuin.

4. MAAND- EN JAARGEMIDDELDEN TE DE BILT.

Tabel 1 bevat de maand- en jaarsommen voor De Bilt van het begin der waarnemingen tot 1935, met weglating van eenige onbetrouwbare cijfers in 1902 en 1903.

TABEL 1.

Maand- en jaarsommen van de verdamping, in mm, te De Bilt.

Monthly and annual totals of evaporation, in mm, at De Bilt.

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar. |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| 1897 | — | — | — | — | 144,8 | 195,1 | 178,1 | 160,7 | 93,4 | 61,3 | 24,7 | 20,0 | — |
| 1898 | 16,3 | 45,6 | 50,7 | 103,3 | 148,1 | 147,2 | 136,8 | 166,6 | 112,6 | 48,1 | 29,1 | 42,5 | 1046,9 |
| 1899 | 39,2 | 41,7 | 55,0 | 78,6 | 109,2 | 157,8 | 155,8 | 145,7 | 93,4 | 49,4 | 30,8 | 15,2 | 791,8 |
| 1900 | 16,9 | 34,1 | 50,0 | 91,0 | 131,0 | 132,1 | 156,0 | 108,3 | 70,1 | 41,5 | 18,5 | 16,3 | 865,8 |
| 1901 | 20,9 | 16,4 | 47,5 | 123,1 | 137,1 | 130,5 | 161,2 | 124,4 | 77,5 | 45,4 | 28,8 | 12,5 | 925,3 |
| 1902 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1903 | — | — | — | — | — | — | — | — | 92,9 | 62,2 | 26,5 | 19,5 | — |
| 1904 | 24,5 | 38,6 | 45,3 | 125,8 | 141,3 | 168,7 | 223,7 | 175,3 | 101,2 | 49,6 | 27,7 | 15,2 | 1136,9 |

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar. |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----------|
| 1905 | 28,6 | 41,9 | 66,2 | 93,7 | 159,3 | 191,4 | 183,7 | 141,8 | 87,6 | 59,8 | 31,7 | 16,4 | 1102,1 |
| 1906 | 39,4 | 23,7 | 66,8 | 124,7 | 126,7 | 146,5 | 142,5 | 149,4 | 90,8 | 56,7 | 27,3 | 19,7 | 1014,2 |
| 1907 | 18,0 | 20,3 | 64,3 | 99,6 | 150,3 | 114,4 | 114,9 | 110,2 | 89,3 | 50,1 | 22,5 | 29,2 | 883,1 |
| 1908 | 16,6 | 27,0 | 43,7 | 95,9 | 129,9 | 183,8 | 169,8 | 130,4 | 108,4 | 65,4 | 30,2 | 16,4 | 1017,5 |
| 1909 | 23,8 | 25,1 | 49,4 | 131,2 | 194,4 | 149,2 | 145,5 | 138,9 | 80,9 | 54,8* | 20,8 | 24,5 | (1038,5) |
| 1910 | 19,4 | 27,7 | 57,5 | 99,5 | 142,2 | 149,1 | 114,6 | 130,5 | 68,7 | 45,6 | 23,3 | 31,6 | 909,7 |
| 1911 | 15,0 | 28,3 | 52,4 | 89,4 | 128,6 | 141,4 | 163,9 | 160,5 | 98,8 | 47,7 | 28,0 | 15,2 | 969,2 |
| 1912 | 19,5 | 20,9 | 58,6 | 114,1 | 95,5 | 119,6 | 157,7 | 83,3 | 64,1 | 29,8 | 17,8 | 20,6 | 801,5 |
| 1913 | 16,2 | 27,9 | 65,7 | 96,7 | 105,0 | 95,5 | 82,6 | 97,5 | 69,9 | 41,3 | 24,8 | 18,8 | 741,9 |
| 1914 | 15,0 | 34,0 | 45,2 | 112,4 | 112,6 | 112,6 | 141,7 | 122,8 | 92,9 | 29,5 | 19,4 | 24,3 | 862,4 |
| 1915 | 18,4 | 25,3 | 35,1 | 83,1 | 126,3 | 145,3 | 120,3 | 93,2 | 72,3 | 27,2 | 16,9 | 19,4 | 782,8 |
| 1916 | 22,1 | 20,3 | 42,7 | 84,7 | 122,3 | 99,2 | 97,4 | 98,1 | 64,3 | 41,5 | 29,1 | 9,4 | 731,1 |
| 1917 | 16,8 | 12,2 | 40,8 | 64,5 | 155,7 | 162,4 | 132,5 | 94,2 | 79,7 | 41,4 | 19,7 | 10,0 | 829,9 |
| 1918 | 14,6 | 27,1 | 59,4 | 58,3 | 134,8 | 135,2 | 134,2 | 100,1 | 82,2 | 31,3 | 13,9 | 11,9 | 803,0 |
| 1919 | 17,1 | 14,3 | 42,8 | 68,9 | 177,7 | 138,6 | 89,5 | 125,9 | 84,7 | 33,6 | 15,1 | 14,6 | 822,8 |
| 1920 | 18,1 | 33,1 | 59,0 | 70,7 | 119,2 | 164,4 | 118,7 | 88,1 | 53,3 | 50,6 | 29,8 | 11,5 | 816,5 |
| 1921 | 23,6 | 22,6 | 69,8 | 107,0 | 151,5 | 149,1 | 180,1 | 139,9 | 96,5 | 51,6 | 22,3 | 19,0 | 1033,0 |
| 1922 | 16,4 | 25,4 | 43,6 | 91,9 | 158,6 | 139,7 | 109,7 | 91,1 | 58,6 | 36,7 | 15,1 | 15,4 | 802,2 |
| 1923 | 12,5 | 18,5 | 55,9 | 97,4 | 74,8 | 83,2 | 154,8 | 123,0 | 75,2 | 43,7 | 18,5 | 12,6 | 770,1 |
| 1924 | 19,9 | 21,6 | 48,5 | 64,8 | 116,2 | 143,0 | 124,8 | 76,9 | 62,4 | 39,0 | 19,2 | 10,2 | 746,5 |
| 1925 | 14,3 | 35,0 | 44,6 | 76,4 | 129,4 | 155,5 | 160,6 | 90,5 | 65,2 | 43,9 | 11,6 | 13,7 | 840,7 |
| 1926 | 16,0 | 20,2 | 53,7 | 88,6 | 96,0 | 106,7 | 136,7 | 102,5 | 73,7 | 29,3 | 22,9 | 13,7 | 760,0 |
| 1927 | 17,9 | 17,3 | 41,7 | 66,3 | 115,9 | 98,0 | 113,1 | 103,5 | 64,9 | 38,0 | 13,8 | 13,2 | 703,6 |
| 1928 | 16,9 | 34,6 | 70,5 | 92,4 | 118,3 | 139,7 | 164,0 | 117,3 | 89,2 | 37,5 | 22,8 | 7,7 | 910,9 |
| 1929 | 11,2 | 24,2 | 45,3 | 75,7 | 144,0 | 121,4 | 162,4 | 110,5 | 99,9 | 33,8 | 24,1 | 20,8 | 873,3 |
| 1930 | 21,5 | 22,7 | 53,9 | 96,3 | 93,5 | 178,3 | 117,5 | 106,6 | 57,8 | 32,9 | 15,5 | 6,5 | 803,0 |
| 1931 | 12,4 | 13,2 | 57,4 | 81,2 | 115,6 | 124,8 | 118,7 | 108,5 | 59,1 | 38,0 | 24,8 | 14,4 | 768,1 |
| 1932 | 11,3 | 25,3 | 64,0 | 66,1 | 99,7 | 139,1 | 110,9 | 134,5 | 72,6 | 29,5 | 19,8 | 12,7 | 785,5 |
| 1933 | 10,5 | 24,1 | 70,3 | 75,9 | 101,6 | 125,3 | 136,3 | 120,7 | 83,8 | 33,7 | 12,8 | 12,9 | 807,9 |
| 1934 | 13,4 | 25,4 | 42,5 | 95,3 | 104,1 | 148,8 | 161,9 | 109,7 | 88,6 | 40,7 | 11,7 | 12,5 | 854,6 |
| 1935 | 12,5 | 37,2 | 64,9 | 63,3 | 133,3 | 137,8 | 160,0 | 133,2 | 70,9 | 41,3 | 25,5 | 15,7 | 895,6 |

*) Nieuwe verdampingsmeter.

New evaporimeter.

OUDE WAARNEMINGEN TE UTRECHT EN DEN HELDER.

Vóór het begin der waarnemingen te De Bilt, in Mei 1897, zijn verdampingsmetingen aan het Observatorium te Utrecht verricht. Men vindt de uitkomsten, met die van andere stations, vermeld in de „Meteorologische jaarboeken”. De verdampingsmeter had, evenals die van De Bilt, een oppervlak van 400 cm² en was opgesteld op het platte dak van het Observatorium Sonnenburg ¹⁾. De uitkomsten der waarnemingen in het tijdvak 1855—1897 maken den indruk tamelijk homogeen te zijn en zijn vrijwel gelijk aan die van De Bilt in 1909—1935 (zie tabel 2).

¹⁾ Een beschrijving is door B. J. G. VOLCK gegeven in „Eigen Haard”, jaarg. 1883, in een bijdrage over „Het Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut”.

De waarnemingen, die vóór 9 October 1897 te Den Helder zijn verricht, wijken sterk van de latere af. BUYS BALLOT maakt de opmerking (jaarboek 1886, p. 268), dat het feit, dat de verdampingsmeter te Den Helder wat grooter was dan te Utrecht, bezwaarlijk het groote verschil kan veroorzaken; op p. 158 van jaarboek 1866 wordt vermeld, dat de verdampingsmeter een oppervlak heeft van 1 m². Na 1867 is een blikken zwarte rand verwijderd, die zich om den verdampingsmeter bevond en waardoor de zijdelingsche verwarming werd tegengegaan. De groote oude verdampingsmeter is waarschijnlijk lager bij den grond opgesteld geweest, waardoor de windinvloed kleiner was.

Tabel 2 bevat de gemiddelden voor verschillende tijdvakken ¹⁾. Van 1868—1897 schijnt de reeks tamelijk homogeen te zijn. Het wegnemen van den omgevenden rand heeft blijkbaar na 1867 de verdamping versterkt. Bij de vergelijking der oude reeksen met de nieuwe is nog in aanmerking te nemen, dat tot 1897 de verdamping op 31 Januari en 1 Maart bij die van Februari is gerekend. Dit is ook het geval geweest bij de waarnemingen op andere stations.

TABEL 2.

Gemiddelde maandelijksche en jaarlijksche verdamping in mm

Mean monthly and annual evaporation in millimetres.

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar. |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| UTRECHT. | | | | | | | | | | | | | |
| 1855—1864 | 12,8 | 23,2 | 50,5 | 87,3 | 124,3 | 134,2 | 125,5 | 117,3 | 69,5 | 38,1 | 15,3 | 12,3 | 810,3 |
| 1865—1874 | 12,0 | 22,0 | 43,3 | 87,1 | 118,2 | 132,3 | 138,4 | 102,5 | 71,6 | 34,9 | 17,4 | 10,9 | 790,6 |
| 1875—1884 | 10,8 | 18,4 | 48,6 | 95,3 | 126,2 | 136,0 | 126,6 | 116,4 | 69,9 | 37,1 | 18,8 | 9,3 | 813,4 |
| 1885—1897 | 15,5 | 28,5 | 53,0 | 94,4 | 135,4 | 146,6 | 133,3 | 105,9 | 76,0 | 39,7 | 22,9 | 15,3 | 866,5 |
| 1855—1897 | 12,9 | 23,4 | 49,1 | 91,3 | 126,5 | 137,7 | 131,1 | 110,3 | 72,0 | 37,6 | 18,8 | 12,1 | 822,8 |
| DEN HELDER. | | | | | | | | | | | | | |
| 1845—1856 | 13,6 | 20,4 | 31,1 | 61,6 | 94,7 | 112,5 | 117,9 | 105,9 | 71,1 | 40,4 | 19,9 | 20,8 | 709,9 |
| 1857—1867 | 17,2 | 18,7 | 28,9 | 49,1 | 75,9 | 85,0 | 80,6 | 78,0 | 61,8 | 46,8 | 27,6 | 19,3 | 588,9 |
| 1868—1877 | 19,7 | 24,3 | 44,6 | 70,1 | 102,0 | 125,0 | 134,7 | 113,0 | 79,8 | 45,1 | 26,4 | 19,6 | 804,3 |
| 1878—1887 | 13,1 | 19,2 | 39,6 | 75,1 | 110,4 | 120,4 | 128,1 | 111,6 | 69,9 | 41,6 | 30,4 | 17,9 | 777,3 |
| 1888—1897 | 14,8 | 22,4 | 43,4 | 69,7 | 117,6 | 127,9 | 129,3 | 116,2 | 78,9 | 51,1 | 21,3 | 18,0 | 810,6 |
| 1845—1897 | 15,7 | 21,0 | 37,2 | 64,7 | 99,5 | 113,6 | 117,4 | 104,4 | 72,1 | 45,0 | 25,1 | 19,1 | 734,8 |

¹⁾ Het jaar 1851 is weggelaten, omdat de cijfers veel te laag en blijkbaar foutief zijn.

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar. |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| LEEHWATER. | | | | | | | | | | | | | |
| 1867—1876 | 17,0 | 29,8 | 47,6 | 80,8 | 109,7 | 116,0 | 124,2 | 97,8 | 63,8 | 34,5 | 22,1 | 17,8 | 761,1 |
| 1877—1886 | 14,8 | 19,7 | 42,9 | 85,0 | 102,7 | 105,1 | 104,0 | 84,0 | 51,4 | 29,3 | 18,3 | 13,3 | 670,5 |
| 1887—1896 | 12,3 | 16,7 | 37,6 | 72,0 | 115,1 | 120,9 | 108,4 | 87,6 | 61,9 | 31,2 | 18,4 | 13,2 | 695,3 |
| 1897—1906 | 20,6 | 22,0 | 47,5 | 90,7 | 121,4 | 140,4 | 142,1 | 116,6 | 70,6 | 45,9 | 22,0 | 18,4 | 858,2 |
| 1907—1916 | 9,5 | 13,8 | 36,8 | 96,6 | 135,6 | 118,7 | 123,6 | 106,6 | 62,8 | 27,5 | 15,2 | 10,0 | 756,7 |
| 1917—1926 | 13,5 | 17,0 | 45,7 | 79,1 | 138,9 | 139,6 | 132,2 | 96,2 | 64,2 | 32,8 | 16,3 | 9,9 | 785,4 |
| 1927—1935 | 13,3 | 24,1 | 55,3 | 82,6 | 121,0 | 139,1 | 149,3 | 120,3 | 77,2 | 34,4 | 19,8 | 11,6 | 848,0 |
| 1867—1935 | 14,5 | 20,5 | 44,7 | 84,0 | 120,7 | 125,7 | 126,2 | 101,3 | 64,4 | 33,7 | 18,9 | 13,5 | 768,1 |
| LIJNDEN. | | | | | | | | | | | | | |
| 1867—1876 | 13,3 | 25,0 | 43,4 | 85,7 | 112,7 | 132,7 | 140,3 | 104,0 | 60,0 | 31,6 | 19,2 | 14,7 | 782,6 |
| 1877—1886 | 14,6 | 20,0 | 41,6 | 84,9 | 111,0 | 121,7 | 114,6 | 84,8 | 54,5 | 30,3 | 16,6 | 13,2 | 707,8 |
| 1887—1896 | 9,9 | 12,6 | 27,1 | 67,8 | 115,7 | 125,7 | 120,0 | 94,0 | 60,8 | 32,3 | 16,7 | 12,1 | 694,7 |
| 1897—1906 | 14,1 | 18,5 | 30,7 | 62,7 | 98,2 | 117,8 | 125,3 | 95,2 | 54,8 | 32,4 | 18,9 | 15,1 | 683,8 |
| 1907—1916 | 18,7 | 22,2 | 41,3 | 77,8 | 92,0 | 86,8 | 94,7 | 79,5 | 58,0 | 38,9 | 24,4 | 20,7 | 655,0 |
| 1917—1925 | 15,4 | 19,7 | 45,1 | 65,2 | 104,5 | 105,8 | 92,9 | 65,7 | 42,0 | 23,4 | 14,4 | 12,4 | 606,5 |
| 1867—1925 | 14,3 | 19,7 | 38,1 | 74,2 | 105,7 | 115,2 | 115,0 | 87,6 | 55,2 | 31,6 | 18,4 | 14,8 | 689,8 |
| CRUQUIUS. | | | | | | | | | | | | | |
| 1867—1876 | 13,9 | 28,5 | 48,6 | 85,8 | 115,2 | 122,6 | 130,3 | 106,3 | 69,4 | 34,6 | 21,4 | 16,3 | 792,9 |
| 1877—1886 | 15,9 | 22,0 | 44,8 | 83,0 | 106,0 | 112,3 | 115,4 | 91,1 | 62,1 | 34,6 | 19,2 | 15,1 | 721,5 |
| 1887—1896 | 10,0 | 19,8 | 34,3 | 69,2 | 104,8 | 112,2 | 96,3 | 74,5 | 49,5 | 24,0 | 13,0 | 11,6 | 619,2 |
| 1897—1906 | 11,8 | 13,5 | 22,1 | 52,2 | 78,6 | 103,3 | 120,2 | 90,7 | 49,8 | 22,6 | 10,4 | 10,1 | 585,3 |
| 1907—1916 | 3,2 | 4,3 | 8,6 | 29,7 | 101,0 | 106,2 | 108,9 | 94,7 | 52,0 | 18,0 | 4,8 | 3,2 | 534,6 |
| 1917—1924 | 4,7 | 6,8 | 22,0 | 45,0 | 105,0 | 114,1 | 100,0 | 88,9 | 55,6 | 19,2 | 7,2 | 3,9 | 572,4 |
| 1867—1924 | 10,1 | 16,1 | 30,4 | 61,4 | 101,6 | 111,7 | 112,2 | 91,1 | 56,4 | 25,8 | 12,9 | 10,4 | 640,1 |
| HOOFDDORP. | | | | | | | | | | | | | |
| 1861—1866 | 22,1 | 29,0 | 50,5 | 102,0 | 119,8 | 114,5 | 115,1 | 95,5 | 67,9 | 38,6 | 22,5 | 22,5 | 800,0 |
| 1867—1876 | 16,0 | 29,2 | 45,9 | 83,5 | 115,3 | 121,2 | 126,0 | 101,5 | 64,3 | 35,3 | 20,3 | 16,9 | 775,4 |
| 1877—1886 | 16,0 | 22,2 | 46,0 | 93,4 | 112,8 | 119,7 | 111,6 | 91,6 | 58,4 | 33,0 | 18,4 | 14,0 | 737,1 |
| 1887—1896 | 12,3 | 20,3 | 44,0 | 82,9 | 124,2 | 129,6 | 114,9 | 92,7 | 61,4 | 34,5 | 18,1 | 12,7 | 747,6 |
| 1897—1906 | 20,5 | 23,5 | 45,4 | 82,4 | 119,9 | 144,0 | 135,1 | 120,3 | 75,2 | 38,8 | 23,2 | 16,5 | 844,8 |
| 1907—1916 | 8,4 | 11,0 | 25,0 | 56,1 | 84,6 | 75,0 | 77,7 | 65,8 | 44,5 | 22,3 | 11,0 | 9,7 | 491,1 |
| 1917—1926 | 17,0 | 17,3 | 40,8 | 62,1 | 116,2 | 112,5 | 98,6 | 75,5 | 50,1 | 26,6 | 13,8 | 13,1 | 643,6 |
| 1861—1926 | 15,6 | 21,2 | 42,0 | 79,0 | 112,9 | 116,8 | 111,0 | 91,6 | 59,8 | 32,4 | 17,9 | 14,6 | 714,8 |

6. WAARNEMINGEN IN DEN HAARLEMMERMEERPOLDER.

Tabel 2 bevat ook voor verschillende tijdvakken de uitkomsten der verdampingsmetingen op 4 stations in den Haarlemmermeerpolder, n.l. Leeghwater, Lijnden, CRUQUIUS en Hoofddorp. In zijn bekende verhandeling deelt ELINK STERK mede¹⁾, dat op de genoemde stations sedert 1 Februari 1861 regen- en verdampingsmetingen zijn verricht naar voorschriften van

¹⁾ A. ELINK STERK. Over regen, verdamping en kwel in den Haarlemmermeerpolder. Verhandelingen. Tijdschr. v. h. Kon. Inst. van Ingenieurs, 1897—1898, p. 63—75.

DR. KRECKE. De regen- en verdampingsmeters zijn cilindervormige blikken vaten van 0,255 m middellijn (400 cm² oppervlak) en ongeveer gelijke diepte, geplaatst op palen, omstreeks 1 m boven den grond. De verdampingsmeters staan in houten kuipen, die de zonnestralen van hun wanden keeren. De verdamping wordt door weging bepaald.

Op een inspectiereis in 1933 vond ik alleen bij de Leeghwater den verdampingsmeter nog in functie, een koperen bak, van ongeveer hetzelfde model als de gewone regenmeter. De bovenrand was, evenals bij de tegenwoordige opstelling van de regenmeters, 1,50 m boven den grond. Het water stond 4 cm onder den rand, de waterdiepte varieerde van 4,5 cm aan den rand tot 12 cm in het midden. Het reservoir was, met 3 cm tusschenruimte, door een witgeschilderden houten cylinder omgeven. Het water werd dagelijks bijgevuld. Voorzoover men wist, is dit model steeds op alle stations gebruikt. Het komt, afgezien van de houten omhulling, geheel overeen met de teekening, die door KRECKE op p. 234 van zijn „Het Klimaat van Nederland” is opgenomen. KRECKE geeft voor den stand van het water in den bak 3 a 4 cm onder den rand aan. Op de teekening, die bij den aanvang der waarnemingen bij Hoofddorp (sectie J. J., kavel 3) aan het Instituut is ingezonden, staan regen- en verdampingsmeter vlak naast elkaar, de regenmeter met den rand op 1,55 m en de verdampingsmeter 1,45 m boven den grond, vrij van naburige huizen en boomen; op meer dan 40 el afstand staat het huis van den waarnemer en de kerk ¹⁾

Bij de Lijnden blijkt de verdamping voortdurend af te nemen, van 783 mm in 1867—1876 tot 606 mm in 1917—1925. Cruquius vertoont een nog sterkere vermindering, van 793 mm in 1867—1876 tot 535 mm in 1907—1916, gevolgd door een geringe toeneming in 1917—1924. De waarnemingen te Hoofddorp zijn tamelijk homogeen tot 1906, maar geven later lagere uitkomsten. Te Leeghwater heeft de eerste helft der waarnemingsreeks over het algemeen gringere verdampingscijfers dan de tweede.

De vermindering van de verdamping in den loop der jaren te Lijnden en Cruquius is wel aan de toenemende begroeiing toe te schrijven. Bij mijn bezoek in 1933 trof ik den ouden verdampingsmeter nog bij de Cruquius aan, op een terrein, dat vooral aan de westzijde geheel was ingesloten door

¹⁾ Er zijn ook 3-maaldagsche (8, 14 en 20 uur) waarnemingen van luchtdruk en temperatuur verricht. Het nulpunt van den barometer lag 1.70 el beneden A. P. De thermometer hing 0.60 el buiten het raam van de bovenverdieping, op 5.50 el boven den grond. Hij was beschermd tegen straling en regen, zonder de luchtcirculatie te verhinderen. Bij den regen is als damp of nevel meegeteld, wat bij ledigen regenmeter in den verdampingsmeter werd gevonden. De barometer- en thermometeraflezingen zijn gecorrigeerd.

dicht en hoog geboomte. Bij de Leeghwater was het terrein wel begroeid, maar toch veel meer open, eenigszins overeenkomende met dat te De Bilt. Te Hoofddorp is na 1906 het instrument meermalen verplaatst, klaarblijkelijk naar een minder open omgeving.

7. WAARNEMINGEN TE OUDORP, LEEUWARDEN, APELDOORN, DIEREN, OUDE WETERING, LEIDUIN EN LEEGHWATER.

In enkele der „Meteorologische Jaarboeken” zijn overzichten van de verdampingsmetingen gedurende een reeks van jaren gegeven, waaronder de volgende.

Jaarboek 1878, p. 256: Oudorp Juni 1860—1878.

Jaarboek 1882, p. 282: Oude Wetering 1877—1882, zoowel voor een verdampingsmeter met water gevuld als 2 bakken met aarde, waarvan de een met gras was begroeid en de ander was gevuld met zwarte onbegroeide teelaarde. Alleen van de beide laatsten wordt een beschrijving gegeven. De bakken waren 31 en 16 cm diep, met een opstaanden zinken rand van 3 en 14 cm; de oppervlakte van den grond was gelijk met die van de omgeving. Het overtollige regenwater werd afgetapt, terwijl nu en dan water werd bijgevoegd om den grond vochtig te houden.

Jaarboek 1888, p. 285: Leeuwarden 1879—1888.

De uitkomsten van Oudorp en Leeuwarden zijn in tabel 3 overgenomen. Voor Oude Wetering zijn niet de gemiddelden over het bovengenoemde tijdvak opgenomen, maar die van de langere reeks, welke voorkomt in het Verslag der Staatscommissie voor de bevoeiingen, 1897. Aan dat verslag zijn ook de gegevens van Apeldoorn en Dieren ontleend. Te Leiduin, in het duingebied nabij Vogelenzang, is in het tijdvak 1907—1933 een gemiddelde jaarlijksche verdamping van 848,2 mm waargenomen. ¹⁾

Bij de Leeghwater zijn door ELINK STERK ²⁾ vergelijkende waarnemingen verricht met den reeds beschreven verdampingsmeter en met een instrument bestaande uit een metalen bak, geheel gelijk aan dien van den gewonen verdampingsmeter, geplaatst in het water, dat zich bevond in een ruime houten kuip, die in den grond was gegraven. De vergelijkingen zijn voortgezet van Maart 1871—einde 1875. De maand- en jaargemiddelden staan in tabel 3.

¹⁾ Ontleend aan het Verslag van de Waterleidingen van Amsterdam over 1933.

²⁾ Loc. cit.

TABEL 3.

Gemiddelde maandelijksche en jaarlijksche verdamping in mm.

Mean monthly and annual evaporation in millimetres.

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | |
|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Oudorp, 1860—1878 | 18,3 | 23,4 | 36,7 | 59,1 | 81,6 | 81,2 | |
| Leeuwarden, 1879—1880 | 8,8 | 11,4 | 26,1 | 52,9 | 74,5 | 77,9 | |
| Apeldoorn, 1876—1895 | 16,2 | 22,5 | 44,9 | 86,5 | 129,2 | 142,6 | |
| Dieren, 1876—1895 | 22,9 | 30,0 | 59,7 | 104,1 | 144,8 | 160,9 | |
| Oude Wetering: | | | | | | | |
| water, 1876—1895 | 11,1 | 15,3 | 29,2 | 60,0 | 92,2 | 103,4 | |
| grasland, 1876—1895 | 10,1 | 13,8 | 27,4 | 68,1 | 123,8 | 141,0 | |
| zwarte aarde, 1877—1895 | 7,4 | 10,8 | 23,8 | 49,6 | 73,4 | 74,0 | |
| Leeghwater 1871—1875: | | | | | | | |
| gewone verdampingsmeter | 18,2 | 25,8 | 55,4 | 83,2 | 102,0 | 127,2 | |
| in water geplaatst | 10,0 | 15,2 | 36,0 | 60,0 | 74,2 | 99,6 | |
| percentage | 55 | 59 | 65 | 72 | 73 | 78 | |

| | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Oudorp, 1860—1878 | 81,1 | 70,6 | 52,9 | 38,2 | 27,3 | 33,8 | 604,2 |
| Leeuwarden, 1879—1880 | 77,5 | 65,0 | 34,6 | 15,8 | 9,1 | 7,8 | 461,4 |
| Apeldoorn, 1876—1895 | 132,0 | 120,7 | 75,8 | 39,9 | 23,0 | 16,0 | 849,3 |
| Dieren, 1876—1895 | 145,8 | 130,5 | 79,3 | 37,9 | 22,1 | 18,5 | 956,5 |
| Oude Wetering: | | | | | | | |
| water, 1876—1895 | 94,7 | 80,1 | 49,7 | 28,5 | 16,6 | 11,0 | 591,6 |
| grasland, 1876—1895 | 139,4 | 114,2 | 72,7 | 33,4 | 16,6 | 8,7 | 769,3 |
| zwarte aarde, 1877—1895 | 67,6 | 56,8 | 38,0 | 21,7 | 12,0 | 7,1 | 442,2 |
| Leeghwater 1871—1875: | | | | | | | |
| gewone verdampingsmeter | 128,0 | 100,8 | 65,8 | 33,0 | 21,2 | 17,0 | 777,6 |
| in water geplaatst | 95,0 | 73,0 | 46,4 | 23,2 | 11,2 | 9,0 | 552,8 |
| percentage | 74 | 72 | 71 | 70 | 53 | 53 | 71 |

8. VERGELIJKING DER UITKOMSTEN.

De groote onderlinge verschillen zijn een bevestiging van hetgeen in de inleiding is opgemerkt. Zij houden meer verband met de wijze van waarnemen dan met regionale klimaatverschillen. De waarnemingen te Leeghwater, door ELINK STERK beschreven, leveren een bewijs temeer van den grooten invloed der opstelling van den verdampingsmeter. De geringe verdamping te Oude Wetering eveneens; de gewone verdampingsmeter had hier een grooter oppervlak dan het gewone model, n.l. 1 m², en was in den grond ingegraven, zoodat de wind minder invloed had. Het groote

verschil tusschen de oude en de nieuwe reeks van Den Helder is een sprekend voorbeeld van den invloed van locale gesteldheid en waarnemingsmethode. Het verschil tusschen de nieuwe reeksen van Den Helder en de Bilt is grooter dan men op grond van het regionale verschil in windsterkte kan verwachten. Waarschijnlijk komt een gedeelte er van op rekening van het feit, dat bij harden wind te Den Helder meer water uit den verdampingsmeter spat dan te De Bilt, daarenboven is de plaats van opstelling te Den Helder minder beschut. De stations in den Haarlemmermeer geven onderling tamelijk goed overeenstemmende cijfers. De begroeiing in de onmiddellijke omgeving van de instrumenten komt er eenigermate met die van De Bilt overeen. Hoewel de afstand tot de kust veel geringer is dan te De Bilt en de windsnelheid over het algemeen grooter, wordt de verdamping er kleiner gevonden. Waarschijnlijk is dit toe te schrijven aan het feit, dat de reservoirs dieper zijn dan te De Bilt en het water dientengevolge minder sterk door de zonnestralen wordt verwarmd, daarenboven staat het water er verder onder den rand. Te Leeuwarden is waarschijnlijk de sterk ingesloten ligging van het observatieterrein de hoofdoorzaak van de geringe verdamping.

9. WAARNEMINGEN BIJ ZUTPHEN, BIJ LOENERVEEN, OP SCHOKLAND EN TE DE BILT.

Door den Rijkswaterstaat zijn in het jaar 1930 in het proefvak Almen der Twenthe-kanalen, bij Zutphen, waarnemingen verricht met een verdampingsmeter van ongeveer 1×2 m oppervlakte en $\frac{1}{2}$ m diepte, waarin het water 10 cm onder den rand stond. De bak was in het water van het proefvak geplaatst. Deze korte reeks van waarnemingen is daarom van belang, omdat wel mag worden aangenomen, dat de omstandigheden, waaronder het water in den bak verdampt, niet belangrijk verschillen van die in het kanaal, in tegenstelling met de tot nu toe behandelde gevallen, die sterk van waterplassen in den natuurlijken toestand afweken. In Maart en October waren de waarnemingen zeer onvolledig, maar van April tot September vielen slechts enkele waarnemingsdagen in Juni, Juli en Augustus uit. De gedeeltelijk onvolledige maandsommen worden hieronder vermeld, met de sommen van De Bilt voor de overeenkomstige dagen en de verhoudingen voor de verschillende maanden.

Verdamping in millimeters.

| 1930 | April | Mei | Juni | Juli | Aug. | Sept. |
|---------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Zutphen | 74.6 | 83.5 | 138.9 | 90.4 | 85.6 | 70.8 |
| De Bilt | 96.3 | 93.5 | 170.5 | 114.9 | 100.8 | 57.8 |
| Verhouding de Bilt: | | | | | | |
| Zutphen | 1.29 | 1.12 | 1.23 | 1.27 | 1.18 | 0.82 |

Behalve in September komen de verhoudingen in de verschillende maanden bevredigend overeen. Voor het tijdvak April—Augustus vindt men $576,0 : 473,0 = 1,22$. Past men deze verhouding toe op het jaargemiddelde 825,2 van De Bilt voor 1909—1935, dan verkrijgt men een jaarsom van 676 mm, een waarde, die waarschijnlijk niet veel van de werkelijke verdamping in het kanaal zal afwijken, omdat de 2 voornaamste foutenbronnen, het randeffect van den verdampingsmeter en de sterkere verwarming in den bak door de zonnestralen, niet groot zullen zijn en in tegengestelden zin werken.

10. Door den Dienst der Amsterdamsche Waterleidingen worden verdampingsmetingen verricht bij het pompstation Loenerveen, in een der westelijke uitloopers van het meer, die door smalle met eenig struikgewas begroeide landstrooken van elkaar zijn gescheiden. De verdampingsmeter bevindt zich midden in de langwerpige watervlakte, ongeveer 40 m van den noord- en zuidoever, en is tegen den golfslag beschermd door een vierkant van 3 rijen houten balkjes. De verdampingsmeter heeft een oppervlak van 400 cm^2 , het water staat in den bak ongeveer 6 cm onder den rand.

De onderstaande cijfers zijn ontleend aan een staat met gegevens omtrent de waarnemingen in 1934, die ons door de Directie der Gemeentewaterleidingen werd verstrekt. Zij stellen voor de maandsommen der dagen, waarop geslaagde waarnemingen zijn verricht en het aantal dier dagen. Neemt men aan, dat op de niet geslaagde dagen de verdamping de helft is geweest van die op geslaagde, dan verkrijgt men de volledige maandsommen, die door „totaal” zijn aangegeven.

| 1934 | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Verd. op geslaagde dagen | 5.1 | 8.0 | 28.4 | 52.9 | 96.5 | 110.0 | |
| Aantal dagen | 12 | 17 | 24 | 24 | 27 | 24 | |
| Totaal | 9.1 | 10.6 | 32.5 | 59.5 | 103.7 | 123.7 | |
| 1934 | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar |
| Verd. op geslaagde dagen | 125.9 | 82.1 | 71.0 | 20.9 | 7.1 | 7.1 | 615.0 |
| Aantal dagen | 25 | 24 | 26 | 22 | 18 | 16 | 259 |
| Totaal | 141.0 | 94.1 | 76.5 | 25.2 | 9.5 | 10.4 | 695.8 |

In dit geval zullen de correcties, die zijn aan te brengen om de verdamping der plassen af te leiden, vrij groot zijn. De windsnelheid zal op de plaats van waarneming merkbaar geringer zijn en daarenboven belet de vrij hoge rand van den verdampingsmeter de ventilatie. Aan den anderen kant zal in den ondiepen bak (enkele cm) de zonnestraling een vrij sterken invloed hebben op de oppervlaktetemperatuur en zal de lucht hier nabij den wal

bij de overwegend westelijke winden droger zijn dan op de plassen. Het is moeilijk te zeggen welk effect het grootste is, maar het is zeer wel mogelijk, dat de negatieve en positieve factoren elkaar vrijwel opheffen. Reduceert men de bovenvermelde totaalsom door middel van de waarnemingen van De Bilt tot het tijdvak 1909—1935, dan vindt men als jaarsom 672 mm.

11. Door den Dienst der Zuiderzeewerken zijn op Schokland waarnemingen verricht van eind Maart 1933 tot half September 1935, die ten doel hadden de verdamping op het IJsselmeer te bepalen. De voorloopige resultaten van dit onderzoek zijn door Ir. J. P. MAZURE gepubliceerd.¹⁾ Voor het IJsselmeer worden de volgende gemiddelde maand- en jaarsommen afgeleid.

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | |
|----------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Verdamping in mm . . | 13 | 15 | 31 | 56 | 93 | 106 | |
| | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar |
| Verdamping in mm . . | 102 | 87 | 63 | 33 | 18 | 13 | 630 |

De meetbakken hadden dezelfde afmetingen als die, waarmede BINDEMANN²⁾ zijn waarnemingen heeft verricht. Als waarnemingsplaats is gekozen een door een laag dammetje beschermde doch met het meer in open verbinding staande plas. De verdamping is gemeten in een ronden koperen bak van 50 cm middellijn, waarvan de rand enkele cm boven water uitsteekt en die drijft op een vlot, dat behoudens enkele ribben geheel onder water is. Beschutting tegen de golfbeweging wordt verkregen, behalve door het vlot, door een verticaal ingedompeld schot op 2 m afstand van het vlot.

De uitkomsten zijn door vergelijking met De Bilt gereduceerd tot het tijdvak 1910—1932. Verder is aan de hand van de waargenomen watertemperaturen in het IJsselmeer en in den verdampingsbak een correctie aangebracht voor het temperatuurverschil bak—IJsselmeer, dat voor het daggemiddelde varieert van $-0,2$ in December en Januari tot $1,0$ in Juni en Juli. Ter bepaling van de correctie werd voor de dampspanning e_d die van Hoorn aangenomen, bepaald uit 3-maal daagsche waarnemingen. De temperatuur van het IJsselmeer t_w werd bepaald uit de waarnemingen te Urk, Nijkerk en Enkhuizen. De gemiddelde watertemperatuur in den

¹⁾ De verdamping van het IJsselmeer. Hemel en Dampkring, jaarg. 34, 1936, afl. 3 en 4, p. 55 en 140.

²⁾ H. BINDEMANN. Die Verdunstungsmessungen auf dem Grimnitzsee und am Werbellinsee. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Besondere Mitteilungen, Bd. 3, Nr. 3.

bak t'_w werd bepaald door bij t_w het bovengenoemde temperatuursverschil op te tellen. De verdamping werd evenredig gesteld met $e_w - e_d$ voor het IJsselmeer en $e'_w - e_d$ voor den verdampingsbak, als e_w en e'_w de maximumspanning bij t_w en t'_w voorstellen. Voor het ontbreken van den golfslag in den bak en de iets geringere windsnelheid werd een correctie van 5 % aangebracht. De waargenomen jaarlijksche verdamping in den meetbak ten bedrage van 715 mm wordt door de toepassing der correcties verminderd tot 630 mm voor het IJsselmeer.

12. Sedert Juni 1932 worden te De Bilt éénmaal per dag 's morgens te 8 uur, waarnemingen verricht met een drijvenden verdampingsmeter van 400 cm² oppervlak in den vijver van het Instituut. Het water wordt dagelijks bijgevuld en staat na de vulling 2 cm onder den rand; de diepte van het water varieert van 12 cm in het midden tot 5 cm aan den rand.

Na uitschakeling der niet geheel betrouwbare waarnemingen werden maandelijks de verhoudingsfactoren bepaald tusschen de verdamping in den vijver en in den gewonen verdampingsmeter op het land. De gemiddelden over de jaren 1933—1935 staan op den eersten regel der onderstaande tabel, de tweede bevat de met deze factoren berekende verdamping over het tijdvak 1909—1935. Als oorzaak van de geringere verdamping in den vijver komt vooral de kleinere windsnelheid in aanmerking en verder ook de mindere verwarming van het water. ¹⁾

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Verhoudingsgetallen . . | 0.78 | 0.69 | 0.66 | 0.65 | 0.66 | 0.68 | |
| Verdamping in mm . . | 12.6 | 17.0 | 35.2 | 54.5 | 80.5 | 90.4 | |
| | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar |
| Verhoudingsgetallen . . | 0.66 | 0.64 | 0.66 | 0.74 | 0.81 | 0.82 | |
| Verdamping in mm. . . | 87.8 | 70.4 | 49.5 | 28.6 | 16.2 | 12.5 | 555.2 |

13. ANDERE WAARNEMINGEN, VAN GROOTE WATEROPPERVLAKKEN, TER VERGELIJKING.

Voor een vergelijking met de waarnemingen hier te lande komen in de eerste plaats in aanmerking de zeer zorgvuldige verdampingsmetingen, die

¹⁾ Weliswaar staat tegenover de sterkere temperatuurstijging overdag in den bak op het land een grootere temperatuurdaling 's nachts, maar de eerste is van meer beteekenis, omdat het verwarmde lichtere water als een dunne laag aan de oppervlakte drijft zonder zich belangrijk met de diepere lagen te vermengen, terwijl bij afkoeling de koude lagen naar beneden zinken. Daarenboven is overdag de windsterkte grooter en heeft daardoor de temperatuurafwijking meer invloed.

door BINDEMANN ¹⁾ in de Grimmitsee, ten NO. van Berlijn, zijn verricht. Voor dit kleine meer, met grootste en kleinste afmeting van 3,5 en 2 km, werd een gemiddelde jaarlijksche verdamping van 940 mm afgeleid. Weliswaar is het klimaat er iets droger dan in ons land en zal door de kleinere afmetingen het waterdampgehalte van de lucht boven het meertje minder toenemen dan boven het IJsselmeer, maar hierdoor kan moeilijk het verschil van 310 mm worden verklaard. BINDEMANN heeft echter geen correctie toegepast voor het temperatuursverschil van het water in den verdampingsmeter en het meer, dat in de waarnemingsmaanden April—October gemiddeld 0°.34 bedraagt, omdat de correctie volgens zijn berekening slechts 1% bedraagt en te verwaarlozen is. Neemt men echter aan, evenals MAZURE heeft gedaan, dat de verdamping in den bak evenredig is met $e'_w - e_d$, dan vindt men een correctie van 50 à 60 mm, zoodat de verdamping in April—October, die volgens BINDEMANN 772 mm bedraagt, tot 717 mm zou verminderen ²⁾, waartegenover staat een bedrag van 540 mm voor het IJsselmeer in hetzelfde tijdvak. Het verschil blijft nog vrij groot; er is in aanmerking te nemen, dat zoowel bij de Nederlandsche als bij de Deutsche waarnemingen de nauwkeurigheid, waarmede het verschil tusschen de temperatuur van het water in den verdampingsmeter en in het meer is bepaald, niet bijzonder groot is en dat de daarmede samenhangende correcties ook niet heel zeker zijn. De voor het IJsselmeer verkregen uitkomsten zijn dan ook als voorloopige te beschouwen; de waarnemingen worden voortgezet terwijl aan de bepalingen van de watertemperatuur en de vochtigheid een uitbreiding is gegeven.

Ook kunnen ter vergelijking de uitkomsten worden vermeld, die voor twee Zwitsersche meren zijn gevonden, de Zugersee en de Ägerisee. Het zijn gunstige vergelijkingsobjecten in zooverre de methode van onderzoek

¹⁾ Loc. cit.

²⁾ BINDEMANN gebruikt de formule $V = 1,60 \times 1,0278^t \frac{u}{1 + 0,342 \times u}$, waarin t de watertemperatuur en u het verzadigingsgebrek voorstelt, afgeleid uit waarnemingen in de meteorologische hut op het land. Wanneer men deze formule gebruikt om den invloed te berekenen van een iets hogere watertemperatuur in den verdampingsmeter, waarbij dus u constant blijft, past men haar toe voor een geval, waarvoor ze niet berekend is. In de natuurlijke omstandigheden, waarop de formule is gebaseerd, neemt namelijk met toenemende t over het algemeen ook u toe. Dat de correctie voor de temperatuurafwijkingen van het water in den verdampingsmeter groter is dan BINDEMANN aanneemt, blijkt ook uit de proeven van EKKEHARD SCHMID (Meteorol. Zeitschr. Aug. 1933, p. 288), die, doordat ze bij betrekkelijk geringe vochtigheid zijn verricht, correcties geven, die voor de Grimmitzsee nog aan den lagen kant zouden zijn.

een geheel andere is geweest, namelijk berekening uit den neerslag en den afvoer, minder gunstig echter, omdat het klimaatsverschil met ons land tamelijk groot is. Voor het koude jaar 1912 werd voor de jaarlijksche verdamping afgeleid

775 mm voor de Zugersee,
735 „ „ „ Ägerisee.

Bij de vergelijking dient in dit geval de invloed van den luchtdruk in aanmerking te worden genomen. De hoogte boven zee bedraagt voor de Zugersee 407 m, overeenkomende met een luchtdrukvermindering ten opzichte van zeeniveau van bijna 5%. Met dit bedrag zal men de verdamping moeten verminderen om haar vergelijkbaar te maken met het IJsselmeer.¹⁾ Verder zijn de grootere afmetingen van het IJsselmeer in aanmerking te nemen, waarmee, tengevolge van de hoogere vochtigheid, een vermindering der verdamping zal gepaard gaan.

Ten slotte zij vermeld, dat in het rapport omtrent „Wateronttrekking aan de Veluwe, 1933” (p. 140) op grond van de beschikbare gegevens de vermoedelijke verdamping van een vrij wateroppervlak wordt geschat op gemiddeld 500 mm, hetgeen mij een lage schatting lijkt, althans voor een plas, die vrij aan den wind is blootgesteld.

In het in 1897 gedrukte verslag der Staatscommissie voor de bevoeligen wordt (p. 27) aangenomen, dat de verdamping $\frac{2}{3}$ bedraagt van het gemiddelde der in den verdampingsmeter te Utrecht (821,0 mm), Apeldoorn (849,3) en Dieren (956,5) waargenomene, derhalve 584 mm.

WAARNEMINGEN VAN ANDERE DAN VRIJE OPPERVLAKKEN (zie ook § 7).

14. In de in § 6 aangehaalde verhandeling van ELINK STERK wijst de schrijver op de geringe betrouwbaarheid van lysimeterwaarnemingen, waarbij, in tegenstelling met den natuurlijke toestand, begieting der planten plaats vindt. Hij voert een berekening uit voor den Haarlemmermeerpolder, waarbij neerslag, kwelwater, in- en afgevoerd water, vochtgehalte van den grond en stand van het boezemwater wordt in rekening gebracht, en komt tot de conclusie, dat over het algemeen in natte jaren meer verdampt dan in droge. Voor het geheele jaar wordt voor den polder een verdamping van 481 mm afgeleid. Voor kortere tijdvakken worden de uitkomsten onnauw-

¹⁾ Voorzoover de afneming van het verzadigingsgebrek en de temperatuur met de hoogte het luchtdrukeffect weer niet compenseeren.

keuriger, htegeen in aanmerking is te nemen bij de door ELINK STERK uitgevoerde berekening voor periodes van 4 maanden, waarvoor hij vindt:

| | Januari—April | Mei—Augustus | September—December |
|------------------|---------------|--------------|--------------------|
| Verdamping in mm | 66 | 347 | 68 |

Door de verhouding te bepalen met de verdamping te De Bilt en aan de verhoudingen in de afzonderlijke maanden een vloeiend verloop te geven zijn hieruit door VAN EVERDINGEN ¹⁾ de volgende maandsommen afgeleid.

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Verdamping in mm . . | 4 | 8 | 16 | 38 | 67 | 102 | |
| Verhouding | 0,25 | 0,33 | 0,30 | 0,45 | 0,55 | 0,77 | |
| | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar |
| Verdamping in mm. . . | 106 | 72 | 40 | 17 | 7 | 4 | 481 |
| Verhouding | 0,80 | 0,65 | 0,53 | 0,44 | 0,35 | 0,26 | |

welke getallen in de aangegeven verhoudingen staan tot de verdamping te De Bilt in 1909—1935 (§ 3).

De berekening van ELINK STERK heeft betrekking op de jaren 1881—1896. Het onderzoek is door Ir. J. G. BIJL ²⁾ voortgezet. Door laatstgenoemden werden bij de berekening eenige correcties aangebracht, die echter van minder belang zijn dan het feit, dat de verdamping geenszins constant blijkt te zijn, maar met de verlaging van het waterpeil en de verbeterde ontwatering belangrijk is afgenomen. Het verschil verdamping—kwel werd voor tijdvakken van 10 jaar berekend, aanvangende op 1 April 1870 en eindigende met 1 April 1923. Ondanks de vermindering in de kwel, neemt het jaarlijksche verschil tusschen verdamping en kwel af van ongeveer 400 mm tot ongeveer 262 mm, welke laatste waarde geldt voor het tijdvak 1 April 1908—1 April 1923, toen de toestand vrijwel stationnair schijnt te zijn geworden. Voor dit tijdvak stelt BIJL de verdamping op 350 mm per jaar ³⁾, voor de totale kwel wordt een vermindering van 35 mm gevonden in de jaren 1887 tot 1915. De verandering in het verschil verdamping—kwel, 400—262 = 138 mm, moet derhalve met nog minstens 35 worden vermeerderd om den teruggang der verdamping te verkrijgen, waarvoor men dan dus 173 mm vindt. Aan het begin van het beschouwde tijdvak zou de verdamping dan

$$350 + 173 = 523 \text{ mm}$$

zijn geweest, derhalve iets grooter dan het bedrag, dat door ELINK STERK is afgeleid.

¹⁾ Water en Gas, 17 Maart 1922, p. 96.

²⁾ Het kwelwater in den Haarlemmermeerpolder. De Ingenieur, 1925, n°. 7.

³⁾ Ontleend aan KELLER, die voor stroomgebieden met minimale verdamping de jaarlijksche verdamping op 350 mm stelt.

15. Het door BIJL. aangenomen opvallend lage bedrag van 350 mm is slechts een onzekere schatting. Daartegenover staat een opvallend hoge jaarsom van 900 à 1050 mm, die door Ir. PFEIFFER in het Veluwe-rapport wordt vermeld (p. 141) voor den Horstermeerpolder in de jaren 1910 en 1911, als voorbeeld van de betrekkelijk groote verdamping in sterk kwellende polders, afgeleid uit cijfers, voorkomende in het Verslag der Staatscommissie tot het instellen van een onderzoek omtrent het vraagstuk der droogmaking van de Plassen beoosten de Vecht (1920).

De in deze en de vorige § vermelde cijfers zijn weliswaar onzeker, maar zij kunnen toch worden beschouwd als een aanwijzing, dat de verdamping van gras- en bouwland, behalve van het klimaat, in sterke mate afhankelijk is van het watergehalte van den grond.

In het Veluwe-rapport wordt de gemiddelde jaarlijksche verdamping in het gebied der Hooge Veluwe geschat op 430 mm (p. 147).

De afhankelijkheid van de verdamping van het watergehalte van den grond wordt bijzonder sterk, wanneer voeding door het grondwater is uitgesloten. Een speciaal geval hiervan is door VAN EVERDINGEN behandeld ¹⁾. Voor kale en met helm beplante duinen is het verschil tusschen neerslag en verdamping afgeleid in de onderstelling, dat in een bepaalde maand niet meer kan verdampen dan de neerslag bedraagt en wordt derhalve het verschil neerslag—verdamping = 0 aangenomen; de verdamping neemt dan met toenemende droogte af.

JAARLIJSCHE EN DAGELIJKSCHE GANG DER VERDAMPING.

16. JAARLIJSCHE GANG.

Er is een opmerkelijk verschil tusschen den jaarlijkschen gang van de verdamping te Den Helder en De Bilt. De onderstaande verhoudingen Den Helder : De Bilt gelden voor het tijdvak 1909—1935.

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | |
|--|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Verhouding | 1,57 | 1,24 | 1,07 | 1,08 | 1,07 | 1,12 | |
| Betr. vochtigheid, verschil De Bilt—Den Helder, in % | 0 | — 3 | — 5 | — 6 | — 8 | — 7 | |
| | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar |
| Verhouding | 1,19 | 1,32 | 1,47 | 1,82 | 1,98 | 1,86 | |
| Betr. vochtigheid, verschil De Bilt—Den Helder, in % | — 5 | — 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | |

¹⁾ Prof. Dr. E. VAN EVERDINGEN. De droogte van 1929 en de watervoorraad in den bodem. Water en Gas, jaarg. 14 (1930), n^o. 14, p. 123.

In het voorjaar en het begin van den zomer is de verhouding het kleinst, in het najaar en het begin van den winter het grootst. In hoofdzaak is de jaarlijksche gang in de verhoudingen wel aan verschillen in de betrekkelijke vochtigheid toe te schrijven. Trekt men de gemiddelde betrekkelijke vochtigheid te Den Helder, berekend uit de waarnemingen te 8, 14 en 19 uur, af van die te De Bilt, dan verkrijgt men de getallen, die onder de verhoudingen zijn geplaatst. Zij zijn het laagst en het hoogst ongeveer in dezelfde maanden, waarin de verhoudingen de kleinste en de grootste waarden hebben.

MAZURE ¹⁾ heeft voor de verhouding van de verdamping op Schokland ten opzichte van die te De Bilt (1933—1935) de volgende cijfers gevonden (Schokland : De Bilt):

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni |
|----------------------|------|-------|-------|-------|------|------|
| Verhouding | 0,70 | 0,47 | 0,62 | 0,82 | 1,00 | 0,91 |
| Vereffend | 0,95 | 0,59 | 0,66 | 0,76 | 0,88 | 0,94 |
| | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
| Verhouding | 0,95 | 0,92 | 0,87 | 0,99 | 0,98 | 0,55 |
| Vereffend | 0,96 | 0,96 | 0,94 | 0,87 | 0,74 | 0,58 |

Deze verhoudingen hebben de grootste waarden in de zomermaanden en de kleinste in den winter. Vochtigheidswaarnemingen van Schokland zijn nog niet beschikbaar, zoodat nog geen bevredigende verklaring is te geven.

Tusschen de stations in den Haarlemmermeerpolder en De Bilt bestaat weinig verschil in den jaarlijkschen gang. De onderstaande verhoudingen Haarlemmermeer : De Bilt zijn berekend door de gemiddelden te nemen der lange reeksen van Leeghwater, Lijnden, Cruquius en Hoofddorp in tabel 2 en deze te deelen door De Bilt van October 1909—1935:

| | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni |
|----------------------|------|-------|-------|-------|------|------|
| Verhouding | 0,84 | 0,79 | 0,73 | 0,89 | 0,90 | 0,88 |
| | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
| Verhouding | 0,87 | 0,84 | 0,79 | 0,80 | 0,85 | 0,87 |

17. DAGELIJSCH GANGL

Voor De Bilt zijn voor de uren 8—14 en 14—19 de gemiddelden berekend over het tijdvak October 1909—1916, daarenboven voor De Bilt en Den Helder voor de uren 8—19 en 19—8. De latere jaren zijn niet gebruikt, omdat door de invoering van den zomertijd in een gedeelte van het jaar de waarnemingsuren zijn verschoven. Behalve deze gemiddelden zijn in tabel 4 de verhoudingen opgenomen van de verdamping van 8—19 uur: 19—8 uur.

¹⁾ Hemel en Dampkring, jaarg. 1936, p. 91.

TABEL 4.

De Bilt en Den Helder. Verdamping in millimeters.

De Bilt and Den Helder. Evaporation in millimetres.

| Oct. 1909—1916 | Jan. | Febr. | Maart | April | Mei | Juni | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| De Bilt, 8—14 | 7,7 | 12,8 | 25,9 | 50,9 | 65,5 | 65,4 | |
| 14—19 | 5,1 | 8,3 | 19,3 | 38,4 | 44,0 | 44,9 | |
| 8—19 | 12,8 | 21,1 | 45,2 | 89,3 | 109,5 | 110,3 | |
| 19—8 | 5,2 | 5,2 | 6,9 | 9,3 | 10,0 | 10,4 | |
| 8—19/19—8 | 2,5 | 4,1 | 6,6 | 9,6 | 11,0 | 10,6 | |
| Den Helder, 8—19 | 18,0 | 21,3 | 39,4 | 79,6 | 104,5 | 112,8 | |
| 19—8 | 8,7 | 9,7 | 11,8 | 16,1 | 19,3 | 25,6 | |
| 8—19/19—8 | 2,1 | 2,2 | 3,3 | 4,9 | 5,4 | 4,4 | |
| Haarlemmermeer (Leeghwater, Lijnden, Cruquius en Hoofddorp, van 1888 af). | | | | | | | |
| 8—20 | 9,2 | 12,9 | 30,2 | 60,9 | 100,1 | 105,7 | |
| 20—8 | 3,2 | 3,4 | 5,1 | 6,7 | 9,4 | 9,5 | |
| 8—20/20—8 | 2,9 | 3,8 | 5,9 | 9,1 | 10,6 | 11,1 | |

| Oct. 1909—1916 | Juli | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Jaar |
|---|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| De Bilt, 8—14 | 67,0 | 63,5 | 44,6 | 23,2 | 10,7 | 8,5 | |
| 14—19 | 49,5 | 42,1 | 26,1 | 12,3 | 5,7 | 6,0 | |
| 8—19 | 116,5 | 105,6 | 70,7 | 35,5 | 16,4 | 14,5 | 747,4 |
| 19—8 | 9,8 | 6,3 | 3,6 | 3,5 | 5,6 | 6,2 | 82,0 |
| 8—19/19—8 | 11,9 | 16,8 | 19,6 | 10,1 | 2,9 | 2,3 | 9,1 |
| Den Helder, 8—19 | 127,2 | 118,2 | 86,6 | 47,4 | 29,7 | 22,1 | 806,8 |
| 19—8 | 26,1 | 21,4 | 21,3 | 15,0 | 15,0 | 11,1 | 201,1 |
| 8—19/19—8 | 4,9 | 5,5 | 4,1 | 3,2 | 2,0 | 2,0 | 4,0 |
| Haarlemmermeer (Leeghwater, Lijnden, Cruquius en Hoofddorp, van 1888 af). | | | | | | | |
| 8—20 | 103,0 | 83,6 | 53,4 | 25,5 | 12,3 | 8,6 | 605,6 |
| 20—8 | 8,3 | 6,6 | 4,0 | 3,6 | 3,2 | 3,2 | 66,4 |
| 8—20/20—8 | 12,4 | 12,6 | 13,3 | 7,1 | 3,8 | 2,7 | 9,1 |

Te Den Helder is, in verhouding tot de totale verdamping, de verdamping in de nachturen veel grooter dan te De Bilt en het verschil tusschen de totale verdamping op deze twee stations komt dan ook voor het grootste gedeelte voor rekening van de nachturen; het bedraagt voor 8—19 uur 59,4 mm, voor 19—8 uur 119,1 mm. Het blijkt, dat in Maart, April en Mei uit den verdampingsmeter te De Bilt tusschen 8 en 19 uur zelfs meer verdampt dan uit dien te Den Helder. Daarentegen is de verdamping van 19—8 uur voor het geheele jaar te Den Helder 2½ maal zoo groot als te De Bilt, in Januari—April 1,7 maal, in September en October meer dan 4 maal zoo groot. De kleinere verhoudingen te Den Helder zijn wel toe te schrijven aan het feit, dat de windsnelheid op het kuststation Den Helder 's nachts minder afneemt dan te De Bilt ¹⁾ en dat de betrekkelijke vochtigheid er 's nachts minder toeneemt.

¹⁾ Zie Meded. en Verh. n°. 32, p. 38, 39 en 41.

Het verschil tusschen dag en nacht is, zoowel wat de windsterkte als wat de betrekkelijke vochtigheid aangaat, in den zomer grooter dan in den winter, vandaar, dat de verhoudingen in het warme jaargetijde, vooral te De Bilt, grooter zijn dan in het koude seizoen. Het maximum verschuift zich echter te De Bilt vrij sterk naar het einde van het jaar, een gevolg van de toenemende vochtigheid en sterkere vorming van dauw en mist tusschen 19 en 8 uur in Augustus en September.

Op de 4 stations in den Haarlemmermeerpolder zijn de waarnemingen verricht te 8 en 20 uur, waardoor het etmaal in 2 gelijke deelen wordt verdeeld. De gegevens van 1888 af, gemiddeld over alle stations, geven de gemiddelden en verhoudingen tusschen 8—20 en 20—8 uur, die in het onderste gedeelte van tabel 4 zijn opgenomen. De verhoudingen verschillen niet veel van die te De Bilt, maar zijn, het verschil in tijdsduur der 2 termijnen in aanmerking genomen, iets kleiner, hetgeen men op grond van de geografische ligging kon verwachten. Ook hier is, evenals te De Bilt, het maximum der verhoudingen naar het einde van het warme seizoen verschoven.

AFLEIDING DER CONSTANTEN VAN DE VERDAMPINGS-FORMULE.

18. VROEGERE BEPALINGEN.

Indien in de formule van § 2 *v* wordt uitgedrukt in m. p. s., is volgens BIGELOW ¹⁾ voor bakken van 0,4 tot 3,0 m middellijn

$$A = 0,252.$$

Volgens STELLING ²⁾ is uit de waarnemingen te Pawlowsk, Nukuss en St. Petersburg af te leiden:

| | Pawlowsk ²⁾ | Nukuss ²⁾ | St. Petersburg ²⁾ |
|-----------------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| $A =$ | 0.116 | 0.16 | 0.115 |

Op deze stations is de windsnelheid op vrij groote hoogte gemeten; bij invoering van de snelheid aan het wateroppervlak worden de constanten hooger en wijken, naar schatting, niet veel van de door BIGELOW gevonden waarde af.

¹⁾ F. H. BIGELOW. The laws of the evaporation of water from pans, reservoirs and lakes. Boletín n°. 2 de la Oficina Meteorologica Argentina, p. 21. Buenos Aires 1912.

²⁾ ED. STELLING. Über die Abhängigkeit der Verdunstung des Wassers von seiner Temperatur und von der Feuchtigkeit und Bewegung der Luft. Repertorium für Meteorologie, Bd. VIII, n°. 3. Über die Bestimmung der absoluten Grösse der Verdunstung von einer freien Wasserfläche, nach den Beobachtungen im Observatorium zu Pawlowsk. Rep. f. Met. VIII, Kleinere Mitteilungen n°. III.

De waarden van C loopen sterker uiteen. Wanneer de verdamping wordt aangegeven in mm per uur, is volgens STELLING voor

| | | | |
|-----------------|----------|--------|----------------|
| | Pawlowsk | Nukuss | St. Petersburg |
| $C =$ | 0,011 | 0,039 | 0,039 |

terwijl de waarde, die BIGELOW afleidt uit een 9-tal reeksen van verdampingsmetingen, door verschillende waarnemers op verschillende plaatsen verricht, bedraagt

$$C = 0,0277.$$

Een afdoende verklaring voor de verschillen in C is niet te geven. Het kan zijn, dat $e_w - e_d$ onnauwkeurig is bepaald, hetzij doordat een fout is gemaakt bij het afleiden van het daggemiddelde uit enkele termijnwaarnemingen, of doordat de bepaling van de temperatuur van het water te wenschen heeft overgelaten.

De waarnemingen, die BIGELOW zelf op uitgebreide schaal met een groot aantal verdampingsbakken heeft verricht, zijn niet geschikt om C af te leiden, omdat een formule van anderen vorm is gebruikt.

19. WAARNEMINGEN TE DE BILT, GEWONE VERDAMPINGSMETER.

Te De Bilt is in de laatste jaren de oppervlaktetemperatuur van het water bepaald te 8, 13.45 en 16 uur en voor enkele maanden ook te 11 uur. De verdampingswaarnemingen vonden plaats te 8, 14 en 18.20 uur. De vervroeging met 1 uur gedurende de invoering van den zomertijd geldt niet voor de waarneming van 18.20. Op Zaterdag en op Zon- en feestdagen is in plaats van te 14 uur te 13.20 (13 G. M. T.) waargenomen.

Voor de bepaling van de dampspanning e_d werd gebruik gemaakt van de uurlijksche aflezingen der diagrammen van den thermo- en hygrograaf in de meteorologische hut, terwijl de maximumspanning e_w bij de watertemperatuur werd bepaald door uit de 3-maal daags waargenomen temperatuursverschillen „water—hut” geschatte temperatuursverschillen voor ieder uur af te leiden. Die schatting laat voor 8—14 uur en 18.20—8 uur aan nauwkeurigheid te wenschen over, is daarentegen voor 14—18.20 uur voldoende zeker. De windsnelheid is gemeten op den toren van het Instituut, op 37,5 m boven den grond. Reductie tot 6 m hoogte boven vlak open terrein geeft ¹⁾ vermindering tot $5/6$ en tot 1,5 m hoogte $5/6 \times 4/5 = 2/3$. Vergelijkende waarnemingen van de windsnelheid boven en beneden, die in Februari werden gedaan, gaven voor den herleidingsfactor getallen, die sterk van de

¹⁾ Zie Meded. en Verh. n°. 32, p. 29.

windrichting afhankelijk zijn, doordat het terrein aan de eene zijde meer ingesloten is dan aan de andere.

| | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| Windrichting | ONO | O | Z | WZW | NW |
| Factor | 0,50 | 0,55 | 0,39 | 0,26 | 0,16 |

De plaatselijke gesteldheid en de frequentie der windrichtingen in aanmerking nemende, laat zich voor den reductiefactor hieruit een gemiddelde berekenen van 0,33, hetgeen beteekent, dat de factor $\frac{2}{3}$ voor open terrein door de begroeing enz. nog tot de helft wordt verminderd, althans in den winter, wanneer de boomen kaal zijn.

In den zomer werden over het algemeen kleinere factoren gevonden. De vergelijkingen met den windmeter op den toren werden uitgevoerd bij 5 verschillende richtingen; zij gaven gemiddeld een verhouding, die 77 % bedroeg van die van de wintermaanden, en derhalve voor de windsnelheid bij den verdampingsmeter een reductiefactor van

$$0,77 \times 0,33 = 0,25.$$

Neemt men voor A de waarde van BIGELOW 0,25 aan en voor den reductiefactor van den wind 0,33 voor de winter- en 0,25 voor de zomermaanden en berekent men voor de afzonderlijke maanden van het tijdvak 1933—1935 de waarden van C , dan vindt men voor de waarnemingsuren 14—18.20 als gemiddelde voor November—April:

$$C = 0,0269.$$

De afzonderlijke maandfactoren, waaruit dit gemiddelde is verkregen, loopen nogal uiteen. Een betere onderlinge overeenstemming vertoonen de cijfers voor de zomermaanden:

| | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 1933—1935 | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Gemiddeld |
| C voor 14—18.20 uur | 0,0271 | 0,0282 | 0,0266 | 0,0265 | 0,0271 |

Het gemiddelde der 10 maanden bedraagt ¹⁾:

voor de namiddaguren, 14—18.20 $C = 0,0270$.

„ „ nachturen, 18.20— 8 $C = 0,0246$.

Niettegenstaande het verzadigingsgebrek $e_w - e_d$ voor de namiddaguren meer dan 10 maal zoo groot is als voor de nachturen, komen de waarden

¹⁾ De berekening is voor Mei en October achterwege gelaten, wegens de verschuiving der waarnemingsuren bij de invoering en beëindiging van den zomertijd.

van C vrij goed overeen ¹⁾, hetgeen wel beschouwd mag worden als een aanwijzing, dat de evenredigheid van de verdamping met den factor $e_w - e_d$ althans bij benadering voor zeer uiteenlopende vochtigheden opgaat, in afwijking van de meening van BIGELOW ²⁾, dat de formule tamelijk goed is voor droge klimaten of gedurende het droge gedeelte van den dag, maar dat men zeer variabele uitkomsten verkrijgt voor vochtige klimaten en 's nachts.

20. DE BILT. WAARNEMINGEN IN DEN VIJVER.

De temperatuur van het water werd evenals in den gewonen verdampingsmeter 3 maal per dag bepaald, te 8, 13.45 en 16 uur. Voor de windsnelheid iets boven het wateroppervlak werd zoowel bij wind in de lengterichting van den vijver als loodrecht daarop $2/3$ gevonden van de snelheid op 1,5 m hoogte bij den gewonen verdampingsmeter. De snelheid nabij het wateroppervlak werd aangenomen op 0,6 van die bij den meter op het land. De berekening der constante C der verdampfingsformule werd slechts uitgevoerd voor den namiddagtermijn 14—18.20 uur. De verdamping werd berekend uit die van den gewonen verdampingsmeter door middel van de in § 12 vermelde verhoudingsgetallen; het verschil in den dagelijkschen gang van de verdamping in de 2 verdampingsmeters werd derhalve verwaarloosd.

Voor de windsnelheid 0,6 van die bij den gewonen verdampingsmeter nemende, verkrijgt men voor de warmste maanden:

| | 1933—1935 | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Gemiddeld |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| $C =$ | | 0,0232 | 0,0226 | 0,0233 | 0,0224 | 0,0229 |

¹⁾ Wanneer voor enkele uren van den nacht een negatieve waarde van $e_w - e_d$ werd afgeleid, is $e_w - e_d = 0$ aangenomen. Daardoor is C voor de nachturen kleiner gevonden dan het geval zou geweest zijn, indien condensatie was aangenomen; in het laatste geval zou het verschil tusschen de C voor de namiddag- en nachturen nog kleiner zijn geworden. Dat met condensatie in den verdampingsmeter rekening moet worden gehouden, bleek o.a. bij een bepaling op 15 April 1936, toen te 8.35 bij helder windstil weer na een koude nacht een kleine hoeveelheid ijs in den verdampingsmeter werd aangetroffen. Met een aspiratiepsychrometer werd in de buitenlucht naast den verdampingsmeter een dampspanning van 5,1 mm gevonden, terwijl 1 a 2 cm boven het water in den verdampingsbak de dampspanning slechts 4,9 mm bedroeg. Blijkbaar sloeg waterdamp in den bak neer, hetgeen te verwachten was bij een dauwpunt van 0,9°.

De constante C voor de nachturen zou ten opzichte van die voor de daguren eveneens iets grooter zijn geworden, indien in aanmerking was genomen, dat de windsnelheid 's nachts naar beneden sneller afneemt dan overdag.

²⁾ Boletines n°. 2 de la Oficina Meteorologica Argentina, 1912, p. 5.

Het verschil met de waarden van C , die in de vorige § zijn afgeleid, is wel in hoofdzaak toe te schrijven aan de grootere vochtigheid boven het water in den vijver.

21. WAARNEMINGEN OP SCHOKLAND.

Door Ir. J. P. MAZURE is gevonden ¹⁾, dat de verdamping per etmaal op het IJsselmeer tamelijk goed kan worden voorgesteld door de formule

$$1,00 (e_w - e_d).$$

Voor de bepaling van e_d is hierbij gebruik gemaakt van de vochtigheidswaarnemingen te Hoorn en voor e_w van de waarnemingen omtrent de temperatuur van het water in het IJsselmeer te Enkhuizen, Urk en Nijkerk. Voor de zomermaanden geeft deze formule iets te hoge uitkomsten; men kan beter voor Mei—Augustus den factor 1,00 door 0,965 vervangen. Stelt men voor dit tijdvak de gemiddelde windsnelheid = 4,1 m. p. s. ²⁾ en den coëfficiënt A in den windterm $1 + A v$ weer = 0,25, dan vindt men:

$$C = 0,0187.$$

De in uitzicht gestelde meer uitgebreide nieuwe waarnemingen betreffende de verdamping van het IJsselmeer en de aanvullende waarnemingen van water- en luchttemperatuur en vochtigheid zullen nauwkeuriger gegevens kunnen leveren voor de berekening van den coëfficiënt C voor een uitgestrekt wateroppervlak. De gevonden betrekkelijk kleine waarde van C , vergeleken met de 0,0271 en 0,0229 der vorige §§, beteekent waarschijnlijk, dat de vochtigheid op het meer niet onbelangrijk hooger is dan door de gebruikte gegevens van Hoorn wordt aangegeven.

¹⁾ Hemel en Dampkring 34 (1936), p. 143 en 144.

²⁾ Het gemiddelde der windsnelheid te Groningen en Vlissingen, gereduceerd tot het oppervlak van het meer.

EVAPORATION.

EVAPORATION.

INTRODUCTION.

1. In this treatise we shall principally deal with the simplest case of evaporation measurements, that of a free water surface. Many observations with evaporation pans have been made in former and recent times. A large part of them is of no use for absolute determinations, because no description is given of the immediate surroundings with regard to the air movement or of the exposure of the instruments, and nearly always observations of the watertemperature are lacking. Moreover, changes in the place of observation and the instruments often reduce their value as relative measurements. The results of the principal observations of this kind will be given, including the older ones. Some of the more recent observations will be used for the deduction of the constants of an evaporation formula.

As to the more intricate problem of the evaporation from other surfaces we shall restrict ourselves to the discussion of only a few researches.

A map of the stations is inserted in the dutch text.

FACTORS, ON WHICH THE EVAPORATION DEPENDS.

2. EVAPORATION FORMULA.

In our discussions we shall make use of the formula

$$E = C(1 + \alpha t) (e_w - e_d) (1 + Av).$$

C and A are constants, t is the airtemperature in centigrades, α the expansion coefficient of the air = $1/273$, e_w the maximum watervapour tension at the temperature of the water, in mm, e_d the vapour tension of the air, in mm, and v the windvelocity near the watersurface, in m.p.s. The factor $1 + \alpha t$ accounts for the influence of temperature on the mobility of the gas molecules. The proportionality of the evaporation to the saturation defect $e_w - e_d$ appears to hold, as we shall see later, within a wide range of humidities, for dry as well as for nearly saturated air. We have not tried to replace the simple term $1 + Av$ by a more intricate one, that might have represented the influence of windspeed more accurately, because it was considered as sufficiently accurate, the magnitude of other sources of error

being taken into account. The influence of airpressure has been neglected, which will be permitted so long as average data of evaporation are considered.

For a correct determination of E it would be necessary to calculate $\Sigma \Delta E$ over short periods, during which the factors $1 + at$, $e_w - e_d$ and $1 + Av$ may be considered to remain constant, which would take up much time. This difficulty has been accounted for, at least partly, by basing the calculation not on the daily means, but on the data of the morning, the afternoon and the night separately, so far as the observations at De Bilt are concerned. For the IJssel lake, where the diurnal ranges are smaller, this subdivision may be considered to be less urgent. It may be stated, that a check-calculation has shown that the remaining error may be neglected.

OBSERVATIONS OF WATER SURFACES.

3. OBSERVATIONS AT DE BILT AND DEN HELDER SINCE 1897.

Evaporation pans of the same pattern have been in use at De Bilt and Den Helder since October 1909. The instrument consists of a balance and a brass reservoir with a surface of 400 cm². After each observation the water is replenished up to 2,5 cm below the rim, corresponding with the zero position of the balance. With rainfall the water can rise still 3 mm in the reservoir, before it overflows through a tube in the centre of the pan towards another reservoir. The water depth varies from 3,5 cm near the rim to 5,5 cm in the centre. For protection against strong wind and radiation from the sides the pan is surrounded by a metal cylinder painted white, the upper rim of which is projecting a little above that of the pan.

Before October 1909 an apparatus was used at De Bilt, mounted nearly 1 m higher above the ground, which yielded higher amounts of evaporation, in consequence probably of its higher position and of a less effective protection against splashing away of the water by strong winds. The observations at De Bilt were started in May 1897. The subjoined averages have been obtained for the periods of May 1897—September 1909 (with omission of some unreliable data in 1902 and 1903) and October 1909—December 1935.

Mean evaporation in mm.

| | Jan. | Febr. | March | April | May | June |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| De Bilt: | | | | | | |
| May 1897—Sept. 1909 . | 24,4 | 31,4 | 53,9 | 107,7 | 142,9 | 156,1 |
| Oct. 1909—1935 . . . | 16,2 | 24,6 | 53,3 | 83,9 | 122,0 | 132,8 |
| Den Helder: | | | | | | |
| Nov. 1897—Sept. 1909 | 34,6 | 39,3 | 64,9 | 104,7 | 142,3 | 163,3 |
| Oct. 1909—1935 . . . | 25,5 | 30,6 | 57,3 | 90,9 | 130,7 | 149,0 |

| | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Year |
|------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| De Bilt: | | | | | | | |
| May 1897—Sept. 1909 . | 160,7 | 141,1 | 91,5 | 53,6 | 27,1 | 20,3 | 1010,7 |
| Oct. 1909—1935 . . . | 133,3 | 110,1 | 75,0 | 38,7 | 20,0 | 15,3 | 825,2 |
| Den Helder: | | | | | | | |
| Nov. 1897—Sept. 1909 . | 171,8 | 167,8 | 120,2 | 78,3 | 46,8 | 34,6 | 1168,6 |
| Oct. 1909—1935 . | 158,3 | 145,6 | 110,2 | 70,4 | 39,5 | 28,5 | 1036,5 |

At De Bilt the figures throughout the first period are generally higher than those of the second (see table 1).

At Den Helder the new evaporation pan was put into use on September 15, 1909. Since September 12, 1917, it is mounted in its present place on the grounds of the meteorological station behind the seadike. The site, from October 1908 on the sea dike, was more windy than the present one, as follows from control measurements from September 1909—August 1910, which yield 1160,4 mm on the dike against 939,0 mm on a site that is comparable with the present one.

4. MONTHLY AND ANNUAL MEANS AT DE BILT.

Table 1 in the Dutch text contains monthly and annual totals of evaporation at De Bilt, from the beginning of the observations till 1935, some unreliable data in 1902 and 1903 having been omitted.

5. OLDER OBSERVATIONS AT UTRECHT AND DEN HELDER.

Before the beginning of the observations at De Bilt, in May 1897, evaporation measurements have been made at Utrecht, on the flat roof of the Observatory of Sonnenburg with a reservoir of 400 cm². They seem to be fairly homogeneous, the evaporation is found to be about equal to that of De Bilt in 1909—1935 (see table 2).

The observations at Den Helder, made before October 9, 1897, deviate appreciably from the later ones. The results are given for several periods in table 2. The surface of the pan was 1 m², and probably it was mounted at a relatively small height above the ground. The removal of a protecting cylinder round the reservoir, in 1867, has evidently increased the evaporation.¹⁾

¹⁾ It has been the custom at all the stations up to 1897 to add the evaporation of January 31 and March 1 to the amount of February.

6. OBSERVATIONS IN THE POLDER OF THE HAARLEMMERMEER.

Table 2 contains also the results for 4 stations, Leeghwater, Lijnden, Cruquius and Hoofddorp, in the polder of the Haarlemmermeer. The pans are cylindrical vessels of tinned iron, with a diameter of 0,225 m (400 cm² surface) and about the same depth, mounted at 1 to 1½ m above the ground, and surrounded by wooden tubs. Every day the waterlevel is brought up to 4 cm below the rim; the waterdepth then varies from 4,5 cm near the border to 12 cm in the centre. The decrease in the course of time, observed at Lijnden and Cruquius, is probably due to an increase of the density of the vegetation. In 1933 I found the old evaporimeter of Cruquius on a site entirely enclosed by high trees, particularly on the west side, at Leeghwater it was more open, corresponding more or less with the situation at De Bilt. At Hoofddorp the station was moved about several times, evidently to less exposed places.

7. OBSERVATIONS AT OUDORP, LEEUWARDEN, APELDOORN, DIEREN, OUDE WETERING, AND LEEGHWATER.

In some of the Meteorological Yearbooks summaries are given of evaporation measurements during a series of years.

The averages for a part of these are given in table, 3, viz. Oudorp, and Leeuwarden. Those for Apeldoorn, Dieren and Leeghwater have been taken from other sources. At Oude Wetering observations were made with a reservoir filled with water, a second one with grass-covered earth and a third with black bare mould. The surface of the latter two was level with the ground; now and then water was added in order to keep the soil moist, the superfluous rainwater was collected.

At Leeghwater comparisons have been made between the evaporation from the ordinary evaporimeter, described in § 6, and from a metal pan of the same pattern, which was placed in water, contained in a large wooden tub sunken in the ground. The last line of table 3 contains the percentages of the latter expressed in the former.

8. COMPARISON OF THE RESULTS.

The cause of the mutual differences between the various sets of observations lies more in the exposure and the instruments than in climatic differences. The low figures for Oude Wetering, obtained with the water-reservoir (table 3), were observed in a pan of 1 m² surface placed in the

ground, so that the wind had a relatively small effect. The large difference between the old and new series at Den Helder shows clearly the influence of local effects and method of observation. The difference between the new sets of observations at Den Helder and De Bilt is larger than might be expected on account of the differences of windforce in general. Probably a part of it is due to the fact that more water is splashed out of the reservoir at Den Helder than at De Bilt. Moreover, the position of the station is a less sheltered one at Den Helder. The stations in the polder of the Haarlemmermeer have a sheltered position, not differing much from that of De Bilt. Their evaporation is smaller, notwithstanding the fact that the neighbourhood of the sea implies a higher windforce. Perhaps the smaller evaporation is due to the greater depth of the pans, which are probably heated by the sun to a smaller degree, and to the lower level of the water below the rim of the pans. The cause of the small evaporation observed at Leeuwarden is probably an effect of the strongly sheltered position.

9. OBSERVATIONS NEAR ZUTPHEN, NEAR LOENERVEEN, ON SCHOKLAND AND AT DE BILT.

Observations have been made by the „Rijkswaterstaat” in 1930, in the experiment basin of Almen of the Twenthe canals, near Zutphen, with a reservoir of 1×2 m surface and $\frac{1}{2}$ m depth, in which the water stood 10 cm below the rim. The reservoir was placed in the water of the experiment basin. The importance of this short set of observations lies in the fact, that probably the circumstances under which the water was evaporating did not differ appreciably from those in the canal, in contrast with the cases considered till now, which differed much from natural sheets of water. The observations were very incomplete in March and October, but in the period of April—September only a few days in June, July and August fell out. The partly incomplete monthly totals are mentioned below, with those of De Bilt for the corresponding days, and the ratios for the various months.

Evaporation in mm.

| | 1930 | April | May | June | July | Aug. | Sept. |
|-----------------------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Zutphen | | 74,6 | 83,5 | 138,9 | 90,4 | 85,6 | 70,8 |
| De Bilt | | 96,3 | 93,5 | 170,5 | 114,9 | 100,8 | 57,8 |
| Ratio De Bilt : Zutphen | | 1,29 | 1,12 | 1,23 | 1,27 | 1,18 | 0,82 |

With the exception of September, the ratios agree satisfactorily with each other in the various months. For the period April—August is found $576,0 : 473,0 = 1,22$. When this ratio is applied to the annual mean 825,2

of De Bilt for the period 1909—1935, the annual mean for Zutphen is found to be 676 mm, a value which probably does not deviate much from the evaporation in the canal, because the two principal sources of error, the rim effect and the stronger heating in the reservoir by the sunrays, will not be large, and act in opposite ways.

10. Evaporation measurements are made by the Service of the Amsterdam Water-Company near the pumping station of Loenerveen, in one of the strips of water into which the lake ends on its west side. These water-surfaces are separated from each other by narrow strips of land on which some shrubs are growing. The evaporimeter floats on this oblong surface of water at about 40 m from the north and south border, and is protected against the wave movement by a square of 3 rows of wooden beams. The pan has a surface of 400 cm², the water level in the pan is about 6 cm below the rim.

The sub-joined figures have been taken from a table with data observed in 1934, supplied by the Director of the Water-Company. They represent the monthly totals for the days on which successful measurements have been made, and the number of those days. Assuming, that the evaporation on the unsuccessful days was half of that on the successful ones, one obtains the complete monthly totals given below.

| | Jan. | Febr. | March | April | May | June | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Evaporation on successf. d. | 5,1 | 8,0 | 28,4 | 52,9 | 96,5 | 110,0 | |
| Number of days | 12 | 17 | 24 | 24 | 27 | 24 | |
| Total | 9,1 | 10,6 | 32,5 | 59,5 | 103,7 | 123,7 | |
| | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Year |
| Evaporation on successf. d. | 125,9 | 82,1 | 71,0 | 20,9 | 7,1 | 7,1 | 615,0 |
| Number of days | 25 | 24 | 26 | 22 | 18 | 16 | 259 |
| Total | 141,0 | 94,1 | 76,5 | 25,2 | 9,5 | 10,4 | 695,8 |

The corrections, which should be applied for the reduction of these figures to the evaporation on the lake, will be fairly large. The windvelocity will be sensibly lower near the pan than on the lake, and, moreover, the ventilation is hampered by the fairly high rim. On the other hand, the heating will be greater in the shallow pan (a few cm), and with the prevailing west winds the air will be drier here near the shore than on the lake. It is difficult to say, which effect is the larger one, but it seems not at all improbable that the negative and positive effects approximately counterbalance each other. Reduction of the above-mentioned annual total to the period of 1909—1935, by means of the observations at De Bilt, yield an annual evaporation of 672 mm.

11. Observations have been made on the little isle of Schokland by the Service of the „Zuiderzeewerken” from the end of March 1933 until half September 1935, with the purpose of determining the evaporation of the Yssel lake (the former Zuyderzee). The preliminary results of these measurements have been published by Ir. J. P. MAZURE ¹⁾. The average evaporation, deduced for the Yssel lake, is found to be:

| | Jan. | Febr. | March | April | May | June | |
|--------------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Evaporation in mm. | 13 | 15 | 31 | 56 | 93 | 106 | |
| | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Year. |
| Evaporation in mm. | 102 | 87 | 63 | 33 | 18 | 13 | 630 |

The pans had the same dimensions as those used by BINDEMANN ²⁾. They had a diameter of 50 cm, the rim of the pans projected a few cm above the water, and they floated on a raft, which was submerged with the exception of some ribs. Protection against wave movement was obtained by the raft and by a floating vertical partition surrounding the raft at a distance of 2 m. The observations were made not in the lake itself, but in a basin in open communication with the lake, protected by a low dam. The observations were made with a micrometer.

Besides a reduction to the period 1910—1932, a correction has been applied for the temperature difference between the water in the pan and in the lake, which difference (pan—lake) varies in the daily average from — 0°.2 in December and January to 1°.0 in June and July. The correction was determined as follows. For the vapour pressure e_d was taken the average derived for Hoorn from observations taken 3 times a day. The temperature t_w of the Yssel lake was determined from observations made at Urk, Nijkerk and Enkhuizen. The mean watertemperature t'_w in the pan was obtained by adding the above-mentioned temperature difference to t_w . The evaporation was assumed to be proportional to $e_w - e_d$ for the Yssel lake and to $e'_w - e_d$ for the pan, e_w and e'_w representing the maximum vapour tension at t_w and t'_w . Allowance for the absence of wave movement and the somewhat smaller windvelocity near the pan was made by a correction of 5 %. The annual mean of 715 mm, obtained for the pan, changes by the corrections to 630 mm for the Yssel-lake.

¹⁾ Hemel en Dampkring, 34 (1936), p. 85 and 140.

²⁾ H. BINDEMANN. Die Verdunstungsmessungen auf dem Grimnitzsee und am Werbellinsee. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Besondere Mitteilungen, Bd. 3, Nr. 3.

12. Since June 1932, observations are made at De Bilt in the pond near the Meteorological Institute, once a day at 8 a. m., with a floating pan of 400 cm² surface. The water is replenished daily to 2 cm below the rim; the depth of the water in the pan varies from 12 cm in the centre to 5 cm near the border.

After omission of the not entirely reliable observations, monthly ratios were calculated between the evaporation in the pond and in the ordinary evaporimeter of the Institute. These are given below, together with the evaporation for the period 1909—1935, deduced from them. The causes of the smaller evaporation observed with the pan in the pond, are the lower windforce and the slighter heating of the water ¹⁾.

| | Jan. | Febr. | March | April | May | June | |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Ratios | 0,78 | 0,69 | 0,66 | 0,65 | 0,66 | 0,68 | |
| Evaporation in mm . . . | 12,6 | 17,0 | 35,2 | 54,5 | 80,5 | 90,4 | |
| | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Year |
| Ratios | 0,66 | 0,64 | 0,66 | 0,74 | 0,81 | 0,82 | |
| Evaporation in mm . . . | 87,8 | 70,4 | 49,5 | 28,6 | 16,2 | 12,5 | 555,2 |

13. COMPARISON WITH OTHER OBSERVATIONS CONCERNING LARGE SHEETS OF WATER.

Among the data, that may serve for a comparison, the careful observations, made by BINDEMANN ²⁾ in the Grimnitzsee, to the NE of Berlin, may be mentioned in the first place. A mean annual evaporation of 940 mm was deduced for this small lake, with a largest and smallest dimension of 3,5 and 2 km. The climate is somewhat drier than in Holland, and, moreover, the watervapour contents will increase less when the air is flowing over the small Grimnitzsee than is the case above the much more extensive Yssel lake. But still the difference of 310 mm seems to be fairly large. BINDEMANN, however, has applied no correction for the difference of the water temperature in the evaporation pan and in the lake, which amounts in the observation months April—October to an average of 0°. 34. According to his calculation the correction is only 1 % and may be neglected. When, however, as was done by MAZURE, the evaporation in the pan is

¹⁾ It may be true, that the stronger heating in the pans in the day time, in comparison with natural more extensive sheets of water, is counteracted by a stronger cooling during the night, still the heating has more effect, because the warm lighter water floats in a thin sheet on the surface, whereas cooling makes the surface water sink down and causes a more thorough intermixing with the deeper layers. Moreover, the heating has more effect, because it coincides with the greater windforce in the day time.

²⁾ Loc. cit.

assumed to be proportional to $e'_w - e_d$, a correction of 50 to 60 mm is obtained, so that the evaporation in April—October, which is 772 mm according to BINDEMANN, would decrease to 717 mm¹⁾. For these months the evaporation of the Yssel-lake amounts to 540 mm. The difference is still fairly large; it should be taken into account, that the dutch as well as the german determinations of the temperature difference between the pan and the lake are not very accurate, and this applies also to the corresponding corrections. Therefore, the results obtained for the Yssel lake should be considered as preliminary; the observations are being continued, an extension having been given to the determinations of the water temperature and humidity.

A comparison may also be made between the evaporation of the Yssel-lake with 2 Swiss lakes, the Zugersee and the Ägerisee. The evaporation of the latter two was determined in an entirely different way, from precipitation and discharge. For the cold year 1912 the annual evaporation was found to be

775 mm for the Zugersee (407 m above sea level)

735 mm for the Ägerisee (720 m above sea level)

A difficulty is brought about by the relatively large climatic difference between Holland and Switzerland, which cannot easily be accounted for. The height above sealevel is 407 m for the Zugersee, corresponding with a pressure difference of nearly 5 %. Therefore the above-mentioned figures should be diminished by 5% to make them comparable to those of the Yssel lake²⁾. Furthermore, the larger dimensions of the Yssel lake should be taken into account, involving a higher humidity and a decrease of evaporation.

¹⁾ BINDEMANN makes use of the formula $v = 1,60 \times 1,0278^t \frac{u}{1 + 0,342u}$, t representing the watertemperature, and u the deficit of saturation, derived from observations made in a meteorological screen on shore. When this formula is used for the calculation of the influence of a somewhat higher watertemperature, u remaining constant, it is applied for a case for which it is not adapted. Namely, in the natural circumstances, on which the formula has been based, u generally increases with increasing t . The experiments of EKKHARD SCHMID (Meteorol. Zeitschr. Aug. 1933, p. 288), though the deduced corrections are still on the lower side, when applied to the Grimmelsee, because SCHMID has worked with relatively low humidities, show also that the influence of the temperature difference between pan and lake is larger than is assumed by BINDEMANN.

²⁾ So far as the decrease of the deficit of saturation and of temperature with height above sealevel does not compensate the effect of air pressure.

OTHER OBSERVATIONS THAN THOSE OF FREE WATER SURFACES (see also § 7).

14. The evaporation from polderland has been determined by ELINK STERK for the large polder of the former Haarlemmermeer ¹⁾. The calculation was based on data about precipitation, percolating water, watersupply and discharge, watercontent of the soil and height of the surrounding waterreservoir. ELINK STERK comes to the conclusion, that the evaporation is generally larger in wet years than in dry. For the whole year an evaporation of 481 mm was calculated, distributed as follows:

| | January—April | May—August | September—December |
|---------------------|---------------|------------|--------------------|
| Evaporation in mm . | 66 | 347 | 68 |

From these figures the following monthly values have been deduced by VAN EVERDINGEN ²⁾ by calculating the ratios with the evaporation at De Bilt and applying smoothed values for the various months to the evaporation data of De Bilt in the period 1909—1935 (§ 3).

| | Jan. | Febr. | March | April | May | June | |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Evaporation in mm . . | 4 | 8 | 16 | 38 | 67 | 102 | |
| Ratios | 0,25 | 0,33 | 0,30 | 0,45 | 0,55 | 0,77 | |
| | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. | Year |
| Evaporation in mm . . | 106 | 72 | 40 | 17 | 7 | 4 | 481 |
| Ratios | 0,80 | 0,65 | 0,53 | 0,44 | 0,35 | 0,26 | |

The determination by ELINK STERK applies to the period 1881—1896. The research has been continued by Ir. J. G. BIJL ³⁾, who came to the conclusion that the evaporation has decreased appreciably in the course of time, on account of the lowering of the water level and the improved drainage. The period under discussion extended from 1870 till 1923, and in 40 years time a decrease of evaporation was found of about 173 mm.

15. An other instance of the connection between the evaporation from grass and arable land and the watercontents of the soil is given by Ir. PFEIFFER, who mentions the abnormally high annual evaporation of 900 to 1050 mm per annum for the polder of the Horstermeer in the years 1910 and 1911. This is a polder with a great amount of percolating water.

¹⁾ A. ELINK STERK. Over regen, verdamping en kwel in den Haarlemmermeerpolder. Tijdschrift Kon. Inst. v. Ingenieurs, 1897—1898. Verhandeligen, p. 63.

²⁾ Water en Gas, March 17, 1922, p. 96.

³⁾ Het kwelwater in den Haarlemmermeerpolder. De Ingenieur, 1925, n^o. 7.

It should be remarked, that 1911 was a very dry year and that these figures have no great accuracy.

In a report on the „Hooge Veluwe”, one of the higher parts of Holland, in the centre of the country, the annual evaporation has been estimated at 430 mm.

ANNUAL AND DIURNAL VARIATION OF EVAPORATION.

16. ANNUAL VARIATION.

There exists a noticeable difference between the annual variation of the evaporation at Den Helder and at De Bilt. The subjoined ratios Den Helder : De Bilt refer to the period 1909—1935.

| | Jan. | Febr. | March | April | May | June |
|---|------|-------|-------|-------|------|------|
| Ratio | 1,57 | 1,24 | 1,07 | 1,08 | 1,07 | 1,12 |
| Relative humidity, difference De Bilt—Den Helder in % | 0 | — 3 | — 5 | — 6 | — 8 | — 7 |
| | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
| Ratio | 1,19 | 1,32 | 1,47 | 1,82 | 1,98 | 1,86 |
| Relative humidity, difference De Bilt—Den Helder in % | — 5 | — 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |

The ratio is smallest during the spring and the beginning of the summer, greatest in the autumn and the beginning of the winter. The variation in the ratios seems to be chiefly due to the differences in the relative humidity. The above-mentioned ones for De Bilt—Den Helder were derived from observations at 8, 14 and 19 h. They attain their lowest and highest values approximately in the same months as the ratios.

MAZURE ¹⁾ has deduced the following ratios between the evaporation on the isle of Schokland (in the IJsselake) and at De Bilt (Schokland : De Bilt).

| | Jan. | Febr. | March | April | May | June |
|--------------------|------|-------|-------|-------|------|------|
| Ratios | 0,70 | 0,47 | 0,62 | 0,82 | 1,00 | 0,91 |
| Smoothed | 0,55 | 0,59 | 0,66 | 0,76 | 0,88 | 0,94 |
| | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
| Ratios | 0,95 | 0,92 | 0,87 | 0,99 | 0,98 | 0,55 |
| Smoothed | 0,96 | 0,96 | 0,94 | 0,87 | 0,74 | 0,58 |

For the present no humidity observations of Schokland being available, we cannot give a satisfactory explanation of the annual variation of these ratios.

¹⁾ Hemel en Dampkring, 1936, p. 91.

The annual variation at the stations in the polder of the Haarlemmer lake (Leeghwater, Lijnden, Cruquius and Hoofddorp) is about the same as that of De Bilt, as is indicated by the following ratios Haarlemmermeer: De Bilt. For Haarlemmermeer the data of the long sets of table 2 were used.

| | | | | | | |
|------------------|------|-------|-------|-------|------|------|
| | Jan. | Febr. | March | April | May | June |
| Ratios | 0,84 | 0,79 | 0,73 | 0,89 | 0,90 | 0,88 |
| | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
| Ratios | 0,87 | 0,84 | 0,79 | 0,80 | 0,85 | 0,87 |

17. DIURNAL VARIATION.

In table 4 the averages for the periods 8—14 and 14—19 h. are given, and for De Bilt and Den Helder for 8—19 and 19—8 h., for the period October 1909—1916. The later years have been left out of account, because since the introduction of „summer time” the hours of observation have shifted during a part of the year. Also the ratios 8—19 h./19—8h. are given.

In comparison to the total evaporation the share of the night hours is much greater at Den Helder than at De Bilt, and the difference between the 2 stations is only 59,4 mm for 8—19 h. and 119,1 for 19—8 h. The evaporation between 8 and 19 h. is in March, April and May even larger at De Bilt than at den Helder. On the contrary, the evaporation between 19 and 8 h. at Den Helder is $2\frac{1}{2}$ times that of De Bilt for the whole year, the ratio being 1,7 in January—April and above 4 in September and October. The relatively high evaporation at Den Helder is partly a wind effect, the decrease of wind force during the night being smaller at the coast station Den Helder than at De Bilt ¹⁾, and, furthermore, the relative humidity does not increase so much during the night as is the case at De Bilt.

The difference between day and night is greater in summer than in winter, for the windforce as well as for the relative humidity. In consequence, the ratios in table 4 are larger in summer, particularly at De Bilt. There is, however, at De Bilt, a pronounced shift of the maximum towards the end of the year, that may be ascribed to the increasing humidity and more abundant formation of dew between 19 and 8 h. in August and September.

The figures for the Haarlemmermeer, at the bottom of the table, are averages for 4 stations. The ratios 8—20 h./20—8 h. do not differ much from those at De Bilt; when the difference in the hours of observation is

¹⁾ Mededeelingen en Verhandelingen n°. 32, p. 38, 39 and 41.

taken into account, they are a little lower, which is in agreement with the position with regard to the sea. Also in the Haarlemmermeer the maximum has shifted towards the end of the warm season.

DEDUCTION OF THE CONSTANTS OF THE EVAPORATION FORMULA.

18. EARLIER DETERMINATIONS.

According to BIGELOW¹⁾, in the formula of § 2, the windvelocity v being expressed in m.p.s., the constant

$$A = 0,252$$

for pans with a diameter of 0,4 to 3,0 m.

According to STELLING²⁾ the following values may be derived from the observations at Pawlowsk, Nukuss and St. Petersburg.

| | Pawlowsk ²⁾ | Nukuss ²⁾ | St. Petersburg ²⁾ |
|-----------------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| $A =$ | 0,116 | 0,16 | 0,115 |

The windvelocity has been determined at a fairly great height above the ground at these stations. Higher values of the constant are obtained when the windvelocity near the watersurface is introduced in the formula, which on a rough estimate do not differ much from the value found by BIGELOW.

The values of C show greater differences. From the figures given by STELLING, we find the following values, when the evaporation is expressed in mm per hour.

| | Pawlowsk | Nukuss | St. Petersburg |
|-----------------|----------|--------|----------------|
| $C =$ | 0,011 | 0,039 | 0,039 |

whereas the value, which BIGELOW has derived from 9 sets of evaporation measurements, made by different observers at different places, is

$$C = 0,0277.$$

¹⁾ F. H. BIGELOW. The laws of the evaporation of water from pans, reservoirs and lakes. Boletín n°. 2 de la Oficina Meteorologica Argentina, p. 21. Buenos Aires 1912.

²⁾ ED. STELLING. Über die Abhängigkeit der Verdunstung des Wassers von seiner Temperatur und von der Feuchtigkeit und Bewegung der Luft. Repertorium für Meteorologie, Bd. VIII, n°. 3. Über die Bestimmung der absoluten Grösse der Verdunstung von einer freien Wasserfläche, nach den Beobachtungen im Observatorium zu Pawlowsk. Rep. f. Met. VIII. Kleinere Mitteilungen n°. III.

BIGELOW's own measurements, which were made on an extensive scale with a great number of evaporation pans, are ill adapted for the determination of C , because a formula of a different form has been used.

19. OBSERVATIONS AT DE BILT, ORDINARY EVAPORATION PAN.

The surface temperature of the water in the pan has been observed at De Bilt since 1932, at 8, 13.45 and 16 h. and for a few months also at 11 h. The observations of evaporation were made at 8, 14 and 18.20. The advancement of the time of observation with one hour during the introduction of „summer time” does not apply to the observation of 18.20. On Saturdays, Sundays and festival days the observation of 14 h. was made at 13.20 (13 G. M. T.)

The vapour pressure e_a was derived from hourly readings of the diagrams of a thermograph and hygrograph in the meteorological screen. The maximum vapour pressure e_w at the watertemperature was obtained by the deduction of hourly temperature differences „water minus screen” from the observations taken 3 times a day. This deduction is rather uncertain for 8—14 and 18.20—8 h., but sufficiently accurate for 14—18.20. The windvelocity was taken from the diagrams of the anemometer on the tower of the Institute (37,5 m high). Reduction to a height of 6 m above flat open ground yields a decrease to $5/6$ ¹⁾, and to 1,5 m $5/6 \times 4/5 = 2/3$. Comparisons, made in February 1936 between the windvelocity at the tower and below near the evaporimeter, yielded a reduction factor strongly dependent on winddirection.

| | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| Winddirection | ENE | E | S | WSW | NW |
| Factor | 0,50 | 0,55 | 0,39 | 0,26 | 0,16 |

An average reductionfactor was determined by taking into account the local conditions and the frequency of winddirections, and so 0,33 was obtained, which means, that the factor $2/3$ found above is still diminished to half its value by the vegetation etc., anyway in winter when the trees are bare.

Generally somewhat smaller factors are found in summer. The comparisons with the windspeed on the tower have been made for 5 different directions. A mean ratio was derived, which amounts to 77 % of that in the winter months, yielding a reduction factor of

$$0,77 \times 0,33 = 0,25.$$

for the months of June—September.

¹⁾ See Mededeelingen en Verhandelingen n°. 32, p. 29.

A mean value of

$$C = 0,0269$$

is found for the afternoon hours 14—18.20 of the months of November—April, when for *A* BIGELOW's value of 0,25 is taken and a reduction factor of 0,33 for the wind, and when for the years 1933—1935 the average is calculated of the values of *C* obtained for the separate months.

For these months the individual values of *C* are somewhat divergent. A better agreement is shown by the figures deduced for the summer months.

| 1933—1935 | June | July | Aug. | Sept. | Average |
|---------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 14—18.20 h. $C =$ | 0.00271 | 0.0282 | 0.0266 | 0.0265 | 0.0271 |

The average for the 10 months is ¹⁾:

for the afternoon hours 14—18.20 $C = 0,0270$.

„ „ night „ 18.20—8 $C = 0,0246$.

The values of *C* for the afternoon and the night agree fairly well ²⁾, notwithstanding the fact, that the deficit of saturation $e_w - e_d$ is more than 10 times as large in the afternoon as during the night. This may be considered as an indication, that the proportionality between evaporation and $e_w - e_d$ holds good, at least approximately, for widely divergent humidities, in contradiction with BIGELOW's ³⁾ point of view, that this formula serves fairly well in dry climates, or during the dry part of the day, but that the coefficient *C* is very variable for moist climates and during the night.

¹⁾ The calculation has not been extended to the months of May and October, on account of the shifting of the hours of observation at the beginning and the end of the period, during which „summer time” is used.

²⁾ When for some hours of the night a negative value of $e_w - e_d$ was deduced, $e_w - e_d$ has been taken = 0. Consequently, a smaller value of *C* was found for the night hours than would have been the case if condensation had been assumed; in that case the difference between the values of *C* for the afternoon and night hours would have become smaller still. A noteworthy case of condensation was observed at 8.35 on April 15, 1936, with clear sky and calm weather, when after a cool night a small amount of ice was found in the evaporation pan. The vapour pressure, determined by means of a ventilated psychrometer, was 5,1 mm in the free air near the evaporimeter, and only 4,9 mm at 1 or 2 cm above the water surface. Evidently the vapour was condensing into the pan, which might be expected at the actual dew point of 0° 9.

The value of *C* for the night hours would likewise have become a little higher in comparison to that of the afternoon, if account had been taken of the fact that wind velocity decreases more rapidly towards the lower levels at night than during the day time.

³⁾ Boletines n°. 2 de la Oficina Meteorologica Argentina, 1912, p. 5.

20. DE BILT. OBSERVATIONS IN THE POND.

The watertemperature has been determined 3 times a day, at 8, 13.45 and 16 h. The windvelocity a little above the water surface was found to be $\frac{2}{3}$ of the speed near the ordinary evaporimeter at 1.5 m above the ground, as well in a direction parallel to the longitudinal axis of the pond as in one perpendicular to it. The windspeed at the surface of the water was assumed to be 0.6 of that near the ordinary instrument. The calculation of C was made for the afternoon period 14—18.20 only. The evaporation was deduced from that of the ordinary evaporimeter by means of the ratios mentioned in § 12, the difference between the diurnal variation of evaporation in the two pans being neglected.

The calculation yields for the warmest months the following values of C :

| | 1933—1935 | June | July | Aug. | Sept. | Average |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|---------|
| $C =$ | | 0,0232 | 0,0226 | 0,0233 | 0,0224 | 0,0229 |

The difference with the values of C in the preceding § is most probably due principally to the higher humidity above the water in the pond.

21. OBSERVATIONS ON SCHOKLAND.

Eng. J. P. MAZURE has found ¹⁾, that the daily evaporation of the IJssel lake may be represented fairly well by the formula

$$1,00 (e_w - e_d).$$

For the determination of e_d the humidity observations for Hoorn have been used, and for e_w the observations of watertemperature at Enkhuizen, Urk and Nijkerk. The formula yields somewhat too high results for the summermonths, so that the factor 1,00 is better replaced by 0,965 for the period May—August. When the mean windspeed is taken to be 4,1 m.p.s.²⁾ and the coefficient A in the windterm $1 + Av$ again = 0,25, we find

$$C = 0,0187$$

Future measurements, which are being contemplated, may procure more accurate data for the deduction of this coefficient for a wide watersurface. The above-mentioned relatively small value of C , in comparison to the 0,0271 and 0,0229 of the preceding §§, should probably be taken as an indication, that the humidity on the lake is appreciably higher than is accounted for by the data for Hoorn.

¹⁾ Hemel en Dampkring 34 (1936), p. 143 and 144.

²⁾ The average of the windvelocity at Groningen and Flushing, reduced to the surface of the lake.

