

RIJKSLANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT
TE GRONINGEN

HET GEHALTE AAN VAST GEBONDEN WATER IN
DE KLEISUBSTANTIE

DOOR

DR. JAC. VAN DER SPEK

1. *Oudere onderzoeken.*

Kleigronden, die bij 105° C tot constant gewicht gedroogd zijn, bevatten nog water. Dit water wordt het scheikundig gebonden of vast gebonden water in de klei-substantie genoemd.

Wanneer men het gehalte aan organische stof van een kleigrond door gloeien van den grond in een moffel bij een temperatuur van ongeveer 1000° C bepaalt, moet men het gehalte aan dit vast gebonden water kennen. Bij dit gloeien verdwijnt immers niet alleen de organische stof door verbranding, maar wordt ook het vast gebonden water in de klei-substantie uitgedreven. Bij kleigronden, die geen koolzure kalk en geen keukenzout (NaCl) bevatten, is het gewichtsverlies na het gloeien verminderd met het gehalte aan vocht, dat tot 105° C ontwijkt, het gloeiverlies, de som van de organische stof en het vast gebonden water.¹⁾

HISSINK heeft destijds²⁾ getracht het gehalte aan dit vast gebonden water in de klei-substantie te bepalen. Voor dit doel heeft hij een vijftal monsters uitgekozen van kleigronden, die geen koolzure kalk bevatten en afkomstig waren van diepe grondlagen. In verband met deze laatste omstandigheid nam hij aan, dat in de uitgekozen grondmonsters ook geen organische stof voorkwam. Het gloeiverlies van deze monsters zou dus gelijk zijn aan het vast gebonden water. Het resultaat van dit onderzoek vindt men in tabel I op blz. 76.

De onderzochte monsters waren afkomstig van verschillende plaatsen uit de provincie Groningen. Het waren alle vijf zeekleigronden, behorende tot het zware en zeer zware grondtype.

Uit tabel I blijkt, dat het gehalte aan vast gebonden water per 100 g klei voor deze vijf grondmonsters ligt tusschen 5,79 g en 6,67 g en gemiddeld 6,3 g bedraagt. Hierbij moet men wel bedenken, dat onder klei (slibfractie) de minerale deeltjes met een diameter kleiner dan 16 μ verstaan

¹⁾ Bevat de grond koolzure kalk, dan ontwijkt bij het gloeien ook het koolzuur uit de koolzure kalk, terwijl, wanneer de grond ook nog keukenzout bevat, een gedeelte van dit keukenzout bij het gloeien eveneens vervluchtigt. Bij een uitvoerig onderzoek vond HISSINK, dat ongeveer 55 % van het keukenzout tijdens het gloeien gedurende 6 uur in den moffel verdwijnt. Mededeeling I van de Commissie van Advies omtrent de landbouwtechnische aangelegenheden betreffende den Proefpolder nabij Andijk blz. 95 (1929).

²⁾ D. J. HISSINK, De methode van het mechanisch grondonderzoek. Versl. Landb. Onderz. Rijkslandbouwproefstations 31, 283 (1926); zie ook: C. SMITZ, Versl. Landb. Onderz. 33, 87/89 (1932).

TABEL I

No. B	Herkomst (origin)	Diepte in cm onder maai- veld (depth)	De droge stof bevat in procenten (percentage of dried matter)		Grammen vast gebonden water op 100 g klei (slibfractie) (combined water on 100 gr clay)
			deeltjes kleiner dan 16 mu (klei=slib- fractie) (clay fraction)	gloeiverlies= vast gebonden water (combined water)	
459	Uitwierda . .	53—78	79,0	5,27	6,67
826	Warffum . .	70—85	49,5	3,23	6,53
827	Warffum . .	85—95	55,5	3,41	6,15
833	Bedum . . .	39—66	80,2	5,32	6,63
1458	Delfzijl . . .	90—100	82,7	4,79	5,79

wordt, bepaald met de slibcylinder volgens ATTERBERG en volgens de Internationale methode A (voorbehandeling met waterstofsuperoxyde en zoutzuur).

Met behulp van dit cijfer van 6,3 % vast gebonden water op klei kan het gehalte aan organische stof van een kleigrond uit het gloeiverlies berekend worden. Daartoe moet men natuurlijk ook het kleigehalte kennen. Beide gehalten laten zich als volgt berekenen. Bij de bepaling van het kleigehalte met de slibcylinder volgens ATTERBERG bepaalt men het in de slibcylinder achterblijvende zand, na afslibben der deeltjes kleiner dan 16 mu in diameter. Voor kleigronden zonder koolzure kalk en keukenzout krijgt men, door het percentage zand af te trekken van 100, het percentage klei + organische stof op luchtdrogen grond. Veronderstel, dat dit percentage 65,0 % bedraagt en dat voor het gloeiverlies 6,4 % op luchtdrogen grond gevonden is, dan heeft men

Percentage klei + organische stof = 65,0 %
 Gloeiverlies (= org. stof + vast gebonden water) = 6,4 %

Percentage klei minus vast gebonden water = 58,6 %

Het gehalte aan klei is dus $100 \times 58,6 : (100 - 6,3) = 62,54$ %, en het gehalte aan organische stof $65,0 - 62,54 = 2,46$ %, beide op luchtdrogen grond berekend.

Bij bepaling van de gehalten aan organische stof en klei volgens de boven aangegeven methoden manifesteert een foutief cijfer voor het percentage vast gebonden water in de klei zich zoowel in het organische stof als in het kleigehalte.

HISSINK heeft er zelf op gewezen ¹⁾, dat het bovengenoemde cijfer van 6,3 % voor het gehalte aan vast gebonden water in de kleisubstantie als

¹⁾ D. J. HISSINK en C. SPITHOFT, Versl. Landb. Onderz. 38, 45 (1932); noot I op blz. 46.

zeer voorloopig moet beschouwd worden, omdat het uit een vrij klein aantal monsters bepaald is. Bovendien vertegenwoordigden deze monsters slechts één bepaalde grondsoort, de zeekleigronden, en waren zij afkomstig uit een klein gebied, de provincie Groningen, terwijl ook nog aangenomen was, dat deze monsters geen organische stof bevatten, omdat ze uit diepere lagen genomen waren.

Toen in latere jaren het organische stofgehalte van deze monsters volgens de elementair-analyse-methode (org. stof = $C \times 1,724$) bepaald werd, bleken deze monsters wel degelijk eenige organische stof te bevatten (0,7 % à 1,0 % op droge stof). Het cijfer van 6,3 % is voor deze grondmonsters dus te hoog.

Bij een later onderzoek van een twaalfstal minerale gronden, waarbij het gehalte aan organische stof volgens de elementair-analyse bepaald was, heeft HISSINK eveneens een lager cijfer dan 6,3 % voor het vast gebonden water gevonden. De in dit onderzoek betrokken monsters waren in hoofdzaak ¹⁾ afkomstig van zeekleigronden van verschillende gebieden uit de provincies Groningen en Noord-Holland. Een tweetal monsters waren van rivierkleigronden uit de Betuwe. Het waren bovengronden van normale cultuurgronden (bouwlanden) met zeer uiteenlopende gehalten aan slibfractie (van 4,1 % tot 88,9 %) en met verschillend koolzure kalkgehalte (van 0 % tot 9,3 %). Het gehalte aan organische stof varieerde van 1,0 % tot 5,6 %. Voor deze grondmonsters heeft HISSINK een gehalte aan vast gebonden water in de kleisubstantie gevonden liggende tusschen 4,6 % en 6,5 % (gemiddeld 5,5 %) onder aanname, dat het gloeiverlies de som is van organische stof, koolzure kalk en vast gebonden water.

Door het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek wordt aangenomen, dat het vast gebonden water 6,0 % van de klei uitmaakt, een cijfer ontleend aan eenige oriënteerende, niet gepubliceerde bepalingen van MASCHHAUPT.

Het ligt voor de hand, dat het gehalte aan vast gebonden water in de kleisubstantie het zuiverste is te bepalen bij die gronden, die geen koolzure kalk en geen organische stof bevatten, omdat bij die gronden het gloeiverlies gelijk is aan het vast gebonden water. Dergelijke gronden zijn evenwel zeer moeilijk te vinden. Het volgende onderzoek heeft plaats gehad met gronden, die geen of bijna geen koolzure kalk bevatten en een gering gehalte aan organische stof.

2. *Eenige bijzonderheden van de onderzochte grondmonsters.*

In tabel II zijn eenige bijzonderheden omtrent de onderzochte grondmonsters opgenomen.

Zooals uit deze tabel blijkt, zijn alle grondmonsters afkomstig uit meer of minder diepe grondlagen. De 14 monsters uit het bovenste gedeelte van tabel II zijn kleigronden, terwijl de 6 monsters uit het benedenste gedeelte in de praktijk tot de leemgronden gerekend worden. Van de kleigronden behooren er acht tot de zeekleigronden, voor het grootste gedeelte uit de provincie Groningen afkomstig (B 2624-8047-804-827-828, alle vijf monsters

¹⁾ Ibidem, blz. 49/50.

TABEL II

Herkomst en granulaire samenstelling van de onderzochte grondmonsters
(Origin and mechanical composition of soils tested)

No. B	Herkomst (origin)	Diepte van de laag in cm (depth)	De droge stof bevat in procenten (percentage of dried matter)						% fr. I van de slibfractie (fr. I on clay fraction)	pH (glaselectr.)
			CaCO ₃	Org. stof (elem. an.) (Humus C × 1,724)	Deeltjes (particles)		Slibfractie (clay fraction) (< 16 µ)	Zandfractie (sand fraction)		
					kleiner dan (smaller than) 2 µ (fr. I)	2—16 µ (fr. II)				
2234	Zoelen (Betuwe)	30-50	0	0,72	24,9	7,1	32,0	67,3	77,8	6,7
2624	Warffum (Gr.)	50-70	0	0,60	24,4	7,9	32,3	67,1	75,5	6,1
8047	Oldehove (Gr.)	50-65	0	0,42	26,9	9,0	35,9	63,7	74,9	7,2
20870	Wemeldinge (Z.)	35-50	0	0,92	29,2	12,0	41,2	57,9	70,9	6,3
804	Warffum (Gr.)	58-70	0	1,16	37,8	13,2	51,0	47,9	74,1	6,4
20892	Serooskerke (Z.)	30-50	0	1,06	39,3	13,2	52,5	46,4	74,8	6,7
827	Warffum (Gr.)	85-95	0	0,74	37,0	15,7	52,7	46,6	70,2	6,8
16273	Valkenburg (Z.H.)	40-60	0	1,18	44,4	22,8	67,2	31,6	66,1	7,1
16217	Valkenburg (Z.H.)	50-58	0	1,10	46,1	21,1	67,2	31,7	68,6	7,2
8038	Westerwald bij Koblenz (Deutschland) ¹⁾	—	0	0,17	48,1	21,0	69,1	30,7	69,6	6,9
6789	Kalksteengroeve te Ubaga- berg (L.) (verweerings- grond v. h. krijt)	± 100	0	0,61	62,7	6,5	69,2	30,2	90,6	7,2
828	Warffum (Gr.)	95-108	0	1,23	51,6	19,8	71,4	27,4	72,3	6,7
833	Bedum (Gr.)	39-66	0,06	1,13	56,4	21,3	77,7	21,1	72,6	7,5
8037	Westerwald bij Koblenz ¹⁾	—	0,04	0,30	71,1	15,8	86,9	12,8	81,8	7,6
6917	Zandgroeve omtrek Velp- Dieren (Vlotleem)	± 50	0	0,25	13,0	5,7	18,7	81,0	69,5	5,3
8041	Veldhoven (N.-Br.) ¹⁾ (leem van Brabant)	—	0	0,32	15,3	5,2	20,5	79,2	74,6	6,1
7297	Rolde (Dr.) (leem)	± 150	0	0,14	19,9	6,9	26,8	73,1	74,3	4,7
6782	Zandgroeve te Spaubeek (L.) (löss)	65-80	0,18	0,34	17,6	15,6	33,2	66,3	53,0	7,6
7353	Leemkuil te Rhenen (U.)	—	0	0,36	29,0	21,4	50,4	49,2	57,5	5,1
7030	Esbeek (N.-Br.) (leem)	—	0	0,33	34,8	23,7	58,5	41,2	59,5	4,6

¹⁾ Deze monsters zijn afkomstig van het voormalige Rijkskleiproefstation (thans Keramisch Instituut T.N.O.) te Gouda.

genomen beneden een kniklaag, en B 833) en de overige uit Zeeland (B 20892 van Walcheren en B 20870 van Zuid-Beveland). B 2234 is een rivierkleigrond uit de Betuwe, een z.g. klep- of slijpgrond; B 16273 en

16217 zijn rivierkleigronden van Valkenburg bij Leiden, genomen van het benedenste gedeelte van een kniklaag. B 8037 en 8038 zijn afkomstig uit het Westerwald op den linkeroever van den Rijn bij Koblenz. Zij zijn op vrij groote diepte genomen en wit van kleur. Volgens mededeeling van den voormaligen Directeur van het Rijkskleioproefstation te Gouda, door wiens bemiddeling deze monsters ontvangen werden, bevatten ze veel glimmer en wel in bijzonder fijn verdeelden vorm. B 8038 bevat ook vrij veel fijn verdeeld kwarts. Het gehalte aan Fe_2O_3 in deze monsters is gering. B 6789 is een verweeringsgrond van het Kunrader krijt uit Zuid-Limburg.

De leemgronden komen uit de provincies Drenthe, Gelderland; Utrecht, Noord-Brabant en Limburg.

Koolzure kalk komt slechts in drie van de grondmonsters voor en dan nog maar in een zeer geringe hoeveelheid (hoogstens 0,18 %).

Het gehalte aan organische stof is berekend uit het met de elementair-analyse gevonden C-gehalte door vermenigvuldiging hiervan met de factor 1,724. Voor de kleigronden ligt het gehalte aan organische stof op een enkele uitzondering na tusschen 0,42 % en 1,23 %. Slechts de beide Westerwalder kleien (B 8037 en 8038) bezitten een lager gehalte aan dit bestanddeel, nl. resp. 0,30 % en 0,17 %. De leemgronden bevatten minder organische stof dan de kleigronden. Bij deze gronden ligt het gehalte aan organische stof tusschen 0,15 % en 0,36 %. In alle diepere grondlagen komt dus wel degelijk organische stof voor, al is de hoeveelheid in sommige gevallen zeer gering.

Het gehalte aan deeltjes met een diameter kleiner dan 16 mu (slibfractie) varieert bij de kleigronden van 32,0 % tot 86,9 % en bij de leemgronden van 18,7 % tot 58,5 %. De slibfractie is bij alle monsters nog gesplitst in deeltjes met een diameter kleiner dan 2 mu (fractie I) en in deeltjes met een diameter van 2 tot 16 mu (fractie II). In kolom 10 van tabel II is het percentage aan fractie I van de totale slibfractie opgenomen. Uit deze kolom blijkt, dat dit percentage voor de onderzochte monsters nogal wisselt. Bij de kleigronden ligt het tusschen 66,1 % en 90,6 %. Het hoogste percentage wordt gevonden bij den verweeringsgrond van het krijt. Bij dezen grond bestaat ruim 90 % van de slibfractie uit deeltjes met een diameter kleiner dan 2 mu. Bij de vette Westerwalder klei bedraagt dit percentage ongeveer 82 % en bij de rivierkleigronden van Valkenburg bij Leiden 66 à 68 %. Voor de overige kleigronden ligt het percentage tusschen deze beide waarden, 82 % en 66 %, in. Voor de acht zeekleigronden vindt men een gemiddeld percentage van 73,2 % (hoogste en laagste waarde resp. 75,5 en 70,2).

Bij de leemgronden (B 6917-8041-7297) ligt het percentage aan fractie I van de totale slibfractie tusschen 69,5 % en 74,3 % en bij de leemgronden (B 6782-7353-7030) tusschen 53,0 % en 59,5 %. Wanneer de leemgronden gekenmerkt zijn door een meer op den voorgrond treden van fractie II (deeltjes van 2—16 mu) ten opzichte van fractie I (deeltjes kleiner dan 2 mu), terwijl bij de kleigronden dit juist andersom het geval is ¹⁾, zullen

¹⁾ D. J. HISSINK, Bijdragen tot de nomenclatuur en de klassificatie van de minerale gronden in Nederland. Definitie van de begrippen klei, leem en zand. Versl. Landb. Onderz. Rijkslandbouwproefstations 30, 169 (1925).

de grondmonsters (B 6782-7353-7030) meer tot het leemtype gerekend moeten worden dan de grondmonsters (B 6917-8041-7297) (zie mede noot 1 op blz. 95).

3. Het vast gebonden water in de kleisubstantie.

Van bovengenoemde luchtdroge monsters zijn bepaald het gehalte aan vocht, dat tot 105° C ontwijkt, en het gewichtsverlies na verhitting in een moffel bij een temperatuur van ongeveer 1000° C. Deze bepalingen zijn minstens in viervoud uitgevoerd. Van het gemiddelde gewichtsverlies-cijfer

TABEL III

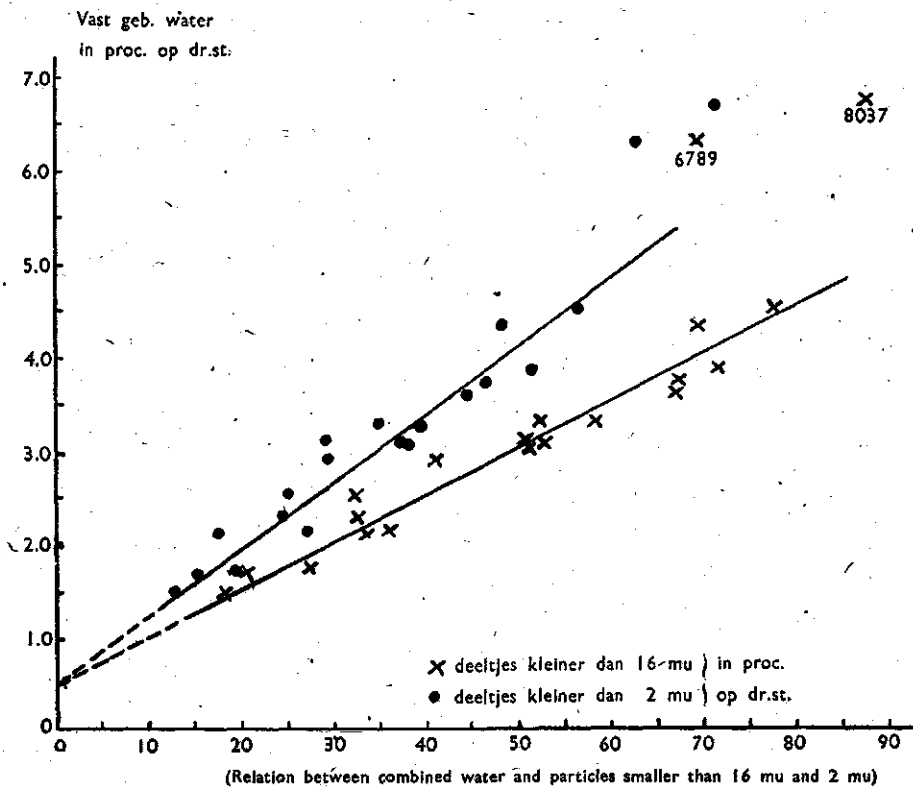
Het gehalte aan vast gebonden water en geadsorbeerd water
(Combined water and adsorbed water content)

No. B	In proc. op droge stof (percent on dried matter)			100 g slibfractie bevat vast ge- bonden water (combined water on clay fraction)	% fractie < 2 mu van de slibfractie (fraction < 2 mu on clay fraction)	Water verdreven tusschen 105° C en 160° C (gead- sorbeerd water) (Water lost be- tween 105° C and 160° C (adsorbed water))		Percen- tage gead- sorbeerd water van het vast gebonden water (adsorbed water on combined water)
	slib- fractie (clay fraction) (< 16 mu)	gloe- verlies (loss on ig- nition)	vast ge- bonden water (com- bined water)			in proc. op droge stof (percent on dried matter)	op 100 g slib- fractie (percent on clay fraction)	
2234	32,0	3,22	2,50	7,8	77,8	0,54	1,70	21,6
2624	32,3	2,87	2,27	7,0	75,5	0,41	1,27	18,1
8047	35,9	2,55	2,13	5,9	74,9	0,33	0,92	15,5
20870	41,2	3,84	2,92	7,1	70,9	0,57	1,38	19,5
804	51,0	4,20	3,04	6,0	74,1	0,44	0,86	14,5
20892	52,5	4,39	3,33	6,3	74,8	0,70	1,33	21,0
827	52,7	3,78	3,04	5,8	70,2	0,42	0,80	13,8
16273	67,2	4,80	3,62	5,4	66,1	0,53	0,79	14,6
16217	67,2	4,82	3,72	5,5	68,6	0,55	0,82	14,8
8038	69,1	4,48	4,31	6,2	69,6	0,19	0,28	4,4
6789	69,2	6,90	6,29	9,1	90,6	1,17	1,69	18,6
828	71,4	5,07	3,84	5,4	72,3	0,64	0,90	16,7
833	77,7	5,65	4,60	5,8	72,6	0,83	1,07	18,4
8037	86,9	7,01	6,69	7,7	81,8	0,27	0,31	4,0
6917	18,7	1,73	1,48	7,9	69,5	0,25	1,34	16,9
8041	20,5	2,01	1,69	8,2	74,6	0,18	0,88	10,7
7297	26,8	1,83	1,69	6,3	74,3	0,16	0,60	9,5
6782	33,2	2,50	2,08	6,3	53,0	0,39	1,17	18,8
7353	50,4	3,44	3,08	6,1	57,5	0,43	0,85	14,0
7030	58,5	3,63	3,30	5,6	59,5	0,45	0,77	13,6

is het gemiddelde gehalte aan vocht afgetrokken en het aldus verkregen getal, het gloeiverlies, is op 100 g droge stof omgerekend (kolom 3, tabel III). Door van dit getal het gehalte aan organische stof van de betreffende grondmonsters, in procenten op droge stof, af te trekken, verkrijgt men het gehalte aan vast gebonden water per 100 g droge stof (kolom 4, tabel III).

Zet men dit gehalte grafisch uit ten opzichte van de deeltjes, zoowel kleiner dan 16 mu (slibfractie) als kleiner dan 2 mu, dan krijgt men twee puntenstelsels, zooals die in grafiek I zijn weergegeven. Door elk van deze

GRAFIEK I



twee puntenstelsels kan een rechte lijn getrokken worden, waaromheen de betreffende punten liggen. Alleen de punten voor de vette Westerwalder klei (B 8037) en voor den verweeringsgrond van het krijt (B 6789) vallen volkomen buiten deze lijnen.

Trekt men de beide rechte lijnen door, dan blijkt, dat zij niet door het nulpunt gaan, maar de ordinaat (verticale as) op een afstand van ongeveer 0,5 van het nulpunt snijden (dat beide lijnen dit op denzelfden afstand van het nulpunt doen, is toeval). Dit wil zeggen, dat er buiten de deeltjes kleiner dan 16 μ (en dus ook kleiner dan 2 μ) bestanddeelen in den grond voorkomen, die boven 105° C ook water afgeven. Dit zouden dan moeten zijn deeltjes van minerale bestanddeelen grooter dan 16 μ of van de organische stof, die nog in de gronden voorkomt. Aangezien bij de onderzochte gronden het gehalte aan organische stof evenwel gering is, zal deze laatste factor hier wel van geen beteekenis zijn. Het kan echter ook zijn, dat het gehalte aan vast gebonden water bij lagere slibgehalten, dan die van de onderzochte grondmonsters, zeer snel afneemt, zoodat de beide lijnen met een hoog het nulpunt naderen.

Volgens de getrokken lijnen bedraagt het gehalte aan vast gebonden water in procenten op droge stof voor de onderzochte gronden gemiddeld 0,5 + 5 % van het gehalte aan slibfractie of gemiddeld 0,5 + 7,3 % van het gehalte aan deeltjes kleiner dan 2 μ . Hieruit volgt, dat bij lage gehalten aan slibfractie naar verhouding (dus betrokken op slibfractie) hogere waarden voor het vast gebonden water gevonden worden dan bij hoge gehalten. Eenigermate komt dit tot uiting in kolom 5 van tabel III. In deze kolom zijn, ter onderlinge vergelijking van de gehalten aan vast gebonden water van de onderzochte gronden, deze gehalten omgerekend op 100 g kleisubstantie, aangegeven door het gehalte aan slibfractie, opgenomen.

Uit de cijfers van deze kolom blijkt, dat het gehalte aan vast gebonden water per 100 g kleisubstantie nog al uiteenloopt. Voor de kleigronden ligt dit gehalte tusschen 5,4 % en 9,1 % en voor de leemgronden tusschen 5,6 % en 8,2 %. Het hoogste gehalte wordt bij de kleigronden bij den verweeringsgrond van het krijt gevonden (B 6789) nl. 9,1%. De kleisubstantie van dezen grond bestaat voor ongeveer 91 % uit deeltjes met een diameter kleiner dan 2 μ . Daarop volgt de vette Westerwalder klei (B 8037) met een gehalte van 7,7 %. Bij dezen grond bestaat de kleisubstantie voor ongeveer 82 % uit deeltjes kleiner dan 2 μ . Voor de magere Westerwalder klei (B 8038), waarvan de kleisubstantie maar voor ongeveer 70 % uit deeltjes kleiner dan 2 μ bestaat, bedraagt het gehalte aan vast gebonden water 6,2 %, dus aanzienlijk minder dan voor de vette Westerwalder klei.

De rivierkleigrond B 2234 bezit een vrijwel even hoog gehalte aan vast gebonden water als de vette Westerwalder klei nl. 7,8 %, terwijl zijn kleisubstantie voor ongeveer 78 % uit deeltjes kleiner dan 2 μ bestaat en die van de Westerwalder klei voor ongeveer 82 %.

Het laagste gehalte aan vast gebonden water treft men bij den rivierkleigrond B 16217/16273 aan, nl. 5,4 % à 5,5 %. Deze grond heeft ook een kleisubstantie met een laag percentage aan deeltjes kleiner dan 2 μ , nl. 66 % à 69 %, dus vrij wat lager dan de rivierkleigrond B 2234.

Voor de acht zeekleigronden zijn de volgende gehalten aan vast gebonden water per 100 g kleisubstantie gevonden:

No. B	Vast gebonden water	% fr. I van de slibfractie
2624	7,0	75,5
20870	7,1	70,9
20892	6,3	74,8
8047	6,0	74,9
804	6,0	74,1
833	5,8	72,6
827	5,8	70,2
828	5,4	72,3

Het gehalte aan vast gebonden water ligt voor de onderzochte zee-kleigronden dus tusschen 5,4 % en 7,1 % met een gemiddelde van ongeveer 6,2 %. De kleisubstantie van deze gronden bestaat voor 70,2 % à 75,5 % uit deeltjes kleiner dan 2 mu.

De leemgronden (B 6917-Vlotleem en B 8041 z.g. leem van Brabant) bezitten een gehalte aan vast gebonden water van 7,9 % à 8,2 %, terwijl de kleisubstantie voor resp. 69,5 % en 74,6 % uit deeltjes kleiner dan 2 mu bestaat. De kleisubstantie van deze gronden is niet groot en bedraagt 19 à 20 g per 100 g drogen grond. Het zand, dat in deze gronden voorkomt, is evenwel uiterst fijn (U van de zandfractie resp. 335 en 315). De kleisubstantie van de leem uit Rolde (B 7297) bestaat voor 74,3 % uit deeltjes kleiner dan 2 mu. Het gehalte aan vast gebonden water bedraagt voor dezen leemgrond 6,3 %. Het U-cijfer van de zandfractie is 98. Het zand is dus middelfijn. De löss uit de zandgroeve te Spaubeek (B 6782) bezit eveneens een gehalte aan vast gebonden water van 6,3 %, hoewel de kleisubstantie hier maar voor 53,0 % uit deeltjes kleiner dan 2 mu bestaat. Het in dezen grond voorkomende zand heeft echter een U-cijfer van 370 en is dus zeer veel fijner dan het zand voorkomende in den leemgrond uit Rolde. Voor de beide leemgronden, B 7353 uit Rhenen en B 7080 uit Esbeek, bedraagt het gehalte aan vast gebonden water resp. 6,1 % en 5,6 % en het gehalte aan deeltjes kleiner dan 2 mu van de kleisubstantie resp. 57,5 % en 59,5 %. De U-cijfers voor de zandfractie zijn hier resp. 370 en 330.

Men zou verwachten, dat de kleinste deeltjes voornamelijk het vast gebonden water bevatten. Het gehalte aan vast gebonden water per 100 g kleisubstantie zal dan des te grooter moeten zijn, naarmate de kleisubstantie voor een grooter gedeelte uit kleinere deeltjes, o.a. kleiner dan 2 mu, bestaat. Inderdaad bezit de kleigrond, met het laagste gehalte aan deeltjes kleiner dan 2 mu van de kleisubstantie, het laagste gehalte aan vast gebonden water en die met het hoogste percentage het hoogste gehalte, (deze laatste kleigrond, B 6789, vertoont echter volgens grafiek I een afwijkend gedrag). Uit grafiek I blijkt evenwel, dat de spreiding van de

punten om de 16-mu lijn een weinig geringer is dan de spreiding van de punten om de 2-mu lijn, waaruit volgt, dat het verband tusschen het vast gebonden water en de deeltjes kleiner dan 16 mu iets nauwer is dan dat tusschen het vast gebonden water en de deeltjes kleiner dan 2 mu.

Dat de deeltjes grooter dan 16 mu vermoedelijk ook meer of minder tot het vast gebonden water bijdragen, hierop is reeds gewezen.

Nader zal blijken, dat de chemische aard van de deeltjes een voorname plaats ten aanzien van het vast gebonden water inneemt. Waarschijnlijk moet het afwijkend gedrag van de grondmonsters B 6789 en B 8037 aan den chemischen aard van de deeltjes worden toegeschreven.

4. *Splitsing van het vast gebonden water in de kleisubstantie in geadsorbeerd water en kristalstructuur- of constitutie-water.*

Verschillende onderzoekers ¹⁾ hebben op grond van dehydratatie-onderzoekingen kunnen vaststellen, dat bij kwarts, veldspaten, zeolithen, permutieten bijna al het water, dat tot 800° C ontwijken kan, beneden 400° C geleidelijk wordt afgegeven. Muscoviet geeft tot 400° C weinig water af, maar daarna, binnen een betrekkelijk klein temperatuur-interval, aanzienlijk meer. Bij kaoliniet ontwijkt tot 400° C iets meer water dan bij muscoviet. Tusschen ongeveer 400° C en 450° C wordt bij dit mineraal evenwel zeer veel water afgegeven en daarna tot 800° C nagenoeg niets meer. Bentoniet en montmorilloniet verliezen tot 150° à 160° C zeer veel water; vervolgens tot 400° C nagenoeg niets en daarna binnen vrij nauwe temperatuurgrenzen weer vrij wat.

In verband met het verloop van de dehydratatie-curven bij toenemende temperatuur en de kristalstructuren van bovengenoemde mineralen heeft men onderscheid gemaakt tusschen het water, dat beneden, en het water, dat boven 400° C ontwijkt. Aan het water, dat beneden 400° C ontwijkt, heeft men den naam van „geadsorbeerd water” gegeven. Men neemt aan, dat dit water door elektrische krachten (vrije energie, strooivelden, enz.) aan het oppervlak van de deeltjes wordt vastgehouden. Deze binding is uiteraard meer of minder sterk. De veldspaten bevatten alleen geadsorbeerd water. De hoeveelheid is niet groot; de binding er van is evenwel vrij sterk, zoodat tot 150° à 160° C maar ongeveer de helft van het geadsorbeerd water wordt afgegeven. Bentoniet en montmorilloniet bevatten veel

¹⁾ W. P. KELLEY, H. JENNY, S. M. BROWN, Hydration of minerals and soil colloids in relation to crystal structure. *Soil Science* 41, 259 (1936).

M. MEHMEL, Beitrag zur Frage des Wassergehaltes der Minerale Kaolinit, Halloysit und Montmorillonit. *Chemie der Erde* 11, 1 (1935).

L. D. BAVER, GLEN M. HORNER, Water content of soil colloids as related to their chemical composition. *Soil Science* 36, 329 (1933).

H. J. HARDON, De dehydratatie van de kleifractionen van de belangrijkste in Ned. Indië voorkomende grondtypen in verband met hun mineralogische samenstelling. *Landbouw* 16, 1 (1940).

L. DE LEEUW, Mineralogisch grondonderzoek V, Watergehalte, ontwatering en wateropname als kenmerkende eigenschappen van kleimineralen. Mededeelingen der Landb. Hoogeschool en der Opzoekingsstations van den Staat te Gent 9, 121 (1941).

meer geadsorbeerd water, maar de binding is veel minder sterk dan bij de veldspaten. Tot 150 à 160° C ontwijkt ongeveer 90 % van het geadsorbeerd water.

Het ontwijken van het water boven 400° C gaat meestal gepaard met vernietiging van het mineraal. Dit water behoort dan ook tot de kristalstructuur van het mineraal. Het komt daarin niet voor als H_2O -moleculen, maar als OH-groepen, die bij verstoring van de kristalstructuur bij hoge temperatuur waterdamp vormen, die ontwijkt ¹⁾. Dit water, dat dus als OH-groepen in de kristalstructuur van het mineraal voorkomt, en dat slechts ontwijkt boven 400° C onder vernietiging van het mineraal zelf, kan het beste kristalstructuur-water of constitutie-water genoemd worden ²⁾. Het gehalte er van hangt samen met de chemische samenstelling van het mineraal.

Voor kaolinite en montmorillonite wordt deze samenstelling weergegeven door de volgende formules:

kaolinite $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

montmorillonite $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$.

Uit deze formules blijkt, dat kaolinite meer kristalstructuur-water bevat dan montmorillonite.

Grafiek II, blz. 86, ontleend aan de onderzoeken van KELLEY c.s., toont het verloop van de dehydratatie-curven voor enkele mineralen van 25° tot 800° C.

Het volgende staatje laat voor deze mineralen zien uit hoeveel geadsorbeerd water (tot 400° C) en hoeveel kristalstructuur-water het totaal water van deze mineralen, ontweken tusschen 25° C en 800° C, bestaat:

Mineraal	Totaal water in procenten	Geadsorbeerd water	Kristalstructuur-water
Orthoklaas	6,5	6,0	—
Muscoviet	5,4	1,0	4,4
Kaolinite	14,0	2,5	11,5
Bentoniet	16,5	12,0	4,5

¹⁾ Gips en zeolithen bevatten ook water, dat geheel of min of meer tot de kristalstructuur van deze mineralen behoort. Het komt er evenwel in voor als H_2O -moleculen en kan zonder vernietiging van de kristalstructuur verwijderd worden en bij een temperatuur beneden 400° C. Dit water moet dus tot het geadsorbeerd water gerekend worden.

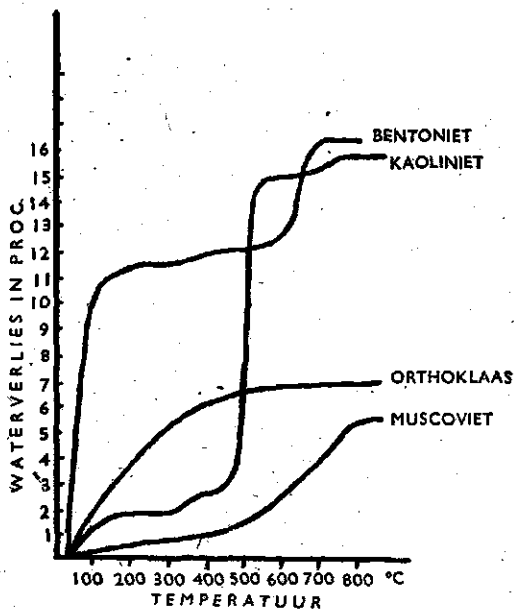
²⁾ In de literatuur wordt dit water gewoonlijk met den naam kristalroosterwater aangeduid. Op voorstel van Prof. Dr. P. TERPSTRA, heb ik dezen naam gewijzigd in kristalstructuur-water of constitutie-water, omdat het woord rooster een vaststaande beteekenis heeft, die zich niet heelemaal dekt met het gebruik, dat van dit woord wordt gemaakt bij toepassing van de benaming kristalroosterwater.

Zoo bestaat de kristalstructuur van muscoviet uit 10 in elkaar geplaatste kristalroosters n.m.:

- 1 rooster met hydroxyl
- 5 roosters met zuurstof
- 2 roosters met Si-Al
- 1 rooster met Al
- 1 rooster met K

Ook heeft men kunnen vaststellen, dat door fijner maken van de mineralen het gehalte aan geadsorbeerd water toeneemt, terwijl dat aan kristalstructuur-water kleiner wordt. Bovendien wordt het kristalstructuur-water

GRAFIEK II



(Dehydration curves of some minerals)

dan bij lagere temperatuur afgegeven. Men schrijft dit toe aan de vergroting van het totale oppervlak, terwijl tevens OH-groepen naar de oppervlakte gebracht worden.

Röntgenographische onderzoeken van kleimonsters hebben aangetoond, dat de kleisubstantie gekristalliseerde mineralen bevat. In de kleisubstantie van Nederlandsche gronden komen in hoofdzaak kwarts, muscoviet, kaoliniet en montmorilloniet voor ¹⁾. Met uitzondering van kwarts bevatten deze mineralen alle OH-groepen als bouwelementen in hun structuren. Derhalve zal bij de Nederlandsche gronden het vast gebonden water in de kleisubstantie te splitsen zijn in geadsorbeerd water en kristalstructuur-water. En aangezien montmorilloniet naar verhouding meer geadsorbeerd water en minder kristalstructuur-water bezit en kaoliniet, en in zekere mate ook muscoviet, minder geadsorbeerd water en meer kristalstructuur-water, zal het van de gehalten aan deze mineralen in een kleigrond afhangen of het vast gebonden water van dezen kleigrond meer uit geadsorbeerd water dan uit kristalstructuur-water bestaat.

¹⁾ C. H. EDELMAN, F. A. VAN BAREN, J. CH. L. FAVEJEE, Mineralogische onderzoeken aan kleien en kleimineralen. I. General discussion of the mineralogical composition of clays and qualitative X-ray analysis of some Dutch clays. Mededeelingen van de Landbouwhoogeschool, Wageningen, 43, [4] (1939).

Ook het totaal-gehalte van het vast gebonden water in de kleisubstantie zal voor iederen kleigrond van den aard van en het gehalte aan de er in voorkomende mineralen afhangen en dus niet voor alle kleigronden gelijk kunnen zijn.

a. Geadsorbeerd water.

Aangezien geen droogstoof ter beschikking stond om het geheele verloop van de dehydratatie tot 800° à 1000° C van de onderzochte grondmonsters na te gaan en ook het water, dat tot 400° C ontwijkt, niet bepaald kon worden, heb ik er genoegen mede moeten nemen om het water, dat tusschen 105° en 160° C uitgedreven wordt (dus het grootste gedeelte van het geadsorbeerd water) te bepalen. De gevonden hoeveelheden, in procenten op droge stof, zijn in kolom 7 van tabel III (blz. 80) opgenomen. Kolom 8 van deze tabel bevat deze hoeveelheden omgerekend per 100 g kleisubstantie (slibfractie), terwijl kolom 9 het percentage van het geadsorbeerd water van het vast gebonden water bevat.

Uit deze cijfers volgt, dat per 100 g kleisubstantie de grootste hoeveelheid geadsorbeerd water, 1,70 g, gevonden wordt bij B 2234, den rivierkleigrond uit de Betuwe. Bij dezen grond neemt het geadsorbeerd water ook het hoogste percentage van het vast gebonden water in (21,6 %). Hierop volgt B 6789, de verweeringsgrond van het krijt, met 1,69 g. De beide zeekleigronden uit Zeeland, B 20870-Wemeldinge en B 20892-Serooskerke, bezitten resp. 1,38 g en 1,33 g geadsorbeerd water per 100 g kleisubstantie. Bij de zeekleigronden uit Groningen ligt deze hoeveelheid tusschen 1,27 g en 0,80 g. Voor de beide rivierkleigronden van Valkenburg bij Leiden (B 16273 en B 16217) bedraagt ze resp. 0,79 g en 0,82 g. Het laagste gehalte wordt gevonden bij de beide Westerwalder kleigronden, B 8038 en B 8037, nl. 0,28 g en 0,31 g. Bij deze gronden bedraagt de hoeveelheid geadsorbeerd water slechts 4,4 % à 4,0 % van het vast gebonden water.

Bij de leemgronden wordt per 100 g kleisubstantie de grootste hoeveelheid geadsorbeerd water gevonden bij de Vlotleem (B 6917) en wel 1,34 g. Daarna volgen de löss uit de zandgroeve te Spaubeek (B 6782) met 1,17 g, de leemgrond uit Brabant (B 8041) met 0,88 g, de leemgrond uit Rhenen (B 7353) met 0,85 g, de leemgrond uit Esbeek (B 7030) met 0,77 g en ten slotte de leemgrond uit Rolde (B 7297) met 0,61 g.

Zet men het gehalte aan geadsorbeerd water in procenten op droge stof uit ten opzichte van de deeltjes kleiner dan 16 μ (rechter helft van grafiek III, blz. 90), dan blijken de punten met uitzondering van die voor den verweeringsgrond van het krijt (B 6789) en voor de beide Westerwalder kleigronden (B 8038 en B 8037) toch geen al te groote spreiding te vertoonen.

De rechte lijn, die door deze punten getrokken kan worden, snijdt de verticale as niet in het nulpunt, maar iets daar boven; hetgeen er zeer waarschijnlijk op wijst, dat ook buiten de deeltjes kleiner dan 16 μ bestanddeelen in den grond voorkomen, die geadsorbeerd water kunnen afgeven. In dit verband moet er op gewezen worden, dat de veldspaten,

die alleen geadsorbeerd water bevatten, voornamelijk in de iets grovere fracties dan 16 mu worden gevonden.

Dat de Westerwalder kleigronden weinig geadsorbeerd water bevatten, behoeft geen verwondering te wekken, aangezien in deze gronden veel glimmer voorkomt en wel in bijzonder fijn verdeelden vorm en glimmer (muscoviet) zooals uit grafiek II op blz. 86 blijkt, weinig geadsorbeerd water bevat.

Voor de andere gronden kan naar een onderzoek van FAVEJEE ¹⁾ verwezen worden. Bij dit onderzoek zijn van de kleifracties, waaronder hier verstaan moeten worden de fracties kleiner dan 2 mu, van een aantal Nederlandsche gronden langs röntgenographischen weg de gehalten aan kwarts, muscoviet, kaolinit en montmorilloniet bepaald. De gehalten aan muscoviet en kaolinit loopen voor de verschillende zeeklei- en rivierkleigronden wel iets uiteen, maar de verschillen zijn niet zoodanig, dat op grond hiervan een scheiding tusschen zeeklei- en rivierkleigronden gemaakt kan worden. In het algemeen is het muscovietgehalte bij de rivierkleigronden (23 % à 36 %) een ietsje lager dan bij de zeekleigronden (27 % à 40 %) en eveneens is dit het geval met het kaolinitgehalte (rivierkleigronden 5 % à 6 %, zeekleigronden 5 % à 11 %). Het montmorillonietgehalte is bij de zeekleigronden over het algemeen iets grooter dan bij de rivierkleigronden, 3 % à 18 % tegen 3 % à 9 %. Jongere gronden schijnen iets minder kwarts te bevatten dan oudere. Een leemgrond uit de omgeving van Eindhoven bevatte vrij wat muscoviet (51 % à 58 %), maar geen montmorilloniet en een weinig kaolinit (6 % à 7 %). Op grond van bovenstaande gehalten aan kleimineralen in de Nederlandsche gronden ²⁾ zou men in de rivierkleigronden per 100 g slibfractie minder geadsorbeerd water verwachten dan in de zeekleigronden. Bij de rivierkleigronden van Valkenburg bij Leiden (B 16273 en B 16217) is dit ook inderdaad het geval, maar de rivierkleigrond uit de Betuwe (B 2234), afkomstig van een z.g. klep- of slijpgrond, bevat vrijwat meer geadsorbeerd water dan de zeekleigronden. (Bij nader onderzoek is gebleken, dat deze grond vrijwat veldspaat bevat en hieraan zal het hoge gehalte aan adsorptief gebonden water van dezen grond, althans voor een deel, toegeschreven moeten worden.)

Van de zeekleigronden bevatten die uit Zeeland (B 20870 en B 20892) meer geadsorbeerd water dan die uit Groningen. Waaraan deze verschillen moeten worden toegeschreven, is niet bekend; ten deele niet, omdat de gehalten aan in deze gronden voorkomende kleimineralen niet bekend zijn.

Ook bij de leemgronden is niet te zeggen, waaraan de verschillen in geadsorbeerd water moeten worden toegeschreven. Alleen dient opgemerkt te worden, dat de leemgrond uit Brabant (B 8041) een laag gehalte aan

¹⁾ J. CH. L. FAVEJEE, Mineralogische onderzoekingen aan kleien en kleimineralen. II. Quantitative X-ray analysis of some Dutch soils. Mededeelingen van de Landbouw-hoogeschool, Wageningen, 43, [5] (1939).

²⁾ Er dient op gewezen te worden, dat de som van deze gehalten voor de verschillende kleifracties een tekort van 15 à 50 % aanwijst. Dit tekort zou niet toegeschreven moeten worden aan het voorkomen van niet-gekristalliseerd materiaal, maar aan de aanwezigheid van zeer kleine deeltjes in de kleifractie.

geadsorbeerd water bezit en dit feit in overeenstemming is met hetgeen FAVEJEE heeft gevonden, namelijk, dat een leemgrond uit de omgeving van Eindhoven geen montmorilloniet en vrijwat muscoviet bevat.

Behalve van de in de kleigronden voorkomende kleimineralen en hun gehalten zal de hoeveelheid geadsorbeerd water in deze gronden ook verband houden met de gehalten aan in deze gronden voorkomende gehydrateerde oxyden van aluminium, ijzer en kiezelzuur, hetzij deze oxyden in den grond voorkomen in amorfen toestand, bijv. als gel, hetzij gekristalliseerd (limoniet, hydrargilliet). De gehalten aan deze gehydrateerde oxyden zijn tot nu toe afzonderlijk evenwel niet te bepalen. Wel bestaat er een methode aan TRUOG e.a.¹⁾ om de vrije sesquioxyden in den grond

TABEL IV

De gehalten aan aluminium, ijzer en kiezelzuur oplosbaar in 10 proc. zoutzuur en nabehandeling met loog
(Aluminium, iron and silica contents soluble in 10 percent HCl and following KOH-treatment)

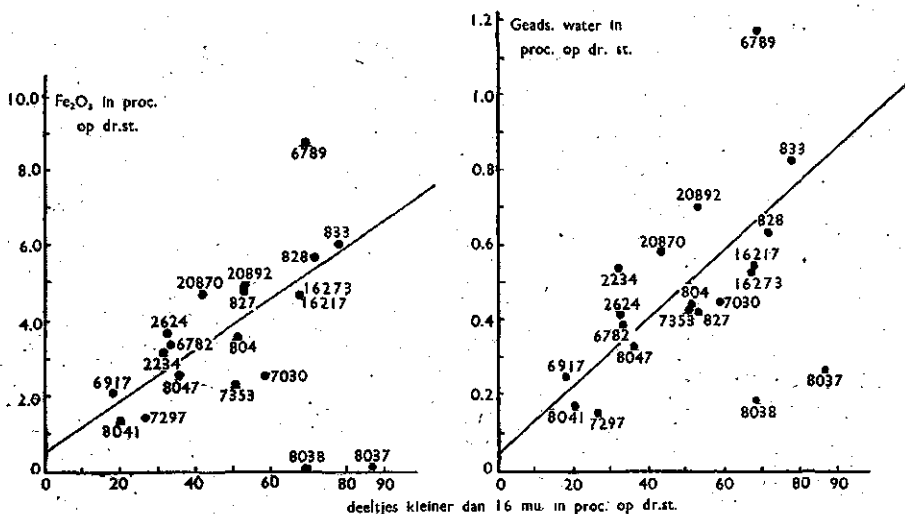
No. B.	De droge stof bevat in procenten (percentage of dried matter)				Milligram-moleculen per 100 gram grond (milligram molecules per 100 gr soil)		
	geadsor- beerd water (adsorbed water)	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
8038	0,19	2,66	0,09	3,49	26,1	0,56	58,1
8037	0,27	3,28	0,13	5,74	32,2	0,81	95,6
8047	0,33	3,05	2,58	8,85	29,9	16,2	147,4
2624	0,41	3,04	3,70	9,38	29,8	23,2	156,2
827	0,42	4,24	4,87	13,39	41,6	30,5	222,9
804	0,44	4,37	3,56	13,29	42,9	22,3	221,3
16273	0,53	5,18	4,70	15,89	50,8	29,4	264,6
2234	0,54	4,00	3,18	8,16	39,2	19,9	135,9
16217	0,55	5,23	4,70	15,22	51,3	29,4	253,4
20870	0,57	3,93	4,74	11,70	38,5	29,7	194,8
828	0,64	5,62	5,75	18,23	55,1	36,0	303,5
20892	0,70	4,62	4,93	14,47	45,3	30,9	240,9
833	0,83	6,47	6,02	19,65	63,5	37,7	330,5
6789	1,17	10,88	8,74	22,86	106,7	54,7	380,6
7297	0,16	3,01	1,41	6,22	29,5	8,8	103,6
8041	0,18	2,66	1,43	5,22	26,1	9,0	86,9
6917	0,25	2,64	2,11	4,62	25,9	13,2	76,6
6782	0,39	3,39	3,42	7,42	33,3	21,4	123,5
7353	0,43	4,82	2,32	9,54	47,3	14,5	158,8
7030	0,45	6,04	2,55	12,65	59,3	16,0	210,6

¹⁾ E. TRUOG, J. R. TAYLOR, R. W. PEARSON, M. E. WEEKS en R. W. SIMONSON, Proc. Soil Science Society of America 1, 101 (1936).

te bepalen, maar bij deze methode (de oxaalzuur-natriumsulfide-methode) worden, en de gehydrateerde en de watervrije sesquioxyden, zoowel amorf als kristallijn, bepaald, terwijl tevens het kolloidale kiezelzuur bepaald kan worden.

Ten einde na te gaan of er tusschen de voor de onderzochte gronden gevonden gehalten aan geadsorbeerd water en de gehalten aan gemakkelijk oplosbaar ijzer en aluminium in deze gronden eenig verband bestaat, heb ik niet de gehalten aan vrije sesquioxyden in deze gronden volgens de methode Truog bepaald, maar de gehalten aan aluminium en ijzer oplosbaar in 10 % -ig zoutzuur¹⁾. Deze gehalten zijn, in procenten op droge stof berekend, in tabel IV, kolom 3 en 4, opgenomen (blz. 89).

GRAFIEK III

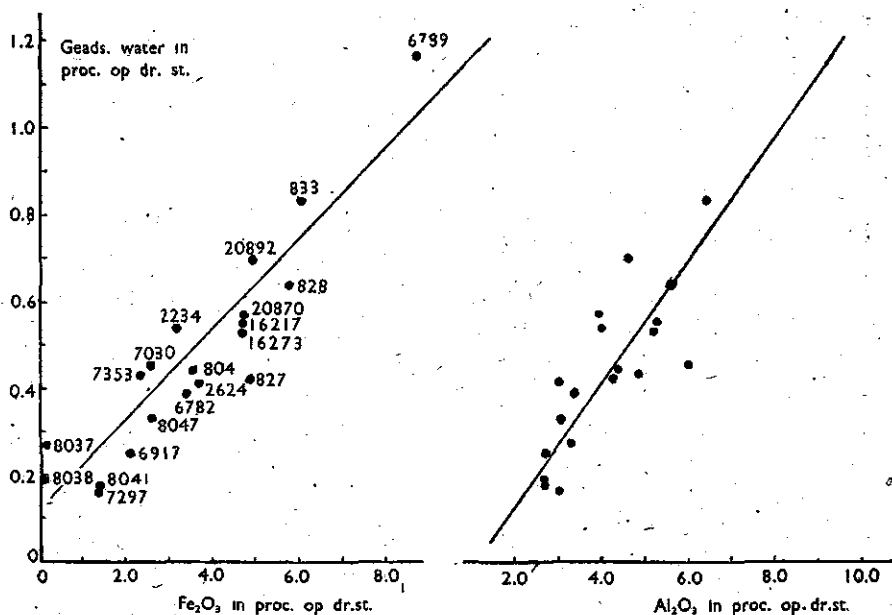


Zet men nu de gehalten aan ijzer (verticale as) uit tegen de gehalten aan deeltjes kleiner dan 16 μ (horizontale as), beide gehalten uitgedrukt in procenten op droge stof, dan krijgt men een stel punten (linker helft van grafiek III), waarvan de ligging nagenoeg overeenkomt met de ligging van de punten, die men krijgt, wanneer de gehalten aan geadsorbeerd water in procenten op droge stof tegen de gehalten aan deeltjes kleiner dan 16 μ worden uitgezet (rechter helft van grafiek III). Tusschen de gehalten aan geadsorbeerd water en die aan ijzer, uitgedrukt in procenten op droge stof, moet dus ook een zeker verband bestaan, zooals de linker helft van grafiek IV laat zien. De spreiding van de punten in deze voorstelling is niet groot en de punten liggen vrijwel allemaal om een rechte lijn. Een dergelijke spreiding vertoonen de punten, wanneer de gehalten aan

¹⁾ Voor de wijze, waarop de gehalten aan ijzer en aluminium bepaald zijn, zie: Versl. Landb. Onderz. 49, 306 (1943).

geadsorbeerd water tegen de gehalten aan aluminium, beide gehalten eveneens uitgedrukt in procenten op droge stof, worden uitgezet, zooals in de rechter helft van grafiek IV is weergegeven.

GRAFIEK IV



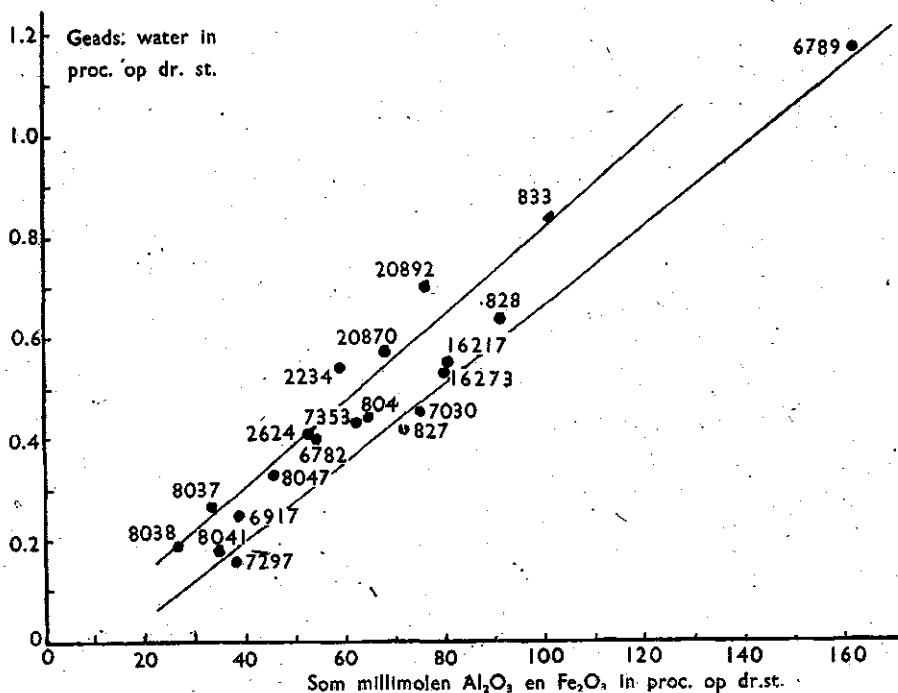
(Graphs 4 and 5: Relation between the adsorbed water and the amounts of Fe₂O₃ and Al₂O₃ soluble in 10 percent HCl).

Er schijnt dus inderdaad eenig verband te bestaan tusschen het gehalte aan geadsorbeerd water van een grond en zijn gehalten aan ijzer en aluminium oplosbaar in 10 %-ig zoutzuur.

In grafiek V zijn de gehalten aan geadsorbeerd water nu nog eens uitgezet tegen de som van de milligram-moleculen Al₂O₃ en Fe₂O₃ (kolommen 6 en 7 tabel IV), beide grootheden uitgedrukt in procenten op droge stof. Uit deze grafiek krijgt men den indruk, dat de grondmonsters in twee groepen te verdeelen zijn. De grondmonsters B 7297, B 8041, B 804, B 827, B 7030, B 16273, B 16217, B 828 en B 6789 behooren blijkbaar tot één groep en het meerendeel der overige grondmonsters tot een andere groep, terwijl enkele grondmonsters, zooals B 7353, er tusschen in liggen. De grondmonsters van eerstgenoemde groep bezitten bij een zelfde som milligram-moleculen Al₂O₃ en Fe₂O₃ een lager gehalte aan geadsorbeerd water dan de grondmonsters van de tweede groep. Van de grondmonsters, die tot de eerste groep behooren, zijn de monsters B 804, B 827 en B 828 afkomstig van eenzelfde knikprofiel en wel van onder de kniklaag; B 804 is grijze klei onder de kniklaag; B 827 is sterk rood geaderde klei hieronder en B 828 is grijze klei met zeer veel bruine plekken nog dieper gelegen.

De monsters B 16217 en 16273 zijn eveneens van een knikprofiel afkomstig en wel van het benedenste gedeelte van de kniklaag. B 6789 is rood-bruine verweeringsgrond van het krijt; B 7297 lichtgrijze leem met bruine plekkjes

GRAFIEK V



en B 7353 grijze leem met iets ijzer. In al deze grondmonsters komt dus vermoedelijk ijzer en misschien ook aluminium oplosbaar in 10 %-ig zoutzuur voor in een vorm, die minder geadsorbeerd water bevat dan de vorm, waarin deze bestanddeelen in de grondmonsters van de tweede groep voorkomen, dus vermoedelijk als oxyde en niet als hydroxyde.

b. Kristalstructuur-water.

Wanneer men van het totaal gehalte aan vast gebonden water het gehalte aan water, dat tusschen 105°C en 160°C ontwijkt, aftrekt, krijgt men ten naasten bij het gehalte aan kristalstructuur-water. Feitelijk moet hiervoor de hoeveelheid water, die boven 400°C ontwijkt, genomen worden. Het verkregen gehalte zal dus iets te groot zijn. Aangezien de kleimineralen, die in de Nederlandsche gronden voorkomen, tusschen 160°C en 400°C niet veel water afgeven, zal het eigenlijke gehalte aan kristalstructuur-water evenwel niet veel lager zijn. Alleen wanneer een grond veel veldspaten bevat, zal de afwijking van het eigenlijke gehalte tamelijk groot kunnen zijn, omdat de veldspaten boven 160°C nog ongeveer de helft van hun geadsorbeerd water verliezen.

TABEL V

Het gehalte aan kristalstructuur-water
(Crystal structure water content)

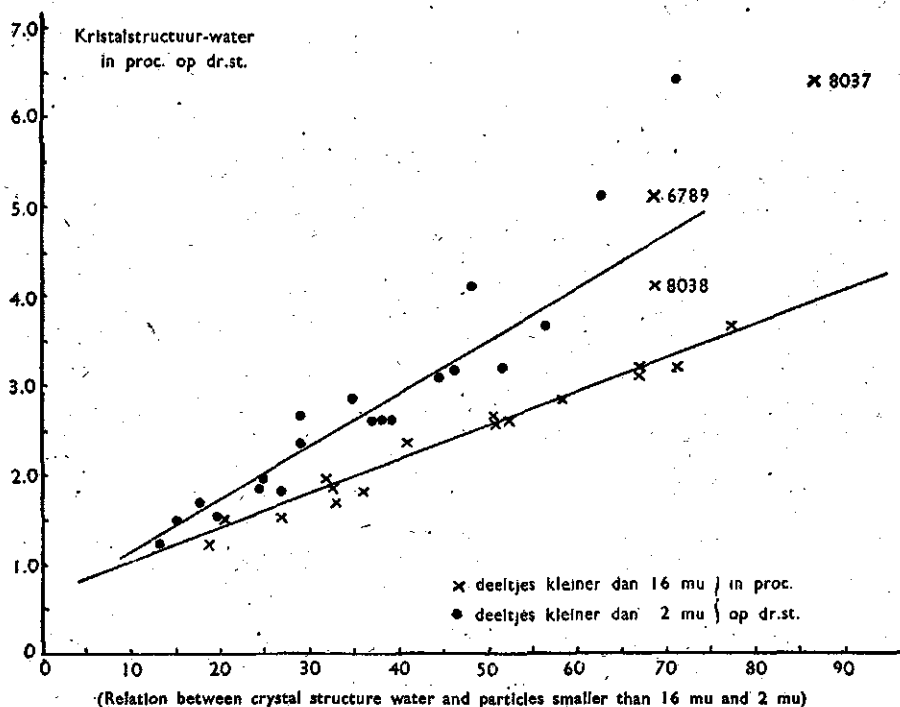
No. B	De droge stof bevat in procenten (percentage of dried matter)					100 g fractie < 16 mu bevat kristal- structuurwater (<i>crystal structure</i> <i>water on fraction</i> <i>< 16 mu</i>)
	deeltjes kleiner dan (<i>particles</i> <i>smaller than</i>)		vast ge- bonden water (<i>combi- ned</i> <i>water</i>)	geadsor- beerd water (<i>adsorbed</i> <i>water</i>)	kristal- structuur water (<i>crystal</i> <i>structure</i> <i>water</i>)	
	2 mu	16 mu				
8047	26,9	35,9	2,13	0,33	1,80	5,0
2624	24,4	32,3	2,27	0,41	1,86	5,8
2234	24,9	32,0	2,50	0,54	1,96	6,1
20870	29,2	41,2	2,92	0,57	2,35	5,7
804	37,8	51,0	3,04	0,44	2,60	5,1
827	37,0	52,7	3,04	0,42	2,62	5,0
20892	39,3	52,5	3,33	0,70	2,63	5,0
16273	44,4	67,2	3,62	0,53	3,09	4,6
16217	46,1	67,2	3,72	0,55	3,17	4,7
828	51,6	71,4	3,84	0,64	3,20	4,5
833	56,4	77,7	4,50	0,83	3,67	4,7
8038	48,1	69,1	4,31	0,19	4,12	6,0
6789	62,7	69,2	6,29	1,17	5,12	7,4
8037	71,1	86,9	6,69	0,27	6,42	7,4
6917	13,0	18,7	1,48	0,25	1,23	6,6
8041	15,3	20,5	1,69	0,18	1,51	7,4
7297	19,9	26,8	1,69	0,16	1,53	5,7
6782	17,6	33,2	2,08	0,39	1,69	5,1
7353	29,0	50,4	3,08	0,43	2,65	5,3
7030	34,8	58,5	3,30	0,45	2,85	4,9

In kolom 6 van tabel V zijn de gehalten aan kristalstructuur-water voor de onderzochte gronden, op bovenstaande wijze berekend, opgenomen. Deze gehalten zijn in grafiek VI op blz. 94, zoowel ten opzichte van de deeltjes kleiner dan 16 mu, als ten opzichte van die kleiner dan 2 mu, uitgezet. Trekt men door elk van beide puntenstelsels, die men aldus verkrijgt, een rechte lijn, dan blijkt, dat de punten voor de deeltjes kleiner dan 16 mu iets dichter om de lijn liggen dan de punten voor de deeltjes kleiner dan 2 mu. De punten voor de beide Westerwalder kleien (B 8037 en B 8038) en voor den verweeringsgrond van het krijt (B 6789) liggen ook hier weer buiten deze lijnen.

Er bestaat dus een nauwer verband tusschen de gehalten aan kristalstructuur-water en de deeltjes kleiner dan 16 mu, dan die kleiner dan 2 mu. Ook hier gaan de lijnen niet door het nulpunt, maar snijden de verticale as iets daar boven, zoodat zeer waarschijnlijk ook onder de deeltjes grooter dan 16 mu bestanddeelen voorkomen, die tot het kristalstructuur-water bijdragen.

Voor een onderlinge vergelijking van de gehalten aan kristalstructuurwater van de onderzochte gronden is het dus beter deze gehalten om te rekenen op 100 g deeltjes kleiner dan 16 μ dan op 100 g deeltjes kleiner

GRAFIEK VI



dan 2 μ . Deze omgerekende gehalten zijn in kolom 7 van tabel V opgenomen.

Uit de cijfers van tabel V blijkt, dat alle gronden vrijwat meer kristalstructuurwater dan geadsorbeerd water bevatten. Dit is in overeenstemming met de resultaten van het onderzoek van FAVEJEE, volgens welke resultaten in de Nederlandsche gronden weinig montmorilloniet voorkomt, dat juist zeer veel geadsorbeerd water bevat, terwijl de andere in deze gronden voorkomende kleimineralen vrijwat meer kristalstructuurwater dan geadsorbeerd water bevatten.

Het hoogste gehalte aan kristalstructuurwater wordt gevonden bij den verweeringsgrond van het krijt (B 6789) en bij de glimmer-rijke vette Westerwalder klei (B 8037) en wel op 100 g kleisubstantie 7,4 g. Bij de magere Westerwalder klei (B 8038) bedraagt dit gehalte 6,0 g. De rivierkleigrond uit de Betuwe (B 2234), afkomstig van den z.g. klep- of slijpgrond, bezit per 100 g kleisubstantie 6,1 g kristalstructuurwater. In dezen grond komt vrijwat veldspaat voor en dit geeft tusschen 160° en 400° C nog een aanzienlijk gedeelte van zijn geadsorbeerd water af. Zeer waar-

schijnlijk is dus het gehalte aan kristalstructuur-water voor dezen grond te hoog, aangezien de gronden voor de bepaling van het geadsorbeerd water maar tot 160° C verhit zijn geworden. Verder bevat de zeekleigrond uit Warffum (B 2624) per 100 g kleisubstantie 5,8 g kristalstructuur-water en de zeekleigrond uit Zeeland (B 20870-Wemeldinge) 5,7 g. Bij de overige zeekleigronden en de rivierkleigronden van Valkenburg ligt dit gehalte tusschen 4,5 g en 5,0 g.

Bij de leemgronden wordt het hoogste gehalte, 7,4 g per 100 g kleisubstantie, gevonden bij den leemgrond uit Brabant, waarin vermoedelijk vrijwat muscoviet voorkomt, en het laagste gehalte, 4,9 g, bij den leemgrond van Esbeek.

Over de wijze, waarop de gehalten aan kristalstructuur-water in de onderzochte grondmonsters met de in deze grondmonsters voorkomende kleimineralen en de gehalten daaraan samenhangen, is niets te zeggen, aangezien omtrent deze kleimineralen niets bekend is.

Nagegaan is nog of door bepaling van de moleculaire verhouding van de gehalten aan Al_2O_3 , Fe_2O_3 en SiO_2 oplosbaar in 10 %-ig zoutzuur soms iets omtrent de kleimineralen in de onderzochte gronden te weten was te komen. Aangezien in de filtraten van de zoutzuur behandeling zeer weinig SiO_2 aanwezig is, omdat het in oplossing gegane SiO_2 , door het zoutzuur uitgevlokt, in het residu achterblijft, is een behandeling van dit residu met kaliloog, om het uitgevlokte SiO_2 in oplossing te brengen, noodzakelijk. De aldus verkregen cijfers voor het totaal in oplossing gegane SiO_2 zijn in kolom 5 van tabel IV (blz. 89) opgenomen. De kolommen 6, 7 en 8 van deze tabel bevatten de gehalten aan aluminium, ijzer en kiezelzuur per 100 g drogen grond omgerekend in milligram-moleculen. Deze cijfers zijn verkregen door deze gehalten te vermenigvuldigen met 1000 en vervolgens door de betreffende moleculair gewichten te deelen. Men kan nu het gehalte aan milligram-moleculen Al_2O_3 gelijk 1 stellen en de gehalten aan milligram-moleculen Fe_2O_3 en SiO_2 op dit cijfer omrekenen. Aldus verkrijgt men de moleculaire verhouding van de bestanddeelen Al_2O_3 , Fe_2O_3 en SiO_2 op $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$. Deze moleculaire verhouding is voor de onderzochte gronden in tabel VI (blz. 96) weergegeven.

Uit de cijfers van deze tabel blijkt, dat er een groot verschil bestaat tusschen de leemgronden en de kleigronden. Bij de leemgronden komt op 1 Al_2O_3 3,0 à 3,7 SiO_2 voor tegen bij de kleigronden 4,9 à 5,5 SiO_2 , terwijl voor het Fe_2O_3 bij de leemgronden over het algemeen een lager verhoudingscijfer gevonden wordt dan bij de kleigronden ¹⁾.

Bij de leemgronden gaat dus bij behandeling met 10 %-ig zoutzuur en nabehandeling met loog ten opzichte van het Al_2O_3 minder SiO_2 in oplossing dan bij de kleigronden. Mogelijk moet dit hieraan worden toegeschreven, dat in de leemgronden meer onverweerde mineralen voorkomen dan in de kleigronden. Een aanwijzing betreffende de kleimineralen, die in een grond voorkomen, geeft deze moleculaire verhouding echter niet.

¹⁾ De moleculaire verhouding van de bestanddeelen Al_2O_3 , Fe_2O_3 en SiO_2 , oplosbaar in 10 %-ig zoutzuur en nabehandeling met loog, op Al_2O_3 gelijk 1, geeft vermoedelijk het onderscheid tusschen een leemgrond en een kleigrond beter weer dan de verhouding van het gehalte aan deeltjes kleiner dan 2 mu tot dat aan deeltjes van 2—16 mu.

TABEL VI

Moleculaire verhouding van de bestanddeelen Al_2O_3 , Fe_2O_3 en SiO_2
op $Al_2O_3 = 1$
(Molecular ratio of Al_2O_3 , Fe_2O_3 and SiO_2)

No. B	Herkomst (origin)	Omschrijving (description)	Diepte van de laag in cm (depth)	Moleculaire verhouding (molecular ratio) op $Al_2O_3 = 1$	
				Fe_2O_3	SiO_2
20870	Wemeldinge (Z.)	Zware, grijze kleigrond met veel bruine ijzeroxyde-afzettingen	35-50	0,77	5,06
20892	Serooskerke (Z.)	Zeer zware, stugge kleigrond	30-50	0,68	5,32
833	Bedum (Gr.)	Witte klei met gele plekken van ijzeroxyde	39-66	0,59	5,20
804	Warffum (Gr.) (zelfde knikprofiel onder kniklaag)	Klei onder kniklaag	58-70	0,54	5,16
827		Sterk roodgeaderde klei (bruinrood)	85-95	0,73	5,36
828		Grijze klei, sterk met bruine plekken	95-108	0,65	5,51
2624	Warffum (Gr.)	Meer zandige klei onder kniklaag	50-70	0,78	5,24
8047	Oldehove (Gr.)	Meer zandige klei onder kniklaag	50-65	0,54	4,93
16273	Valkenburg bij Leiden (Z.H.)	Benedenste gedeelte van een kniklaag	40-60	0,58	5,21
16217			50-58	0,57	4,94
2234	Zoelen (Betuwe)	Klep- of slijpgrond, hard en dicht	30-50	0,51	3,47
6789	Ubagsberg (L.) kalksteengroeve	Verweeringsgrond van het Kunrader krijt	± 100	0,51	3,57
6782	Spaubeek (L.) zandgroeve	Lössgrond	65-80	0,68	3,71
7030	Esbeek (N.Br.)	Vette leem, vermoedelijk hoogterras klei	—	0,27	3,55
7297	Rolde (Dr.)	Lichtgrijze leem met bruine plekkjes	± 150	0,30	3,51
7353	Rhenen (U.) leemkuil	Leemgrond	—	0,31	3,36

TABEL VI (vervolg)

No. B	Herkomst (origin)	Omschrijving (description)	Diepte van de laag in cm (depth)	Moleculaire verhouding (molecular ratio) op $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$	
				Fe_2O_3	SiO_2
8041	Veldhoven (N.Br.)	z.g. Leem van Brabant	—	0,34	3,33
6917	Oosthelling van de heuvelrij ten Westen van de IJssel tusschen Velp en Dieren	Glaciale, aeolische afzetting, z.g. vlotleem	± 50	0,50	3,00
8037 8038	Westerwald, linker oever van den Rijn bij Koblenz	Vette klei Magere klei	— —	0,025 0,021	2,97 2,23

De verweeringsgrond van het krijt (B 6789) sluit zich wat de moleculaire verhouding betreft geheel bij de leemgronden aan. Ook de rivierkleigrond uit de Betuwe (B 2234), afkomstig van een klep- of slijpgrond, behoort, de moleculaire verhouding in aanmerking genomen, tot de leemgronden en niet tot de kleigronden. Deze grond wijkt ook, wat het vast gebonden water, zoowel het adsorptief gebonden- als het kristalstructuurwater, betreft, van de kleigronden af. Dit is namelijk bij dezen grond hooger dan bij de onderzochte kleigronden. Voor de Westerwalder kleien wordt een moleculaire verhouding gevonden, waarbij op 1 Al_2O_3 nog minder SiO_2 aanwezig is dan bij de leemgronden, nl. voor de vette klei 2,97 en voor de magere 2,23. Ook het verhoudingscijfer voor het Fe_2O_3 is bij dezen wit gekleurden grond veel lager dan bij de leemgronden.

De moleculaire verhouding van de bestanddeelen Al_2O_3 , Fe_2O_3 en SiO_2 , oplosbaar in 10 %-ig zoutzuur met nabehandeling van loog op Al_2O_3 gelijk 1, geeft dus wel verschillen voor de diverse grondtypen, maar deze verhouding geeft geen nadere verklaring voor de verschillen in het vast gebonden water, zoowel het adsorptief gebonden- als het kristalstructuurwater.

5. De invloed van de humus op de berekening van het vast gebonden water in de kleisubstantie.

Voor de berekening van het gehalte aan vast gebonden water in de kleisubstantie is van het gloeiverlies het gehalte aan humus afgetrokken. Dit laatste gehalte is bepaald door het C-gehalte, volgens de elementairanalyse voor de organische stof gevonden, met den factor 1,724 te vermenigvuldigen. In hoeverre deze factor bij de organische stof van verschillende gronden mag worden toegepast, is nog een open vraag. Het is mogelijk, dat de factor voor de organische stof van verschillende gronden niet

dezelfde is ¹⁾. De mogelijkheid bestaat dus, dat de humuscijfers en daarmee de gehalten aan vast gebonden water, niet geheel juist zijn.

Bouyoucos ²⁾ heeft het vast gebonden water op een andere wijze bepaald en wel door den grond in een ijzeren bombe te verhitten en het daarbij overdestilleerende water op te vangen en te bepalen.

Nu bevat de organische stof waterstof, die, bij de ontleding van de organische stof ten gevolge van de verhitting, met de in de bombe aanwezige zuurstof tot water omgezet wordt. Dit water destilleert mede over, zoodat het destillaat bestaat uit dit water plus het vast gebonden water.

Voor de berekening van het uit de organische stof ontstane water neemt Bouyoucos aan, dat de koolstof en de waterstof in de organische stof voorkomen in de verhouding van één atoom C tegen twee atomen H, zoodat bij de oxydatie van de organische stof een gelijk aantal moleculairgewichten aan CO₂ en aan water (H₂O) gevormd worden. Van de totale hoeveelheid water, die overdestilleert, wordt een hoeveelheid water afgetrokken gelijk aan zooveel malen 18 g als er keeren 44 g CO₂ ontstaat en dit verschil geeft het vast gebonden water weer.

Bovengenoemde methode heeft dit bezwaar, dat men niet weet of in de organische stof van elken grond de koolstof en de waterstof voorkomen in een verhouding als boven aangegeven, en bovendien weet men ook niet, of in de bombe steeds voldoende zuurstof aanwezig is, om alle waterstof

Gronden	Diepte in inches	Vast gebonden water in proc.	Deeltjes van 0—0,005 mm in proc. (klei)	Deeltjes van 0—0,002 mm in proc. (fijne klei)	Vast gebonden water in proc. op deeltjes 0—0,002 mm
Hagerstown clay loam.	12—20	8,09	84,4	82,3	9,8
Irredell loam	12—16	8,03	74,1	70,4	11,4
Susquehanna clay	16—20	4,49	41,0	39,5	11,4
Susquehanna clay	48	6,11	64,8	63,4	9,6
Davidson clay loam	24—30	8,46	71,2	69,1	12,2
Decatur clay	6—12	5,50	42,3	40,7	13,5
Greenville fine sandy loam	12—18	4,80	39,6	37,5	12,8
Bladen loam	12—18	5,30	54,0	48,8	10,9
Antioch clay loam	40—60	2,88	34,8	32,4	8,9
Lufkin clay	10—16	5,90	90,2	85,2	6,9
Marengo clay	4—30	5,38	96,0	92,8	5,8
Colbert clay	48	7,02	74,8	73,3	9,6

¹⁾ De factor voor berekening van de organische stof uit het gehalte aan koolstof (C) zou in sommige gevallen 75 % fout kunnen zijn. W. O. ROBINSON, Method and procedure of soil analysis used in the Division of Soil Chemistry and Physics, U.S. Dept. Agr. Cir. 139, 1 (1930).

²⁾ G. J. Bouyoucos, The distillation method for determining the combined water and organic matter in soils. Soil Science 36, 471 (1933); A method for determining combined water and organic matter in soils. Soil Science 34, 259 (1932).

en koolstof te oxydeeren. Alleen voor gronden zonder organische stof krijgt men volgens deze methode de juiste waarden voor het vast gebonden water.

Voor eenige Amerikaansche grondtypen, die geen organische stof bevatten, heeft Bouyoucos het gehalte aan vast gebonden water bepaald en dit vergeleken met het kleigehalte van deze gronden. De tabel op blz. 98 geeft de resultaten van zijn bepalingen weer.

Berekend in procenten op deeltjes kleiner dan 2 mu vindt Bouyoucos dus voor de door hem onderzochte gronden waarden voor het vast gebonden water liggende tusschen 5,8 en 13,5 en trekt hieruit de conclusie, dat er geen nauw en constant verband bestaat tusschen het kleigehalte (deeltjes kleiner dan 2 mu) en het gehalte aan vast gebonden water van verschillende gronden.

Berekening van de door mij gevonden waarden voor het vast gebonden water in procenten op deeltjes kleiner dan 2 mu geeft de volgende cijfers:

No. B	Vast gebonden water in proc. op deeltjes < 2 mu	No. B	Vast gebonden water in proc. op deeltjes < 2 mu
Zeekleigronden		Leemgronden	
20870	10,0	6782	11,8
2624	9,3	6917	11,5
20892	8,5	8041	11,0
827	8,2	7353	10,6
804	8,0	7030	9,5
833	8,0	7297	8,5
8047	7,9		
828	7,4		
		Verweeringsgrond van het krijt 6789	10,0
Rivierkleigronden		Westerwalder kleien	
2234	10,0	8037	9,4
16273	8,2	8038	9,0
16217	8,1		

Bij deze gronden ligt het gehalte aan vast gebonden water, berekend op deeltjes kleiner dan 2 mu, tusschen 7,4 % en 11,8 %, dus tusschen nauwere grenzen dan bij de door Bouyoucos onderzochte gronden. Voor de zee- en rivierkleigronden is het gehalte over het algemeen lager dan voor de leemgronden.

Bij de bepaling van het koolstofgehalte van de organische stof volgens de elementair-analyse bestond een geschikte gelegenheid om tevens het vast gebonden water in de kleisubstantie plus het water bij de verbranding uit de organische stof gevormd op te vangen en te bepalen. Aangezien bij deze bepaling voortdurend een langzame stroom van droge en koolzuurvrije lucht door de verbrandingsbuis gezogen wordt, zal er wel steeds voldoende zuurstof aanwezig zijn om alle waterstof en koolstof van de organische stof te oxydeeren.

TABEL VII

Het gehalte aan vast gebonden water volgens Bouyoucos
(Combined water content determined by the Bouyoucos-method)

No. B	In proc. op droge stof (percent on dried matter)				Verschil kolom 5 minus 4 (difference column 5—4)	Vast gebonden water volgens			
	CO ₂ van elem. analyse	H ₂ O van elem. analyse	vast gebonden water volgens (combined water by)			Bouyoucos op fractie		gloeiverlies (loss on ignition) op fractie	
			Bou- youcos	gloe- verlies (loss on ignition)		< 2 mu	< 16 mu	< 2 mu	< 16 mu
2234	1,54	3,07	2,44	2,50	+ 0,06	9,8	7,6	10,0	7,8
2624	1,27	2,64	2,12	2,27	+ 0,15	8,7	6,6	9,3	7,0
8047	0,89	2,62	2,26	2,13	— 0,13	8,4	6,3	7,9	5,9
20870	1,96	3,51	2,71	2,92	+ 0,21	9,3	6,6	10,0	7,1
804	2,46	3,92	2,91	3,04	+ 0,13	7,7	5,7	8,0	6,0
20892	2,26	3,90	2,98	3,33	+ 0,35	7,6	5,7	8,5	6,3
827	1,57	3,71	3,07	3,04	— 0,03	8,3	5,8	8,2	5,8
16273	2,52	4,56	3,53	3,62	+ 0,09	8,0	5,3	8,2	5,4
16217	2,34	4,70	3,74	3,72	— 0,02	8,1	5,6	8,1	5,5
8038	0,37	4,70	4,55	4,31	— 0,24	9,4	6,6	9,0	6,2
6789	1,30	6,84	6,31	6,29	— 0,02	10,1	9,1	10,0	9,1
828	2,61	4,90	3,83	3,84	+ 0,01	7,4	5,4	7,4	5,4
833	2,40	5,33	4,35	4,60	+ 0,15	7,7	5,6	8,0	5,8
8037	0,64	7,29	7,03	6,69	— 0,34	9,9	8,1	9,4	7,7
6917	0,52	2,00	1,79	1,48	— 0,31	13,8	9,6	11,5	7,9
8041	0,68	2,12	1,84	1,69	— 0,15	12,0	9,0	11,0	8,2
7297	0,29	1,96	1,84	1,69	— 0,15	9,2	6,9	8,5	6,3
6782	0,73	2,53	2,23	2,08	— 0,15	12,7	6,7	11,8	6,3
7353	0,78	3,52	3,20	3,08	— 0,12	11,0	6,3	10,6	6,1
7030	0,70	3,60	3,31	3,30	— 0,01	9,5	5,7	9,5	5,6

In tabel VII zijn de hoeveelheden water, die bij deze bepalingen gevonden zijn, in kolom 3 opgenomen. Deze hoeveelheden zijn alle grooter dan de waarden, die voor het vast gebonden water uit het gloeiverlies berekend zijn (tabel VII, kolom 5). Deze grootere hoeveelheid water is natuurlijk afkomstig van de organische stof.

Men kan nu op de wijze, waarop dit door Bouyoucos is gedaan, de hoeveelheid water, die van de organische stof afkomstig is, berekenen en deze hoeveelheid van de totale hoeveelheid gevonden water aftrekken, waarna het overschot het vast gebonden water aangeeft. Voor deze berekening moet het gehalte aan CO₂, dat bij de elementair-analyse gevonden is (tabel VII, kolom 2), dus gedeeld worden door 44 en het aldus verkregen getal vermenigvuldigd met 18. Voor B 2234 bedraagt derhalve de hoeveelheid water, die bij de verbranding uit de organische stof gevormd wordt (per 100 g droge stof) $(1,54 : 44) \times 18 = 0,63$ g. De totale hoeveelheid water,

die bij de elementair-analyse gevonden is, bedraagt voor dit monster per 100 g droge stof 3,07 g, zoodat het vast gebonden water volgens Bouyoucos voor B.2234 in proc. op droge stof $3,07 - 0,63 = 2,44$ zou zijn. De op deze wijze berekende waarden voor het vast gebonden water vindt men voor de onderzochte grondmonsters in kolom 4 van tabel VII. Deze waarden ver- toonen meer of minder groote verschillen met die voor het vast gebonden water uit het gloeiverlies berekend. Hoe groot deze verschillen zijn geeft kolom 6 van tabel VII aan. In de meeste gevallen is het gehalte aan vast gebonden water volgens Bouyoucos iets grooter dan dat uit het gloeiverlies berekend. Dit kan hiervan een gevolg zijn, dat bij de elemen- tair-analyse een iets hoogere gloeitemperatuur bereikt is dan in de moffel; maar ook, omdat in de organische stof de koolstof en de waterstof niet steeds voorkomen in de verhouding van één atoom C tegen twee atomen H. Deze verhouding is voor de onderzochte gronden te berekenen, wanneer men aanneemt, dat de hoeveelheid water, die bij de elementair-analyse meer gevonden wordt dan het gehalte aan vast gebonden water, uit het

TABEL VIII

De gehalten aan waterstof, koolstof en stikstof van de organische stof
(Hydrogen, carbon and nitrogen contents of the organic matter)

No. B	Water bepaald volgens (water determined by)		Verschil kolom 2 minus 3 (diffe- rence column 2—3)	De org. stof bevat in proc. op droge stof (the organic matter contains percentage of dried matter)			Atoom- ver- houding (atom ratio) C : H als 1 :	Ver- houding (ratio) C/N
	elem. analyse (combustion method)	gloeiverlies (loss on ignition)		H	C	N		
2234	3,07	2,50	0,57	0,063	0,420	0,051	1,80	8,2
2624	2,64	2,27	0,37	0,041	0,346	0,048	1,42	7,2
8047	2,62	2,13	0,49	0,054	0,243	0,038	2,66	6,4
20870	3,51	2,92	0,59	0,065	0,535	0,080	1,46	6,7
804	3,92	3,04	0,88	0,098	0,671	0,085	1,75	7,9
20892	3,90	3,33	0,57	0,063	0,616	0,086	1,23	7,2
827	3,71	3,04	0,67	0,074	0,428	0,058	2,07	7,4
16273	4,56	3,62	0,94	0,104	0,687	0,076	1,81	9,1
16217	4,70	3,72	0,98	0,109	0,638	0,074	2,05	8,6
8038	4,70	4,31	0,39	0,043	0,101	0,044	5,18	2,3
6789	6,84	6,29	0,55	0,061	0,355	0,052	2,06	6,8
828	4,90	3,84	1,06	0,118	0,712	0,083	1,99	8,6
833	5,33	4,50	0,83	0,092	0,655	0,085	1,69	7,7
8037	7,29	6,69	0,60	0,067	0,175	0,068	4,59	2,6
6917	2,00	1,48	0,52	0,058	0,142	0,028	4,87	5,1
8041	2,12	1,69	0,43	0,048	0,185	0,053	3,12	3,5
7297	1,96	1,69	0,27	0,030	0,080	0,018	4,48	4,4
6782	2,53	2,08	0,45	0,050	0,200	0,025	3,00	8,0
7353	3,52	3,08	0,44	0,049	0,213	0,038	2,77	5,6
7030	3,60	3,30	0,30	0,033	0,191	0,019	2,06	10,1

gloeiverlies berekend, bedraagt, afkomstig is van de waterstof uit de organische stof. Deze meerdere hoeveelheid water is voor de onderzochte gronden in kolom 4 van tabel VIII opgenomen.

Kolom 5 van deze tabel bevat het gehalte aan waterstof van de organische stof in procenten op droge stof. Deze gehalten zijn berekend door de getallen van kolom 4 door 18 te deelen en met 2 te vermenigvuldigen (op 18 g H_2O komen 2 g H voor). Uit het gehalte aan CO_2 bij de elementair-analyse verkregen is verder het gehalte aan C van de organische stof in procenten op droge stof te berekenen. Deze gehalten vindt men in kolom 6 van tabel VIII.

Uit de gehalten aan koolstof (C) en waterstof (H) kan ten slotte de atoomverhouding van de koolstof en de waterstof op $C = 1$ berekend worden. Kolom 8 van tabel VIII geeft deze atoomverhouding weer. Uit de cijfers van deze kolom blijkt, dat deze verhouding voor de organische stof van het meerendeel der onderzochte gronden niet als 1 : 2 is, zooals Bouyoucos aanneemt. Bij verschillende gronden wijkt deze verhouding aanzienlijk hiervan af. Voor de grondmonsters 8038 en 8037 wordt zelfs een verhouding resp. van 1 : 5,18 en 1 : 4,59 gevonden.

Zooals uit de cijfers van het volgende staatje blijkt, is in het algemeen het verschil tusschen de waarden voor het vast gebonden water berekend volgens Bouyoucos en uit het gloeiverlies des te grooter naarmate de atoomverhouding tusschen de koolstof en de waterstof van de organische stof meer van 1 : 2 afwijkt. Voor de grondmonsters, waarbij deze atoomverhouding nagenoeg 1 : 2 bedraagt, wordt vrijwel hetzelfde gehalte aan vast gebonden water gevonden, zoowel volgens Bouyoucos als uit het gloeiverlies berekend.

No. B	Verskil tusschen vast gebonden water volgens Bouyoucos en gloeiverlies (kolom 6 tabel VII)	Atoomverhouding C : H als 1 :	Verhouding C/N
8037	— 0,34	4,59	2,6
6917	— 0,31	4,87	5,1
8038	— 0,24	5,18	2,3
7297	— 0,15	4,48	4,4
8041	— 0,15	3,12	3,5
6782	— 0,15	3,00	8,0
8047	— 0,13	2,66	6,4
7353	— 0,12	2,77	5,6
827	— 0,03	2,07	7,4
16217	— 0,02	2,05	8,6
6789	— 0,02	2,06	6,8
7030	— 0,01	2,06	10,1
828	+ 0,01	1,99	8,6
2234	+ 0,06	1,80	8,2
16273	+ 0,09	1,81	9,1
804	+ 0,13	1,75	7,9
838	+ 0,15	1,69	7,7
2624	+ 0,15	1,42	7,2
20870	+ 0,21	1,46	6,7
20892	+ 0,35	1,23	7,2

Dat dit zoo is, behoeft geen verwondering te wekken, aangezien het gloeiverlies gelijk is aan het vast gebonden water plus het gehalte aan organische stof of wel $1,724 \times$ het C-gehalte of $0,47 \times$ het CO_2 -gehalte, terwijl, wanneer in de organische stof op één atoom C twee atomen H voorkomen, het water, dat bij de elementair-analyse of volgens de Bouyoucos-methode gevonden wordt, gelijk is aan het vast gebonden water plus $\frac{13}{44} \text{CO}_2$ of $0,409 \times$ het CO_2 -gehalte

Wanneer in de organische stof op één atoom C meer dan 2 atomen H voorkomen, wordt voor het vast gebonden water volgens de methode Bouyoucos natuurlijk een hogere waarde gevonden dan volgens de gloeiverlies-methode. Komt op één atoom C minder dan 2 atomen H voor, dan is dit juist andersom.

Dat in de organische stof van verschillende grondmonsters op één C-atoom twee H-atomen voorkomen, is slechts te verwachten, wanneer de organische stof van die grondmonsters in dezelfde mate is omgezet.

Nu houdt de C/N-verhouding van de organische stof verband met de mate van omzetting van de organische stof. Tijdens deze omzetting stijgt het gehalte aan stikstof (N) ten opzichte van dat aan koolstof (C), zoodat bij toenemende ontleding van de organische stof de C/N-verhouding daalt.

De C/N-verhouding van de organische stof der onderzochte monsters blijkt nogal uiteen te lopen nl. van 2,3 tot 10,1 (zie kolom 9 tabel VIII), zoodat de organische stof van deze monsters zeker niet in dezelfde mate is omgezet. Uit de C/N-verhouding van de organische stof der onderzochte monsters is dus a priori te verwachten, dat in de organische stof van deze monsters niet steeds op één C-atoom twee H-atomen zullen voorkomen.

Volgens onderzoeken van WAKSMAN zou de C/N-verhouding van de organische stof in normale cultuurgronden tamelijk constant zijn en slechts variëren tusschen 8 en 12 en in den regel 10 bedragen.

Voor de onderzochte monsters, die alle uit diepere grondlagen afkomstig zijn, blijkt de C/N-verhouding van de organische stof in de meeste gevallen beneden 8 te liggen. De laagste waarden worden bij de Westerwalder kleien gevonden nl. 2,3 à 2,6, terwijl ook de leemgronden in het algemeen lage waarden bezitten, beneden 6,5. Bij deze gronden komt in de organische stof op één atoom C meer dan 2 atomen H voor. De kleigronden hebben in het algemeen een C/N-verhouding boven de 6,7, en bij deze gronden kan men eenigszins waarnemen, dat op één atoom C dès te minder dan 2 atomen H voorkomen, naarmate de C/N-verhouding van de organische stof lager is.

Aangezien dus in de organische stof van verschillende gronden, vooral van die uit diepere lagen, de koolstof en de waterstof niet in de verhouding van één atoom C tegen twee atomen H blijken aanwezig te zijn, geeft de methode-Bouyoucos voor gronden met organische stof meestal geen juiste waarde voor het vast gebonden water en zeker geen betere waarden dan de gloeiverliesmethode.

6. *Samenvatting en conclusie.*

Van een achttiental monsters van klei- en leemgronden uit verschillende streken in Nederland en van een tweetal grondmonsters uit het Westerwald bij Koblenz (Duitschland), is het gehalte aan vast gebonden water in de kleisubstantie bepaald, d.w.z. het water, dat na drogen van de gronden bij 105° C tot constant gewicht, bij verdere verhitting tot ongeveer 1000° C ontwijkt.

Alle grondmonsters zijn afkomstig uit meer of minder diepe grondlagen en bevatten geen of zoo goed als geen koolzure kalk en een gering gehalte aan organische stof.

Het vast gebonden water in de kleisubstantie is bepaald volgens de gloeiverlies-methode en de methode van Bouyoucos.

Bij kleigronden, die geen koolzure kalk bevatten, is het gloeiverlies, d.w.z. het gewichtsverlies na verhitting op ongeveer 1000° C verminderd met het vochtgehalte bij 105° C, gelijk aan het vast gebonden water plus het gehalte aan organische stof, zoodat bij deze gronden het vast gebonden water is te bepalen door van het gloeiverlies het gehalte aan organische stof af te trekken. Dit laatste gehalte is te bepalen volgens de elementair-analyse, waarbij aangenomen wordt, dat de organische stof voor 58 % uit koolstof (C) bestaat.

Bij de methode van Bouyoucos wordt het totale gehalte aan water, dat bij gloeien van den bij 105° C gedroogden grond tot ongeveer 1000° C ontwijkt, opgevangen en bepaald. Dit gehalte aan water bestaat uit het vast gebonden water plus het water, dat uit de waterstof van de organische stof bij de verbranding gevormd wordt. Bij deze methode moet dus van het totale gehalte aan water het water afkomstig van de organische stof afgetrokken worden. Om dit laatste gehalte te bepalen wordt aangenomen, dat in de organische stof op één atoom koolstof (C) twee atomen waterstof (H) voorkomen, zoodat bij de verbranding van de organische stof een gelijk aantal moleculair-gewichten aan CO₂ en aan water (H₂O) gevormd worden. Uit het gehalte aan CO₂ is dus het gehalte aan water afkomstig van de organische stof te berekenen.

Het gehalte aan vast gebonden water bepaald volgens de gloeiverlies-methode loopt voor de onderzochte gronden nogal uiteen en ligt tusschen 5,4 g en 9,1 g per 100 g deeltjes kleiner dan 16 mu en tusschen 7,4 g en 11,8 g per 100 g deeltjes kleiner dan 2 mu. Dit moet hieraan worden toegeschreven, dat het vast gebonden water in de kleisubstantie samenhangt met de in de kleisubstantie voorkomende kleimineralen en de gehydrateerde oxyden van ijzer, aluminium en kiezelzuur, hetzij deze oxyden in den grond voorkomen in amorfen toestand, bijv. als gel, hetzij gekristalliseerd (limoniet, hydrargilliet). Maar bovendien ook, omdat onder de deeltjes grooter dan 16 mu bestanddeelen voorkomen, die eveneens tot het vast gebonden water bijdragen. Tot deze bestanddeelen behooren de veldspaten, die voornamelijk in de iets grovere fracties dan 16 mu worden gevonden.

Onder de kleimineralen komen er voor, die bijna al het water, dat tot 800° C of hooger ontwijken kan, beneden 400° C afgeven (veldspaten);

andere geven tot 400° C weinig water af, maar boven deze temperatuur vrijwat tot zeer veel (muscoviet, kaoliniet); nog andere geven tot 150° à 160° C zeer veel water af en boven 400° C ook nog vrijwat (montmorilloniet).

Aan het water, dat beneden 400° C ontwijkt, heeft men den naam van geadsorbeerd water gegeven. Dit water zou door electriche krachten aan het oppervlak van de deeltjes meer of minder sterk worden vastgehouden. Het water, dat boven 400° C ontwijkt onder vernietiging van het mineraal, en derhalve tot de kristalstructuur van het mineraal behoort, komt daarin niet voor als H₂O-moleculen, maar als OH-groepen, die het water vormen, dat ontwijkt. Het gehalte aan dit water, dat het beste kristalstructuur-water of constitutie-water genoemd wordt, hangt samen met de chemische samenstelling van het mineraal.

Het gehalte aan vast gebonden water in de kleisubstantie zal dus van den aard van en het gehalte aan de in den grond voorkomende mineralen afhangen en dus niet voor alle kleigronden gelijk kunnen zijn.

Aangezien in de kleisubstantie van Nederlandsche gronden voornamelijk muscoviet voorkomt en weinig kaoliniet en montmorilloniet, zal het vast gebonden water in deze gronden slechts voor een klein gedeelte uit geadsorbeerd water bestaan, hetgeen ook inderdaad gevonden werd.

Daar de gehalten aan de diverse mineralen in de kleisubstantie van verschillende zeekleigronden niet veel uiteen loopen, zal het gehalte aan vast gebonden water in dit type gronden niet veel mogen verschillen, tenzij er een groot verschil bestaat in de gehalten aan gehydrateerde oxyden van ijzer, aluminium en kiezelzuur, hetgeen voor de kleisubstantie van diepere grondlagen, vooral ten aanzien van het ijzer, zeer goed mogelijk is, en waaruit de gevonden verschillen bij de onderzochte zeekleigronden gedeeltelijk te verklaren zouden zijn.

Het bovenstaande geldt ook voor de rivierkleigronden. Voor dit type gronden zou men een iets lager gehalte aan vast gebonden water kunnen verwachten dan voor de zeekleigronden, daar in het algemeen in de rivierkleigronden het gehalte aan muscoviet, kaoliniet en montmorilloniet een ietsje lager is dan in de zeekleigronden. Voor den onderzochten rivierkleigrond van Valkenburg bij Leiden bleek dit ook inderdaad het geval. De andere onderzochte rivierkleigrond uit de Betuwe, afkomstig van een z.g. klep- of slijpgrond, bezit een hooger gehalte aan vast gebonden water dan de onderzochte zeekleigronden. Deze grond bevat volgens nader onderzoek vrijwat veldspaat, waarin alleen geadsorbeerd water voorkomt, terwijl hij tevens meer overeenkomst blijkt te vertoonen met een leemgrond dan met een kleigrond.

Ter onderscheiding van klei- en leemgronden schijnt de moleculaire verhouding van de gehalten aan Al₂O₃ en SiO₂, oplosbaar in 10 %-ig zoutzuur en nabehandeling met loog, berekend op Al₂O₃ = 1, een goed hulpmiddel te zijn. Bij de leemgronden werd op 1 Al₂O₃ 3,0 à 3,7 SiO₂ gevonden en bij de kleigronden 4,9 à 5,5 SiO₂.

De methode van Bouyoucos geeft geen juistere waarde voor het vast gebonden water dan de gloeiverlies-methode, aangezien in de organische

stof van de klei- en leemgronden op één atoom C niet steeds twee atomen H voorkomen, maar meer of minder, vooral bij gronden uit diepere lagen afkomstig.

Summary and conclusions

The combined water content in the clay substance of eighteen samples of clay- and loam soils from different regions in the Netherlands and of two soil samples from the Westerwald near Koblenz (Germany) (see Table II, p. 78) is determined.

The combined water is that water which can be expelled by heating the soil to about 1000° C after it has been dried at a temperature of 105° C to constant weight. It is determined by the loss on ignition method and the distillation method of Bouyoucos.

Alle soil samples are subsoils and contain no or hardly any carbonates and a small amount of organic matter.

By mineral soils (clays) without carbonates the loss on ignition which is the loss of weight after heating the dried matter (105° C) to about 1000° C, is equal to the combined water plus the organic matter content. Of these soils the combined water is obtained by subtracting the organic matter content from the loss on ignition. The organic matter can be determined by the dry combustion method ($C \times 1,724$).

In the Bouyoucos-method the total water content which can be driven off by heating the dried matter (105° C) to about 1000° C is caught and determined. This water content is due to combined water plus water formed from the hydrogen of the organic matter during combustion.

By this method the total amount of water is to be diminished with the water yielded by the organic matter. To determine this water it is assumed that the carbon and hydrogen exist in the organic matter in the ratio of one carbon atom to two hydrogen atoms, thus during the combustion (oxidation) of the organic matter equal molecular weights of CO_2 and water (H_2O) are produced. From the amount of CO_2 the amount of water yielded by the organic matter can be calculated.

The combined water content of the soils tested determined by the loss on ignition method varies greatly and fluctuates between 5,4 gr and 9,1 gr per 100 gr particles smaller than 16 μ and between 7,4 gr and 11,8 gr per 100 gr particles smaller than 2 μ (see Table VII, p. 100). This is due to the fact that the combined water in the clay substance is connected with the clay minerals and the hydrated oxides of iron, aluminium, and silica in the soils, the latter or amorphous as gel, or crystallized (limonite, hydrargillite).

Some of the clay minerals lose most of the water which can escape to 800° C or higher below 400° C (feldspars); others give off a little water to 400° C but above this temperature a marked amount (muscovite, kaolinite); a third group loses a large amount of water to 150° to 160° C and above 400° C also a great deal (montmorillonite (see graph II, p. 86).

The water which escapes below 400° C is designated as adsorbed water. This water should be held more or less strongly on the surface of the particles by electric forces (free energy, free bond, stray fields).

The water which escapes above 400° C with destruction of the mineral exists not as water molecules but as OH ions and constitutes an essential part of the crystal structure of the mineral. These OH ions form the water which is given off. The content of this water which is designated best as crystal structure water or constitution water is connected with the chemical composition of the mineral.

It is also obvious that the combined water content in the clay substance depends on the nature and the amount of the minerals which are present in the soil and cannot be the same for all clay soils.

As the clay substance of Dutch soils contains especially muscovite and a small amount of kaolinite and montmorillonite the combined water in these soils will consist of adsorbed water only for a small part as is shown in Table III on p. 80.

The amounts of the different minerals in the clay substance of various Dutch marine clay soils do not differ much and so the combined water content in this type of soils cannot differ much either, unless the amounts of hydrated oxides of iron, aluminium and silica vary greatly. This may be expected of the clay substance of subsoils and from this the varieties found among the marine clay soils tested could partly be explained.

The foregoing also applies to river clay soils. For this type of soils a slightly smaller amount of combined water could be expected than for the marine clay soils, as the former generally contain a little less muscovite, kaolinite and montmorillonite than the latter. This is found indeed for the river clay soil of Valkenburg near Leiden (B 16217 and B 16273). The other river clay soil tested from the Betuwe (B 2234) has some more combined water than the marine clay soils tested. It appears that this soil is in fact not a clay soil but has more affinities with a loam soil.

Clay soils can probably be distinguished from loam soils by the molecular ratio of Al_2O_3 , Fe_2O_3 and SiO_2 , soluble in 10 percent HCl and following KOH treatment, calculated on $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$. As is seen by Table VI on p. 96 the loam soils contain on 1 Al_2O_3 3,0 à 3,7 SiO_2 and the clay soils 4,9 à 5,5 SiO_2 .

The Bouyoucos-method does not give a more exact value for the combined water than the loss on ignition method, as in the organic matter of the clay and loam soils the carbon and hydrogen do not exist in the ratio of one C atom to two H atoms, especially in subsoils (see Table VIII on p. 101).