EENVOUDIGE PHYSISCHE BEPALINGEN
EN ENKELE TOEPASSINGEN DAARVAN OP
WEST-INDISCHE GRONDEN

DOOR

DR. R. HAMILTON

Reeds in 1911 verscheen van de Zweedse bodemkundige A. Atterberg de eerste publicatie over zijn, later vooral in Oost-Indië, door E. C. J. Mohr zo bekend geworden consistentieleer. Hij verdeelt hierbij de grond afhankelijk van haar watergehalte in verschillende consistentie-zones, welke van elkaar zijn gescheiden door z.g. consistentie-grenzen.

In Juni 1913 had Mohr deze methode persoonlijk bij Atterberg in Kalmar geleerd en paste haar daarna met slechts zeer geringe modificaties succesrijk op de tropische gronden van Indië toe. De voornaamste grenzen, die tegenwoordig nog direct bepaald worden, zijn de volgende vier:

vloeigrens
kleefgrens
uitrolgrens
omslagpunt

Bij de vloeigrens bevat de grond net iets te veel water, zodat tengevolge van enkele stoten, twee afzonderlijke, elkaar rakende kluiten hun samenhang verliezen en ineen vloeien. Deze grens, die steeds aanwezig is, valt ongeveer samen met de maximale watercapaciteit van de grond.

De kleefgrens is dat punt, waarbij een natte grondbrei net niet meer aan een gladde metalen of porceleinen spatel (te vergelijken met de ploeg, spade of hak) kleeft en deze er dus practisch schoon blijvend door- en overheen bewogen kan worden. Zand, humusrijke of zeer kalkrijke gronden hebben geen kleefgrens.

Bij de uitrolgrens bevat de grond net iets te weinig water om zich nog tot staven of draden te laten uitrollen, doch gaat overlangs en dwars scheuren. Dit uitrollen geschiedt met de

vlakke hand op een geen vezels afgevend, doch wel water opnemend stevig stuk pakpapier. Een uitrolgrens is niet altijd aanwezig; zand, humusrijke of zeer kalkrijke gronden hebben er geen.

Het omslagpunt tenslotte, dat steeds te bepalen is, is die grens waarbij een natte grondmassa door waterverlies van kleur verandert. Ruw gesproken is deze grens wat hoger dan de hygroscopische van de grond. Daar de hygroscopische een maat is voor de fijnkorreligheid van het monster, kan het omslagpunt hiervoor dus eveneens als globale grootheid gebezigd worden.

Al deze grenzen worden bepaald door de gezeefde grond ($<2\text{ mm}$) in een stevig porceleinen schaaltje met water aan te lengen en met een spatel te bewerken tot het gewenste punt bereikt is. Dit vochtgehalte wordt dan door ruim drie uur drogen bij 105° C bepaald en in procenten van de droge fijnaarde uitgedrukt.

In het algemeen bevat de grond bij haar vloeigrens het meeste en bij haar omslagpunt het minste water. De watergehalten voor de kleef- en uitrolgrens liggen hier tussen in, waarbij de uitrolgrens steeds lager ligt dan de kleefgrens. Bij lichte gronden is de kleefgrens echter hoger dan de vloeigrens.

Al deze grenzen blijken sterk afhankelijk te zijn van de stof ($2-20\mu$) en kleifractie ($0-2\mu$) en lopen hier vrij regelmatig mee op. Dit geldt zowel voor tropische als voor Europese gronden; wel is de correlatie met de fractie $0-20\mu$ beter dan met die van $0-2\mu$ ($1\mu = 0,001\text{ mm}$).

Van deze vier direct bepaalde waarden worden door onderlinge aftrekking nog vier andere cijfers afgeleid, die dus het vochttraject tussen die grenzen vormen, en aldus heten:

plasticiteit = vloeigrens minus uitrolgrens

surplus(taaigheid) = kleefgrens minus vloeigrens

bewerkbaarheid = kleefgrens minus uitrolgrens

maximale watervoorraad = vloeigrens minus omslagpunt.

De plasticiteit is een ruwe maat voor de klei-eigenschappen van de grond als: kneedbaarheid, vormbaarheid, smeerbaarheid of anders gezegd van haar „vetheid”. Bij de vloeigrens is de grond dun breiig en vloeibaar, bij de uitrolgrens echter hard en stijf. Het verschil hiertussen zegt dus iets over de plastische eigenschappen ervan.

Het surplus wordt door Atterberg „taaiheid” genoemd en kan een positieve of een negatieve waarde hebben. Lichte, dus *niet taaie* gronden hebben een positief surplus (kleefgrens $>$ vloeigrens).

Bij dit proefje bepaalt men tevens de lineaire verkorting van de grond tengevolge van het indrogen en noemt dit, in procenten uitgedrukt cijfer, de krimp. Het is een maat voor de werking (scheuren) van de grond.

Ofschoon al de z.g.n. Atterbergse cijfers niet tot in eenheden nauwkeurig zijn, hebben zij hun bruikbaarheid toch wel duidelijk bewezen, zodat ze in Oost-Indië nog altijd bepaald worden. Deze methode, die ook geschikt is voor uitvoering in het veld, vormt een eenvoudig en vlug te verrichten fysisch onderzoek van de grond met een, voor de praktijk voldoende, nauwkeurigheid van ongeveer twee procent. Bij uitvoering blijkt de methode bovendien veel minder subjectief te zijn dan men a priori geneigd is aan te nemen.

Een bezwaar der methode is alleen, dat men haar niet uit een voorschrift kan leren, doch haar *persoonlijk* moet leren kennen bij iemand. Ook Mohr heeft haar in 1913 persoonlijk bij Atterberg moeten leren en heeft haar nadien weer zelf herhaaldelijk aan anderen moeten voordoen. Een groot voordeel hiervan is, dat de bepalingen overal nog op de oorspronkelijke wijze worden verricht en dus de cijfers onderling volkomen vergelijkbaar zijn. Bij het vergelijken van zulke cijfers bedenke men echter, dit steeds slechts met gelijksoortige gronden te doen, aangezien men anders tot verkeerde resultaten geraakt. Tot nog toe zijn met deze werkwijze in Oost-Indië de volgende waarden gevonden. (Nul betekent hier „geen“.)

vloeigrens	12-175	plasticiteit	0- 53
kleefgrens	0-217	surplus	+42 tot -42
uitrolgrens	0-136	bewerkbaarheid	0- 43
omslagpunt	$\frac{1}{2}$ - 74	maximale watervoorraad	11-106
zwaartegraad	1- 10		
krimp	0- 40		

Met behulp van deze cijfers kan men een *voorlopige* en *globale* indeling van zand-, leem- en kleigronden geven en wel als volgt:

	zwaarte- graad	krimp	plastici- teit	surplus	bewerkbaar- heid
zand	1- 4	0-3	geen	+	groot (∞)
leem	5- 7	3-9	<10	$\pm$	matig
klei.	8-10	>9	>15	-	beperkt

Bezien wij thans de met boven beschreven methoden verkregen cijfers der West-Indische (boven)gronden, dan kunnen we uit de bijgevoegde tabellen nog het volgende waarnemen.

TABEL Ia. „Gewone” gronden der Ned. Antillen.

A = Aruba B = Bonaire C = Curaçao E = St. Eustatius

Nr.	„Slib” 0-20 μ	Zwaartegraad	Krimp	Vloeigrens	Kleefgrens	Uitrolgrens	Omslagpunt	Plasticiteit	Surplus (taaiheid)	Bewerkbaarheid	Maximale-water voorraad	Grondsoort
E ₀	0,5	1	0	17			1				16	magnetiet zand
C ₅	4,5	1	0	27			6				21	koraal zand
B ₁₂	14,3	1-2	0	26			6				20	bruin verwerings puin
A ₁₀	26,3	3-4	2	28		25	7	3			21	kalkroodaarde
B ₁₃	26,9	3-4	2	27		25	7	2			20	diabaas roodaarde
B ₁₈	28,2	3-4	3	27		25	8	2			19	„ „
E ₄	29,2	4	2	30		26	9	4			21	grauwe andesiet grond
A ₉	30,7	4	2	31		26	9	5			22	grauwe kalk grond
E ₁	37,0	5-6	5	34		24	8	10			26	andesiet roodaarde
A ₄	43,6	6	8	35	29	?	9	?	-6	?	26	groen verwerings puin
B ₈	46,2	7	8	35	29	?	9	?	-6	?		kalk roodaarde
B ₁₄	58,9	8	10	44	39	31	13	13	-5	8	31	„ „
B ₁₅	60,4	7	9	42	38	30	13	12	-4	8	29	„ „
C ₁	62,3	7	9	43	38	29	12	14	-5	9	31	diabaas roodaarde
C ₈	79,4	9	14	43	39	30	13	13	-4	9	30	grauw salinja slik
B ₉	80,4	9-10	16	63	40	33	15	30	-23	7	48	„ „ „

Tabel Ia omvat de „gewone” gronden der „aride” Nederlandse Antillen en laat duidelijk zien het regelmatig oplopen der cijfers met toenemend slibgehalte van 0-20 μ . Echte zanden staan dan ook boven aan en de zware, weinig voorkomende kleien onder in de reeks. De meeste monsters behoren echter tot de goed bewerkbare leemgronden. Dit verband was zo goed, dat hiermede soms zelfs een controle mogelijk bleek op de slibanalyse.

Geen dezer gronden bevat meer dan 7% kalk, 1% chloor of 3,7% humus. Alleen A₉ heeft 40% kalk, wat blijkbaar de bepalingen nog niet heeft gestoord.

Voor de slibanalyse wordt de grond 4 à 6 uur met verdunde ammonia geschud, doch niet ontdaan van haar humus noch van haar kalkgehalte. In verdunde ammonia wordt daarop door middel van de gewone pipetmethode de fractie 0-20 μ bepaald.

Helaas was niet van alle beschikbare grondmonsters voldoende materiaal meer aanwezig om de volledige cijferreeks bijeen te

brenge. Van A₄ en B₈ kon daarom de uitrolgrens niet goed meer worden bepaald.

Met de toename van de slibfractie en dus het zwaarder worden der gronden kan men verwachten, dat de bewerkbaarheid afneemt. Deze tendens komt uit de cijfers van dit tabelletje echter niet geprononceerd naar voren. Men bedenke echter, dat een bijna gelijkblijvende cijferwaarde bij een toenemend slibgehalte in werkelijkheid echter toch reeds een (relatieve) daling betekent.

TABEL Ib. „Ongewone” gronden der Ned. Antillen.

A = Aruba B = Bonaire C = Curaçao

Nr.	„Slib” 0-20μ	Zwaartegraad	Krimp	Vloeigrens	Kleefgrens	Uitrolgrens	Omslagpunt	Plasticiteit	Surplus (taaiheid)	Bewerkbaarheid	Maximale-water voorraad	Grondsoort
B _E	14,1	2-3	0	54			18				36	bruine grot „grond”
A _A	27,0	3-4	4	31	24	23	11	8	-7	1	20	roode „ „
B ₁₆	15,5	4	0	38			11				27	witte kalk „ „
C ₆	45,5	4	5	39		31	12	8			27	bruine kalk „ „
B ₁₇	41,9	1	0	26		24	14	2			12	witte meer „ „
B ₁₀	64,0	4	0	25		24	12	1			13	grauwe meer „ „
B ₇	39,4	3	5	52		49	16	3			36	kalkroodaarde
A ₈	50,6	3	6	49		41	15	8			34	„ „
C ₄	59,2	3	7	50		43	16	7			34	„ „

In tabel Ib zijn alle „ongewone” gronden bijeen gebracht, die dus ook geheel afwijkende cijfers tonen. Onder „ongewoon” heeft men hier te verstaan gronden met zeer veel kalk, zout of humus, alsmede „grotgronden”.

De monsters B_E en A_A zijn twee van zulke grotafzettingen. B_E is een bruin guanorijk „poeder” en A_A een schelpenrijke rode „aarde”. B₁₆ en C₆ zijn beide kalkrijke gronden met respectievelijk 87% en 52% kalk. B₁₇ en B₁₀ zijn, twee zeer zoutrijke monsters die 9,9% en 5,4% chloor bevatten. B₇, A₈ en C₄ zijn voor deze streken humusrijke kalkroodaarden; ze hebben resp. 4,8, 4,2 en 4,1% humus, bepaald volgens de methode van Istcherekow.

Uit deze cijfers blijkt, dat hoge gehalten aan kalk, zout of humus de Atterbergse bepalingen ernstig storen en tot op zekere hoogte nivellerend op de cijfers werken. Vooral bij de „humusrijke” gronden is deze eigenschap sterk merkbaar.

In tabel II en III zijn vervolgens de gronden van de humidere

streken opgenomen en wel van Suriname en Cuba. Dezelfde regelmatigheden als in tabel Ia zijn ook hier goed merkbaar.

TABEL II. *Diverse Surinaamse gronden.*

Nr.	„Slib” 0-20 μ	Zwaartegraad	Krimp	Vloeigrens	Kleefgrens	Uitrolgrens	Omslagpunt	Plasticiteit	Surplus (taaiheid)	Bewerkbaarheid	Maximale-water voorraad	Grondsoort
14	1,0	1	0	17			1			16		grof kwarts zand
13	1,0	2	0	22			2			20		fijn „ „
VII	2,4	1	0	21			1			20		grof „ „
Ia	21,0	4	1	22			3			19		grauw savana zand
IIa	34,3	4	3	25		16	6	8		19		grauwe savana leem
X	64,9	6	6	33	32	23	8	10	-1	9	25	witte Pimba klei
IIIa	73,5	6	8	41	36	26	10	15	-5	10	31	witte savana klei
233-3	78,9	6-7	9	48	38	29	10	19	-10	9	38	bruine kust klei
233-1	81,8	9	9	60	42	33	15	27	-18	9	45	grauwe „ „
2430-3	88,9	10	12	64	46	38	14	27	-18	8	50	grauwe „ „

TABEL III. *Cubaanse (suikerriet) gronden.*

Nr.	„Slib” 0-20 μ	Zwaartegraad	Krimp	Vloeigrens	Kleefgrens	Uitrolgrens	Omslagpunt	Plasticiteit	Surplus (taaiheid)	Bewerkbaarheid	Maximale-water voorraad	Grondsoort
885	39,6	3-4	5	27	25	16	6	11	-2	9	21	kalk roodaarde
889	44,0	6-7	7	44	40	31	7	13	-4	9	34	„ „
878	54,6	9	18	40	41	31	10	18	-8	10	39	„ grauwaarde
879	57,1	6-7	7	44	40	30	11	14	-4	10	33	„ roodaarde
892	72,3	9-10	18	60	43	40	14	20	-17	3	46	„ grauwaarde
891	75,1	9-10	17	60	44	40	13	20	-16	4	47	„ „
890	(77,0)	10	23	72	44	40	14	32	-28	4	58	„ „

Alle monsters uit deze tabellen zijn vrij van kalk en zout en bevatten ten hoogste 3,8% humus. Storingen hierdoor komen dan ook niet voor. Het Cubaanse nummer 878 bevat echter 33% kalk en toch heeft dit hoge gehalte blijkbaar nog geen invloed gehad.

Zoals te verwachten staan de bekend zware kalkgrauwaarden onderaan in tabel III en de in het algemeen lichtere rode gronden bovenaan. De zware Surinaamse kustkleiën (233-1 en 2430-3 zijn als gewoonlijk zeer slibrijk, niettemin vertonen zij slechts een

matige krimp (scheuren) en blijken nog tamelijk bewerkbaar te zijn.

Humide gronden zijn gewoonlijk zwaarder dan die van aride streken. Men kan dit ook merken aan de vele hoge slibcijfers, zwaartegraden, krimpen en alle Atterbergse consistentiewaarden. Dit vindt zijn verklaring in de verwerking, die in de humide tropen intensiever verloopt dan in de aride streken, waar het meer een mechanische vergruizing is dan een chemische afbraak. Wanneer hiertoe eens de kalkroodaarden van Aruba (A_{10}) en Bonaire (B_{87} , B_{14} , B_{15}) met die van Cuba (885, 889, 879) worden vergeleken, blijkt geen der Cubaanse monsters zo'n laag slib-, krimp- en plasticiteitscijfer te bezitten als dat van Aruba. Bovendien heeft A_{10} geen kleeftgrens. Hetzelfde kan waarschijnlijk ook voor de kalkgrauwaarden gezegd worden; hiervoor waren echter onvoldoende gegevens aanwezig.

Helaas is het cijfermateriaal veelal te gering om goede onderlinge vergelijkingen te maken of om betrouwbare grafieken samen te stellen. Ware het groter dan zou men zeer fraaie stippenbundels en zelfs -lijnen kunnen vormen uit het verband tussen alle Atterbergse waarden en de slibanalyse van overeenkomstige grondsoorten. Zulks is dan ook reeds voor Oost-Indische en Nederlandse gronden met succes geschied. Wanneer echter te weinig gegevens aanwezig zijn, krijgt men al gauw diffuse, weinig zeggende stippenzwermen.

Vergeleken met Nederlandse gronden zijn de Atterbergse waarden voor de tropen over het algemeen aanmerkelijk hoger. Ook dit vindt weer zijn verklaring in een volkomen verschillende verwerking, die in de tropen veel sneller en intenser verloopt, zodat deze gronden veel meer colloïden en afslibbare delen bevatten. Duidelijk kan men dit merken bij het bepalen der omslagpunten. Waar de Nederlandse gronden om aan de lucht te drogen meestal slechts 1 à 2 kwartier nodig hebben kost dit voor vele tropengronden 1 à 2 uur.

Van het verweringsstadium zijn deze Atterbergse cijfers eveneens sterk afhankelijk. In 1915 heeft Mohr dit reeds aangetoond. Voor twee Zuid-Sumatraanse profielen op graniet en basalt vond schrijver dezes geheel hetzelfde en evenzo voor grauwe tabaksgronden op andesietas van Midden-Java. Goed ziet men dan, met het toenemen der verwerking en dus ouder worden van de grond, het slibgehalte en alle Atterbergse waarden oplopen.

Ter illustratie moge hierbij het voorbeeldje uit Midden-Java

volgen (tabel IV) en gewezen worden op de diabaasgronden B₁₃, B₁₈ en C₁.

TABEL IV. *Asgronden van Midden Java.*

Nr.	„Slib” 0-20 μ	Zwaartegraad	Krimp	Vloeigrens	Kleefgrens	Uitrolgrens	Omslagpunt	Plasticiteit	Surplus (taaiheid)	Bewerkbaarheid	Maximale-water voorraad	Grondsoort
K ₁	2,1	1	0	(20)			(3)				(17)	recent grind
K ₂	38,0	7	6									recente leem
K ₄	44,8	7	5	31	27	19	7	12	-4	8	24	„alluviale” leem
K ₅	52,6	9	15	42	31	22	8	20	-11	9	34	„ ”
K ₆	53,3	8	15	42	31	23	8	19	-11	8	33	„ ”
K ₇	69,1	10	21	64	41	32	15	32	-23	9	49	„tertiaire” klei

Resumerend kan men daarom zeggen, dat de methode van Atterberg een eenvoudig en snel uit te voeren fysisch grondonderzoek vormt, dat in staat is het nodige te leren over de zwaarte, bewerking, verwerking en indeling van de grond.

LITERATUUR

- A. ATTERBERG. Die Plastizität der Tone (Int. Mitt. Bodenk. 1-10-1911)
 ——. Die Konsistenz und die Bindigkeit der Böden. (Int. Mitt. Bodenk. 2-149-1912)
 ——. Die Plastizität und Bindigkeit liefernden Bestandteile der Tone. (Int. Mitt. Bodenk. 3-291-1913)
 ——. Die Konsistenzlehre — Eine neue physikalische Lehre. (Koll Zeitschr. 20-1-1917)
 G. BOOBERG. De agrogeologisch belangrijkste eigenschappen der Java suikerrietgronden en het aanduiden van deze door een grond formule (Arch. suikerind. 36, II-1023-1931)
 J. J. B. DEUSS. Over de thee-gronden van Java en Sumatra. (Meded. Proefstat. Thee no. 89-1924)
 E. C. J. MOHR. De methoden van Atterberg ter bepaling van consistentie cijfers en uitkomsten daarmee verkregen aan gronden van Java en Madoera. (Meded. Lab. Agrogeol. Grondonderzoek no. 1-1915)
 ——. De methoden van grondonderzoek volgens Atterberg. (Versl. 3e verg. techn. pers. part. Proefst. Ambt. p. 69-1915)