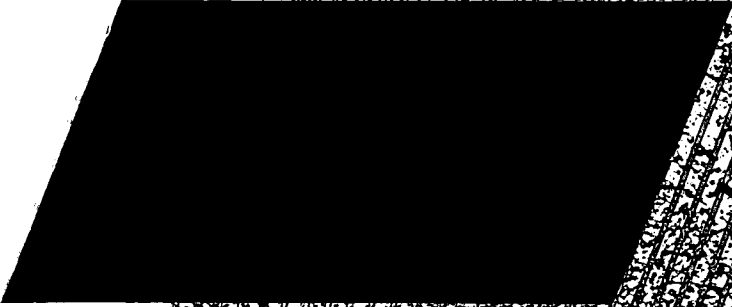


B6 87.06



GRONDMECHANICA
DELFT



B6 87.06

Onderzoek van kleibekleding van
dijken aan ZOUT EN BRAK WATER IN
FRIESLAND, ZUID HOLLAND EN ZEELAND
voor het ontwikkelen van keurings-
eisen voor klei

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefax 015 - 6108 21
Telex 38234 soil nl
Telefoon 015 - 5692 23

Postgiro 234342
Bank Mees en Hope NV
Reknr. 25.92.35.911
K.v.K. S145040 Delft



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Onderzoek van kleibekleding van dijken aan
ZOUT EN BRAK WATER IN FRIESLAND, ZUID HOLLAND EN ZEELAND
voor het ontwikkelen van keuringseisen voor klei.

CO-275923/29
februari 1987
Kru/Kru/Kru26

Opgesteld in opdracht van:
Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044
2600 GA, Delft

AFDELING GROND EN GRONDKERENDE CONSTRUCTIES
Projectleider: drs. G.A.M. Kruse
Projectbegeleider: Ing. J. Dekker
Afdelingshoofd: Ir. J.W. Sip

bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

Samenvatting:

In 1986 zijn veld- en laboratoriummetingen verricht betreffende de doorlatendheid, respectievelijk erosiebestendigheid van de bekleding van dijken in het kustgebied van noord, midden en zuid Nederland. De uitkomsten van deze bepalingen van constructieve eigenschappen zijn vergeleken met de samenstelling van de bekledingslaag.

Evenals in het onderzoek dat in 1985 werd uitgevoerd geven de bepalingen aan dat structuur van de grond een dominerende factor is voor de constructieve eigenschappen. De bodemstructuur wordt gevormd door volumeveranderingen meteen na de aanleg van de dijk en door latere regelmatige volumeveranderingen. Deze volumeveranderingen hangen direct samen met wisselingen in watergehalte van de onverzadigde grond.

Er blijkt voor elke onderzoekslocatie een lineair verband te bestaan tussen watergehalte en droge dichtheid. Het onderzoek geeft aan dat de samenhang tussen volume- of droge dichtheidverandering en verandering van watergehalte wordt bepaald door fysisch- chemische en chemische eigenschappen van de onderzochte grond. Met name de kationenbezetting lijkt van invloed.

Het watergehalte dat een bekleding na verloop van tijd in een evenwichtssituatie aanneemt, kan worden afgeleid uit het watergehalte van de grond bij een zuigspanning van ongeveer 100 kN/m^2 ($pF=3$) (zie ook onderzoek 1985). Ook de "gemiddelde" variatie in watergehalte kan op die wijze afgeleid worden. Het evenwichtswatergehalte en de variatie daaromheen blijken in hoge mate te worden bepaald door het zoutgehalte van de grond en daarnaast door de geadsorbeerde kationen. Met name de verhouding tussen 1- en 2- waardige kationen (respectievelijk die van Natrium en Kalium en die van Calcium en Magnesium) is voor het evenwichtswatergehalte van belang.

De ontwikkeling van deze chemische factoren na de aanleg van een dijk kan in het algemeen worden aangegeven. Het zoutgehalte zal, afhankelijk van de ligging van het talud, naar een bepaalde lage dan wel relatief hoge waarde tenderen met daarbij een lagere dan wel significant hogere evenwichtswatergehaltenes en seizoensvariaties rond die watergehaltenes. De ontwikkeling van de kationenbezetting kan slechts zeer globaal worden aangegeven. In het algemeen lijken monsters met relatief weinig kalk en met een hoger percentage van de $<16\mu$ fractie een hoog evenwichtswatergehalte aan te nemen.

De volumeveranderingen van de onderzochte grond hangen daardoor met name samen met zoutgehalte en met kationenbezetting van de grond. Indicaties over deze grootheden en de eventuele veranderingen daarvan zijn daarom van belang voor de ontwikkeling van keuringseisen.

bladnummer : - 3 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



**GRONDMECHANICA
DELFT**

In het algemeen lijken de standaardbepalingen van vloeigrens, gehalte afslibbare delen ($<16\mu$), kalkgehalte en zoutgehalte relevant voor nadere evaluatie ten behoeve van keuringseisen.



INHOUD:

Samenvatting	2
Lijst van Bijlagen	6
1. INLEIDING	7
2. OVERZICHT VAN HET ONDERZOEK	10
3. METHODEN	12
3.1 Infiltratieproef	13
3.2 GD- erosieproef	14
3.3 Bepaling van de structuur van de kleibekledingen	17
3.4 Opname van de opbouw van de onderzochte stukken dijk	18
3.5 Bepaling Specifiek Oppervlak en Thermografimetrische bepalingen	18
3.6 Kationenbezetting van grond	19
3.7 Bepaling pF- curves	20
3.8 Organische stofsoorten	20
3.9 Weergegevens	21
4. RESULTATEN	23
4.1 Opbouw van de dijk en samenstelling en structuur van de bekledingslaag	23
4.1.1 Opbouw van de dijken	23
4.1.2 Standaardbepalingen samenstelling bekledingslagen	24
4.1.3 Zuigspannings- (pF) curves	26
4.1.4 Watergehalte, droge dichtheid en zuigspanning (pF)	26
4.1.5 Bewortelingsdiepte en structuur van de bekledingslaag	29
4.1.6 Hellingmetingen aan spleten en scheuren	31
4.1.7 Chemische en fysisch- chemische bepalingen	34
4.2 Nucleaire watergehalte- en dichtheidsbepalingen in situ	35
4.2.1 Korte beschrijving van watergehalte- en droge dichtheidsprofielen	35
4.2.2 Verzadigingsgraad	36
4.3 Infiltratieproeven	39
4.4 Erosieproeven	42
4.5 Neerslag, temperatuur, zonneschijuren en Penmanverdamping	43

bladnummer : - 5 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



5.	DE RELATIE TUSSEN WATERGEHALTE EN VOLUMEVERANDERINGEN	45
5.1.1	Correctie van droge dichtheid	47
5.2	Invloeden op de relatie tussen droge dichtheid en watergehalte	49
6.	INVLOEDEN OP HET WATERGEHALTE EN DE VORMING VAN STRUCTUUR	51
6.1	De vorming van structuur	51
6.2	Fysisch- chemische karakteristieken en het watergehalte	52
6.2.1	Invloed opgeloste stoffen	56
6.2.2	Ontwikkeling evenwichtswatergehalte in de tijd	56
6.2.3	Watergehalteverschillen tussen verschillende zuigspanningen	58
6.2.4	Volumeveranderingen tussen zuigspanningen van 50 tot 250 kN/m ²	62
6.3	Effecten van structuur en krimpen en zwellen op de infiltratie	62
7.	INVLOEDEN OP DE EROSIEBESTENDIGHEID VAN DE BEKLEDING	67
7.1	Algemene beschouwing van de invloeden op het erosiegedrag	67
7.2	Relaties tussen erosie en materiaalsamenstelling	68
8.	DE DIEPTE VAN DE INVLOED VAN SEIZOENSWISSELINGEN	76
9.	CONCLUSIES	77
9.1	Aanbevelingen	80
	Literatuur	81

bladnummer : - 6 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

BIJLAGEN:

1	Legenda bij de boorstaten in bijlagen 2 t/m 5
2 t/m 5	Dwarsprofielen van de onderzochte locaties
6	Profielkuilbeschrijvingen
7A t/m 7U	NEA- sonde waarnemingen
8A t/m 8N	Erosieproefresultaten
9A t/m 9D	Weergegevens perioden april-mei, juli-augustus en september-oktober
10	Gedrag en eigenschappen van kleibekleding; elementen en relaties daartussen



1. INLEIDING

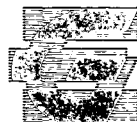
Het hier gerapporteerde onderzoek is uitgevoerd in het kader van de evaluatie en ontwikkeling van keuringseisen voor kleigrond voor bekleding van dijken door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat. Het onderzoek is gericht op het bepalen van doorlatendheid- en erosie- eigenschappen van kleibekleding van dijken en relaties hiervan met eigenschappen die bij het keuren van kleigrond van belang kunnen zijn. In dat verband is er tevens een kleibekleding in het onderzoek betrokken die juist op een dijk was aangebracht. Teneinde invloeden op de doorlatendheid en het erosiegedrag te kunnen evalueren werd een aantal relevant geachte parameters van de beproefde kleibekledingen en de situatie waarin deze zich bevindt bepaald.

Werkgroep 3 van de Technische Adviesgroep Waterkeringen heeft in 1984 de aanzet gegeven voor een onderzoek ten behoeve van het ontwikkelen en evalueren van keuringseisen voor klei. In dat verband is er na een aanloopfase in 1984 (COW 1984) een literatuurstudie (LGM 1985) uitgevoerd naar achtergronden van het gedrag van kleigrond. Deze studie was gericht op de aspecten betreffende krimpen en zwellen en scheurvorming. In 1985 is vervolgens een veldonderzoek begonnen naar constructieve eigenschappen van kleibekledingen van dijken met een grasmat langs IJssel en Pannerdens Kanaal, Gelderland. Dit onderzoek naar krimpgevoeligheid, scheurvorming en erosiegedrag werd gecombineerd met een onderzoek naar geschikte parameters voor het voorspellen van het functioneren van kleigrond als bekleding in een dijkconstructie. Een en ander is in 1987 gerapporteerd (GD 1986) en delen van de resultaten van dat onderzoek zijn in een voordracht voor het KIVI aan de orde geweest. Tevens is er in het kader van advisering ten behoeve van dijkverbetering gebruik gemaakt van de onderzoeksresultaten (GD 1987). Het hier te rapporteren onderzoek is op dezelfde wijze opgezet als het onderzoek van 1985 en sluit daarop aan. De onderzoekslocaties van het hier te rapporteren onderzoek zijn echter gekozen in het gebied met zoute en brakke wateren.

De onderzoekslocaties van het onderzoek in 1986 zijn gelegen op dijken met een grasmat aan de Waddenzee nabij respectievelijk Holwerd en Harlingen, aan de Westerschelde nabij Waarde en aan de Oude Maas nabij Barendrecht (zie figuur 1 en bijlagen 2 tot en met 5 voor de locaties). De veldwaarnemingen werden uitgevoerd in de periodes mei, augustus en eind september tot midden oktober.

Zoals het onderzoek in 1985 aangaf, bestaat er een niet onbelangrijke seizoensmatige variatie in de doorlatendheden van kleidekken. De doorlatendheidsproeven op de uitgekozen locaties en de bepaling van daarmee direct gerelateerde parameters zijn daarom herhaald in april, augustus en oktober.

bladnummer : - 8 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

Het veldonderzoek werd uitgevoerd in samenwerking met de Dienst Weg- en Waterbouwkunde. Gegevens over het aanleggen van de dijken op de onderzochte locaties en over het beheer daarvan werden door de betreffende waterschappen verstrekt. Gegevens over het weer ten tijde van de veldonderzoeken werden betrokken van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

De bepalingen in het onderzoek omvatten:

- in situ infiltratiemetingen,
- erosieproeven in het laboratorium,
- beschrijving in het veld van de structuur van de kleibekleding,
- in situ bepalingen van vochtgehaltenes en dichtheden met boorgatsondes,
- laboratoriumbepalingen aan monsters van de kleigronden,
- beschrijving van de opbouw van de dijk met behulp van geodetische opnames, en boringen.

Het onderzoek in 1986 betreft een recent aangebrachte (3 weken oude) kleibekleding bij Holwerd en drie bekledingen die 5 tot 10 jaar gefunctioneerd hebben. De locaties zijn gekozen in samenwerking met vertegenwoordigers van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde en met vertegenwoordigers van de betreffende Waterschappen te weten: Waterschap Fryslan; Waterschap IJsselmonde; en Waterschap Noord en Zuid Beveland.

In de hiervoor genoemde literatuurstudie is naar voren gekomen dat enige parameters dominerende invloeden kunnen uitoefenen op het gedrag van kleigrond, maar dat de invloed van individuele parameters niet onafhankelijk van andere parameters kan worden beoordeeld. Voor onverzadigde kleigrond zijn watergehalte, dichtheid, samenstelling van de vaste stofdeeltjes en hoeveelheid en aard van opgeloste stoffen van belang. De studie vestigde de aandacht op de te verwachten grote invloed van de structuur van de grond. De literatuurstudie bracht naar voren dat er weinig pertinente gegevens zijn over de effectiviteit van thans algemeen gebruikte keuringsparameters voor het voorspellen van functionele eigenschappen als de doorlatendheid en erosiegevoeligheid van kleibekledingen.

De bekleding van dijken ligt in een milieu waarin de atmosfeer, de lithosfeer en de hydrosfeer samenkomen en waarin de biosfeer ook nog een rol van betekenis speelt. De bekleding moet daarin een bepaalde functie in de dijkconstructie vervullen. Het is voorwaar bijna een menselijke taak om daarin het hoofd te moeten bieden aan de soms extreme variaties in al die sferen. Een studie naar de factoren die het vervullen van die functie beïnvloeden is noodzakelijkerwijze breed van opzet. De studie van een dergelijk systeem dient zich gezien de complexiteit ervan dan ook te laten richten en beperken door ervaringen van de dijkbeheerders en van de personen voor wie het gedrag van grond dagelijkse praktijk is. Het ontwikkelen van keuringseisen voor kleigrond voor de bekleding van dijken kan binnen

bladnummer : - 9 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

overzichtelijke termijn slechts resultaten bereiken indien die voorkennis kan worden geplaatst in de benaderingen van grond vanuit de geotechniek, chemie en bodemkunde. Het rapport zal het onderwerp met name vanuit de drie laatstgenoemde richtingen benaderen. De voornoemde ervaringen hebben echter sterk de richting van het onderzoek bepaald.



2. OVERZICHT VAN HET ONDERZOEK

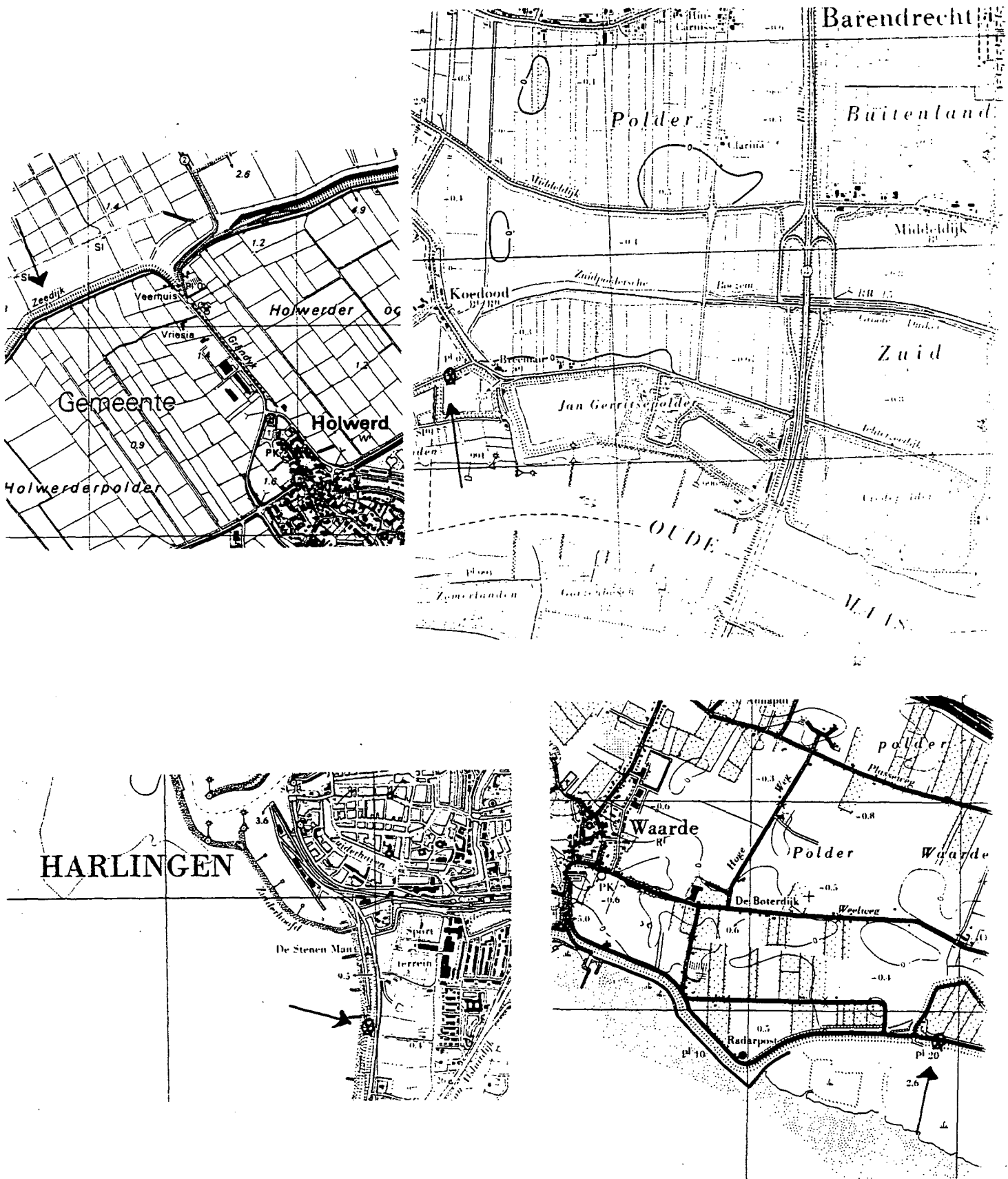
In het onderzoek zijn constructieve eigenschappen van bestaande dijkbekledingen nagegaan en vergeleken met de opbouw en de ligging van de dijken en met de opbouw en samenstelling van de bekledingslaag. De opbouw van de betreffende dijken is voorzover van belang geacht bepaald en er zijn gegevens over het weer verzameld. De structuur van de bekledingen is geïnventariseerd samen met de doorworteling van de bovengrond. De belangrijk geachte componenten in de samenstelling, klassificatie proeven en enige chemische en fysisch-chemische parameters van de onderzochte gronden zijn bepaald, en vergeleken met de eveneens bepaalde zuigspanningscurves van de gronden.

Van de mechanische eigenschappen is de relatie van de volumeveranderingen met het watergehalte nagegaan. Immers het voorgaande onderzoek, literatuur en algemene overwegingen duiden erop dat bodemstructuur daardoor wordt gevormd. Vervolgens zijn de invloeden van de samenstelling van de grond op de watergehalten en op de variaties daarin onderzocht en wel bij zuigspanningen zoals die in dijkbekledingen voorkomen. De veranderingen van volume van de grond die bij die verschillende watergehalten kunnen optreden zijn daarna bepaald met de beschikbare gegevens.

De resultaten van de voornoemde bepalingen leiden tot uitspraken over de dominante invloeden op het gemiddelde watergehalte dat een bekledingsgrond krijgt na het aanbrengen. De belangrijkste invloeden op de te verwachten volumeveranderingen onder de omstandigheden zoals die op de dijk heersen worden eveneens met de verkregen gegevens nagegaan. Hiermee zijn instrumenten beschikbaar om een indruk te verkrijgen over de te verwachten ontwikkeling van structuur in een bekledingsgrond die op een dijk moet worden aangebracht. Een en ander wordt aangevuld met een beschouwing over de diepte van de invloed van het weer op wisselingen in vochtgehalte in het dijkprofiel wat van belang is voor de discussie over de aan te brengen dikte van een bekledingslaag.

De gegevens van de infiltratieproeven en de erosieproeven worden geevalueerd. Deze worden vergeleken met de materiaaleigenschappen, met de structuur van de bekledingslagen en met de uitkomsten van de hiervoor beschreven beschouwing over volumeveranderingen.

Deze opzet van het onderzoek geeft de mogelijkheid om na te gaan of het mogelijk is om het verloop van enige significante processen in de bekledingsklei te gaan voorspellen. Er kunnen dan mogelijk materiaaleigenschappen worden aangewezen waarmee een grond gekeurd kan worden. De beschouwing zal de toepasbaarheid van deze materiaaleigenschappen vergelijken met de andere invloeden op de constructieve eigenschappen van een aangebrachte bekledingsgrond.



Figuur 1: Locatie van de onderzochte dijken (zie bijlage 2 tot en met 5 voor dwarsprofielen).



3. METHODEN

In het volgende zal kort worden ingegaan op enige proeven die in het algemeen niet gebruikelijk zijn in geotechnische onderzoeken. Voor de overige laboratoriumbepalingen wordt slechts de gebruikte methode vermeld. De monsters voor de meeste bepalingen zijn genomen uit blokmonsters gestoken in kuilen in de kleibekleding. In Tabel 1 zijn de uitgevoerde standaardproeven getabelleerd.

Tabel 1: Bepalingswijze standaardproeven.

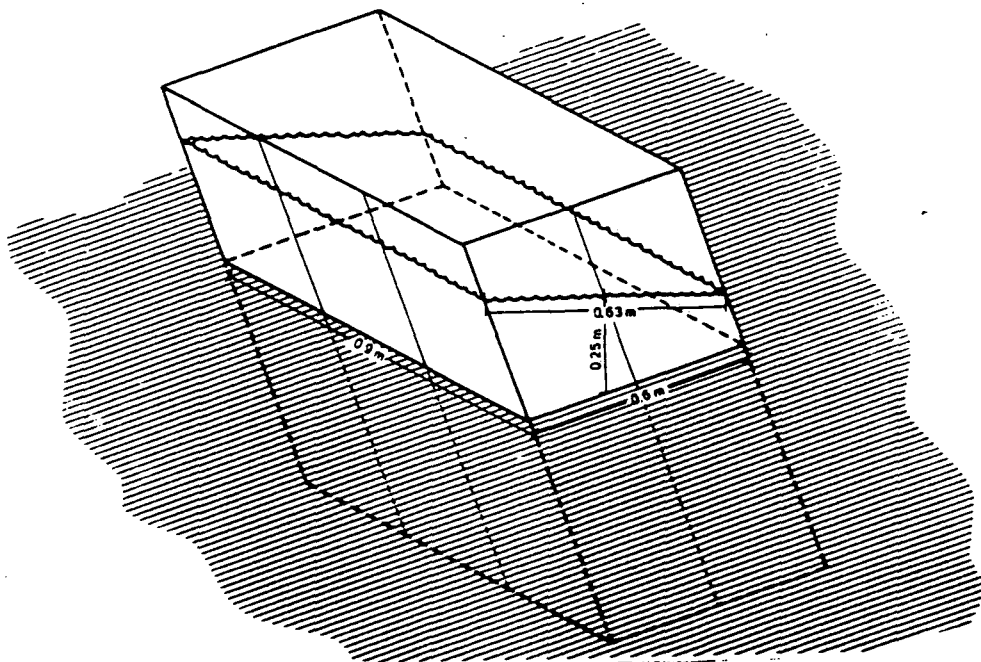
Parameter:	Methode:
Korrelgrootteverdeling	zeven en bezinken (verloop van dichtheid voor röntgenstraling in tijd)
Atterbergse grenzen	uitrollen en Casagrande- apparaat
Kalkgehalte	0.1 N HCl- methode
Organisch materiaal	15% H ₂ O ₂ - methode
Saliniteit (chloride)	fotometrische bepaling met Hg(CNS) ₂ titratie (i.h.a. lagere waardes dan bij AgNO ₃ titratie)
Zuurgraad	pH- electrode in grond- watersuspensie
Watergehalte	gravimetrisch
Droge dichtheid	gravimetrisch met behulp van steekring.
Geleidbaarheid	weerstandsmeting van filtraat van suspensie

De grond van de monsters was in veel gevallen kruimelig waardoor in enige gevallen het maken van een steekringmonster problematisch was. In die gevallen is er een nogal geroerde droge dichtheid bepaald. Bij de gegevensverwerking bleek dat de monsters die problemen opleverden bij de bepaling een aanzienlijk hogere droge dichtheid te laten zien dan de overige monsters.

3.1 Infiltratieproef

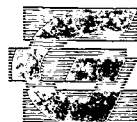
De infiltratiesnelheid van water in het kleidek werd bepaald met een speciaal voor het doel ontwikkelde koker (zie figuur 2). Gezien de grote variatie in de porieverdeling in onverzadigde kleigrond dienen doorlatendheidsmetingen grote volumina grond te beschouwen, zo groot dat gekozen is voor in situ proeven. Bestaande infiltratieproeven zijn slecht toepasbaar op hellend terrein zoals een dijktalud in verband met het zijdelings afstromen van water. Deze methoden zijn bovendien problematisch indien er sterke verticale variaties in doorlatendheid bestaan. Een bestaande methode als de boorgatmethode heeft daarnaast als nadeel dat er door het maken van het gat aanzienlijke verstoring van de structuur van de grond kan optreden met gevolgen voor de doorlatendheid.

De ontwikkelde infiltratiekoker beslaat een oppervlak van circa $0.6 \times 0.9 \text{ m}^2$. De koker is opgebouwd uit onafhankelijk bewegende plaatstalen lamellen (4 mm dikte) van circa 0.3 m breed die met een waterkerende koppeling bijeengehouden worden. De uiteindelijk toegepaste versie van de koker is 1.15 m hoog. De bovenkanten van de lamellen van de koker zijn versterkt met 0.1 m dikke randen van plaatstaal om vervorming door het inheien van de lamellen te beperken. Aan de onderzijde zijn de lamellen aangescherpt en aan de buitenzijde voorzien van een kleefbreker in de vorm van een lasrups.



Figuur 2: Schets van de infiltratiekoker die voor de infiltratiemetingen is gebruikt. De koker bestaat uit lamellen die tot een diepte van 0.6 m loodrecht op het talud van de dijk in de grond gebracht worden.

bladnummer : - 14 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

De koker werd loodrecht op het talud van de dijk ingebracht tot ongeveer 0.5 tot 0.6 m diepte door 3 personen met behulp van een handhei (circa 30 kg). Het inbrengen van de koker duurde ongeveer 0.5 uur. De koker werd na afloop van een proef uit de grond getrokken met behulp van kelderlieren. Nadat hiermee enige ervaring was opgedaan was de beschadiging van de grasmat en de kleibekleding minimaal.

De koker werd opgesteld als aangegeven in figuur 2. De koker werd gevuld met water tot het niveau in het midden van de koker 0.25 m boven maaiveld was gelegen. Het waterniveau werd met geregelde tussenpozen van ongeveer 15 minuten gemeten met een duimstok. Deze meetnauwkeurigheid was voldoende gezien de te verwachten locale variatie in doorlatendheid en de vereiste nauwkeurigheid van de proef. Als het waterniveau meer dan ongeveer 0.02 m gezakt was, werd water bijgevuld. Het water werd betrokken uit nabijgelegen open water met een samenstelling zoals bij stormvloed en te verwachten zou zijn. Het is enige keren voorgekomen dat het water in het begin van een proef sneller zakke dan er uit voorraad (ongeveer 0.7 m³) aangevoerd kon worden.

De duur van een infiltratieproef was ongeveer 3 uren, een en ander gebaseerd op het verloop van waterspanningsmeters rond een eerdere zeer grootschalige infiltratieproef (COW 1980) en op het verloop van de infiltratie tijdens de proef zelf. De infiltratiesnelheid tendeerde in het algemeen naar een constante waarde. Op elk van de drie locaties is de proef herhaald in voorjaar, zomer en najaar. In totaal zijn er 12 infiltratieproeven uitgevoerd op de 4 locaties.

In 1985 is er een infiltratieproef is uitgevoerd met een toevoeging van methyleenblauw (1 : 100) oplossing aan het infiltrerende water teneinde de weg van het water in de grond te kunnen volgen. De kleurstof was in de bovenste circa 0.4 m goed herkenbaar op de wanden van macroporiën. In de dieper gelegen lagen waren wel met water verzadigde macroporiën aanwezig, maar de blauwkleuring was niet meer goed waarneembaar. De zone die door het indringen van de wand van de koker was verstoord was slechts enige centimeters dik. Er bleken geen andere verstoringen van de grond in de koker aanwezig te zijn.

3.2 GD- erosieproef

Voor een GD- erosieproef wordt een cilindrisch monster met een diameter van 0.067 m en een hoogte van circa 0.05 m in een vloeistof, water, geplaatst. Het water wordt vervolgens in beweging gebracht door een met schoepen bezette cilinder die rond het monster draait (zie figuur 3). De gewichtsveranderingen van het monster en de kracht die het water op het totale monster uitoefent worden regelmatig gemeten met een tijdsinterval van ongeveer 5 tot 15 minuten. Het toerental wordt tijdens het eerste uur van de proef van 0 naar 600 t/min gebracht, vervolgens blijft het toerental 1 uur op 600 t/min. Het

bladnummer : - 15 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

toerental wordt in het derde uur geleidelijk verhoogd naar 1200 t/min. en blijft vervolgens constant tot de proef wordt beëindigd.

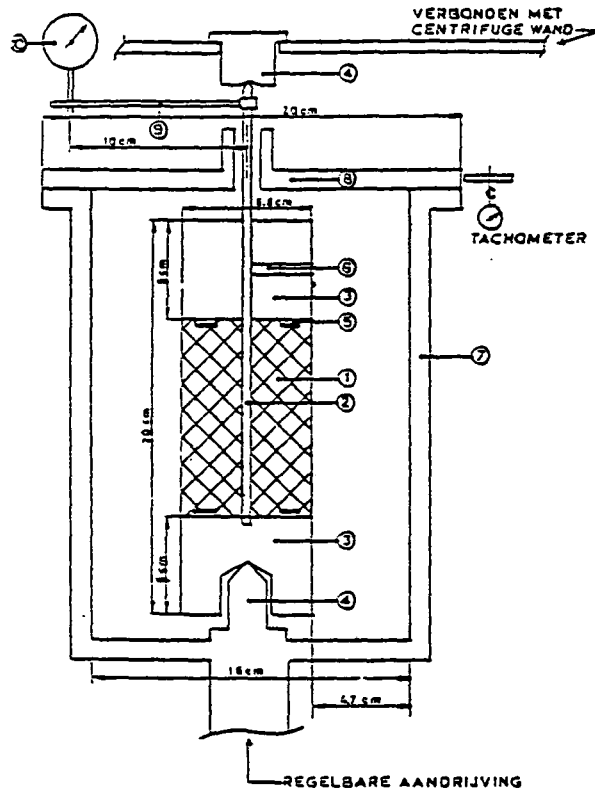
De watersnelheid op enige centimeters van een onder golfoploop eroderend oppervlak in een deels met gras en wortels beschermd talud kan op 0.01 tot 0.03 m/s worden gesteld (WL 1982). Deze snelheid correspondeert met de maximale stroming in een spleet en de maximale stroming op een glad oppervlak.

De schoepen van het erosieapparaat bevinden zich op enige centimeters van het monster. Bij een toerental van respectievelijk 290 en 870 t/min. wordt derhalve de hierboven geschetste conditie op een talud gesimuleerd. De snelheid van de schoepen bij 600t/min. is dus vergelijkbaar met de watersnelheid op enige centimeters van een glad kleigrond oppervlak tijdens een maximale golfoploop op oevers van de Oosterschelde.

De monsters voor de proeven zijn met stalen bussen verticaal gestoken in kuilen op een diepte van circa 0.4 tot 0.5 m in het talud van de dijken. De kuilen bevonden zich ongeveer 0.75 m boven de teen van de dijk en 0.75 m beneden de kruin van de dijk. De wanden van de monsters worden enigszins van versmeerd materiaal ontdaan nadat ze in het laboratorium uit de bussen werden gedrukt. Het monster wordt voor de eigenlijke erosieproef enige dagen in een celapparaat geplaatst met een steundruk van 5 N/m^2 (zie ook LGM 1985a). Deze voorbehandeling werd nodig geacht om de invloeden van verstoring door monstername en transport op de uitgangsomstandigheden voor de erosieproef zoveel mogelijk te elimineren.

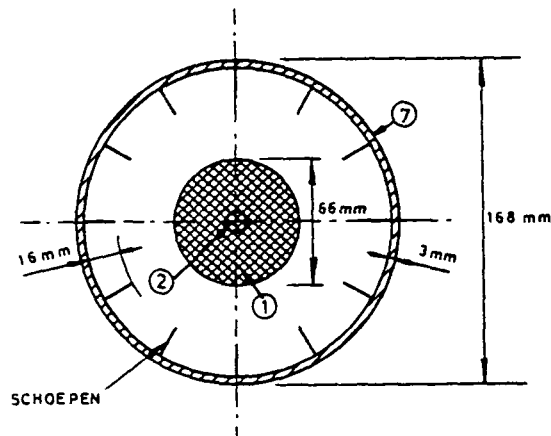
Er zijn uit elke bus 2 monsters voor erosieproeven genomen. Een serie werd met zout water geerodeerd en in het celapparaat met zout water behandeld. Een tweede serie is met zoet leiding water met een saliniteit van circa 100 mg NaCl/kg behandeld en geerodeerd. (De saliniteit van water van de Lek nabij Wijk bij Duurstede bedraagt circa 270 mg per Kg, zeewater heeft saliniteiten van enige grammen tot 35 gram per Kg). De saliniteit van de monsters is in Tabel 3 gegeven.

De resultaten van de LGM- erosieproeven omvatten het verloop in de tijd van het gewicht van het monster en het verloop van de kracht op het monster uitgedrukt in een daarvan afgeleide schuifspanningsmaat. Deze grootheden worden in grafieken gepresenteerd. Daarnaast is er een visuele inspectie van de geerodeerde monsters uitgevoerd. Deze inspectie richtte zich op oppervlakte verschijnselen op macroscopisch en microscopisch niveau. Er zijn 14 erosieproeven uitgevoerd.



LEGENDA

- | | |
|----------------------------|--|
| 1 : MONSTER | 6 : INBUSBOUTJE |
| 2 : PEN v.d. MONSTERHOUDER | 7 : METALEN ROTOR |
| 3 : KLOSSEN | 8 : PERSPEX OEKSEL |
| 4 : TAATSEN | 9 : ARM OM MOMENT OVER TE BRENGEN OP TORSIEMETER (=10) |
| 5 : MESJES | |



Figuur 3: Het erosie- apparaat waarmee de erosieproeven zijn uitgevoerd. Door het draaien van de rotor wordt het water langs het monster bewogen. De kracht die daardoor op het monster wordt uitgeoefend wordt gemeten evenals het opgetreden gewichtsverlies in intervallen van 10 minuten. Het toerental van de rotor wordt geleidelijk opgevoerd tijdens de proef.



3.3 Bepaling van de structuur van de kleibekledingen

De interne opbouw van de kleibekledingen, de mate en de wijze van variatie in aard van het materiaal en de structuur van de grond, zijn bestudeerd in voor dat doel gegraven zogenaamde profielkuilen in de bekleding. De profielkuilen maten ongeveer 0.5 x 1.0 m² en waren ongeveer 0.8 tot 0.9 m diep afhankelijk van de opbouw van de bekleding. De kuilen zijn gegraven ongeveer 1 m beneden de kruin van de dijk en circa 1 m boven de teen van de dijk. In het onderzoek zijn in totaal 18 kuilen gegraven op de drie locaties.

De aangetroffen verschijnselen in de kleibekleding werden beschreven en er werden schattingen gemaakt van de mate van voorkomen van de verschillende verschijnselen. Aantekening werd gemaakt van:

- bewortelingsdiepte
- voorkomen van wormgangen
- voorkomen van andere kleine bioporiën
- voorkomen van grote bioporiën zoals graafgangen van mollen
- structuur van de grond in algemene termen
- gedetailleerde opname van richting van plaatvormige discontinuïteiten (spletten en schuifvlakjes)
- de variatie van de samenstelling en de kleur van de grond

De spletten en schuifvlakjes in de grond zijn herkenbaar aan verschijnselen als verkleuring van het vlak (gekleurde huidjes), accumulatie van klei (glimmende huidjes), preferente groei van fijne graswortels, zichtbare open spletten, en meestal een combinatie van deze verschijnselen. Schattingen zijn gemaakt van de breedte van spletten en van de frequentie van voorkomen en de diameter van buisvormige bioporiën.

De richting van de plaatvormige discontinuïteiten werd met een geologisch kompas met een hellingmeter gemeten op goed herkenbare vlakken. Deze metingen zijn uitgezet op een zogenaamd Schmidt-net. Hierbij wordt de richting en de helling van de normalen op de vlakken gepresenteerd op een plat vlak. De richting van de helling wordt als richting van een vector in dat platte vlak aangegeven en de mate van helling wordt gerepresenteerd door de lengte van de vector, zie figuur 7. De lengte, r , van de vector wordt bepaald met de formule:

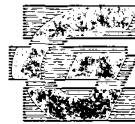
$$r = R \times \sqrt{2} \times \sin(\beta/2)$$

waarin : β = helling ten opzichte van de verticaal

R = lengte van de 90° vector

Met deze transformatie wordt een oppervlakte getrouwe projectie van een halve bol op een plat vlak verkregen.

bladnummer : - 18 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

3.4 Opname van de opbouw van de onderzochte stukken dijk

Voor het beschrijven van de voor het onderzoek relevant geachte elementen van de opbouw van de dijken ter plaatse van de in situ bepalingen is gebruik gemaakt van handboringen, en gegevens die door de betreffende Waterschappen zijn verschaft.

De boringen reiken in het algemeen tot 4 m beneden maaiveld en zijn gemaakt in (zie bijlage 2 tot en met 5):

- het aan de teen van de dijk gelegen land
- het buitentalud circa 1 m boven de teen of boven de bekleding (verder teen genoemd)
- het buitentalud circa 1 m beneden de kruin
- het binnentalud van de dijk

De boringen hadden een diameter van 0.04 m en zijn beschreven volgens de terminologie vermeld in bijlage 1 waarbij bijzondere aandacht aan verticale variaties is besteed.

In de boorgaten in de teen en aan de kruin van de dijk zijn nauwpassende kunststofbuizen geplaatst ten behoeve van metingen van dichtheid en watergehalte met een gecombineerde neutronen en gamma-gammastralingssonde, de NEA- sonde.

3.5 Bepaling Specifiek Oppervlak en Thermogravimetrische bepalingen

Het specifieke oppervlak van de fractie kleiner dan 150 μ van 7 monsters is bepaald. Het specifieke oppervlak, de grootte van het oppervlak van de gezamenlijke gronddeeltjes in 1 cm³ grond, is van belang in verband met de reactie van de grond met water en met de daarin voorkomende moleculen en ionen. In het algemeen zal een grond met een groter specifiek oppervlak sterker reageren op veranderingen in watergehalte. Het specifieke oppervlak van de monsters is bepaald door middel van het meten van de hoeveelheid Ethyleen-glycol-monoethylether (EGME) die de monsters adsorberen onder vacuum in aanwezigheid van CaCl₂. Deze stof vormt na verloop van enige weken onder de gespecificeerde omstandigheden een zeer dunne laag van bekende dikte op het oppervlak van de gronddeeltjes.

De Thermogravimetrische bepalingen geven inzicht in de samenstelling van grond door het meten van de gewichtsverandering van het monster bij bepaalde temperaturen. Veelal wordt deze methode toegepast in een uitgebreider thermisch onderzoek van de grond waarbij ook de hoeveelheid opgenomen of afgestane warmte wordt bepaald, de zogenaamde Differentiele Thermische Analyse of DTA. Voor het huidige onderzoek wordt slechts gebruik gemaakt van het gewichtsverlies van de monsters van 1000 mg bij verwarming met 11 °C per minuut tot circa 600 °C. In dit traject treedt op: Drogen van de grond tot 100 °C, kookpunt van vrij water onder atmosferische druk; dehydratatie van het oppervlak van de gronddeeltjes tot circa 180 °C; decompositie en oxidatie van



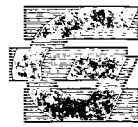
organisch materiaal tussen ongeveer 250 en 500 °C; en dehydroxillatie van stoffen als ijzerhydroxides plaats tussen ongeveer 250 tot 600 °C. Overige reacties in het gebruikte temperatuursinterval hebben voor de geteste kleigronden geen significante betekenis. In het interval van 100 tot 180 °C verliest de grond watermoleculen die aan de grond geadsorbeerd zijn. In het temperatuursbereik boven ongeveer 145 °C omvat dit verlies ook de watermoleculen die hecht tussen parallel gepakte elementaire kleiplaatjes zijn gebonden.

De thermogravimetriscie bepaling is in de eerste plaats uitgevoerd vanwege de verwachte relatie van de hoeveelheid hydratatie- water met fysisch- chemische eigenschappen van de grond en met mogelijk daarmee verbonden eigenschappen als Atterbergse grenzen en kationenuitwisselingscoefficient.

3.6 Kationenbezetting van de grond

De hoeveelheid en de samenstelling van aan de gronddeeltjes geadsorbeerde positieve ionen, kationenbezetting, is bepaald voor 7 monsters. Het is bekend dat de kationenbezetting een belangrijke invloed uitoefent op grondeigenschappen als erosie-gevoeligheid, mechanische sterkte en adsorptie van water. Met name het verschil tussen de veel voorkomende 2- waardig positieve Calcium- en Magnesium- ionen en de relatief grote eenwaardige Natrium- ionen die in zeewater domineren is algemeen bekend. Ook het stabiliserende effect van de relatief zeer grote eenwaardige Kalium- ionen op zwellende kleimineralen is bekend.

De totale hoeveelheid geadsorbeerde kationen in equivalentladingseenheden (milligramequivalent, meq., per 100 gram vaste stof) van de grond is bepaald door de aanwezige kationen te vervangen door ammonium- ionen, NH_4^+ , en vervolgens de hoeveelheid Na^+ te bepalen die de grond vasthoudt na spoeling met een Na-acetaatoplossing. De hoeveelheid Ca, Mg, Na en K ionen in de ladingsequivalenten van deze ionen (meq per 100g droge stof) is bepaald door met de atomaire adsorptie methode de hoeveelheid van deze ionen te bepalen die door een ammoniumacetaatoplossing van de gronddeeltjes worden verdreven. De acetaatoplossing zal ook calciumcarbonaat, kalk, in de grond enigszins oplossen waardoor de gemeten calcium- ionen- bezetting vaak te hoog is.



3.7 Bepaling pF- curves

In onverzadigde grond heerst veelal een negatieve waterspanning. Deze waterspanning bepaalt onder evenwichtsomstandigheden de hoeveelheid water die de grond vasthoudt. De waterspanning bepaalt ook de kracht die door het water op de deeltjes en aggregaten van deeltjes daarvan kan worden uitgeoefend en de waterdruk (of partiele waterdampdruk) die nodig is om water uit de grond te verwijderen. Een bepaalde grond heeft een specifieke relatie tussen de hoeveelheid water in de grond onder evenwichtsomstandigheden en de negatieve waterspanning in die grond. Deze relatie wordt in zogenaamde pF-curves uitgezet en geevalueerd. Deze pF- waarde van de grond is de $_{10}$ log van de negatieve waterspanning in een grond in centimeters waterkolom. Er treedt vaak een verschil op tussen pF- curves die door uitdrogen van de grond zijn bepaald en pF- curves die bij bevochtigen zijn bepaald. De eerstgenoemde is de meest algemeen gebruikte in de landbouwkundige praktijk en is ook hier bepaald. In de figuur 4 zijn de pF- curves van monsters van de onderzochte locaties gegeven.

De pF- curve wordt bepaald door het watergehalte van ringmonsters, diameter circa 0.06 m te bepalen nadat het in evenwicht is gebracht met bepaalde pF- waarden te weten 1.0, 2.0, 2.7 en 3.4, corresponderend met negatieve waterspanningen van respectievelijk circa 1 kN/m^2 , 10 kN/m^2 , 50 kN/m^2 en 250 kN/m^2 . De laatste, hoogste, zuigspanning wordt teweeggebracht door het monstermateriaal in evenwicht te brengen met de waterdampdruk boven een zoutoplossing van bepaalde sterkte. De lagere zuigspanningen worden aangelegd met behulp van pneumatische onderdruk.

3.8 Organische stofsoorten

Organische stof in grond kan bestaan uit levend en dood organisch weefsels van velerlei samenstelling en opbouw dan wel uit moleculair verdeelde stof. Het effect van de weefsels op het gedrag van grond wordt, behalve door de hoeveelheid, ook bepaald door de mechanische eigenschappen ervan en door de reactie van het oppervlak ervan met de omgevende vloeistoffen en minerale gronddeeltjes. De moleculair verdeelde organische stof is effectief in de grond doordat het invloed heeft op de bodemvloeistoffen en op de oppervlakken van de gronddeeltjes waaraan de moleculen geadsorbeerd of chemisch gebonden kunnen zijn.



Teneinde de samenstelling van de organische stof in de kleibekledingen na te kunnen gaan en om mogelijke invloeden op het gedrag ervan te kunnen karakteriseren is een eerste analyse van de organische stof in de grond uitgevoerd. Het betreft het vaak gebruikte verschil tussen:

- organische stoffen die niet oplossen;
- organische stoffen die in basisch milieu oplosbaar zijn;
- organische stoffen die in zowel basisch als in zuur milieu oplosbaar zijn.

De laatste beide organische stoffen zijn bekend als respectievelijk huminezuren en fulvozuren.

Het is bekend dat de samenstelling van de organische stof van invloed is op bijvoorbeeld erosiebestendigheid van kluiten grond. Ook is voor het maken van cement bijvoorbeeld niet het totale organisch stofgehalte maar de hoeveel fulvozuur in het zand van belang omdat deze het stabiliseren van het mengsel, het harden en de sterkte-eigenschappen van het beton sterk beïnvloeden.

De hoeveelheid huminezuur en fulvozuur in 7 monsters is bepaald door het koolstofgehalte te bepalen in het filtraat van een verdunde natronloog suspensie van de grond. Aan dit filtraat wordt vervolgens HCl toegevoegd, waarna opnieuw wordt gefiltreerd. Het koolstofgehalte van het laatste filtraat geeft een maat voor de hoeveelheid fulvozuur in de grond en het koolstofgehalte van het eerste filtraat verminderd met dat van het laatste filtraat geeft de hoeveelheid huminezuur aan.

3.9 Weergegevens

Teneinde de ambiante omstandigheden van de kleidekken met name wat betreft het onttrekken en het infiltreren van water nader te kunnen bepalen zijn gegevens over het weer verzameld.

Middels de Dienst Weg- en Waterbouw zijn van het KNMI temperatuur-neerslag- en zonnestralinggegevens betrokken van de betreffende stations voor de periode 2.5 weken voor de veldwaarnemingen in voor- en najaar en zomer. De gegevens over relatieve vochtigheid en verdamping volgens de Penman- formule (waarin temperatuur, relatieve vochtigheid, zonnestraling, windsnelheid) zijn van nabijgelegen hoofdstations. De meerjarige gemiddeldes voor temperatuur, neerslag en zonneshijn zijn in de betreffende grafieken eveneens weergegeven (zie bijlagen 9).



In de onderstaande tabel 2 zijn de weerstations vermeld waarvan gegevens voor de verschillende locaties zijn betrokken.

Tabel 2: Weerstations voor de verschillende locaties.

Locatie	Neerslag	Temperatuur	Zonneschijn	Verdamping
Barendrecht	Barendrecht	Vlissingen	Vlissingen	Schiphol
Harlingen	Harlingen	De Kooy	De Kooy	Leeuwarden
Holwerd	Holwerd	De Kooy	De Kooy	Leeuwarden
Waarde	Krabbendijke	Vlissingen	Vlissingen	Vlissingen

Voor de periode oktober waren gegevens nog niet compleet en zijn voor de locatie Barendrecht, Harlingen en Holwerd gegevens van De Bilt voor de zonneschijnuren aangegeven.

tabel 3A: Gegevens over de samenstelling van de bekledingslaag en over de erosiegevoeligheid en infiltratiesnelheid voor de verschillende locaties.

monsternummer in figuren	98	103	75	80	84	90	93	74	70	88	89	92	96	101
locatie	bar 2	bar 3	bar 2	bar 3	hol 3	wea 2	wea 3							
lutumgehalte (gew. %)	31.0	27.6	29.6	28.4	33..	27.6	26.1				20.6			
afslibbaar (16 µm) (gew. %)	62.3	52.3	48.5	42.9	53.8	57.4	54.7				31.3			
zandgehalte (gew. %)	10.2	21.4	28.7	28.8	25.3	19.7	21.9				49.6			
grindgehalte (gew. %)	0.0	0.2	1.3	0.7	0.0	0.0	0.0				1.4			
kalkgehalte (gew. %)	20.1	18.5	18.3	18.8	19.9	27.0	25.2			15.1	13.7			
org. materiaalgeh. (gew. %)	3.6	1.5	1.2	1.0	4.8	4.1	4.7		3.4		1.2			
vloeigrens (%)	55.4	44.4	37.4	37.9	70.3	65.2	64.8				32.5			
uitleigrens (%)	29.1	22.3	17.4	18.9	31.9	33.5	37.3				22.3			
plasticiteitsindex (%)	26.3	22.1	20.0	19.0	38.4	31.7	27.5				10.2			
gew.verlies 100-145* (prom.)	15.3	7.2	12.5	10.9	18.5	16.9	16.4							
gew.verlies 100-180* (prom.)	21.2	17.2	16.5	14.6	23.5	23.2	22.5							
spec. oppervlak (m ² /g)	141.6	117.0	121.3	110.8	124.7	162.1	143.4							
kationenuitw. coeff. (meq/100g)	36.5	27.0	27.2	24.2	34.1	41.6	35.5							
geeds. Calcium (meq/100g dr.stof)	19.8	15.3	14.3	12.9	7.6	13.4	17.1							
geeds. Magn. (meq/100g dr.stof)	1.39	1.18	2.06	1.56	4.05	6.19	3.14							
geeds. Natrium (meq/100g dr.stof)	0.12	0.10	0.50	0.51	1.01	3.32	0.24							
geeds. Kalium (meq/100g dr.stof)	0.12	0.14	0.48	0.42	2.67	1.43	1.26							
zoutgehalte (mg NaCl/kg dr.stof)	46.8	23.6	116.3	30.9	3981.0	404.9	144.9	53.0			3398.0	28.7	87.2	58.5 17.0
geleidbaarheid (µmS)	395	255	370	320	11800	840	375	360			11200	335	305	265 290
zuurgraad (pH water)	7.9	8.1	8.1	8.3	7.5	8.3	8.0							
humuszuur (mg/kg dr.stof)	2905		206		3319	4093	3059	19						
fulvzuur (mg/kg dr.stof)	1129		572		863	1686	1426	547						
watergehalte bij pF=2.7 (gew. %)	37.7	37.9	24.3	25.3	52.0	33.7	24.4							
watergehalte bij pF=3.4 (gew. %)	29.0	29.9	16.4	17.9	28.7	21.8	15.5							
watergehalte bij pF=3.0 (gew. %)	34.0	34.5	20.9	22.1	42.0	28.6	18.9							

tabel 3B:

veranderingen droge dichtheid (%)	3.8			10.8	9.6	4.0
erosie 1 ^o 2 uur zoutwater (gew. %)	3.54	0.38	0.00	2.14	1.06	22.27 33.00
erosie 1 ^o 2 uur zoutwater (gew. %)	9.16	0.80	0.00	1.73	3.05	7.38 8.33
uithoudingsduur zoutwater (min.)	180	170	360	200	200	140 50
uithoudingsduur zoutwater (min.)	230	160	300	150	360	150 240
infiltratiesnelheid mei (m/s)		2.15		2.58	0.11	8.35
infiltratiesnelheid aug. (m/s)		5.82		2.58	0.13	3.38
infiltratiesnelheid okt. (m/s)		3.38		7.63	0.84	5.31
b x -100 waarde (zie tekst)		0.58			0.58	1.10 0.94
a waarde (t/m ³) (zie tekst)		1.408			1.424	1.598 1.535



4. RESULTATEN

4.1 Opbouw van de dijken en samenstelling en structuur van de bekledin

4.1.1 Opbouw van de dijken

De onderzoekslocaties zijn gelegen in kustgebieden in noord, midden en zuid Nederland (zie figuur 1). De bijlagen 2, 3, 4 en 5 geven dwarsprofielen van de onderzochte dijken waarin gegevens van de handboringen zijn verwerkt. Het onderzochte deel van de dijken heeft een grasmatbedekking welke bij de dijken bij Barendrecht en bij Waarde van de kruin tot aan de teen doorloopt. De teen van de dijken bij Harlingen en Holwerd heeft een bekleding van basaltblokken en ligt direct aan de Waddenzee.

De dijken bij Harlingen, Holwerd en bij Waarde hebben een ongeveer 0.7 tot 1.0 m dikke kleilaag als bekleding van een kern van fijn zand. De dijk bij Barendrecht bestaat geheel uit zandige klei.

Bij elke dijk zijn twee boven elkaar gelegen locaties op het buitentalud onderzocht (zie bijlage 2 tot en met 5). De onderste locatie wordt in dit rapport steeds locatie 2 genoemd en de bovenste locatie 3. De bovenste locatie lag in alle gevallen ongeveer 1 m beneden de kruin van de dijk. De onderste locaties bij Barendrecht en bij Waarde lagen in het talud op minder dan 2 m boven het buitendijkse maaiveld. Bij Harlingen was de onderste locatie ongeveer 1 m boven de kruin van de voormalige dijk gelegen.

Van de onderzochte dijken zijn er drie die 5 tot 10 jaar geleden aangelegd zijn dan wel ingrijpend zijn aangepast. De dijk van de vierde locatie, nabij Holwerd, Friesland, was juist aangelegd; bij het begin van de veldopnames in mei was deze dijk nog niet met gras begroeid.

Zoals in de inleiding reeds beschreven, zijn de dijken bij Holwerd, Harlingen en bij Waarde opgebouwd met een zandlichaam waarop 0.7 tot 1.5 m bekledingsgrond is aangegebracht. De boring in het profiel van Holwerd (bijlage 4) is niet representatief voor het hele talud. De proeflocatie aldaar bleek in een verdikking van de bekledingslaag te liggen die daar voor een oprit naar de kruin was aangelegd. De dijk bij Barendrecht was geheel opgebouwd van klei van op het oog homogene samenstelling. De dijken bij Holwerd en bij Harlingen waren veel hoger dan die bij Barendrecht en bij Waarde.

bladnummer : - 24 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

4.1.2 Standaard- bepalingen samenstelling bekledingslagen

In tabel 3 zijn de gegevens over de samenstelling van de monsters van de bekledingslagen vermeld. De bekledingslaag van de dijk bij Holwerd heeft het hoogste lutumgehalte, circa 33 %. De bekledingslaag van de dijk bij Waarde heeft een zeer hoog kalkgehalte, meer dan 25 gew. %. In de bekledingslaag van de dijk bij Harlingen werd veel puin aangetroffen.

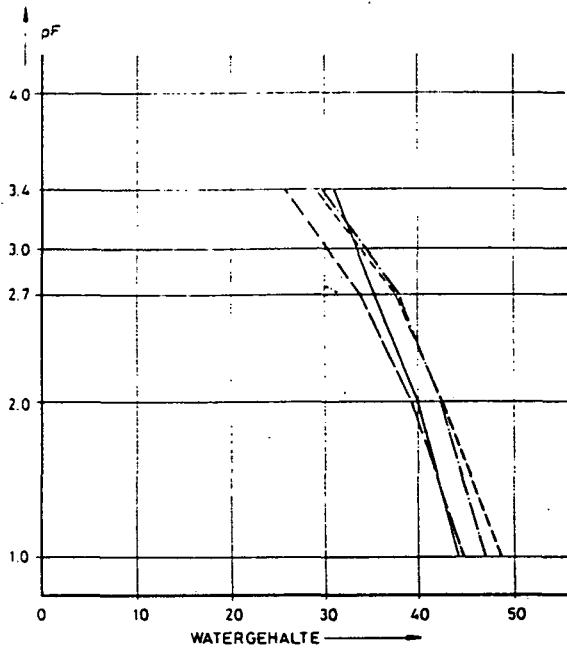
De plasticiteitsindex van de monsters varieert tussen tussen 19 en 39 %, het lutumgehalte tussen 26 en 34 %, het organische stofgehalte tussen 1 en 5% en het kalkgehalte tussen 13 en 27%. Het NaCl- (zout-) gehalte varieert tussen 17 en 404 mg/(kg droge stof) behalve voor de monsters van de nieuw aangelegde dijk bij Holwerd die meer dan 3000 mg/kg bevatten. Het zoutgehalte van de lager gelegen locaties is steeds hoger dan dat van de locaties bij de kruin, evenals de plasticiteitsindex.

De bekleding van de dijk bij Harlingen heeft een relatief hoog gehalte aan deeltjes >2mm. Dit is in overeenstemming met de veldwaarneming die veel puin vermeldt. De monsters van die locatie bevatten net als die van de dijk bij Holwerd relatief veel zand. De lage uitrolgrens van de monsters van de dijk bij Harlingen is echter gerelateerd aan het hoge gehalte aan deeltjes >2mm van het materiaal. Het materiaal is dus relatief grover en de storende werking van grovere deeltjes op de uitvoeringswijze van de proef zal bepalend geweest zijn.

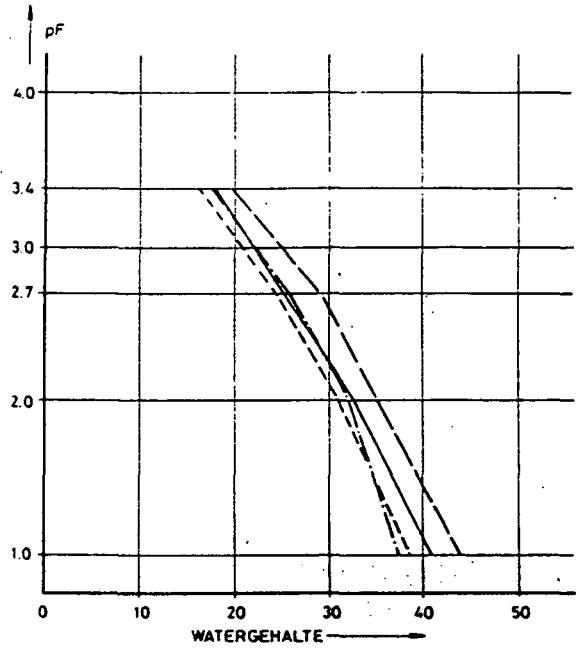
Voor de dijken bij Harlingen en bij Waarde lijken korrelgrootteverdeling, organische stofgehalte, en kalkgehalte van de monsters van de kruin en van de lager gelegen locaties op elkaar. De monsters van de dijk bij Barendrecht vertonen een opmerkelijk verschil in zowel korrelgrootteverdeling als in organische stofgehalte. Deze verschillen komen ook naar voren in de chemische en fysisch- chemische eigenschappen van de monsters van die dijk.

De monsters van de dijk bij Waarde hebben een kalkgehalte (gewichtsverlies door 0.1 N HCl behandeling) van meer dan 25 % wat vergelijkbaar is met het lutumgehalte van die monsters. De overige monsters hebben een kalkgehalte rond 20%.

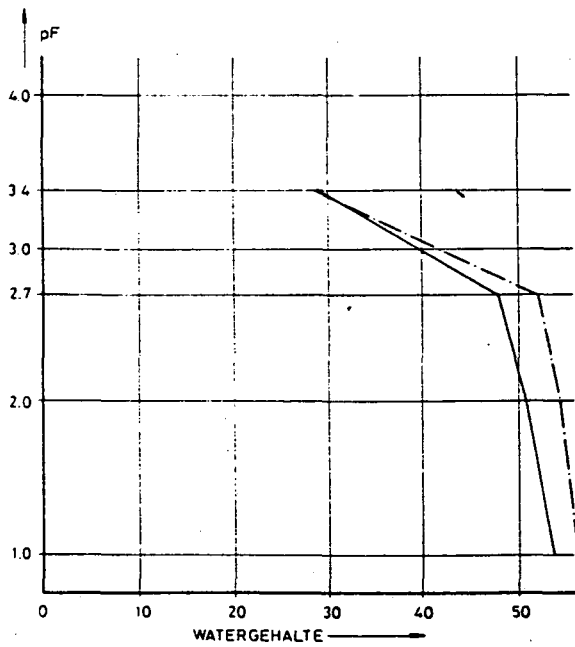
Het organische stofgehalte (gewichtsverlies door waterstofperoxide behandeling) van de monsters bij Harlingen en van de kruinlocatie bij Barendrecht bedraagt 1 tot 1.5%. De overige monsters bevatten 3.5 tot 5% organisch materiaal. Dit verschil tussen de beide groepen monsters is terug te vinden in fysisch- chemische karakteristieken als specifiek oppervlak, kationen uitwisselingscoefficient, en gewichtsverlies bij verhitting boven 100 °C.



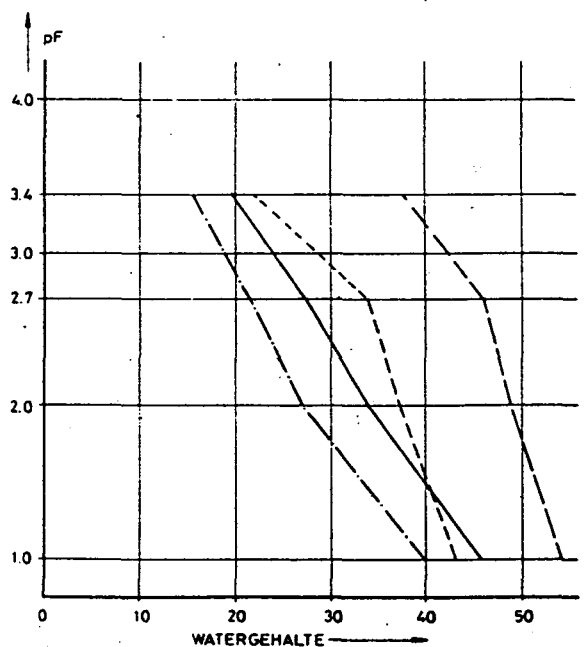
LOKATIE:	Bar. 3	Bar. 2
DIEPTE 0.3m	—	—
0.6m	- - -	- - -



LOKATIE:	Har. 3	Har. 2
DIEPTE 0.3m	—	—
0.6m	- - -	- - -



LOKATIE:	Hol. 3
DIEPTE 0.3m	—
0.6m	- - -



LOKATIE:	Waa. 3	Waa. 2
DIEPTE 0.3m	—	—
0.6m	- - -	- - -

Figuur 4: pF- curves van de onderzochte bekledingen. Watergehalte is in gewichts % en de zuigspanning is met de pF- waarde aangegeven ($pF = 1 + \log(\text{negatieve waerspanning in centimeters waterkolom})$). Bar= Barendrecht; Har= Harlingen; Hol= Holwerd; Waa= Waarde. De toevoeging 2 geeft de teenlocatie aan en 3 geeft de kruinlocatie.



4.1.3 Zuigspannings-(pF) curves

Het watergehalte dat de bemonsterde kleigronden hebben bij een bepaalde negatieve waterspanning, de zuigspanning, is in figuur 4 grafisch weergegeven. De zogenaamde pF-curves in de figuur 4 worden op standaard wijze bepaald waarbij wordt getracht een evenwichtswatergehalte bij de aangelegde zuigspanningen te verkrijgen.

In het algemeen vertonen de pF- curves per onderzochte dijk een geringe spreiding behalve die van de bekledingslaag van de dijk bij Waarde. De watergehaltenes van de bekledingslaag van de pas aangelegde dijk bij Holwerd zijn hoog bij alle bepaalde zuigspanningen, echter nemen sterk af tussen $pF=2.7$ en $pF=3.4$ (50 respectievelijk 250 kN/m^2). De grond van de dijk bij Barendrecht heeft relatief hoge watergehaltenes bij alle aangelegde zuigspanningen. De watergehaltenes van de bekleding van de dijken bij Harlingen van de kruin van de dijk bij Waarde zijn vergelijkbaar en nemen geleidelijk af in het traject tussen $pF= 1.0$ tot $pF= 3.4$ (10 respectievelijk 250 kN/m^2). De watergehaltenes van de bekleding aan de teen van de dijk bij Waarde liggen wat hoger en nemen tussen $pF=10$ en $pF=2.7$ (10 respectievelijk 50 kN/m^2) relatief weinig af om vervolgens tussen $pF=2.7$ en $pF= 3.4$ sterk te dalen. De vorm van de pF-curves van de monsters van de dijk bij Holwerd en van de teen van de dijk bij Waarde is vergelijkbaar, beide vertonen een sterkere afname tussen $pF=2.7$ en $pF=3.4$.

4.1.4 Watergehalte, droge dichtheid en zuigspanning (pF) van de bekledingslagen

De tabel 4 geeft watergehalte, droge dichtheid en de berekende pF-waarde volgens het gemeten watergehalte en de betreffende pF-curve. In de figuur 5 zijn het watergehalte en de droge dichtheid van de monsters uitgezet. De groep monsters die problemen opleverde bij de meting (zie methoden) valt op in de figuur 5 doordat ze als geheel naar hogere droge dichtheid is verschoven. In de figuur 6 zijn het watergehalte en de droge dichtheid van de monsters weergegeven die niet sterk door de verwerking zijn aangetast, deze zijn vermeld in tabel 5. In paragraaf 5.1.1 wordt hier nader op ingegaan.

Het watergehalte van de monsters varieert tussen 9 en 51 gew.%. De hoogste watergehaltenes worden gemeten in de monsters van 0.6 m diepte in de pas aangebrachte bekleding van de dijk bij Holwerd. De diepere monsters van de bekleding van de dijk bij Waarde hebben ook hoge watergehaltenes, met name in het voorjaar. De laagste watergehaltenes worden echter ook in de bekleding van die dijk gemeten en wel in de bovenlaag in zomer en najaar. De bekleding van de dijken bij Harlingen en bij Barendrecht heeft minder variatie in watergehalte, waarbij de bekleding bij Harlingen in het algemeen wat droger is dan die bij Barendrecht.

Tabel 4: Gegevens over de droge dichtheid en het watergehalte van de monsters van de verschillende locaties voor de verschillende bemonsteringsperiodes. Tevens zijn gegevens over de zuigspanningscurves en over de samenstelling in de tabel vermeld.

monster nummer	97	99	120	121	158	160	102	104	126	127	162	164	72	73	108	109	170	172	77	78	112	113	174	176
locatie	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3
datum monstername	860516	860516	860807	860807	861014	861014	860516	860516	860807	860807	861014	861014	860506	860506	860804	860804	861009	861009	860506	860506	860804	860804	861009	861009
monsterdiepte in m	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.70	0.30	0.65	0.30	0.60	0.35	0.60	0.30	0.65	0.30	0.60
droge dichtheid (t/m ³)	1.521	1.498	1.513	1.453	1.290	1.418	1.532	1.471	1.572	1.665	1.239	1.243	1.514	1.512	1.613	1.437	1.402	1.406	1.509	1.636	1.531	1.617	1.440	1.544
watergehalte (gew. %)	27.3	26.1	12.7	15.0	20.7	15.9	23.2	24.6	14.8	18.4	27.4	29.6	21.9	25.8	10.0	11.6	11.2	11.8	21.9	19.1	10.3	12.7	12.2	13.3
verzadigingsgraad (%)	44.5	42.3	20.7	24.4	33.6	25.8	37.5	40.0	24.0	30.0	44.5	48.1	35.3	42.0	16.2	18.8	18.2	19.2	35.4	31.0	16.7	20.7	19.9	21.6
watergehalte bij pF = 2.7 (gew. %)	33.7	37.7					35.4	37.9					28.9	24.3					25.3	26.2				
watergehalte bij pF = 3.4 (gew. %)	25.9	29.0					31.0	29.9					19.7	16.4					17.9	17.8				
zuigspanning (pF) behorend bij bepaalde watergehalte	3.27	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	3.23	2.54	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4	3.02	3.30	>3.4	>3.4	>3.4	>3.4
lutumgehalte (gew. %)	31.0						27.6						29.6						28.4					
organisch materiaal (gew. %)	3.6						1.5						1.2						1.0					
kalkgehalte (gew. %)	20.1						18.5						18.3						18.8					
gehalte afalibaar (16 µm)	62.3						52.3						43.5						42.9					
vloei grens (%)	55.4						44.4						37.4						37.9					

monster nummer	81	82	132	133	166	168	87	88	188	139	152	154	94	95	144	145	148	150
locatie	hol 3	hol 3	hol 3	hol 3	hol 3	hol 3	waa 2	waa 2	waa 2	waa 2	waa 2	waa 2	waa 3	waa 3	waa 3	waa 3	waa 3	waa 3
datum monstername	860507	860507	860805	860805	861010	861010	860515	860515	860806	860806	860930	860930	860515	860515	860806	860806	860930	860930
monsterdiepte in m	0.30	0.65	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.70	0.30	0.60	0.40	0.60	0.30	0.70	0.30	0.60	0.30	0.60
droge dichtheid (t/m ³)	1.205	1.112	1.216	1.183	1.216	1.129	1.583	1.131	1.471	1.241	1.451	1.469	1.568	1.224	1.453	1.563	1.441	1.179
watergehalte (gew. %)	40.1	51.0	40.0	45.1	31.6	47.0	19.3	42.3	13.8	32.4	11.3	12.8	23.8	33.0	9.0	20.0	9.6	18.7
verzadigingsgraad (%)	65.7	82.9	65.0	73.4	51.3	76.4	31.3	69.3	22.4	52.6	18.4	20.8	39.0	53.6	14.7	32.5	15.7	30.5
watergehalte bij pF = 2.7 (gew. %)	47.9	52.0					46.1	33.7					27.5	21.4				
watergehalte bij pF = 3.4 (gew. %)	28.8	28.7					37.6	21.8					19.6	15.5				
zuigspanning (pF) behorend bij bepaalde watergehalte	2.98	2.73	2.99	2.91	3.30	2.85	>3.4	1.12	>3.4	2.78	>3.4	>3.4	3.03	1.53	>3.4	2.86	>3.4	3.02
lutumgehalte (gew. %)	33.1						20.6	27.6					26.1					
organisch materiaal (gew. %)	4.8						1.2	4.1					4.7					
kalkgehalte (gew. %)	19.9						13.7	27.0					25.2					
gehalte afalibaar (16 µm)	53.8						31.3	57.4					54.7					
vloei grens (%)	70.3						32.5	65.2					64.8					



Tabel 5: Gegevens over de droge dichtheid en het watergehalte van de monsters van die locaties waar de bepaling van de droge dichtheid geen problemen heeft opgeleverd.

monsternummer	97	99	120	121	158	160	102	104	126	127	162	164	72	73	108	109	170	172	77	78	112	113	174	176
locatie	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 2	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3	bar 3
datum monsternama	860516	860516	860807	860807	861014	861014	860516	860516	860807	860807	861014	861014	860506	860506	860804	860804	861009	861009	860506	860506	860804	860804	861009	861009
diepte van monster in m	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.70	0.30	0.65	0.30	0.60	0.35	0.60	0.30	0.65	0.30	0.60
droge dichtheid (t/m ³)					1.290						1.239	1.243				1.437	1.402	1.406			1.531		1.440	
watergehalte (gew. %)	27.3	26.1	12.7	15.0	20.7	15.9	23.2	24.6	14.8	18.4	27.4	29.6	21.9	25.8	10.0	11.6	11.2	11.8	21.9	19.1	10.3	12.7	12.2	13.3
verzadigingsgraad (%)	44.5	42.3	20.7	24.4	33.6	25.8	37.5	40.0	24.0	30.0	44.5	48.1	35.3	42.0	16.2	18.8	18.2	19.2	35.4	31.0	16.7	20.7	19.9	21.6
watergehalte bij pF = 2.7	33.7	37.7					35.4	37.9					28.9	24.3					25.3	26.2				
watergehalte bij pF = 3.4	25.9	29.0	25.9	29.0	25.9	29.0	31.0	29.9	31.0	29.9	31.0	29.9	19.7	16.4	19.7	16.4	19.7	16.4	17.9	17.8	17.9	17.8	17.9	17.8
zuigspanning (pF)	3.27	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.23	2.54	3.4	3.4	3.4	3.4	3.02	3.30	3.4	3.4	3.4	3.4

monsternummer	81	82	132	133	166	168	87	88	138	139	152	154	94	95	144	145	148	150
locatie	hol 3	hol 3	hol 3	hol 3	hol 3	hol 3	waa 2	waa 2	waa 2	waa 2	waa 2	waa 2	waa 3	waa 3	waa 3	waa 3	waa 3	waa 3
datum monsternama	860507	860507	860805	860805	861010	861010	860515	860515	860806	860806	860930	860930	860515	860515	860806	860806	860930	860930
diepte van monster in m	0.30	0.65	0.30	0.60	0.30	0.60	0.30	0.70	0.30	0.60	0.40	0.60	0.30	0.70	0.30	0.60	0.30	0.60
droge dichtheid (t/m ³)	1.205	1.112	1.216	1.183	1.216	1.129		1.131	1.471	1.241	1.451			1.224	1.453		1.441	
watergehalte (gew. %)	40.1	51.0	40.0	45.1	31.6	47.0	19.3	42.3	13.8	32.4	11.3	12.8	23.8	33.0	9.0	20.0	9.6	18.7
verzadigingsgraad (%)	65.7	82.9	65.0	73.4	51.3	76.4	31.3	69.3	22.4	52.6	18.4	20.8	39.0	53.6	14.7	32.5	15.7	30.5
watergehalte bij pF = 2.7	47.9	52.0					46.1	33.7					27.5	21.4				
watergehalte bij pF = 3.4	28.8	28.7	28.8	28.7	28.8	28.7	37.6	21.8	37.6	21.8	37.6	21.8	19.6	15.5	19.6	15.5	19.6	15.5
zuigspanning (pF)	2.98	2.73	2.99	2.91	3.30	2.85	3.4	1.12	3.4	2.78	3.4	3.4	3.03	1.53	3.4	2.86	3.4	3.02

Tabel 6: Beworteling en het voorkomen van bioporien (graafgangen op de verschillende locaties voor de 3 bemonsteringsperiodes

monsternummer	97	120	158	102	126	162	72	108	170	77	112	174	81	132	166	87	138	152	94	144	148
locatie	bar2	bar2	bar2	bar3	bar3	bar3	bar2	bar2	bar2	bar3	bar3	bar3	hol3	hol3	hol3	waa2	waa2	waa2	waa3	waa3	waa3
datum bepalingen	860516	860807	861014	860516	860807	861014	860506	860804	861009	860506	860804	861009	860507	860805	861010	860515	860806	860930	860515	860806	860930
infiltratiesnelheid (m/a)				2.15	5.82	3.38				4.10	2.58	7.63	0.11	0.13	0.84				8.35	3.33	5.31
diepte matige beworteling	0.25	0.20	0.25	0.15	0.30	0.25	0.15	0.20	0.25	0.20	0.20	0.30	0.00	0.18	0.35	0.35	0.30	0.20	0.40	0.35	0.30
diepte intensieve beworteling	0.05	0.07	0.10	0.00	0.10	0.10	0.00	0.07	0.15	0.00	0.08	0.15	0.00	0.18	0.20	0.10	0.15	0.20	0.12	0.17	0.30
wormgangen (3 mm) per dm ²	0.50	2.00	0.50	2.00	2.00	0.50	0.07	0.10		0.07	0.10	1.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.10	0.20	0.20	0.10	0.25
kleine (insekten) graafgangen per dm ²	1	1	2	1	2	1	1	2		3	3	8	0	0	0	1	1	3	1	1	4
mollogangen per kuil	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0



De droge dichtheid varieert tussen 1.1 en 1.55 indien alleen de monsters waarvan de droge dichtheid bepaling geen problemen opleverde worden beschouwd (zie methoden). De droge dichtheid van de monsters van de bekleding bij Holwerd is laag circa 1.1 tot 1.22 t/m³. De monsters van bekleding van de dijk bij Harlingen hebben in het algemeen de hoogste droge dichtheid. Een monster (kruin bij Waarde) heeft een opvallend lage droge dichtheid en zal niet voor verdere beschouwingen in aanmerking worden genomen.

De zuigspanning die volgens de pF-curves (figuur 4) bij de gemeten watergehalten heerst, ligt voor veel monsters boven de pF = 3.4 waarde (250 kN/m²); de hoogst bepaalde waarde voor de curven. Behalve de monster die in het voorjaar zijn genomen hebben bijna alle monsters van de dijken bij Barendrecht en bij Harlingen watergehalten die bij een zuigspanning van meer dan 250 kN/m² horen. Deze zuigspanningen zijn in het algemeen veel hoger dan de waarden rond 100 kN/m² die de monsters van het onderzoek in 1985 aangaven en die de basis voor de pF- curve bepaling voor 1986 vormden.

4.1.5 Bewortelingsdiepte en structuur van de bekledingslagen

In de bijlage 6 wordt de structuur van de onderzochte locaties beschreven. In de tabel 6 staan de bewortelingsdieptes en het voorkomen van graafgangen van insecten, wormen en mollen vermeld. De richting en de helling van spleten, scheuren en andere plaatvormige discontinuïteiten in de grond staan in de figuur 7 grafisch weergegeven. De figuur 8 geeft een overzicht van hellingen en van de richtingen ten opzichte van de taluds.

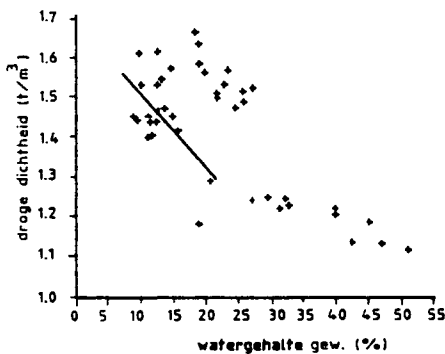


fig. 5

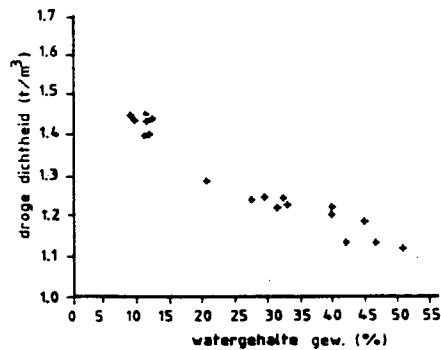


fig. 6

Figuur 5: Watergehalten en de daarbij gemeten droge dichtheid van de onderzochte bekledingen. N.B. Een groep monsters heeft een relatief hoge droge dichtheid voor het bijbehorende watergehalte als gevolg van bewerking van de vaak kruimelige monsters voor de bepalingen. In figuur 6 is deze groep monsters weggelaten.

Figuur 6: Watergehalten van de monsters van de onderzochte bekledingen en de daarbij gemeten droge dichtheden voor monsters waarbij deze bepaling geen problemen opleverde. De punten geven een lineair verband tussen watergehalte en droge dichtheid aan.

bladnummer : - 30 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

De bovenste centimeters van de grond heeft op bijna alle locaties een kruimelige structuur. Deze laag, maar dan iets grover ontwikkeld gaat tot ongeveer .3 m diepte bij de kruin van de dijk bij Harlingen. Bij de teen van de dijk bij Waarde is deze laag weinig ontwikkeld. In mei is deze laag nog niet gevormd in de nog kale juist aangebrachte bekledingslaag op de dijk bij Holwerd.

Onder de kruimelige toplaag wordt een laag van .2 tot .3 m dikte met een fijne blokkige structuur aangetroffen. Een laag met een fijnblokkige structuur heeft zich ook reeds gevormd in mei op de dijk bij Holwerd.

Onder de fijnblokkige laag heeft de grond een grovere structuur. Op de meeste locaties is dit een verticale prismatische structuur met daarbij een groffe blokkige structuur. Op de locaties bij Harlingen is de structuur echter zwak ontwikkeld en voornamelijk prismatisch. Onder de fijne blokkige structuur is de bekledingslaag van de dijk bij Holwerd in het voorjaar nog massief op een paar fijne spleten na. In de zomer tekenen zich echter duidelijke prismatische kolommen in de grond af en in het najaar is er zelfs al een blokkige structuur in de bovenkant van deze kolommen gevormd.

De onderste decimeters van de bekleding van de dijk bij Waarde laat zich het best beschrijven als een laag van losse harde kleibrokken van 1 tot 3 dm³ met spleten van meer dan 20 mm daartussen.

In de zomer tekenen zich op de locaties bij Barendrecht grote verticale scheuren van 5 tot 15 mm breedte af. In het najaar is de breedte van die scheuren tot 2 tot 5 mm gereduceerd. In Harlingen zijn dergelijke scheuren met een breedte van 2 tot 5 mm pas in het najaar in de grond aanwezig.

De bekleding van de dijk bij Holwerd is in het voorjaar van 1986 aangebracht. In het voorjaar is de bekleding dan ook nog massief onder een 0.2 m dikke blokkige laag. De opnames in mei en augustus vermelden het voorkomen van resten van een platige structuur in de bovenste decimeters die echter door de vorming van een blokkige en kruimelige structuur wordt aangetast. De ondergrond vertoont in de zomer reeds een prismatische structuur. De grijze tot donker grijze grond van de bekledingslaag krijgt in toenemende mate roestkleurige vlekken vooral langs scheuren in de grond.

In de doorworteling van de bovengrond van de onderzochte locaties worden een zone van intensieve en een zone van matige doorworteling onderscheiden (zie tabel 6). De zone van intensieve doorworteling is veelal minder dan 0.1 m diep. In de dijk bij Waarde dringt de intensieve beworteling volgens de profielbeschrijving tussen voor- en najaar van 0.1 tot meer dan 0.2 m de grond in. Deze ontwikkeling treedt ook op in de dijk bij Holwerd, echter de grasmat ontwikkelde zich daar pas na de opnames in mei. De zone met matige doorworteling

bladnummer : - 31 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

is veelal 0.2 tot 0.3 m diep. De doorworteling van de dijk bij Waarde is echter gemiddeld wat dieper, 0.3 tot 0.4 m, vooral de locaties bij de berm. De zone van matige doorworteling is gemiddeld het minst diep, circa 0.2 m, voor de dijk bij Harlingen.

Graafgangen van dieren (zie tabel 6) werden nog niet aangetroffen in de bekleding van de pas aangelegde dijk bij Holwerd. De dijk bij Barendrecht heeft relatief veel wormgangen (groter dan ongeveer 3 mm diameter), tot 2 per dm^2 en de dijk bij Harlingen relatief weinig, 1 per 10 dm^2 of minder. De dijk bij Harlingen had echter driemaal zoveel kleine graafgangen (van waarschijnlijk hoofdzakelijk insecten) dan de overige dijken. De opnames in het najaar van de dijk bij Waarde vermelden ook een sterk gestegen aantal van deze kleine graafgangen, 4 per dm^2 in tegenstelling tot 1 per dm^2 in voorjaar en zomer.

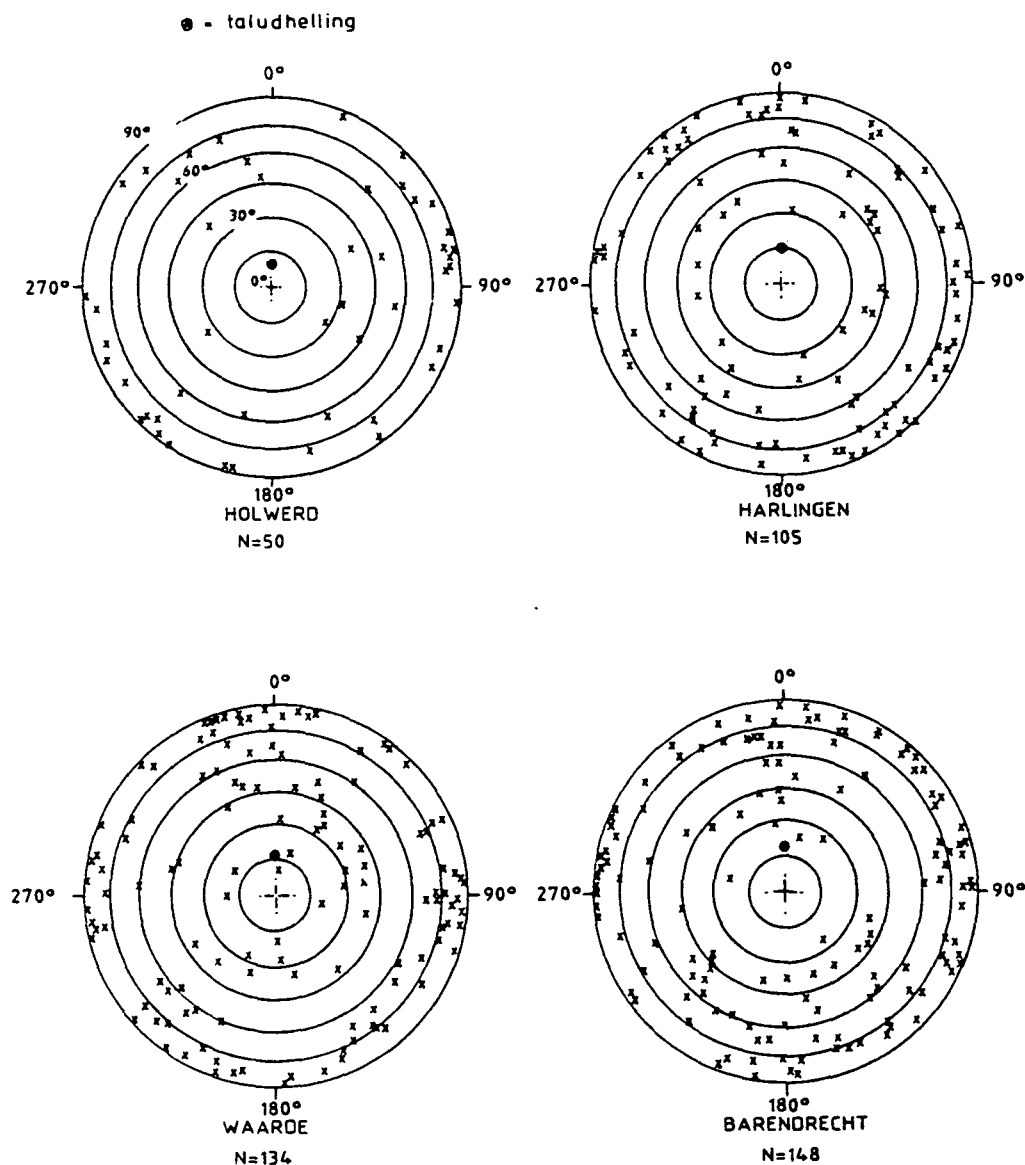
De bekleding van de dijk bij Waarde bleek op verschillende plaatsen zandlenzen te bevatten die naar vorm en maat te oordelen het gevolg waren van de graafactiviteiten van waarschijnlijk konijnen.

4.1.6 Hellingmetingen aan spleten en scheuren

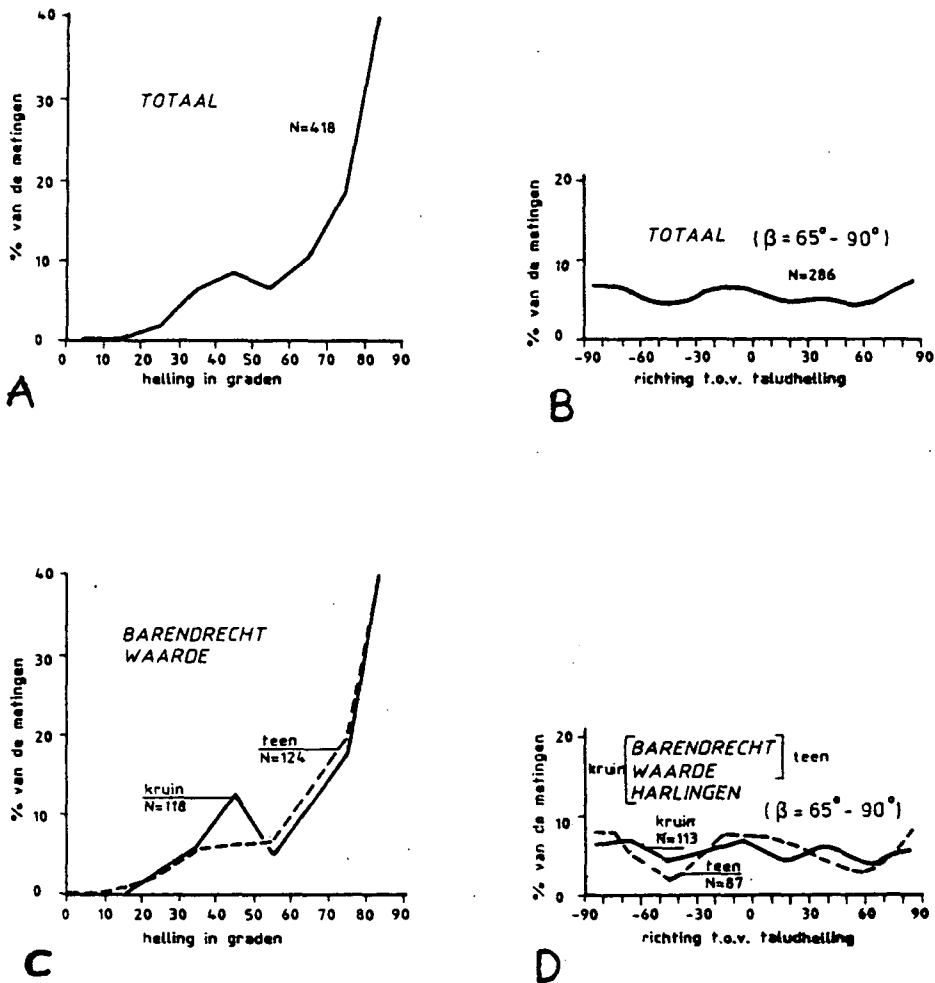
In de figuren 7 en 8 zijn de gegevens van de hellingmetingen van de plaatvormige discontinuïteiten in stereografische projectie en als polygonen weergegeven.

In tegenstelling tot de bepalingen in 1985 vertoont de richting van de hellingen van de subverticale discontinuïteiten ten opzichte van de taludhelling geen duidelijke pieken rond de 0° en 30° links en rechts van de taludhelling (N.B. in figuren zijn de richtingen van de normalen op de helling weergegeven). Slechts de bekleding van de dijk bij Harlingen en enigszins die van de kruin van de dijken bij Waarde en Barendrecht laten een dergelijk beeld zien. Eerder is er sprake van preferentie van de discontinuïteiten evenwijdig en loodrecht op de richting van de taludhelling. Deze preferenties zijn uitgesproken voor de locaties aan de teen bij Barendrecht en bij Waarde. Er is een kleine toename in frequentie voor richtingen rond de 50° ten opzichte van de taludhellingsrichting.

De metingen aan de kruin vertonen een piek voor spleten onder een hoek van ongeveer 45° met de verticaal. Aan de teen is er slechts sprake van een iets hogere score dan de trend van de grafiek (zie figuur 8c). De metingen in de pas aangelegde dijk bij Holwerd laten zien dat de meeste scheuren daar evenwijdig aan de richting van taludhelling lopen.



Figuur 7: De richting van normalen op plaatvormige discontinuïteiten zoals spleten en schuifvlakjes in de bekledingslagen. De richting van de normalen is aangegeven ten opzichte van de taludhelling. De helling ten opzichte van de verticaal (0°) is met de afstand tot het middelpunt aangegeven. De waarnemingen van de teen- en de kruinlocaties zijn in hetzelfde diagram geplaatst. N geeft het aantal waarnemingen aan.



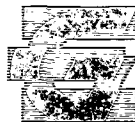
Figuur 8:

A: De helling van normalen van de bij figuur 7 beschreven discontinuïteiten gesommeerd voor alle locaties (418 waarnemingen). Behalve een groep verticale spleten is er een duidelijke groep hellingen rond 45° .

B: De richting ten opzichte van de taludhellingsrichting van alle bij figuur 7 beschreven discontinuïteiten die minder dan 25° van de verticaal afwijken (normalen van 65° tot 90° , glijdend gemiddelde over 15°), dus van de verticale en subverticale spleten. Er blijken pieken in aantallen waarnemingen te bestaan voor spleten evenwijdig aan het talud en voor spleten loodrecht op de taludhellingrichting. Daarnaast is er een kleine toename in frequentie voor richtingen rond 50° (normalen 40°) ten opzichte van de taludhellingsrichting.

C: Vergelijking van de hellingen van normalen voor de teen en kruinlocaties van Waarde en Barendrecht (beide met de teenlocatie op ongeveer 1 m boven het voorland). Op de kruinlocaties blijken de hellingsrichtingen rond de 45° vaker voor te komen dan aan de teen.

D: Vergelijking van de richting van verticale en subverticale spleten tussen kruinlocaties en locaties op 1 m boven het voorland van de dijken. De teenlocaties vertonen voorkeuren voor richtingen evenwijdig en loodrecht op het talud. De kruinlocaties vertonen daarnaast nog een piek in waarnemingen voor discontinuïteitrichtingen rond de 50° ten opzichte van de taludhellingsrichting.



4.1.7 Chemische en fysisch- chemische bepalingen (zie tabel 3)

Het specifieke oppervlak van de monsters varieert tussen 110 en 163 m² per gram droge stof. De kationenuitwisselingscoëfficiënt varieert tussen 27 en 42 milligramequivalenten (meq) per 100 gram droge stof en lijkt gerelateerd aan het specifiek oppervlak (zie ook figuur 20).

De kationenbezetting van het vaste stof oppervlak reflecteert deels het NaCl- gehalte van de grond door de hoeveelheid Natrium- ionen die aan het oppervlak van de vaste stof zijn geadsorbeerd. Deze Na- verzadiging domineert in monsters van de pas aangebrachte bekleding van de dijk bij Holwerd het complex. Ook het monster van de onderste locatie bij Waarde met een relatief hoog NaCl- gehalte heeft een hoge Na- verzadiging. De Magnesium verzadiging van de monsters vertoont dezelfde trend als het NaCl- gehalte behalve voor de zeer zoute monsters van de dijk bij Holwerd. De Kalium- verzadiging is vergelijkbaar met de Na- verzadiging behalve dat het verschil in Na- verzadiging voor de locaties op de dijk bij Waarde niet in de Kalium verzadiging optreedt. In het algemeen hebben de monsters van de dijken bij Holwerd en bij Waarde een hoge Kalium en Magnesium verzadiging en daarnaast een hoge Natrium verzadiging met uitzondering van het monster genomen bij de kruin van de dijk bij Waarde.

Het gewichtsverlies van de monsters in het traject van 100 naar 180° C varieert tussen 1.4 en 2.4%. Globaal reflecteert dit het specifieke oppervlak en de kationenuitwisselingscoëfficiënt. Daarnaast komt de bindende werking van zout voor het geadsorbeerde water naar voren vooral in het hoge gewichtsverlies van het monster van de zoute kleigrond van de dijk bij Holwerd. De lineaire relatie tussen vloeigrens en gewichtsverlies van de monsters tussen 100 en 180°, zoals die hiervoor reeds werd gerapporteerd (GD 1986), gaat eveneens op voor de hier besproken monsters (zie ook figuur 17).

De hoeveelheden in loog en in zuren oplosbare organische stof, huminezuur en fulvozuur, volgen in grote lijnen de hoeveelheid organisch materiaal zoals bepaald met de standaard waterstofperoxide methode. Opvallend is echter wel de zeer lage gehalten van deze soorten organisch materiaal in de monsters van de dijk bij Harlingen. Wellicht is het in dit verband van belang te wijzen op het zeer lage gehalten aan deeltjes <16µ en de hoge gehalten aan zand en grind van de monsters van de bekleding aldaar (opgemerkt wordt dat er een relatief hoog lutumgehalte is bepaald). Het is waarschijnlijk dat er vanwege het relatief lage specifieke oppervlak van deze afzettingen relatief weinig macromoleculair- verdeelde organische stof in de grond achterblijft.



4.2 Nucleaire watergehalte- en dichtheidsbepalingen in situ

In de bijlagen 7A tot en met 7U zijn de resultaten van de nucleaire in situ bepalingen van droge dichtheids- en watergehalte bepalingen grafisch weergegeven.

De verzadigingsgraad vertoont de opvallendste variaties die in de figuren 9, 10, 11 en 12 worden weergegeven welke in een aparte paragraaf worden behandeld. In het algemeen daalt de verzadigingsgraad van voorjaar tot zomer. De metingen in het najaar geven aan dat er een zone met een hogere verzadigingsgraad van het dijkoppervlak naar beneden doordringt.

In het algemeen zijn de vocht- gehalte en dichtheidsbepalingen met de neutronen- en gamma- sonde voor de bekledingslaag van de onderzochte dijken vergelijkbaar met de gravimetrische bepalingen aan monsters in het laboratorium (deze zijn aangegeven op de bijlagen 7A tot en met 7U). De vochtgehalten bepaald in het laboratorium zijn echter vaak hoger en de droge dichtheid is vaak lager. Dit laatste is mogelijk een gevolg van het wijken of scheuren van de grond rond de meetbuis door krimpen van de grond.

In Barendrecht is de voornoemde afwijking in voor- en najaar uitgesproken, in de zomer is er echter bijna geen afwijking. In Harlingen is de in het laboratorium bepaalde droge dichtheid steeds lager in de onderste locatie en is het watergehalte in het voorjaar relatief hoog vergeleken met de nucleaire metingen. De locatie bij de kruin vertoont weinig afwijkingen. De voornoemde afwijking geldt in geringe mate voor de dijk bij Holwerd. De afwijkingen in watergehalte van de locaties bij Waarde vallen in het laboratorium steeds hoger uit en de afwijkingen tussen de beide dichtheidsbepalingen zijn daar variabel.

4.2.1 Korte beschrijving van de watergehalte en droge dichtheids profielen (zie bijlage 7)

Barendrecht: Het watergehalte vertoont weinig variatie van voor- tot najaar, echter is in augustus en oktober lager dan in het voorjaar. In de zomer wordt een lagere droge dichtheid geregistreerd die mogelijk het gevolg is van het vrijkomen van de standpijp door krimpen en scheuren van de grond. De afname van de gemeten droge dichtheid in de zomer betreft het gehele profiel. In het najaar heeft de grond in het algemeen een hogere droge dichtheid. Bij de teen en bij de kruin zijn de variaties in verzadigingsgraad tot ongeveer 1.5 m diepte zeer groot.

Harlingen: Het watergehalte van de bekledingslaag is in zomer en najaar lager dan in het voorjaar. De droge dichtheid van deze laag is dan eveneens lager. Het vochtgehalte van het onderliggende zand is in zomer en najaar eveneens lager. Er is echter een geringe toename van

bladnummer : - 36 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



watergehalte te constateren in het najaar onderin het profiel van de lager gelegen locatie.

Holwerd: Er is zeer weinig variatie in droge dichtheid en in watergehalte in zowel de bekledingslaag als in het zandlichaam.

Waarde: Het watergehalte van de bekledingslaag is in het voorjaar relatief hoog en is in zomer en najaar lager en verandert weinig. De droge dichtheid van het profiel bij de kruin laat weinig variatie zien. Een kleiige zandlaag in het profiel aan de teen van de dijk heeft in het najaar in lagere droge dichtheid (wellicht veroorzaakt door het door krimpen en scheuren vrijkomen van de meetbuis.)

4.2.2 Verzadigingsgraad

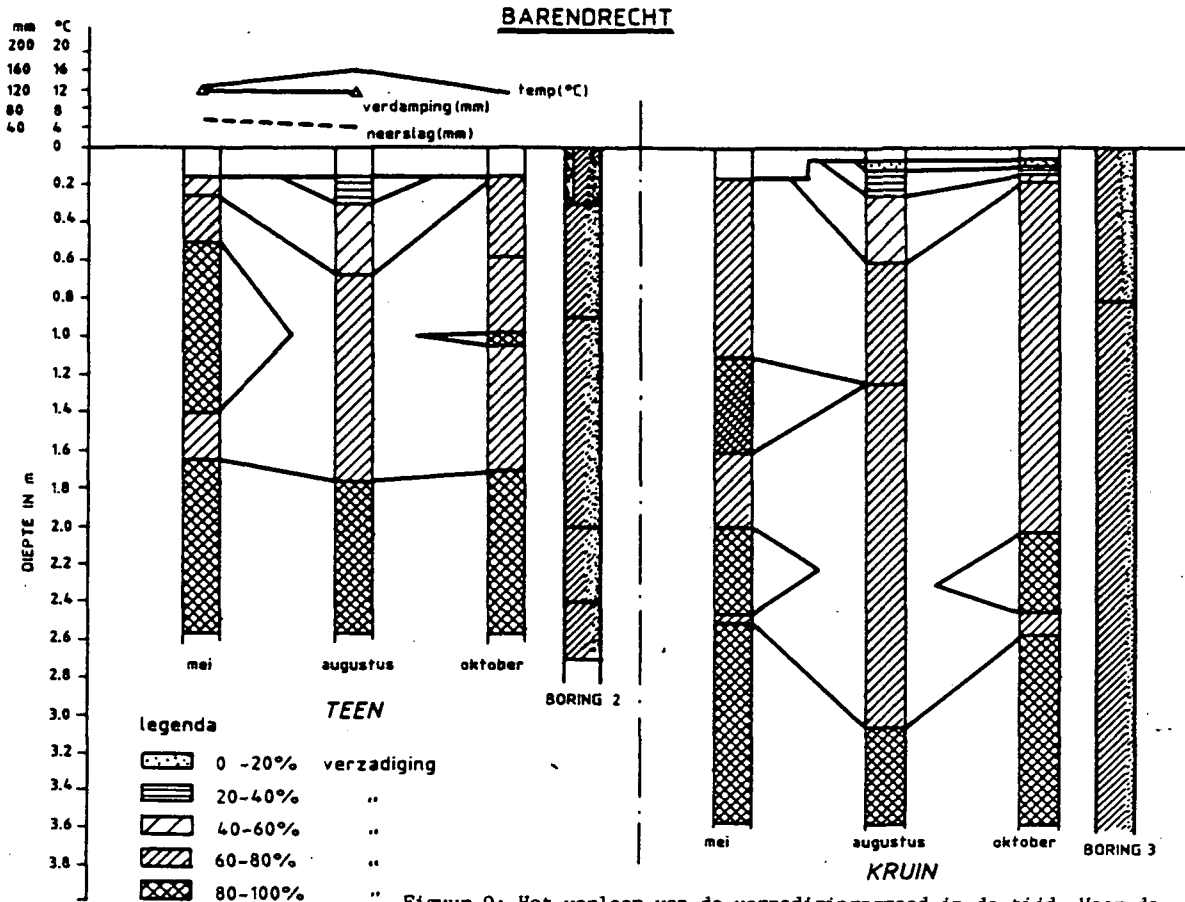
In de verzadigingsgraad zijn zowel veranderingen in vochtgehalte (gewicht water per gewicht grond) als veranderingen in dichtheid verwerkt (massa grond per volume). De verzadigingsgraad zoals bepaald aan de hand van de nucleaire metingen vertoont grote variaties die een systematisch verloop in veranderingen in de grond gedurende de proefperiode van mei tot oktober laten zien.

De geheel uit siltige klei opgebouwde bovenste meters van de dijk bij Barendrecht heeft in voor- en najaar een relatief hoge verzadigingsgraad, 60 tot 80%. In de zomer daalde de verzadigingsgraad in de bovenste 0.6 tot 0.7 m echter tot waarden die in de overige dijken zowel in zomer als in najaar werden aangetroffen. Op de kruinlocatie droogt een zone tussen 1.3 tot 1.6m uit van 80- 100 % verzadigingsgraad in het voorjaar tot 60 tot 80 % in augustus. Ook daalt de zone met 80 tot 100% verzadiging onderaan bij de kruinlocatie van 2 naar meer dan 3 m in de zomer. Deze zone heeft een relatief constante hoogteligging bij de locatie aan de teen.

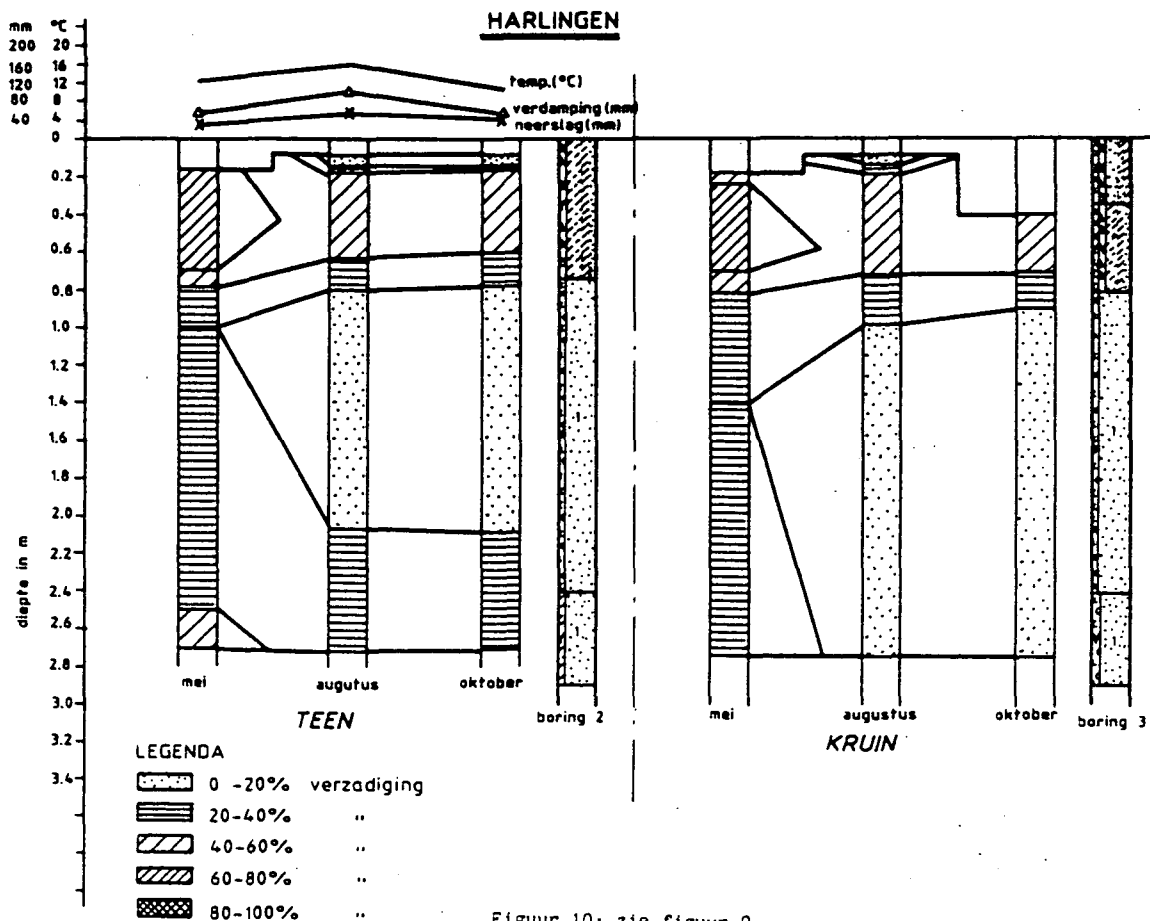
De verzadigingsgraad van de bekledingslaag van de dijk bij Harlingen daalt in de periode tussen mei en augustus van 60- 80% naar 40- 60 %. De bovenste 0.2 m drogen nog verder in. De situatie van augustus zet zich voort tot in oktober. De zandkern van de dijk droogt tussen voorjaar en zomer uit. De onderste locatie laat zien dat de uitdroging van bovenaf plaatsvindt. De onderzijde van de bekleding droogt eveneens in tot tenminste 0.2 m van de grens van zand en bekledingsklei. In beide locaties geeft het verloop van de verzadigingsgraad aan dat het zand in de buurt van de kleilaag enigszins meer verzadigd is dan het zand daaronder.



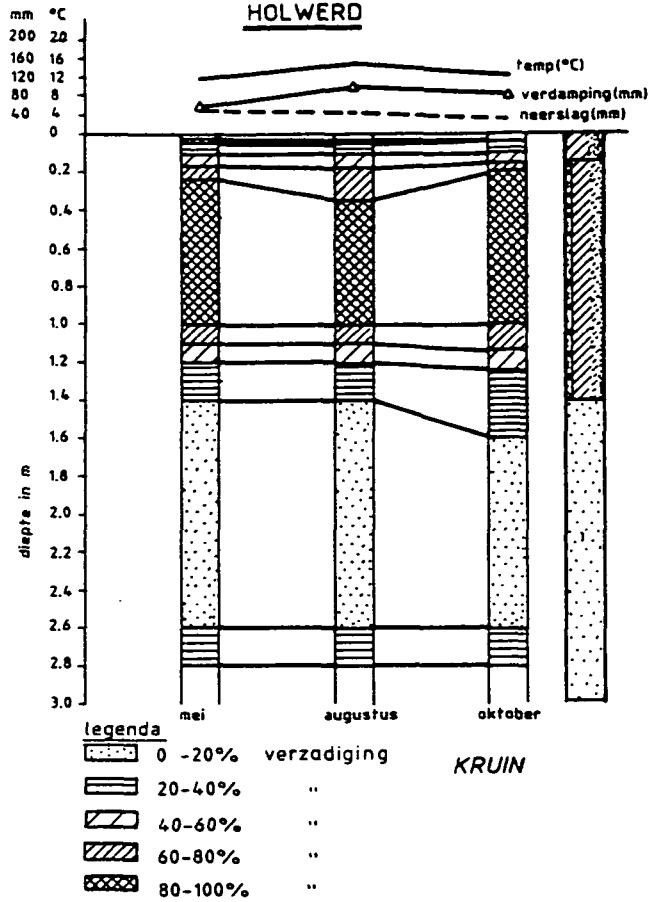
bladnummer : - 37 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



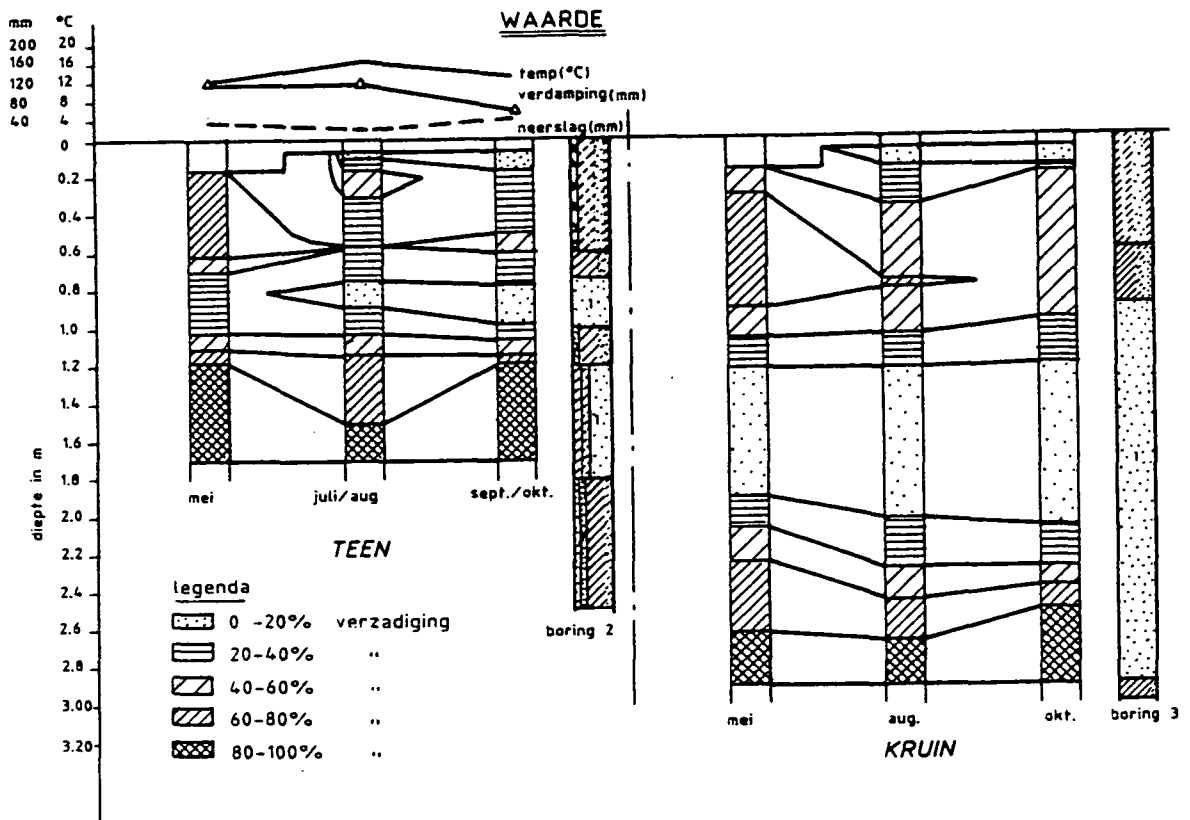
Figuur 9: Het verloop van de verzadigingsgraad in de tijd. Voor de metingen in mei, augustus en oktober zijn de waarnemingen met de NEA-sonde uitgezet tegen de diepte, tevens is de bijbehorende boorkolom getekend (zie bijlage 1 voor legenda) en is het verloop van de gemiddelde verdamping, neerslag en temperatuur aangegeven.



Figuur 10: zie figuur 9.



Figuur 11: zie figuur 9.



Figuur 12: zie figuur 9.



De in 1986 aangebrachte kleibekleding van de dijk bij Holwerd blijft het gehele jaar door een hoge verzadigingsgraad houden. De bovenste 0.25 m vertonen echter een sterke gradient in voor- en najaar en in de zomer beslaat de afname van de verzadigingsgraad de bovenste .35 m. Het zandlichaam van de dijk heeft een zeer lage verzadigingsgraad tot 2.6 m diepte. De geringe toename in verzadiging daarbeneden is gezien de zeer constante ligging een gevolg van een in de boring niet opgemerkt verschil in materiaalsamenstelling. Evenals in de dijken bij Harlingen en Waarde vertoont het zand nabij de kleilaag een enigszins hogere verzadigingsgraad terwijl deze afneemt in de bekledingslaag nabij het contact met het zand.

De bekledingslaag van de dijk bij Waarde laat hetzelfde beeld zien als die van de dijk bij Harlingen. De verzadigingsgraad daalt tussen mei en augustus en is in oktober nog steeds laag. Bij de locatie aan de teen daalt de verzadigingsgraad echter zeer sterk. De zone met hoge verzadigingsgraad in een kleiige zandlaag op 1.2m diepte bij de locatie aan de teen daalt aanmerkelijk. Voor de locatie bij de kruin is er eerder sprake van een geleidelijke daling van de ligging van de zones met hogere verzadigingsgraad. Het zand bij de bekledingslaag bij de kruinlocatie heeft evenals in de dijk bij Harlingen een hogere verzadigingsgraad ten opzichte van het eronderliggende zand. De waarnemingen in augustus laten het effect van enige dagen met hoge neerslag zien in de bovenste 0.3 m.

In het algemeen vertonen de vier onderzochte dijken een sterk dalen van de verzadigingsgraad (bepaald aan de hand van nucleaire metingen) van de bekledingslaag tussen voorjaar en zomer. De verzadigingsgraad blijft laag in het najaar voor de dijken met een zandkern. De verzadigingsgraad van de bovenste meters in de dijk bij Barendrecht neemt in het najaar echter weer toe tot een niveau vergelijkbaar met het voorjaar.

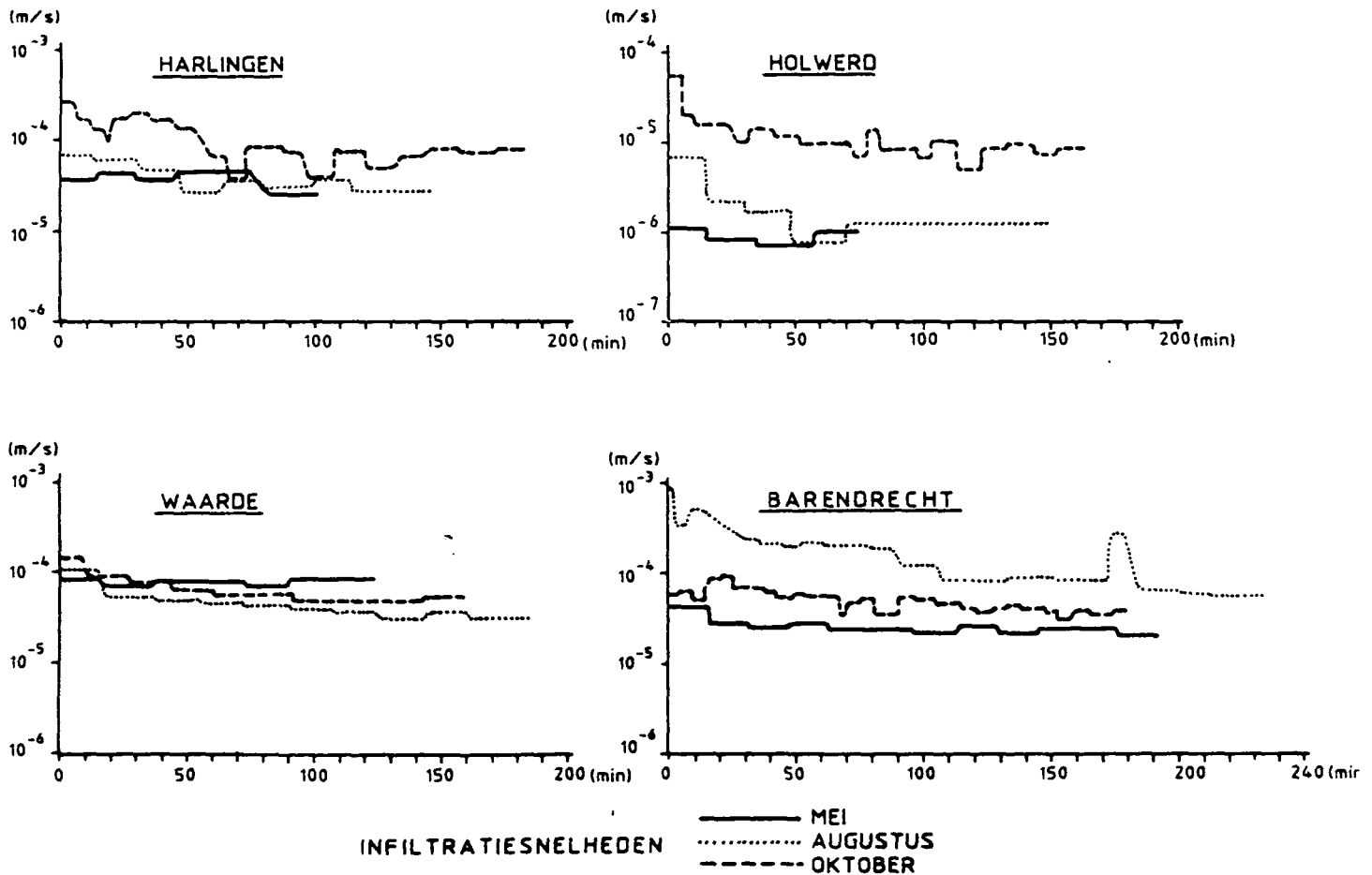
Het zand van de kern in de buurt van de bekledingslaag heeft een hoger vochtgehalte dan het daaronder gelegen zand bij alle dijken met een zandkern. De bekledingslaag heeft een lagere verzadigingsgraad bij het contact met het zandlichaam.

4.3 Infiltratieproeven

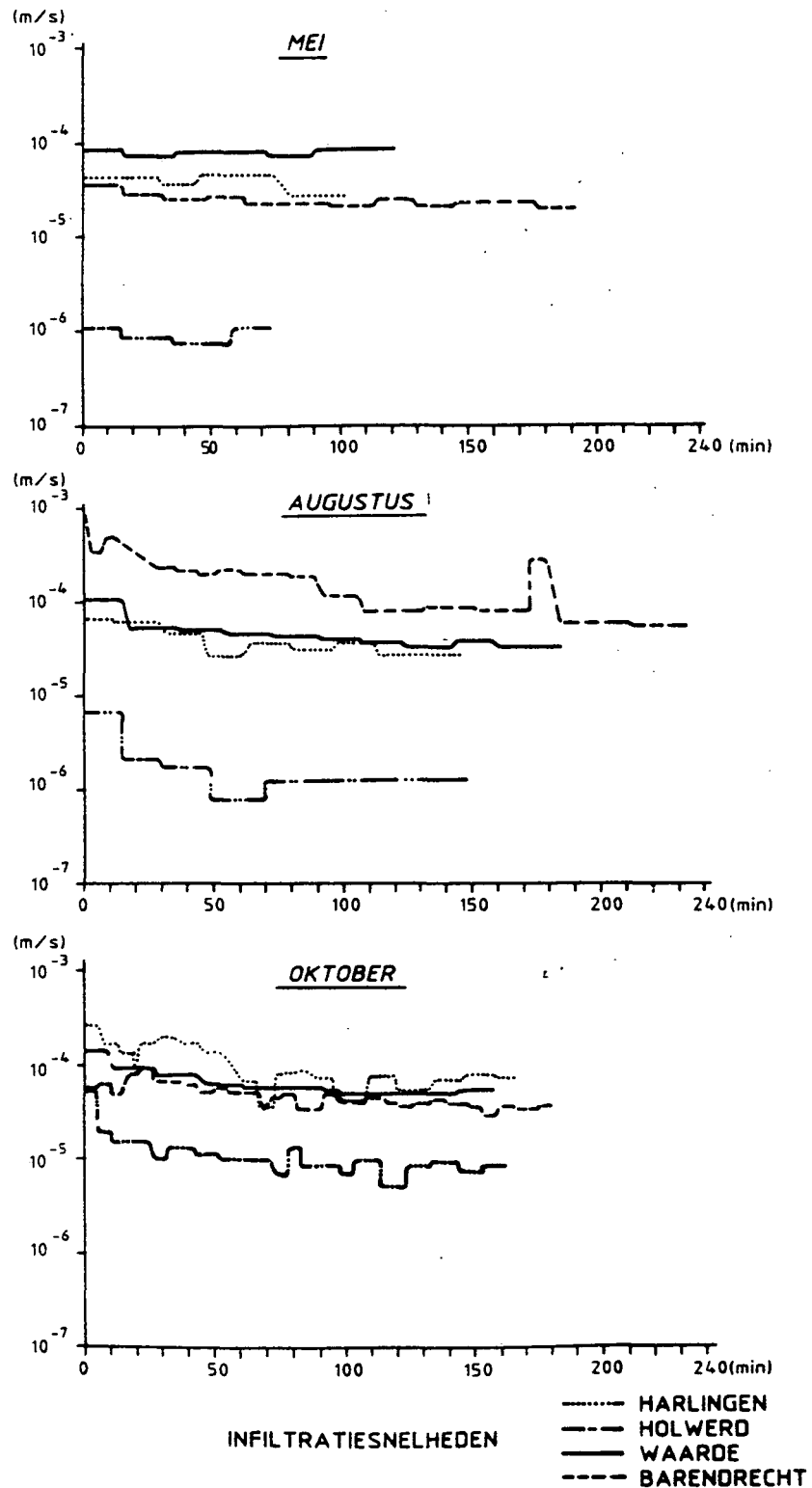
De resultaten van de infiltratieproeven zijn in de figuren 13 en 14 grafisch weergegeven. De infiltratiesnelheid aan het eind van de proef varieert tussen ongeveer 2 en 10×10^{-5} m/s behalve voor de pas aangelegde dijk bij Holwerd waar de infiltratie snelheid in mei en in augustus in de buurt van 0.1×10^{-5} m/s bedroeg. De infiltratiesnelheid in de tijd neemt bij veel proeven gelijdelijke af gedurende de eerste 1 tot 2 uren.



Evenals bij de proeven in 1985 (GD 1986) zijn er voor de vier onderzochte dijken verschillen in infiltratiesnelheid tussen de proeven in mei, augustus en oktober. De proeven op de dijk bij Holwerd geven een toenemende infiltratiesnelheid in die periode. Met name is er een sterke toename tussen augustus en oktober (10^{-6} naar 10^{-5} m/s). De variatie voor de overige locaties vertoont niet dezelfde systematiek als de metingen in 1985 (GD 1986). De variatie in de metingen op de dijk bij Waarde vertoont een beeld dat tegenovergesteld is aan het patroon van de metingen in 1985, namelijk een enigszins geringere infiltratiesnelheid in de zomer in plaats van in voor- en of najaar.

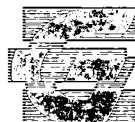


Figuur 13: Het verloop van de infiltratiesnelheid (in m/s) gedurende de duur van de infiltratieproeven (in minuten) voor de metingen in mei, augustus en oktober.



Figuur 14: Het verloop van de infiltratiesnelheid (in m/s) gedurende de duur van de infiltratieproeven (in minuten) voor de 4 onderzochte dijken.

bladnummer : - 42 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

4.4 Erosieproeven

In de bijlagen 8A tot en met 8N zijn de resultaten van de erosieproeven in zoet en in zout water grafisch weergegeven. Een monster valt uiteen reeds gedurende het tweede uur van de proef (kruin van de dijk bij Waarde) als de cilinder met een toerental van 600 t/min wordt draait. Slechts bij 2 proeven blijft het monster 6 uren intact (monsters van de dijk bij Harlingen in zoet water en van de dijk bij Holwerd in zout water).

Zoals reeds beschreven bij methoden is is de mate van erosie na 2 uur beproeving een geschikte maat voor de erosiegevoeligheid. Voor de vergelijking van erosiegevoeligheid zal daar gebruik van gemaakt worden. Daarnaast zal de totale uithoudingsduur (tot >33 % gewichtsverlies) van de monsters in het erosieapparaat worden vergeleken.

In het algemeen kan gesteld worden dat de monsters van de dijk bij Waarde zowel in zoet als in zout water relatief veel gewicht verliezen gedurende de eerste twee uren van de proef. Dit geldt ook voor de monsters van de onderste locatie van de dijk bij Barendrecht, echter de erosie in zoet water is dan beduidend minder.

Het beeld van de totale uithoudingsduur van de monsters is zeer variabel en slechts indien gemiddeld wordt over de vier proeven per dijk (2 voor de dijk bij Holwerd) komt er een verschil tussen de locaties naar voren. Gemiddeld is de bekleding van de dijk bij Waarde dan het meest gevoelig, gevolgd door de bovenlaag van de dijk bij Barendrecht. De bekleding van de dijken bij Harlingen en Holwerd zijn erosiebestendiger, waarbij de laatste het gemiddeld iets langer uithoudt dan de bekleding van de dijk bij Harlingen. In het algemeen hebben de monsters van de locaties bij de kruin een geringere uithoudingsduur dan de monsters van de lagere locaties. Er is een zeer globale overeenkomst tussen gewichtsverlies gedurende de eerste 2 uren van de erosieproeven in zoet en in zout water. Geen van de andere tijdstippen gedurende de proef gaf een duidelijker overeenkomst tussen gewichtsverliezen in zoet- en zoutwater. Zo is er bijvoorbeeld evenmin overeenkomst in de uithoudingsduur van de monsters voor de proeven in zoet- en in zoutwater.

De geerodeerde monsters vertoonden bij microscopisch onderzoek dezelfde fenomenen als de monster die in 1985 werden beschreven (GD 1986). Al de monsters, ook die van de dijk bij Holwerd, bleken "broksgewijs" te zijn geerodeerd. Veel monsters bleken zozeer op deze wijze door verlies van grotere brokken aangetast dat er vanwege de monstergrootte niet meer dan globale beschouwing van de resultaten van de proeven mogelijk is.



4.5 Neerslag, temperatuur, zonneshijuren en Penman verdamping

De weersgegevens temperatuur, neerslag, zonneshijuren, aangevuld met de Penman verdamping voor de perioden voorafgaand aan de veldopnames in mei, augustus en oktober of eind september zijn in de bijlagen 9A tot en met 9E weergegeven. Tevens zijn in de bijlagen afwijkingen ten opzichte van langjarige gemiddelden opgenomen waarmee een indruk over de representativiteit van 1986 wordt verkregen.

De gemiddelde maand temperatuur in mei was 0.5 tot 1.5 graden lager dan het meerjarig gemiddelde. De temperatuur in juli verschilde voor al de locaties minder dan 0.6 graden van het meerjarig gemiddelde terwijl de temperatuur voor de eerste dagen van augustus eveneens weinig van het meerjarig gemiddelde van augustus afwijkt. De temperatuur in september en begin oktober lag echter 2 tot 3 graden boven het gemiddelde voor die tijd.

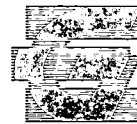
De neerslaghoeveelheden in mei was enigszins lager dan gemiddeld, tot circa 10 mm. De neerslaghoeveelheid in juli was 20 tot 40 mm lager dan gemiddeld; echter in augustus 20 tot 40 mm hoger dan gemiddeld. In de periode direct voorafgaand aan het veldonderzoek in augustus zijn er twee dagen met buien geweest die volgden op een relatief droge periode. De maand september is relatief droog geweest met 20 tot 30 mm minder neerslag dan gemiddeld. Voor de maand oktober zijn nog geen gemiddelden verstrekt, wel kan vermeld worden dat er in de periode voorafgaand aan de veldwaarnemingen nauwelijks enige neerslag is geweest.

Het aantal zonneshijuren is in mei 30 tot 50 hoger dan gemiddeld geweest. De periode voorafgaand aan het veldonderzoek is ook zeer zonnig geweest. Het aantal zonneshijuren in juli is hoger geweest dan gemiddeld voor de periode. De periode voorafgaand aan de veldopnames in augustus is eveneens zonnig geweest. Echter, de hoeveelheid zonneshijuren in augustus was enigszins lager dan gemiddeld. Oktober en september hadden meer zonneshijuren dan gemiddeld in het noorden en midden van het land en in het zuiden was er geen afwijking van het gemiddelde.

De Penman verdamping in mei was een tiental millimeters hoger dan gemiddeld voor de periode en in april enigszins lager dan gemiddeld. In juli en augustus week de verdamping nauwelijks af van het gemiddelde voor de tijd van het jaar. Ook in september was er nauwelijks een afwijking ten opzichte van het gemiddelde.

Uit de gegevens in de bijlage 9 en uit bovenstaande beschouwing kan worden afgeleid dat de periodes voorafgaand aan de veldopnames in de zomer en in het najaar relatief droog zijn geweest. De potentiële verdamping was als gemiddeld in die periodes. Echter op plaatsen waar vochttransport in de bodem gering was zal door de geringe hoeveelheid neerslag en de relatief hoge luchttemperatuur samen de grote

bladnummer : - 44 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

hoeveelheid zonneshijuren de bodem relatief droog zijn geweest.
Aangezien de veldopnames in mei eveneens werden voorafgegaan door
periodes met veel zonneshijn en minder neerslag is de bodem in die
periode mogelijk ook droger geweest dan normaal.

bladnummer : - 45 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

5. DE RELATIE TUSSEN WATERGEHALTE EN VOLUMEVERANDERINGEN

De ligging van de punten in de de figuur 5 geeft een globaal verband aan tussen watergehalte en droge dichtheid (en daarmee met het specifieke volume van de grond). Indien slechts de punten worden gebruikt waarvan de bepaling van de droge dichtheid geen problemen opleverde zoals in figuur 6 is gedaan, lijkt er een goed gedefinieerd verband te bestaan tussen de beide grootheden. Per monsternamepunt blijkt dat er voor een aantal locaties een goede correlatie bestaat tussen watergehalte en droge dichtheid (zie figuur 15 locaties Waarde 2 en Holwerd). Voor andere locaties is deze correlatie niet aantoonbaar vanwege de ligging van de punten of vanwege te geringe spreiding in een van de variabelen (watergehalte voor de locaties bij Harlingen). Zowel de figuur 6 als de figuur 15 geven echter aan dat er een lineair verband tussen watergehalte en droge dichtheid bestaat voor een grond met een bepaalde samenstelling en opbouw. Dit verband wordt gekarakteriseerd door de regressielijn door de punten in de figuur 15. De helling en ligging daarvan zullen derhalve in de verdere beschouwingen worden gebruikt om dit verband te karakterizeren (zie tabel 7).

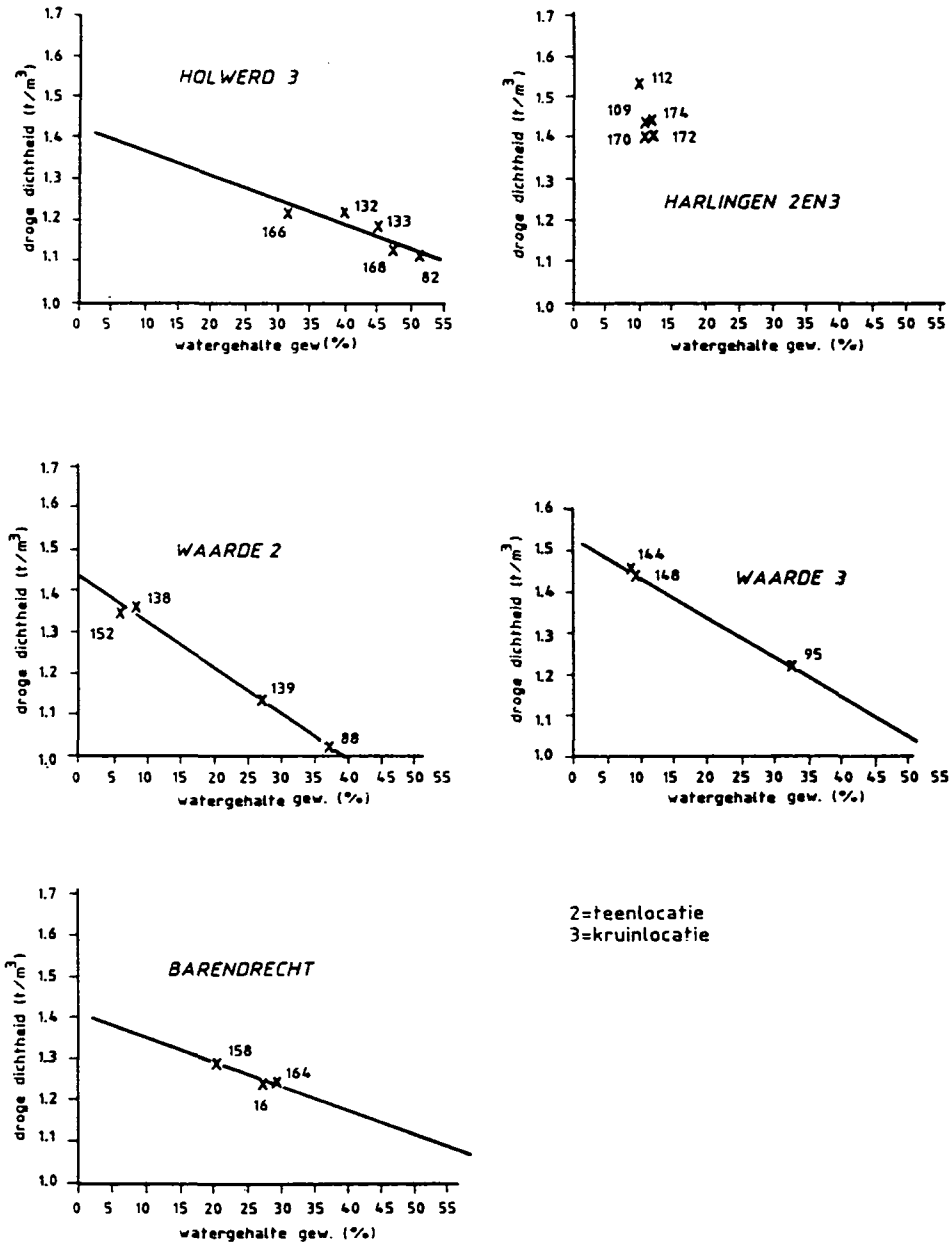
Met behulp van de a en b waarden van de regressielijn $y = a + bx$, kan de verandering in droge dichtheid van een grond worden bepaald tussen bepaalde watergehaltes. Deze verandering in droge dichtheid geeft aan welke volumeveranderingen er bij normale seizoenswisselingen in watergehalte optreden in de onderzochte gronden.

De invloeden op aldus bepaalde verandering van droge dichtheid komen in de volgende paragrafen aan de orde.

((De volumeverandering tussen 50 en 250 kN/m² kan eenvoudig worden berekend:

$$\Delta V_{50-250} = -100 \times \frac{\Delta (\text{droge dichtheid})_{50-250}}{100 + \Delta (\text{droge dichtheid})_{50-250}}$$

waarin met Δ de verandering in het aangegeven traject wordt bedoeld))



Figuur 15: Watergehalte en droge dichtheid voor 5 van de onderzochte locaties (met 2 wordt de teenlocatie aangegeven en met 3 de kruinlocatie). De lijn in de figuren is de berekende regressielijn $\text{droge dichtheid} = a + b \times \text{watergehalte}$. De waarden van de variabelen a en b in de vergelijking wordt in de tabel 3 gegeven. Voor de niet opgenomen locaties waren onvoldoende goede meetresultaten beschikbaar.

bladnummer : - 47 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

Tabel 7: De waarde van de a en b coëfficiënten ($-100 \times b$) en de correlatiecoëfficiënt voor de regressielijnen in de figuur 15.

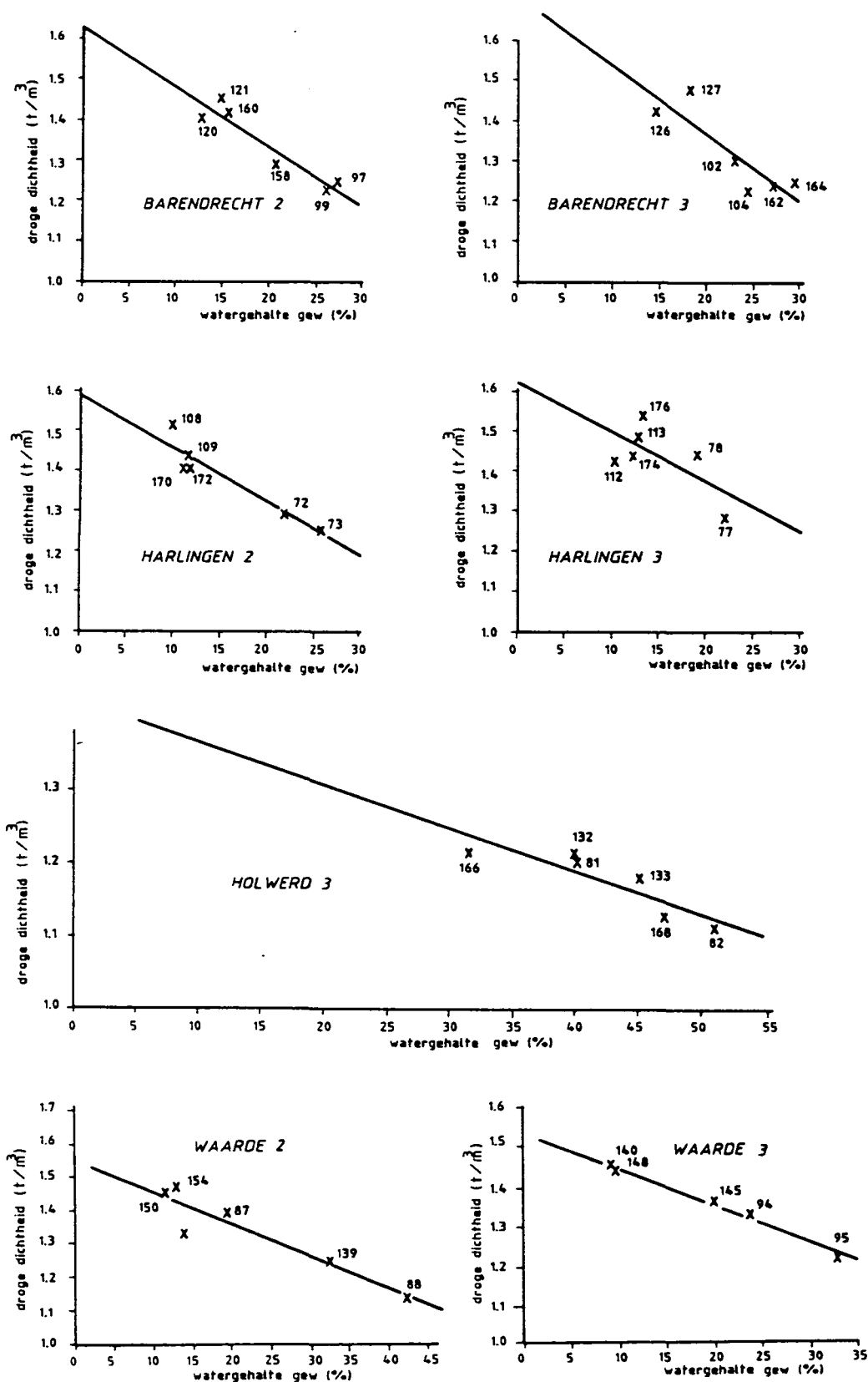
Locatie	a	-b x 100	corr. coëff.	aantal <u>metingen</u>
Barendrecht				
teen/kruin	1.408	0.58	(-.95)	3
Harlingen	vervalt, onvoldoende spreiding in watergehalte			
Holwerd				
kruin	1.424	0.58	-.87	5
Waarde				
teen	1.603	1.114	-.99	5
kruin	1.535	0.94	(-1.0)	3

5.1.1 Correctie van droge dichtheidsbepaling

De droge dichtheid van de monsters waarmee problemen bestonden bij de bepaling heeft, zoals uit de figuur 5 naar voren komt, een systematische afwijking van de trend zoals die door de andere monsters wordt aangegeven. De afwijking van deze trend blijkt samen te hangen met het watergehalte van de monsters. Nagegaan is of er met behulp van dit verband met het watergehalte een correctie van de droge dichtheid van de afwijkende monsters mogelijk was.

De droge dichtheden van de afwijkende monsters zijn daarom verlaagd met een waarde die direct met het watergehalte samenhangt. In de figuur 16 zijn de droge dichtheden en de watergehaltes van de aldus gecorrigeerde monsters weergegeven. Er blijkt een systematisch lineair verband met een hoge correlatie voor alle monsterlocaties te bestaan, behalve voor de locatie aan de kruin van de dijk bij Harlingen.

De regressielijnen die door deze werkwijze kunnen worden bepaald kunnen natuurlijk niet meer dan een zeer globale indruk van het gedrag van de onderzochte gronden geven. In de volgende paragrafen wordt er evenwel toch naar verwezen ter illustratie van wat afgeleid wordt voor de monsters waarvan de bepaling van de droge dichtheid niet problematisch is geweest.



Figuur 16: Watergehalte en droge dichtheid voor alle onderzochte locaties waarbij de droge dichtheid voor een aantal monsters is gecorrigeerd (met 2 wordt de teenlocatie aangegeven en met 3 de kruinlocatie). De lijn in de figuren is de berekende regressielijn droge dichtheid = a + b x watergehalte. De waarde van de variabelen a en b in de vergelijking wordt in de tabel 8 gegeven.

bladnummer : - 49 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

In de tabel 8 staan de a en b waarden voor de regressielijnen
droge dichtheid = $a + b \times \text{watergehalte}$ voor alle monsters, inclusief
die met een correctie voor de droge dichtheid.

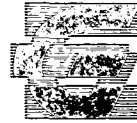
Tabel 8: De waarde van de a en b coëfficiënten ($-100 \times b$) en de
correlatiecoëfficiënt voor de regressielijnen in de figuur 16 waarvoor
ook monsters met een gecorrigeerde droge dichtheid zijn gebruikt...

locatie	a	-b x 100	corr. coëff.	aantal metingen
<hr/>				
Barendrecht				
teen	1.631	1.48	-.93	6
kruin	1.709	1.70	-.87	6
Harlingen				
teen	1.589	1.32	-.94	6
kruin	1.622	1.22	-.63	6
Holwerd				
kruin	1.424	0.58	-.87	6
Waarde				
teen	1.549	0.97	-.94	6
kruin	1.537	0.91	-1.0	5

5.2 Invloeden op de relatie tussen droge dichtheid en watergehalte

De 5 regressielijnen die zijn berekend met daarvoor geschikte
oorspronkelijke gegevens is te gering voor een nadere gedetailleerde
beschouwing. De invloeden op de relatie tussen watergehalte en droge
dichtheid laat zich met de daarvoor benodigde voorzichtigheid,
enigszins nagaan aan de hand van de regressielijnen bepaald met voor
droge dichtheid gecorrigeerde monsters.

bladnummer : - 50 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

In de figuur 19a en 19b is voor de gecorrigeerde droge dichtheden de waarde van de a en b factoren van de regressielijn,

(droge dichtheid) = a + b x (watergehalte) (zie figuur 16)

uitgezet tegen de Magnesium- ionen verzadigingsgraad. De ligging van de punten in de figuur (met uitzondering van dat van monster nummer 90, teen van de dijk bij Waarde) geeft aan dat de Mg-verzadigingsgraad op een bepaalde wijze van invloed is op de mate van droge dichtheidsverandering bij een bepaalde verandering in watergehalte. Een nadere beschouwing van de invloeden van het oppervlak van de vaste stof en van de kationenbezetting daarvan komt in volgende paragrafen aan de orde. Vermeld zij hier dat de Mg- verzadigingsgraad een sterke samenhang met het NaCl- gehalte van de grond vertoont (zie figuur 18). Beide kunnen het resultaat zijn van nalevering van zoutwater vanuit de ondergrond en door spatwater.



6. INVLOEDEN OP HET WATERGEHALTE EN DE VORMING VAN STRUCTUUR

6.1 De vorming van structuur

Met betrekking tot constructieve eigenschappen zijn erosiebestendigheid en doorlatendheid bepalend voor een bekledingslaag. Zoals de eerdere onderzoeken (LGM 1985, GD 1986) lieten zien en zoals ook uit het huidige onderzoek naar voren komt, is de interne structuur die zich in de bekledingslaag vormt tijdens, maar vooral na het aanbrengen, een dominante factor voor het functioneren van de bekleding. De invloeden op de vorming van de structuur zullen dus belangrijk zijn voor het constructieve gedrag van de bekledingslaag.

De invloeden op de vorming van structuur kunnen onderscheiden worden in:

- Karakteristieken van de grond
- Karakteristieken van het water dat zich in de grond bevindt bij aanleg van de dijk
- Karakteristieken van de omgeving waarin de bekleding komt te verkeren, te onderscheiden in:
 - Opbouw van de dijk, met name met betrekking tot wateraan- en afvoer van de bekledingslaag (invloed vegetatie, nalevering vanuit de ondergrond, doorstroming met neerslag water)
 - Weers- en klimaatsomstandigheden (neerslag, temperatuur, straling)
 - Hoeveelheid en samenstelling van het water dat in de bekledingslaag terecht komt (neerslag, spatwater, inundatiewater, grondwater)

De karakteristieken van de grond, inclusief de samenstelling van het poriewater, spelen een belangrijke rol. Deze karakteristieken zijn met name belangrijk omdat de hoeveelheid water die bij een bepaalde zuigspanning in de grond aanwezig blijft erdoor wordt bepaald. Daarnaast zijn de karakteristieken van de grond van belang voor enerzijds de binding tussen de individuele gronddeeltjes en anderzijds voor de voortdurende volumeveranderingen die optreden bij veranderingen in watergehalte.

Een deel van deze grondkarakteristieken verandert weinig in de tijd, onder andere de samenstelling van de vaste stofdelen. Een ander deel dat betrekking heeft op de samenstelling van het poriewater en de geadsorbeerde stoffen, kan aanzienlijk veranderen onder invloed van ambiante omstandigheden. Deze laatste twee grondkarakteristieken hebben een grote invloed op het waterbindend vermogen van de grond bij de normale zuigspanningen in grond op dijken.

bladnummer : - 52 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

De belangrijkste karakteristieken van de omgeving waarin de grond wordt aangebracht zijn die welke de hoeveelheid en samenstelling van het poriewater beïnvloeden. Het is van belang of het water dat in de grond terecht komt zoet dan wel zout of brak is en wel onder andere voor de hoeveelheid water die een onverzadigde grond vasthoudt dan wel kan aanzuigen uit de bodematmosfeer of uit de capillaire zone. De balans tussen aan de ene kant de hoeveelheid water die aan de grond onttrokken kan worden door zwaartekracht, verdamping en evaporatie en aan de andere kant het water dat eventueel nageleverd wordt vanuit de ondergrond dan wel als spat-, neerslag- of inundatiewater beschikbaar is, bepaalt het watergehalte van de grond. Daarmee bepaalt deze balans mede het volume dat een bepaalde massa onverzadigde grond inneemt. Deze karakteristieken zijn dus van belang voor het zwellen en krimpen van de grond en daarmee voor de vorming van structuur in de grond.

In de bijlage 10 is een schema getekend waarin een aantal belangrijke componenten van het systeem worden onderscheiden gerelateerd.

6.2 Fysisch- chemische karakteristieken en het watergehalte

Het specifiek oppervlak van de onderzochte grond varieert tussen 110 en 170 m²/g. De onderzochte gronden hebben bij een zuigspanning van 100kN/m² (pF=3) een droge dichtheid van rond de 1.3 t/m³ en een watergehalte rond de 30%. Stel dat het specifiek oppervlak van een dergelijke grond 120m²/g bedraagt, dan vormt het aanwezige water en die grond een film met een dikte van ongeveer 2.5 nm (2.5 x 10⁻⁹m) als het gelijkelijk over het oppervlak is verdeeld. Deze dikte laat zich vergelijken met de maat van watermoleculen, te weten ongeveer 0.7 nm. (De dichtheid van water is in dat geval niet meer 1 ton/m³ zoals in deze eerste benadering wel is aangenomen).

De waterfilm is veel dunner dan de electro- chemische dubbellaag rond de vaste stofdeeltjes zou zijn in zowel zoet- als zoutwater omstandigheden. In zo'n dunne waterfilm bepaalt de directe binding van de watermoleculen aan het vaste stofoppervlak en aan de erin verdeelde "opgeloste" stoffen hoeveel water in de grond aanwezig kan zijn.

De aard van het vaste stofoppervlak is dus een van de factoren die het watergehalte van onverzadigde grond bepalen. De fijnere gronddeeltjes nemen samen met organisch materiaal het grootste deel van het vaste stofoppervlak per gewichtseenheid voor hun rekening. In deze categorieën zijn organisch materiaal, kalk, ijzer- en aluminium oxiden en hydroxiden en de zogenaamde silicaten, met name de kleimineralen en fijne kwartsdeeltjes de belangrijkste voor de eigenschappen van het vaste stofoppervlak van de onderzochte gronden.

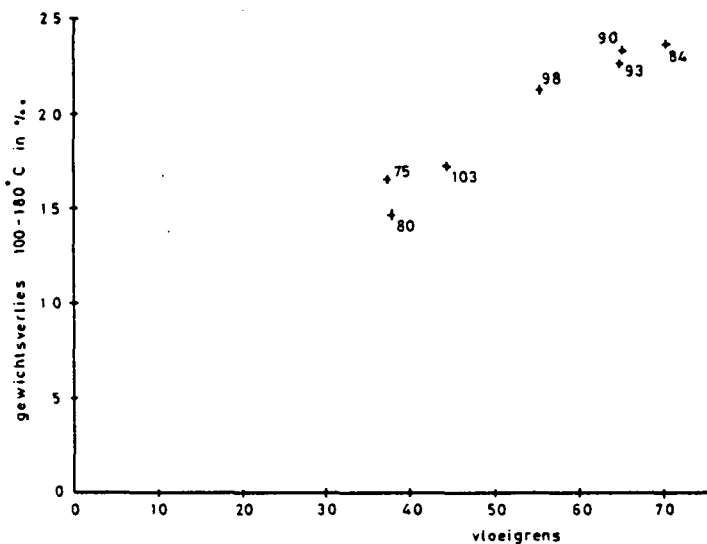
bladnummer : - 53 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



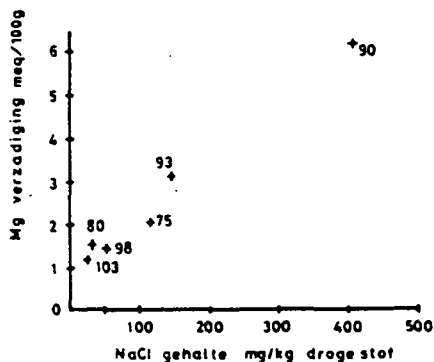
GRONDMECHANICA
DELFT

Dit laatste uit zich voor de onderzochte gronden onder andere door verschillen in de verhouding tussen de kationenuitwisselingscapaciteit (een indicatie van het overschot aan elektrische lading aan het oppervlak van de vaste stof) en het specifiek oppervlak. Het specifiek oppervlak en de CEC spelen een rol in het mechanisch gedrag van de onderzochte gronden wat naar voren komt in de vloeigrens.

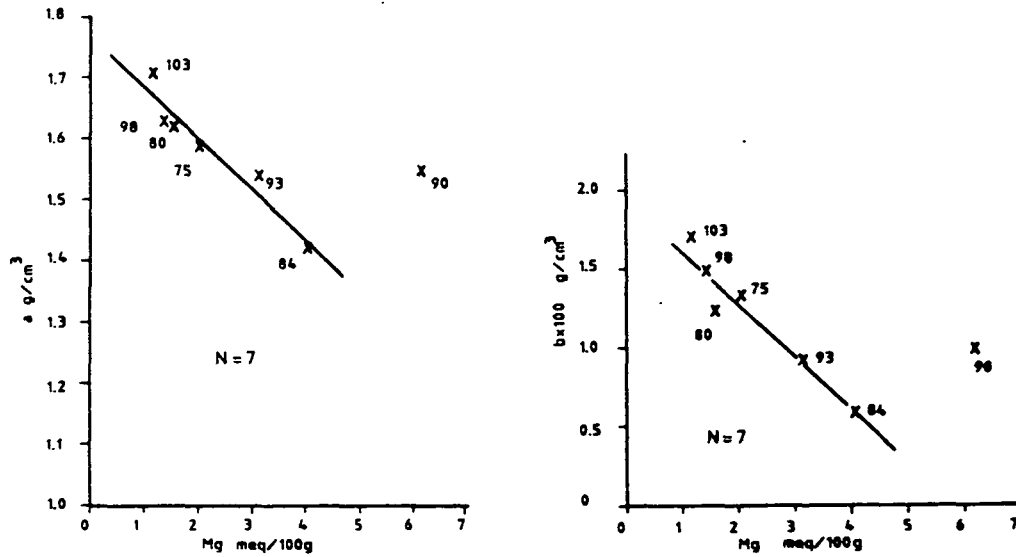
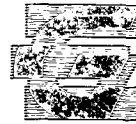
De verhouding tussen specifiek oppervlak en CEC bedraagt tussen de 22 en $27 \times 10^{-4} \text{ meq/m}^2$ voor de onderzochte gronden. Voor de monsters met een hoger organische stofgehalte (en hoger humuszuurgehalte) is de verhouding echter steeds hoger dan circa $25 \times 10^{-4} \text{ meq/m}^2$.



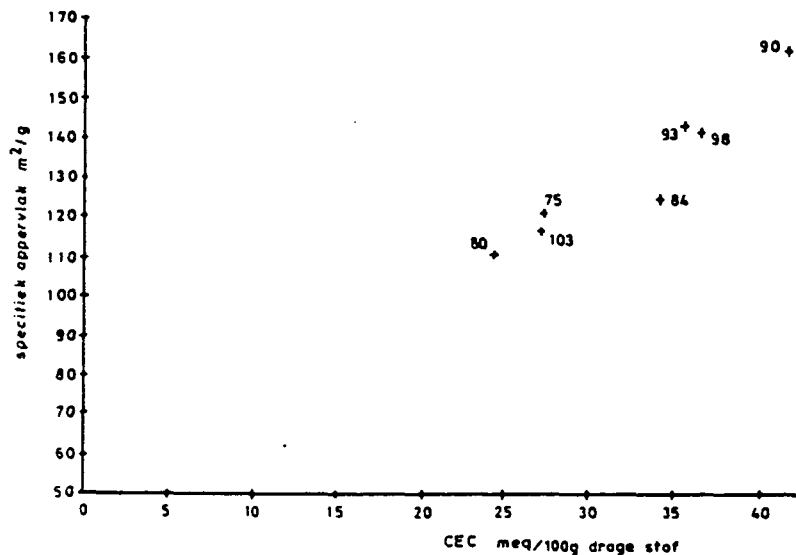
Figuur 17: Het gewichtsverlies van de monsters bij verhitting tussen 100° en 180°C uitgezet tegen de vloeigrens van de monsters. Er blijkt een goede lineaire correlatie te bestaan tussen de beide parameters. Aangezien het betreffende gewichtsverlies eenvoudig te bepalen is kan deze parameter eventueel als indicator voor de vloeigrens dienst doen.



Figuur 18: De Magnesiumverzadigingsgraad van de monsters uitgezet tegen het zoutgehalte van de grond. Het globale verband tussen de beide parameters en de relatie met de ligging van de monsterpunten geeft aan dat de Magnesiumverzadigingsgraad sterk door aanwezigheid van zeewater wordt beïnvloed.



Figuur 19:
 A: De helling van de regressielijnen in figuur 16, zie tabel 8, uitgezet tegen de Magnesiumverzadiging. Behalve voor monster 90, kruinlocatie bij Waarde, lijkt er een goede lineaire correlatie te bestaan tussen de volumeveranderingen bij watergehalteverandering en de Magnesiumverzadiging.
 B: De waarde van de a- coëfficiënt van de regressielijnen in figuur 16, zie tabel 8, uitgezet tegen de magnesiumverzadiging. Ook hier blijkt een goede correlatie met de magnesiumverzadiging.



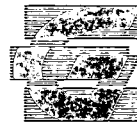
Figuur 20: Het specifiek oppervlak van de monsters uitgezet tegen de kationenuitwisselingscoëfficiënt, CEC. Zoals te verwachten is er een redelijke correlatie tussen beide parameters, slechts monster 84 van de bekleding bij Holwerd, heeft een relatief hoge CEC voor het bijbehorende specifieke oppervlak.

bladnummer : - 55 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Het verband tussen het specifieke oppervlak en de CEC is grafisch weergegeven in figuur 20. Het valt op in die figuur dat het monster van de vers aangebrachte bekleding van de dijk bij Holwerd een relatief hoge CEC heeft in vergelijking met het specifieke oppervlak. De grond verkeerde ten tijde van de monsternamen in gereduceerde toestand (grijze en zwarte tinten en een duidelijke waterstofsulfide geur). Er had zich op het vaste stofoppervlak dan ook nog bijna geen neerslag van bijna onoplosbare ijzer en aluminium-oxides en hydroxides gevormd. De betreffende grond vertoonde nog niet de bruine kleuren die bij een dergelijke neerslag horen. Deze oxides en hydroxides doen weliswaar het specifiek oppervlak toenemen maar hebben bij de heersende zuurgraad een lage elektrische oppervlakte lading. Daardoor hebben deze stoffen een afschermdende werking op de lading van het oppervlak van de kleimineralen. Na verloop van tijd zal deze neerslag zich echter gaan vormen. Tevens zal door oxidatie (bacterieel) een deel van de organische stof verdwijnen waardoor het specifiek oppervlak van de grond zal afnemen. Door de gecombineerde werking van deze processen zal de CEC van de grond in de komende periode van enige jaren afnemen en dan waarschijnlijk meer in de pas gaan lopen in de figuur 20.



6.2.1 Invloed opgeloste stoffen

De oplosbare stoffen die met de watermoleculen aan de vaste stof zijn geadsorbeerd vormen een tweede belangrijke factor voor de hoeveelheid water in onverzadigde grond. De ionen in de oplossing binden water. Het verhogen van de hoeveelheid ervan verhoogt het waterbindendvermogen van de grond. De monsters met hogere NaCl-gehaltenes zullen daardoor in het algemeen relatief veel water vast houden.

De dominante 2- waardige kationen in de grond, die van Calcium (Ca^{2+}) en Magnesium (Mg^{2+}), kunnen onder overigens vergelijkbare omstandigheden meer watermoleculen binden dan de dominante eenwaardige ionen van Natrium (Na^+) en Kalium (K^+). De verhouding tussen 1- en 2- waardige ionen zal bij overigens vergelijkbare omstandigheden (met name wat betreft zoutgehalte) van directe invloed zijn op het watergehalte van een grond. Daarnaast hebben enige van deze ionen nog een invloed op de microstructuur van de grond. (De invloed van zuurgraad op het effect van de verhouding tussen beide ion-soorten lijkt voor de onderzochte monsters niet van groot belang).

In de figuur 21 is de verhouding tussen de 1- en de 2- waardige ionen uitgezet tegen het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m^2 ($pF=3$). In de figuur 22 is dat watergehalte uitgezet tegen het NaCl-gehalte. De beide figuren (21 en 22) illustreren dat voor het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m^2 :

- het zoutgehalte een belangrijke factor is voor het watergehalte, en dat;
- de verhouding tussen 1- en 2- waardige uitwisselbare kationen een belangrijke factor is.

6.2.2 Ontwikkeling evenwichtswatergehalte in de tijd

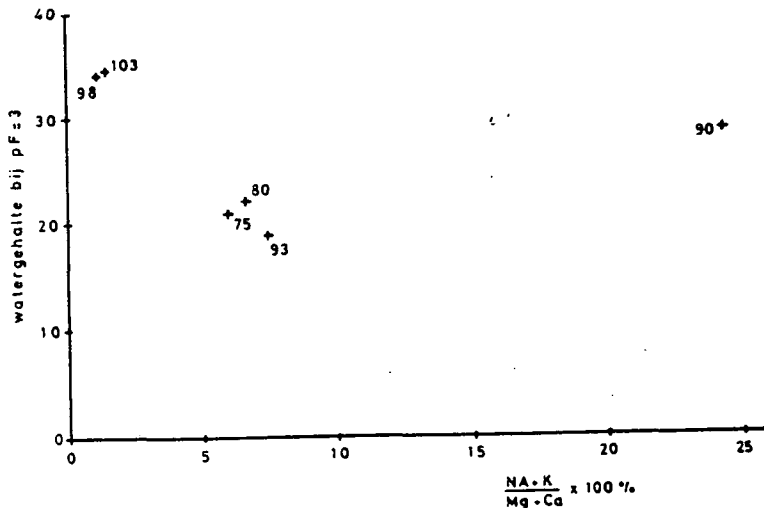
Het specifiek oppervlak en de CEC zijn voor de onderzochte gronden op zich niet van belang voor het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m^2 . De invloed ervan kan echter naar voren komen in de hoeveelheid geadsorbeerde ionen. De minder stabiele karakteristieken zoals kationenbezetting en zoutgehalte lijken belangrijk voor de verandering van vochtgehalte met zuigspanningsveranderingen.

bladnummer : - 57 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

Het zoutgehalte en de kationen-bezetting van een grond hangen aanvankelijk af van de omgeving waaruit de grond afkomstig is. De NaCl- concentratie en de Na- en Mg- bezettingsgraden zullen hoog zijn in zoute gronden (zie monsters uit Holwerd). Als de grond, zoals bij de teen van de dijk in Waarde, onder invloed blijft van zout water, dan zullen de genoemde kationenbezettingsgraden en het zoutgehalte relatief hoog blijven. Bekledingen echter die in een omgeving geplaatst worden buiten de invloed van zout grondwater, spatwater en inundatiewater zullen een laag zoutgehalte aannemen indien er een gemiddeld neerwaarts transport van water door de bekleding bestaat. De monsters die bij de kruin van de dijken zijn genomen bevatten dan ook alle 2 tot 3 maal minder zout dan de lager op het talud genomen monsters van dezelfde locatie.



Figuur 21: Het watergehalte bij een zuigspanning van 100kN/m^2 ($pF=3$) uitgezet tegen de verhouding tussen 1- en 2- waardige geadsorbeerde ionen. Er blijkt voor de monsters met lagere zoutgehaltes een verband tussen het bedoelde watergehalte en de verhouding tussen de ionsoorten te bestaan. De monsters met een hoger zoutgehalte, te weten de monsters van de teen van de dijk bij Waarde (nummer 90) en van de bekleding van de dijk bij Holwerd (niet in de grafiek opgenomen), wijken af van het patroon. De invloed van de kationbezetting is echter van dezelfde orde van grootte als die van het zoutgehalte.

bladnummer : - 58 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

De keuring van grond voor de bekleding van dijken zal onder meer directe of indirecte uitspraken moeten doen over het watergehalte dat de grond zal gaan aannemen na verloop van tijd. Uit de hiervoor genoemde invloeden op het watergehalte blijkt dat het zoutgehalte en de ermee geassocieerde kationenbezetting daarvoor belangrijk zijn. De invloeden op het zoutgehalte zijn globaal uit omgevingskarakteristieken, zoals ligging van de dijk en de bekleding, af te leiden. De invloeden op de ontwikkeling van de samenstelling van de kationenbezetting zijn behalve die van de samenstelling van het poriewater, minder goed te identificeren en te kwantificeren.

Het is wel te verwachten dat er een wisselwerking optreedt tussen de kationenbezetting en de aard van het vaste stofoppervlak, en, dat bovendien de vaste stof zelf daar invloed op uitoefent. De fractie $<16\mu$ en het kalkgehalte zijn kwantitatief van belang voor de samenstelling van de vaste stof en voor de grootte en de aard van het oppervlak ervan. Uit de figuur 23 volgt dat monsters met relatief weinig kalk en een relatief hoge fractie $<16\mu$ veel water vasthouden bij een zuigspanning van ongeveer 100kN/m^2 (het effect van het zoutgehalte daar gelaten). Deze constatering is in globale zin in overeenstemming met gegevens van het onderzoek in 1985 (LGM 1985).

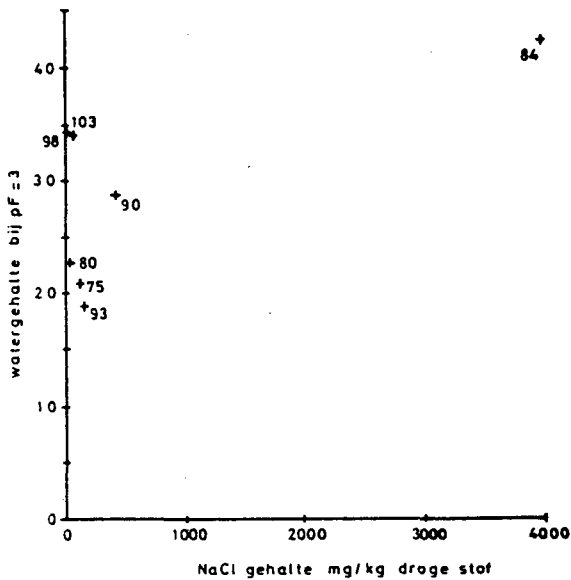
Indien voornoemde effecten van de samenstelling met betrekking tot zoutgehalte, kalkgehalte en fractie $<16\mu$ ook bij nader onderzoek van belang blijken te zijn voor de hoeveelheid water die een grond bij een zuigspanning van 100kN/m^2 vasthoudt, dan zal de keuring van grond wat betreft evenwichtwatergehalte op een dijk de waarden van deze 3 variabelen in beschouwing moeten nemen.

6.2.3 Watergehalteverschillen tussen verschillende zuigspanningen

De regelmatige fluctuaties in watergehalte in een dijkbekleding zullen bepalend zijn voor de volumeveranderingen die optreden na verloop van tijd. De vorming van structuur in de grond zal voor een groot deel door die regelmatige veranderingen worden bepaald. Voor het ontwikkelen van keuringseisen is het daarom van belang inzicht in de invloeden op deze veranderingen te hebben.

Evenals voor het watergehalte bij een zuigspanning van 100kN/m^2 blijkt het zoutgehalte van de grond een belangrijke factor te zijn voor de schommeling in watergehalte tussen een zuigspanningen van 50 en 150kN/m^2 ($pF=2.7$ respectievelijk $pF=3.4$). Aangezien de Na-verzadiging op het vaste stofoppervlak en het NaCl-gehalte nauw met elkaar samenhangen in de onderzochte gronden, zijn de individuele invloeden van deze beide variabelen in dit geval niet goed uiteen te houden. Figuur 24 illustreert dat de beide monsters met een zoutgehalte boven 400mg/kg en bij een Na-verzadigingsgraad van meer dan $3\text{meq}/100\text{g}$ een verschil in watergehalte van meer dan circa 12 respectievelijk 23% vertonen in het onderzochte traject. Voor de overige monsters is het verschil in watergehalte tussen de beide

zuigspanningen slechts ongeveer 6 tot 9 % . Het aantal monsters is echter gering in vergelijking met de spreiding die optreedt in het lagere zoutgehaltebereik. Nadere evaluatie van het verband tussen watergehalteveranderingen en kationenbezetting en zoutgehalte lijkt daarom voorshands niet relevant. Het verband komt wederom aan de orde bij het bespreken van de volumeveranderingen die kunnen optreden bij deze watergehalteveranderingen.

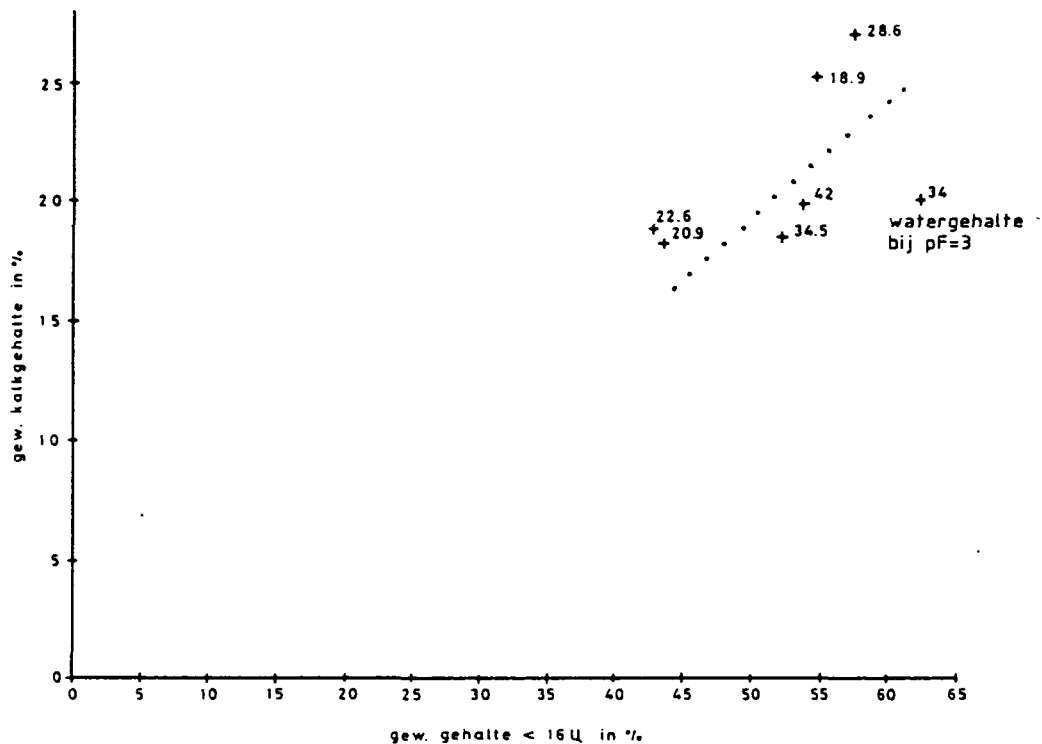


Figuur 22: Het watergehalte bij een zuigspanning van 100kN/m^2 ($pF=3$) uitgezet tegen het zoutgehalte. Behalve voor de groep monsters van de dijk bij Barendrecht (nummers 98 en 103) geeft de grafiek aan dat in het algemeen de monsters met een hoog zoutgehalte, $>300\text{mg/kg}$ droge stof, een hoger watergehalte bij de bedoelde zuigspanning hebben.

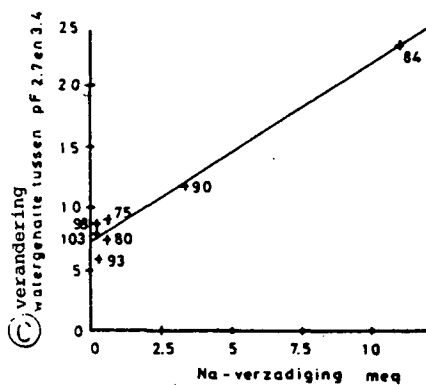
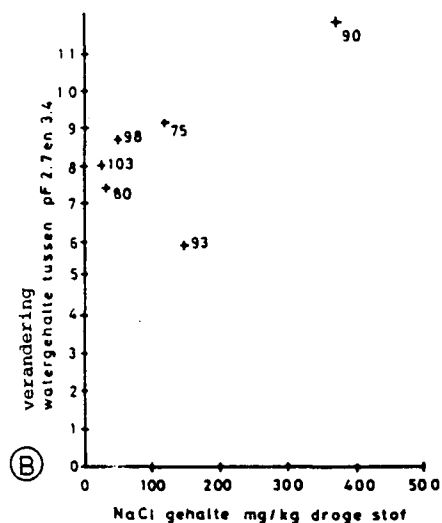
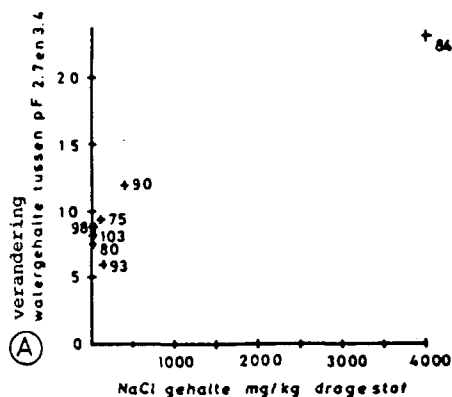
bladnummer : - 60 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT



Figuur 23: Het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m^2 ($pF=3$) is aangegeven naast de punten die het kalkgehalte en het gehalte aan deeltjes $< 16 \mu$ van de monsters weergeven. De monsters met hogere watergehaltes bij de bedoelde zuigspanning vormen een groep die een relatief laag kalkgehalte gecombineert met een hoog gehalte aan deeltjes $< 16 \mu$. N.B. ook het monster van de bekleding van de dijk bij Holwerd (watergehalte 42%) valt in deze groep.



Figuur 24: De verandering van watergehalte tussen zuigspanningen van 50 respectievelijk 250 kN/m².
 A: Bij de monsters met hogere zoutgehaltes treedt een groter verschil in watergehalte op dan voor de monsters met een zoutgehalte beneden ongeveer 200 mg/kg droge stof.

B: De figuur geeft de variatie weer voor de lagere zoutgehaltes (zie figuur 24A). Het monster 93 (kruin van de dijk bij Waarde) wijkt af van het patroon van de overige monsters.

C: De relatie met de Natriumverzadigingsgraad vertoont hetzelfde beeld als die met het zoutgehalte. Het is voorshands niet goed mogelijk de effecten van zoutconcentratie en kationenbezetting voor het evengewichtswatergehalte apart te evalueren voor de onderzochte monsters.

bladnummer : - 62 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

6.2.4 Volumeveranderingen tussen zuigspanningen van 50 kN/m² en 250 kN/m²

De watergehaltewisselingen in het in hoofde genoemde traject worden teruggevonden in de volumeveranderingen die in dat traject optreden. Hierbij wordt uitgegaan van de gegevens over de relatie tussen watergehalte en droge dichtheid uit de betreffende paragraaf.

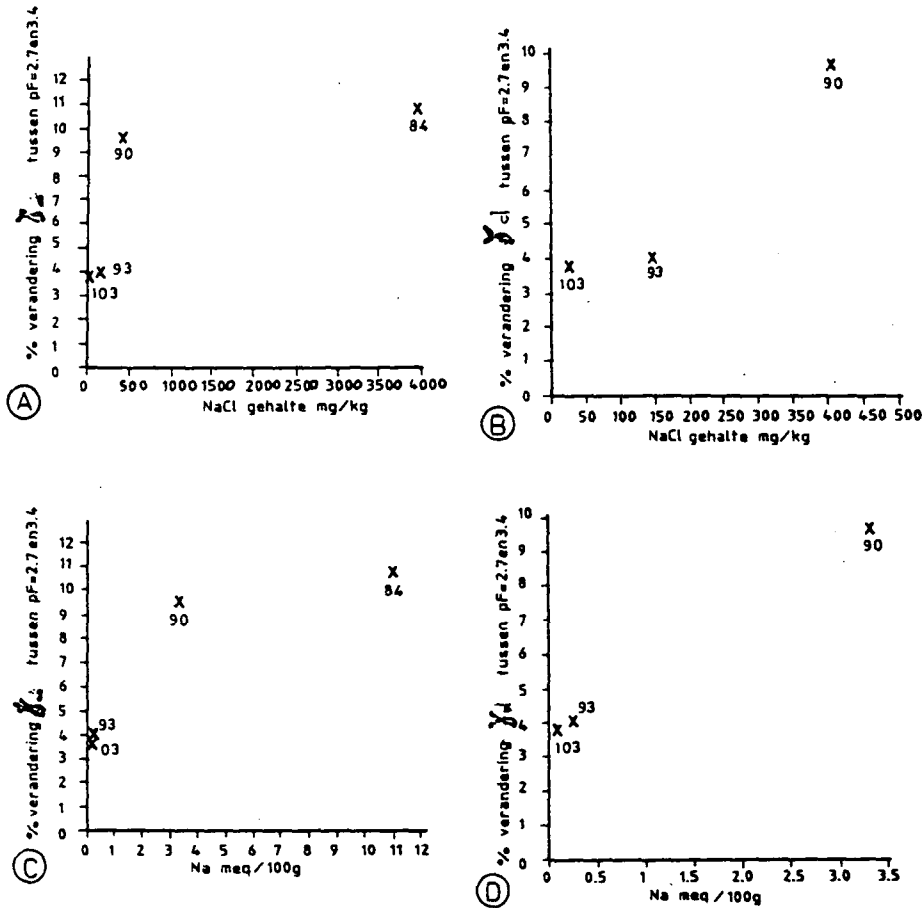
De figuren 25 en 26 (gecorrigeerde monsters, zie paragraaf 5.1.1) laten zien dat het zoutgehalte van invloed is op de verandering in droge dichtheid. De kationenbezetting lijkt een tweede belangrijke invloed te zijn, en wel met name het verschil in 1- en 2- waardeige ionen. Het blijkt dat de verschillen in veranderingen in watergehalte tussen de onderzochte gronden samen met de verschillen in droge dichtheid per eenheid verschil in watergehalte (figuren 15 en 16 en figuren 19a en 19b) de volumeverandering bepalen.

De verandering in droge dichtheid per eenheid verschil in watergehalte lijkt, zoals in figuur 19 wordt aangegeven en zoals besproken in de betreffende paragraaf, sterk te worden beïnvloed door de samenstelling van het kationenadsorptie-complex (Mg- verzadiging). Het lijkt voorshands echter niet mogelijk de complexe interactie tussen watergehalte en de krachten die de watermoleculen en geadsorbeerde ionen uitoefenen op het skelet van vaste deeltjes verder te analyseren met de beschikbare gegevens. Het kalkgehalte en de fractie 16μ lijken ook in het geval van volume-veranderingen van invloed te zijn voor het gedrag op langere termijn (zie figuur 27).

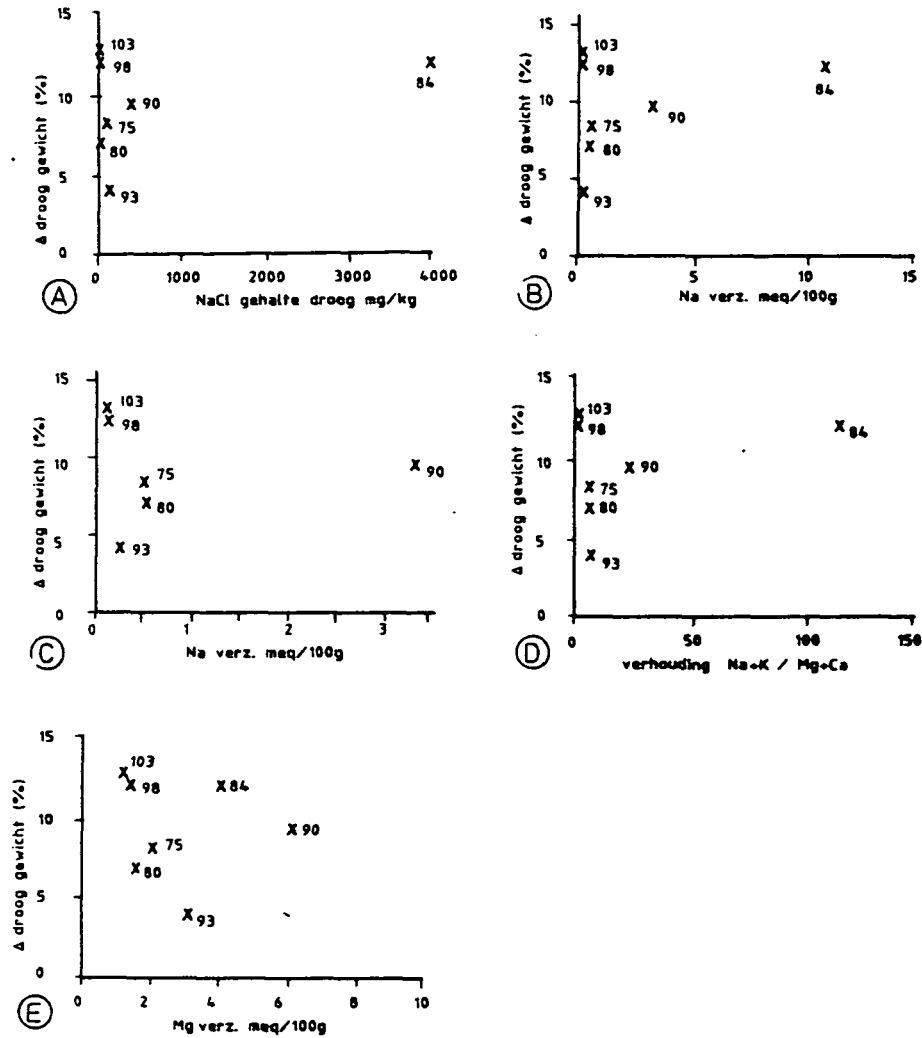
6.3 Effecten van structuur en krimpen en zwellen op de infiltratie

Zoals in de rapportage van het onderzoek in 1985 naar voren is gebracht (GD 1986), bepalen de grotere poriën zoals spleten en graafgangen de doorlatendheid van de kleibekleding van een dijk. In genoemd onderzoek bleken twee van de drie locaties grote seizoensvariatie in infiltratiesnelheid te vertonen. De infiltratiesnelheid was in de zomer significant hoger dan in voor- en najaar.

De metingen van de infiltratiesnelheden op de locatie bij Barendrecht vertoont hetzelfde patroon. Ook de locatie bij Harlingen laat met uitzondering van de meting in de zomer, een dergelijk patroon zien. De metingen in Waarde vertonen een tegengesteld gedrag.



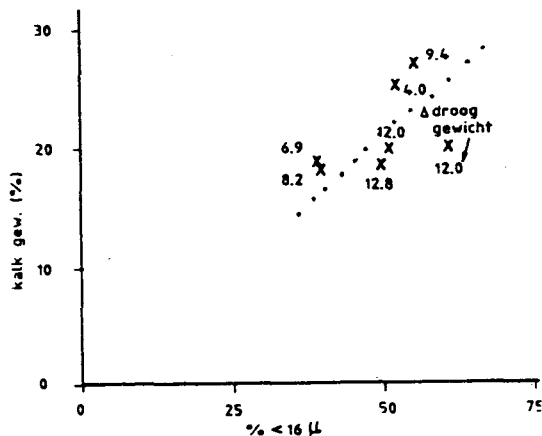
Figuur 25: De figuren geven de effecten van de Natriumverzadigingsgraad en van het zoutgehalte op de verandering van de droge dichtheid weer voor de locaties waarvan monsters beschikbaar waren die bij de bepaling van de droge dichtheid niet problematisch was. De monsters met een zoutgehalte hoger dan ongeveer 300 mg/kg droge stof en met een Natriumverzadigingsgraad hoger dan 2 meq/100g droge stof ondervinden ongeveer 10 % verandering van droge dichtheid bij de aangegeven verandering van zuigspanning (50 - 250 kN/m², pF=2.7 - pF=3.4). De droge dichtheidsverandering voor de overige locaties bedraagt ongeveer 4%.



Figuur 26: De figuren geven de effecten van de Natrium- en Magnesiumverzadigingsgraad en van het zoutgehalte voor de verandering van de droge dichtheid tussen zuigspanningen van 50 respectievelijk 250 kN/m² weer voor alle locaties waarbij ook gebruik is gemaakt van een gecorrigeerde droge dichtheidswaarde voor sommige monsters. De figuren geven aan dat de kationenbezetting, figuren B, C, D en E, van invloed is op de verandering in droge dichtheid. Vooral de Magnesiumverzadiging correleert sterk met de droge dichtheidsverandering (figuur E) indien de bekledingen met hogere zoutgehaltes, 84 (Holwerd) en 90 (teen van de dijk bij Waarde) niet in beschouwing worden genomen. De Natriumverzadigingsgraad lijkt samen met het zoutgehalte invloed te hebben voor de monsters 84 en 90 welke beide een hoog zoutgehalte en hoge Natriumverzadigingsgraad hebben. Deze beide monsters vallen daardoor buiten de trend die de overige monsters aangeven.

De infiltratiesnelheid neemt voor alle locaties (zie figuren 13 en 14), behalve die bij Waarde en de zomermeting bij Harlingen, duidelijk toe met het afnemen van het watergehalte van de grond. De krimp die optreedt bij het drogen van de grond doet kennelijk de doorlatendheid (en in geringe mate de direkte berging) toenemen. Zo neemt de infiltratiesnelheid ook op de locatie bij Holwerd toe van voor- tot najaar samen met de geleidelijke afname van het watergehalte in de bovengrond.

De grond van de dijk bij Barendrecht vertoont een sterke variatie in droge dichtheid zoals ook in figuur 26 is te zien (nummers 75, 80, 98, 103 in de figuur). Dit is in overeenstemming met zowel de waargenomen grote scheuren in de grond als met het hoge aantal waarnemingen van spleten op die locatie (zie N- waarde in figuur 7). De locatie vertoont dan ook een grote seizoensvariatie in doorlatendheid in vergelijking met de andere locaties.



Figuur 27: De verandering in droge dichtheid tussen zuigspanningen van 50 respectievelijk 250 kN/m² is aangegeven bij de punten die het kalkgehalte en het gehalte aan deeltjes < 16μ aangegeven voor de onderzochte gronden. Er onderscheid zich een groep monsters met een grote verandering in droge dichtheid. Deze groep heeft een relatief laag kalkgehalte en heeft een relatief hoog gehalte aan fijne deeltjes.

bladnummer : - 66 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

Metingen op de locatie bij Waarde en de zomermeting bij Harlingen vertonen afwijkende gedrag. Deze metingen geven duidelijk aan dat de doorlatendheid van de bekleding in belangrijke mate beïnvloed kan worden door voorshands nog erratische factoren. Het voorkomen van grote graafgangen van konijnen en mollen en mogelijk concentraties van kleinere bioporien kunnen de oorzaak zijn van het niet verwachte gedrag van de infiltratie op de dijk bij Waarde. Oorzaken als verdichting van de bovengrond door betreding, of een toevallige beperking van de continuïteit van watervoerende porien kunnen de lage infiltratiesnelheid in de zomermeting bij Harlingen veroorzaken.

De verandering van de infiltratiesnelheid op de pas aangelegde dijk bij Holwerd illustreert dat de doorlatendheid die op de oudere dijken worden bepaald in relatief korte tijd, ongeveer een jaar, kan worden bereikt. De vergelijking van de beschreven ontwikkeling van de structuur na de aanleg met de toename van de infiltratiesnelheid van voor- tot najaar geeft aan dat bioporien voor de aldaar gemeten infiltratiesnelheid geen belangrijke rol spelen.

In het algemeen lijkt de variatie in doorlatendheid van de kleibekleding samen te hangen met de in vorige paragrafen beschreven volumeveranderingen en structuurkenmerken van de grond. De variatie is echter relatief gering. De seizoensvariatie en de variatie in doorlatendheid veroorzaakt door voorshands nog willekeurige factoren zijn van dezelfde orde van grootte. Ook de verschillen tussen de locaties zijn niet groot indien de metingen op de pas aangelegde dijk bij Holwerd niet worden beschouwd.



7. INVLOEDEN OP DE EROSIEBESTENDIGHEID VAN DE BEKLEDINGEN

In de literatuurstudie die in de aanloop van het huidige onderzoek is uitgevoerd (LGM 1985) noemt enige invloeden op erosiegevoeligheid van recente onderwaterafzettingen. De studies van Metha & Partheniades (1975) geven aan dat zoutgehaltes van poriewater en van eroderend water en de kationenbezetting van de vaste stof belangrijk zijn voor cohesieve gronden. Deze factoren zullen in enigermate zeker een rol spelen bij de hier beproefde gronden. Echter, de structuur van de grond zal voor de bekleding van dijken een dominerende invloed uitoefenen, met de mogelijke uitzondering van pas aangebrachte grond. Het onderzoek in 1985 (GD 1986) heeft dat reeds aangegeven en ook het huidige onderzoek komt tot die slotsom. De factoren die de structuurvorming beïnvloeden zullen daarom van invloed zijn op het erosiegedrag. De fysisch- chemische parameters zullen dus op tweerlei wijze invloed op het erosiegedrag van gerijpte grond hebben. Enerzijds is de binding tussen individuele gronddeeltjes en mogelijk ook tussen kluitjes beïnvloed door deze factoren en anderzijds wordt de ontwikkeling van structuur in de grond door die factoren beïnvloed.

7.1 Algemene beschouwing van invloeden op het erosiegedrag

Alvorens in te gaan op verbanden tussen de materiaalsamenstelling van de monsters en het erosiegedrag zullen hier enige algemene kenmerken worden besproken (zie tabel 2 voor de mate van erosie en uithoudingsduur van de monsters van de locaties).

De resultaten van de erosieproeven vertoonden het volgende beeld. Het monster van de bekleding van de pas aangelegde dijk bij Holwerd is relatief erosiebestendig. Het gewichtsverlies van de monsters na het tweede uur is relatief gering en de gemiddelde uithoudingsduur ervan (280 minuten) is de hoogste van alle locaties. Ook de monsters van de locatie bij Harlingen zijn resistent tegen erosie. Deze monsters hebben het laagste gewichtsverlies na twee uur beproeving en hebben gemiddeld de op een na de langste uithoudingsduur (250 minuten). De monsters van de locatie bij Waarde worden het meest door erosie aangetast, ze hebben zowel een geringe uithoudingsduur als een groot gewichtsverlies na twee uur beproeven. De monsters van de locatie bij Barendrecht vertonen grote verschillen in erosiegedrag.

De monsters van de bekledingen met een volgens de beschrijving niet of slechts matig ontwikkelde structuur (zie bijlage 6) zijn dus relatief resistent tegen erosie (vergelijk ook de aantallen bepalingen aan structurelementen, N, in figuur 7 voor de locaties Harlingen en Holwerd met die voor de locaties Barendrecht en Waarde). Het materiaal van die dijkbekledingen bevat daarnaast veel zand en heeft een relatief klein specifiek oppervlak. Organisch materiaalgehalte, zoutgehalte en vloeigrens variëren sterk voor deze groep.



De monsters van de kruinlocatie van de dijk bij Barendrecht hebben weliswaar een geringe uithoudingsduur (165 minuten), maar ook een gering gewichtsverlies na twee uur beproeving. Het materiaal van deze monsters heeft een sterk ontwikkelde structuur (zie ook figuur 7) en eveneens een groot specifiek oppervlak. Indien nu het nog niet gerijpte materiaal van de bekleding van de dijk bij Holwerd buiten beschouwing gelaten wordt zijn er twee groepen monsters te onderscheiden, te weten:

- Een groep relatief resistente monsters
- Een groep relatief weinig erosieresistente monsters

De eerste groep onderscheidt zich van de tweede door een (i) laag specifiek oppervlak, (ii) een lage CEC en (iii) een lage vloeigrens en plasticiteitsindex. Deze eigenschappen, met name de plasticiteitsindex, wordt ook gebruikt om een indicatie over de cohesie-eigenschappen van grond te krijgen. Een hoge plasticiteitsindex wordt dan geassocieerd met hogere cohesie. Anderzijds hebben deze factoren zoals in eerdere paragrafen besproken een belangrijke invloed op de structuurvorming in de grond. De resultaten van de erosieproeven wijzen erop dat fysisch-chemische karakteristieken, en daarmee parameters als vloeigrens, door het effect ervan op structuurontwikkeling van belang zijn en in mindere mate door de effecten ervan op de interne cohesie van de structuurelementen.

Er bestaat echter een ondergrens voor de mate van interne samenhang van structuurelementen, immers zand erodeert onder de gegeven omstandigheden zeer snel. De thans beproefde monsters lijken deze grens echter nog niet te overschrijden of te benaderen.

7.2 Relaties tussen erosie en materiaalsamenstelling

De erosie na een uur oplopend toerental van het apparaat met aansluitend een uur met een toerental van 600t/min laat geen duidelijke en eenvoudige verbanden zien met de bepaalde materiaaleigenschappen. In de onderstaande tabel 9 is een vergelijking van erosiegedrag met materiaalsamenstelling gegeven. Als een voorlopige criterium voor erosiegevoeligheid kan worden gesteld dat erosie op een kale plek na 10 uur belasting niet dieper dan de intensief bewortelde zone mag komen, dat wil zeggen meer dan gemiddeld 5 mm per uur. In dat geval is materiaal waarvan monsters meer dan ongeveer 5 tot 10 % gewichtsverlies na de eerste twee uren erosie vertonen niet geschikt (daarbij wordt uitgegaan van de geometrie van het monster en van een vereenvoudiging van het modale patroon van de erosie). In tabel 9 zou dat gaan om de bekledingen van de dijk bij Waarde en die van de teen van de dijk bij Barendrecht (dit laatste als gevolg van de sterke erosie die optrad in zout water). Deze verschillen zijn terug te vinden in de materiaalsamenstelling en fysisch-chemische eigenschappen.

Tabel 9: De gemiddelde erosie (zout- en zoetwater) en enige materiaalkarakteristieken.

locatie	erosie% na 2 uur gemm.	% zand	% lutum	% afslib baar	spec.opp vloei grens	CEC	% org. mat.	% kalk	
Waarde kruin	20.7	21.9	26.1	54.7	143.4	64.8	35.5	4.7	25.2
Waarde teen	14.8	19.6	27.6	57.4	162.1	65.2	41.6	4.1	27.0
Baren- drecht teen	6.4	10.2	31.0	62.3	141.6	55.4	36.5	3.6	20.1
Hol- werd	2.1	25.3	33.1	53.8	124.7	70.3	34.1	4.8	19.9
Harling kruin	1.9	28.8	28.4	42.9	110.8	37.9	24.2	1.0	18.8
Baren- drecht kruin	0.6	21.4	27.6	52.3	117.0	44.4	27.0	1.5	18.5
Harling teen	0.0	28.7	29.6	43.9	121.3	37.4	27.2	1.2	18.3

De monsters van de locaties bij Waarde onderscheiden zich van de overige monsters door het grote gewichtsverlies bij behandeling met 0.1 N HCl, het kalkgehalte. Met de monsters van de teen van de dijk bij Barendrecht hebben ze een hoog specifiek oppervlak en een hoge verzadigingsgraad van 2- waardige ionen (Calcium en Magnesium) gemeen. Met de monsters van de nog niet gestructureerde bekleding van de dijk bij Holwerd hebben genoemde monsters een hoog organische stofgehalte en een hoge vloeigrens en CEC gemeen.

bladnummer : - 70 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

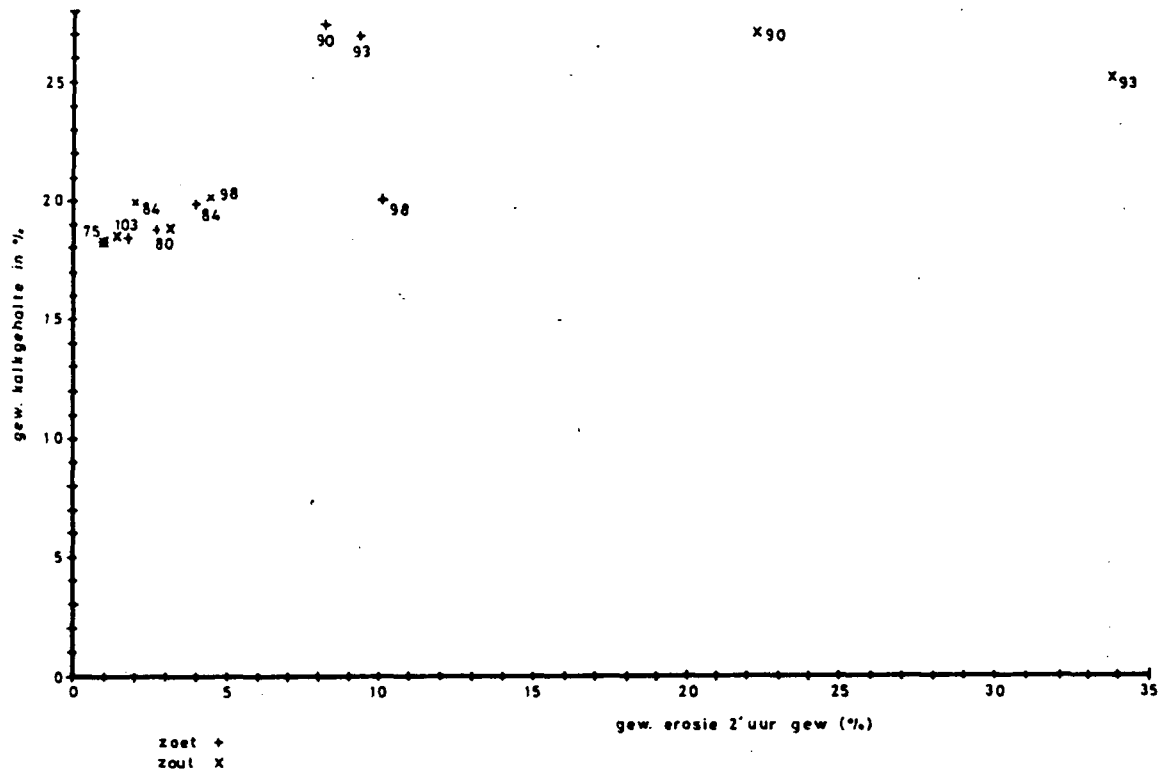
De bekleding van de dijk bij Holwerd is echter resistent tegen erosie in tegenstelling tot de monsters van de dijken bij Waarde en van Barendrecht. Het materiaal laat zich echter slecht vergelijken omdat er nog maar weinig structuur was gevormd. Bovendien beïnvloedt het zeer hoge zoutgehalte van de monster van de dijk bij Holwerd in hoge mate de fysisch- chemische eigenschappen ervan, evenals de vloeigrens.

In de figuren 28, 29, 30 en 31 zijn grafisch de mate van erosie gedurende de eerste twee uren van de proef weergegeven en uitgezet tegen kalkgehalte, 2- waardige kationenverzadiging, vloeigrens en lutumgehalte van de monsters. Er blijken geen sprekende correlaties met deze parameters. Evenals in het geval van invloeden van de materiaalsamenstelling op de vorming van structuur zijn er wat erosiegedrag betreft wel combinaties die relevant lijken. Uit de figuur 32 is af te leiden dat monsters met een specifiek oppervlak dat hoger is dan circa 130 tot 135 m²/g een sterkere erosie in zoet- en/of in zoutwater vertoonden. De figuur 28 geeft aan dat monsters met een hoger kalkgehalte sterker eroderen bij twee uur beproeven. De verschillen in erosie zijn echter zeer groot in vergelijking met de verschillen in kalkgehalte en de correlatie is daarbij te gering om zeggingskracht te hebben. De in figuur 29 uitgezette 2- waardige kationenverzadigingsgraad onderscheidt in combinatie met het kalkgehalte echter de weinig en de sterk erosiegevoelige monsters wel overtuigend. De monsters met een verzadigingsgraad van deze ionen van meer dan ongeveer 18 meq/100g en/of een kalkgehalte dat hoger is dan circa 20 % vertonen sterke erosie. De verzadigingsgraad voor deze ionen van grond kan echter veranderen met de poriewatersamenstelling. Bovendien vereist de bepaling van de kationenbezetting enige speciale voorzieningen.

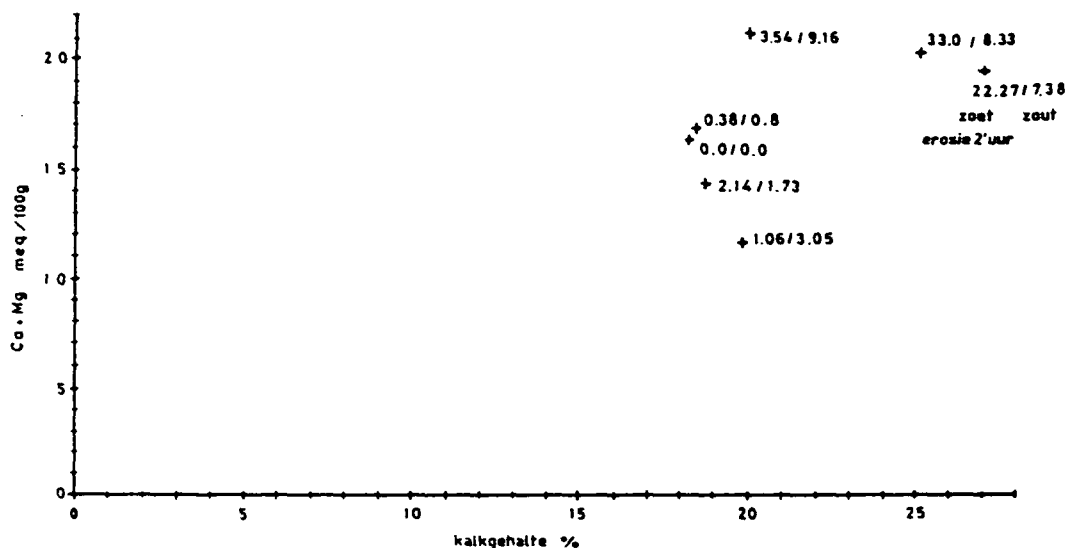
De figuur 30 geeft aan dat de kans op sterkere erosie toeneemt met het toenemen van de vloeigrens van monsters. De vloeigrens wordt echter door het zoutgehalte van grond beïnvloed en kan daarom bij het ontzilten of juist het zout worden van grond veranderen.

In de figuur 31 is de mate van erosie uitgezet tegen het lutumgehalte van de monsters. In het algemeen lijkt de kans op sterke erosie minder te worden naarmate het lutumgehalte stijgt.

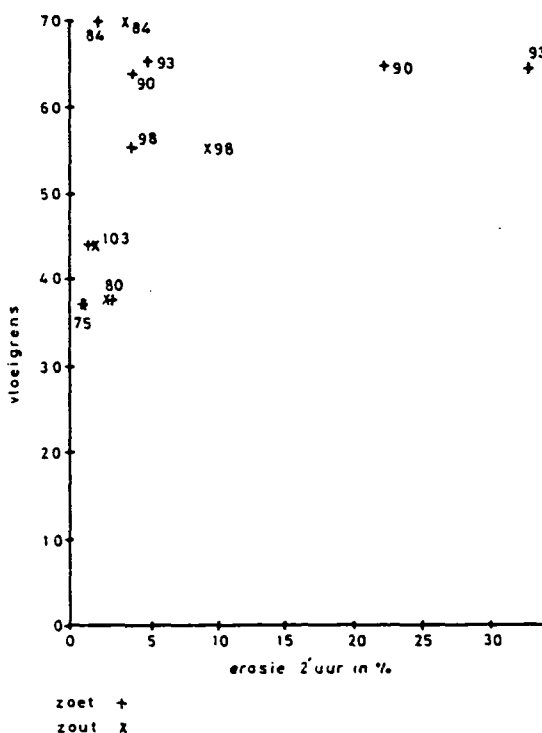
Van de karakteristieken van grond die niet op de korte of middellange termijn (tientallen jaren) sterk veranderen blijkt dat kalkgehalte samen met het gehalte aan deeltjes <16µ de erosie-gevoelige monsters de mogelijkheid geeft om de meer resistente monsters te onderscheiden zoals uit figuur 33 kan worden opgemaakt. De monsters met een hoog kalkgehalte en/of een hoog gehalte afslibbaar vertonen sterke erosie. Deze beide parameters zijn ook in verband met het evenwichtswatergehalte in een dijkbekleding naar voren gebracht als relevante karakteristieken voor de keuring van grond.



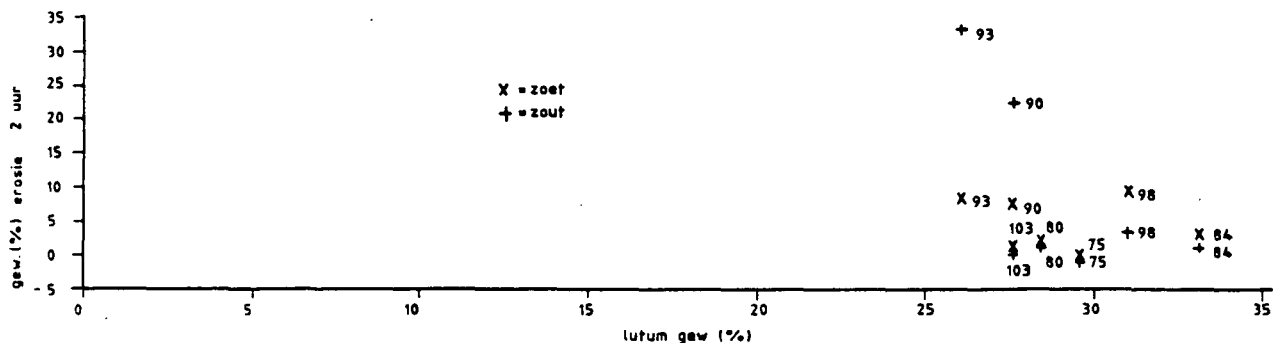
Figuur 28: Het gewichtsverlies (%) aan het eind van het tweede uur erosieproef in zoet- en in zoutwater uitgezet tegen het kalkgehalte van de monsters. De erosie neemt in het algemeen sterk toe bij een toename van het kalkgehalte voor de onderzochte monsters. De spreiding in kalkgehalte is echter gering in vergelijking met de verschillen in erosiegevoeligheid en de correlatie tussen beide is dan ook niet direct te gebruiken.



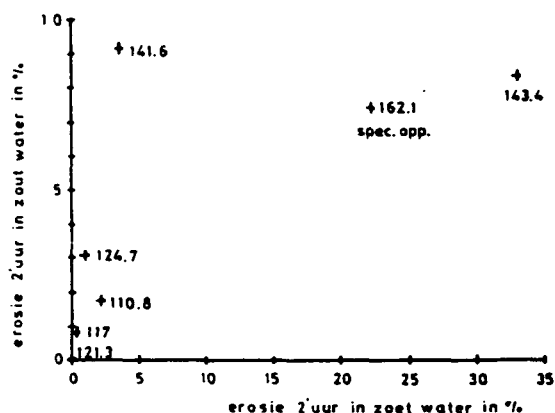
Figuur 29: De erosie (in gewichts %) na het tweede uur van de erosieproef in zoet- en in zout water is weergegeven naast de punten die het kalkgehalte en de som van de Calcium- en Magnesiumverzadigingsgraad aangegeven. De monsters met hogere kalkgehaltenes en daarbij een hogere Calcium- + Magnesiumverzadigingsgraad eroderen relatief sterk.



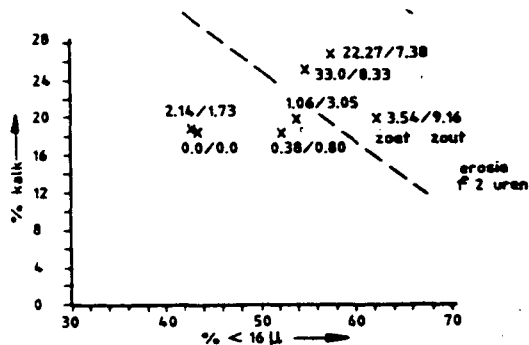
Figuur 30: De erosie (in gewichts %) na het tweede uur erosieproef uitgezet tegen de vloei grens van de monsters. In het algemeen komt sterke erosie alleen voor bij monsters met een hoge vloei grens.



Figuur 31: De erosie (in gewichts %) na het tweede uur erosieproef uitgezet tegen het lutumgehalte van de monsters. Voor de onderzochte gronden lijkt de mate van mogelijke erosie toe te nemen met het afnemen van het lutumgehalte. Deze trend wordt echter slechts door de erosie in zout water van de monsters van de dijk bij Waarde (90 en 93) veroorzaakt. Voor de overige monsters lijkt er geen verband met het lutumgehalte te bestaan.



Figuur 32: Het specifieke oppervlak (in m²/g) is weergegeven naast de punten die de erosie na het tweede uur beproeving in zout- en zoet water optrad bij de monsters. Materiaal met een hoog specifiek oppervlak blijkt een sterke erosie in zout water te ondergaan en ook in zoet water sterker te eroderen.



Figuur 33: De erosie die de monsters in zout en in zoet water na twee uren beproeving ondergingen is weergegeven naast de punten die het kalkgehalte en het gehalte aan deeltjes < 16µ in de grafiek aangegeven. De monsters die een lager kalkgehalte en een lager gehalte aan deeltjes < 16µ hebben eroderen relatief minder in zowel zout als in zoet water.

bladnummer : - 74 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

De verhouding tussen de zandfractie en het kalkgehalte van de monsters geeft eveneens een indicatie van erosiegedrag. In tabel 10 zijn de mate van erosie en deze verhouding opgenomen.

Tabel 10: De gemiddelde erosie (zoet- en zoutwater) en de verhouding tussen de zandfractie en het kalkgehalte van de monsters van de locaties. De monsters met veel kalk ten opzichte van het zandgehalte eroderen relatief sterk.

locatie	erosie 2de uur	$\frac{\% \text{ zand}}{\% \text{ kalk}}$
---------	-------------------	---

Waarde kruin	20.7	0.87
-----------------	------	------

Waarde teen	14.8	0.73
----------------	------	------

Baren- drecht teen	6.4	0.51
Hol- werd	2.1	1.27

Harling kruin	1.9	1.53
------------------	-----	------

Baren- drecht kruin	0.6	1.16
---------------------------	-----	------

Harling teen	0.0	1.57
-----------------	-----	------

Zoals uit het voorgaande mag blijken, zijn er geen directe indicaties over het erosiegedrag van de monsters te bepalen. De ontwikkeling van chemische en fysisch-chemische karakteristieken van een grond kan op velerlei manieren verlopen, elk met een bepaalde invloed op de structuurvorming van de grond en daarmee op de erosiegevoeligheid. Daarnaast is er de directe werking van factoren als zoutgehalte welke "interfereert" met de werking van die parameters op structuurvorming. Het lijkt voorshands echter mogelijk om enige algemene uitspraken over het erosiegedrag van de grond te doen aan de hand van de minder tijds- en plaatsafhankelijke karakteristieken van de grond. De korrelgrootteverdeling samen met het kalkgehalte (belangrijke componenten in het bepalen van de eigenschappen van het vaste

bladnummer : - 75 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

stofoppervlak) geven enig inzicht in te verwachten erosiegedrag voor de onderzochte gronden zoals uit de figuren 28 (erosie vs. kalkgehalte), 31 (erosie vs. lutumgehalte), 33 (kalkgehalte, fractie <math><16\mu</math> en erosie) en uit tabel 10 naar voren komt. De vloeigrens is eveneens als indicator aan te wenden. Het gebruik daarvan is mogelijk meer beperkt aangezien zoutgehalte en andere parameters die relatief snel in de tijd kunnen veranderen van invloed zijn op deze parameter.



8. DE DIEPTE VAN DE INVLOED VAN SEIZOENSWISSELINGEN

De volumeveranderingen die in de grond optreden als gevolg van veranderingen in watergehalte worden beïnvloed door enerzijds de atmosferische condities en anderzijds de nalevering van vocht door grondwater. De dijk bij Barendrecht is geheel uit kleiig materiaal opgebouwd (zie bijlage 2) en geeft daarmee de mogelijkheid deze invloeden te evalueren voor die dijk.

De dijken met een bekleding van kleigrond op een zandlichaam vertonen sterke wisselingen in vochtgehalte en droge dichtheid over de gehele dikte van de bekledingslaag. Op het contact van de bekleding met het zand is de verzadigingsgraad veelal lager dan in de bekleding daarboven. Kennelijk treedt daar uitdroging van de bekleding op door vochttransport naar het zandlichaam.

De bekleding van de pas aangelegde dijk bij Holwerd is ter plaatse van de nucleaire dichtheidsmetingen ongeveer ongeveer 1.4 m dik. De verandering van dichtheid, watergehalte en verzadigingsgraad die in deze bekleding optrad betrof eveneens de gehele bekleding. De verandering in de bovenste circa 1.2 m is er echter groter dan in de onderste .2 tot .3 m van de bekleding.

De figuren 9 laat zien dat er wisselingen in verzadigingsgraad optreden tot een diepte van meer dan 3 meter op de kruinlocatie van de dijk bij Barendrecht. Droge dichtheidsvariatie op de kruin- en teenlocaties van de dijk laten invloed zien van

- watergehalte wisselingen die vanaf het maaiveld verlopen en
- sterke wisselingen die lijken te worden geëffectueert vanuit de ondergrond.

Voor de kruinlocatie is er een minimum effect van deze invloeden op ongeveer 1.6 m beneden het maaiveld. Het minimumeffect voor de teenlocatie ligt op ongeveer 1.2 tot 1.4 m beneden het maaiveld. De gemeten verandering van droge dichtheid is het sterkst voor de invloed vanuit de ondergrond op het watergehalte bij de kruinlocatie.

In het algemeen kan gesteld worden dat de invloed van wisseling in watergehalte en daarmee in specifiek volume groot zijn in een kleibekleding van circa 1 m dikte. De metingen bij Barendrecht geven aan watergehalte- en volumeveranderingen die mogelijk met wisselingen in grondwaterspiegel samenhangen, groot zijn. Daarnaast geven die metingen aan dat de invloed vanaf het maaiveld tot een diepte van tenminste ongeveer 1.5 m duidelijk merkbaar zijn. Als een bekleding op een zandkern wordt aangebracht dan zal de bekleding ook aan de onderkant vocht verliezen aan het zandlichaam.



9. CONCLUSIES

In 1986 is onderzoek uitgevoerd naar constructieve eigenschappen van kleibekledingen van dijken in het kustgebied van Nederland. Evenals het onderzoek dat in 1985 werd uitgevoerd komt uit het voorliggende rapport naar voren dat de bodemstructuur voor de erosie en voor de doorlatendheid van kleibekleding de belangrijkste factor is.

De verzamelde gegevens over watergehaltenes en droge dichtheid van de bemonsterde bekledingslagen geven aan dat er voor elke bekleding een lineair verband bestaat tussen veranderingen van watergehalte en volumeveranderingen. Door de volumeveranderingen ontstaan er rekspleten en afschuifvlakken in de grond die tot gevolg hebben dat er structuur wordt gevormd.

Het watergehalte dat de grond op een dijk gaat aannemen na het aanbrengen, en de fluctuaties in het watergehalte, worden bepaald enerzijds door de negatieve waterspanning in de grond en anderzijds door het waterbindendvermogen en de doorlatendheid voor water van de grond. De negatieve waterspanning, zuigspanning, die kan optreden is afhankelijk van de ligging van de bekleding in de dijksconstructie en kan sterk variëren onder invloed van het weer. Het bereik van de fluctuaties in de zuigspanning voor een bekleding wordt in het rapport aangegeven met een gemiddelde van 100 kN/m^2 en een fluctuatie tussen 50 en 250 kN/m^2 . Het evenwichtswatergehalte en de fluctuaties van watergehalte die optreden bij de desbetreffende zuigspanningen wordt voor elke grond bepaald door de aard van het oppervlak van de vaste stofdelen en door, met name, de eraan geadsorbeerde kationen en het zoutgehalte van het bodemvocht.

Het uitgevoerde onderzoek geeft aan dat voor de onderzochte gronden de watergehaltenes worden bepaald door:

- de kationenbezetting van de grond, vooral door de verhouding tussen 1- en 2- waardige geadsorbeerde kationen;
- het zoutgehalte van het bodemvocht.

Ontwikkeling van zoutgehalte en kationenbezetting van de bekleding is afhankelijk van:

- ligging van de dijk t.o.v. open water
- opbouw van de dijk
- aard van het oppervlak van de vaste delen van de grond

Ten aanzien van de ligging van de dijk en de opbouw ervan zijn in dit opzicht aanvoer van zeewater door inundatie, spatwater, dan wel via grondwater van belang. Het onderzoek geeft aan dat de opbouw invloed heeft op de watergehalteveranderingen door de seizoenen. De vochtprofielen van de onderzochte dijken geven aan dat er naast een invloed vanaf het maaiveld ook een duidelijke invloed vanuit de ondergrond bestaat voor het watergehalte tot 1 tot 2 meter beneden het oppervlak. Bij een geheel uit kleiig materiaal opgebouwde dijk bleken

bladnummer : - 78 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

deze beide invloeden een minimaal effect op de watergehalteveranderingen te hebben op een diepte van 1.6m beneden het maaiveld. De dikte van de bekledingslaag zou tenminste in die orde van grootte moeten zijn om de ontwikkeling van structuur in tenminste een deel van de bekleding te minimaliseren. De gegevens van de onderzochte kleibekledingen lijken erop te wijzen dat deze water verliezen aan de zandkern en daardoor ook vanaf de onderzijde uit te drogen. Bij het bepalen van de dikte van de bekledingslaag zou dit effect zeker in beschouwing genomen moeten worden.

De aard van het materiaal lijkt eveneens van invloed te zijn op het evenwichtswatergehalte en de fluctuaties van het watergehalte. Deze invloed zal voor een groot deel verlopen via de invloed ervan op de kationenbezetting van de vaste stof. Voor de onderzochte gronden blijkt dat de gewichtsfractie deeltjes $< 16\mu$ en het kalkgehalte samen een indicatie kunnen geven over de volumeveranderingen in de grond en over de erosiebestendigheid ervan.

Het onderzoek geeft aan dat het onwaarschijnlijk is dat er eenvoudige verbanden tussen eenvoudig te bepalen materiaalparameters en de ontwikkeling constructieve eigenschappen gevonden zullen kunnen worden. Het ontwikkelen van keuringseisen die niet afhankelijk zijn van eventuele veranderingen van de grond binnen een termijn van enige jaren dient zich te richten op de samenstelling van de vaste stof, voorzover van belang voor de oppervlakte eigenschappen van die vaste stofdelen.

Het lijkt met het oog op het bovenstaande van belang de parameters die vanuit fysisch chemisch oogpunt relevant lijken en die daarbij constructieve kenmerken van het materiaal kunnen karakteriseren in beschouwing te nemen. Het onderzoek geeft aan dat met name het kalkgehalte (volgens de standaard HCl- bepaling) en het gehalte afslibbaar daarvoor in aanmerking komen. Beide parameters zijn gevoegelijk bekend in de civiele techniek. Daarnaast is het van belang het organische stofgehalte in de beschouwing te betrekken gezien het effect ervan in gronden met een lager gehalte aan fijne delen. Het zoutgehalte heeft een in veel opzichten dominante invloed op de ontwikkeling van de constructieve eigenschappen van een bekledingsgrond zoals uit het rapport mag blijken. Het zoutgehalte dient daarom bij de keuring ook voor de ontwikkeling van constructieve eigenschappen te worden beschouwd.

De invloed van de ligging van de dijk en de constructie ervan is echter van minstens zo groot belang voor de ontwikkeling van constructieve eigenschappen als de samenstelling van de vaste stof. Met name mogelijke veranderingen in zoutgehalte en de ermee geassocieerde veranderingen in de kationenbezetting beïnvloeden de vorming van structuur en hoge mate.

bladnummer : - 79 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Ten aanzien van de dikte van een kleibekleding kan het volgende worden opgemerkt. Het onderzoek tot dusver heeft aangegeven dat structuurvorming van belang is voor de ontwikkeling van constructieve eigenschappen. Tot dusver is het mogelijk geweest om enige algemene uitspraken te doen over de diepte van fluctuaties in watergehalte die de structuurvorming bepalen. Gegeven het hierboven genoemde belang van de ligging en opbouw van de dijk voor het gedrag van de bekleding lijkt het echter belangrijk meer informatie te verwerven over de diepte van de vorming van structuur. Voorshands lijkt een dikte (zie ook LGM 1985) van minder dan 1 m ruim onvoldoende voor een kleibekleding. Het hier gerapporteerde onderzoek geeft aan dat er ook op een diepte van meer dan 1.5 m nog aanzienlijke fluctuaties in verzadigingsgraad en watergehalte optreden in een uit klei opgebouwde dijk. Conclusies ten aanzien van de gewenste dikte van een kleibekleding zijn thans echter nog niet goed te onderbouwen, maar lijken in de nabije toekomst wel van belang.



9.1 Aanbevelingen

- De opbouw en ligging van een dijk dienen in aanmerking te worden genomen voor het ontwerpen van een eventuele kleibekleding en wel vooral vanwege te verwachten permanente volumeverandering na het aanbrengen en seizoensmatige volumeveranderingen.
- Bij het ontwikkelen van keuringseisen voor kleibekledingen dient de invloed van de opbouw en de ligging van de dijk en de bekledingslaag te worden verdisconteerd.
- Voor het keuren van klei dient tenminste het zoutgehalte te worden bepaald alswel eigenschappen die een indicatie over fysisch-chemische parameters geven zoals de vloeigrens of de plasticiteitsindex dan wel parameters die hierover een uitspraak kunnen doen.
- Het kalkgehalte van grond heeft voor de hier onderzochte gronden een significante invloed op de ontwikkeling van het waterhoudend vermogen en dient bij de keuring te worden omschreven.
- Het effect van de dikte van een kleibekleding op de structuurvorming erin is niet goed bekend en dient nader onderzocht te worden alvorens algemene uitspraken daarover gedaan kunnen worden.
- De dikte van kleibekleding van een dijk met een zandkern dient nader onderzocht te worden en zal waarschijnlijk meer dan 1.5 m dienen te bedragen om de effecten van structuurvorming op het erosiegedrag van de dieper gelegen delen van de bekleding te minimalizeren.
- De dikte van de bekledingslaag boven een bepaald minimum heeft weinig effect op de doorlatendheid ervan en de doorlatendheid varieert relatief zo weinig dat de keuring daar geen aandacht besteedt hoeft te worden.

bladnummer : - 81 -
ons kenmerk: CO- 275923/29
datum : augustus 1987



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Literatuur

COW 1980: Infiltratieproef in het binnentalud van een kleidijk nabij Zierikzee. COW rapport S-75.046, 12 pp.

COW 1984: Klei, bestekseisen ten behoeve van constructie en uitvoering, overzicht huidige kennis en onderzoeksvorstel. Centrum Onderzoek Waterkeringen rapport S-81.023, 's Gravenhage, 44 pp.

GD 1986: Onderzoek van kleibekledingen van dijken langs IJssel en Pannerdens Kanaal voor het ontwikkelen van keuringseisen voor klei. GD rapport CO-275921/47, Grondmechanica Delft, 73 pp.

LGM 1985: Kleigrond voor de bekleding van dijken: Opmerkingen over het zwellen en krimpen en het ontwikkelen van structuur. Rapport CO-275920/12, Laboratorium voor Grondmechanica (thans Grondmechanica Delft), Delft, 74 pp.

LGM 1985a: Klei onder steenzettingen, Oesterdam en Philipsdam. Onderdeel erosieproeven in de centrifuge. Rapport CO- 416440/31, Grondmechanica Delft.

WL 1982: Grootschalig onderzoek ten behoeve van de Oesterdam (Deltagoot onderzoek). WL rapport M1795, deel VI, Waterloopkundig Laboratorium Delft.



GRONDMECHANICA
DELFT

Foto's	Tekeningen	Beschrijving	Boorkolommen
O		Opgebrachte grond	Hoofdbestanddelen met hoofdletters ; bijbestanddelen met kleine letters nader onderscheiden aldus : (...) voor zwak ... houdend of ... ig, ... voor matig ... houdend of ... ig en ... voor sterk ... houdend of ... ig. ... houdend indien bepaald d.m.v. fractieanalyse ... ig bij alle andere wijzen van bepaling
T		Teelaarde, zwarte gr. } Hoedanigheid is waar mogelijk aangegeven	
Lu		Lutum di. uitsluitend... fractie 0 - 2 µm	Indeling van de gelaagheid (...) met weinig ... laagjes of ... stukjes, ook ... lensjes, ... nestjes, enz. ... met matig of met veel ... laagjes of ... stukjes, ook ... lensjes, ... nestjes, enz.
K		Klei	
M		Mergel	Bijbestanddeel Precisie : geschat met water geschud fractieanalyse
L		Leem	
Lö		Löss	Laagscheiding Precisie : onzeker benaderd zeker
S		Silt	
Z		Zand	Laagjes en/of stukjes Hoofdbestanddeel bijbestanddeel
G		Grind	
R		Stenen, keien, (R)otsblokken fracties > 60 mm	Z1 (k) KX Zand, fijn, zwak kleilig met matig en / of veel Kleilaagjes
IJ		(land)-Usatzetsel m.n. keileem (keikle)	
P		Potklei	K3 Z1 (VY) Klei, stijf, fijn zandig met weinig Veenstukjes
F		Flugsand (of andere vulkanische producten)	
Pr		Plantenresten	Z1 (KX) VY Zand, fijn, sterk silt houdend met weinig Kleilaagjes en met matig en / of veel Veenstukjes
H		Humus	
V		Veen	G1 Z3 Grind, fijn, Zand, grof
N		Niet nader benoemde (humeuze) slappe grond, modder, e.d.	
A		As, sintels	KX ZX Afwisselend Zand - en Kleilaagjes
Ho		Hout	
B		Brokken, baksteen, puin, e.d.	KY Kleistukje (plaatselijk)
Co		Concreties	
C		Schelpen	VX Veenlaagje (plaatselijk)
W		Water	
... X		... laagje(s)	Ongeroerd monster Geroerd monster Verloren monster, leeg, enz. Kalkvrij Met weinig kalk Met veel kalk P = massa per volume in t/m³
... Y		... stukje(s), ook ... lensjes ... nestjes, enz.	
Samenhangende grond: 1 slap 2 middelmatig slap of stijf 3 stijf		Niet samenhangende grond: 1 fijn 2 middelkorrelig 3 grof	



BIJLAGE 6:

PROFIELKUILBESCHRIJVINGEN.

- Voor bewortelingsdiepten zie tabel 5 in het rapport.
- Voor richtingen en hellingen van spleten en scheuren zie de figuren 7 en 8 in het rapport.
- In de bijlagen 2, 3, 4, en 5 zijn dwarsprofielen van de dijklichamen weergegeven met daarin de plaatsen van de boringen en de boorbeschrijvingen.

BARENDRECHT.

locatie 2, bij teen van de dijk:

Er is geen aparte bekledingslaag te onderscheiden. De aangetroffen grond is siltige, zwak fijnzandige klei die enig fijn puin bevat.

Opname in mei 1987:

0	-.3	fijne blokkige structuur
.3	-.55	groffe blokkige structuur
.55	-.7	groffe blokkige structuur met veel puin en stukken hout
.7	-.8	groffe blokkige structuur

Opname in augustus 1987:

De grond vertoont intensieve roestvlekken en bevat veel schelpen.

0	-.07	kruimelige structuur
.07	-.3	fijne blokkige structuur
.3	-.75	groffe blokkige en prismatische structuur; enige grote verticale scheuren staan 5 tot 10 mm open

Opname in oktober 1987:

De grond is bruingrijs en matig oranje en wit gevlekt.

0	-.03	kruimelige structuur
.03	-.25	fijne blokkige structuur
.25	-.8	groffe prismatische en blokkige structuur

locatie 3, bij kruin van de dijk:

Er is geen aparte bekledingslaag te onderscheiden. De aangetroffen grond is siltige, zwak fijnzandige klei die enig fijn puin bevat.

Opname in mei 1987:

0	-.4	blokkige structuur; veel fijn en grof puin
.4	-.9	losse blokkige structuur

Opname in augustus 1986:

Tot ongeveer .5m is de grond zeer droog en hard, kan slechts met hakken worden verwijderd.

0	-.07	kruimelige structuur
.07	-.35	fijne blokkige structuur, zeer droog
.35	-.9	groffe prismatische en blokkige structuur; 7 verticale scheuren 5 tot 15 mm open; op .55m een puinlaagje met veel basalt stukjes

Opname in oktober 1986:

De grond bevat weinig puin; plaatselijk komen witte en zwarte vlekken voor.

0	-.05	kruimelige structuur
.05	-.3	fijne blokkige structuur
.3	-.8	groffe prismatische en blokkige structuur; veel scheuren die 1 tot 2 mm open staan



HARLINGEN.

locatie 2, boven steenzetting:

De bekleding bestaat uit 0.7m siltige en zandige klei die op fijn zand rust. In de bovenste 0.3m komen plaatselijk grijze zandlenzen voor. De grond bevat veel puin (3%) en afval en veel fijne schelpresten.

Opname in mei 1987:

0	-.05	kruimelige structuur
.05	-.3	blokkige structuur
.3	-.75	zwak blokkige structuur, .55 -.75 zeer zwak ontwikkelde platige structuur

Opname in augustus 1986:

0	-.05	kruimelige structuur
.05	-.3	fijne blokkige structuur
.3	-.8	matig ontwikkelde groffe prismatische structuur

Opname in oktober 1986:

0	-.03	kruimelige structuur
.03	-.15	fijne blokkige structuur
.15	-.8	groffe prismatische en zwakke grofblokkige structuur; enige scheuren 2 tot 5mm open en veel kleinere scheuren ongeveer .1mm open

locatie 3, bij de kruin:

De bekleding bestaat uit circa .75m siltige en zandige klei die op op fijn zand rust. De bekleding bevat kleibrokken en enige subhorizontale zandlenzen. De grond bevat veel puin en ander afval zoals hout en weinig schelpfragmenten.

Opname in mei 1986:

0	-.05	kruimelige structuur
.05	-.7	zeer zwak ontwikkelde prismatische tot blokkige structuur

Opname in augustus 1986:

0	-.12	zeer losse kruimelige structuur
.12	-.35	kruimelige tot fijne blokkige structuur
.34	-.8	zwak ontwikkelde prismatische structuur
-		

Opname in oktober 1986:

0	-.25	kruimelige tot fijnblokkige structuur
.25	-.8	groffe prismatische structuur met enige grote scheuren 3 tot 5mm open



HOLWERD.

locatie 3, nabij de kruin van de dijk:

De bekleding is 3 weken voor de eerste opname in mei aangebracht en bestaat ter plaatse van de profielkuilen uit circa 1.4m sterk siltige zwak fijnzandige klei gelegen op fijn zand. De grond is donkergrijs van kleur en vertoont roestkleurige vlekken bijna altijd in de buurt van macroporiën. De grond bevat matig veel schelpjes en schelpfragmenten en plaatselijk zijn subhorizontale dunne zandlensjes zichtbaar.

Opname in mei 1986:

Geen vegetatie.

0	-.15	fijne blokkige structuur
.15	-.25	matig ontwikkelde platige structuur
.25	-.35	blokkige structuur
.35	-1.1	massief met enige verticale spleten van .35 tot .55 welke circa .1 mm open staan

Opname in augustus 1986:

0	-.05	kruimelige structuur
.05	-.2	fijne blokkige structuur waarin resten van platige structuur
.2	-.8	groffe prismatische structuur met duidelijk afgetekende zuilen over de gehele diepte en waartussen enige spleten van circa 1mm

Opname in oktober 1986:

0	-.04	kruimelige structuur
.04	.2	fijnblokkige structuur
.2	-.35	blokkige structuur
.35	-.9	groffe prismatische structuur; de beworteling volgt de scheuren in de bekledingslaag tot .9 m diepte



WAARDE.

locatie 2, nabij de teen van de dijk:

De bekleding van de dijk bestaat ter plaatse uit een zandige kleiige siltlaag van .6m gescheiden van onderliggend fijn zand door een sterk verbokkelde kleilaag. De grond bevat zandinsluitels, sommige ter grootte van graafgangen van konijnen en dergelijke.

Opname in mei 1986:

0	-.55	fijne blokkige structuur
.55	-.7	grof prismatische en blokkige structuur; met veel grote spleten die .5 tot 2 cm open staan.

Opname in augustus 1986:

0	-.05	kruimelige structuur
.05	-.25	fijnblokkige structuur
.25	-.9	groffe blokkige en prismatische structuur; 3 verticale scheuren 5 mm open

Opname in oktober 1986:

0	-.3	fijnblokkige structuur
.3	-.8	groffe prismatische en blokkige structuur; veel zandinsluitels

locatie 3, nabij buitenberm:

De bekleding bestaat terplaatse uit circa .6m kleiige en zandig silt gelegen op .3m siltige klei die op het fijne zand van de kern is aangebracht. De grond vertoont veel grotere spleten. In de bovenste .4 m komen zandlensjes en laagjes voor.

Opname in mei 1986:

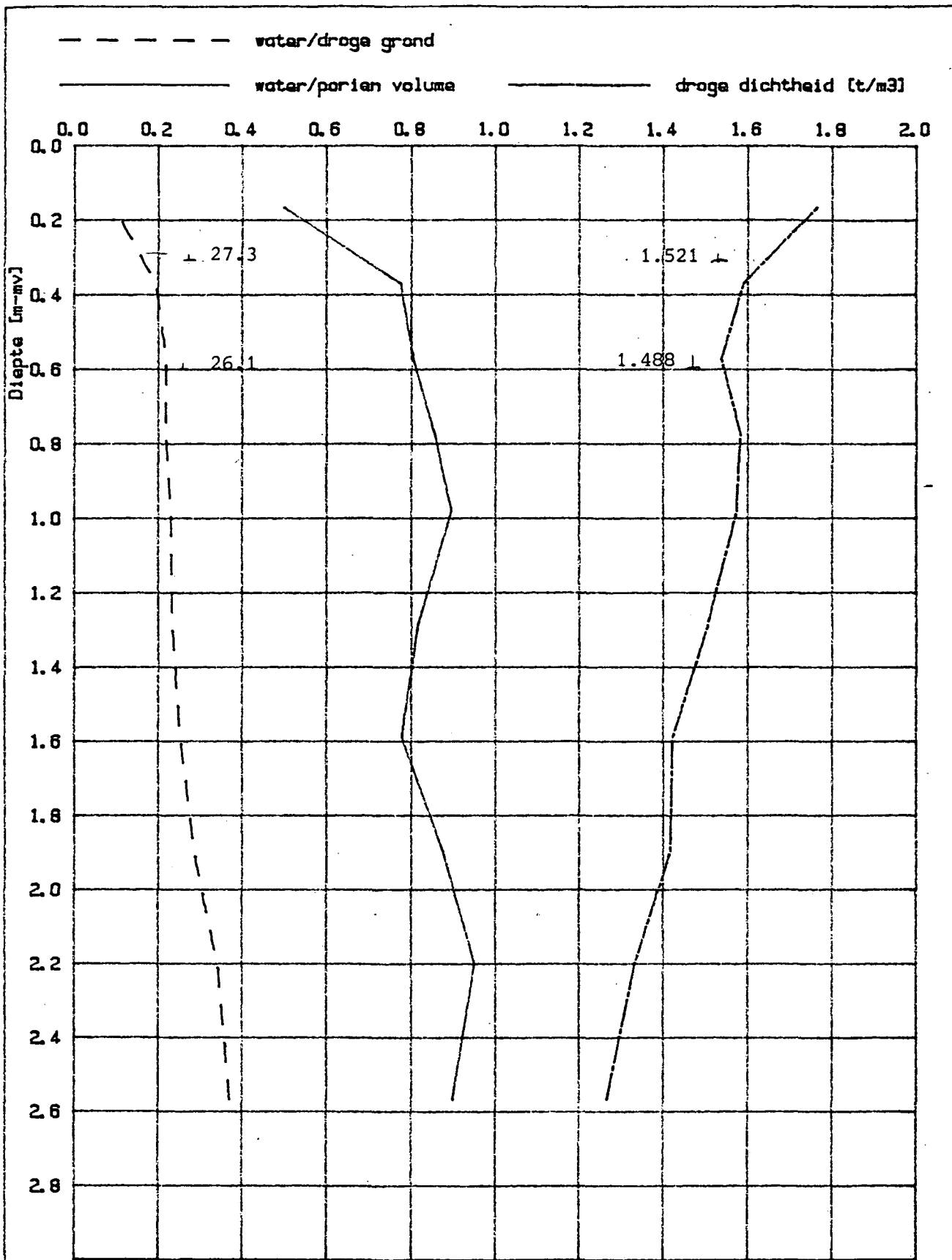
0	-.4	fijne blokkige structuur
.4	-.9	groffe prismatische en blokkige structuur met spleten van 10 tot 20 mm door de bekleding gaan


Opname in augustus 1986:

0	-.1	kruimelige structuur
.1	-.35	fijne blokkige structuur
.35	-.9	groffe blokkige en prismatische structuur; 4 verticale scheuren 10 tot 20 mm open, deels gevuld met zand

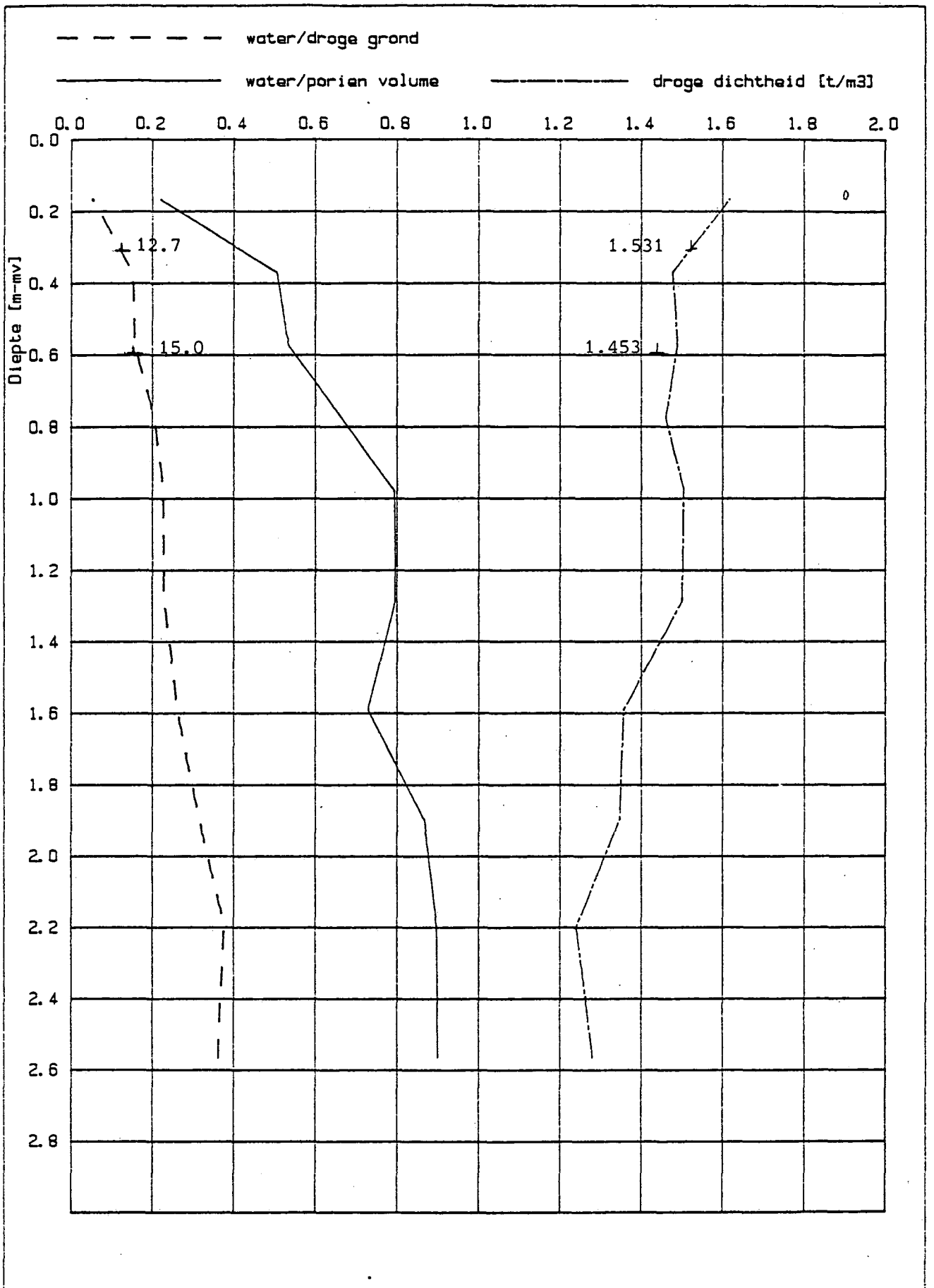
Opname in september 1986:

0	-.05	kruimelige structuur
.05	-.2	fijne blokkige structuur
.2	-.85	groffe prismatische en blokkige structuur; van .6 tot .85 m enige grote scheuren meer dan 20 mm open



 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 20-05-86
	CO-275922
	Bijl.: 7A

D. W. W
 Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : BARENDRECHT (teen)
 Sonde : NEA



LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 07-08-86

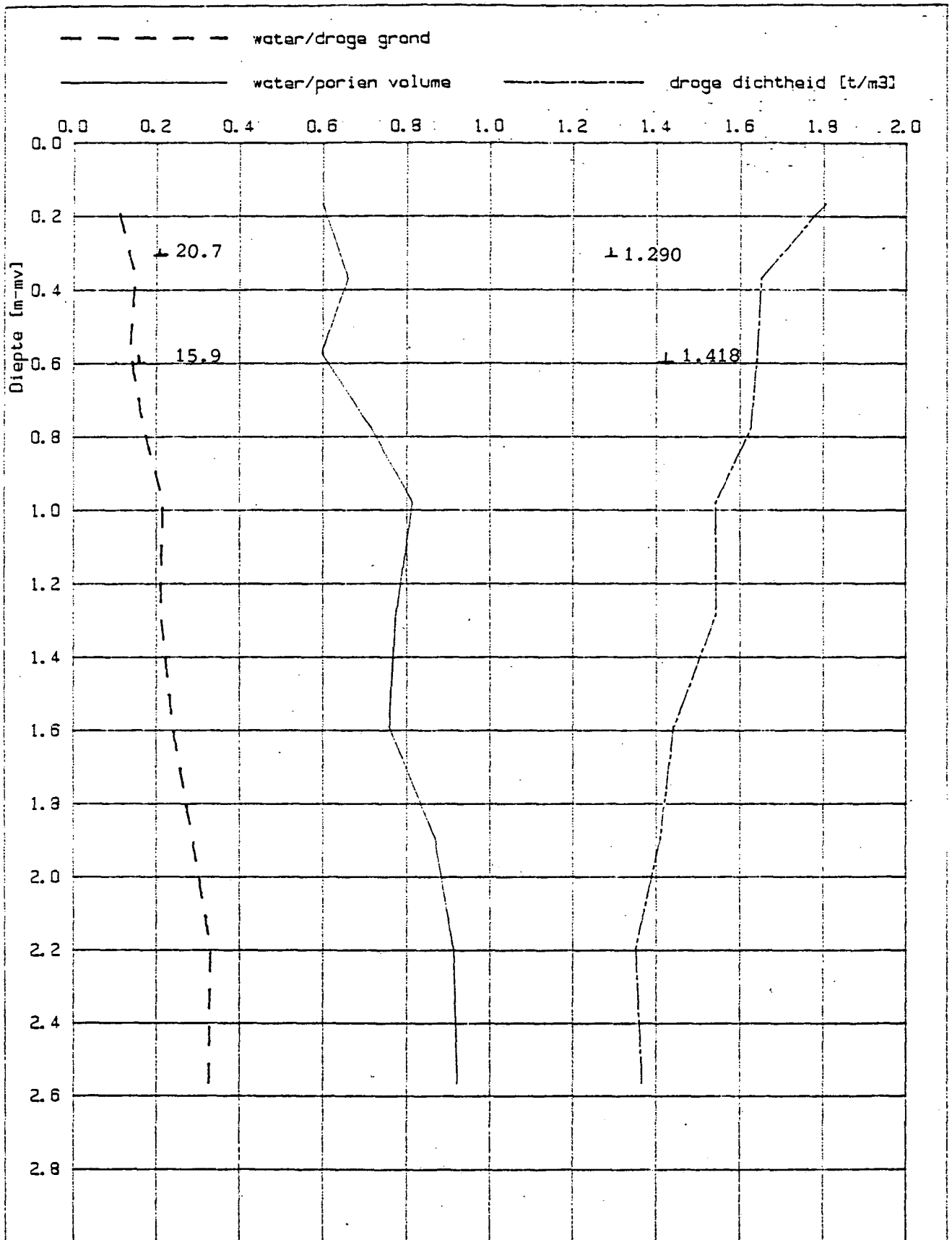
D. W. W

CO-275922

Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : Barendrecht (teen)

Sonde : NEA

Bijl.: 7B



GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 21-10-86

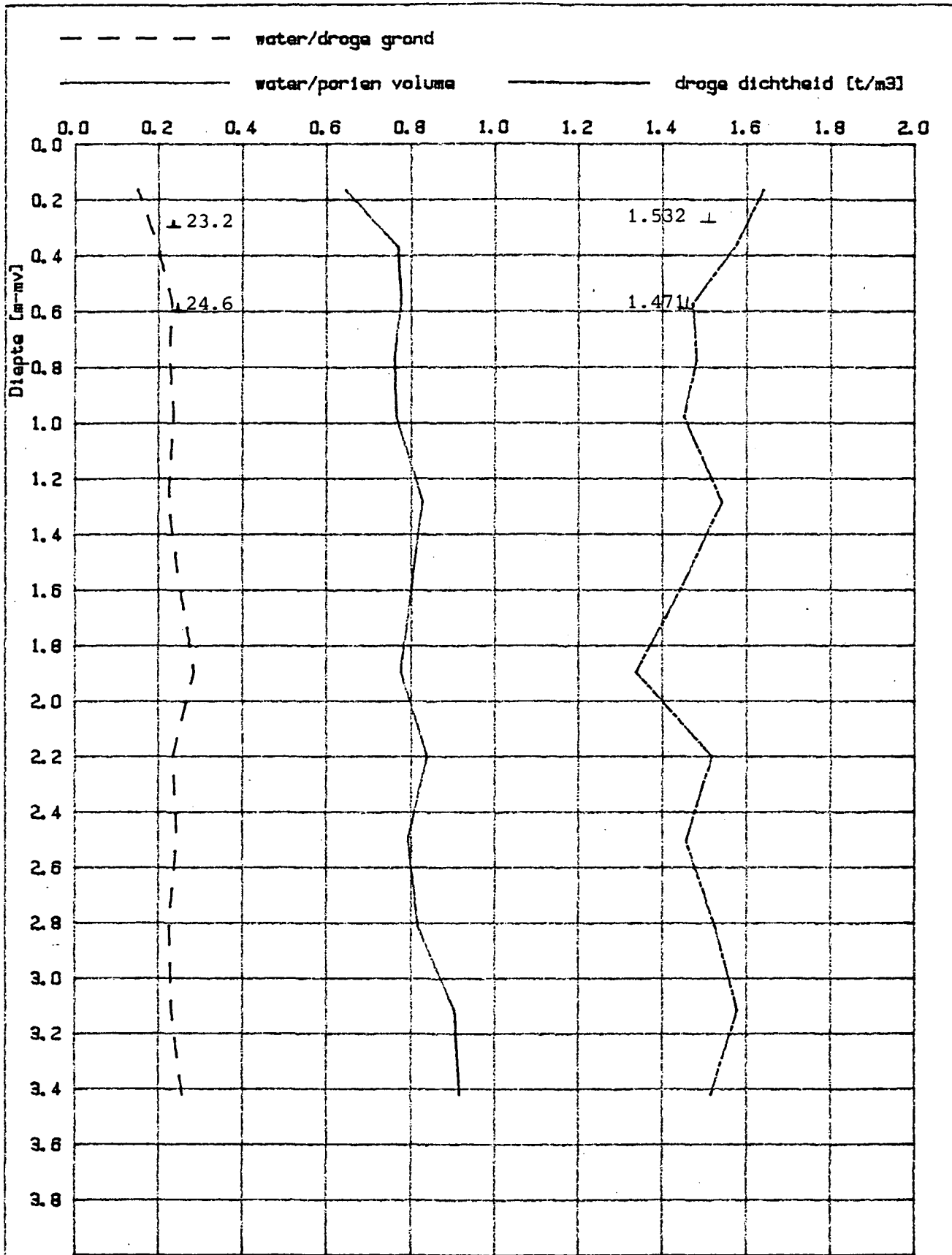
D. W. W


CO-275922

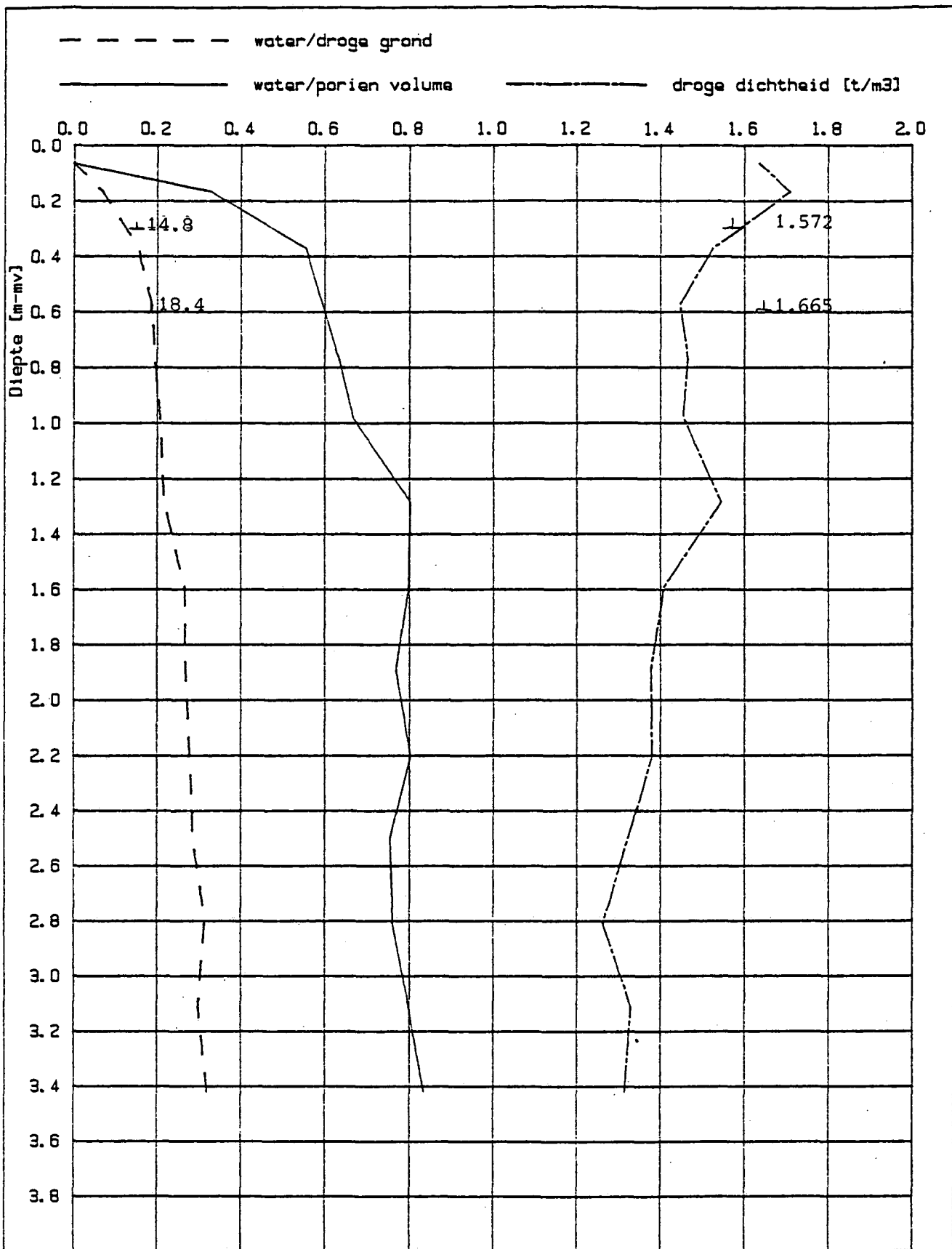
Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : Barendrecht (teen)


Sonde : NEA

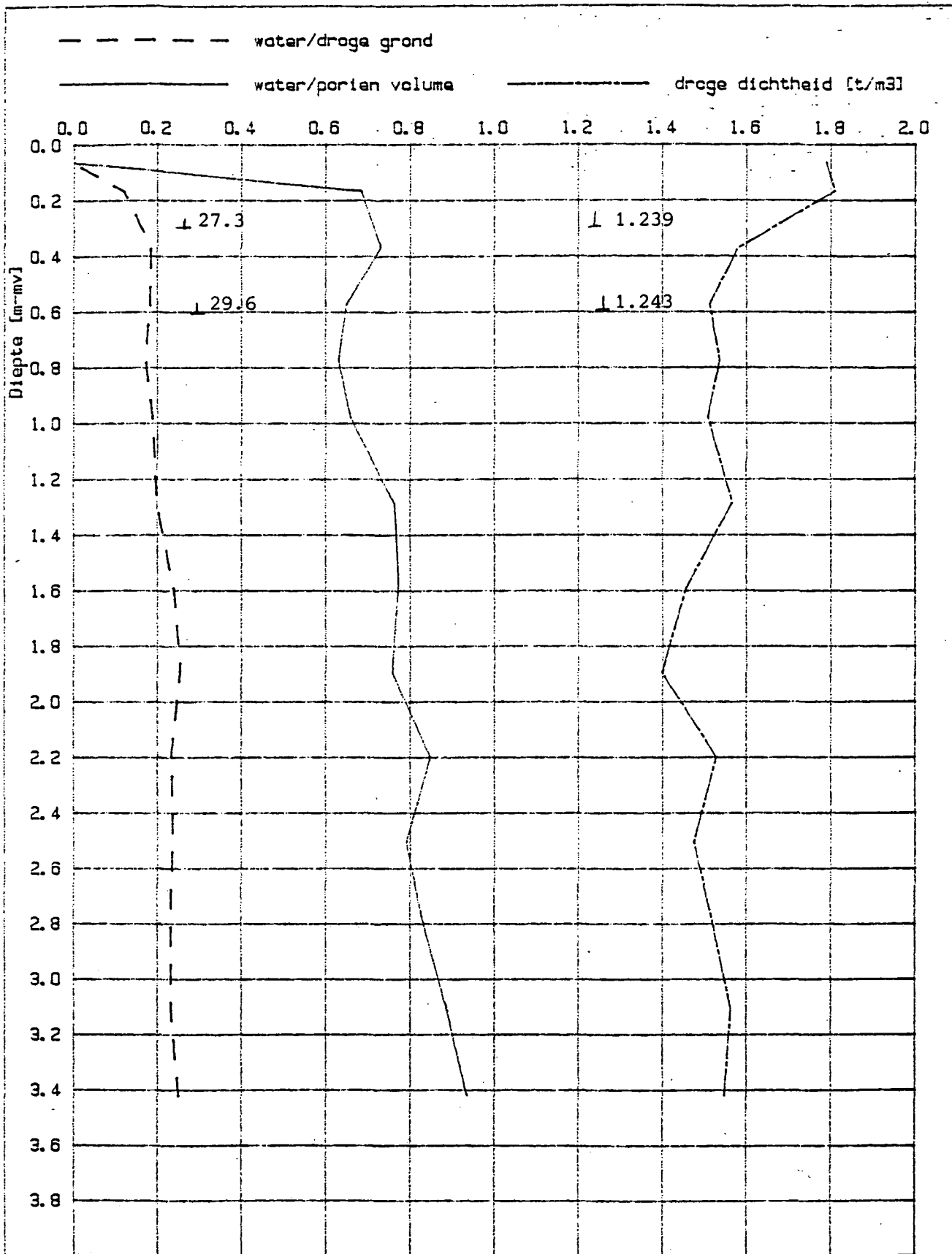
Bijl.: 7C



 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 20-05-86
	CO-275922
D. W. W Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : BARENDRECHT (kruin) Sonde : NEA	Bijl.: 7 D



	LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 07-08-86
	D. W. W	CO-275922
	Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : BARENDRECHT (kruin) Sonde : NEA	Bijl.: 7E



GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 21-10-87

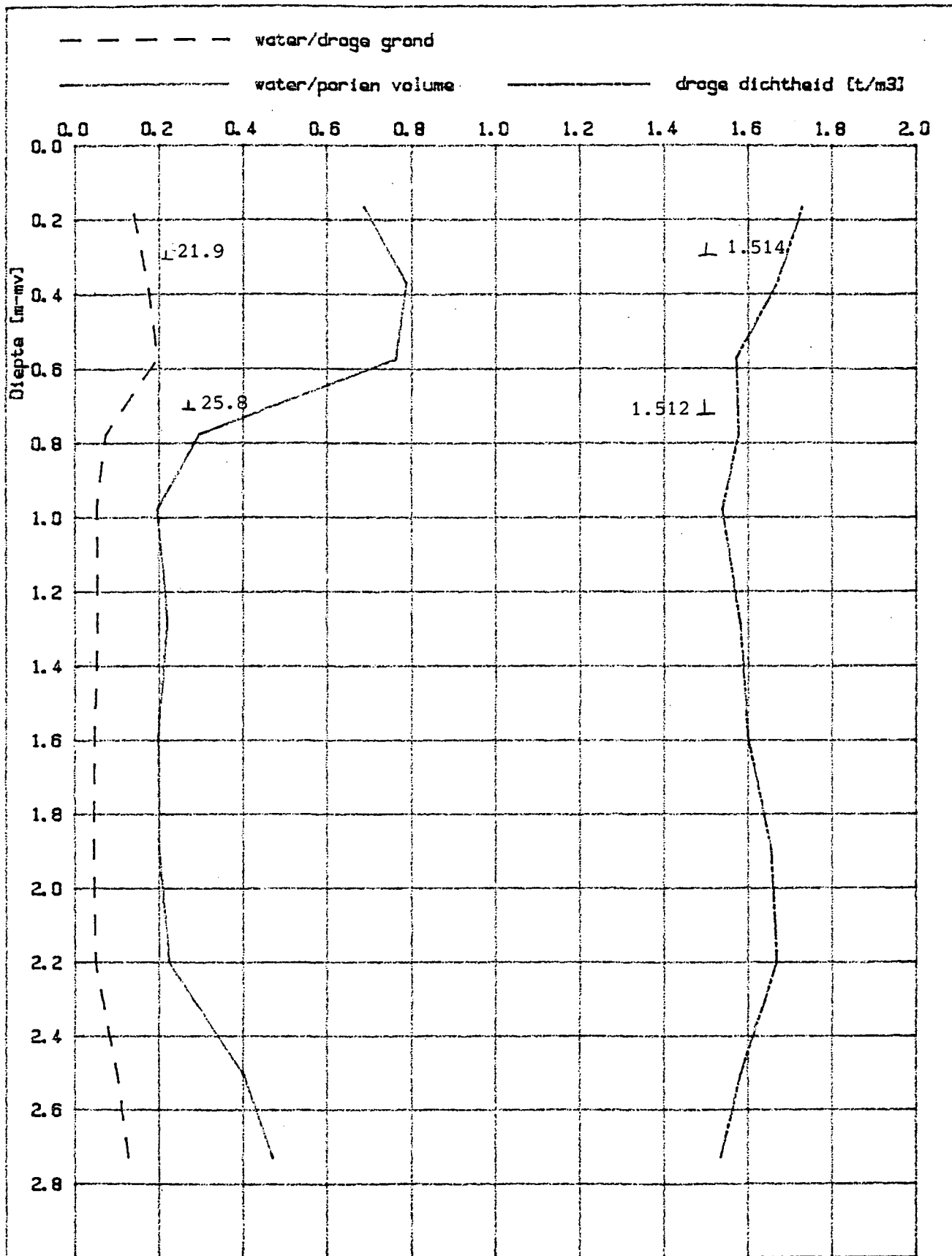
D. W. W


CO-275922

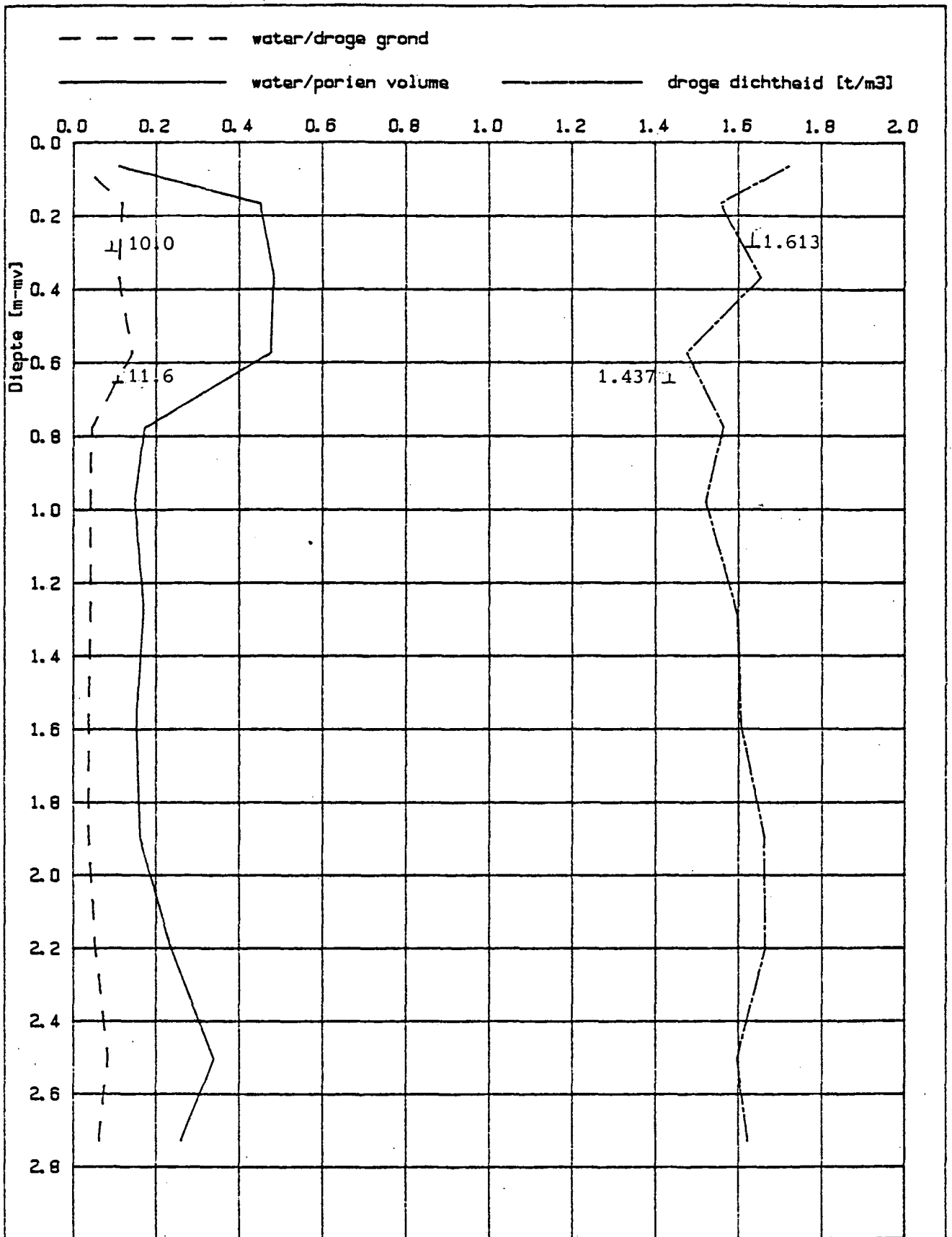
Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : BARENDRECHT (kruin)


Sonde : NEA

Bijl.: 7F



 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 12-05-86	
	CO-275922	
	Bijl.: 7G	
D. W. W Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie: HARLINGEN (teen) Sonde: NEA		

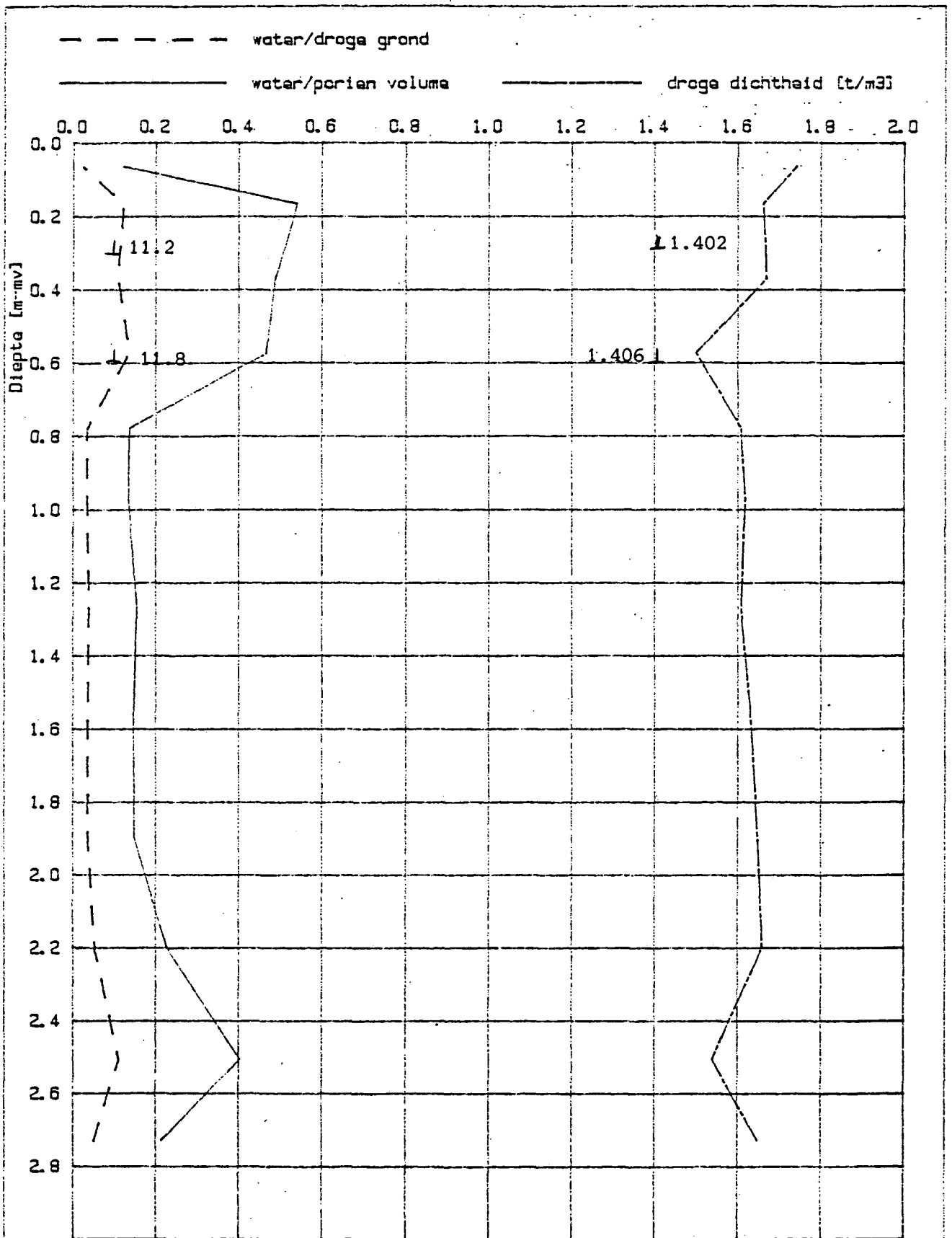


 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 07-08-86
	CO-275922
	Bijl.: 7 H

D. W. W

Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : HARLINGEN (teen)

Sonde : NEA



GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 23-10-86

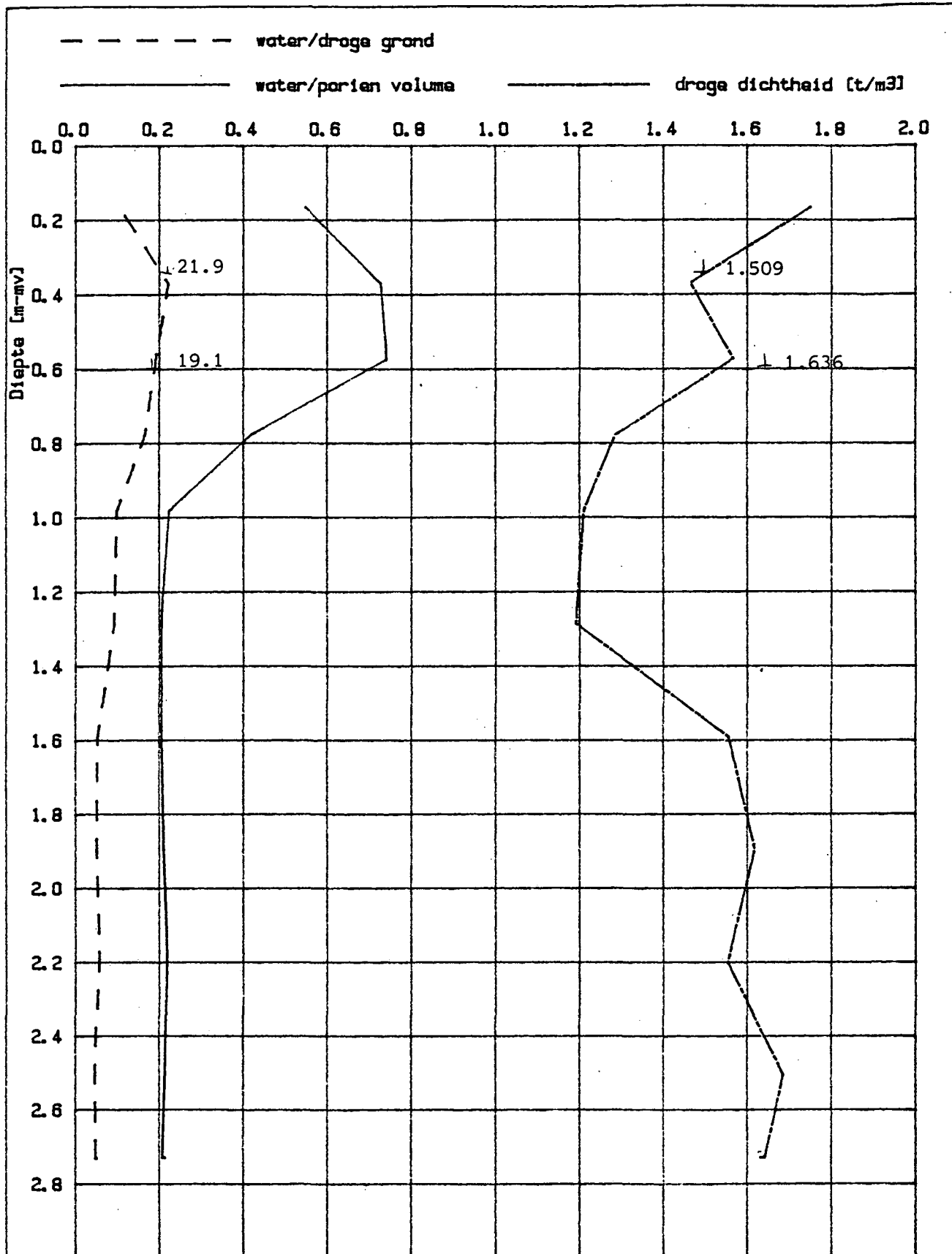
D. W. W

CO-275922

Nucleaire dichtheidsmeting: Locatie: HARLINGEN (teen)

Sonde: NEA

Bijl.: 7 I



LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 12-05-86

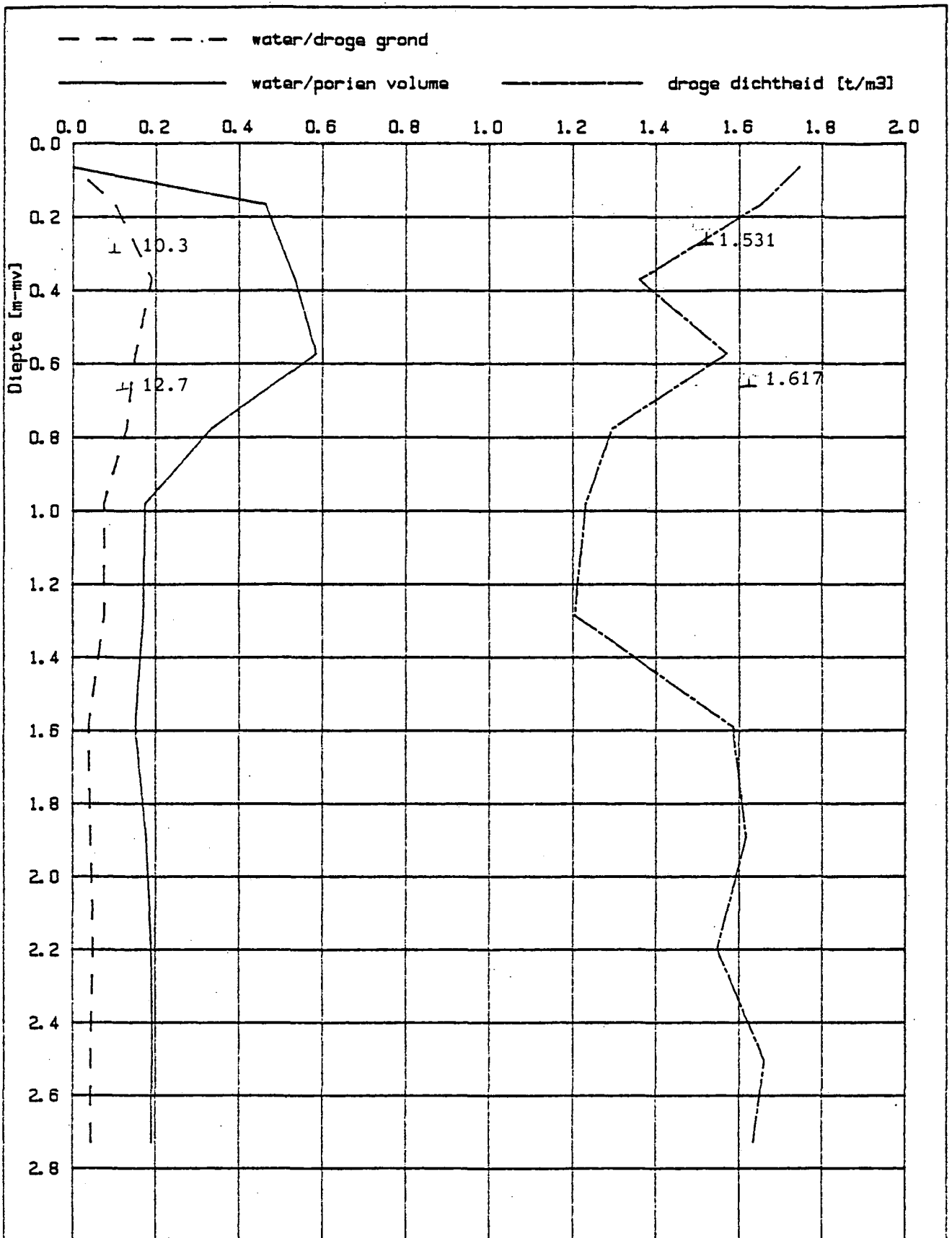
D. W. W


CO-275922

Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie: HARLINGEN (kruin)

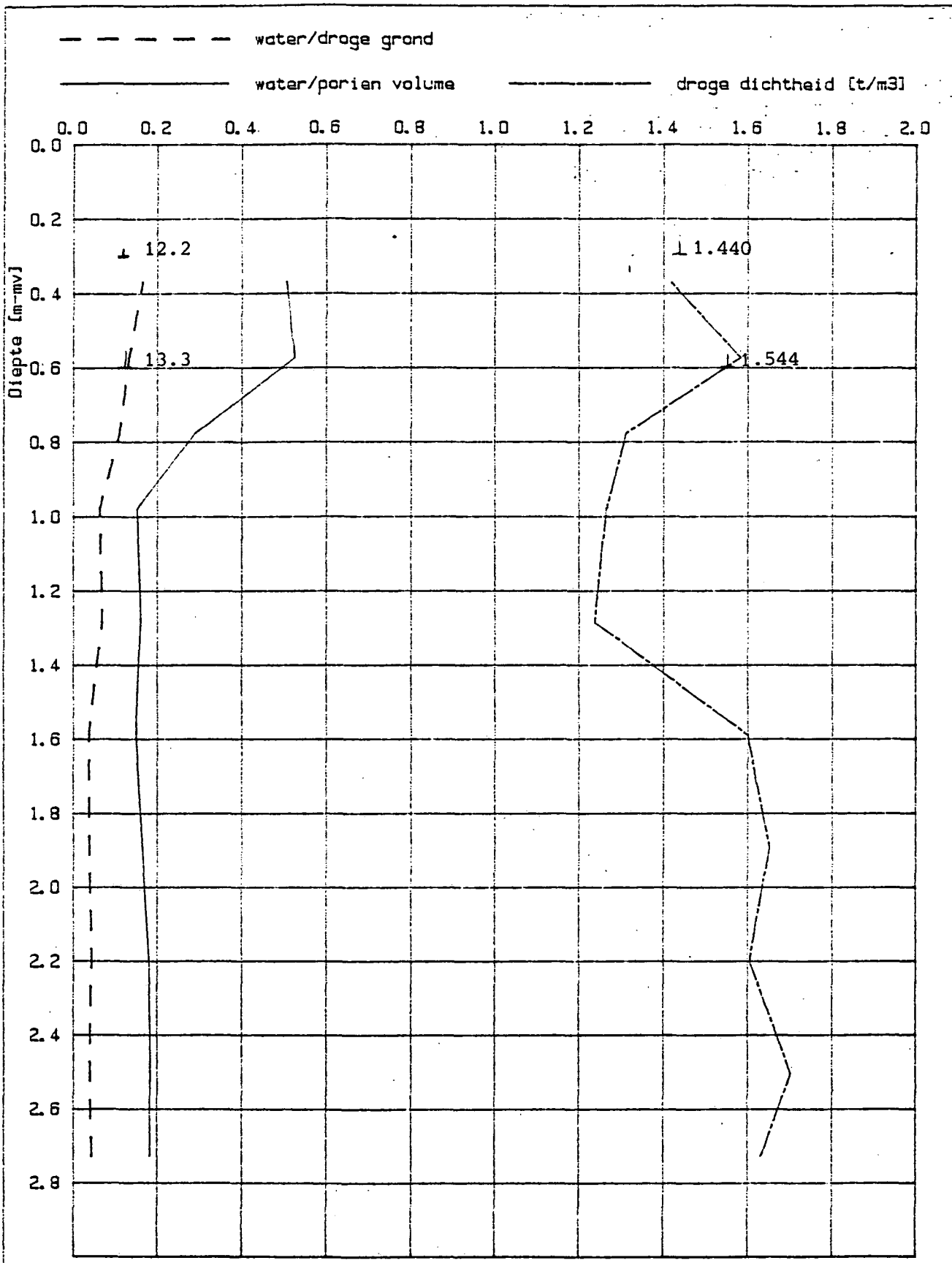
Sonde: NEA


Bijl.: 7 J

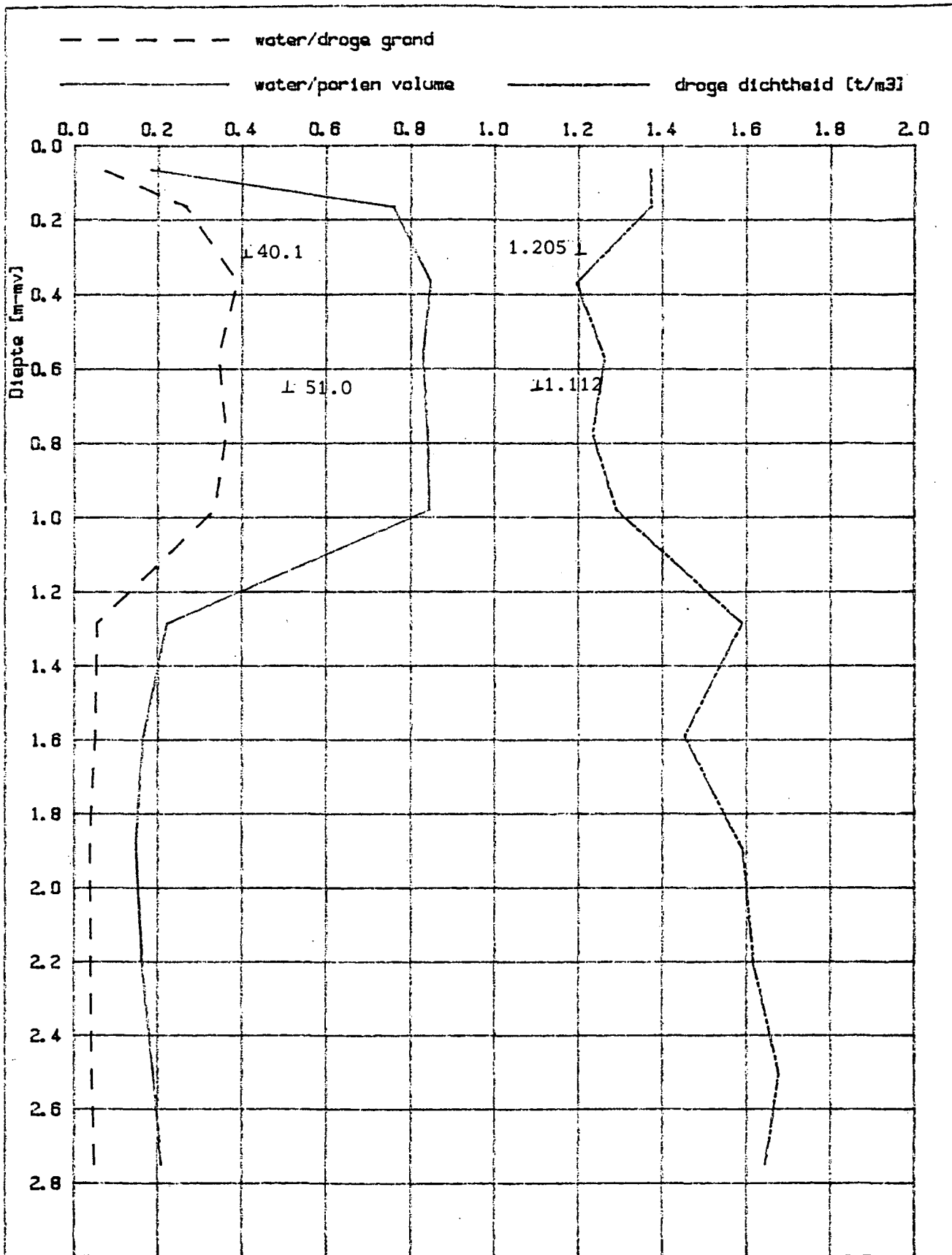


 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 07-08-86
	CO-275922
	Bijl.: 7K

D. W. W
 Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie: HARLINGEN (kruin)
 Sonde: NEA



 GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 23-10-86
	CO-275922
	Bijl.: 7 L
D. W. W Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : HARLINGEN (kruin) Sonde : NEA	



LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 12-05-86

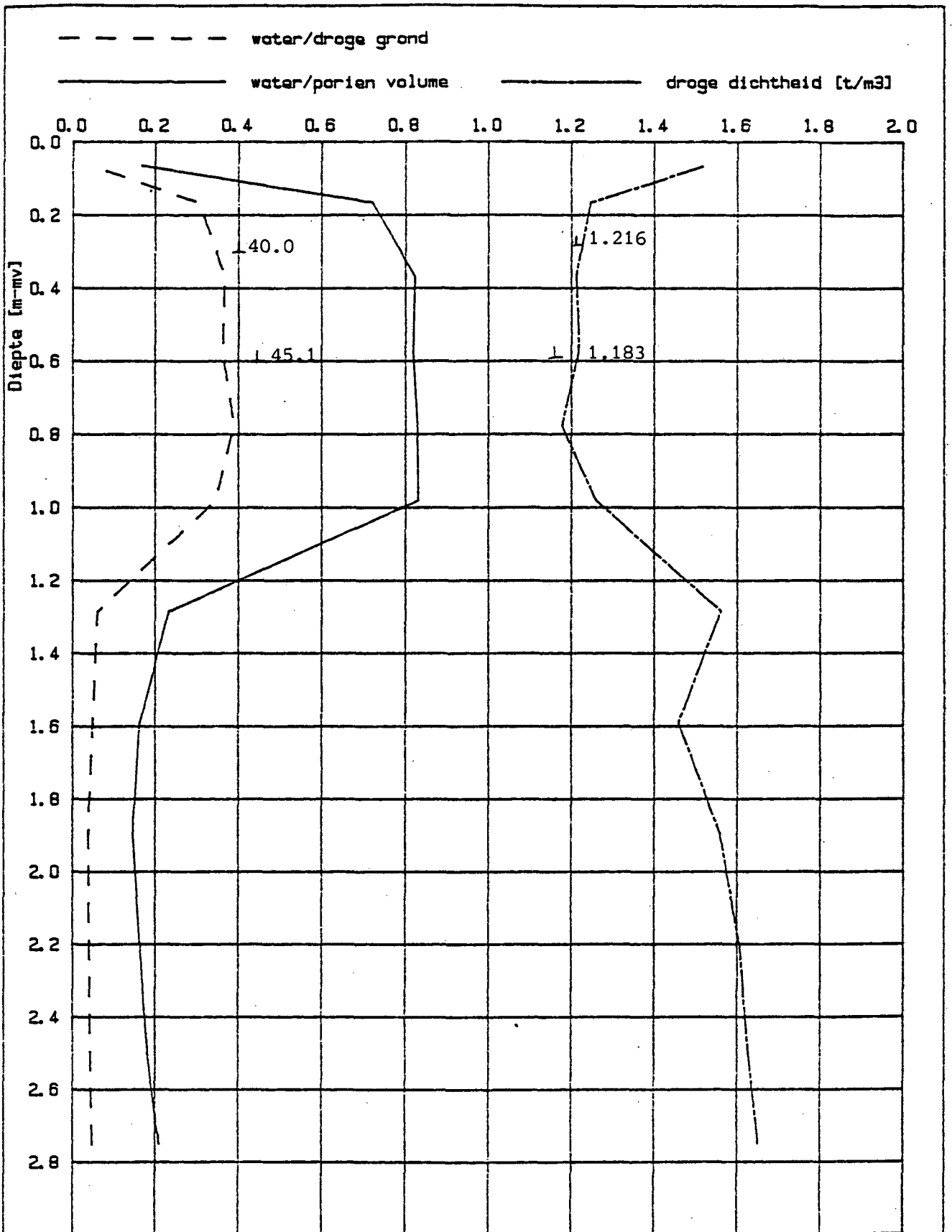
D. W. W


CO-275922

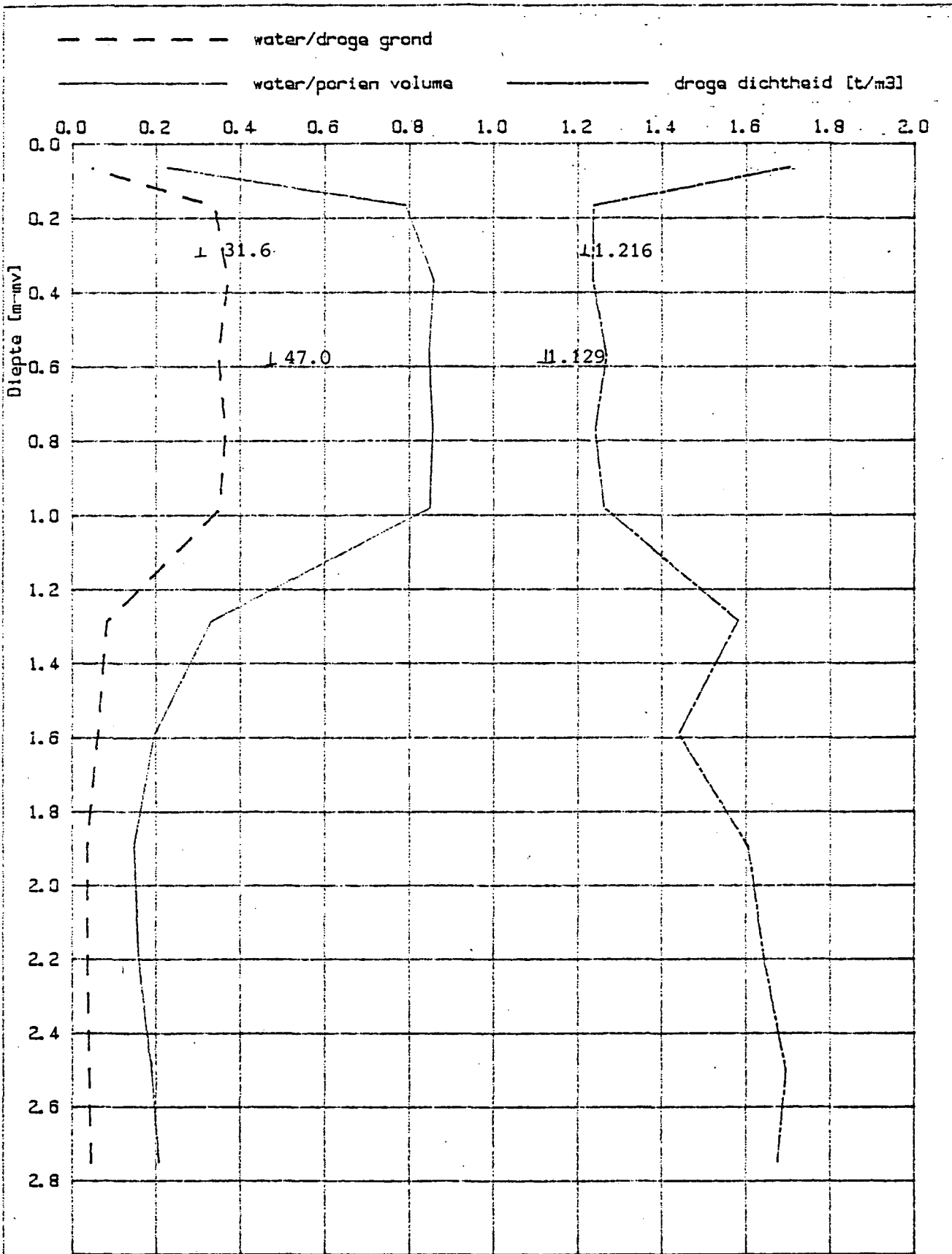
Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie: HOLWERD

Sonde: NEA

Bijl.: 7M



 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT D. W. W Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : HOLWERD Sonde : NEA	Dat: 07-08-86	
	CO-275922	
	Bijl.: 7 N	



GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 23-10-86

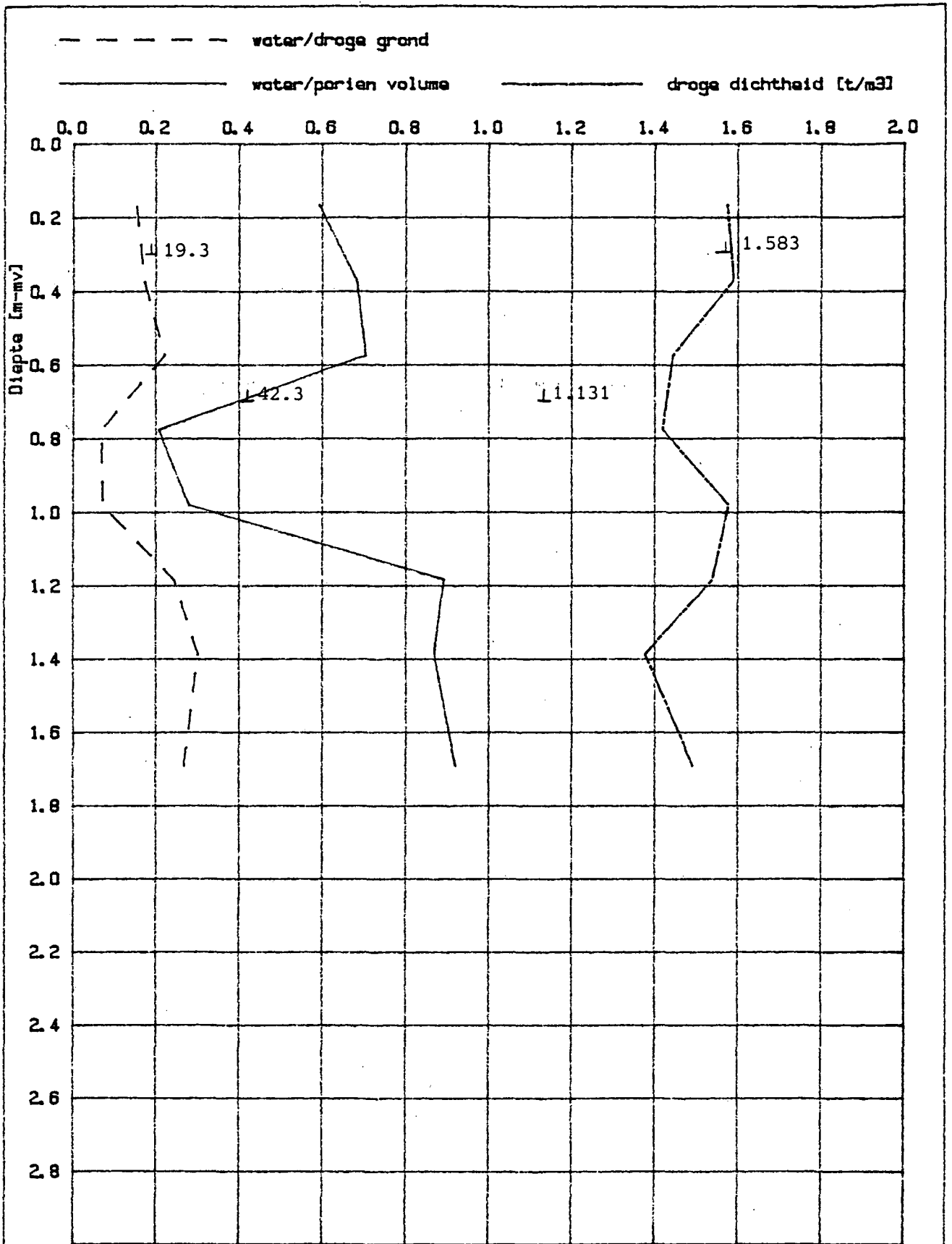
D. W. W


CO-275922

Nucleaire dichtheidsmeting: Locatie: HOLWERD

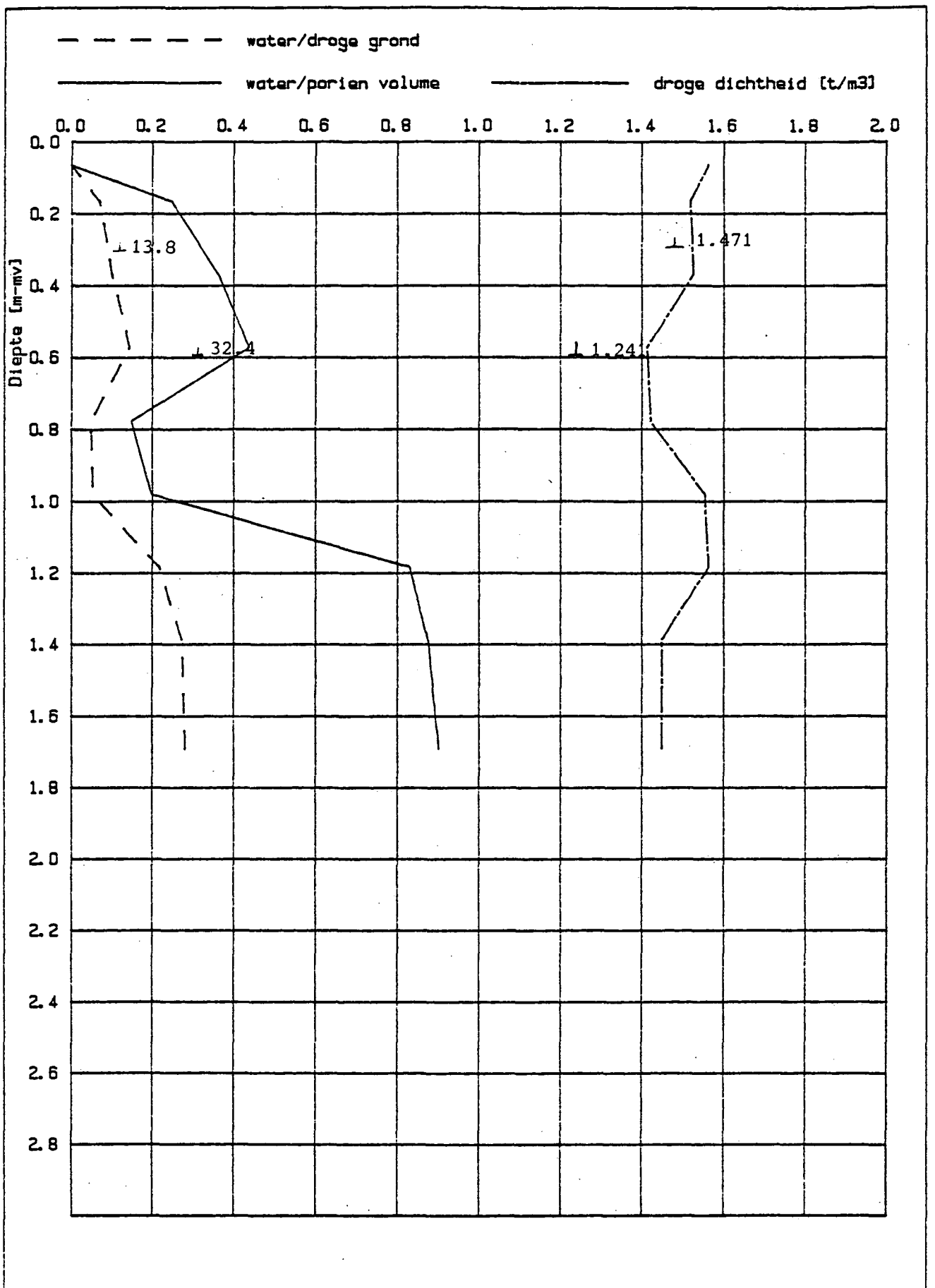
Sonde: NEA

Bijl.: 70



 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 20-05-86
	CO-275922
	Bijl.: 7 P

D. W. W
 Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie: WAARDE (teen)
 Sonde: NEA



LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 07-08-86

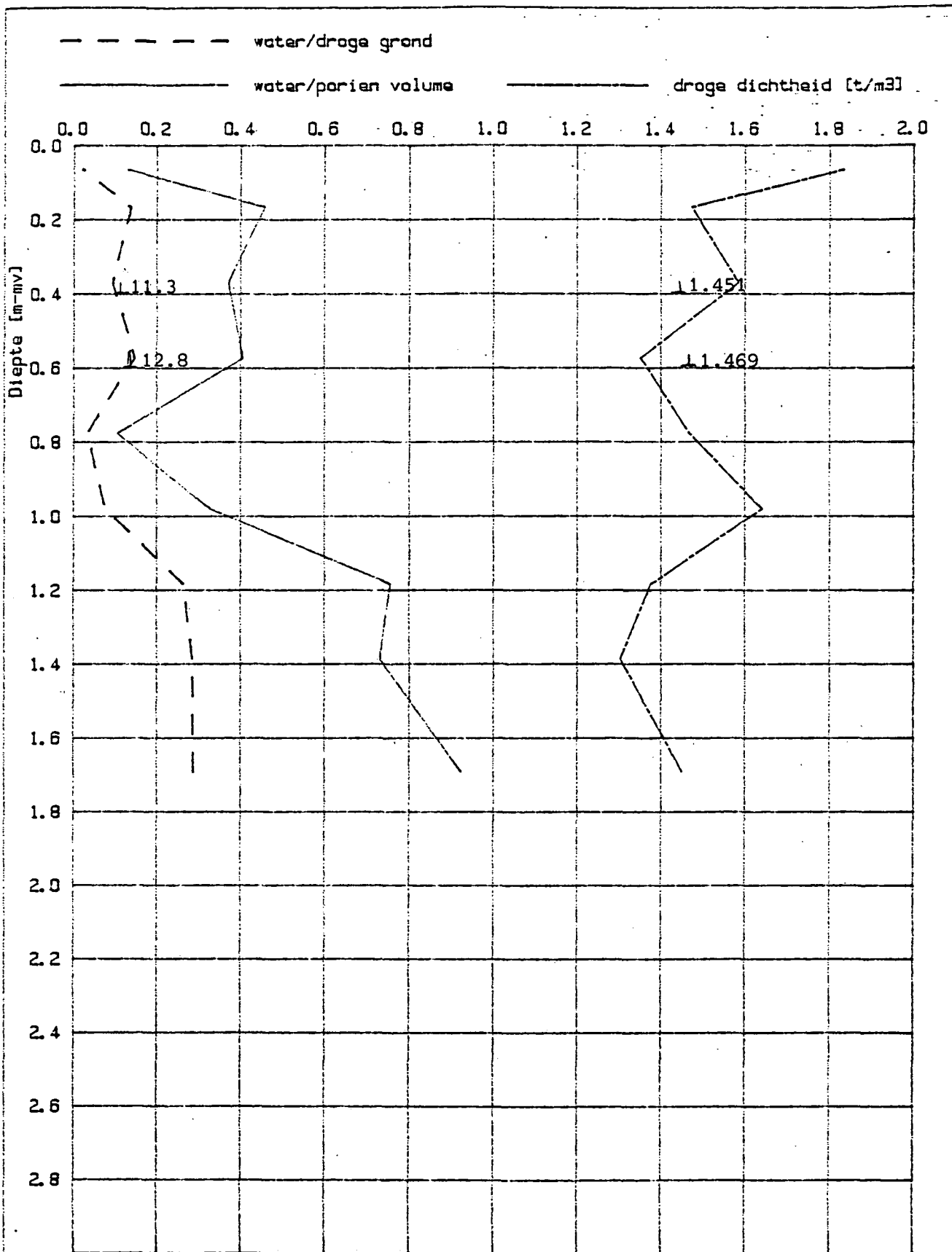
D. W. W

CO-275922

Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : WAARDE (teen)

Sonde : NEA

Bijl.: 7 Q



GRONDMECHANICA DELFT

Dat: 02-10-86

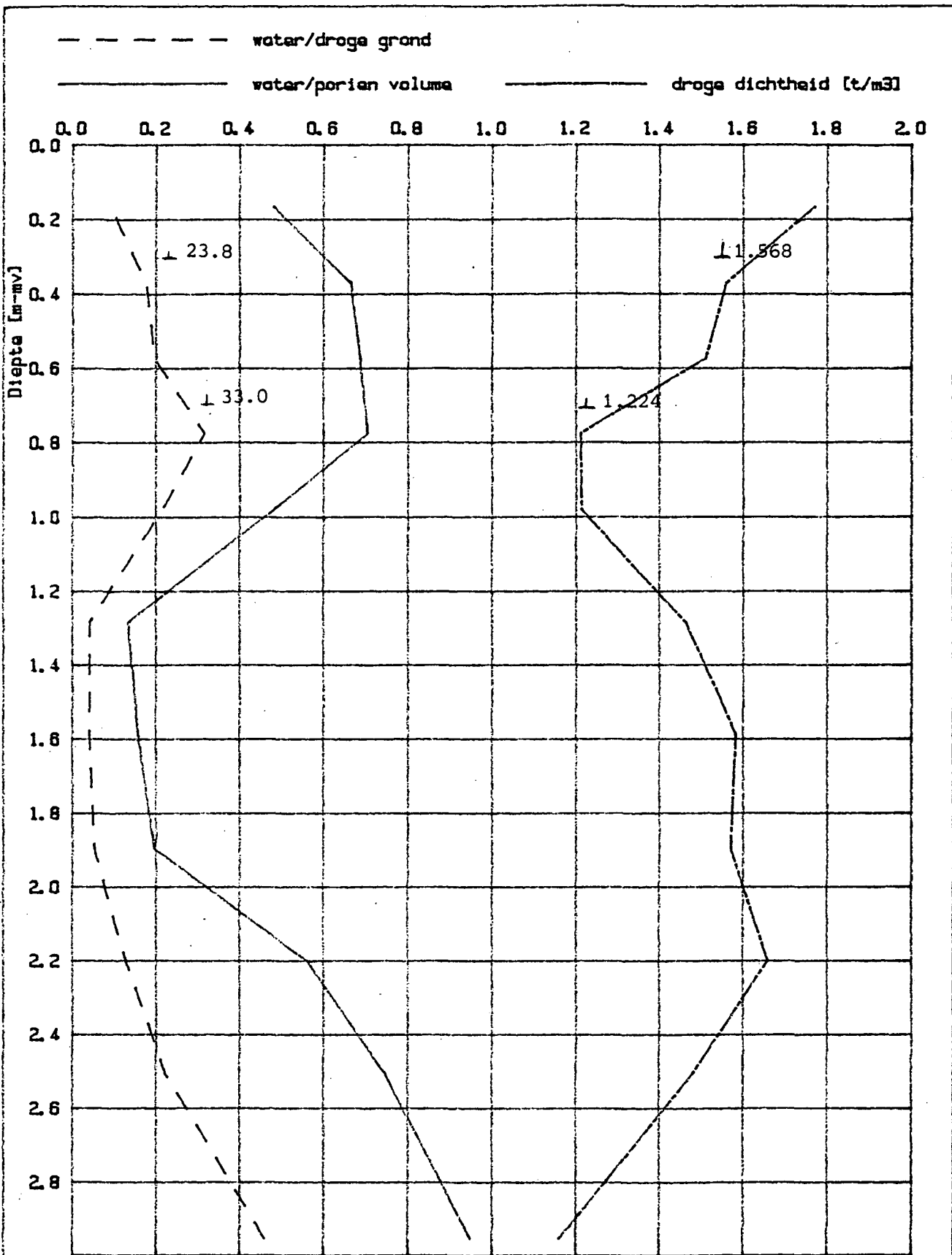
D. W. W


CO-275922

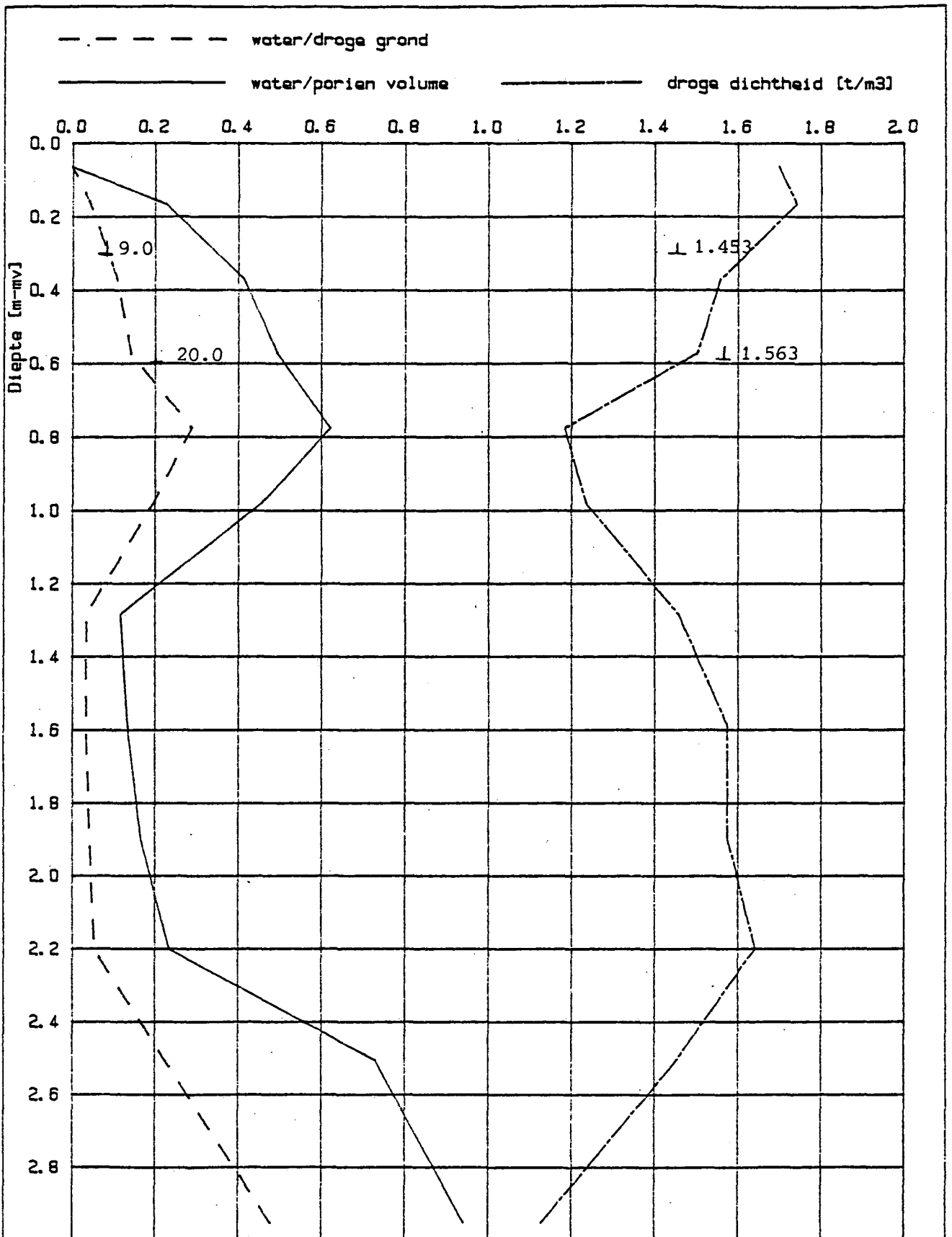
Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : WAARDE (teen)


Sonde : NEA

Bijl.: 7 R

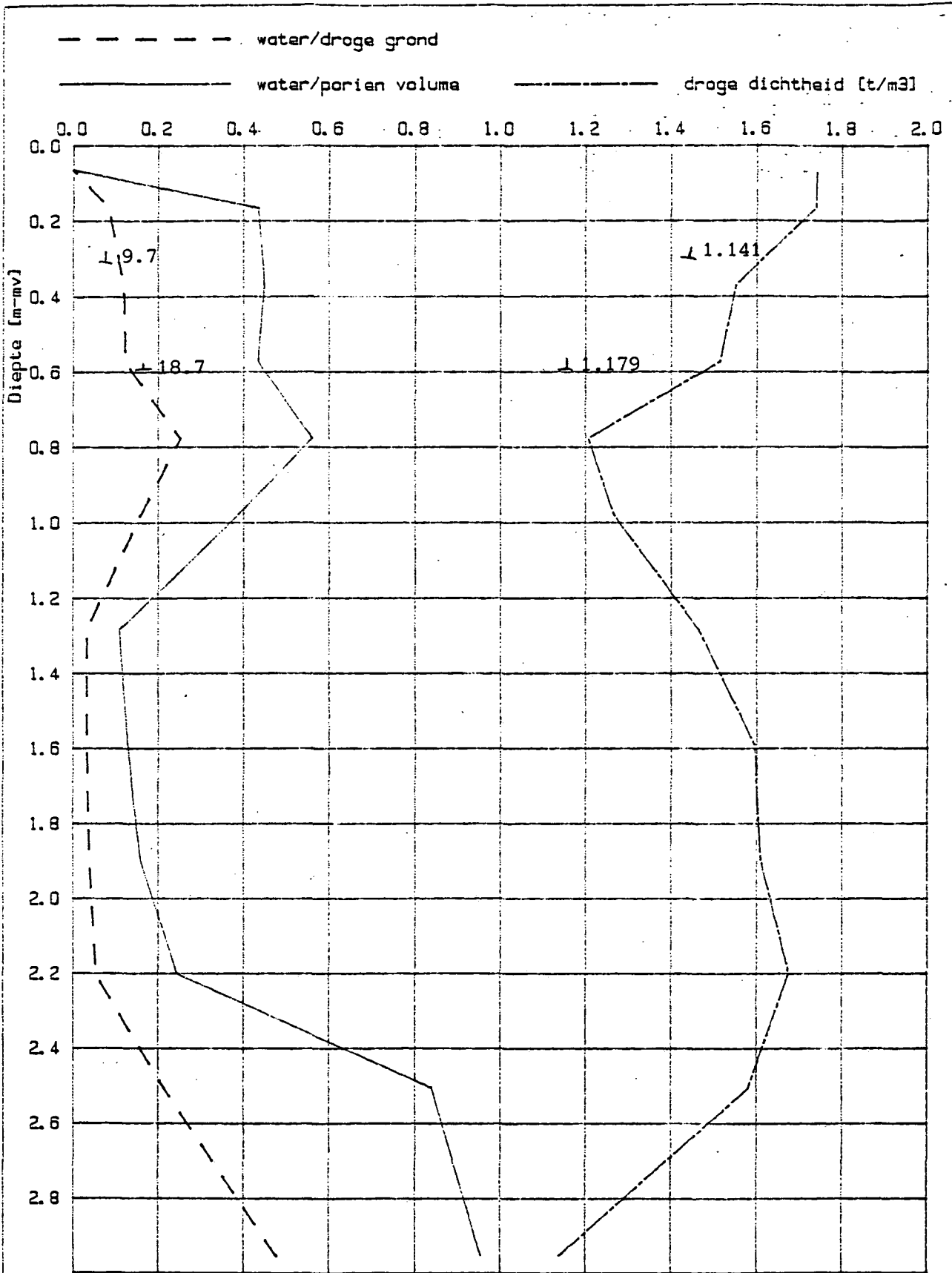



 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 20-05-86	
	CO-275922	
	Bijl.: 7 S	
D. W. W Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : WAARDE (kruin) Sande : NEA		



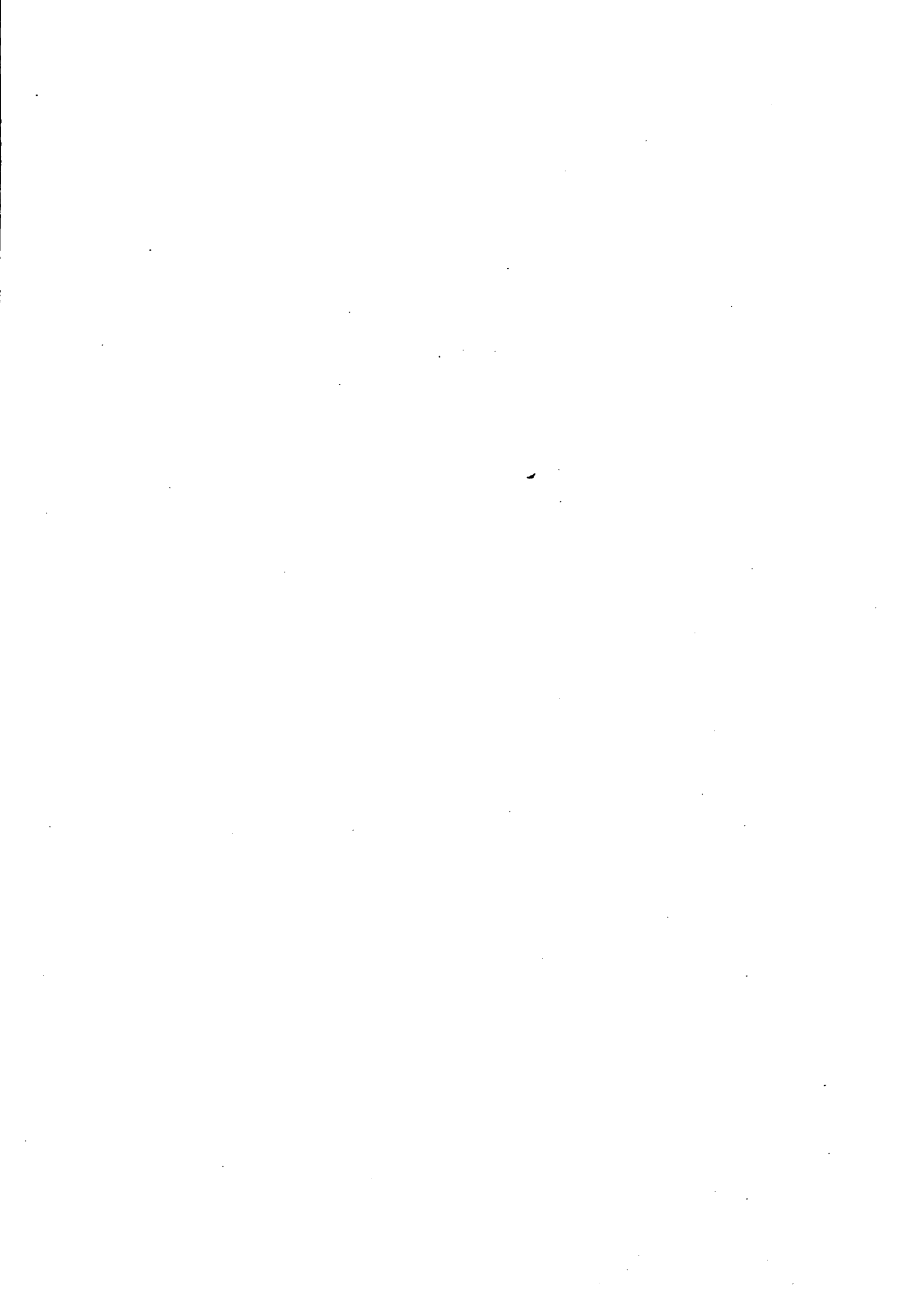
 LABORATORIUM voor GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 07-08-86	
	CO-275922	
	Bijl.: 7 T	

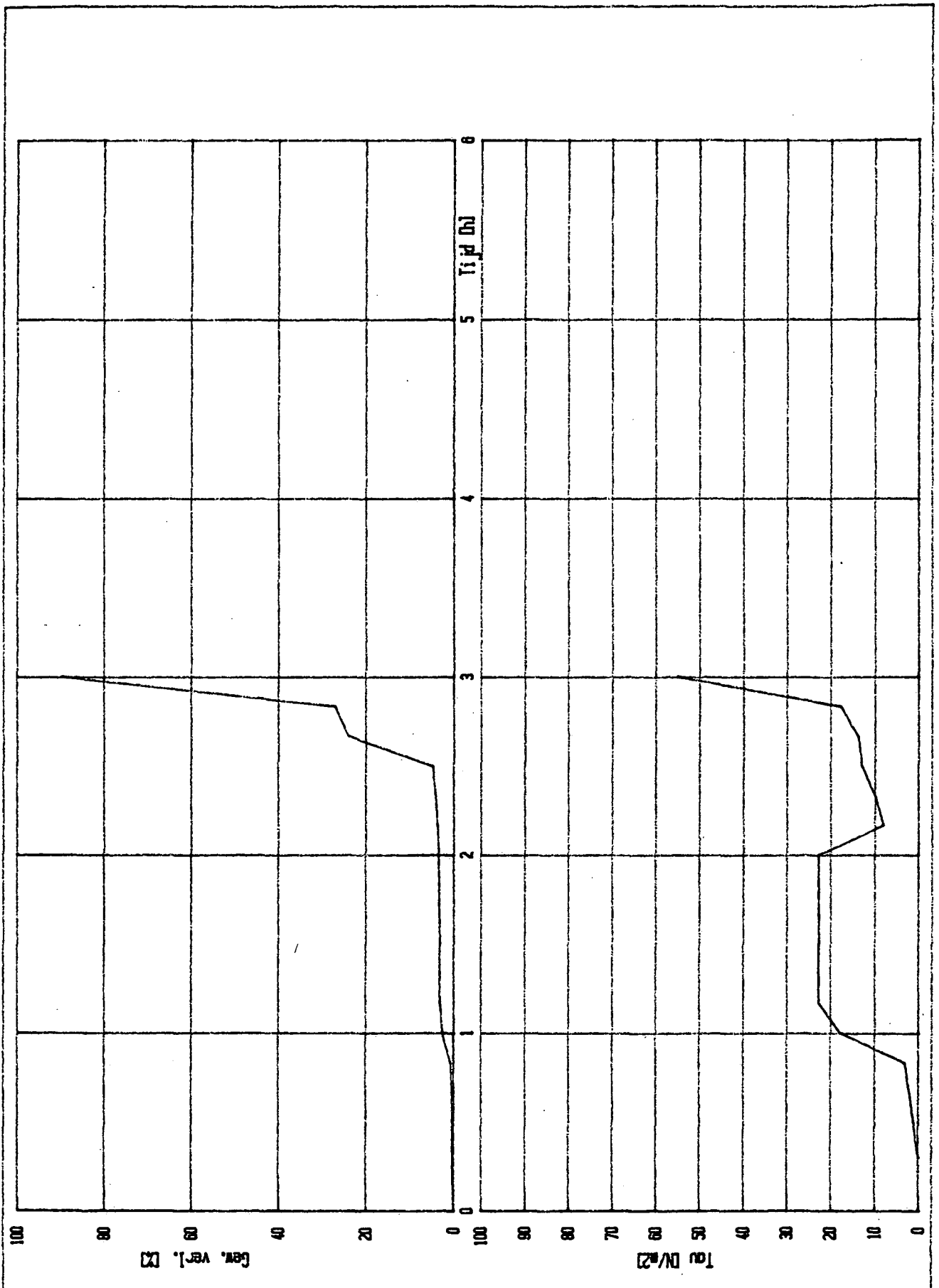
D. W. W
 Nucleaire dichtheidsmeting; Locatie : WAARDE (kruin)
 Sonde : NEA




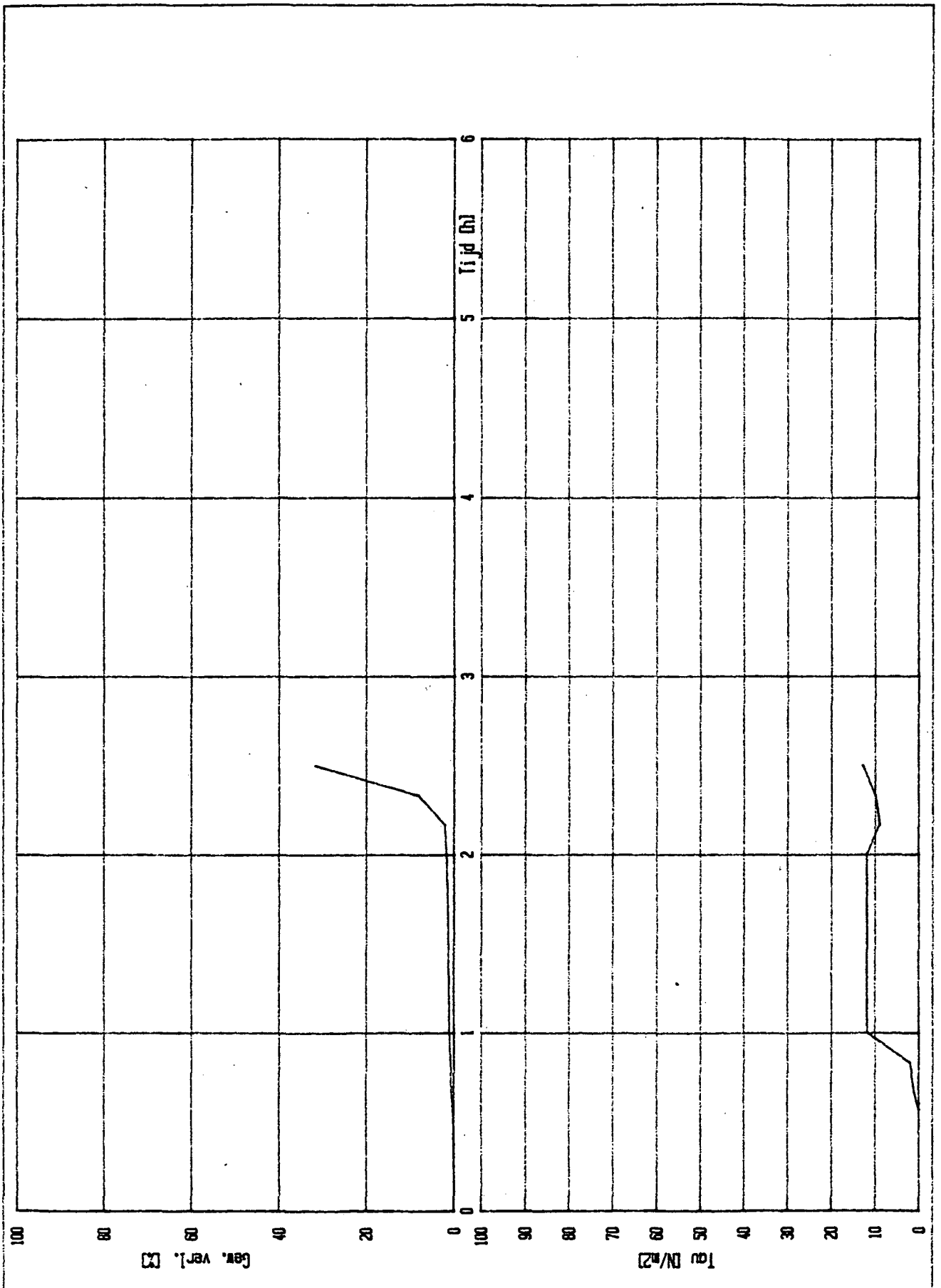
 GRONDMECHANICA DELFT	Dat: 02-10-86
	CO-275922
	Bijl.: 7 U


D. W. W
 Nucleaire dichtheidsmeting: Locatie: WAARDE (kruin)
 Sonde: NEA

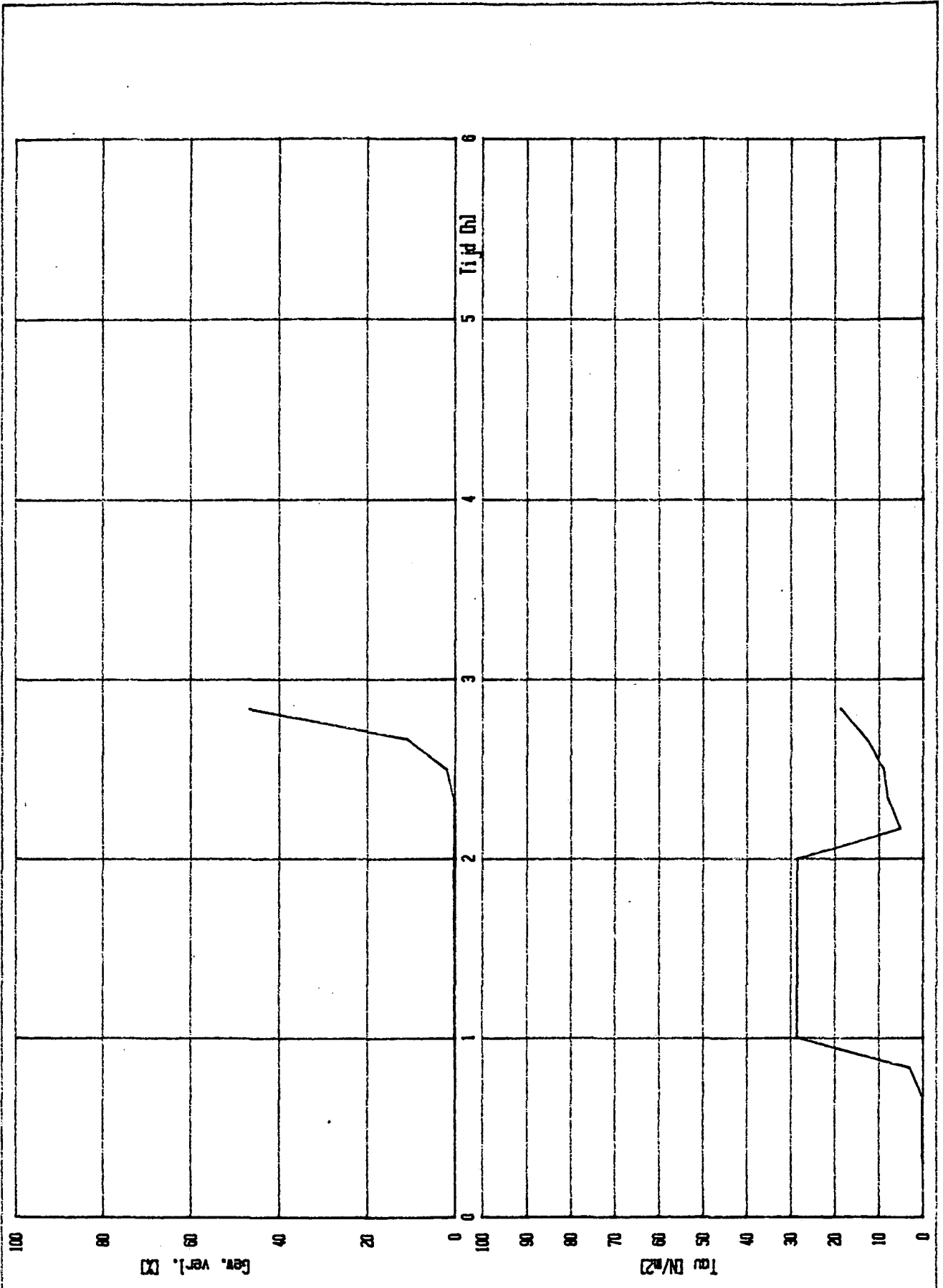





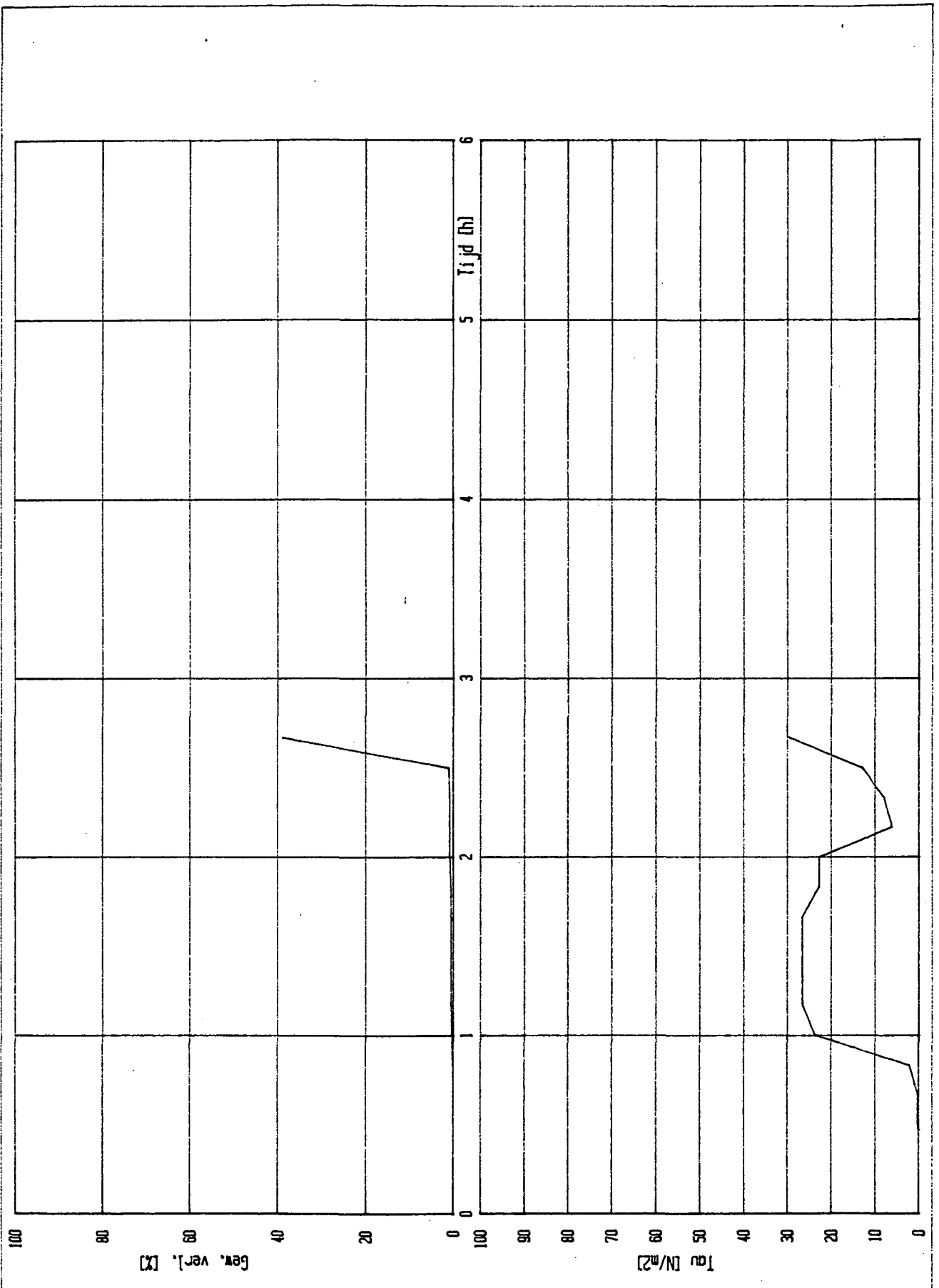
 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-14	
	275923	
Erosie-proef Monster No: 100A Barendrecht, teen, zoet water	bijl. 8 A	




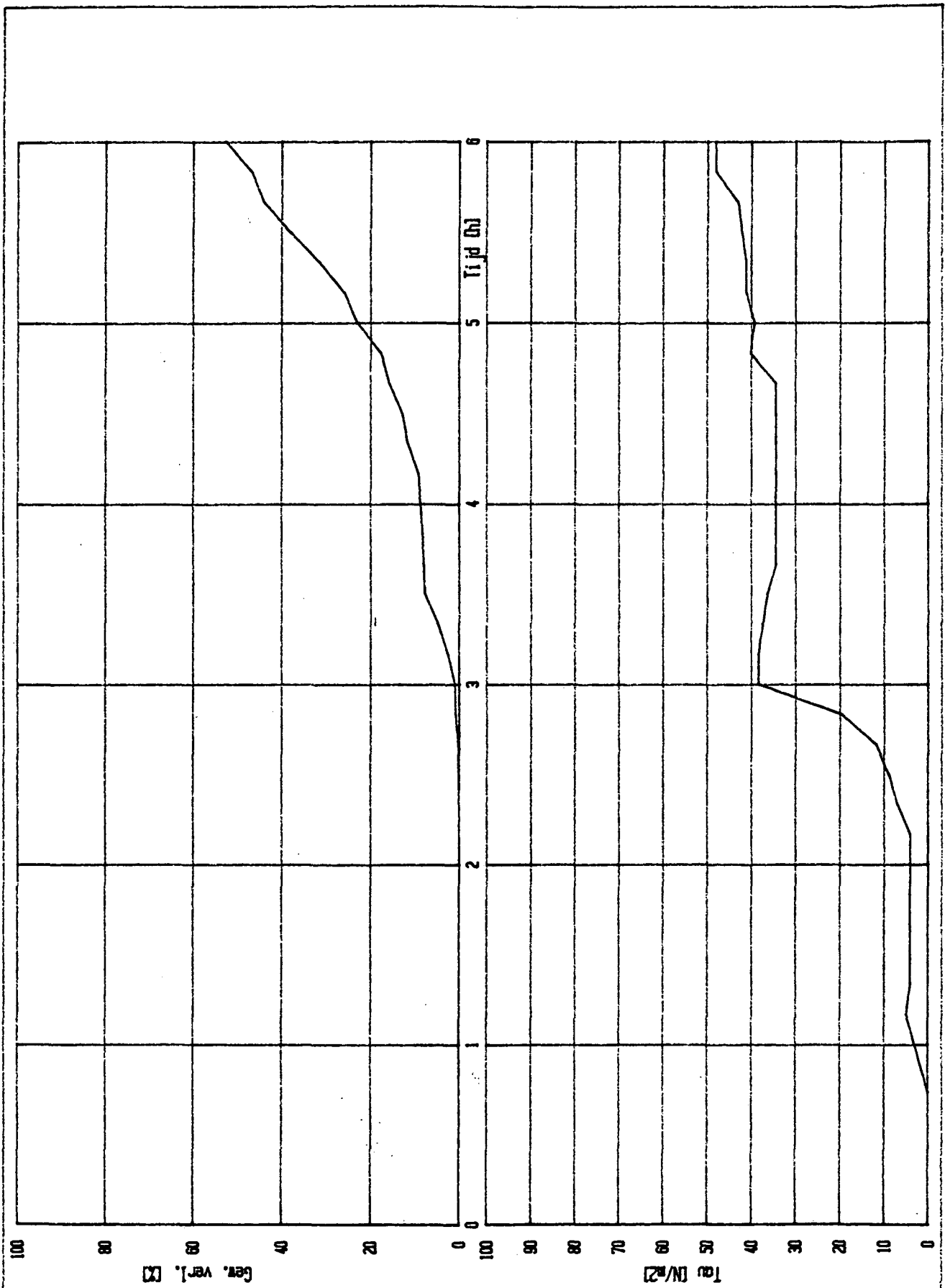
 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-25	
	275923	
	bijl. 8B	
Erosie-proef Monster No: 100B Barendrecht, teen, zout water		




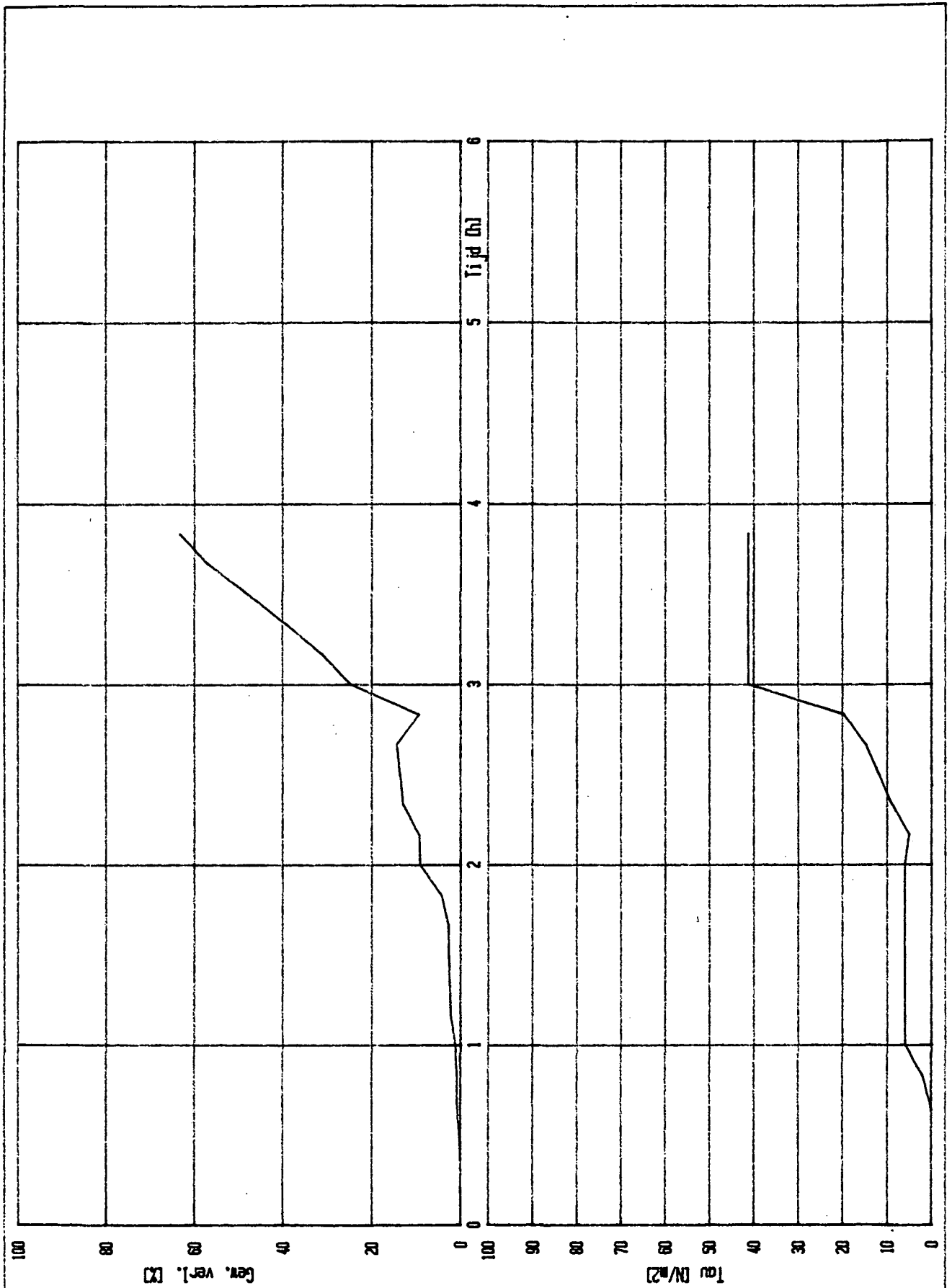
 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-18	
	275923	
	bijl. 8C	
Erosie-proef Monster No: 105A Barendrecht, kruin, zoet water		




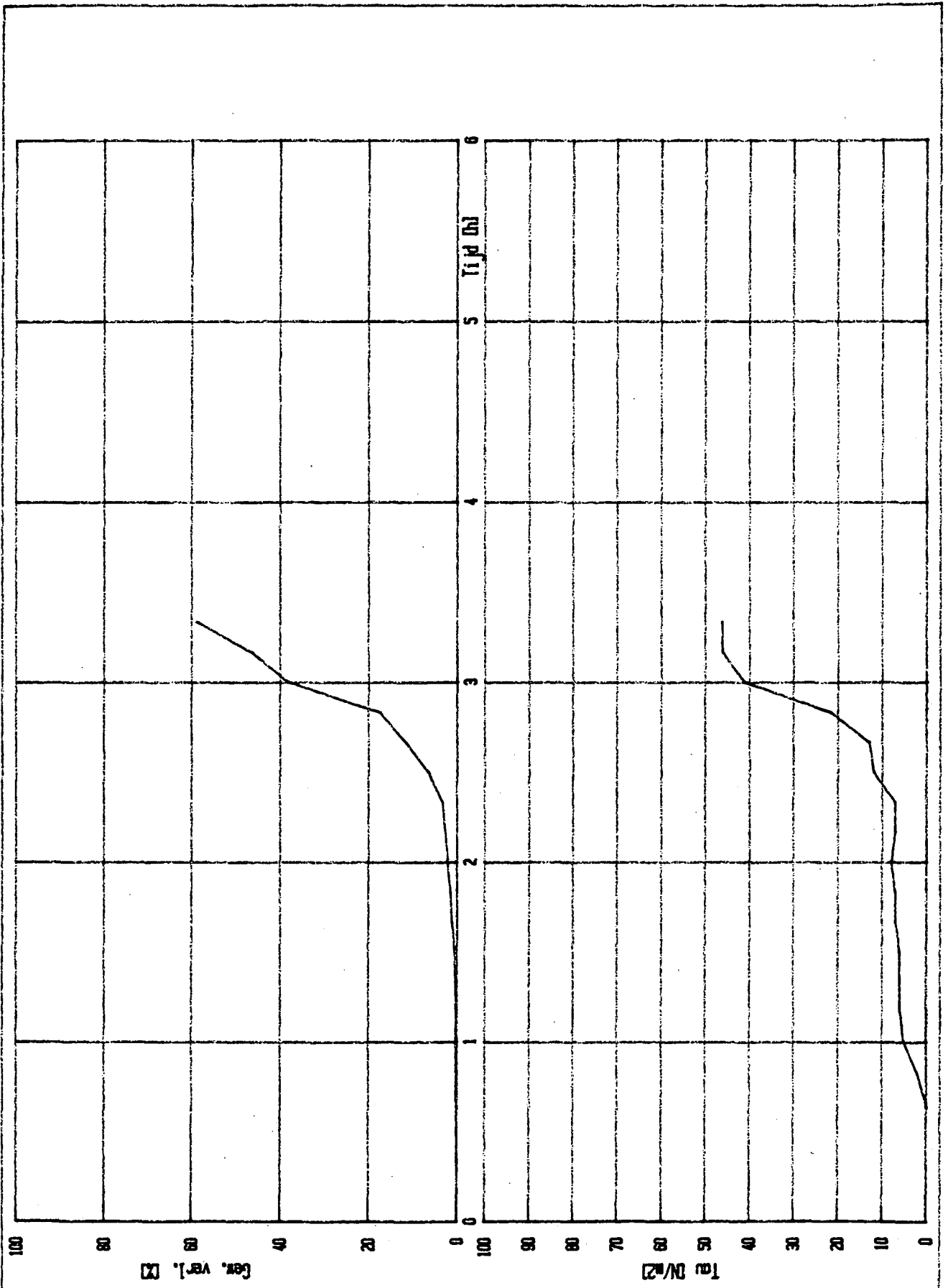
 Laboratorium voor Grondmechanica Delft Erosie-proef Monster No: 105B Barendrecht, kruin, zout water	86-09-01	
	CO-275923	
	bijl. 8D	




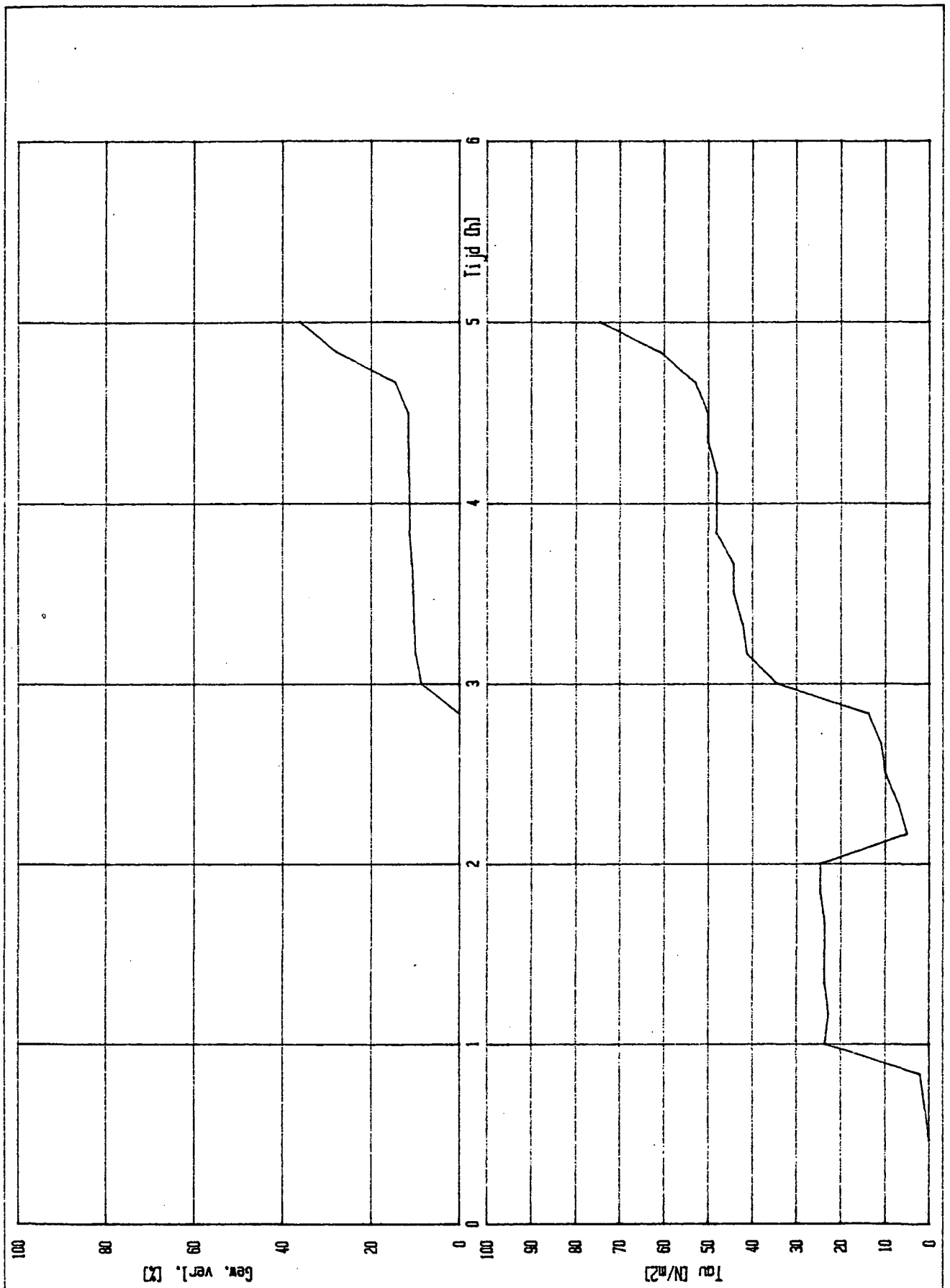
 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-07-30	
	CO-275923	
	bijl. 8E	
Erosie-proef Monster No: 71A Harlingen, teen, zoet water		




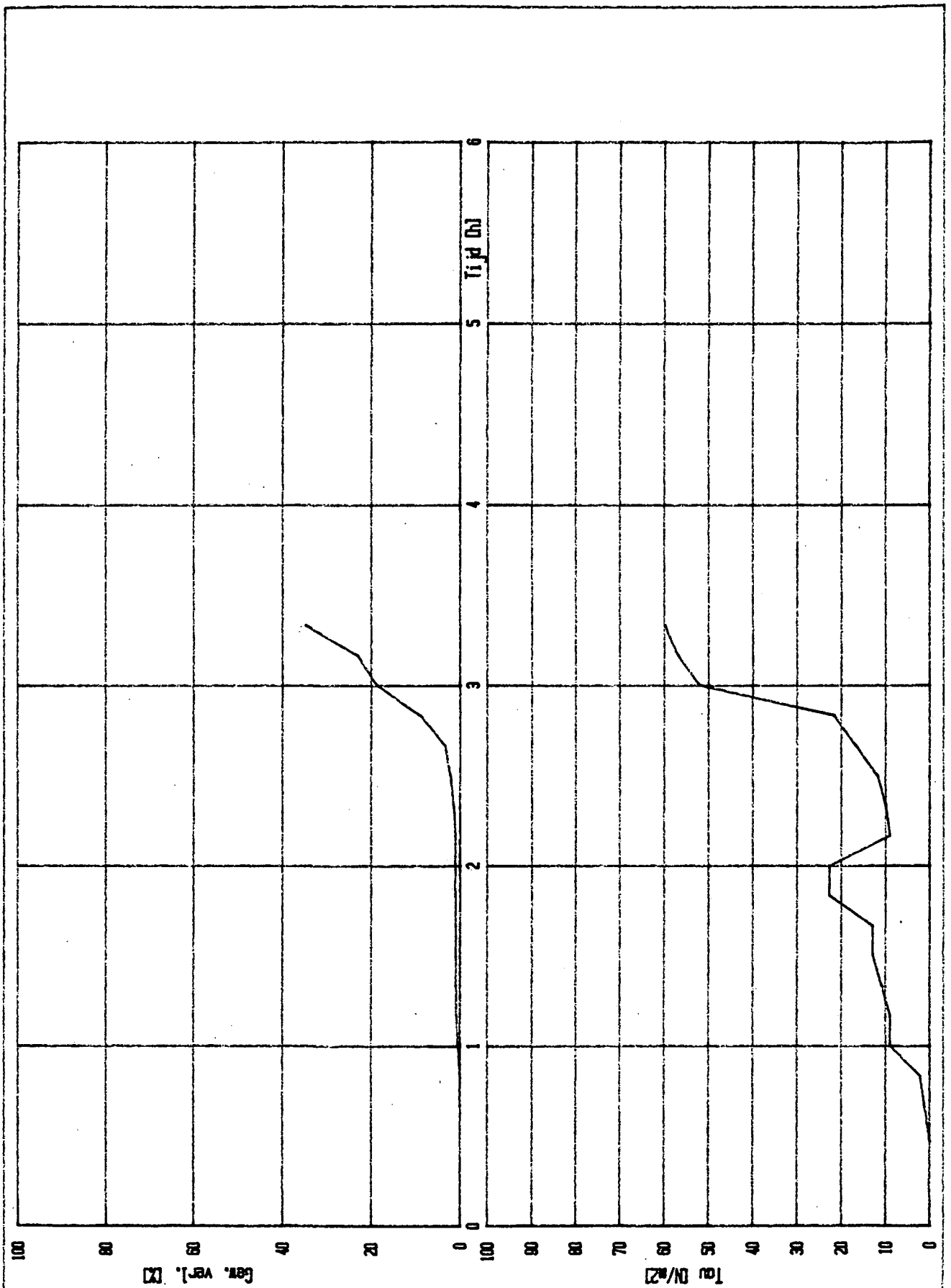
 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-04	
	275923	
	bijl. 8F	
Erosie-proef Monster No: 71B Harlingen, teen, zout water		



 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-06	
	275923	
	bijl. 8 G	
Erosie-proef Monster No: 76A Harlingen, kruin, zoet water		



 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-26	
	275923	
	bijl. 8 H	
Erosie-proef Monster No: 76 B Harlingen, kruin, zout water		



Laboratorium voor Grondmechanica Delft

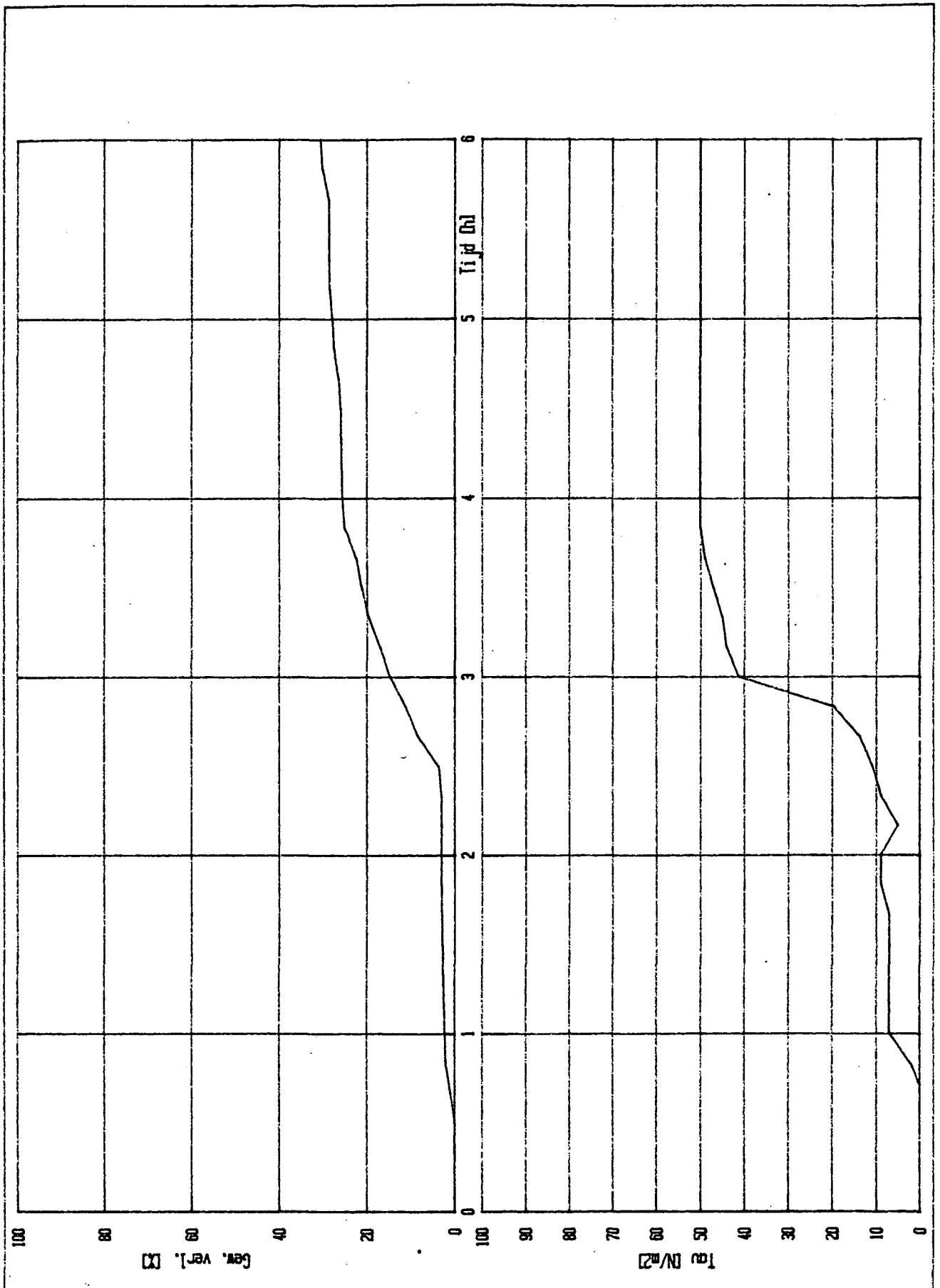
86-08-19

Erosie-proef

Monster No: 85A Holwerd, kruin, zoet water

275923

bijl. 8 I



Laboratorium voor Grondmechanica Delft

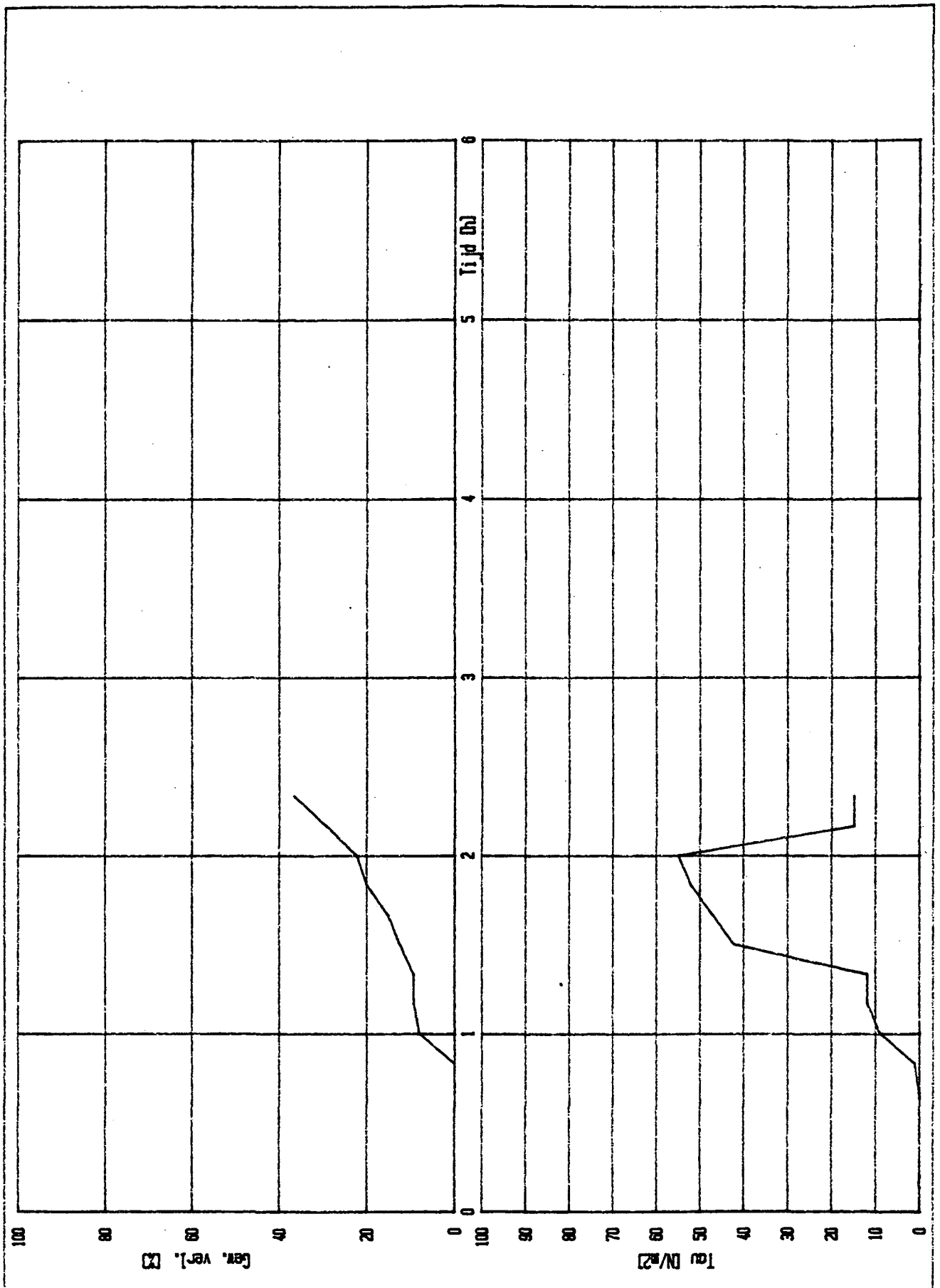
86-08-28


Erosie-proef

Monster No: 85B Holwerd, kruijn, zout water

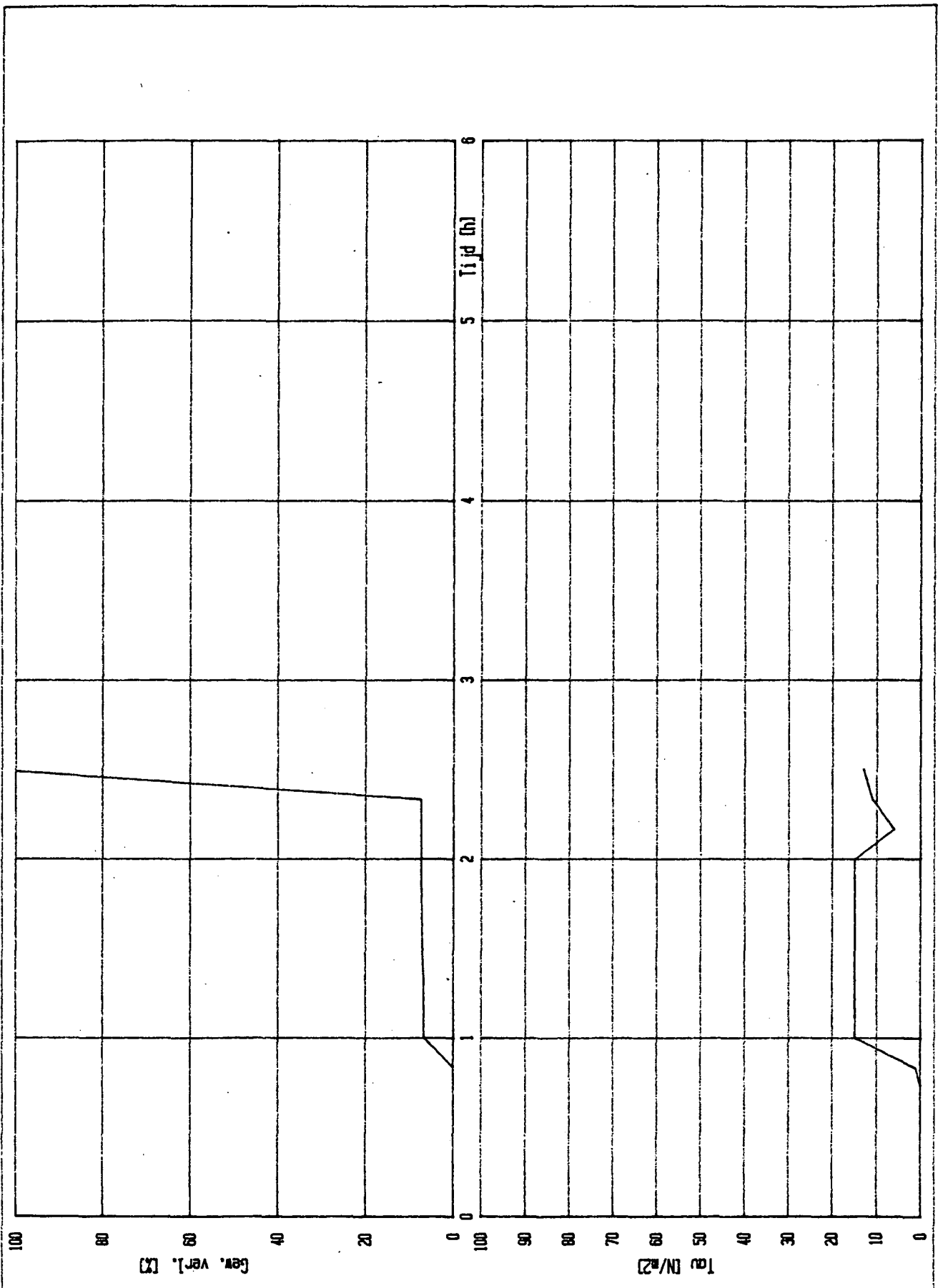
275923


bijl. 8 J

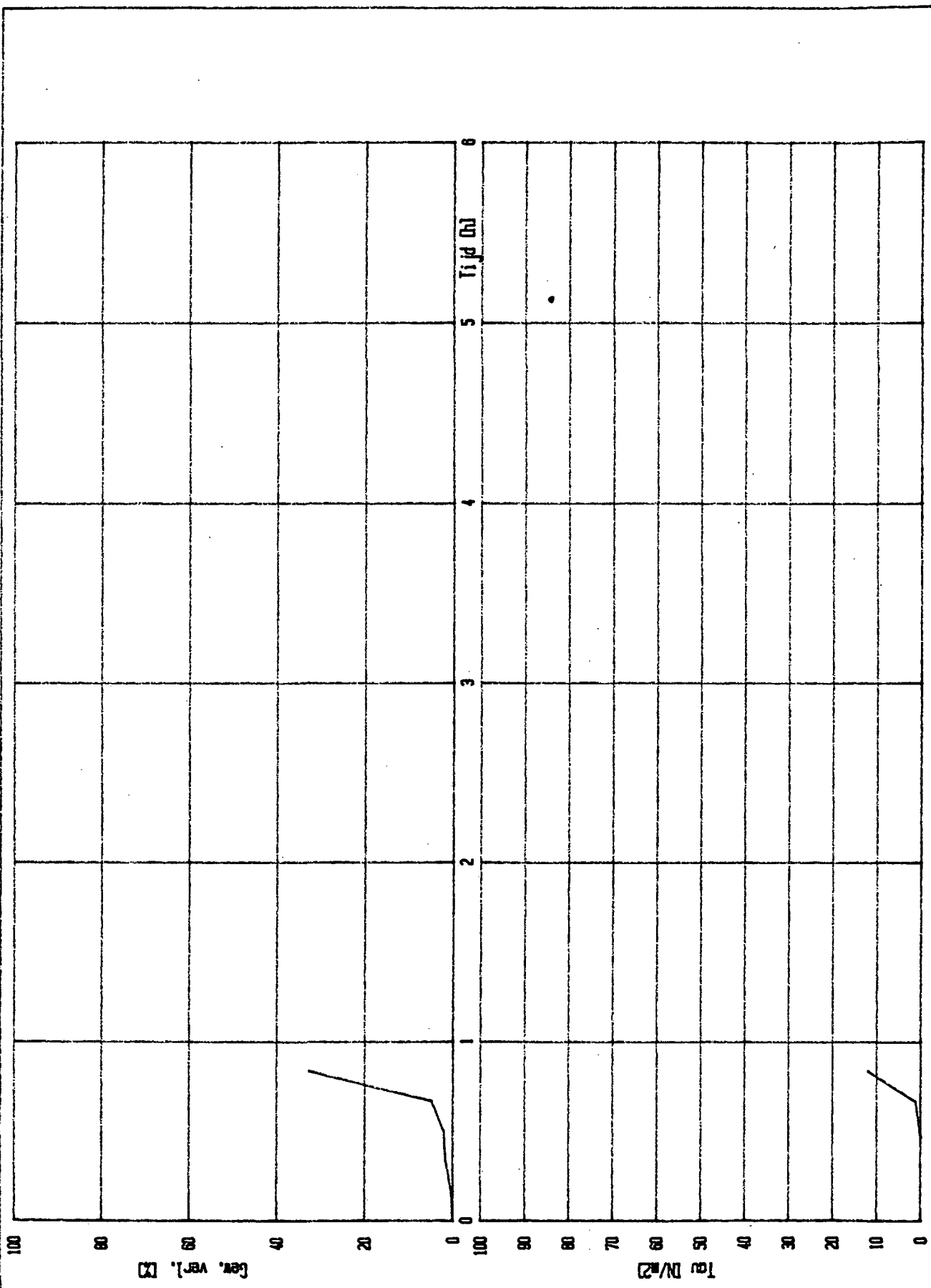



 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-12	
	275923	
	bijl. 8 K	

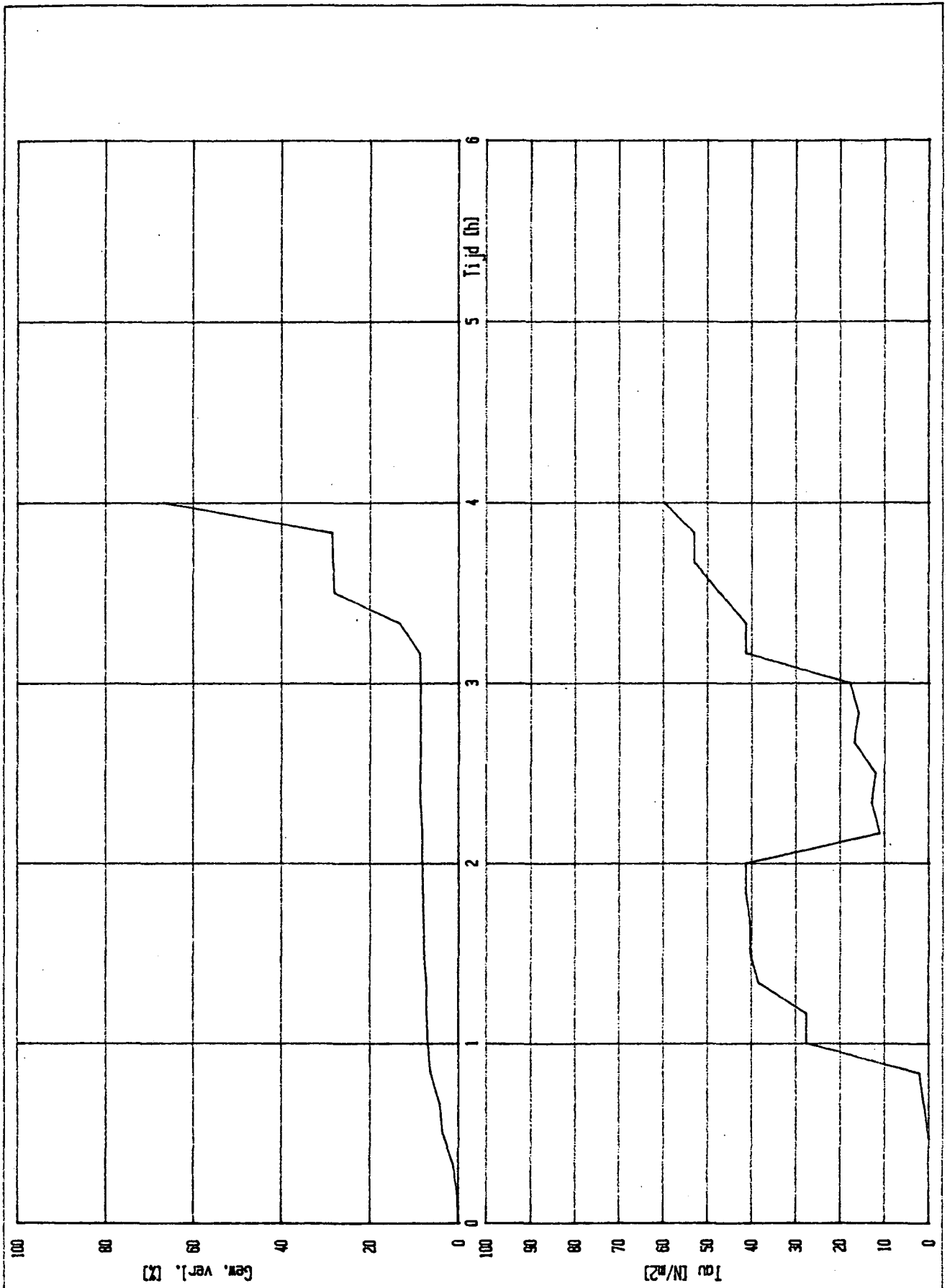
Erosie-proef
 Monster No: 86A Waarde, teen, zoet water




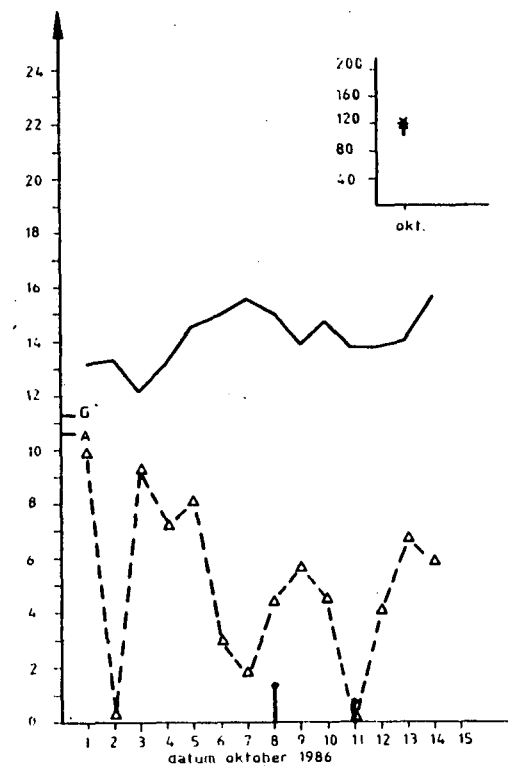
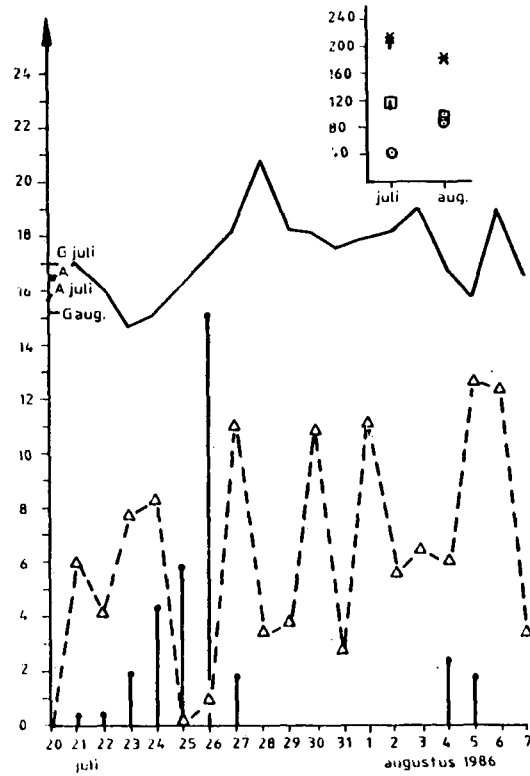
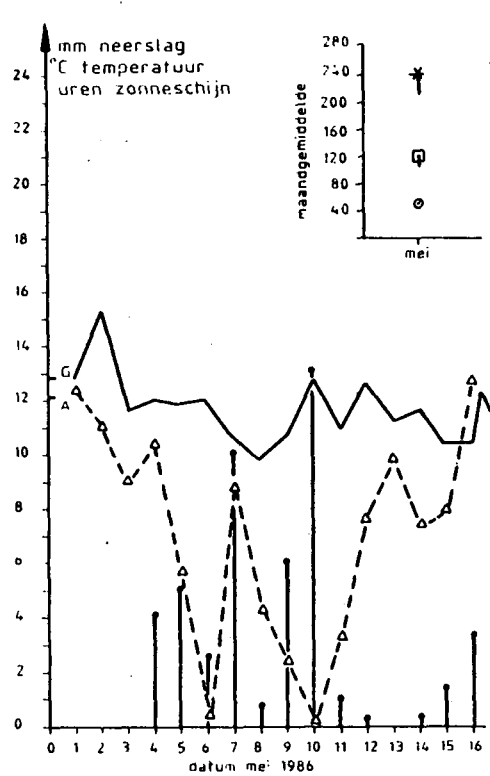
 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-09-08	
	275923	
	bijl. 8 L	
Erosie-proef Monster No: 86B Waarde, teen zout water		



 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-13	
	275923	
	bijl. 8 M	
Erosie-proef Monster No: 91A Waarde, kruin, zoet water		



 Laboratorium voor Grondmechanica Delft	86-08-20	
	275923	
	bijl. 8 N	
Erosie-proef Monster No: 91B Waarde, kruin, zout water		



- LEGENDA
- temperatuur (°C)
 - Δ- zonnenschijn (h)
 - | neerslag (mm)
 - neerslag (mm)
 - verdamping (mm)
 - * zonnenschijn (h)
 - □ afwijking t.o.v. meerjarig gemiddelde
 - G - meerjarig gemiddelde
 - A = maand

BAPENDRECHT

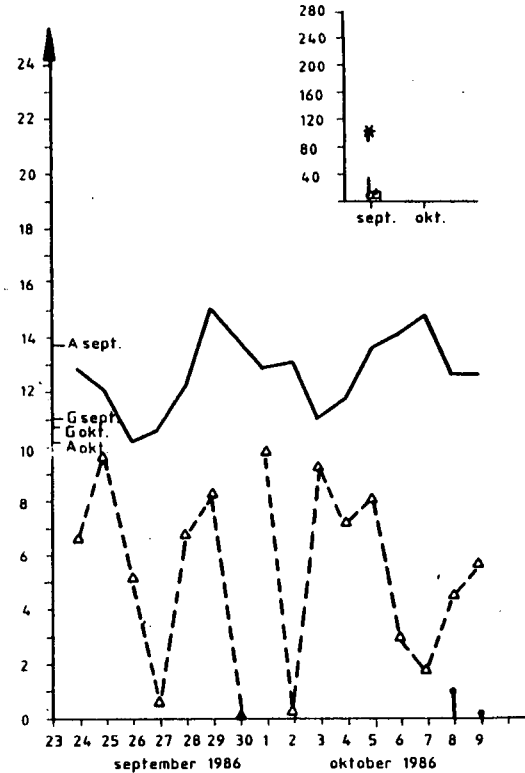
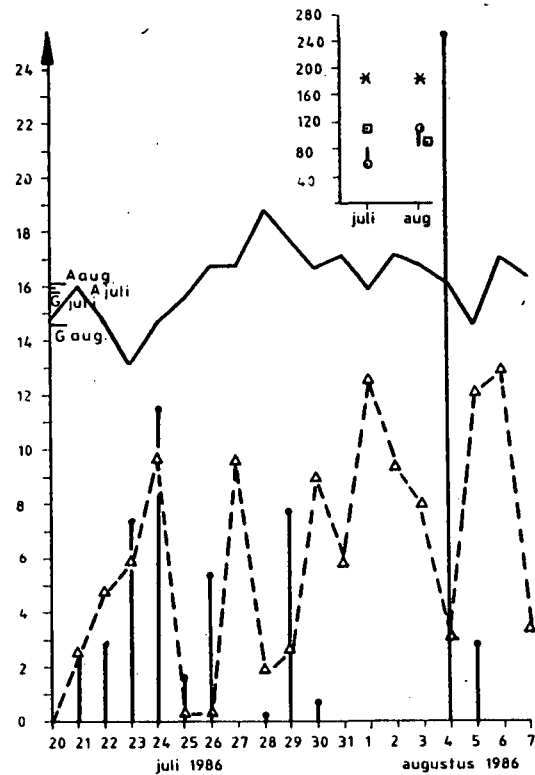
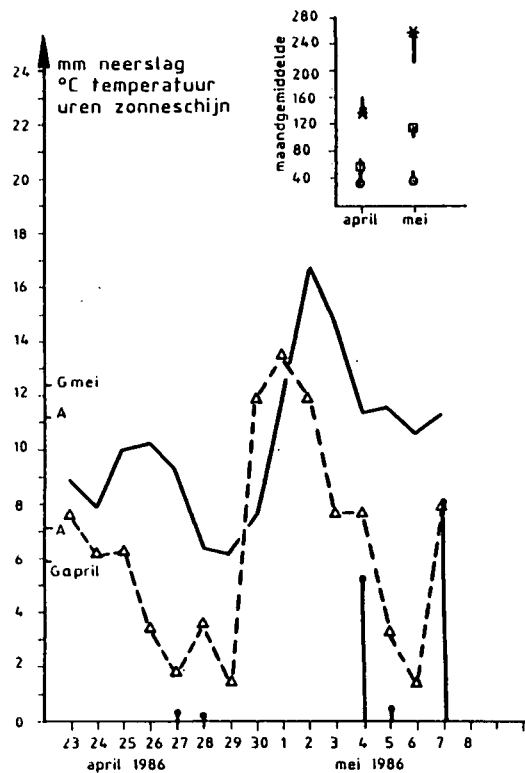


Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 56 92 23

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

uitgevoerd d	q ⁰¹
CO-275923	q ⁰²
BIJL. 9A	form

WEERGEGEVENS



LEGENDA

- temperatuur (°C)
- △ zonneshijn (h)
- | neerslag (mm)
- neerslag (mm)
- verdamping (mm)
- * zonneshijn (h)
- ↑↑ afwijking t.o.v. meerjarig gemiddelde
- G=meerjarig gemiddelde
- A=maand

HARLINGEN



Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 56 92 73

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

uitgevoerd d d

get

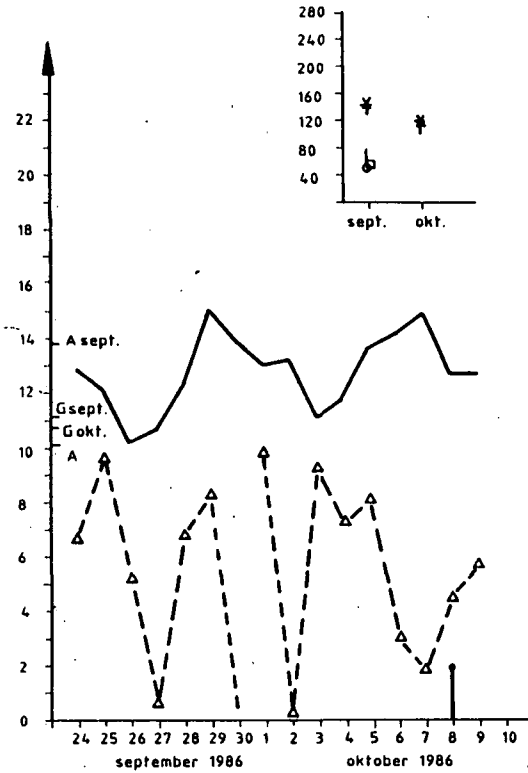
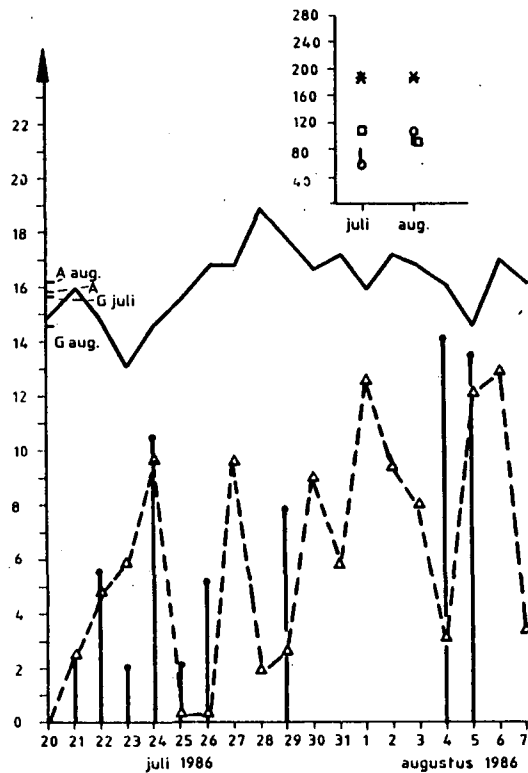
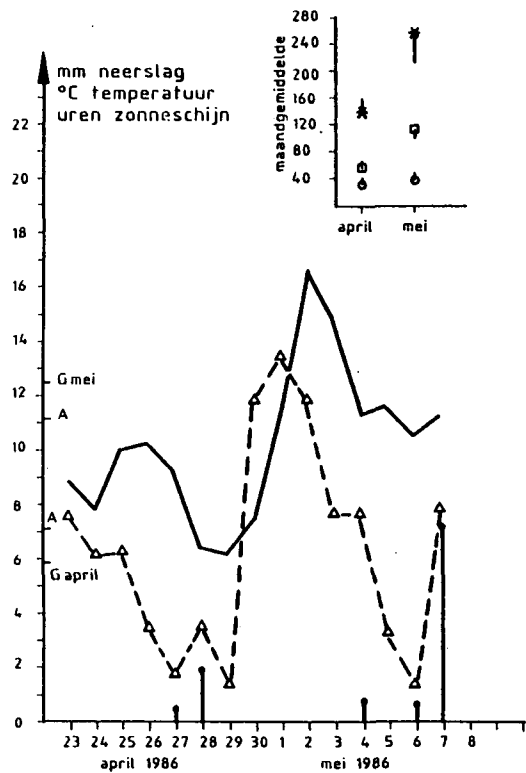
WEERGEGEVENS

CO-275923

gez.

BIJL. 9B

form



LEGENDA

- temperatuur (°C)
- △— zonneshijn (h)
- ↑ neerslag (mm)
- neerslag(mm)
- verdamping (mm)
- * zonneshijn (h)
- ↑↑ afwijking t.o.v. meerjarig gemiddelde
- G = meerjarig gemiddelde
- A = maand

HOLWERD

GRONDMECHANICA DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 56 92 23

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soai nl

uitgevoerd d d

get.

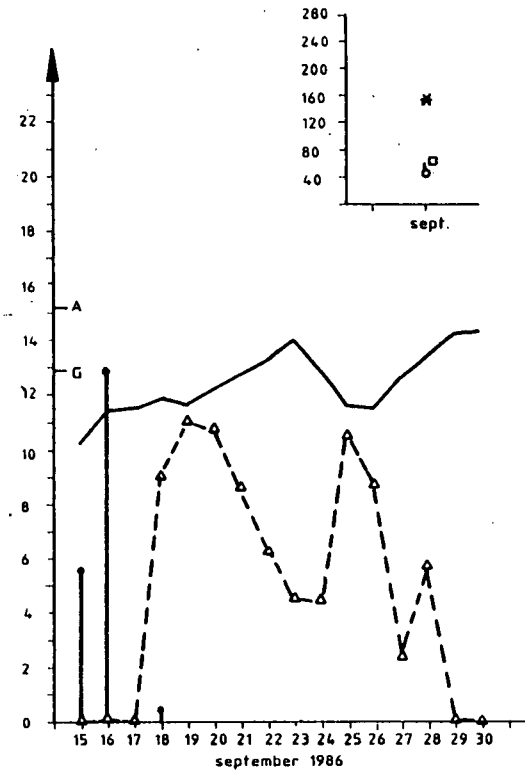
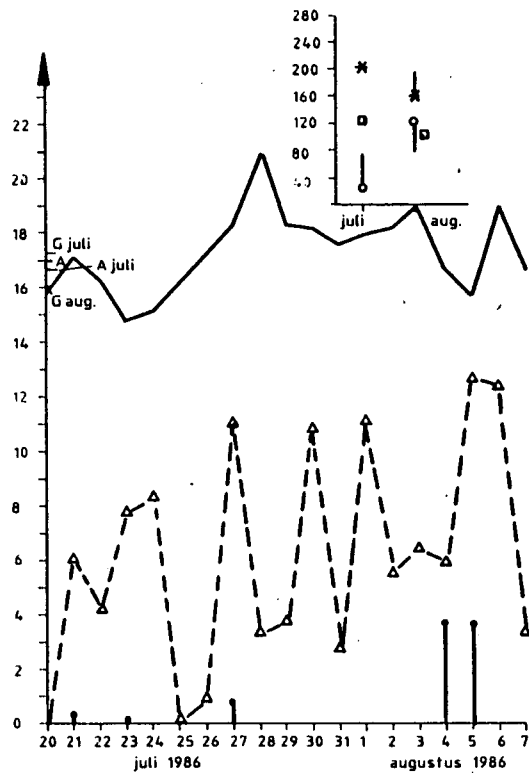
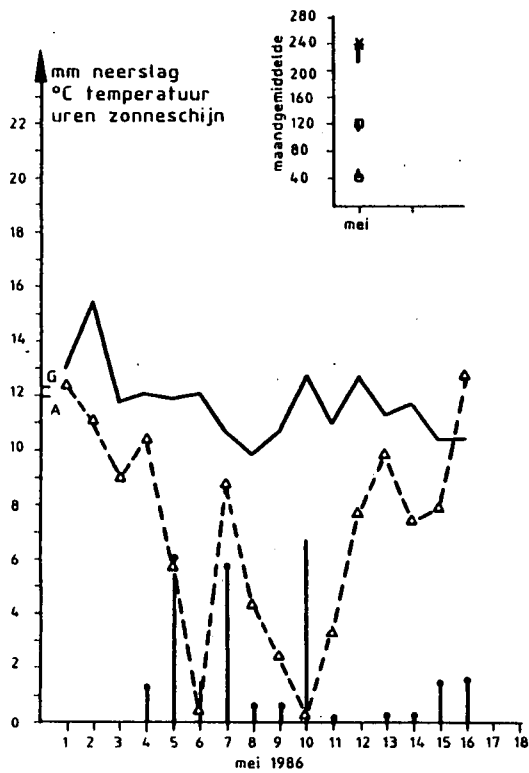
WEERGEGEVENS

CO-275923

gez

BIJL. 9C

form



LEGENDA

- temperatuur (°C)
- △- zonneshijn (h)
- ↑ neerslag (mm)
- neerslag(mm)
- verdamping (mm)
- * zonneshijn (h)
- ↑↑↑ afwijking t.o.v. meerjarig gemiddelde
- G=meer jarig gemiddelde
- A=maand

WAARDE



Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 56 92 23

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

uitgevoerd d d

get.

WEERGEGEVENS

CO-275923

grz

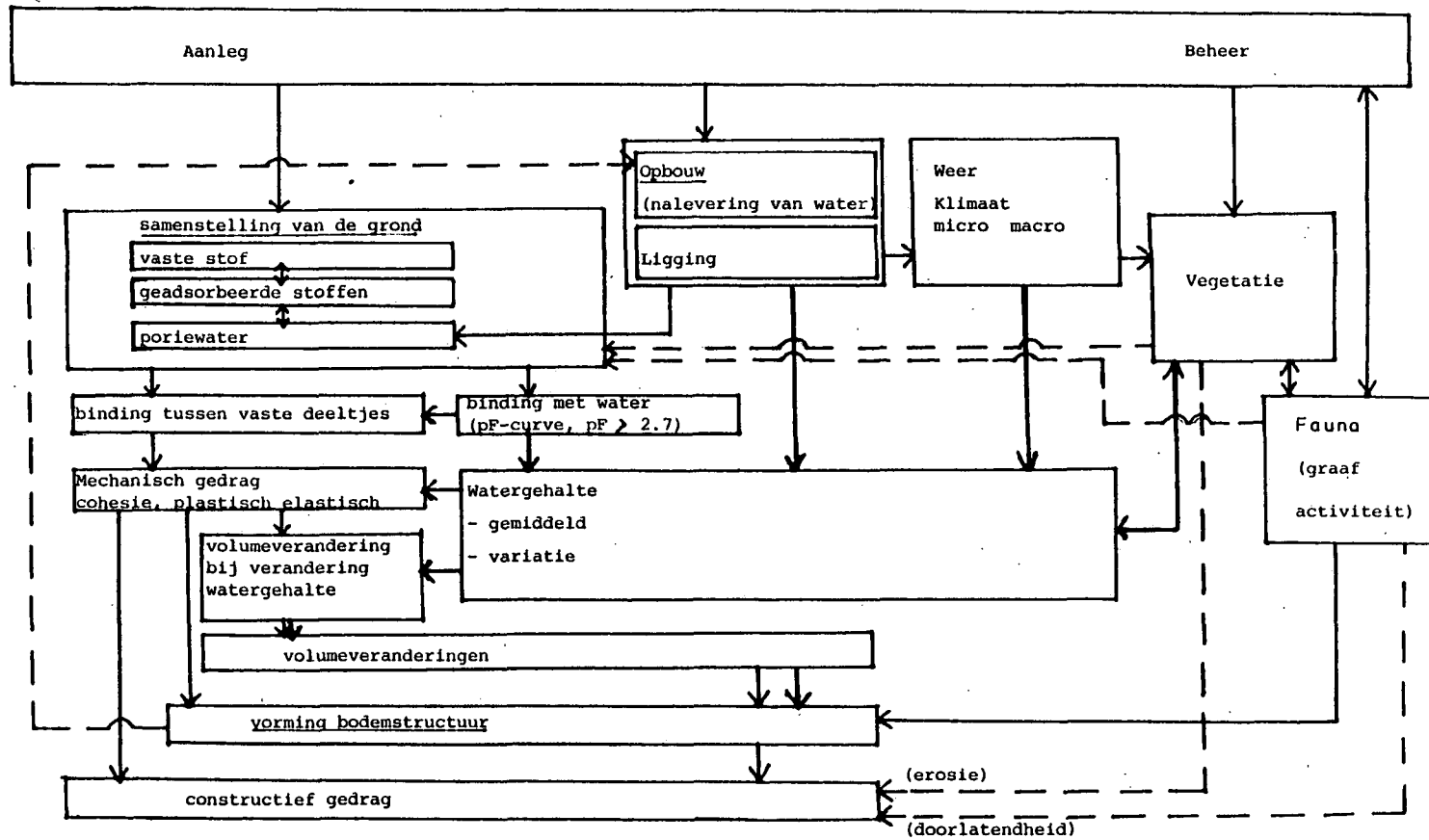
BIJL. 9D

form

BIJLAGE 10:

NOTITIE JANUARI 1987

GEDRAG EN EIGENSCHAPPEN VAN KLEIBEKLEDING



Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon 015-5692223
Telex 38234 soil nl
Telefax 015-610821