

B6 88.20

B6. 88.20
ONDERZOEK NAAR HET BEOORDELEN VAN
DE GESCHIKTHEID VAN KLEIGROND VOOR
BEKLEDING VAN BIJKEN MET GRAS-
DEKKING

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon 015-693500
Telex 38234 soil nl
Telefax 015-610821

Postgiro 234342
Bank Mees en Hope NV
Reknr. 25.92.35.911
K.v.K. S 145040 Delft



**GRONDMECHANICA
DELFT**

**ONDERZOEK NAAR HET BEOORDELEN VAN DE GESCHIKTHEID VAN KLEIGROND
VOOR BEKLEDING VAN DIJKEN MET GRASBEDEKKING**

CO- 275925/14
september 1988
Kru/Kru/KRU2/KL88

Opgesteld in opdracht van:
RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde
DELFT

Projectleider: Drs. G.A.M. Kruse
Projectbegeleider: Ing. J. Dekker
AFDELING GEOFYSICA
Afdelingshoofd: Dr. J.W. Van Deen



Samenvatting:

In de periode van 1985 tot en met 1987 zijn veld- en laboratoriummetingen verricht betreffende de doorlatendheid, watergehalte en erosiebestendigheid van de bekleding van dijken met een grasbedekking in het rivieren- en kustgebied van Nederland. Het onderzoek is uitgevoerd op dijken die geheel uit kleiig materiaal bestonden en op dijken met een bekledingslaag van klei op een zandkern. De uitkomsten van de bepalingen van constructieve eigenschappen zijn vergeleken met de samenstelling van de bekledingslagen. Het onderzoek is verricht met het doel keuringseisen voor kleigrond voor bekleding van dijken met een grasbedekking te ontwikkelen.

De waarnemingen en bepalingen geven aan dat structuur van de grond een dominerende factor is voor de constructieve eigenschappen. De bodemstructuur wordt gevormd door volumeveranderingen direct na de aanleg van de dijk en latere regelmatig optredende volumeveranderingen, alsmede door de activiteit van flora en fauna op en in de dijk. De genoemde volumeveranderingen hangen direct samen met wisselingen in watergehalte van de onverzadigde grond. Het onderzoek geeft aan dat in onverzadigde kleigrond de samenhang tussen volumeverandering en verandering van watergehalte wordt bepaald door fysisch- chemische en chemische eigenschappen van de onderzochte grond.

Het watergehalte dat een kleibekleding onder zomerse omstandigheden na verloop van tijd aanneemt in een evenwichtssituatie, kan worden afgeleid uit het watergehalte van de grond bij een zuigspanning van ongeveer 100 kN/m^2 (pF 3). Het evenwichtswatergehalte en ook de variatie in watergehalte daaromheen blijken in belangrijke mate te worden bepaald door het zoutgehalte van de grond en 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 de chemische factoren na het aanleggen van een dijkbekleding kan in het algemeen worden aangegeven. Het zoutgehalte zal afhankelijk van de ligging van het talud naar een bepaalde lagere dan wel relatief hogere waarde tenderen met daarbij een lager, dan wel significant hoger evenwichtswatergehalte. De ontwikkeling van de kationenbezetting is gecompliceerder en kan minder expliciet worden aangegeven.

In het algemeen kan gesteld worden dat de standaardbepalingen van watergehalte, vloeigrens, uitrolgrens, zandgehalte en zoutgehalte voldoende aanwijzingen geven voor het beoordelen van de geschiktheid van een kleigrond voor gebruik als kleibekleding op een dijk.

bladnummer : A3 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



GRONDMECHANICA
DELFT

De infiltratiesnelheden van kleibekledingen vertoonden relatief weinig variatie. Het is daarom niet relevant gebleken om de infiltratiesnelheid bij het beoordelen van de geschiktheid van kleigrond te betrekken.

Het watergehalte dat een grond na verloop van enige tijd kan aannemen in een bekleding kan geschat worden aan de hand van de Atterbergse grenzen. Om sterke scheurvorming te voorkomen dient het watergehalte bij het aanbrengen in het algemeen lager te zijn dan dat behorend bij een consistentie-index van 0.75 tot 0.8 behalve voor gronden met een lage plasticiteitsindex. Het effect van het ontzilten van grond of van het zouter worden kan worden beoordeeld aan de hand van in het rapport genoemde relaties tussen watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² en materiaalkarakteristieken.

Ten aanzien van erosiegedrag concludeert het onderzoek dat het gehalte aan zand voor bepaalde aspecten een dominante rol speelt. Bij zandgehalten hoger dan tenminste 37% is de onderlinge cohesie tussen korrels in kleigrond zeer gering in vergelijking met erosiekrachten. De aanwezigheid en het soort grotere poriën in kleigrond is een tweede belangrijke factor. De aanwezigheid van deze poriën hangt samen met de structuurontwikkeling en wordt door omgevingsomstandigheden en de samenstelling van de grond bepaald.

De Atterbergse grenzen hangen samen met chemische en fysische-chemische karakteristieken van grond die voor de interactie tussen water en vast stof van belang zijn. Deze grenzen geven inzicht in de mate waarin bepaalde bodemstructuren zich kunnen ontwikkelen. De Atterbergse grenzen geven daarnaast aanwijzingen over effecten op erosiegedrag die direct met de samenstelling van grond verband houden. Monsters met een plasticiteitsindex lager dan 18 % zijn zeer erosiegevoelig evenals monsters met een plasticiteitsindex die lager is dan 0.73 x (vloeigrens - 20). Monsters met een vloeigrens hoger dan 45 % en een plasticiteitsindex hoger dan 0.73 x (vloeigrens - 20) zijn weinig erosiegevoelig. Het verschuiven van de Atterbergse grenzen bij ontzilten van grond of bij het opnemen van zout kan worden beoordeeld aan de hand van in het rapport gegeven relaties tussen grondkarakteristieken.

Vanwege mogelijke afwijkingen van in het rapport genoemde trends is het van belang na te gaan of het te beoordelen materiaal niet sterk van de in het rapport behandelde soorten grond afwijkt. In het rapport worden visuele waarnemingen aan het materiaal beschreven waarmee samen met een beoordeling van de vorm van de korrelgrootteverdelingskromme kan worden nagegaan of een bepaald monster mogelijk grote afwijkingen van natuurlijke grond vertoont en of de grond extreme oxidatie-verschijnselen kan gaan vertonen (katteklei).

bladnummer : A4 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



GRONDMECHANICA
DELFT

De taluds waarvan monsters zijn genomen die erosiegevoelig zijn bleken bijna alle schade te vertonen na hoogwaterperiodes ofwel zeer een onregelmatig oppervlak hebben.

De in het rapport genoemde verdeling van grond naar erosiegevoeligheid lijkt in het algemeen ook van toepassing op onbegroeide taluds. De vegetatie speelt naast het materiaal een belangrijke rol in de erosiebestendigheid van taluds van dijken. In hoeverre beschadigingen van de grasmat ten gronde lagen aan het optreden van de hiervoor genoemde schade aan kleibekledingen na hoog water kon niet worden nagegaan.

Relevante invloeden van veranderingen van de seizoensomstandigheden op het watergehalte zijn waarschijnlijk beperkt tot ongeveer 1.5 m diepte beneden maaiveld. De vorming van scheuren door zwellen en krimpen onder invloed van seizoensveranderingen is op die diepte minimaal. De invloeden van scheuren en dergelijke op het erosiegedrag is op die diepte dus eveneens het geringst. Een om de invloed van bodemstructuurvorming op de erosiebestendigheid van de gehele kleibekleding te beperken zou een kleibekleding meer dan ongeveer 1.5 m dik dienen te zijn. Veranderingen van grondwaterniveau kunnen significante veranderingen in watergehalte in dieper gelegen kleilichamen in de dijk veroorzaken, waardoor zich ook een bodemstructuur in deze lagen kan vormen. Eenmaal gevormde spleten en scheuren blijven nagenoeg onaangetast bij het ophogen van dijken en blijven dus de constructieve eigenschappen beïnvloeden.

Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat met de Atterbergse grenzen, korrelgrootteverdeling en bepaalde visuele waarnemingen de geschiktheid van kleigrond voor bekleding van dijken met grastaluds goed beoordeeld kan worden.



Samenvatting	A2
1. INLEIDING	1
2. CONSTRUCTIEVE EIGENSCHAPPEN VAN KLEIBEKLEDINGEN	3
3. DE OPZET VAN HET ONDERZOEK	5
3.1 Algemeen	5
3.2 Invloeden op erosiegedrag en doorlatendheid van kleibekledingen	6
3.3 Onderzoekslocaties	7
4. BEPROEVINGSMETHODEN	9
5. RESULTATEN VAN DE METINGEN EN WAARNEMINGEN	15
5.1 Opmerkingen over problemen bij de bepalingen	20
6. MATERIAALKARAKTERISTIEKEN EN CONSTRUCTIEVE EIGENSCHAPPEN	21
6.1 Infiltratie in kleibekledingen	21
6.2 Erosie van monsters van kleibekledingen	23
6.3 Structuurvorming	24
6.3.1 Structuurvorming door het en krimpen zwellen van grond	24
6.3.2 Biotische invloeden op de structuur	29
6.3.3 Bodemstructuur en verwerken	29
6.4 Beschrijving van structuur in kleibekledingen	30
6.4.1 Structuur en scheuren	30
6.4.2 Richting en helling van de scheuren	32
6.5 Onderzoek naar het watergehalte van kleigrond	33
6.5.1 Watergehalte en negatieve waterspanning	33
6.5.2 Overzicht van zuigspanningen in dijkbekledingen	36
6.5.3 Invloeden op het watergehalte bij zuigspanning van 100 kN/m ²	37
6.6 Invloeden op de erosie van kleimonsters	41
6.6.1 Effecten van de structuur en de chemische karakteristieken	45
6.6.2 Atterbergse grenzen en erosiegedrag	47
7. CONSTRUCTIEVE EIGENSCHAPPEN EN GRONDPARAMETERS	52
7.1 Thans gebruikte parameters	52
7.2 Keuringsparameters en constructieve eigenschappen	55
7.2.1 Grenswaarden voor het keuren van kleigrond	55
7.2.2 Opmerkingen over de samenstelling van de grond	57
7.3 Klassificatie met betrekking tot de constructieve eisen	59



8.	INVLOEDEN VAN DE LIGGING EN DE TIJD	61
8.1	Verandering in samenstelling na het aanbrengen	61
8.1.1	Verandering in zoutgehalte	61
8.1.2	Verandering van organische stofgehalte	62
8.1.3	Verandering in sterk sulfide- houdende grond	63
8.2	Invloeden van de ligging en de expositie van het talud	63
9.	VERGELIJKING MET ANDER ONDERZOEK NAAR EROSIE, WATERGEHALTE EN INFILTRATIESNELHEID	65
9.1	Watergehalte in kleibekleding	65
9.2	Erosiegedrag	65
9.3	Infiltratie	66
9.4	Samenvatting van de vergelijking met ander onderzoek	67
10.	ALTERNATIEVEN VOOR ATTERBERGSE GRENZEN, KORRELGROOTTEVERDELINGSPARAMETERS EN MATERIAALKARAKTERISTIEKEN	68
11.	DE OPBOUW VAN DE DIJK EN DE DIKTE VAN DE KLEIBEKLEDING	70
11.1	Dikte van de kleibekleding	70
11.2	Vochttransport door de zandkern	71
11.3	Aanleg van de bekleding	71
11.4	Invloeden van de grasmat op de bekleding	72
12.	CONCLUSIES	74
	Literatuur	78

bladnummer : A7 -
ons kenmerk: C0- 275925/14
datum : september 1988



GRONDMECHANICA
DELFT

BIJLAGEN:

Locaties onderzochte dijken	I
Dwarsprofielen onderzochte taluds	II
Tabellen met resultaten van metingen	III
Gegevens over zuigspanningscurves en watergehaltes	IV
Beschrijvingen van in 1987 onderzochte locaties	V
Resultaten van erosietoestelproeven in 1987	VI
Beschrijving van methoden	VII



1. INLEIDING

Het hier gerapporteerde onderzoek is uitgevoerd in het kader van het ontwikkelen van keuringseisen voor kleigrond voor bekleding van dijken met een grasbedekking 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 verschijnselen die voor het beoordelen van de geschiktheid van kleigrond van belang zijn. Teneinde invloeden op constructie- eigenschappen zoals doorlatendheid en het erosiegedrag van kleibekledingen te kunnen evalueren werd een aantal relevant geachte parameters van kleibekledingen en van de situatie waarin deze zich bevinden bepaald.

Het doel van het onderzoek is het bepalen van parameters waarmee constructieve eigenschappen van kleigrond beoordeeld kunnen worden en het aangeven van de waarden van die parameters waarmee de geschiktheid van kleigrond kan worden bepaald. Het onderzoek is gericht op erosiegedrag en infiltratiekarakteristieken van kleibekleding. Het watergehalte en de veranderingen daarin hebben een grote invloed op deze beide en een belangrijk deel van het onderzoek wordt daar aan gewijd.

De Werkgroep 3 van de Technische Adviesgroep Waterkeringen heeft in 1984 de aanzet gegeven tot het 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 1985a) uitgevoerd naar achtergronden van het gedrag van kleigrond. Deze studie was gericht op de aspecten betreffende krimpen en zwellen en scheurvorming. In 1985 tot 1987 is er vervolgens veldonderzoek begonnen naar constructieve eigenschappen van kleibekledingen van dijken met een grasmat. Dit onderzoek naar krimpgevoeligheid, scheurvorming en erosiegedrag werd gecompleteerd met een onderzoek naar geschikte parameters voor het voorspellen van het functioneren van kleigrond als bekleding in een dijkconstructie. Een en ander is in 1986, en 1987 gerapporteerd (GD 1986, GD 1987a, GD 1987b, GD 1987c). Delen van de resultaten van dat onderzoek zijn in 1986 en in 1988 in voordrachten 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 1987a).

De onderzoekslocaties van het onderzoek zijn in de bijlage I aangegeven. De locaties zijn gekozen in samenwerking met vertegenwoordigers van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde en met vertegenwoordigers van de betreffende Waterschappen.



De bepalingen in het onderzoek omvatten:

- In situ infiltratiemetingen;
- erosieproeven in het laboratorium;
- beschrijving in het veld van de structuur van de kleibekleding;
- beschrijving van de opbouw van de dijk met behulp van waterpassingen, en boringen.
- in- situ- bepalingen van vochtgehaltenes en dichtheden met een nucleaire boorgatsonde;
- laboratoriumbepalingen van de samenstelling van de kleigronden;
- laboratoriummetingen aan vervormingseigenschappen van kleigronden;
- bepalingen van het watergehalte bij negatieve waterspanningen;

In de loop van het onderzoek is regelmatig uitvoerig van gedachten gewisseld met de heren Ing. J.A. Muijs en Ir. D.C. Van Ooijen, beide van de Dienst Weg- en Waterbouw van de Rijkswaterstaat, over achtergronden en de praktische en organisatorische kanten van de werkzaamheden.

Het veldonderzoek werd grotendeels in samenwerking met de Dienst Weg- en Waterbouwkunde uitgevoerd. De laboratoriumbepalingen zijn door GRONDMECHANICA DELFT uitgevoerd met uitzondering van de bepaling van de zuigspanningscurven en de metingen van volumeverandering bij bepaalde aangelegde zuigspanningsveranderingen. Gegevens over het aanleggen van de dijken op de onderzochte locaties en over het beheer daarvan en het optreden van schade werden door de betreffende waterschappen verstrekt. Gegevens over de vegetatie werden door de genoemde Vakgroep VPO van Landbouwniversiteit Wageningen verstrekt. Gegevens over het weer ten tijde van de veldonderzoeken werden betrokken van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

De kleibekleding van dijken heeft bij het aanbrengen bepaalde constructieve eigenschappen. Door de invloeden van weer, vegetatie, en grondwater veranderen de eigenschappen van de grond. De studie van een dergelijk systeem dient zich, gezien de complexiteit ervan, te laten richten en beperken door ervaringen van de dijkbeheerders en van diegenen voor wie het gedrag van grond dagelijkse praktijk is. Het ontwikkelen van keuringseisen voor kleigrond voor de bekleding van dijken kan slechts meer algemene geldigheid verkrijgen indien die voorkennis kan worden geplaatst in de benaderingen van grond in de geotechniek, chemie en bodemkunde. Het rapport zal het onderwerp met name vanuit die drie richtingen benaderen. De voornoemde ervaringen hebben echter sterk de richting van het onderzoek bepaald. De voortgang van het onderzoek is mede daarom regelmatig aan de orde geweest in een projectgroep met deskundigen op het gebied van aanleg, beheer en onderhoud van dijken en op het gebied van vegetatie op dijken. In deze groep waren vertegenwoordigers aanwezig van Grondmechanica Delft, Heidemij Adviesbureau, Rijkswaterstaat Beneden Rivieren, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenecologie en Onkruidkunde van Landbouwniversiteit en de Adviesgroep Vegetatiebeheer te Wageningen.



2. CONSTRUCTIEVE EIGENSCHAPPEN VAN KLEIBEKLEDINGEN

Een belangrijke reden voor het onderzoek was dat de bestaande formele en informele regels voor het gebruik van klei voor bekleding niet eenduidig en soms zelfs enigszins tegenstrijdig waren. Zo past men in Noord Nederland zonder problemen "schrallere" kleigronden toe, terwijl men in Zeeland zegt dat een grond juist zeer "vet" moet zijn om voor bekleding gebruikt te kunnen worden. Het leek daarom van belang meer inzicht te krijgen in de wijze waarop en de mate waarin kleigrond aan belastingen het hoofd kan bieden.

De toplaag van een dijk moet verschillende functies vervullen voor verschillende soorten en maten van belastingen, en wel met name:

- Bescherming tegen erosie;
- beperken van de doorlatendheid;
- substraat zijn voor vegetatie of andere afdeklaag;
- vormvast zijn, ook bij het aanbrengen op een talud en bij betreding

Daarnaast dient het materiaal ook de volgende eigenschappen hebben, te weten:

- Duurzaamheid;
- verwerkbaarheid;

De meeste van deze eigenschappen dient het materiaal zo snel mogelijk na het aanbrengen te hebben. Kleigrond kan in bepaalde omstandigheden aan deze functionele eisen voldoen.

Na een inleidende bronnenstudie is vergelijkend onderzoek naar enkele functionele eigenschappen van bestaande kleibekledingen uitgevoerd en wel naar:

- Doorlatendheid van kleibekledingen;
- erosiebestendigheid van kleibekledingen.

Het onderzoek richtte zich met name op die eigenschappen van de grond die in de loop van de tijd belangrijk kunnen veranderen in nadelige zin. Zoals bekend kunnen zich na het aanbrengen grote scheuren vormen in kleigrond die voor de doorlatendheid van de bekleding en voor de samenhang ervan zeer nadelig zijn. Over de ontwikkeling van de weerstand tegen erosiekrachten zijn weinig specifieke gegevens beschikbaar en de invloeden hierop zijn daarom in het onderzoek opgenomen. Naast het bepalen van parameterwaarden voor deze eigenschappen werd nagegaan welke mechanismen voor het functioneren van belang zijn. De factoren die voor deze mechanismen van belang zijn, werden onderzocht en er werd nagegaan welke factoren de waargenomen verschillen tot gevolg hadden.

De invloeden van grondeigenschappen op vormvastheid van het dijkta-
lud zijn in het onderzoek buiten beschouwing gelaten. In het algemeen heeft kleigrond die sterk geroerd is, zoals bij het aanbrengen, slechtere eigenschappen ten aanzien van stabiliteit dan kleigrond die zich enige tijd heeft kunnen aanpassen op een talud. De toestand van



de klei bij het aanbrengen is derhalve maatgevend voor een beoordeling van de vormvastheidseigenschappen. Deze eigenschappen kunnen zonedig met meer of minder complexe grondmechanische tests worden beoordeeld voor het aanbrengen.

De verwerkbaarheid van een kleigrond op een talud is voor de beoordeling van de geschiktheid van de grond van belang. Bij de verwerking wordt de grond aan een combinatie van dynamische en statische belastingen blootgesteld. De verwerkbaarheid blijkt in de praktijk met het watergehalte van de grond samen te hangen. Onderzoek in een ander verband (RWS 1985) heeft reeds indicaties over het watergehalte en de verwerkbaarheid van kleigrond gegeven. Hier wordt volstaan met een verwijzing daarnaar.

Het onderzoek heeft de invloeden van de eigenschappen van de grond op de effecten op het talud van betreden ervan niet beschouwd. Het is te verwachten dat het nodig is de materiaalparameters te bestuderen in samenhang met de invloed van de aard van de vegetatie, van de taludhelling en van de vorm en mate van beweiding, of betreding. Tevens heeft de overweging meegewogen dat schade aan het talud door betreden ondervangen kan worden met beheersmaatregelen. De invloeden van de grond op de vegetatie op het talud zijn in het onderzoek evenmin aan de orde geweest. In parallel onderzoek door de Vakgroep VPO van de Landbouw Universiteit Wageningen is dit aspect aan de orde (zie onder andere Sykora & Liebrands 1987).



3. DE OPZET VAN HET ONDERZOEK

3.1 Algemeen

Voor het ontwikkelen van keuringseisen voor kleigrond voor bekleding van dijken dient nagegaan te worden waar de bekleding aan dient te voldoen. In het vorige hoofdstuk is hierop ingegaan en een gevolgtrekking daarin was dat het onderzoek zich met name op erosiegevoeligheid en doorlatendheid van de bekledingslaag zou richten. Er is elders reeds veel onderzoek verricht naar erosiegedrag en doorlatendheidskarakteristieken van kleigrond. De uitkomsten van deze onderzoeken geven aan dat deze eigenschappen door een complex van fenomenen worden bepaald.

Vanwege de verwachte complexiteit van interacties tussen de verschillende fenomenen en processen is gekozen voor een tweeledige aanpak. Eén deel van het onderzoek richtte zich op de constructieve eigenschappen en de invloeden daarop zoals de bodemstructuur van de kleibekledingen en omgevingsfactoren. Een ander deel hield zich bezig met de relaties tussen deze invloeden op constructieve eigenschappen en verschillende relevant geachte parameters die de samenstelling van de grond beschreven. In het geval van de erosiegevoeligheid bleek dat er in bepaalde omstandigheden ook directe relaties tussen deze parameters en het erosiegedrag gebruikt konden worden. Zo blijkt het gehalte aan zanddeeltjes, als het voldoende hoog is, direct met een sterke erosiegevoeligheid te maken te hebben.

In het onderzoek zijn de verwachte invloeden op de constructieve eigenschappen nagegaan. Tevens zijn de verbanden tussen deze invloeden en parameters die zich lenen voor het keuren van kleigrond nagegaan. Ten aanzien van erosie zijn mogelijke relaties tussen het erosiegedrag en dergelijke keuringsparameters onderzocht. Ook voor het beoordelen van het watergehalte van grond zijn dergelijke relaties nagegaan. Relaties tussen keuringsparameters en criteria voor het bepalen van doorlatendheidskarakteristieken zijn niet relevant gebleken in de loop van het onderzoek. De gemeten variatie in doorlatendheid van kleibekledingen was zodanig gering dat de onderzoeksinspanningen op dat gebied zijn beperkt.

De invloeden die de samenstelling en opbouw van het materiaal in brede zin hebben op de gemeten constructieve eigenschappen, zijn in het onderzoek nagegaan. Het onderzoek is begonnen met bronnenonderzoek (COW 1984, LGM 1985a) naar de fenomenen die voor erosie en doorlatendheid een rol spelen of kunnen spelen.

Voor Nederlandse grond in de omstandigheden zoals die in een kleibekleding op een dijk voorkomen bleken weinig referentie gegevens beschikbaar. Als referentie voor de mate waarin kleibekledingen aan erosiekrachten weerstand dienden te bieden en voor de doorlatendheid ervan zijn daarom deze eigenschappen van bestaande dijkbekledingen



gemeten. Met een erosieproef is de erosiegevoeligheid van monsters van bestaande kleibekledingen nagegaan. De uitkomsten van deze proeven kunnen als indicatie voor de erosiebestendigheid van de bekleding worden beschouwd zoals uit onderzoek elders naar voren komt (LGM 1985b). De doorlatendheden, in de vorm van infiltratiesnelheden, van bestaande kleibekledingen zijn met een in- situ- proef gemeten (zie methoden Bijlage VII). Deze proef is voor het onderzoek ontwikkeld omdat voor sterk hellende terreinen standaard infiltratieproeven niet de gewenste karakteristieken bepalen.

De bodemstructuren die in kleibekledingen voorkomen zijn, vanwege de rol ervan voor de constructieve eigenschappen, geïnventariseerd met behulp van veldwaarnemingen in kuilen in de bekledingen. Voor het evalueren van de waterhuishouding in de onverzadigde zone van de dijklichamen is de opbouw en situering van de dijken nagegaan.

De bekledingen zijn op de meeste locaties in voorjaar, zomer en najaar onderzocht teneinde seizoensinvloeden te kunnen beoordelen. Deze invloeden werden verwacht op met name de waterhuishouding in de dijk en de eigenschappen die daarmee samenhangen, onder andere de doorlatendheid en de ontwikkeling van de bodemstructuur.

In het onderzoek zijn de relaties nagegaan tussen enerzijds de chemische en fysisch- chemische karakteristieken en anderzijds de directe invloeden, zoals bodemstructuur, op de constructieve eigenschappen. Ook zijn relaties tussen chemische en fysisch- chemische karakteristieken onderling bestudeerd.

3.2 Invloeden op erosiegedrag en doorlatendheid van kleibekledingen

Uit bronnenonderzoek en uit het onderzoek zelf blijkt dat zich in onverzadigde grond een bepaalde bodemstructuur ontwikkelt. Deze structuur is gesuperponeerd op de structuur die de individuele deeltjes opbouwen. De structuur in onverzadigde grond is hoofdzakelijk het gevolg van het voortdurend droger en natter worden en het daarmee samenhangende krimpen en zwellen van de grond, alsmede van de activiteiten van gravende fauna en plantenwortels. Het materiaal waaruit de grond bestaat, evenals de aard en de hoeveelheid opgeloste stoffen in het bodemwater hebben invloed op de vorming van structuur.

In samenhangende grond blijkt de structuur van belang voor de constructieve eigenschappen. De waarnemingen ten aanzien van doorlatendheid van deze gronden geven aan dat het water door grote poriën stroomt. De doorlatendheid wordt bepaald door de aanwezigheid, maat en continuïteit van grotere scheuren en graafgangen. Bij erosie wordt waargenomen dat brokken grond loslaten in plaats van individuele deeltjes. Slechts indien de grond uit zandkorrels met slechts weinig cohesief materiaal bestaat kan er van erosie van individuele korrels gesproken worden.



De invloeden op het watergehalte van grond zijn voor veel aspecten van onverzadigde grond van belang. De interactie van de vaste stof met water is van belang voor onder andere:

- Vervormingsgedrag van grond;
- samenhang, cohesie;
- krimpen en zwellen van grond;
- transport van water door de onverzadigde grond;
- vegetatie- ontwikkeling.

De factoren die met de interactie tussen water en grond samenhangen zijn daarom in het onderzoek nagegaan voor kleibekledingen. Zo zijn eigenschappen nagegaan die het waterbindendvermogen van onverzadigde grond beïnvloeden alsmede de in de kleibekledingen heersende waterspanningen. Voor het waterbindende vermogen zijn chemische en fysisch- chemische karakteristieken alsmede de poriegrootteverdeling van belang. De veranderingen van waterspanningen in de onverzadigde zone worden bepaald door de interactie tussen atmosfeer en bodemlucht, samen met de verbinding tussen de kleibekleding en de verzadigde zone, het grondwater.

De opbouw van de dijk is van belang in verband met de verbinding tussen de kleibekleding, de verzadigde zone en de atmosfeer. In het onderzoek is de opbouw van de dijken daarom in algemene zin beschreven aan de hand van handboringen. De atmosferische invloeden zijn nagegaan aan de hand van KNMI- waarnemingen van temperatuur, luchtvochtigheid en bezonning. Gegevens over de oriëntatie van het talud zijn verzameld. Deze vormen een belangrijke factor voor het microklimaat bij de kleibekleding.

3.3 Onderzoekslocaties

De onderzoekslocaties zijn met de opdrachtgever, RWS DWW voorheen COW, bepaald. De onderzochte dijkbekledingen waren, op twee na, alle meer dan 5 jaar voor het onderzoek aangelegd. De meeste locaties zijn in voorjaar, zomer en najaar onderzocht. Op twee locaties zijn ontwikkelingen in pas aangebrachte bekledingen nagegaan. Op één daarvan is de ontwikkeling van structuur en de doorlatendheid gedurende het eerste (zomer-) halfjaar na de aanleg gevolgd.

De onderzochte locaties liggen verspreid langs de grote rivieren (18 locaties) en de kust (5 locaties). Locaties zijn gekozen in Noordbrabant, Friesland, Gelderland, Noordholland, Overijssel, Zeeland en Zuidholland. Vanwege het onderwerp van het onderzoek, kleibekledingen met grasbedekking, zijn veel locaties langs de grote rivieren gekozen waar deze constructievorm veel voorkomt. Het onderzoek is begonnen op dijken in de provincie Gelderland van waar een directe vraag naar geschikte keuringseisen bij de opdrachtgever naar voren was gebracht.

bladnummer : - 8 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



**GRONDMECHANICA
DELFT**

De locaties zijn geselecteerd in overleg met de beheerders van de dijken. In eerste instantie is de locatiekeuze gemaakt op grond van de omgeving waar de dijk lag, zout of zoet water, en de aard van het materiaal, vette klei of juist schralere grond. In het laatste jaar van het onderzoek zijn daarnaast locaties onderzocht die waren gekozen op grond van het voorkomen van schade. Ook zijn er 2 locaties in het onderzoek opgenomen waarover in een ander verband gegevens over infiltratiekarakteristieken verzameld moesten worden.



4. BEPROEVINGSMETHODEN

De proeven en waarnemingen zijn uitgevoerd om een gedetailleerd inzicht in de samenstelling en opbouw van de grond en het bodemwater te krijgen. Bij het samenstellen van het beproevingsprogramma is enerzijds uitgegaan van de bestaande praktijk voor het bestuderen van grond in de civiele techniek. Anderzijds zijn parameters bepaald die meer specifiek inzicht in de relatie tussen grond en water en die inzicht in de invloeden daarop kunnen geven. Bepalingen van zuigspanningscurves, het thermogravimetrisch onderzoek en de chemische en fysische- chemische bepalingen zijn met het oog hierop uitgevoerd.

De metingen en de veld- en microscoopwaarnemingen zullen hier in algemene zin aan de orde komen. In de bijlagen VII zijn nadere besprekingen van de gebruikte methoden opgenomen. In de tabellen 4.1 en 4.2 zijn de uitgevoerde laboratoriumbepalingen en terreinmetingen en werkzaamheden getabelleerd. De bepalingswijzen zijn beschreven in bijlage VII en zijn uitgevoerd volgens de bestaande praktijk voor dergelijk grondonderzoek bij GRONDMECHANICA DELFT, in sommige gevallen aangevuld met elders in de bodemkunde algemeen gebruikelijke bepalingswijzen (zoals vermeld in Methods of Soil Analysis 1969).

Tabel 4.1: Laboratoriumbepalingen:

Watergehalte
Droog volumegewicht

Korrelgrootteverdeling
Atterbergse grenzen (uitrolgrens en vloeigrens)
Kalkgehalte
Organisch materiaal

pF- curve (zuigspanningscurve)

Laboratorium vinproef
Erosietoestelproeven (GD erosiecentrifuge)

Saliniteit (natriumchloride- gehalte, vaak zoutgehalte genoemd)
Electrisch geleidingsvermogen
Zuurgraad (pH)

Kationenuitwisselingscapaciteit (CEC)
Kationenbezetting
Humine- en Fulvozuurgehalte

Specifiek oppervlak
Thermogravimetrische gedrag



Tabel 4.2: Terreinwerkzaamheden:

Infiltratiemetingen
Handboringen tot ongeveer 4 m diepte
NEA- sonde- metingen in meetbuizen tot ongeveer 4 m diepte
Profielkuilen, voor waarnemingen en monsternamen
Geo- elektrische- metingen
Waterpassing dijkprofiel en locaties onderzoekspunten

De erosieproeven zijn uitgevoerd met een door GRONDMECHANICA DELFT ontwikkeld apparaat. De infiltratieproeven zijn uitgevoerd met een door GRONDMECHANICA DELFT in opdracht van RWS DWW voor dit onderzoek ontwikkelde infiltratieproef.

De monsters voor de meeste bepalingen zijn genomen uit blokmonsters gestoken in kuilen in de kleibekleding.

In het volgende zal kort worden ingegaan op enkele proeven die niet algemeen gebruikelijk zijn in geotechnische onderzoeken.

Infiltratieproef;

De infiltratiesnelheid van water in het kleidek werd bepaald met een speciaal voor het doel ontwikkelde koker (zie bijlage VII A). Gezien het voorkomen van zeer grote poriën in onverzadigde kleigrond, zoals scheuren en wormgangen, dienen doorlatendheidsmetingen grote volumina grond te beschouwen; zo groot dat voor in situ proeven gekozen is. Bestaande infiltratieproeven zijn slecht toepasbaar op hellend terrein zoals een dijktaalud 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 x 0.9 m². Het inbrengen van de koker door 3 personen duurde ongeveer 0.5 uur. De koker werd opgesteld als aangegeven in figuur A.1 in bijlage VII. De koker werd vervolgens gevuld met water tot een bepaald niveau. Het waterniveau werd met regelmatige tussenpozen van ongeveer 15 minuten gemeten. Als het waterniveau meer dan ongeveer 20 mm gezakt was, werd water bijgevuld. De duur van een infiltratieproef was ongeveer 3 uren. De infiltratiesnelheid tenderde naar een constante waarde. In totaal zijn er 24 infiltratieproeven uitgevoerd op de 9 locaties.



In 1985 is er een infiltratieproef is uitgevoerd met een toevoeging van kleurstof aan het infiltrerende water teneinde de weg van het water in de grond te kunnen volgen. De zone die door het indringen van de wand van de koker was verstoord bleek slechts enkele centimeters breed.

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 water geplaatst. Het water wordt vervolgens in beweging gebracht door een met schoepen bezette cilinder die rond het monster draait (zie de figuur B.1 in bijlage VII).

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 als weergegeven in bijlagen V. Daarnaast is er een visuele inspectie van de gërodeerde monsters uitgevoerd. Deze inspectie richtte zich op oppervlakteverschijnselen op macroscopisch en microscopisch niveau.

De watersnelheid op enige entimeters boven een onder golfoploop eroderend oppervlak van een met gras en wortels beschermd talud kan op 1 tot 3 m/s worden gesteld (WL 1982). Deze snelheid correspondeert met die van de maximale stroming in een spleet en de maximale stroming op een glad oppervlak bij golfoploop op oevers van de Oosterschelde. De schoepen van het erosieapparaat bevinden zich eveneens op enige centimeters van het monster en bij een toerental van respectievelijk 290 en 870 t/min. wordt derhalve de hierboven geschetste watersnelheids- conditie op een talud gesimuleerd.

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. Er zijn 30 erosieproeven uitgevoerd. In het onderzoek in 1986 is een serie proeven uitgevoerd met zoet, zoals gebruikelijk, en met zout water.

Bepaling van de structuur van de kleibekledingen en de opbouw van de dijk:

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. In het onderzoek zijn in totaal 52 kuilen gegraven op de 19 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 bioporien
- voorkomen van grote bioporien 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 dikte van spletten en van de frequentie van voorkomen en de diameter van buisvormige bioporien.

De richtingen van de spletten en scheuren werden met een geologisch kompas met een hellingmeter gemeten op goed herkenbare vlakken.

Voor 3 locaties zijn microscoopwaarnemingen verricht aan zeer dunne secties van grond, zogenaamde slijpplaten. Met deze techniek is het mogelijk zeer gedetailleerd de ruimtelijke relatie tussen zeer fijn materiaal, zand- en siltkorrels en de porieruimte te bestuderen.

Voor het bepalen van de opbouw van de dijk ter plaatse van de in situ bepalingen is gebruik gemaakt van handboringen, en gegevens die door de betreffende Waterschappen zijn verschaft.

In het onderzoek in 1985 en 1986 zijn in de boorgaten in de teen en aan de kruin van de dijk nauwpassende kunststofbuizen geplaatst ten behoeve van metingen van dichtheid en watergehalte met een gecombineerde neutronen en gamma- gammastralingssonde, de NEA- sonde. Deze metingen zijn uitgevoerd om de veranderingen in watergehalte en droog volumegewicht tussen voorjaar, zomer en najaar te bepalen.

Bepaling Specifiek Oppervlak en Thermogravimetrische bepalingen:

Het specifieke oppervlak van de fractie kleiner dan 150 μ is bepaald. Het specifieke oppervlak, de grootte van het oppervlak van de gezamenlijke gronddeeltjes in 1 gram grond, is van belang in verband met de reactie van de grond met water en met de daarin voorkomende moleculen en ionen. Nederlandse kleigrond heeft een specifiek oppervlak tussen ongeveer 70 en 200 m^2/g .



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 Differentieële Thermische Analyse of DTA. Voor het huidige onderzoek wordt slechts gebruik gemaakt van het gewichtsverlies van de monsters 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 dehydroxilatie van stoffen als ijzerhydroxides plaats tussen ongeveer 250 tot 600°C. Overige reacties in het gebruikte temperatuursinterval hebben voor de onderzochte 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 thermogravimetrische bepaling is in de eerste plaats uitgevoerd vanwege de verwachte relatie van de hoeveelheid hydratatiewater met fysisch- chemische eigenschappen van de grond en met mogelijk daarmee verbonden eigenschappen als kationenuitwisselingscoëfficiënt en Atterbergse grenzen.

Kationenbezetting van de grond;

De hoeveelheid en de samenstelling van aan de gronddeeltjes geadsorbeerde positieve ionen, de kationenbezetting, is bepaald. Het is bekend dat de kationenbezetting een belangrijke invloed kan uitoefenen op eigenschappen als erosie-gevoeligheid, mechanische sterkte en adsorbtie van water. Met name de effecten van de verschillen tussen de veel voorkomende twee- waardig positieve Calcium- en Magnesium- ionen en de relatief grote éénwaardige Natrium- ionen die in zeewater domineren, zijn algemeen bekend. Ook het stabiliserende effect van de relatief zeer grote eenwaardige Kalium- ionen op zwellende kleimineralen is bekend.

Organische stofsoorten;

Organische stof in grond kan bestaan uit levende en dode organische 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. Moleculair verdeelde organische stof is effectief in de grond doordat hij invloed heeft op de bodemvloeistoffen en op de oppervlakken van de gronddeeltjes waaraan de moleculen geadsorbeerd of chemisch gebonden kunnen zijn.

bladnummer : - 14 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



**GRONDMECHANICA
DELFT**

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 soorten organische stof zijn bekend als respectievelijk huminezuren en fulvozuren. Het is bekend dat de samenstelling van de organische stof van invloed is op bijvoorbeeld de erosiebestendigheid van kluiten grond.



5. RESULTATEN VAN DE METINGEN EN DE WAARNEMINGEN

De ligging van de onderzochte locaties is in bijlage I aangegeven en de dwarsprofielen van de onderzochte dijktafsluitingen in bijlage II.

In de loop van het onderzoek is een groot aantal metingen en waarnemingen verricht. Het merendeel hiervan is vermeld in de rapporten LGM 1986, GD 1987a, GD 1987b en GD 1987c. In 1987 zijn metingen en waarnemingen verricht die in dit rapport worden vermeld. De waarnemingen die in 1987 aan kleibekledingen en aan de opbouw van de onderzochte dijklocaties zijn verricht staan in de bijlagen IV en de meetresultaten van de erosieproeven in bijlage V. De meetwaarden van de laboratoriumproeven zijn samen met de resultaten van eerder onderzoek in de tabellen in bijlage III opgenomen.

In het volgende wordt kort ingegaan op enkele algemene karakteristieken van de onderzochte bekledingen. In de rapporten LGM 1986, GD 1987a, GD 1987b en GD 1987c en in de hoofdstukken 6 en 7 van dit rapport komen de resultaten van diverse bepalingen in meer detail aan de orde, hier wordt volstaan met een verwijzing naar deze rapporten.

Opbouw van de dijken: Ten aanzien van de opbouw kunnen in het algemeen kunnen 2 typen opbouw worden onderscheiden, namelijk: Dijken met een zandkern en een bekleding van kleiige grond en dijken die voornamelijk uit kleiig materiaal zijn opgebouwd. In sommige gevallen heeft het kleiige materiaal een hoog zandgehalte. In de tabel 2 van bijlage III zijn de hoogtes van het maaiveld op de monsterlocaties boven het grondwaterniveau aangegeven (minimum en maximum grondwaterniveau volgens STIBOKA bodemkaarten).

Korrelgrootteverdeling:

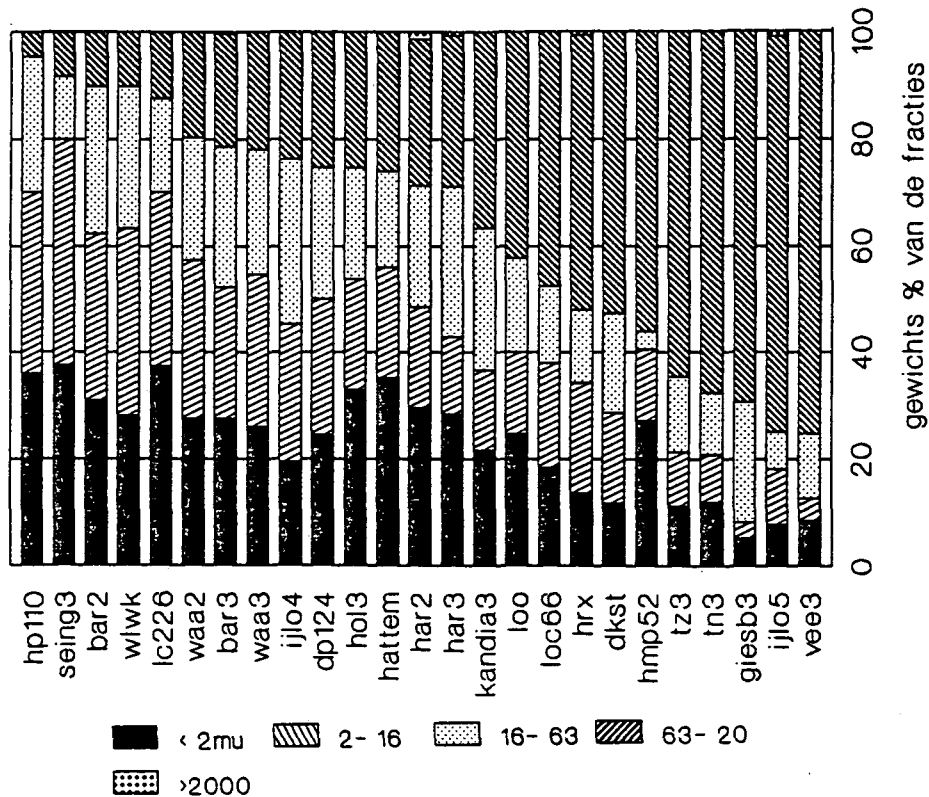
In figuur 5.1 zijn de resultaten van alle korrelgrootteverdelingen grafisch weergegeven. De fractie 16- 63 μ is voor het monster van de locatie HMP52 (Noord Brabant) abnormaal laag. In andere bepalingen heeft het materiaal van die locatie eveneens een afwijkend gedrag: In sommige opzichten lijkt het op kleigrond en in andere op zandige grond. Waarschijnlijk is het materiaal van deze locatie een homogeen mengsel van klei en zand. Het is waarschijnlijk dat de grond een mengsel is van zeer zware klei en zand dat niet natuurlijk is gevormd.

Het monster van de locatie IJLo4 langs de IJssel heeft zowel een laag zandgehalte als een relatief laag gehalte aan deeltjes < 2 μ , lutum, terwijl het aandeel van de fractie 16- 63 μ relatief hoog is.

Het gehalte aan deeltjes $< 16\mu$ blijkt globaal omgekeerd evenredig met het zandgehalte te zijn. Het gehalte aan deeltjes $< 2\mu$, de lutumfractie, volgt deze trend eveneens tot circa 30% zand. Bij lagere zandgehalten blijft het lutumgehalte rond 30% schommelen. Het is niet onwaarschijnlijk dat selectie van grond alvorens die op een dijk wordt gebracht, veroorzaakt dat hogere lutumgehalten in de verzameling weinig voorkomen.

In het onderzoek in 1985 is er per locatie slechts één korrelgrootteverdeling. Het betreft gegevens van de locatie Giesbeek, Kandia en Westervoort. In het geval van de korrelgroottegegevens van de locatie Giesbeek is kennelijk een in het geheel niet representatieve korrelgrootteverdeling bepaald. De resultaten van deze korrelgrootteverdeling zijn niet in overeenstemming met het merendeel van de overige bepalingen aan grond van de locatie Giesbeek. Uit de beschrijving blijkt dat de grond inderdaad zeer grote variatie vertoont op de locatie Giesbeek (Giesb.) (GD 1986a).

korrelgrootteverdelingen



Figuur 5.1: De korrelgrootteverdelingen van de onderzochte gronden. De hoeveelheid deeltjes $< 16\mu$ ($< 2\mu + 2-16\mu$) verloopt in het algemeen parallel aan de hoeveelheid $< 63\mu$, echter er komen belangrijke afwijkingen voor. Dit laatste geldt eveneens voor de lutumfractie, $< 2\mu$. Bij zandgehalten lager dan ongeveer 30% loopt de lutumfractie niet meer parallel aan de $< 63\mu$ fractie voor de onderzochte monsters.



Atterbergse grenzen: De bepaling van de Atterbergse grenzen konden niet worden uitgevoerd op de zeer zandige monsters. In sommige gevallen kon alleen een vloeigrens worden bepaald.

De uitrolgrens varieert tussen 15 en 37% met een gemiddelde van 23%. Voor het merendeel van de monsters ligt de uitrolgrens in de buurt van 20%. De monsters met een uitrolgrens hoger dan 30% hebben alle een organische stofgehalte van meer dan 4 %.

De vloeigrens varieert tussen 24 en 70% met een gemiddelde van 47%. De vloeigrens neemt in het algemeen toe met het gehalte aan fijne deeltjes van de grond en met het zoutgehalte.

Organische stof: Het organische stofgehalte varieert tussen 0.6 en bijna 5% met een gemiddelde van 2.4 %. de organische stofgehalte van monsters met een zeer weinig fijne fractie is nooit hoger dan 2%. De monsters van de locaties langs de bovenrivieren bevatten minder dan ongeveer 2.5% organische stof. Slechts op locaties in het benedenrivieren gebied en langs de kust is het gehalte organische stof soms hoger dan 3%.

Kalkgehalte: Het kalkgehalte (gewichtsverlies bij HCl- behandeling) van de monsters varieert tussen 7 en 27% met een gemiddelde van 16%. De monsters met een zeer laag lutumgehalte bevatten minder dan 10% kalk, evenals het monster van locatie HMP52 dat een sterk afwijkende korrelgrootteverdeling heeft. De monsters van de locatie bij Waarde bevatten beide meer dan 25 % kalk. Deze monsters wijken in veel opzichten af van de overige monsters.

Saliniteit: De saliniteit, hier zoutgehalte genoemd (NaCl- gehalte), en de elektrische geleidbaarheid (Ec) zijn zeer hoog voor de pas aangebrachte klei op de locatie bij Holwerd (locatie Hol.) langs de Waddenzee. De monsters van de locatie bij Waarde (locatie Waa.) die uit een dijk langs een schor zijn genomen hebben een relatief hoog zoutgehalte. Van de locatie bij Harlingen (Har) heeft één van de twee monsters een hoger zoutgehalte. Zoutgehaltes hoger dan 50 mg/kg droge stof komen verder in sommige zeer zandige dijken langs de IJssel voor. De monsters met een hoog zoutgehalte hebben ook een groot aandeel van Natrium in de kationenbezetting (zie echter ook hetgeen over kationenbezetting in Bijlage VII, methoden, is opgemerkt). De meeste monsters van locaties langs de kust hebben eveneens een relatief hoog aandeel van magnesium in de kationenbezetting.



Infiltratiesnelheid: In tabel 2 van bijlage III staan de infiltratiesnelheden aan het eind van de proef. Deze infiltratiesnelheid varieert tussen 0.1 en 8.4×10^{-5} m/s. De hoogste infiltratiesnelheid werd gemeten op de locatie in Waarde (Waa) en de laagste werd gemeten in de pas aangebrachte kleibekleding van de locatie bij Holwerd (Hol). De infiltratiesnelheid op deze locatie was na verloop van minder dan een half jaar reeds 0.8×10^{-5} m/s. De locatie bij Giesbeek (Giesb) was de enige die eveneens een infiltratiesnelheid van minder dan 1×10^{-5} m/s gaf. Er zijn geen verbanden gevonden tussen de gemeten infiltratiesnelheden en de grondparameters die bepaald zijn.

Erosie: Het toerental waarbij meer dan 30% van de monsters in de erosieproef was weggeërodeerd is in tabel 2 van bijlage III gegeven. Het toerental waarbij monsters meer dan 30 gewichtsprocenten gewicht hadden verloren, het bezwijktoerental, varieerde van minder dan 50 t/min tot monsters die zelfs na enkele uren beproeving met 1200 t/min nog nagenoeg geheel intact waren. De snelheid van de schoepen rond het monster bedraagt daarbij respectievelijk minder dan 0.35 tot meer dan 8 m/s. In het rapport wordt onderscheid gemaakt tussen monsters als in de tabel 5.1.

TABEL 5.1: Klassen van erosiegevoeligheid aan de hand van bezwijktoerental van monsters zoals die in dit rapport worden gehanteerd.

Groep (aantal zoet en zout)	bezwijk toerental	snelheid van schoepen	opmerkingen
a (3)	<100	0.7 m/s	zeer erosiegevoelig
b (5)	100- <600	0.7- 4 m/s	zeer erosiegevoelig
c (2)	600- <900	4 - 6 m/s	erosiegevoelig
d (6)	900- 1150	6 - 8 m/s	matig tot weinig erosiegevoelig
e (16)	>1150	8 m/s	weinig erosiegevoelig

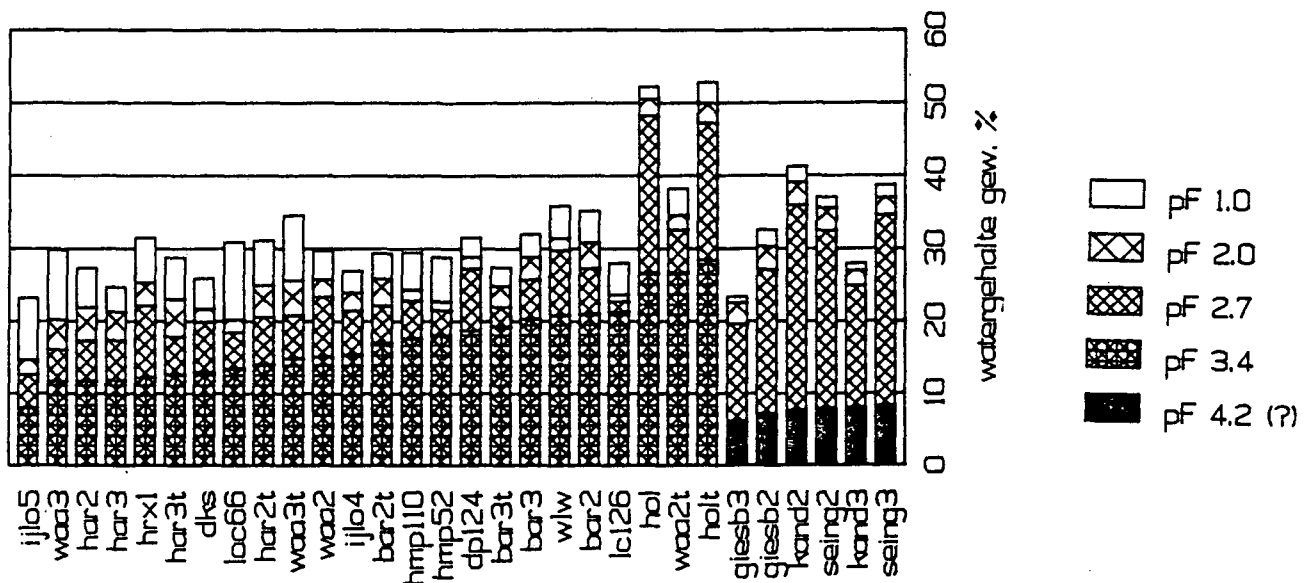
Uit de aantallen die in tabel 5.1 worden genoemd blijkt dat de helft van de onderzochte monsters de maximale belasting van 1200 t/min voor tenminste enige tijd kon weerstaan en dat eenderde deel van de monsters snel uiteen viel. Deze verdeling van de monsters over de klassen geeft een tweedeling in erosiebestendigheid in het erosietoestel aan: Een resistente groep en een erosiegevoelige groep. Het merendeel van de erosiegevoelige monsters heeft een hoog zandgehalte.



Watergehalte: De watergehalten bij zuigspanningen van respectievelijk 1, 10, 50 en 250 kN/m² (pF 1, 2, 2.7, 3.4) die zijn bepaald zijn in figuur 5.2 weergegeven (NB voor de locaties Giesbeek (Giesb), Kandia en Westervoort (Seing) is in de figuur 5.2 een zuigspanning van 1000 kN/m² vermeld, zie paragraaf 4.1). In bijlage IV is een overzicht gegeven van de gemeten natuurlijke watergehalten, de watergehalten bij bepaalde zuigspanningen in volume- en in gewichtsprocenten en de relatie van de gemeten watergehalten met de Atterbergse grenzen (in de vorm van zogenaamde I_c- waarden).

De gemeten natuurlijke watergehalten variëren van 9 tot meer dan 50 %. Het gemiddelde watergehalte in het voorjaar is hoger dan in zomer en najaar. Bij een zuigspanning van 1 kN/m² (0.1 m water) is varieert het watergehalte voor de meeste monsters ongeveer tussen 25 en 35 % en bij een zuigspanning van 50 kN/m² tussen ongeveer 15 en 25%.

pF- waarden
 overzicht watergehalten (cumulatief)



Figuur 5.2: De watergehalten in gewichtsprocenten van monsters van de onderzochte locaties bij pF- waarden van respectievelijk 1, 2, 2.7 en 3.4. De staven in de grafiek geven het watergehalte cumulatief weer. De monsters van de locaties Giesbeek, Gi, Kandia, Ka, en Westervoort, Se, wijken sterk af van de overige monsters, er is een waarde van pF 4.2 als hoogste zuigspanningsklasse voor deze monsters aangegeven. De pF- waarden corresponderen met zuigspanning in kN/m² als volgt:

pF 1	pF 2	pF 2.7	pF 3.4	pF 4.2 komt overeen met
- 1	10	50	250	1600 kN/m ² .



5.1 Opmerkingen over problemen bij de bepalingen.

De resultaten van de bepaling van de kationenbezetting en kationenuitwisselingscapaciteit in 1985 zijn vanwege de enigszins afwijkende bepalingwijze niet met de latere bepalingen te vergelijken. Bij de bepalingen in 1985 is kennelijk de ontsluiting van de monsters voor de bepalingen intensiever geweest dan in de later uitgevoerde bepalingen. De waarden die in 1985 zijn bepaald zijn voor alle kationen en voor de uitwisselingscapaciteit zeer hoog. Het betreft de locaties Giesbeek, Kandia en Westervoort.

De bepaling van de zuigspanningscurven in 1985 geeft een enigszins afwijkend beeld ten opzichte van de later uitgevoerde bepalingen door met name een zeer laag watergehalte voor de zuigspanning van 250 kN/m² (pF 3.4). Het Laboratorium voor Grond- en Gewas Onderzoek te Oosterbeek, dat de bepalingen verrichtte, sluit de mogelijkheid niet uit dat de bepaling van de hoge zuigspanning bij een zuigspanning van 1000 kN/m² (pF 4.2) in plaats van 250 kN/m² (pF 3.4) is uitgevoerd. Het betreft eveneens de locaties Giesbeek, Kandia en Westervoort.

De monsters van de onverzadigde grond waren in veel gevallen kruimelig waardoor in enkele 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 hoger droog volumegewicht hadden dan de overige monsters.



6. MATERIAALKARAKTERISTIEKEN EN CONSTRUCTIEVE EIGENSCHAPPEN

6.1 Invloeden op infiltratie in kleibekledingen

De algemeen geldig veronderstelde Hagen- Poisseuille vergelijking voor stroming door buizen, spleten en dergelijke geeft aan dat de diameter van een doorstroomde verzadigde porie grote invloed op het debiet heeft. De Hagen-Poiseuille vergelijking voor een buis luidt

$$Q_t = \pi r^4 \psi / 8 \eta l \quad \text{waarin } r = \text{straal van de buis;} \\ \psi = \text{drukverschil; } \eta = \text{viscositeit en } l = \text{lengte van de buis.}$$

Tijdens een infiltratieproef op de locatie bij Kandia (GD 1986a) is er methyleen-blauwkleurstof aan het water toegevoegd. De verkleuringen van de wanden van poriën en water in de grotere poriën in de profielkuil die vervolgens op de locatie is gegraven, gaven te zien dat het water benedenwaarts door macroporiën in de kleibekleding van de dijk het zandlichaam was binnengestroomd. Ook zijn er stukken grond van enkele kleibekledingen gedurende meer dan 8 uur doorstroomd met een methyleen- blauwoplossing. Dunne secties van deze stukken grond zijn vervolgens met de microscoop bestudeerd.

De waarnemingen van de in- situ- infiltratieproef en de laboratoriumproeven die met een kleurstofoplossing werden uitgevoerd geven aan dat wormgangen en spleten belangrijke watervoerende kanalen zijn in de grond. De maat van deze poriën doet vermoeden dat de kleinere, niet met het blote oog zichtbare poriën van gering belang zijn voor verzadigde stroming. Ook de waarnemingen aan de dunne secties van met kleurstof doorspoelde kluiten laten zien dat slechts sommige grotere poriën met het doorstromende water in aanraking zijn geweest (zie hiervoor ook onder andere Bouma 1981). Een berekening met de Hagen-Poiseuille vergelijking geeft aan dat het debiet door de grond in de koker in voor- en najaar meer dan tweemaal zo hoog is als het debiet van een cilindrisch buisje van 1 m lengte en een diameter van 3 mm. De waargenomen infiltratiesnelheid zou verklaard worden door zo'n buisje met een diameter van 2.76 mm bij een viscositeit van het water van 1.307 Ns/m². De veldwaarnemingen geven aan dat er vele tientallen van dergelijk buisjes en vele spleten in het door de koker geïnfiltreerde oppervlak aanwezig zijn. Indien er per dm² slechts één porie aanwezig zou zijn die de infiltratiesnelheid bepaalde, bijvoorbeeld één zo'n vernauwing in elke wormgang, dan zou de diameter daarvan slechts enige tienden van millimeters mogen bedragen. Deze poriën zijn met het blote oog waarneembaar, maar moeilijk op te sporen in kleigrond.



De grotere poriën spelen op grond van hun afmetingen dus een belangrijke rol in het watertransport in de grond. De continuïteit in het netwerk van grotere poriën zal echter de infiltratiesnelheid en de doorlatendheid van kleibekledingen bepalen.

De grootte en de continuïteit van de grotere poriën die de doorlatendheid bepalen, is in de zomer groter dan in voor- en najaar. Op de meeste locaties zijn systematische seizoensvariatie in infiltratiesnelheid te vertonen. De infiltratiesnelheid is in de zomer veelal hoger dan in voor- en najaar. De infiltratiesnelheid neemt voor de meeste locaties toe als het watergehalte van de grond afneemt. Dit is in overeenstemming met de waarneming dat spleten in de kleibekleding van de locaties Barendrecht, Westervoort en Kandia in de zomer zichtbaar wijder waren dan in voor- en najaar. De infiltratiesnelheid wordt kennelijk beïnvloed door de seizoenseffecten op de volumeveranderingen in de grond. De kortere- termijn- fluctuaties in watergehalte die uit de bepalingen op monsters blijken, beïnvloeden de infiltratiesnelheid kennelijk beduidend minder.

De krimp die optreedt bij het drogen van de grond doet kennelijk de doorlatendheid (en in geringe mate de directe berging) toenemen. Zo neemt de infiltratiesnelheid in de pas aangebrachte bekleding op de locatie bij Holwerd toe van voor- tot najaar samen met de geleidelijke afname van het watergehalte in de bovengrond. De verandering van de infiltratiesnelheid op de dijk bij Holwerd illustreert dat de doorlatendheid die op de oudere dijken worden gemeten in relatief korte tijd, dat wil zeggen in ongeveer een jaar, kan worden bereikt. In de periode tussen voor- en najaar waren er nog geen bioporiën in de grond gevormd. De toename van de infiltratiesnelheid wordt op deze locatie dus geheel door de ontwikkeling van de structuur na de aanleg bepaald.

Metingen op de locaties bij Giesbeek, Waarde en de zomermeting bij Harlingen tonen niet de seizoensbeïnvloeding zoals hiervoor geschetst. 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 bioporiën 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 poriën kunnen de lage infiltratiesnelheid in de zomermeting bij Harlingen veroorzaken.



In het algemeen lijkt de variatie in doorlatendheid van de kleibekleding samen te hangen met de hiervoor beschreven volumeveranderingen en structuurkenmerken van de grond. De variatie is echter relatief gering. De seizoensvariatie en de niet gedefinieerde variatie 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.

6.2 Erosie van monsters van kleibekleding

De waarnemingen van de gewichtsafname tijdens de proef en de waarnemingen aan geërodeerde monsters na de proef duiden erop dat het merendeel van het gewichtsverlies van de monsters wordt veroorzaakt door het verlies van stukjes, aggregaatjes, grond. De gegevens van de erosieproeven zoals vermeld in bijlage V (en in GD 1986a, 1987b) geven een zeer onregelmatig gewichtsverlies van de monsters aan. Slechts bij zeer zandige monsters is een weliswaar steile, maar min of meer continue gewichtsafname te zien.

Waarnemingen met een microscoop na afloop van de proeven lieten zien dat de nog intacte delen van de monsters door talloze spleten zijn doorkruist (GD 1986a). Kleine graafgangen van insecten en dergelijke zijn in al de monsters te herkennen. Op sommige plaatsen zijn van overigens nog intacte delen van het buitenoppervlak van de monsters schilfers weggeërodeerd. Deze littekens zijn altijd ontstaan op plaatsen waar een grotere porie direct onder het oppervlak aanwezig bleek.

Het oppervlak van monsters die uit voornamelijk fijnkorrelig materiaal bestaan, bestaat meestal voornamelijk uit een nogal homogene matrix van silt en zeer fijne deeltjes, waarin verspreide zandkorrels zitten. Het oppervlak is plaatselijk enigszins geëgaliseerd door de erosie. In het oppervlak vallen zandkorrels op die tot bijna de helft uit de fijne matrix steken. Er zijn relatief weinig afdrukken van weggeërodeerde zandkorrels in het oppervlak aanwezig.

De oppervlakken van de monsters met meer zand bestaan uit relatief veel individueel zichtbare korrels van zandgrootte die nog grotendeels in een matrix van silt en klei zijn gevat. Op het oppervlak komen regelmatig delen van zandkorrels uit de matrix te voorschijn, echter nergens meer dan slechts een fractie van de diameter. Op de door erosie ontsloten oppervlakken zijn veel afdrukken van weggeërodeerde zandkorrels te zien.

Het oppervlak van zandige monsters bestaat na de erosieproef uit voornamelijk zand en siltkorrels waartussen meer of minder fijnkorrelige matrix.



Uit de waarnemingen blijkt dat de grootte van de deeltjes en de structuur in de grond van dominante invloed zijn op het erosiegedrag van de onderzochte kleibekledingen. De hoeveelheid grovere deeltjes ten opzichte van de totale hoeveelheid matrix van fijne silt- en lutumdeeltjes en de mate van voorkomen van grovere poriën zoals spleten en graafgangen, zijn beide van invloed op de erosiegevoeligheid van de grond.

6.3 Structuurvorming

6.3.1 Structuurvorming door het krimpen en zwellen van grond.

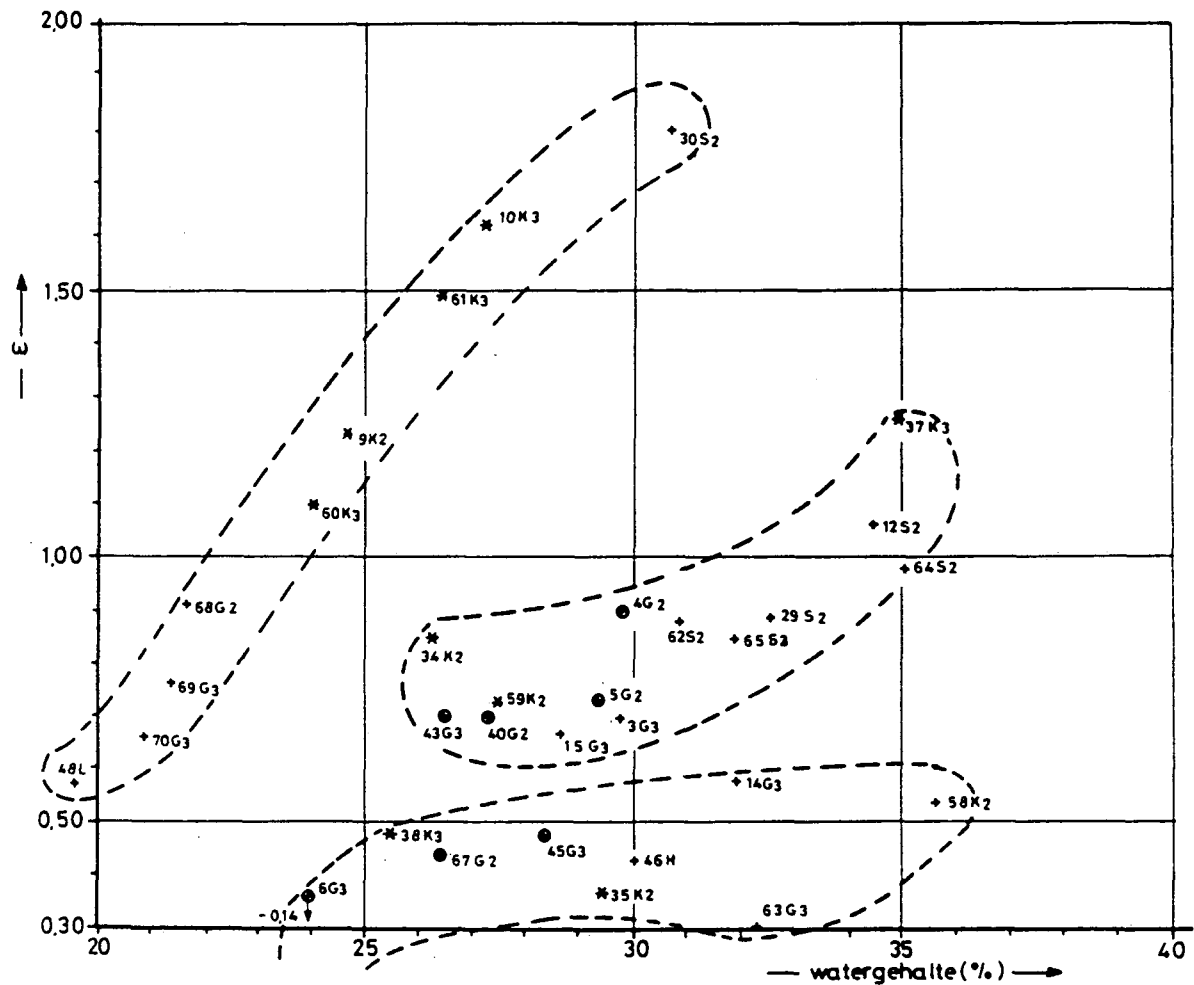
In fijnkorrelige cohesieve grond treden volumeveranderingen op die het gevolg zijn van veranderingen in watergehalte van de grond en vermoedelijk eveneens van de verandering van de negatieve waterspanning. Door deze volumeveranderingen kunnen scheuren in de grond ontstaan wanneer er door volumeverandering krachten worden opgebouwd die de grond niet meer met elastische en plastische deformatie kan opvangen. Deze scheurvorming treedt op als gevolg van krimpen bij het indrogen en door bezwijken onder invloed van de krachten die optreden door zwellen dat bij bevochtiging optreedt.

Behalve de volumeveranderingen hangt de mogelijkheid tot plastisch vervormen in onverzadigde fijnkorrelige cohesieve grond samen met het watergehalte van de grond.

In het kader van dit onderzoek is in 1985 met de laboratoriumvinproef een voorlopig onderzoek naar bezwijksterkte en plastische vervorming (kruip) uitgevoerd op monsters van kleibekledingen van dijken. Van dezelfde locaties zijn monster genomen in verschillende seizoenen waardoor effecten van verschillen in watergehalte nagegaan konden worden. De gevonden waarden voor de schuifsterkte, gemiddeld 6.7 MN/m^2 (+ 32%) (zie GD 1986), geven een indruk van de krachten die optreden in de grond bij de vorming van scheuren door afschuiving. (Koolen en Kuipers 1983 stellen dat in onverzadigde grond de treksterkte voor bijvoorbeeld de vorming van trekscheuren, ongeveer 1/3 tot 1/13 maal de schuifsterkte kan bedragen. Echter de processen die bij het drogen optreden verlopen traag en de effecten van plastische (visceuze) vervorming dienen te worden beschouwd).

De metingen van de vervormingssnelheid bij een belasting van de helft van de bezwijkspanning vertoonden 3 patronen (zie figuur 6.1): (i) Een groep monsters die een trend aangeven waaruit een sterke afhankelijkheid van de snelheid van vervormen van het watergehalte naar voren komt, (ii) een groep met een trend die een onafhankelijkheid van watergehalte aangeeft en (iii) een groep waarvan het vervormen enigszins van het watergehalte lijkt af te hangen. De oorzaak van deze verschillen is in het onderzoek niet verder nagegaan. Opgemerkt dient te worden dat de uitvoering van de proeven (GD 1986) erg eenvoudig was gehouden waardoor de metingen niet meer dan een

algemene indruk kunnen geven. De gevonden gemiddelde waarde voor de schuifsterkte is hoog in vergelijking met de statische druk onder bijvoorbeeld een koeipoot. Veldwaarnemingen op een dijktafsluiting waar koeien graasden duiden erop dat de koeipoten droogtescheuren in de grond niet dichtdrukten.



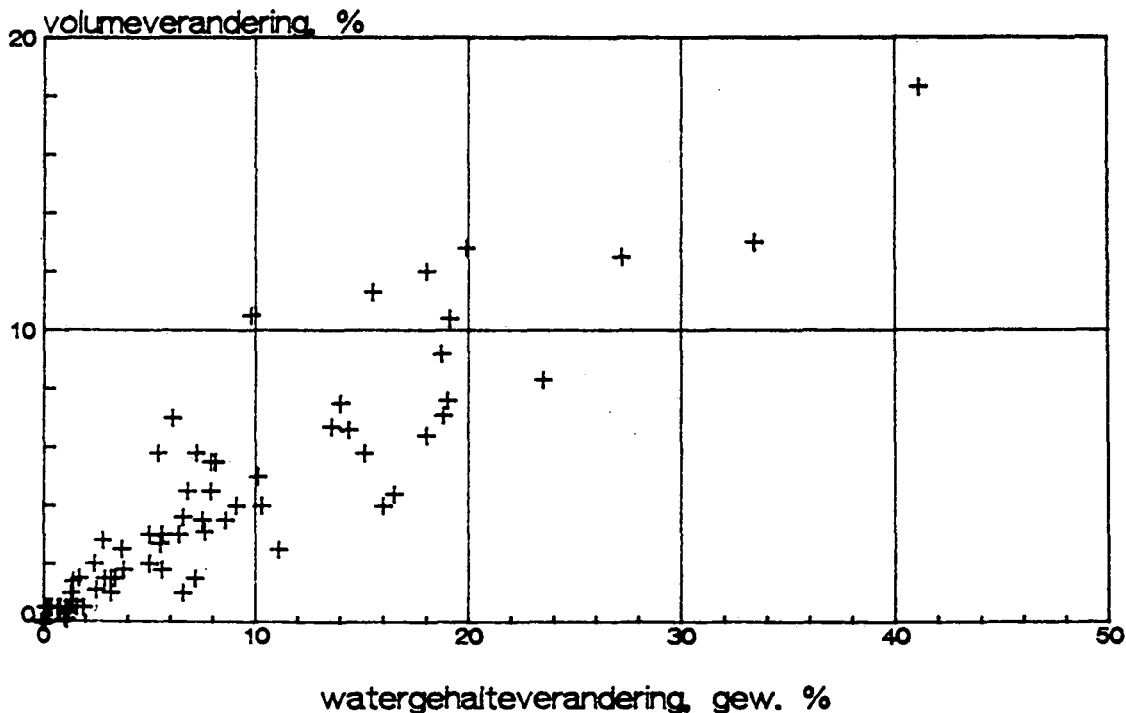
Figuur 6.1: De mate van plastische vervorming en het watergehalte. De vervorming is weergegeven als de verhouding tussen hoekverdraaiing bij een laboratoriumvinproef en de logaritme van de tijd (in minuten) bij een belasting van de helft van de bezwijkspanning:

$$\epsilon = \theta / 2 \log (t)$$

θ : hoekverdraaiing vin
 t : tijd in minuten

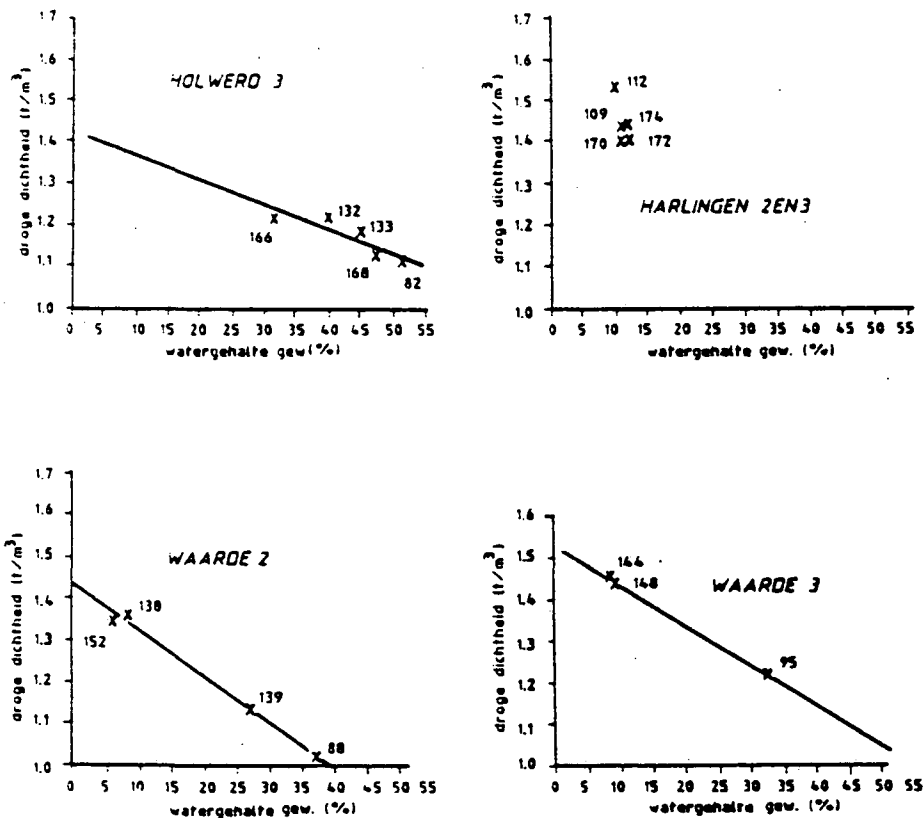
Er zijn 3 groepen te onderscheiden, waarvan één groep een duidelijk trend in de verhouding tussen vervorming en watergehalte lijkt te vertonen en een tweede groep onafhankelijk van watergehalte is. De derde groep vertoont een geringe afhankelijkheid van het watergehalte.

De volumeveranderingen die met veranderingen van watergehalte samenhangen zijn eveneens onderzocht. Er is een laboratoriumonderzoek uitgevoerd naar de volumeveranderingen van een serie monsters die gecontroleerd zijn ontwaterd (GD 1987c). Tevens zijn de relaties tussen watergehalte en droog volumegewicht (omgekeerd evenredig met volume) van monsters van kleibekledingen nagegaan (GD 1986, GD 1987b). De resultaten van het laboratoriumonderzoek zijn in figuur 6.2 weergegeven. De relaties tussen volumegewicht en watergehalte van monsters van een aantal kleibekledingen zijn in figuur 6.3 uitgezet en figuur 6.4 geeft een overzicht van alle in dit onderzoek uitgevoerde bepalingen weer (NB zie paragraaf 5.1; in figuur 6.4 is de spreiding hoog voor volumegewichten hoger dan ongeveer 1.3 ton/m³ omdat er door de bepalingswijze een relatief te hoog gewicht is gemeten). Uit een en ander blijkt dat de volumeveranderingen recht evenredig met het watergehalte zijn in het onderzochte bereik. De percentuele volumeverandering bedraagt ongeveer de helft van de verandering in watergehalte.



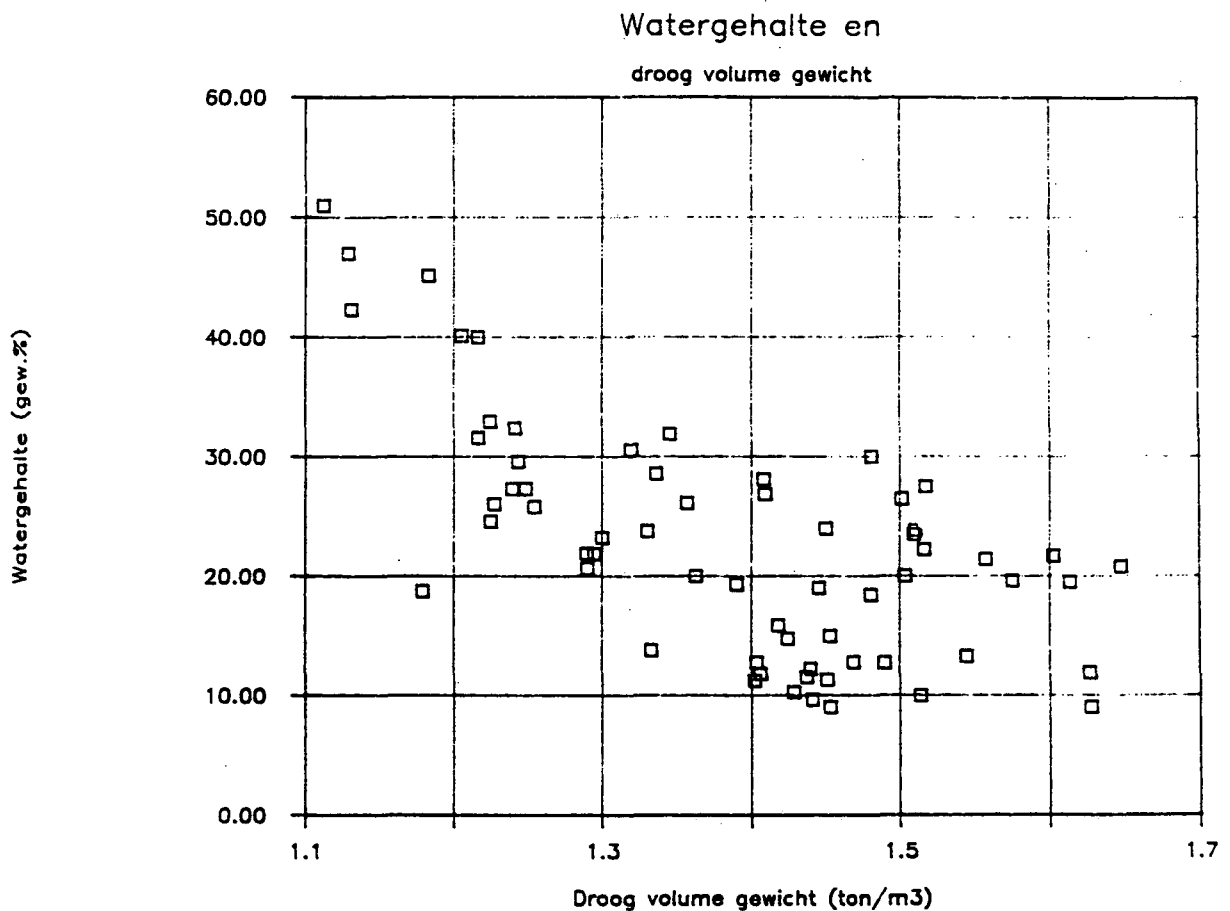
Figuur 6.2: De verandering van watergehalte en de daarmee samenhangende gemeten volumeverandering. De watergehalteverschillen zijn veroorzaakt door de zuigspanning te veranderen en daarbij optredende volumeveranderingen zijn gemeten met onderdompeling in kwik. De volumeverandering bedraagt gemiddeld ongeveer de helft van de watergehalteverandering.

In het kader van het onderzoek zijn gedetailleerde beschrijvingen van de bodemstructuur van kleibekledingen gemaakt. Uit hetgeen in de paragraaf 6.4.1 en 6.4.2 over structuur in kleibekledingen wordt vermeld, kan worden afgeleid dat de volumeveranderingen door veranderingen van watergehalte een dominerende invloed op de bodemstructuur hebben. Beneden de zone van de intensieve doorworteling van de grasmat domineren de effecten van deze volumeveranderingen de structuur.



Figuur 6.3: Het droge volumegewicht en het watergehalte van materiaal dat in voorjaar, zomer en najaar van een bepaalde locatie is verzameld. In het algemeen neemt het droge volumegewicht toe met het afnemen van het watergehalte zoals ook uit figuur 6.2 kan worden afgeleid. Door variatie in samenstelling van het monstermateriaal van een locatie komen er echter grote afwijkingen van de trend voor.

De werking van vorst in de grond kan in de bodemstructuur tot een diepte van enkele decimeters tot uitdrukking komen. Onder invloed van vorst vormt zich een kruimelige structuur van zeer hoekige aggregaatjes in de grond. Deze structuur is het gevolg van de combinatie van de volumeveranderingen van water bij het vriespunt, de sterke ablatie en de verandering van watertransport in de grond zowel in bevroren toestand als bij het dooien. Deze structuur kan na de vorstperiode door andere invloeden weer deels of geheel teniet gedaan worden. Op taluds met noordelijke expositie bleek de invloed van deze structuurvorming echter vaak nog duidelijk te herkennen.



Figuur 6.4: Het watergehalte en het droge volumegewicht van alle bepalingen in het onderzoek. Het droge volumegewicht neemt toe met het afnemen van het watergehalte. Door de bepalingwijze van het volume is het droge volumegewicht van een aantal monsters in de bepalingen hoger dan dat van het materiaal in ongeroerde toestand. Deze monsters veroorzaken de grotere spreiding in watergehalte die bij een droog volumegewicht hoger dan ongeveer 1.3 ton/m³ optreedt. Deze spreiding wordt veroorzaakt door afwijkingen naar hogere droge volumegewichten.



6.3.2 Biotische invloeden op de structuur

Naast de invloeden van vervormingsgedrag en volumeverandering wordt de structuurvorming in grond beïnvloed door fauna en flora in en op de grond. Dieren, van insecten en wormen tot mollen en konijnen, graven door de grond en interfereren daarmee met de hiervoor beschreven abiotische gevormde structuur. Tevens beïnvloeden de graafgangen van dieren het vochttransport in de grond en daarmee de vochtgehalteveranderingen. In het algemeen zullen deze invloeden tot een minder geordende structuurvorming aanleiding geven. De graafgangen zullen een grote invloed op de doorlatendheid van grond hebben aangezien ze vaak over grotere lengte continu zijn. Planten onttrekken door middel van hun wortels water aan de grond en beïnvloeden daarmee de structuurvorming in belangrijke mate, met name de bewortelingszone, maar ook daaronder. Tevens tast de mechanische werking van wortels in de grond de bestaande structuur aan. In het algemeen zal de invloed van flora daarom ook tot een minder preferent georiënteerde en meer intensieve structuurvorming aanleiding geven. In de intensief doorwortelde zone direct onder de grasmat (circa 0.1m dik) bepalen de wortels de structuur van de bodem.

6.3.3. Bodemstructuur en verwerken

Bij vergraven komt de bodemstructuur die in onverzadigde fijnkorrelige cohesieve grond is gevormd tot uiting in de maat en de vorm van de brokken die daarbij loskomen. Uit de bovenste 2 tot 3 decimeters komt veelal kruimelig los materiaal, terwijl daaronder grotere brokken loslaten bij het graven.

Bij het aanbrengen van kleigrond van heterogene samenstelling kunnen kluiten grond van verschillende samenstelling dooreen komen te liggen. Door de voortdurende werking in de grond en door enige homogenisatie door flora en fauna worden de begrenzingen van deze kluiten vaak diffuus. De verschillen, die vaak aan de kleur herkend kunnen worden, blijven echter herkenbaar. Kluiten van kleigronden die verschillend reageren op verandering van omgeving, vertonen vaak onderling verschillende structuurvorming. Zo hebben kluiten van vette klei in zandiger materiaal vaak grote krimpscheuren terwijl die in de omgeving van de kluit maar matig zijn ontwikkeld. Zandlenzen en laagjes beïnvloeden de structuurvorming in hun directe omgeving door de invloed op vochttransport. De zandlenzen vormen zwaktezones voor erosiekrachten in overigens cohesieve kleibekleding. Indien er veel zandlenzen in een kleibekleding voorkomen ontstaat er een samenstel van brokken kleigrond die onderling geen samenhang vertonen.

Door hoge drukbelastingen zoals bij verdichten of intensief betreden kan zich een platige structuur in grond vormen parallel aan het oppervlak.



6.4 Beschrijving structuur in kleibekledingen van dijken.

In het onderzoek is op 21 plaatsen de structuur van kleigrond onderzocht tot een diepte van circa 0.9 m met het blote oog en met handloupe. Op 6 locaties is de structuur aan de teen en aan de kruin van de dijk beschreven. Op deze 6 locaties en op een zevende locatie is de structuur in voor- en najaar en zomer opgenomen. De waarnemingen hadden betrekking op scheuren en spleten in de grond, graafgangen van wormen, insecten, mollen en dergelijke en op variaties in samenstelling in de vorm van laagjes, lenzen en brokken van afwijkend materiaal. De opbouw en de structuur van de grond werd met gangbare begrippen beschreven en in de meeste ontsluitingen kon de orientatie van scheuren en spleten worden opgemeten (zie GD 1986, 1987b en Bijlage VI).

In nagenoeg alle onderzochte bekledingen van dijken was een meer of minder uitgesproken bodemstructuur aanwezig als gevolg van het voorkomen van spleten en scheuren. Graafgangen van insecten en wormen ontbraken slechts in pas aangebrachte kleibekledingen. Op de meeste locaties werden bovendien graafgangen van mollen aangetroffen in de ontsluitingen.

6.4.1 Structuur en scheuren.

Scheuren werden herkend aan het voorkomen van spleten en aan de aanwezigheid van scheidingsvlakken met een afwijkende karakteristiek. In de meeste gevallen hadden deze vlakken een afwijkende kleur. Soms was de vorming van een neerslag van klei of organische stof zichtbaar op deze vlakken. Ook hadden de structuurelementen soms glimmende facetten. In alle gevallen vormden de vlakken zwaktezones in de bodem waarlangs kluiten loslieten. Vaak waren de scheuren geassocieerd met spleetvorming; deze spleten weken zichtbaar van minder dan enkele tienden van millimeters tot soms meer dan 20 mm.

De richtingen en de mate van voorkomen van scheuren vormt de basis voor het classificeren van bodemstructuur. Bij scheuren parallel aan het oppervlak wordt van platige structuur gesproken. Als er voornamelijk verticale scheuren voorkomen wordt er van prismatische structuur gesproken. Indien meerdere hellingen en richtingen de structuur bepalen wordt van blokkige structuur gesproken, van grof tot fijn. Indien de grond uit slechts kleine losse brokjes (enkele mm³) bestaat spreekt men van kruimelige structuur.

In de bovenste circa 0.1 m van kleibekledingen met een grasmat komt bijna altijd een kruimelige structuur voor. Deze laag hangt samen met het zone van intensieve doorworteling direct onder de grasmat. In pas aangebrachte bekledingen ontbreekt deze structuur die zich pas na enkele maanden ontwikkelt samen met het vormen van een grasmat (GD 1987b).



Op enkele locaties werd in de bovengrond een platige structuur aangetroffen. Deze structuur die veelal het gevolg van verdichten en betreden is, was aanwezig in pas aangebrachte bekledingslagen in Holwerd, Hatterm, het depot bij Loo en bovendien op de locatie Giesbeek. Het ontbreken van duidelijke resten van deze structuur op andere locaties zou erop kunnen duiden dat de effecten van het betreden en of compacteren tijdens het aanleggen van kleibekledingen binnen een periode van minder dan circa 4 jaar verdwijnen.

Beneden de zone met de kruimelige structuur is een zone van 0.2 tot 0.3 m dikte met een structuur van fijnere blokken in meer of minder uitgesproken vorm aanwezig. Deze structuur is in de gronden met hogere zandgehalten (in het algemeen ongeveer 30 % en meer) matig tot zwak ontwikkeld.

Een prismatische structuur komt voor onder de zone met de fijne blokkenstructuur. Deze structuur is vaak dominant over een meer of minder duidelijk ontwikkelde blokkenstructuur. In de gronden met minder dan ongeveer 20 % zand is de blokkenstructuur duidelijk aanwezig. De waarnemingen in gronden met zeer weinig fijn materiaal geven aan dat er slechts een zwak ontwikkelde prismatische structuur in kan voorkomen, die echter ook vaak afwezig is.

In de droge periodes (zomer en begin van het najaar) zijn de scheuren in de grond meestal duidelijk herkenbaar omdat ze enigszins wijken. Tussen de kleinere structuurelementen zijn vaak spleten van tienden van millimeters aanwezig. In de zomerperiode kunnen in gronden met veel fijn materiaal de spleten tussen de kolommen van de prismatische structuur tot meer dan 10- 20 mm open staan (GD 1987b).

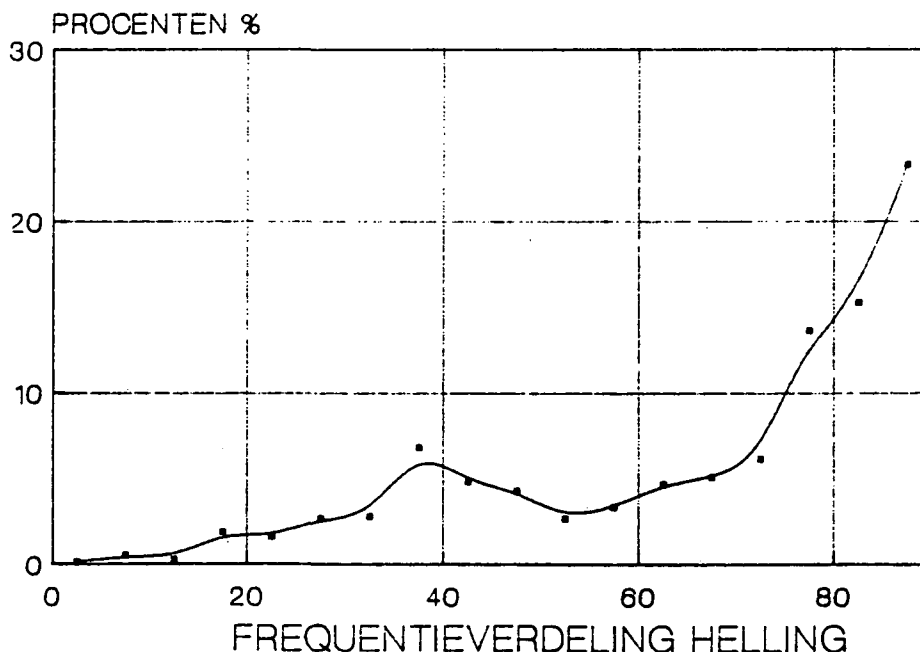
In de kleibekledingen op een zandkern zijn grote spleten aangetroffen die vaak meer dan 20 mm weken. De spleten waren in de bovenste decimeters van de bekleding niet herkenbaar. De vorm van de spleten, de afzettingen op de wanden en de opvulling van de spleten duiden erop dat deze spleten een relict waren van de krimp die direct na het aanbrengen van de bekleding was opgetreden. De grote spleten omsloten prismatische kolommen van naar schatting een diameter van 0.5 tot 1.0 m. Op één locatie (Waarde) bestond de kleigrond direct boven de zandkern uit niet meer dan losse brokken harde klei. Door het voorkomen van grote spleten is er in de kleigrond op de zandkern van de onderzochte dijken eerder sprake van een losse rangschikking van stukken kleigrond dan van een min of meer gesloten kleilaag. Het is waarschijnlijk dat het watergehalte van de klei van al de onderzochte bekledingen op een zandkern te hoog was bij het aanbrengen.

6.4.2 Richting en helling van de scheuren.

In de figuur 6.5 zijn de hellingen van scheuren en spleten weergegeven zoals die in de kleibekledingen zijn gemeten. Er tekenden zich twee groepen af. Een groep van bijna verticale scheuren en spleten en een groep die rond een helling van ongeveer 50° met de verticaal.

Het valt op dat een groot deel van de spleten zich oriënteren rond de verticaal en onafhankelijk lijken van de taludhelling die veelal ongeveer 20° bedraagt. Het is aannemelijk dat de richting van de zwaartekracht van grote invloed is op het ontwikkelen van krimp-scheuren met een semi-permanent karakter. De helling van het maaiveld als contactoppervlak van de bekledingslaag met de atmosferische invloeden speelt kennelijk een ondergeschikte rol voor de richting van deze scheuren. De afwezigheid van deze invloed is waarschijnlijk het gevolg van de omstandigheid dat door de vorming van een spleet het contactoppervlak met de atmosfeer verandert.

HELLING SCHEUREN en SPLETEN t.o.v. VERTICAAL



Figuur 6.5: Frequentieverdeling van helling van spleten en scheuren in kleibekledingen. In de figuur is de helling van de normaal op het vlak van de scheuren en spleten uitgezet. Er zijn twee groepen te onderscheiden: Een groep van bijna verticale spleten, 90° in de grafiek, en scheuren en een groep die een hoek van ongeveer 50° met de verticaal maakt, 40° in de grafiek. De taludhelling bedraagt voor de meeste dijktaluds ongeveer 18° tot 20° en de invloed van de taludhelling hangt wellicht samen met de plateaus bij 20° en 60° tot 70° in de grafiek (de plateaux corresponderen met :parallel aan de taludhelling van 20° en met scheuren die een hoek van 50° en 90° met het talud maken).



De tweede set scheuren met een helling van ongeveer 50° zal voornamelijk zijn ontstaan als gevolg van drukkrachten in de klei bij het zwellen door bevochtigen.

De invloed van de helling van het talud is soms wel te onderkennen (GD 1986, 1987b). Uit de figuur 6.5 kan eveneens worden afgeleid dat de taludhelling invloed heeft. Deze invloed komt naar voren uit de plateaux in de grafiek bij 20° en $60^\circ-70^\circ$. Deze hellingen corresponderen met respectievelijk de taludhelling (platige structuur) en met scheuren die een helling van 50° en 90° met het talud maken.

6.5 Onderzoek naar het watergehalte van kleigrond

6.5.1 Watergehalte en negatieve waterspanning

In onverzadigde grond is het watergehalte afhankelijk van de heersende waterspanning en van de mogelijkheden van aan- en afvoer van water. De aan- en afvoer van water in onverzadigde grond kan plaatsvinden door respectievelijk:

- Verzadigde stroming door verzadigde poriënruimte, onder andere in een waterfilm langs het vaste stofoppervlak;
- Diffusietransport langs het vaste stofoppervlak;
- Diffusie van water (moleculen) door met gas gevulde porieruimte.

Watertransport in grond zal plaatsvinden indien er verschillen in potentiële energie optreden. De potentiële energie van water in grond is opgebouwd uit:

- zwaartekracht
- interactie tussen vaste stofoppervlak en oppervlakte spanning van het water in de grond (capillaire potentiaal)
- aantrekken van water door erin opgeloste stoffen (osmotische potentiaal)
- aantrekken of afstoten van water door het vaste stofoppervlak (vergelijk osmotische potentiaal)
- activiteit van water (temperatuur, zowel van de vloeibare fase als van de gasfase).

Verzadigde stroming in grond zal veelal onder invloed van zwaartekracht en door capillaire werking plaatsvinden.

Diffusietransport zal het gevolg zijn van verschillen in osmotische waarde, door bijvoorbeeld verschillen in zoutgehalte, verschillen in adsorptie van water aan de vaste stof en door temperatuurverschillen in de grond. In deze gevallen zal water zich van grond met lagere naar grond met hogere zoutconcentraties stromen en van grond met hogere temperatuur naar grond met lagere temperatuur.



Externe factoren kunnen verschillen in potentialen veroorzaken en beïnvloeden de beschikbaarheid van water. De relatieve luchtvochtigheid boven de grond beïnvloedt het watergehalte van de grond. Een regenbui verhoogt de beschikbaarheid van water in de grotere porieruimten en verhoogt de potentiële energie ervan. Door verwarming van de bovengrond treedt transport van water naar dieper gelegen, koudere lagen op.

In grond speelt de aantrekkende en afstotende werking tussen respectievelijk water, de daarin opgeloste stoffen en de de vaste stoffen een belangrijke rol. Het watergehalte van een bepaald volume grond bij een bepaalde potentiaal hangt af van de complexe interactie tussen deze factoren. Daarnaast hangt het watergehalte af van de mogelijkheden van watertransport door de grond die mede afhankelijk zijn van de opbouw van die grond.

Er wordt elders uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de interactie tussen grondeigenschappen en het watergehalte van grond, het watertransport en de potentialen van water in de grond. In het hier gerapporteerde onderzoek zijn deze aspecten, voorzover relevant geacht voor het doel, eveneens aan de orde. Met name zijn watergehalten onder de omstandigheden zoals die in kleibekledingen van dijken heersen nagegaan, evenals de invloeden op die omstandigheden. De zogenaamde pF- curve is voor dit onderzoek een belangrijke instrument.

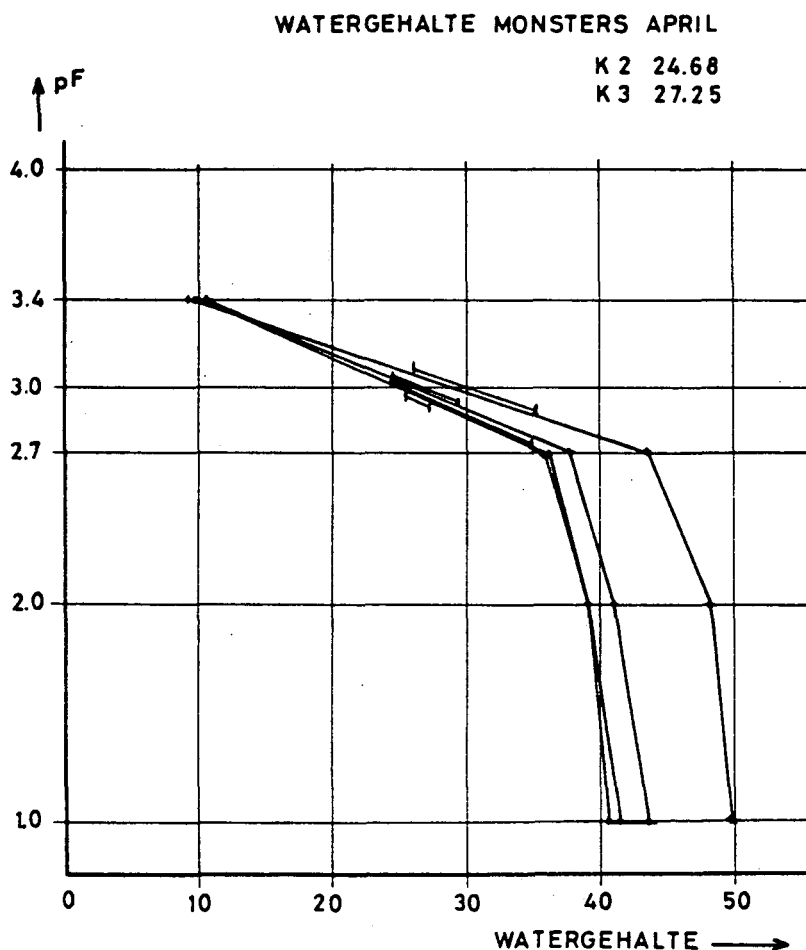
In de praktijk van onderzoek naar watergehalte van en watertransport in onverzadigde grond wordt gebruik gemaakt van zogenaamde pF- curves of zuigspanningscurves. In dergelijke curves (zie figuur 6.6) wordt het watergehalte van een grondmonster bij een bepaalde opgelegde negatieve waterspanning, zuigspanning, uitgezet tegen die waterspanning. De zuigspanning wordt in die grafieken als de logaritme van de spanning in centimeters waterkolom uitgezet als de zogenaamde pF- waarde. Uit deze pF- curves is een aantal karakteristieken voor het gebruik van de grond af te leiden. De hoeveelheid water die voor bepaalde soorten planten beschikbaar is in een volume grond, kan er bijvoorbeeld mee worden nagegaan. Ook geeft de curve inzicht in het volume aan poriën van een bepaalde equivalent- diameter (de equivalent poriediameter is diameter die de porie zou hebben als die een cilinder in hetzelfde "grond"- materiaal zou zijn die dezelfde hoeveelheid van hetzelfde bodemwater zou kunnen aanzuigen).

Met de pF- curve van een bepaalde grond kan de zuigspanning die op een locatie onder gegeven omstandigheden (seizoen, diepteligging, en dergelijke) optreedt nagegaan worden. De zuigspanning wordt dan afgeleid door het watergehalte van de grond te meten en de daarmee overeenkomende zuigspanning volgens de pF- curve van die grond te bepalen.

Uit een analyse van resultaten van elders (Poelman & van Egmond 1979) uitgevoerd onderzoek naar zuigspanningscurves kwam naar voren dat bij

zuigspanningen hoger dan 50 kN/m² andere factoren het watergehalte beïnvloeden dan bij lagere zuigspanningen (LGM 1985a). Het is waarschijnlijk dat bij lagere zuigspanningen de geometrie van het vaste stofskelet, waar de geometrie van de porieruimte door wordt bepaald het watergehalte van grond sterk beïnvloedt (de equivalent poriediameter bij 50 kN/m² bedraagt volgens gegevens in Hall et.al. (1977) ongeveer 6 tot 8 μ). De invloed van de hoeveelheid en aard van de opgeloste stoffen en van het oppervlak van de vaste stof domineert het watergehalte boven genoemde zuigspanning.

Van 30 monsters zijn in dit onderzoek de zuigspanningscurves bepaald teneinde (i) eigenschappen van de grond na te gaan, (ii) invloeden op watergehalte van kleigrond na te gaan en (iii) om informatie over zuigspanningen die in dijkbekledingen optreden te verkrijgen.



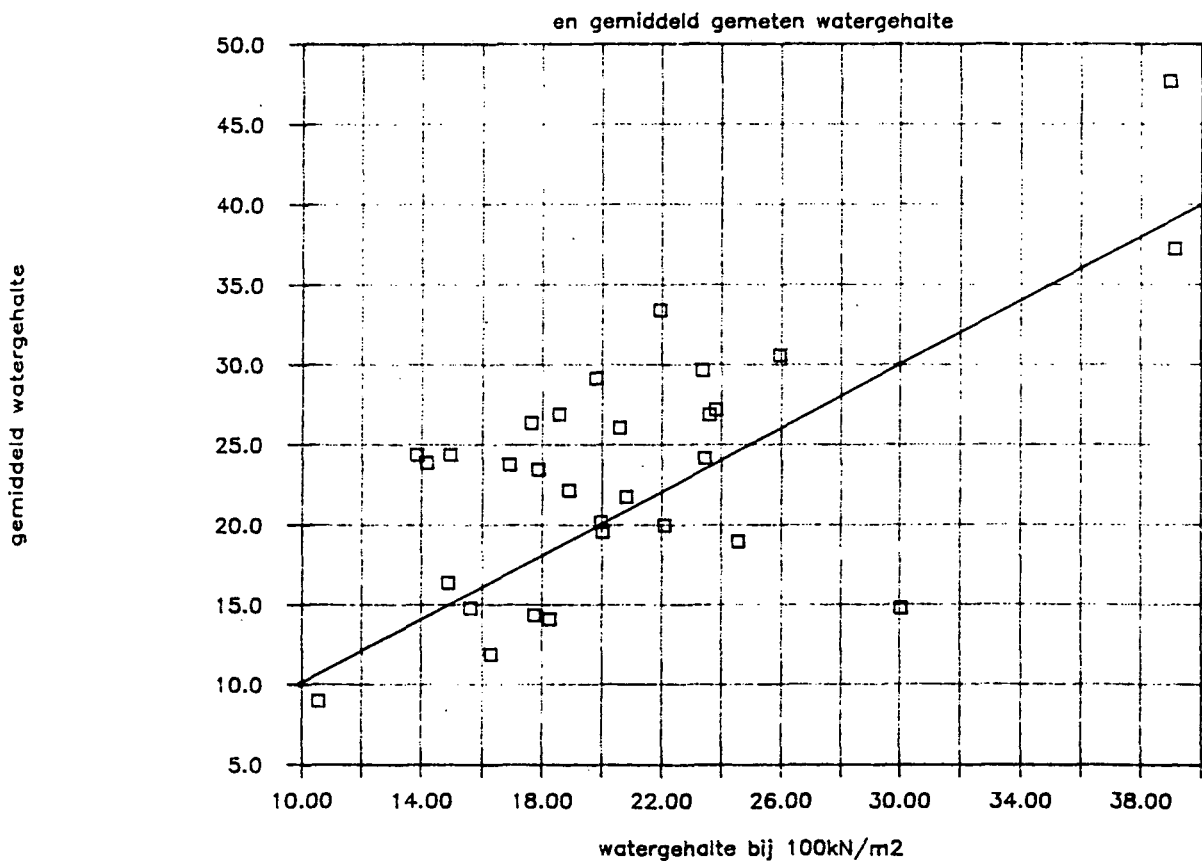
Figuur 6.6: Voorbeeld van een zuigspanningscurve, ofwel pF- curve. Op de verticale as staat de logaritme van de zuigspanning in centimeters waterkolom.

pF 1, pF 2, pF 2.7, pF 3.4 komt overeen met:
- 1, 10, 50, 250 kN/m²

6.5.2 Overzicht van zuigspanningen in dijkbekledingen

De zuigspanning in onderzochte kleibekledingen zijn nagegaan door de zuigspanning bij de gemeten watergehalten in kleibekledingen af te leiden met behulp zuigspanningscurves van de kleibekledingen (zie ook figuur 5.2). De aldus bepaalde zuigspanningen varieerden tussen ongeveer 1 kN/m² en meer dan 250 kN/m². De zuigspanningen bedroegen gemiddeld over alle bepalingen 50 kN/m² (+ 39%), in het voorjaar gemiddeld ongeveer 18 kN/m² en in de zomer meer dan gemiddeld 100 kN/m². (NB. de bepalingen voor de pF-curves gaan tot een zuigspanning van 1 tot 250 kN/m², voor watergehalten die buiten dit zuigspanningstraject vielen zijn zuigspanningen van 0.3 (8% van de waarnemingen) respectievelijk 1000 kN/m² (23 % van de waarnemingen) aangenomen voor de bepaling van de gemiddelden).

watergehalte bij zuigspanning 100kN/m²



Figuur 6.7: Het seizoensgemiddelde van watergehalte van monsters van de verschillende locaties en het watergehalte dat het materiaal zou hebben bij een zuigspanning van 100 kN/m² (pF 3). Het watergehalte bij 100 kN/m² is representatief voor zomer- omstandigheden in een kleibekleding. Het gemiddelde watergehalte ligt enigszins hoger dan het watergehalte bij 100 kN/m².

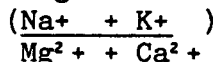


Voor de vorming van scheuren na het aanbrengen van kleigrond zijn de extreme waarden die optreden in het jaarlijkse verloop van de watergehalteveranderingen bepalend. Het is voor het beoordelen van het watergehalte van kleigrond daarom van belang de grootte van de watergehalteverandering na het aanbrengen te kennen. De zomeromstandigheden met de gemiddeld hoge zuigspanningswaarde, zijn maatgevend voor het laagste watergehalte dat zal optreden in de dijkbekleding. Voor het bepalen van het maximum watergehalte dat een kleigrond mag hebben bij het aanbrengen is het watergehalteverschil met de zomeromstandigheden derhalve bepalend. Onder zomerse omstandigheden varieert het watergehalte van een kleibekleding rond het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m².

De figuur 6.7 geeft een overzicht van gemiddelde watergehaltes en het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² van kleibekledingen. De gemiddelden zijn bepaald van de watergehaltes die in voorjaar, zomer en najaar zijn gemeten voor de onderzochte locaties, of van de watergehaltes die in de zomer zijn bepaald op locaties die in 1987 zijn onderzocht. De gemiddelden zijn in de figuur uitgezet tegen het watergehalte dat de grond bij een zuigspanning van 100 kN/m² zou hebben. Uit de grafiek blijkt dat het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² voor de meeste locaties 5 tot 10 % lager is dan het jaarlijks gemiddelde van het watergehalte.

6.5.3 Invloeden op het watergehalte bij zuigspanning van 100 kN/m²

Hiervoor is reeds onderzoek aangehaald (LGM 1985a) dat aangeeft dat bij zuigspanningen boven ongeveer 50 kN/m² de geometrie van de porieruimte geen belangrijke invloed heeft op het watergehalte van grond. Gesteld is dat de aard en hoeveelheden van de opgeloste stoffen en de aard en hoeveelheid van het oppervlak van de vaste stof van groter belang zouden zijn. Het in 1986 verrichte deel van het onderzoek is nader ingegaan op deze aspecten voor kleibekledingen die weinig zand bevatten in zout- en brak- wateromgevingen (GD 1987b). Hieruit bleek dat het zoutgehalte (saliniteit) van de grond boven een minimumwaarde een belangrijke invloed heeft. Ook bleek de verhouding tussen de geadsorbeerde één en twee-waardige kationen

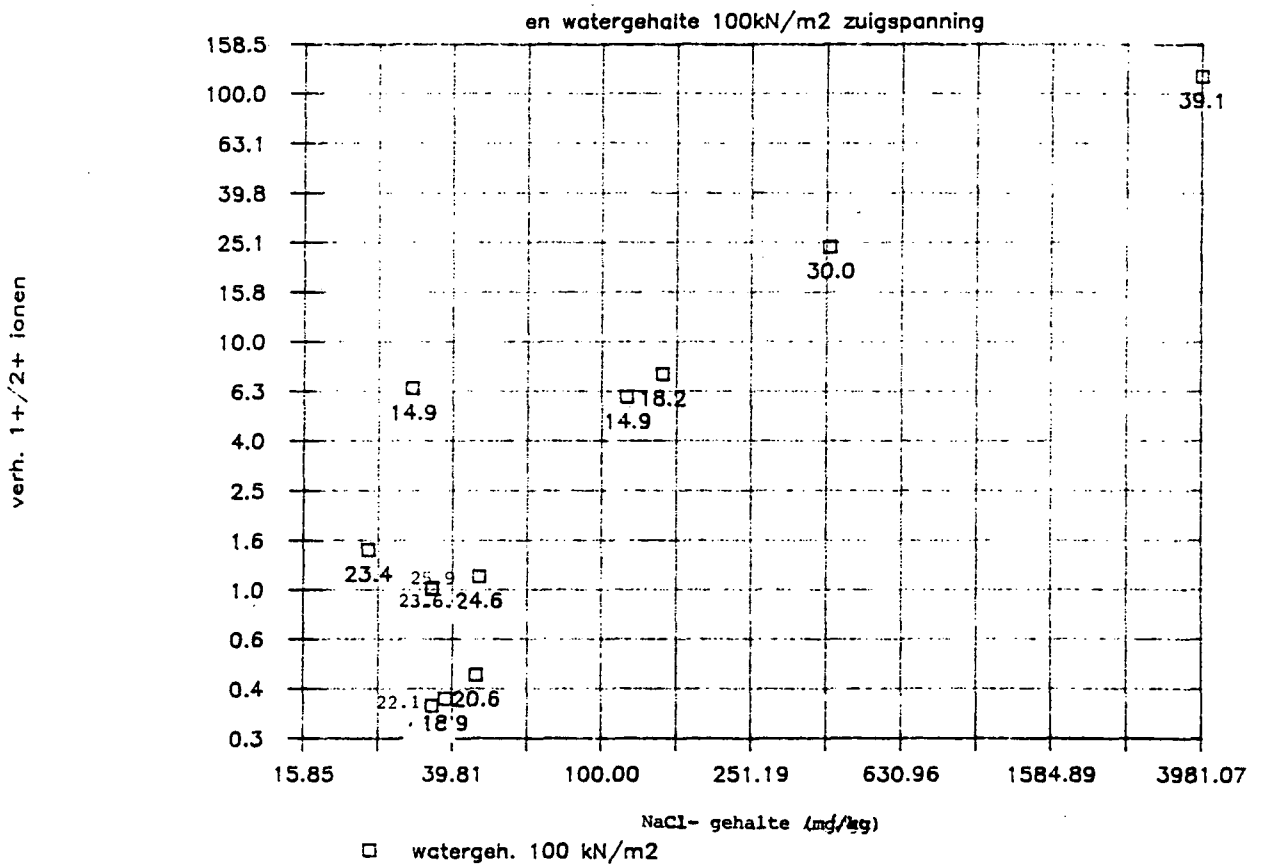


van invloed op het watergehalte van de monsters.

In de figuur 6.8 zijn voor de monsters met minder dan 30 % zand (fractie >63 μ) het zoutgehalte en de verhouding tussen één- en tweewaardige kationenbezetting weergegeven. Bij de punten in de grafiek is het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² aangegeven. De monsters met hoge zoutgehaltes (NaCl- gehalten) hebben zoals is te verwachten een hoge verhouding tussen één- en tweewaardige kationen. Behalve de invloed van het zoutgehalte op de bepaling van de kationenbezetting (zie bijlage VII) is er immers een uitwisseling

tussen kationen in de vloeistof en de kationen die aan de vaste stofoppervlak zijn geadsorbeerd: Als er veel Na- ionen in de vloeistof zijn, dan zijn er in een chemische evenwichtstoestand ook meer geadsorbeerd aan de vaste stof. Het monster van de kruinlocatie bij Harlingen heeft een afwijkend laag zoutgehalte dat niet in overeenstemming is met zowel de elektrische geleidbaarheid van het monster als met de verhouding tussen één- en tweewaardige kationen. Uit figuur 6.8 blijkt een logaritmisch verband tussen zoutgehalte en verhouding één- en tweewaardige kationen indien dit monster niet wordt beschouwd.

Zoutgehalte en kationenbezetting



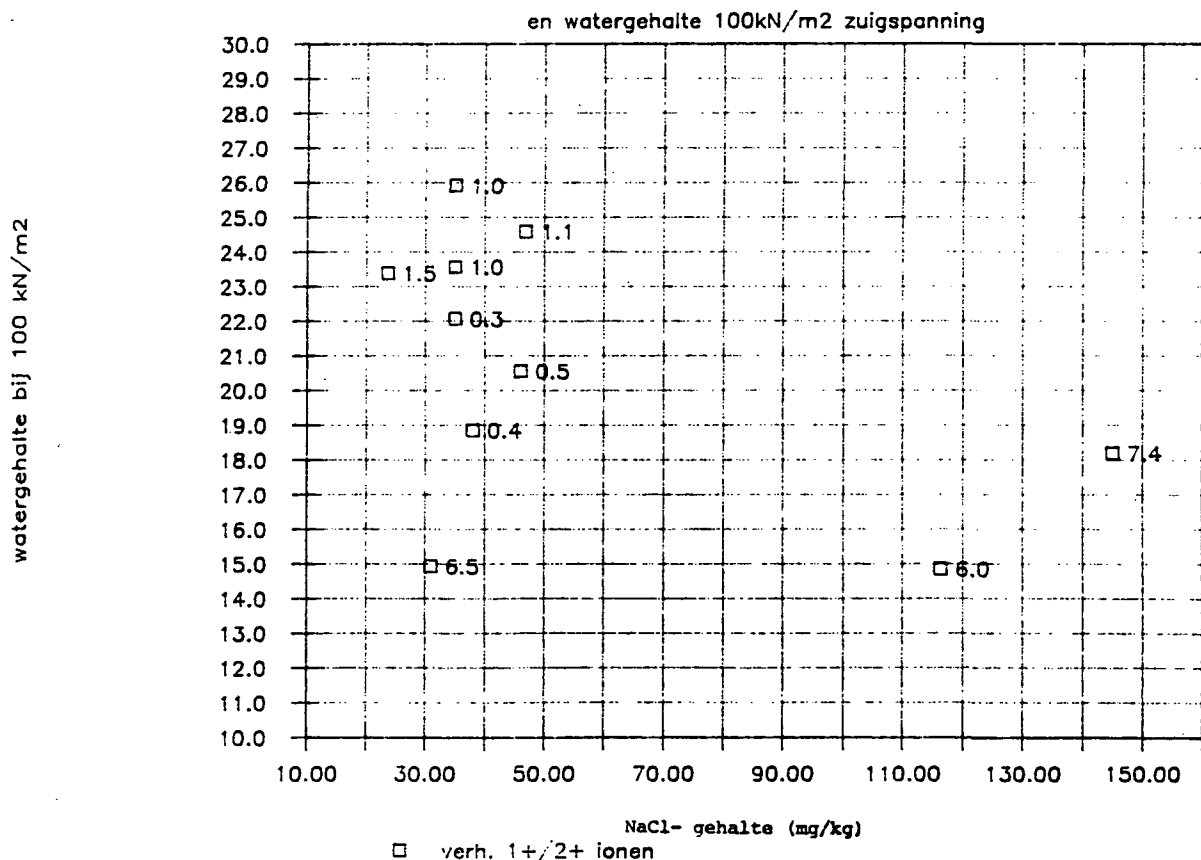
Figuur 6.8: Het zoutgehalte en de verhouding tussen één- en tweewaardige geadsorbeerde kationen (NB logaritmische schalen). Het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² is bij de punten in de grafiek aangegeven. In het algemeen neemt de hoeveelheid éénwaardige ionen toe met toenemend zoutgehalte. Monsters die geen hoog zoutgehalte hebben en toch relatief veel geadsorbeerde éénwaardige ionen, hebben een laag watergehalte bij 100 kN/m².



De invloed van de osmotische potentiaal is terug te vinden in het hoge watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² (meer dan circa 30 %) van de monsters met een hoog zoutgehalte (405 en 3981 mg NaCl/kg droge stof). Bij lage zoutgehalten tot circa 150 mg NaCl per kg droge stof is het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² nooit hoger dan circa 26 %.

De kationenbezetting is eveneens van invloed op het watergehalte zoals uit de informatie die in figuur 6.9 is weergegeven, naar voren komt. In de figuur 6.9 is het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² van de monsters met minder dan 30 % zand en minder dan 160 mg NaCl uitgezet tegen het zoutgehalte. Er zijn twee groepen te onderscheiden in de figuur: Een groep met watergehalten van ongeveer 15 % en een groep met watergehalten tussen ongeveer 19 en 26 %. De verhoudingen tussen één- en tweewaardige ionen die naast de punten zijn geplaatst, verschilt tussen de beide groepen en is hoog voor de groep met de lage watergehalten. De groep met de lagere watergehalten heeft een hoge natriumbezettingsgraad gemeen. De groep met hogere watergehalte heeft een lage verhouding tussen één en twee- waardige ionen.

Zoutgehalte en kationenbezetting



Figuur 6.9: Het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² (pF 3) en het zoutgehalte van monsters met minder dan 30% zand en minder dan 160 mg/100g NaCl. De figuur geeft een nadere detaillering van hetgeen in figuur 6.8 is gefluistreerd. Er zijn twee groepen te onderscheiden: Een groep met een watergehalte van ongeveer 15 % en relatief veel éénwaardige ionen en een groep met een watergehalte van ongeveer 19 tot 26 % met weinig éénwaardige ionen. Het watergehalte in deze groep is hoger voor de monsters met relatief meer éénwaardige ionen. NB zonder de monsters van de locatie Westervoort in verband met problemen aangaande de zuigspanningscurvebepaling)



Het zoutgehalte en de kationenbezetting zijn, zoals uit het voorgaande mag blijken, beide van invloed op het watergehalte van kleigrond bij een zuigspanning van 100 kN/m². Uit de hiervoor gevoerde discussie naar aanleiding van de informatie die in figuur 6.8 is weergegeven blijkt een relatie van dit watergehalte en het zoutgehalte en de verhouding tussen geadsorbeerde één- en tweewaardige kationen.

Uit eerder onderzoek (Mitchell 1976, GD 1985a, 1986b, 1987b) is naar voren gekomen dat de Atterbergse grenzen verband houden met chemische karakteristieken van kleigrond. De relatie tussen zoutgehalte en daarmee samenhangende invloed op kationenbezetting en Atterbergse grenzen is daarom nagegaan.

In figuur 6.10 is de plasticiteitsindex van de monsters met minder dan 30 % zand uitgezet tegen het zoutgehalte van de monsters. In de figuur is tevens het gehalte aan fijne deeltjes naast de punten weergegeven. Voor de monsters met meer dan 50 % deeltjes fijner dan 16 μ blijkt een semi- logaritmisch verband tussen plasticiteitsindex en zoutgehalte met uitzondering van één monster (DP124, Balgdijk NoordHolland). De plasticiteitsindex lijkt in het algemeen een goede parameter om verschillen in grond die met grotere verschillen in zoutgehalte samenhangen te kunnen herkennen. Het effect van korrelgrootteverdeling en mogelijke andere aspecten van de samenstelling van de vaste stof dienen echter in beschouwing genomen te worden.

Uit de grafiek in figuur 6.11 blijkt dan ook dat de plasticiteitsindex een indicatie kan geven van het te verwachten watergehalte van een kleibekleding onder zomeromstandigheden. Het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² is in de figuur uitgezet tegen de plasticiteitsindex. De fysische verklaring voor de samenhang tussen de op mechanische wijze bepaalde plasticiteitsindex en het waterbindend vermogen van de grond bij een bepaalde zuigspanning dient gezocht te worden in de binding tussen vaste stof en watermoleculen. Zoals in paragraaf 6.5.1 is aangegeven, bepalen vaste stofkarakteristieken het vermogen van grond om watermoleculen vast te houden bij hogere zuigspanningen. De mechanische stevigheid van sterk geroerde cohesieve grond in onverzadigde toestand wordt voor een groot deel eveneens bepaald door de binding tussen watermoleculen onderling en met de vaste stof.

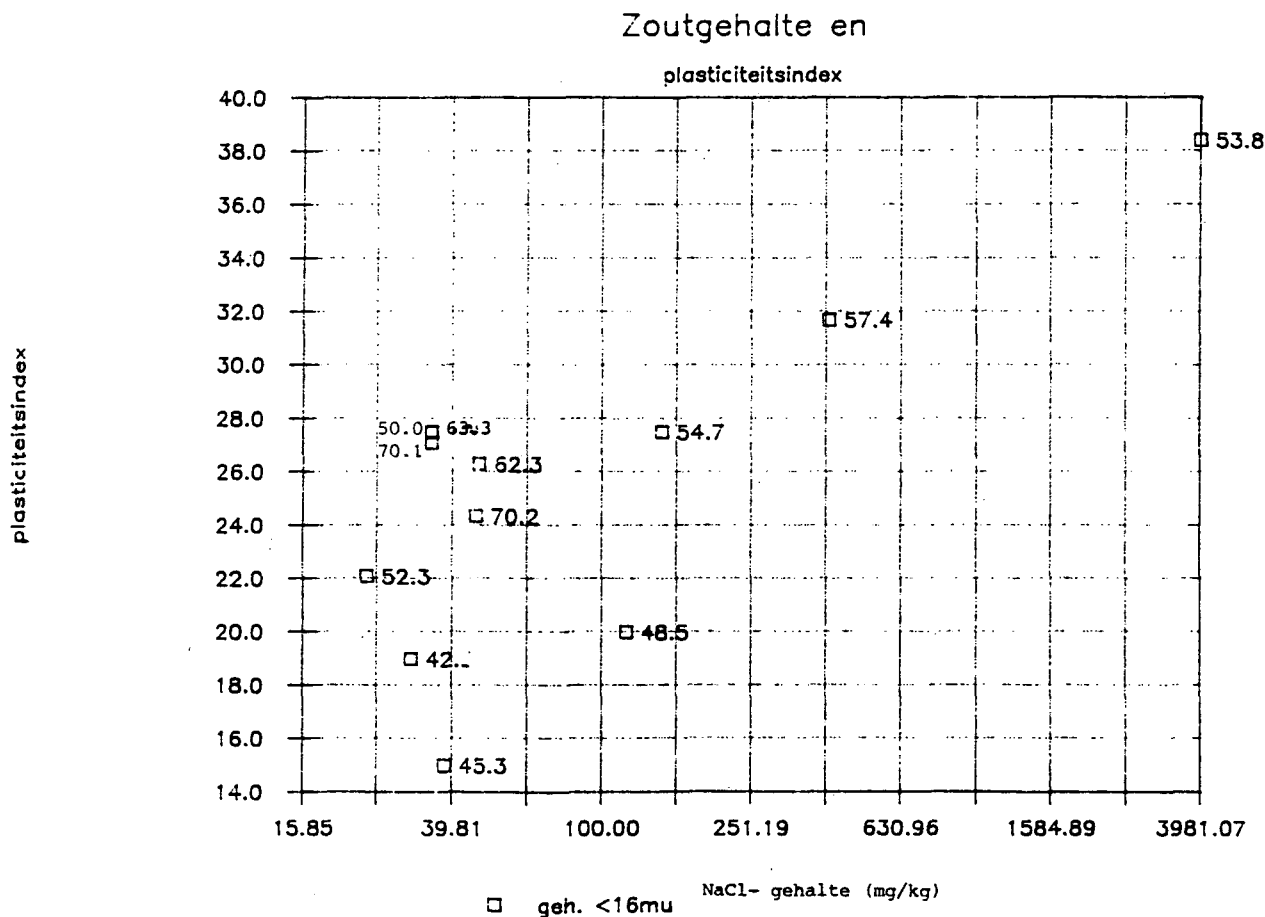
In de figuur 6.12 zijn de gemeten watergehaltenes voor elke locatie samen met de vloei- en uitrolgrens weergegeven. De gemeten watergehaltenes liggen bijna alle nabij de uitrolgrens. Op slechts enkele uitzonderingen na zijn de watergehaltenes lager dan het watergehalte bij een consistentie, I_c , lager dan 0.75, waarbij:

$$I_c = (\text{vloei-grens- watergehalte}) / \text{plasticiteitsindex}$$

De Atterbergse grenzen van een grond kunnen een goede aanwijzing over het watergehalte geven dat een kleigrond in een bekleding maximaal zal aannemen. Dat watergehalte zal veelal in de buurt van de uitrolgrens liggen en zal onder normale omstandigheden (onverzadigde toestand) nooit hoger worden dan het watergehalte bij een I_c van 0.75.

6.6 Invloeden op de erosie van de kleimonsters

Het eroderen van monsters van de onderzochte kleibekledingen van dijken is nagegaan met proeven in een erosiecentrifuge (zie Bijlage VII B). De monsters met veel fijn materiaal eroderen in de vorm van verlies van de brokken en brokjes, die in de grond door structuurvorming zijn ontstaan, zoals in paragraaf 6.2 is beschreven. De meer zandige monsters verliezen materiaal door zowel verlies van brokken als door het loslaten van de individuele korrels.

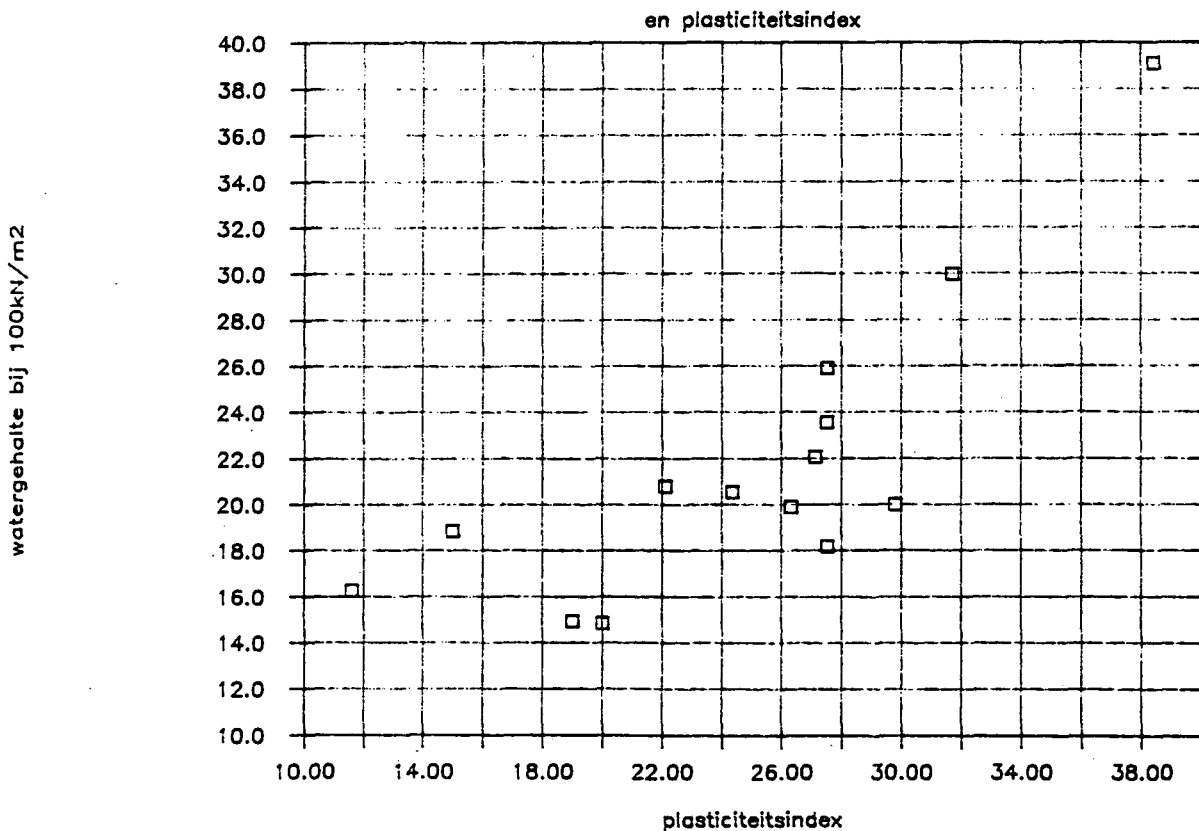


Figuur 6.10: Het zoutgehalte en de plasticiteitsindex van monsters met minder dan 30% zand. Naast de punten is het gehalte deeltjes <16 μ aangegeven. Voor monsters met meer dan 50% deeltjes <16 μ blijkt een lineair verband tussen de logaritme van het zoutgehalte, mg/100g NaCl, en de plasticiteitsindex.

De erosie treedt op wanneer het rondstromende water zodanige krachten op de korrels en brokken uitoefent dat de sterkte van de verbinding met de rest van het monster wordt overschreden. Deze verbinding bestaat deels uit cohesieve krachten tussen de elementen, de treksterkte van plantewortels en uit de haakweerstand.

De bindende krachten in de monsters komen voort uit de samenhang tussen de individuele gronddeeltjes en uit de onderlinge samenhang tussen groepen grondeeltjes in de vorm van brokken. De cohesieve krachten vormen een belangrijk element in het bijeenhouden van een grondmonster tijdens een erosieproef. De cohesieve krachten in grond hangen samen met de interactie tussen watermoleculen onderling en met het vaste stofoppervlak. Deze interactie wordt beïnvloed door de opgeloste stoffen en de aard van het vaste- stofoppervlak en de daaraan geadsorbeerde stoffen. De grootte van het vaste- stofoppervlak en de uitwisselingscapaciteit voor kationen zijn parameters die beschikbaar zijn om deze interactie na te gaan, evenals de soort en hoeveelheid aan de vaste stof geadsorbeerde kationen en de hoeveelheid opgelost zout. Deze aspecten zullen in de volgende paragraaf aan de orde komen.

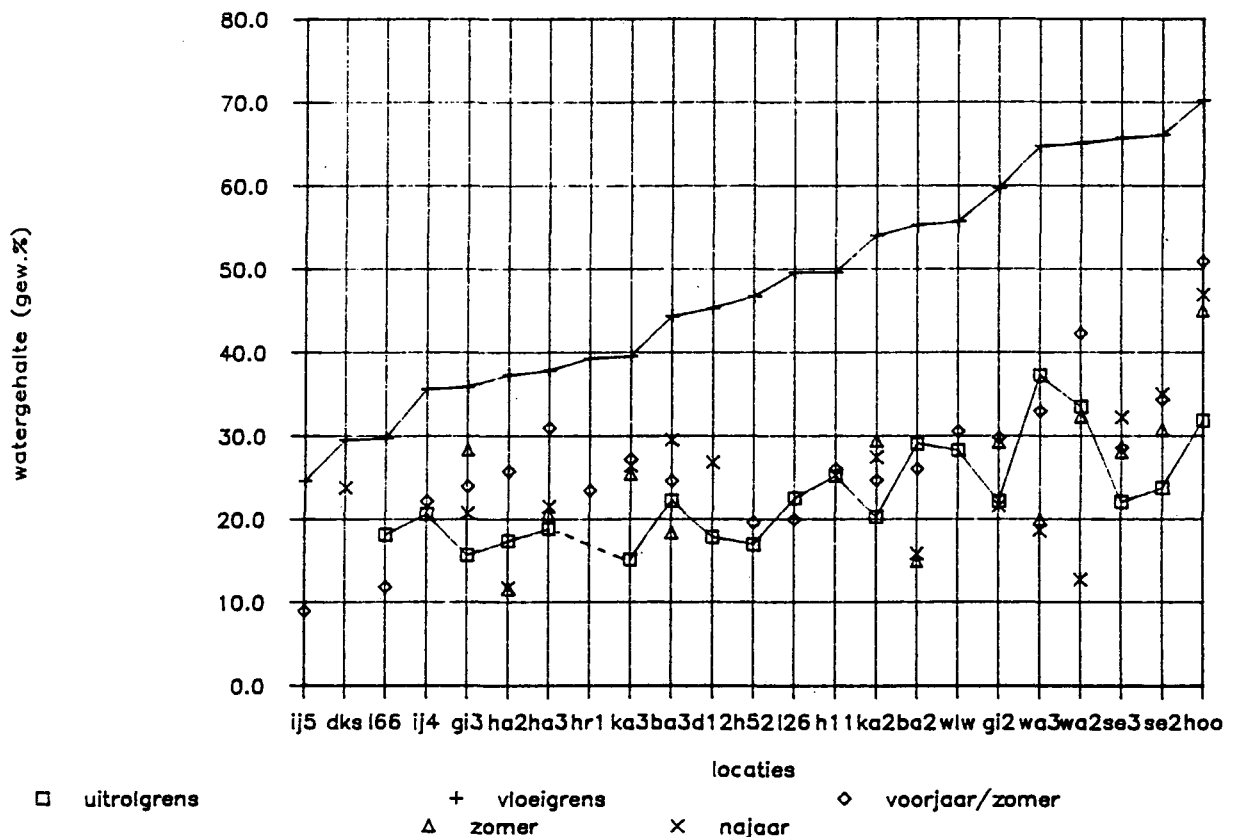
Watergehalte bij 100 kN/m² zuigspanning



Figuur 6.11: Het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m² en de plasticiteitsindex van monsters met minder dan 30% zand. De lineaire trend in de grafiek geeft aan dat de plasticiteitsindex geeft een goede indruk van het watergehalte bij 100 kN/m² kan geven.

Door de grotere poriën die met de bodemstructuur samenhangen wordt de bindende werking van de cohesieve krachten ondermijnd. Brokken kunnen uit het monster gedrukt worden door overdruk die zich in deze poriën kan opbouwen. Ook kan het opbouwen van onderdruk waarmee een brok op zijn plaats kan worden gehouden door de poriën worden verhinderd. Bovendien is door de grote poriën het onderlinge cohesieve contact tussen deeltjes over relatief grote gebieden onderbroken. Het is daarom te verwachten dat een grotere hoeveelheid grotere poriën de gevoeligheid van grond voor erosie vergroot. De invloeden op de vorming van grotere poriën de effecten ervan zullen in de volgende paragraaf aan de orde komen.

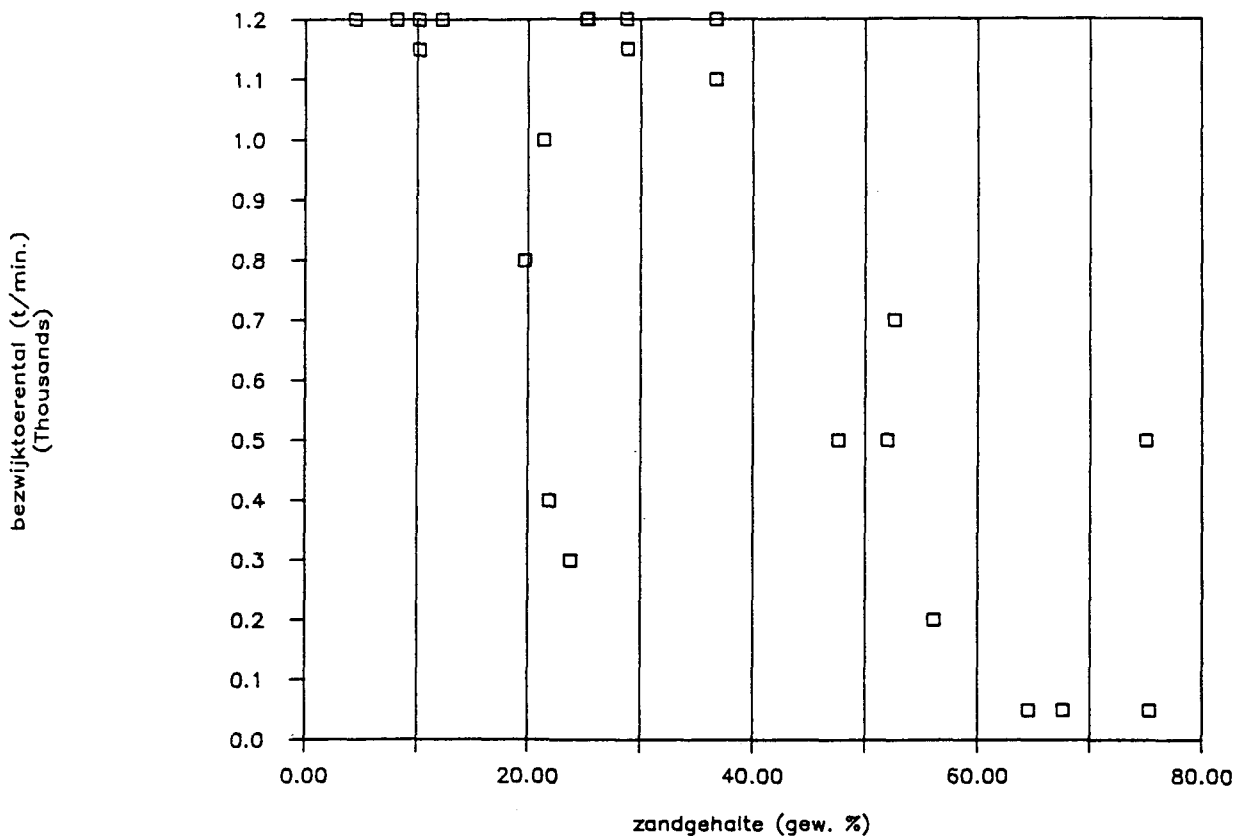
watergehalte en Atterbergse grenzen



Figuur 6.12: Het watergehalte van monsters van kleibekledingen en de vloei- en uitrolgrenzen van het materiaal. Het watergehalte in de kleibekledingen ligt meestal in de buurt van de uitrolgrens. Op een enkele uitzondering na is het watergehalte lager dan dat behorend bij een I_c van 0.75 tot 0.8. Deze uitzonderingen treden vooral op bij monsters met een vloei-grens lager dan ongeveer 40% en plasticiteitsindex lager dan 20% en het monster van zeer zoute grond, Hoo, van de locatie bij Holwerd. De effecten van een langdurige droogteperiode in de zomer van 1986 voorafgaand aan de monsternamen in zomer en najaar vallen op door het lage watergehalte van de zomer en najaar monsters van Wa2, Wa3, Ba2 en Ha2.

In de figuur 6.13 is de erosiegevoeligheid van de monsters van de kleibekleding weergegeven in de vorm van het toerental waarbij dan ~30% (gew.%) van het monster was geërodeerd. Deze erosiemaat is in de figuur uitgezet tegen het zandgehalte. Het blijkt dat monsters met meer dan 37% zand zeer snel eroderen. Er blijken echter ook monsters met veel minder zand te zijn, die snel eroderen. Kennelijk kan bij een zandgehalte ($> 63 \mu$) van tenminste 37 % gesproken worden van een skelet van grovere deeltjes waarop de erosiekrachten aangrijpen. De verbindingen van fijner materiaal tussen de korrels zijn onder deze omstandigheden nauwelijks voldoende stevig blijken om de korrels bijeen te houden. Monsters met een hoger zandgehalte bleken zeer gevoelig voor erosie.

Bezwijktoerental en zandgehalte



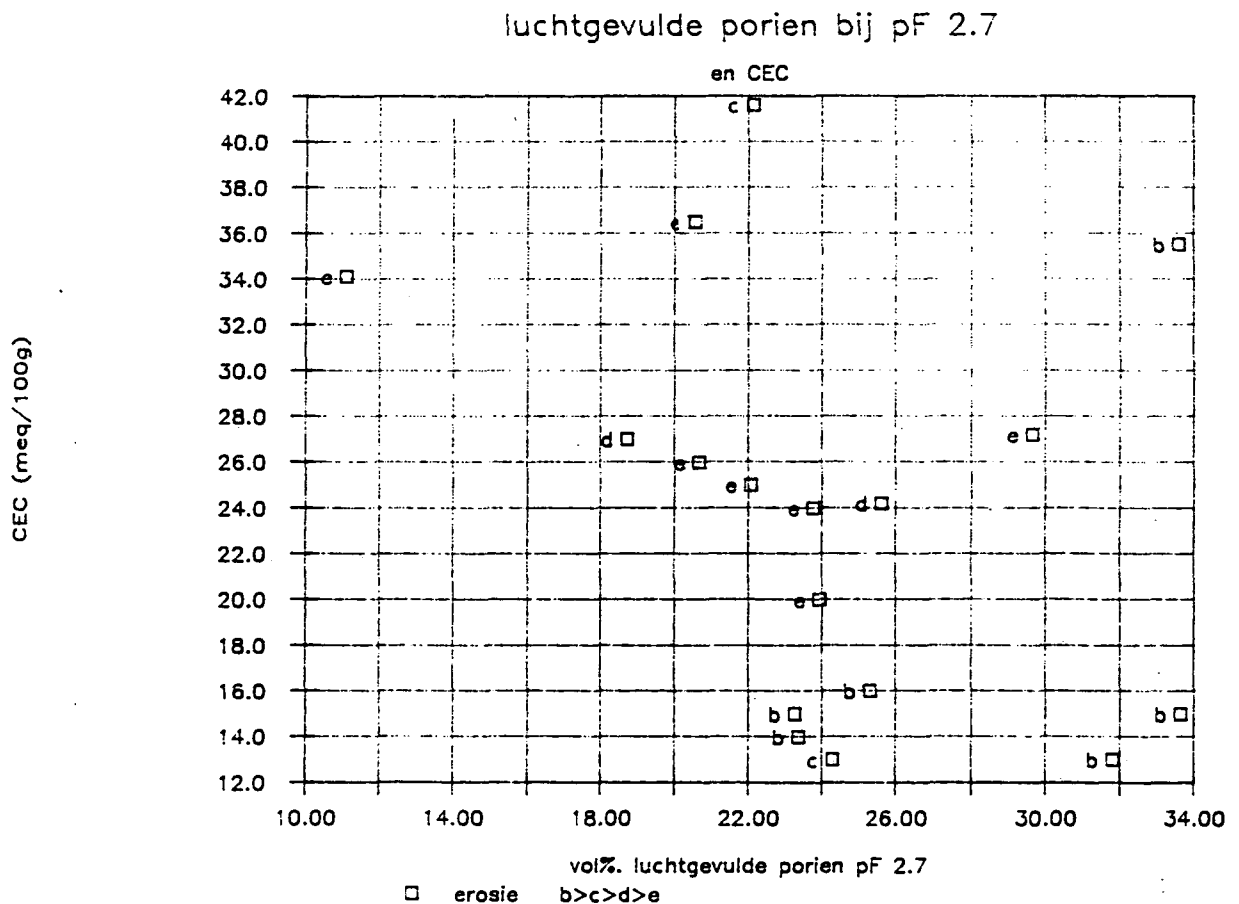
Figuur 6.13: Erosiegevoeligheid en zandgehalte. De erosiegevoeligheid is aangegeven met het toerental waarop het monster meer dan ongeveer 33% aan gewicht verloor tijdens de proef. De monsters die meer dan 37% zand bevatten zijn alle zeer erosiegevoelig. Daarnaast zijn er een aantal monsters die erosiegevoelig zijn terwijl het zandgehalte ervan minder dan 30% bedraagt.

Bijna alle 6 onderzochte monsters met meer dan 50 % zand verdwenen reeds bij watersnelheden van minder dan 4.3 m/s: Eén monster weerstond 4.3 m/s tien minuten en 3 ander monsters verdwenen geheel reeds bij snelheden van minder dan 2 m/s. Er is echter ook een monster met meer dan 50 % zand dat het langere tijd uithield bij een watersnelheid van 4.3 m/s. Genoemde watersnelheden zijn afgeleid van de snelheid van de schoepen op 35mm afstand van het monster.

Monsters met minder zand kunnen worden verdeeld in een groep die goed bestand is tegen erosie, een groep die matig bestand is, en een groep die reeds bij lage snelheden uiteen valt. De oorzaak van deze verschillen is complex, maar is van groot belang om de kwaliteit van de kleigrond te kunnen beoordelen in het licht van de verwachte erosiebelasting.

6.6.1 Effecten van de structuur en de chemische karakteristieken.

In de figuur 6.14 zijn de gecombineerde effecten op erosieresistentie van de hoeveelheid grotere poriën, met een equivalent diameter groter dan ongeveer 7μ , en van de kationenuitwisselingscapaciteit, als indicatie voor potentieel aanwezige cohesieve krachten, geïllustreerd.

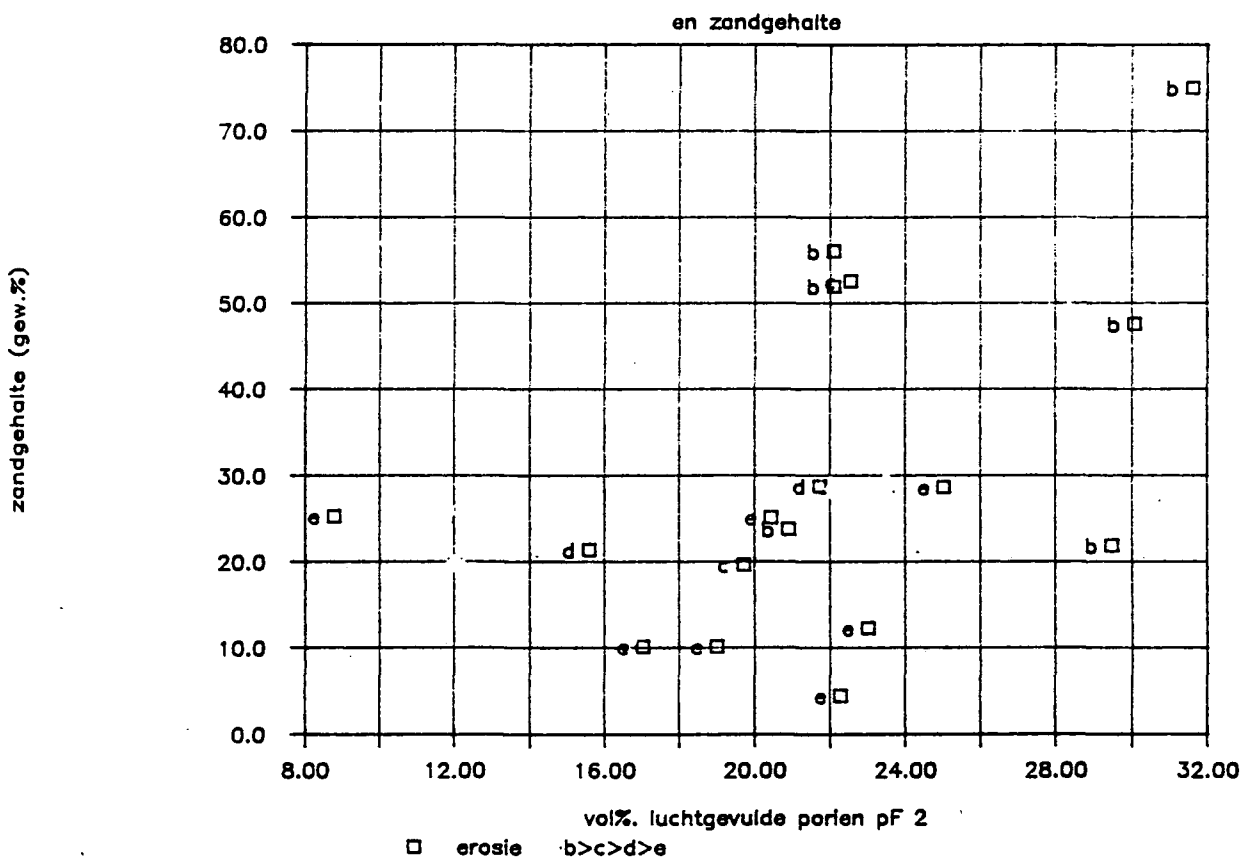


Figuur 6.14: De kationenuitwisselingscapaciteit, CEC, en het volume aan met luchtgevulde poriën bij een zuigspanning van 50 kN/m² (equivalent poriediameter ongeveer 7μ). Naast de punten is de erosiegevoeligheid in klassen aangegeven (b= zeer erosiegevoelig tot en met e= weinig erosiegevoelig, zie table 5.1). Zoals uit de figuur blijkt vallen monsters met veel grotere poriën en een lage CEC snel uiteen. Het monster van de teenlocatie bij bij Waarde heeft een zeer hoge CEC en is eveneens erosiegevoelig. (NB zonder monsters van 1985 in verband met de problemen aangaande de zuigspanningscurvebepaling).

Het volume aan grotere poriën is bepaald aan de hand van de zuigspanningscurve met behulp van de relatie voor equivalent poriediameters in grond die in een eerder rapport (LGM 1985a) wordt gegeven. De monsters die relatief snel erodeerden hebben een lage kationenuitwisselingscapaciteit of een relatief hoog volume aan grotere poriën, met uitzondering van één monster. Dit monster van de teen van de dijklocatie bij Waarde heeft echter een zeer hoge kationenuitwisselingscapaciteit.

Het is niet na te gaan of het monster van de teenlocatie bij Waarde dat in het erosietoestel is beproefd sterk afweek van het monster waarop de zuigspanningskarakteristieken zijn bepaald. De opbouw van de grond op de locatie was zodanig variabel dat deze mogelijkheid niet kan worden uitgesloten. Bovendien kwamen er in de grond zeer harde kluiten klei voor. De grond op de locatie vertoonde namelijk verkittingsverschijnselen die in bepaalde sulfidehoudende grond kan optreden bij doorluchting.

luchtgevulde poriën bij pF2



Figuur 6.15: Het volume aan luchtgevulde poriën bij een zuigspanning van 10 kN/m² (equivalent poriediameter ongeveer 30μ) en het zandgehalte. Naast de punten is de erosiegevoeligheid aangegeven (vergelijk bijschrift van figuur 6.12). Monsters met hoge erosieresistentie hebben 18 tot 25 % grovere poriën en minder dan 30% zand. De beide monsters in dit gebied die wel erosiegevoelig zijn hebben een sterk afwijkende korrelgrootteverdeling respectievelijk samenstelling (zeer hoge CEC en een zeer hoog kalkgehalte). (Zonder monsters van 1985 in verband met problemen aangaande de bepaling van de zuigspanningscurve).



In de figuur 6.15 is de erosieresistentie weergegeven naar zandgehalte en het volume aan grote poriën (equivalent diameter groter dan ongeveer 30μ). Uit deze grafiek blijkt dat de gecombineerde invloed van de aard van de vaste stof, met zandgehalte als parameter, en van de verdeling daarvan in de ruimte, met als maat het volume grotere poriën, een gebied omgrenzen met erosieresistente monsters. De erosieresistente monsters hebben een volume aan poriën groter dan circa 30μ van 18 tot 25% en een zandgehalte dat lager dan 30 % is. Monsters met veel grote poriën zijn niet erosiebestendig. In dit gebied komen echter twee uitzonderingen voor namelijk de monsters van de locatie 4 langs de IJssel, IJl04, en van de locatie bij Waarde. Op de uitzonderingspositie van dit laatste monster is reeds ingegaan. Het afwijkende gedrag van het monster van de IJssellocatie hangt samen met de hoge grove siltfractie, die zich als zand gedraagt.

Bovenstaande geeft aan dat grondparameters die de ruimtelijke verdeling van de vaste stof beschrijven van belang zijn voor het beoordelen van erosiegevoeligheid van, evenals parameters die de relatie tussen water en grond beschrijven.

De korrelgrootteverdeling geeft enig inzicht in de aard van de vaste stof en geeft bovendien enig inzicht in de microstructuur van grond. Zo heeft zandige grond in het algemeen een gering specifiek oppervlak dat bovendien chemisch weinig actief is. De poriegrootteverdeling van zandige grond bevat een grote fractie met equivalentdiameters van enkele tientallen μ 's. Anderzijds heeft fijnkorrelige grond een groot chemisch actief oppervlak en zijn grotere poriën aanwezig naar gelang de structuurvorming die heeft plaatsgevonden.

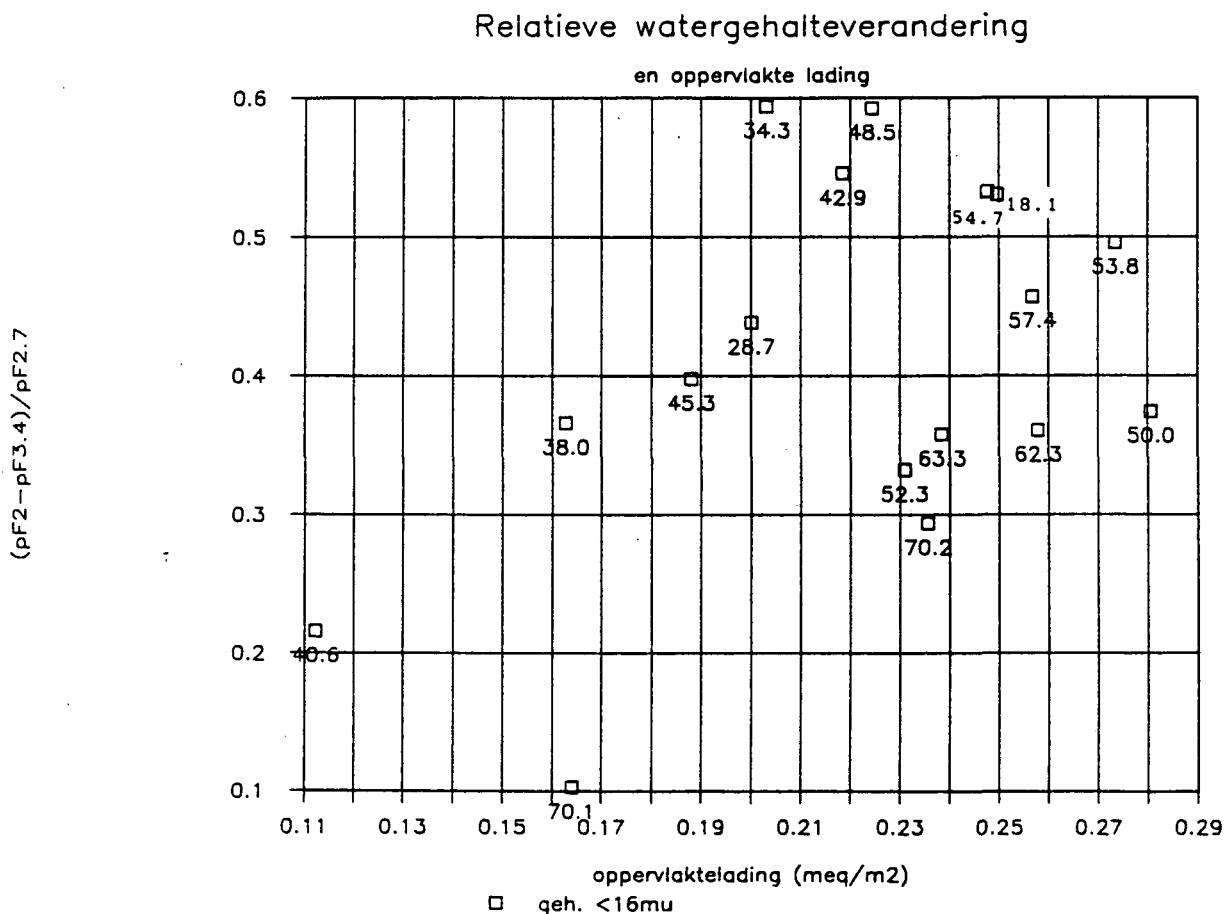
Zoals in paragraaf 6.3.1 is vermeld, zijn watergehalteveranderingen van belang voor de vorming van deze structuur in fijnkorrelige grond. In de paragraaf 6.5.3 is aangegeven dat de Atterbergse grenzen gebruikt kunnen worden voor het beoordelen van watergehalte van grond. In de volgende paragraaf zal op de mogelijkheid van het gebruik van Atterbergse grenzen voor het beoordelen van het erosiegedrag van monsters van kleibekledingen worden ingegaan.

6.6.2 Atterbergse grenzen en erosiegedrag

Watergehalteveranderingen zijn voor de structuurvorming in grond van belang (zie paragraaf 6.5.3). In de figuur 6.16 is de invloed van de chemische activiteit van de fijne deeltjes ten aanzien van watergehalteveranderingen weergegeven. In deze figuur is de invloed van de fijne deeltjes gesplits in dat van de oppervlaktelading van de vaste stof en het gehalte aan fijne deeltjes.

De watergehalteveranderingen blijken af te nemen als het gehalte aan fijne deeltjes toeneemt bij gelijkblijvende oppervlaktelading. Naast het gehalte aan fijne deeltjes heeft de chemische activiteit van het oppervlak dus invloed op de watergehalteveranderingen.

Over de interactie van de vaste stof met water, die voor de structuurvorming van belang is, kunnen Atterbergse grenzen uitspraken doen (zie paragraaf 6.5.3). De Atterbergse grenzen hangen zoals eerder is aangegeven onder andere samen met chemische aspecten van de grond. In de figuur 6.17 is de plasticiteitsindex van de monsters uitgezet tegen de oppervlaktelading. De figuur geeft een lineaire tot exponentiële relatie tussen de oppervlaktelading en de plasticiteitsindex aan. Twee monsters (HP126 en HP52) vallen duidelijk buiten deze trend. (De specifieke oppervlaktelading van HP52 is niet correct gezien de afwijkende korrelgrootteverdeling van het monster en de bepalingwijze die zich tot de fractie 150μ beperkt, voor de afwijking van monster HP126 zijn geen duidelijke aanwijzingen.)

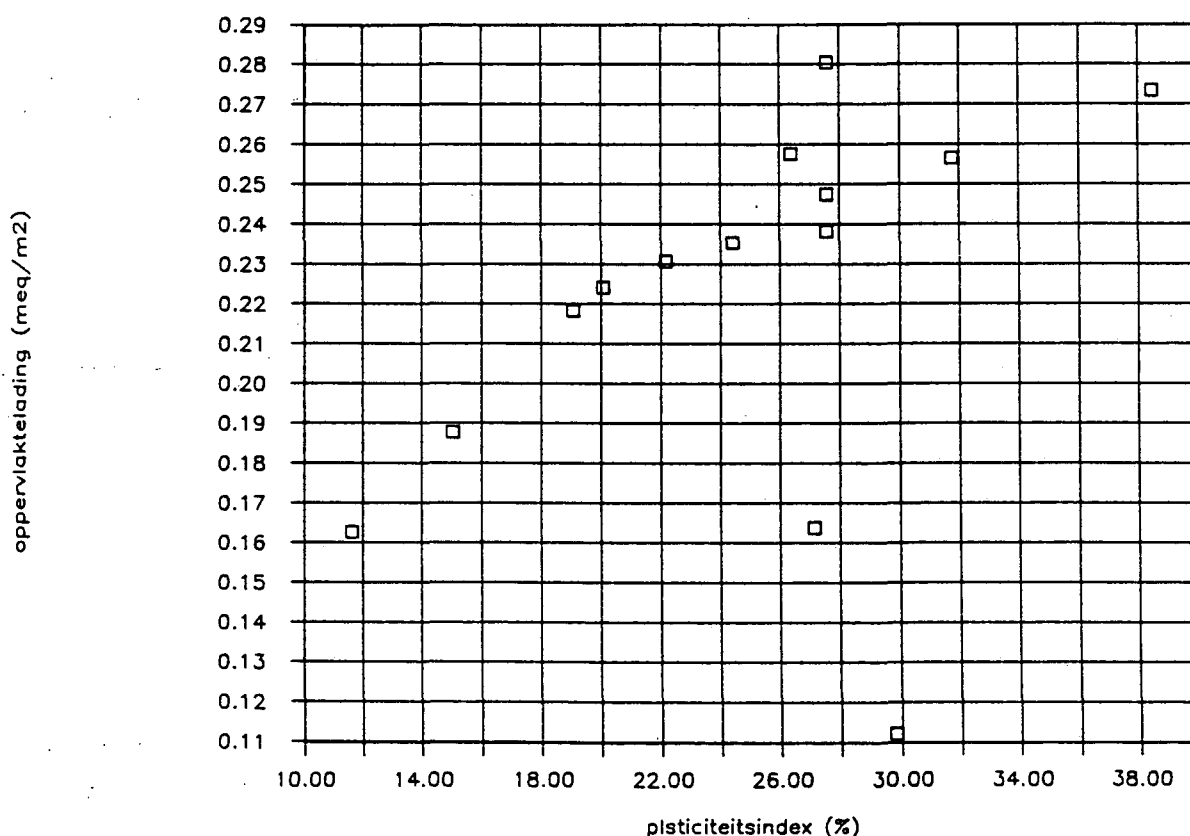


Figuur 6.16: De relatieve watergehalteverandering tussen 10 en 250 kN/m² ten opzichte van het watergehalte bij 50 kN/m² en de oppervlaktelading (CEC/specifiek oppervlak). Naast de punten is het gehalte aan deeltjes <math>< 16\mu</math> aangegeven. Grond met een relatief hoog gehalte aan fijne deeltjes en een relatief hoge oppervlakte lading hebben een relatief lage watergehalteverandering tussen 10 en 250 kN/m². Uit de ligging van de punten blijkt dat het effect van de hoeveelheid fijne deeltjes op de relatieve watergehalteverandering in belangrijke mate door de chemische activiteit van het oppervlak van de vaste stof, de oppervlakte lading, wordt beïnvloed. (Zonder monsters van 1985 in verband met problemen aangaande de bepaling van de zuigspanningscurve).

In de figuur 6.18 is de vloeigrens uitgezet tegen de fractie $<16\mu$ van de monsters. Ook hier blijkt een globale lineaire trend te bestaan tussen beide parameters, met uitzondering van 3 monsters die in vergelijking met de trend een relatief hoge vloeigrens hebben. De afwijking van de trend voor deze hoge vloeigrens waarden hangt samen met het hoge zoutgehalte van de monsters. Indien het zoutgehalte van deze monsters door ontziltling zou dalen zullen de monsters minder gaan afwijken van de trend die de overige monsters aangeven

De hiervoor geschetste samenhang tussen erosiegevoeligheid en fysisch-chemische aspecten van de grond geeft het belang hiervan aan voor het opstellen van keuringseisen van kleigrond aan. Ook in eerdere rapportages is hierop gewezen (LGM 1985a, GD 1986, GD 1987b). Er blijkt bovendien samenhang tussen waarden voor Atterbergse grenzen van de grond, enkele van deze fysisch-chemische aspecten en consequenties daarvan voor gedrag van de grond.

Plasticiteitsindex en oppervlaktelading



Figuur 6.17: De plasticiteitsindex en de oppervlaktelading vertonen een lineaire correlatie. De beide sterk afwijkende monsters zijn van de locaties H52 en L26 respectievelijk (zie tekst). (Zonder monsters van 1985 in verband met problemen aangaande de bepaling van de zuigspanningscurve).

In de figuur 6.19 is de erosieresistentie van de onderzochte monsters weergegeven in het zogenaamde plasticiteitsdiagram. Bijna alle monsters met een hoge erosieresistentie blijken in het diagram in het gebied van vloeigrens 45 tot 70 % te liggen. De erosiegevoelige monsters liggen alle in het gebied beneden de A- lijn (zie voetnoot *) in het diagram of hebben een vloeigrens lager dan 40 %.

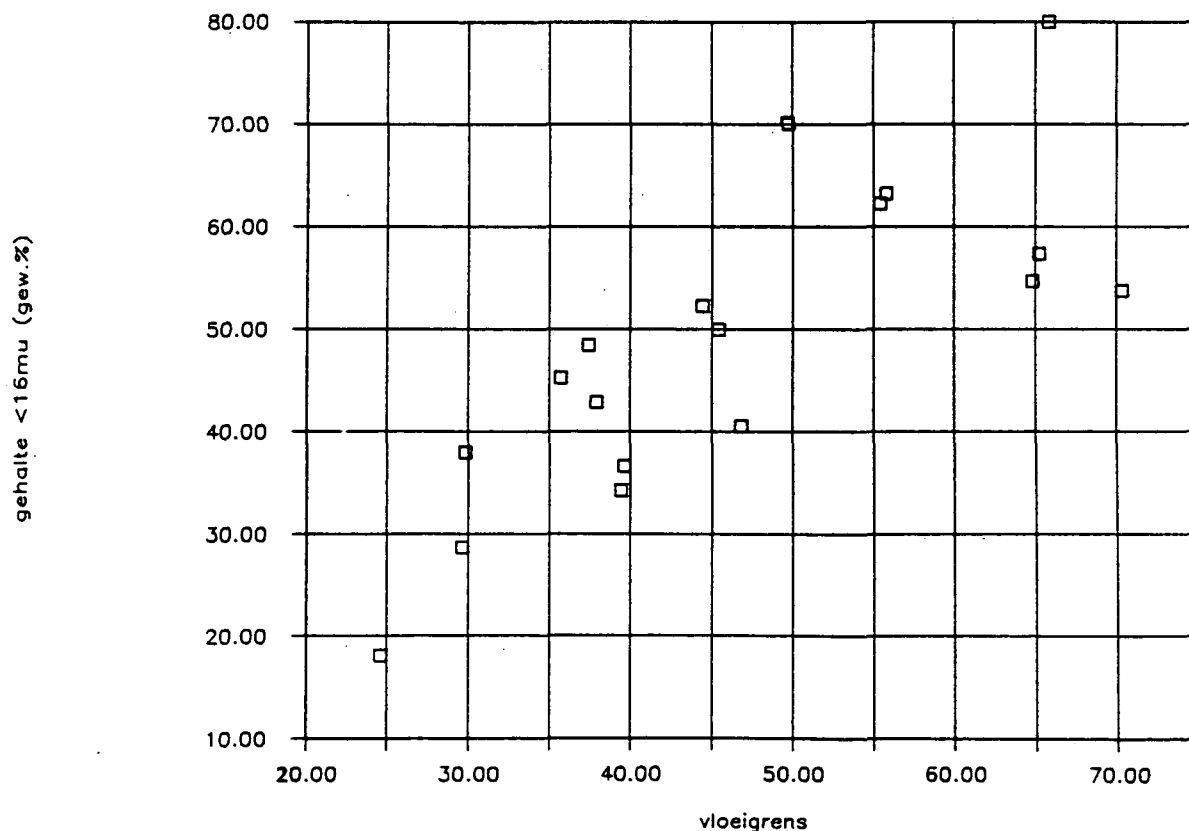
Het monster HMP52 met een vloeigrens van 47% en een plasticiteitsindex van 30% vormt hierop een uitzondering. Echter, in hoofdstuk 5 is reeds opgemerkt dat dit monster een sterk afwijkende korrelgrootteverdeling heeft waarin de grovere siltfractie nagenoeg ontbreekt. In het gebied met een plasticiteitsindex hoger dan 18% en een vloeigrens lager dan 45% komen monsters met een goede erosieresistentie voor samen met monsters die bij de erosieproef niet bezweken.

*

A- lijn:

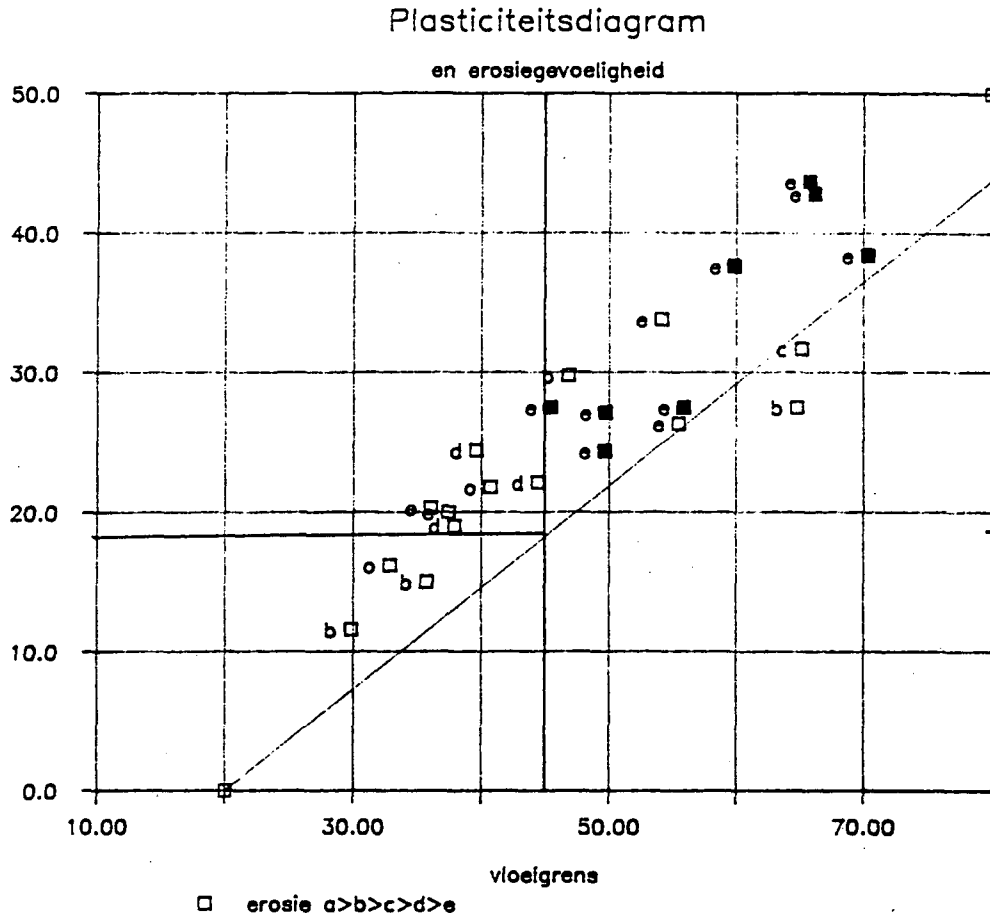
$PI = 0.73 \times (LL - 20)$, waarin PI= plasticiteitsindex, LL= vloeigrens (ASTM 1985, BSI 1981)

Vloeigrens en gehalte < 16 μ



Figuur 6.18: De vloeigrens en het gehalte aan deeltjes <16 μ . Tot een vloeigrens van ongeveer 60 % bestaat er een globale lineaire trend tussen beide parameters. De monsters met een vloeigrens boven 60 % hebben een hoog tot zeer hoog zoutgehalte en een hoog organische stofgehalte waardoor ze een afwijkende ligging in de grafiek hebben. De monsters van de locaties HM52 en HRX hebben een relatief hoge vloeigrens ten opzichte van het gehalte <16 μ , waarvoor de overige karakteristieken van het materiaal geen verklaringen kunnen bieden.

plasticiteitsindex



Figuur 6.19: Het zogenaamde plasticiteitsdiagram ("plasticity chart") met daarin de monsters van het onderzoek geplote. Naast de punten is de erosiegevoeligheid van het materiaal van de locaties weergegeven, waarbij b zeer erosiegevoelig is en e weinig erosiegevoelig is (van de monsters van de zeer erosiegevoelige a- groep konden de Atterbergse grenzen niet worden bepaald, van de monsters aangegeven met o is de erosiegevoeligheid niet bepaald). Bijna alle erosieresistente monsters vallen in het gebied boven de A- lijn en boven een vloeigrens van 45 %. De erosiegevoelige monsters hebben een vloeigrens van minder dan 40 % of vallen onder de A- lijn. Monsters van materiaal dat gedurende lange tijd intact blijft bij de hoogste belasting zijn met zwarte blokjes aangegeven.



7. CONSTRUCTIEVE EIGENSCHAPPEN EN GRONDPARAMETERS

7.1 Thans gebruikte parameters.

Voor het beoordelen van de geschiktheid van grond voor gebruik als bekledingsmateriaal wordt momenteel vaak gerefereerd aan:

- korrelgrootteverdelingsparameters, lutum, zand, grind
- de samenstelling, met name de organische stofgehalte, het gehalte aan puin en andere visueel herkenbare vreemde stoffen
- het watergehalte, al dan niet bij een bepaalde zuigspanning (de rijpingsindex, de zogenaamde n- waarde, betreft formeel het watergehalte bij een zuigspanning van 10 kN/m²)
- de Atterbergse grenzen, uitrolgrens en vloeigrens

In sommige gevallen wordt gloeiverlies als parameter voor kleigrond aangevoerd, waarbij gloeiverlies soms ook als gelijkwaardig aan de organische stofgehalte wordt geacht (zie echter Bijlage VII, methoden). Aan het zoutgehalte worden in sommige gevallen bovengrenzen gesteld in verband met de vegetatieontwikkeling.

De "Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken: Deel I" (TAW 1985) vermeldt watergehalte, korrelgrootteverdeling (voor het buitentalud: 20 < lutumgehalte < 35%, 25 < zandgehalte < 40%) en organische stofgehalte (< 3 %).

Om de geschiktheid van het watergehalte van een kleigrond voor verwerking als kleibekleding te beoordelen, wordt vaak als maximum het watergehalte bij een n- waarde van 0.5 gebruikt, waarbij de n- waarde wordt berekend uit:

$W = 20 + n \times (L + b \times H)$; waarin W= watergehalte bij een zuigspanning van ongeveer 1 kN/m², L= lutumgehalte, H= organische stofgehalte, b= coefficient
(voor b wordt veelal 3 gebruikt)
(voor de factor 20 worden ook wel andere waarden gebruikt)

Als een grond een n- waarde lager dan 0.5 heeft wordt de grond gerijpt genoemd en veelal voldoende stevig geacht voor bewerking of verwerking.

De thans gebruikte parameters hebben alle een indirecte invloed op het constructieve gedrag van grond. Uit hetgeen hiervoor bij de bespreking van materiaalkarakteristieken aan de orde is geweest kan worden opgemaakt dat de interactie tussen vaste stof en water van groot belang is voor het gedrag van kleigrond. De bovengenoemde parameters hebben alle direct of indirect met deze interactie te maken.

Het specifieke oppervlak neemt bijvoorbeeld toe met de toename aan fijne deeltjes in de grond (zie figuur 7.1). Ook zijn de eigenschappen van organische stof ten aanzien van genoemde interactie anders dan die van de minerale fractie van de grond. De korrelgrootteverdeling zegt iets over dominante mineralengroepen in grond: Zandige grond bevat veel kwartsdeeltjes en kleiige grond in Nederland bevat veelal veel kleimineralen die anders met water en de daarin opgeloste stoffen reageren dan kwarts. De hoeveelheid fijne deeltjes blijkt ook samenhang met de mineralogische samenstelling van de fijne fractie te vertonen voor Nederlandse kleigronden (LGM 1985a).

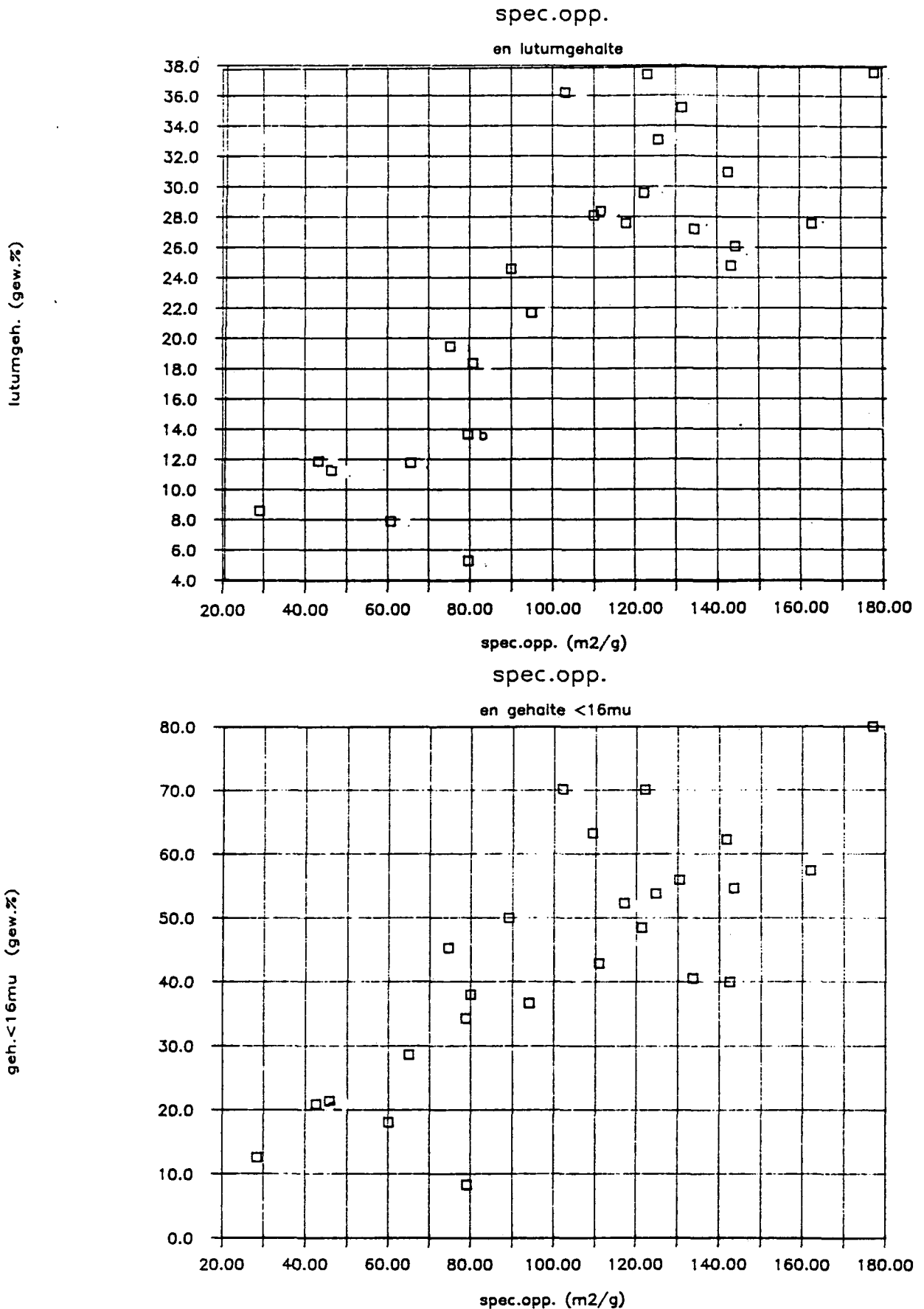
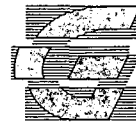
Organische stofgehalte en korrelgrootteverdeling beschrijven de materiaalsamenstelling echter maar ten dele. Uit de gegevens over de samenstelling van de monsters blijkt dat in veel monsters veel materiaal aanwezig is dat bij een HCl- behandeling oplost, voornamelijk kalk. Dit kalkgehalte is echter nergens in keuringseisen teruggevonden terwijl het om relatief grote hoeveelheden materiaal gaat die ongetwijfeld invloed zullen hebben (De monsters van de locatie Waarde met meer dan 25% kalk, erodeerden zeer snel, terwijl ze veel fijn materiaal bevatten.)

De n- waarde legt een verband tussen een aantal materiaalparameters en het watergehalte van een grond. Voor de n- waarde worden een korrelgrootteverdelingsmaat en organisch stofgehalte gebruikt hetgeen tot een beoordeling van het watergehalte met betrekking tot bewerking en dergelijke leidt. De n- waarde neemt echter de effecten van het zoutgehalte niet in beschouwing. Evenmin doet hij recht aan mogelijke invloeden van sterk afwijkende materiaalsamenstelling zoals die van de monsters van Waarde. Het gebruik van de n- waarde voor het beoordelen van het watergehalte van grond legt dus beperkingen op aan de samenstelling van de grond die ermee beoordeeld kan worden.

In het kader van verwerkbaarheid van kleigrond wordt de consistentie-index, I_c , gebruikt. Deze index relateert het watergehalte van grond aan de Atterbergse grenzen als:

$$I_c = (LL - W_n) / (LL - PL) \text{ waarin: } W_n = \text{watergehalte, } LL = \text{vloeigrens} \\ PL = \text{uitrolgrens}$$

Bij een watergehalte dat hoger is dan dat behorend bij $I_c = 0.8$ blijkt de grond slecht te verwerken (RWS 1985). Het watergehalte dient dus niet teveel hoger te zijn dan bij de uitrolgrens. De overeenkomsten tussen de bepalingswijze van de uitrolgrens en het bewerken van klei op een dijk geeft aan waarom de consistentiegrenzen geschikt zijn om inzicht te geven in het watergehalte voor goede verwerkbaarheid.



Figuur 7.1: De verhouding tussen het specifieke oppervlak van de vast stof in grond en de vloeigrens en de lutumfractie, <2 μ , respectievelijk de fractie < 16 μ , (gehalte afslibbaar). Het specifiek oppervlak neemt toe met de hoeveelheid fijne fractie, echter de spreiding in specifiek oppervlak voor een bepaalde hoeveelheid fijne fractie bedraagt meer dan 50%.



7.2 Keuringsparameters en constructieve eigenschappen

In de beschouwing over constructieve eigenschappen en materiaalkarakteristieken is naar voren gebracht dat de Atterbergse grenzen aanwijzingen geven over eigenschappen van onverzadigde grond. Dit verband tussen constructieve eigenschappen van grond en de Atterbergse grenzen berust op de relaties tussen de Atterbergse grenzen en de interactie tussen vaste stof en water die de invloeden op de constructieve eigenschappen bepaald. Ten aanzien van de constructieve eigenschappen die samenhangen met de structuur in de grond kunnen Atterbergse grenzen aanwijzingen geven over de zowel de aard van het materiaal als over de interactie met water die de structuur doet ontstaan. Daarnaast is naar voren gebracht dat de korrelgrootteverdeling voor met name de erosiegevoeligheid aanwijzingen gaf.

Parameters die bij het beoordelen van grond tevens van belang kunnen zijn, zijn het zoutgehalte, het kalkgehalte en het organische stofgehalte. Deze drie parameters zijn relatief eenvoudig te bepalen voor grond en geven extra informatie om de gegevens van korrelgrootteverdeling en Atterbergse grenzen beter te kunnen interpreteren.

De relaties tussen het gedrag van grond en de hierboven genoemde parameters zijn bepaald voor dijkbekledingen in Nederland. Er zijn geen directe aanwijzingen dat er grondsoorten bestaan die een sterk afwijkend gedrag van het in dit rapport besproken samenstel van relaties tussen constructie- eigenschappen en de genoemde parameters zouden kunnen vertonen. De hier besproken relaties wijken niet af van wat elders uit de parameters wordt geconcludeerd (zie onder andere Mitchell 1976). Het is echter mogelijk dat er materialen, grondsoorten, bestaan die door externe invloeden op den duur afwijkende eigenschappen gaan krijgen. Het aantasten van de eigenschappen van kleigrond onder invloed van bijvoorbeeld toevoegingen van zeer hoge doses kunstmest, bepaalde organische stoffen en dergelijke, behoort in dit opzicht tot de mogelijkheden. De eigenschappen van kleigrond kunnen met bepaalde toevoegingen uiteraard ook op den duur verbeterd worden.

7.2.1 Grenswaarden voor het keuren van kleigrond

Watergehalte bij het aanbrengen:

Het watergehalte bij het aanbrengen is van belang in verband met de vorming van zeer grote scheuren in de kleigrond na het aanbrengen en in verband met de verwerkbaarheid.



Bestaande eisen ten aanzien van verwerkbaarheid hanteren een watergehalte behorend bij een I_c van 0.8, dus minder dan een vijfde van het verschil tussen vloeï- en uitrolgrens boven de uitrolgrens. Uit figuur 6.12 blijkt dat het watergehalte in kleibekledingen nagenoeg altijd in de buurt van de uitrolgrens ligt. In de tabel in bijlage IV blijkt dat een watergehalte hoger dan dat behorend bij een I_c van 0.8 zeer weinig voorkomt. De norm $I_c \geq 0.8$ lijkt daarom een goede maat voor het beoordelen van kleigrond. Voor grond met een plasticiteitsindex lager dan 20 % kunnen, afhankelijk van de omstandigheden, lagere I_c - waarden gehanteerd worden. Het toelaatbare watergehalte bij het aanbrengen zal in die gevallen beoordeeld moeten worden aan de hand van de verwerkbaarheidsmogelijkheden en de verwachte volumeverandering na het aanbrengen. Deze volumeverandering zal sterk van de aard van het materiaal afhangen (weinig indien het materiaal zeer zandig is en veel indien het materiaal uit fijn materiaal met zeer geringe activiteit bestaat) en per geval beoordeeld moeten worden.

Figuur 6.11 geeft het watergehalte bij een zuigspanning van 100 kN/m^2 tegen de plasticiteitsindex weer. Er blijkt een globale trend aanwezig te zijn waarmee het mogelijk is om het watergehalte dat een grond in een kleibekleding zal aannemen te schatten. Indien wordt aangenomen dat de volumeverandering ongeveer de helft van de watergehalteverandering zal bedragen (zie figuur 6.2 en ook figuur 6.4) kan de te verwachten volumeverandering van kleigrond na het aanbrengen worden geschat. Immers het verschil tussen het watergehalte bij het aanbrengen en het watergehalte in zomer- omstandigheden (maatgevend watergehalte) kan dan worden geschat.

Invloeden van veranderingen van zoutgehalte na het aanbrengen op het watergehalte in een dijkbekleding kunnen in algemene zin worden beoordeeld aan de hand van de trends die de gegevens in de figuren 6.10 en 6.11 aangeven. Uit figuur 6.10 kan de afname van de plasticiteitsindex door het uitspoelen van zout worden geschat. Samen met de informatie uit de figuur 6.11 geeft deze schatting de mogelijkheid om de watergehalteverandering die met het uitspoelen zal samengaan te beoordelen.

Erosiegevoeligheid:

De proeven met het erosietoestel geven inzicht in de erosiegevoeligheid van het materiaal op de dijk. Het zandgehalte geeft een eerste indeling naar erosiegevoeligheid in het erosietoestel. Monsters met een zandgehalte (fractie grover dan 63μ en fijner dan 2 mm) van meer dan 35 tot 45% erodeerden alle zeer snel. De Atterbergse grenzen geven een tweede mogelijkheid de erosiegevoeligheid van materiaal te beoordelen. De monsters met een plasticiteitsindex lager dan 18% en de monsters waarvan de uitrolgrens niet kon worden bepaald door de aard van het materiaal erodeerden zeer snel. De monsters die in het zogenaamde plasticiteitsdiagram, zie figuur 6.19, beneden de A-lijn liggen erodeerden ook zeer snel. Deze A-lijn wordt in zeer veel



landen gebruikt voor klassificatie van grond. De vergelijking van de A- lijn in het diagram luidt (BS5930: 1981, ASTM):

$$PI = 0.73 \times (LL - 20)$$
 waarin PI= plasticiteitsindex, LL= vloeigrens

De monsters met een plasticiteitsindex die lager is dan met bovenstaande vergelijking uit de vloeigrens wordt berekend erodeerden dus zeer snel. De monsters met een vloeigrens hoger dan 45% en die boven de A- lijn liggen in het plasticiteitsdiagram waren alle zeer weinig gevoelig voor erosie. Het monster in dat gebied dat wel zeer snel erodeerde heeft een zandgehalte van 56%. Uit de afwijking van dit monster blijkt dat zowel de korrelgrootteverdelingskarakteristieken als de Atterbergse grenzen gebruikt dienen te worden. De groep monsters met een plasticiteitsindex hoger dan 18 % en een vloeigrens lager dan 45% waren matig tot weinig erosiegevoelig.

De gevolgen van het veranderen van zoutgehalte op de Atterbergse grenzen van grond en de daarbij behorende verandering van de ligging van de punten in het plasticiteitsdiagram kunnen worden beoordeeld aan de hand van trends in de verhouding tussen plasticiteitsindex en zoutgehalte en die van de verhouding tussen vloeigrens en de fractie $< 16\mu$. De figuur 6.10 geeft de trend van de verhouding tussen plasticiteitsindex en zoutgehalte weer. De figuur 6.18 geeft de trend in de verhouding tussen fractie $< 16\mu$, en vloeigrens weer. Met de trends die deze beide figuren aangeven is het mogelijk indicaties te geven over het effect van het veranderen van het zoutgehalte op de Atterbergse grenzen van een monster. Voor het gebruik van de trend in figuur 6.18 is het van belang de samenstelling van het materiaal beter te kennen. De afwijkingen in de trend in de figuur hangen voornamelijk met de hogere zoutgehaltes samen. Het effect van het hoge kalkgehalte van 2 van de 3 afwijkende monsters in de figuur kan echter nog niet worden bepaald. Voorshands kunnen hier nog geen nadere detailleringen in worden gebracht.

7.2.2 Opmerkingen over de samenstelling van de grond

Het onderzoek dat hier gerapporteerd wordt, betrof grond met lutumgehaltes van minder dan 10 tot ongeveer 38%. Er zijn geen aanwijzingen dat de trends in de correlaties die gebruikt zijn voor het bepalen van de hiervoor genoemde grenzen sterk zouden afwijken voor hogere gehalten aan fijn materiaal.

Het organische stofgehalte van de monsters bedroeg tot bijna 5%. Er zijn vanuit de achtergronden van de hiervoor genoemde grenzen geen aanwijzingen dat de correlaties waarop de grenzen zijn gebaseerd sterk zouden afwijken voor hogere organische stofgehalten. Uitzonderingen hierop vormen uiteraard zeer hoge gehalten aan organische stof, zoals in venige klei, en organische stoffen die sterk afwijken van wat in gronden terecht kan komen onder min of meer natuurlijke omstandigheden.



Twee monsters hebben een nogal afwijkende korrelgrootteverdeling. De fractie tussen 16 en 63 μ is nagenoeg afwezig in het monster van locatie HMP52. Het monster van HMP52 gedraagt zich wat betreft de Atterbergse grenzen en een aantal chemische en fysisch-chemische eigenschappen, als een monster van voornamelijk cohesief materiaal. Het hoge zandgehalte van het monster veroorzaakt echter wel een sterke erosie. Het monster van locatie IJLo⁴ heeft een relatief laag zandgehalte samen met een relatief laag lutumgehalte. Het monster van de IJLo⁴ locatie zou wat betreft de korrelgrootteverdeling in de niet zeer erosiegevoelige categorie kunnen worden ingedeeld. Het monster bevat echter een zeer hoog gehalte aan siltdeeltjes bevat waardoor de cohesieve eigenschappen ervan meer op die van zandige grond lijken dan uit het lage zandgehalte zou kunnen worden geconcludeerd. De beide voorbeelden geven aan dat afwijkingen in de korrelgrootteverdeling effect hebben op de constructieve eigenschappen. Het is nog niet geheel uit te sluiten dat er manco's bestaan in de hier voorgestelde beoordeling aan de hand van Atterbergse grenzen en zandgehalte. Het is daarom voorshands nodig na te gaan of de vorm van de korrelgrootteverdeling geen grote afwijkingen van normale kleigronden vertoont. Het is waarschijnlijk dat de verhoudingen tussen de lutumfractie, de fractie < 16 μ , 16- 63 μ en >63 μ daarover voldoende aanwijzingen kunnen geven.

Het hiaat in de korrelgrootteverdeling van het materiaal van locatie HMP52 geeft aan dat het mengen van materiaal teneinde een voldoende hoge lutumfractie te verkrijgen op zich niet voldoende is. Voor het onderkennen van afwijkingen die samenhangen met korrelgrootteverdelingen die modale waarden hebben juist beneden die van zand (löss en sommige mariene afzettingen), is het vergelijken van de gehalten aan zand en de verschillende fijne fracties noodzakelijk. Voorshands is het nog niet mogelijk hierover eenduidige uitspraken te doen. De beoordeling aan de hand van Atterbergse grenzen zal waarschijnlijk in nagenoeg alle gevallen goede indicaties over het gedrag van siltige grond geven.

Door oxidatie van zwavelverbindingen die in sterk gereduceerde gronden voorkomen kan grond extreem zuur worden (pH lager dan 2 tot 3). Deze oxidatie neemt enige tijd in beslag hetgeen onder andere afhankelijk is van de mate waarin zuurstof kan toetreden. Tevens wordt dan ijzer in dergelijke gereduceerde grond geoxideerd. De beide processen leiden tot het neerslaan van ijzerverbindingen in grond die als een cement tussen deeltjes of rond aggregaatjes kunnen werken. De neergeslagen ijzerverbindingen vormen relatief stevige en soms harde korsten langs grote poriën en op aggregaten in de grond. Deze korsten kunnen in de meeste omstandigheden tenminste enkele tientallen jaren intact blijven indien de grond niet vergraven wordt. Het spreekt vanzelf dat door de vorming van deze verbindingen en de overige omstandigheden die met de extreme zuurgraad samenhangen (veranderingen van oppervlakte- lading, osmotische potentiaal, opgeloste stoffen en dergelijke) de eigenschappen van de grond sterk wijzigen. Deze omstandigheden gelden

met name voor gronden waarin sulfide- verbindingen zijn aangerijkt. Dergelijke gronden zijn in algemene zin te herkennen aan met name:

- Snelle (begin verkleuring binnen enkele uren) en extreme verkleuringen (helder geel, helder oranje, blauw, bruin et cetera), die optreden zodra de grond aan lucht wordt blootgesteld;
- De geur van H_2S (rotte eieren);
- Donkere soms bijna zwarte tint ook in zandlaagjes in oorspronkelijk toestand;
- Het soms voorkomen van kalkneerslag (in de vorm van zachte wittige, rulle concreties),

Deze verschijnselen geven eveneens aanwijzingen over het voorkomen van relatief grote hoeveelheden sulfideverbindingen. Het beoordelen van de geschiktheid van dergelijke gronden kan in de meeste gevallen pas effectief geschieden nadat de oxidatie van de sulfides en het ijzer in de grond heeft plaatsgevonden. Dergelijke grond dient dus voor het gebruik doorlucht te worden.

7.3 Klassificatie met betrekking tot de constructieve eisen

Het watergehalte dat een grond zal aannemen na het aanbrengen in kleibekleding, kan in globale zin worden beoordeeld aan de hand van de Atterbergse grenzen, eventueel aangevuld met korrelgrootteverdelinggegevens en gegevens over zoutgehalte. Uit de beschouwingen in dit rapport blijkt dat grond met een watergehalte dat lager is dan dat bij een $I_c = 0.8$ niet sterk zal krimpen na het aanbrengen. Voorgesteld wordt dat de norm $I_c \geq 0.8$ wordt gehanteerd ten aanzien van het watergehalte van grond met een plasticiteitsindex hoger dan 20%. Het is mogelijk volumeveranderingen van de grond na het aanbrengen nader te beoordelen aan de hand van in dit rapport gegeven karakteristieken. Het lijkt echter niet van belang daar voorshands nadere onderverdelingen voor aan te leggen, immers gegevens over de feitelijke vorming van scheuren in grond zijn nog niet beschikbaar.

Ten aanzien van de erosiegevoeligheid geeft de verdeling van de monsters met verschillende erosiegevoeligheid in het plasticiteitsdiagram aanleiding de mogelijkheid van nadere onderverdelingen na te gaan. In het gebied boven de A- lijn en boven een vloeigrens van meer dan 45% komen slechts weinig erosiegevoelige monsters voor. Monsters die zeer erosiegevoelig zijn en minder dan 40% zand bevatten komen slechts beneden de A- lijn of beneden een plasticiteitsindex van 18% voor. Deze constatering geeft aanleiding de mogelijkheid van een driedeling in kwaliteit ten aanzien van erosiegevoeligheid te overwegen. Het onderzoek geeft aan dat deze driedeling op grond van de geteste monsters voorshands als volgt zou kunnen zijn:



- Weinig erosiegevoelig;
Zandgehalte (>63 μ) minder dan bijvoorbeeld 35% en
Vloeigrens hoger dan 45 % en
Plasticiteitsindex hoger dan; $0.73 \times (\text{vloeigrens} - 20)$.
- Matig en weinig erosiegevoelig;
Zandgehalte (>63 μ) minder dan bijvoorbeeld 35% en
Plasticiteitsindex hoger dan 18% en
Plasticiteitsindex hoger dan; $0.73 \times (\text{vloeigrens} - 20)$.
- Sterk erosiegevoelig;
Zandgehalte (>63 μ) meer dan bijvoorbeeld 35 % of
Plasticiteitsindex lager dan 18%.

Het aantal monsters waarop de hierboven genoemde grenzen zijn gebaseerd is niet groot. Voor een verdere onderbouwing van de driedeling is het nodig dat het aantal waarnemingen wordt vergroot. Daarnaast is een nader onderzoek nodig naar de belastingsomstandigheden op dijktaluds. Wanneer deze belastingen voor een bepaald talud bekend zijn, kan de mogelijkheid van gebruik van grond uit één van de drie genoemde categoriën worden beoordeeld.



8. INVLOEDEN VAN DE LIGGING EN DE TIJD

8.1. Veranderingen in samenstelling na het aanbrengen

8.1.1 Verandering in zoutgehalte

Het zoutgehalte van kleigrond is van belang voor het watergehalte dat de grond onder bepaalde omstandigheden aanneemt en voor de beoordeling van grond met behulp van Atterbergse grenzen. Het zoutgehalte van een kleigrond in een bekleding is afhankelijk van het zoutgehalte bij het aanbrengen, het zoutgehalte in de omgeving waar de grond in wordt geplaatst en van de snelheid waarin het zoutgehalte in de grond kan veranderen. Het is in de praktijk mogelijk om niet zoute klei in een zoute omgeving te plaatsen en om zoute klei in een eventueel veel minder zoute omgeving aan te brengen. Bemesting kan eveneens invloed op het zoutgehalte van grond hebben, evenals bijvoorbeeld strooizout dat met regen- en smeltwater van wegen afstroomt of direct op de dijktaluds terecht komt.

De grond kan een lager zoutgehalte krijgen door het verdunnen van het bodemwater, tengevolge van doorstromend hemelwater of door contact met zoet grondwater. Aan de teen van de dijk zal contact met zout grondwater het verlagen van het zoutgehalte in de bekleding kunnen beperken zoals op de locatie Waarde (GD 1987b). In de meeste gevallen zal het ontzilten van kleibekledingen door het hemelwater plaatsvinden aangezien contact met grondwater door de zandkern sterk belemmerd wordt. Het grootste deel van het hemelwater zal door grote poriën in de grond afstromen zonder effectief zout uit de grond mee te voeren. Het ontzilten van grond die niet geroerd wordt (ploegen et cetera) neemt daarom een periode van meerdere jaren in beslag. Het ontzilten is sterk afhankelijk van de grond en van omgevingsfactoren. Te noemen zijn onder andere: De mate van aanwezigheid van de grotere poriën is van belang in verband met de geringere effectiviteit van het water dat door grote poriën stroomt; door oppervlakkige afstroming kan een deel van het hemelwater helemaal niet aan het uitspoelen deelnemen; op sommige locaties wordt door spatwater juist zout aangevoerd. De snelheid waarmee grond ontzilt wordt, is dus sterk van de locatie afhankelijk. In verschillende bronnen (zie onder andere LGM 1985a) worden periodes van enkele jaren tot meer dan tenminste 7 jaar genoemd voor een kleilaag van minder dan 1 meter dik. De bovenste paar decimeters kunnen echter in een periode van een jaar ontzilt raken.

Het zoutgehalte van grond kan toenemen door zout spatwater, of buitenwater dat tegen de dijk staat, en door diffusie van zout uit het grondwater. Dit laatste kan het geval indien het zoutgehalte van het grondwater hoog is of indien de verdamping van water uit de grond hoger is dan het deel van de neerslag dat zouten uit de grond kan afvoeren (water dat door spleten stroomt is in dat opzicht niet effectief evenals oppervlakkig afstromend water). Het is goed mogelijk dat dit laatste mechanisme werkzaam is op een deel van de taluds in



Nederland. Op de meest locaties is de invloed van grondwater op het zoutgehalte merkbaar. De lager op het talud gelegen locaties hebben op twee uitzonderingen na een hoger zoutgehalte dan de hoger gelegen locaties. Op alle kustlocaties zijn deze verschillen relatief groot (een factor 2 tot 3 x hoger zoutgehalte) en het is waarschijnlijk dat de invloed van spatwater en de frequentie van inundatie daarbij een rol speelt.

De invloed van de zouten in het grondwater is eveneens merkbaar in de kationenbezetting, namelijk alle teenlocaties hebben een hogere Natrium-, Magnesium- en Kaliumbezetting in vergelijking met de kruinlocaties.

Het zouter worden van grond door invloed van grondwater en spat-inundatiewater zal naar het zich laat aanzien gemiddeld met eenzelfde snelheid verlopen als het ontzilten. Dit blijkt onder andere uit het feit dat de kationenbezettingen van kleibekledingen die minder dan 10 jaar oud waren reeds de genoemde verschillen tussen teen en kruin vertoonden (Kandia, Giesbeek, Barendrecht, Waarde).

Als grond met een laag zoutgehalte (minder dan ongeveer 100 mg NaCl per kg droge stof) in een zoute omgeving wordt aangebracht zal de grond zouter worden. In het algemeen zal hierdoor de hoeveelheid water toenemen die de grond onder evenwichtsomstandigheden in onverzadigde toestand kan vasthouden. Het beoordelen van grond op een maximaal toegestaan watergehalte in verband met het beperken van krimp, leidt ertoe dat er conservatieve eisen gesteld zullen worden aan grond waarvan het zoutgehalte toeneemt na het aanbrengen. Het is zelfs mogelijk dat de grond zal gaan zwellen door het opnemen van zout uit de omgeving. Immers, de osmotische potentiaal kan zodanig toenemen dat het maatgevende watergehalte hoger wordt dan het volgens de beoordeling bij het aanbrengen zou mogen zijn (zie ook paragraaf 7.2.1).

8.1.2 Verandering van organische stofgehalte

Het organische stofgehalte beïnvloedt verschillende chemische en fysisch-chemische karakteristieken van kleigrond. De Atterbergse grenzen zijn dan ook mede afhankelijk van de hoeveelheid en de aard van het organische materiaal in de grond (GD 1987b, Mitchell 1976). Het organische stofgehalte van grond wordt enerzijds door de aanvoer van organische stof bepaald en anderzijds door de afbraak en afvoer van de afbraak producten. De aanvoer van organische stof in grond vindt plaats door de groei van plantewortels, door gravende dieren en tevens door organische stof dat vanaf het oppervlak de grond binnendringt. De afbraak van organische stof vindt hoofdzakelijk plaats door microbiële omzetting en oxidatie, waarna de resulterende stoffen in gasvorm of in opgeloste vorm uit de grond kunnen worden afgevoerd. De afbraak van organische stof is laag als er geen of weinig zuurstof in de grond kan doordringen. De meeste natuurlijke



gronden worden in zeer natte gebieden gevormd. Deze natuurlijke gronden hebben daarom een hoger gehalte aan organische stof dan dezelfde grond onder geaereerde omstandigheden zou hebben. Door het doorluchten van de grond voor, tijdens en na het aanbrengen als bekledingslaag zal het organische stofgehalte van kleigrond daardoor in het algemeen afnemen. Slechts in de matig en intensief doorwortelde bovenlaag kan eventueel het organische stofgehalte significant toenemen.

De afbraak van organische stof hangt af van de samenstelling van de organische stof en de wijze van voorkomen ervan. Het grootste deel van de organische stof die in oudere natuurlijke grond voorkomt, is chemisch relatief stabiel. De afbraak van deze stoffen zal ook door doorluchting niet snel verlopen. Gegevens in Scheffer & Schachtschabel (1970) over afbraak van organische stof in grond bij 20°C geven aan dat per jaar hooguit ongeveer 0.1 tot 0.2 gewichtsprocent organische stof afgebroken wordt. De afname van het organische stofgehalte in een kleibekleding zal dus relatief zeer traag verlopen in het grootste deel van een kleibekleding. Het lijkt daarom niet noodzakelijk hier intensief nader onderzoek aan te verrichten.

Uit het onderzoek is niet gebleken dat de invloeden van verschillende soorten moleculair verdeelde organische stof, huminezuren en fulvozuren, voor erosiegedrag en voor watergehalte van belang zijn voor onverzadigde grond.

8.1.3 Veranderingen in sterk sulfidehoudende grond

In de paragraaf 7.2.2 is reeds ingegaan op de gevolgen van de intense oxidatieverschijnselen die in sterk sulfidehoudende grond optreden bij het doorluchten. De grond is vaak te herkennen aan een donkere tot zwarte tint en aan de verkleuringen die na het in contact brengen met lucht binnen enkele uren optreden. Na verloop van enige tijd krijgt de grond veelal een zeer kleurig gevlekt uiterlijk. De eigenschappen van de grond veranderen zeer sterk door deze oxidatie en de ermee samenhangende omzettingen. Het beoordelen van de geschiktheid van dergelijke grond kan daarom pas gebeuren nadat de genoemde processen hun beslag hebben gehad en de grond in omstandigheden verkeert die vergelijkbaar zijn met die na verloop van enige tijd op de dijk.

8.2 Invloeden van de ligging en de expositie van het talud

In verschillende gronden op taluds met een noordelijke expositie zijn sporen van vorstwerking tot op enkele decimeters diepte in de grond aangetroffen. De structuur van deze gronden werd gekenmerkt door her voorkomen van kleine hoekige aggregaatjes. Het erosiegedrag van monsters van dit materiaal bleek echter geen afwijkingen van de trends te vertonen. Het optreden van het verschijnsel is echter wel een indicatie van de grote directe invloed die de expositie (bezoening, windfactoren en dergelijke) op de grond heeft. Een meer gedetailleerde

bladnummer : - 64 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



GRONDMECHANICA
DELFT

beoordeling van de geschiktheid van een bepaalde grond voor gebruik als kleibekleding op een dijk zal, naar het zich laat aanzien, de invloeden van expositie in rekening dienen te brengen.

De expositie en de ligging van het talud ten opzichte van het te keren water en de maatgevende richtingen van golven zijn van belang voor beoordeling van het mogelijke gebruik van kleibekleding. Voorshands zijn geen eenduidige gegevens beschikbaar waaruit een relatie tussen de toegestane belasting ten aanzien van erosie, en de hier gehanteerde onderverdeling naar erosiegevoeligheid van grond kan worden afgeleid.

In 1987 zijn locaties langs de IJssel bemonsterd waar regelmatig schade tijdens hoogwater optrad (locaties HRX, IJLo4, IJLo5 en DKS). De resultaten van de proeven laten zien dat de grond van al de locaties zeer erosiegevoelig bleek. Ook de korrelgrootteverdeling en de Atterbergse grenzen bleken zodanig dat de monsters van deze locaties in de categorie van zeer erosiegevoelige grond vielen. Op de locaties TN, TZ, VEE, HMP52 en LOC66 was het talud onregelmatig. De monsters van al deze locaties bleken zeer erosiegevoelig en waren volgens de korrelgrootteverdeling en Atterbergse grenzen eveneens als zeer erosiegevoelig te klassificeren. Op de locatie bij Waarde (Waa) die volgens de beproevingen als zeer erosiegevoelig geklassificeerd werd, waren, afgezien van de gevolgen van graafactiviteit van dieren, echter geen tekenen van schade herkenbaar. Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat het optreden van een onregelmatig talud en geringe resistentie tijdens de erosieproef veelal samengaan. Het monster van IJLo4 is genomen van een stuk talud dat door een oprit enigszins tegen directe golfaanval was beschermd. Dit stukje talud ondervond beduidend minder schade dan het nabij gelegen talud dat met dezelfde grond (visuele beoordeling van handboormonsters) was opgebouwd en dat niet tegen golfaanval was beschermd. Op grond van deze constatering kan worden gesteld dat er aanwijzingen zijn dat relatief geringe verschillen in de ligging en expositie al van belang zijn voor het optreden van erosie van kleibekledingen van weinig erosiebestendige grond. Het beoordelen van de mogelijkheid om een bepaalde grond in een bepaalde omstandigheid toe te passen lijkt voorshands nog weinig rekening te kunnen houden met dergelijke verschillen in belasting aangezien deze nog niet goed te specificeren zijn.



9. VERGELIJKING MET ANDER ONDERZOEK NAAR EROSIE EN WATERGEHALTE

9.1 Watergehalte in kleibekleding

Uit onderzoek naar het watergehaltevaranderingen in een kleilaag onder steenzetting gedurende twee jaar (LGM 1983) volgde dat het watergehalte geen correlatie met neerslag vertoonde. Het in dit onderzoek gemeten watergehalte was slechts zelden hoger dan het watergehalte bij een $I_c = 0.75$. In de rapportage van dat onderzoek wordt vermeld dat het watergehalte in een nabijgelegen niet bekleed stuk talud lager was dan het watergehalte onder de steenzetting.

9.2 Erosiegedrag

In het kader van grootschalige erosieproeven op klei in de "Deltagoot" is vergelijkend onderzoek uitgevoerd met het GD- erosietoestel en zijn standaardbepalingen op de grond uitgevoerd (LGM 1985b). Uit de proeven op twee kleien in de Deltagoot kwam één soort als weinig erosiegevoelig naar voren terwijl de andere na verloop van enkele uren sterke erosieschade vertoonde. Uit de proeven met het erosietoestel bleek dat het monster van de weinig erosiegevoelige grond pas bij meer dan 1200 t/min bezweek, terwijl het andere monster reeds bij ongeveer 600 tot 800 t/min. was geërodeerd. Beide monsters bevatten minder dan 40% zand en de vloeigrens was voor beide monsters meer dan 45%. Het monster van de grond die minder resistent tegen erosiekrachten was, had een combinatie van vloeigrens en plasticiteitsindex waardoor het nagenoeg op de A- lijn in het plasticiteitsdiagram (zie figuur 6.19) viel. Het andere monster lag beduidend hoger dan de A- lijn. Vermeld kan worden dat het watergehalte van beide monsters zeer weinig van de uitrolgrens verschilde.

In het rapport LGM 1985b wordt een serie erosieproeven op 9 gemaakte kleimonsters beschreven. Ten overvloede zij vermeld dat het te verwachten is dat gemaakte kleimonsters anders zullen reageren op erosie dan monsters van kleigrond die op een dijktalud is gerijpt. De erosiegevoeligheid in het erosietoestel en gegevens van de grond zijn nagegaan. Van de 6 erosiegevoelige monsters hebben er 5 een vloeigrens beduidend lager dan 45 %. De vloeigrens en de plasticiteitsindex van het zesde monster geven echter geen aanleiding een sterke erosiegevoeligheid te veronderstellen: Het monster heeft een vloeigrens van 62% en valt ruim boven de A- lijn in het plasticiteitsdiagram. De twee weinig erosiegevoelige monsters in de serie vallen in het gebied boven de A- lijn en boven de vloeigrens van 45%.



Het zandgehalte van het merendeel van de monsters die genomen waren ten behoeve van grootschalige proeven in de stroomgoot bij Lith (WL 1984) was hoger dan 40%. Slechts 2 monsters bevatten minder dan 40% zand. Eén daarvan was weinig tot matig erosiegevoelig en het andere monster was genomen uit dezelfde monsterbus waaruit een weinig erosiegevoelig monster was genomen (Atterbergse grenzen zijn niet bepaald). Tijdens de grootschalige proeven bleef onder andere door de werking van de grasmat de kleibekleding gedurende lange tijd in stand.

Enerzijds is er de hierboven genoemde discrepantie tussen resistentie tegen erosie van een grastalud tijdens gesimuleerde golfaanval, terwijl de grond van dat talud in het GD- erosietoestel erosiegevoelig blijkt. Anderzijds is er schade geconstateerd aan de taluds waarvan de grond als erosiegevoelig kan worden beschreven volgens erosietoestelproeven en volgens de hier gegeven normen voor het beoordelen van erosiegevoeligheid. Het is niet onwaarschijnlijk dat er ten aanzien van erosiegevoeligheid onderscheid gemaakt dient te worden tussen de verschillende mechanismen die kunnen optreden (onder andere verschil tussen grootschalige processen zoals bij golfklappen en kleinschalige processen zoals dispersie en "uitspoelen"). Het is voor nader onderzoek wellicht van belang de schaal waarop de uitgeoefende krachten werkzaam zijn en de schaal van de fenomenen die gekarakteriseerd worden te vergelijken. De rol van inhomogeniteit in de opbouw van de bekleding (structuur en anderszins) en van met name de bekleding van de klei, de grasmat, dient daarbij in beschouwing genomen te worden.

9.3 Infiltratie

Voor het onderzoek is een infiltratiekoker ontwikkeld voor infiltratie- onderzoek op hellend terrein. In het rapport van de COW (1980) worden de resultaten en uitvoering van een grootschalige infiltratieproef beschreven waarbij een heel groot deel van een talud werd geïnundeerd. De doorlatendheid die uit deze proef werd berekend voordat er sprake was van zijdelingse afstroming en bij een verhang van 1 m, bedroeg 3 tot 6×10^{-5} m/s en is dus vergelijkbaar met de in dit onderzoek gevonden waarden voor infiltratiesnelheid en doorlatendheid (GD 1986).

In het rapport HA 1984 (concept) worden doorlatendheidsmetingen in kleitaluds met de infiltratieringenmethode en met de boorgatmethode beschreven. Beide methoden hebben belangrijke beperkingen in verband met verstoring van de grond en vanwege zijdelingse afstroming op taluds. De metingen gaven doorlatendheden van 0.7 tot 1×10^{-6} m/s voor enkele kleibekledingen. Deze waarden liggen een factor 10 tot 10^2 lager dan de meeste van de in dit onderzoek bepaalde waarden.



Metingen van doorlatendheidskarakteristieken op monsters van kleibekleding hebben voor de infiltratie door kleibekleding geen directe relevantie vanwege de geringe grootte van de monsters. Dergelijke proeven zullen hier daarom verder niet aan de orde komen.

Scheffer & Schachtschabel (1970) geven een overzicht van doorlatendheden van de bovengrond van natuurlijke gronden, bepaald aan de hand van grote blokmonsters. Op een diepte van 0.5 m beneden het maaiveld schommelen de genoemde waarnemingen tussen 10^{-6} en 10^{-4} m/s. In het algemeen kan gesteld worden dat de doorlatendheid van onverzadigde grond voor verzadigde stroming nabij het oppervlak (minder dan ongeveer 1 m diep) in de meeste gevallen tussen 10^{-4} en 10^{-6} m/s varieert.

9.4 Samenvatting van de vergelijkingen met ander onderzoek

Ten aanzien van erosiegedrag kan worden opgemerkt dat de resultaten van dit onderzoek in overeenstemming zijn met ander onderzoek. De resultaten van grootschalige proeven op kale kleigrond en metingen met het erosietoestel bleken vergelijkbare erosiegevoeligheidsindicaties te geven. De grond waarop deze metingen zijn verricht, bleek dezelfde erosiegevoeligheid te vertonen als zou volgen uit de indeling aan de hand van Atterbergse grenzen en korrelgrootteverdeling die in dit rapport is voorgesteld. Bij grootschalige proeven op een kleibekleding met een grasmat bleek dat de bekledingslaag meer dan 1 tot 2 etmalen tegen golfaanval bestand was, waarbij de werking van de grasmat en de beworteling waarschijnlijk een grote rol speelde. Volgens de erosietoestelproeven die op het materiaal zijn uitgevoerd, was de grond echter erosiegevoelig en zou ook grotendeels in die categorie vallen volgens de indeling naar grondparameters die in dit rapport wordt voorgesteld. De in dit onderzoek als erosiegevoelig aangemerkte monsters kwamen alle van taluds die een onregelmatig oppervlak hadden en/of waarvan bekend was dat er regelmatig schade na hoogwater werd geconstateerd. De rol van de grasmat en de wijze waarop erosiekrachten werkzaam zijn behoeft nader onderzoek.

Ten aanzien van de doorlatendheid van kleibekledingen kan worden gesteld dat de in dit onderzoek gemeten infiltratiesnelheden niet afwijken van elders op relevante wijze bepaalde waarden voor dijkbekledingen of voor de bovenste meter van gerijpte grond. De gemeten infiltratiesnelheid bedraagt tussen 10^{-6} en 10^{-4} m/s.

Ten aanzien van het watergehalte van dijkbekledingen kan worden vermeld dat er weinig systematisch onderzoek over dat onderwerp beschikbaar is. De gevonden waarden in een kort bronnenonderzoek weken niet af van wat in dit onderzoek is bepaald. Het watergehalte onder steenzetting op één locatie bleek eveneens weinig te verschillen van de in dit onderzoek bepaalde waarden. Ook bleek het watergehalte onder de steenzetting slechts zelden hoger dan dat bij een I_c van 0.75 te zijn zoals ook in dit onderzoek wordt gevonden.



10. ALTERNATIEVEN VOOR ATTERBERGSE GRENZEN,
KORRELGROOTTEVERDELINGSPARAMETERS EN MATERIAALSAMENSTELLING

In het onderzoek zijn correlaties tussen zandgehalte en constructieve eigenschappen naar voren gebracht. Het is niet mogelijk gebleken het zandgehalte daarbij te vervangen door bijvoorbeeld het gehalte aan deeltjes <math> < 16 \mu </math> of de lutumfractie. De effecten van de fijne deeltjes zijn immers van een geheel andere aard dan die van de grovere gronddeeltjes. De verschillen in ontstaanswijze van Nederlandse gronden doen niet vermoeden dat er voor Nederland een relevant eenduidige onderlinge verhouding tussen de verschillende fracties zal kunnen worden bepaald. De gewichtsfracties van de verschillende korrelgrootteklassen in een monster vertonen weliswaar enige samenhang (samen 100%), maar de verdelingen verschillen aanmerkelijk tussen monsters. Het verdient wel aanbeveling de gehalten aan verschillende korrelgroottefracties te bepalen voor het beoordelen van de korrelgrootteverdeling, mede in verband met het in dit onderzoek geconstateerde effect van het mengen van kleigrond.

De Atterbergse grenzen geven aanwijzingen over de interactie tussen water en vaste stof in grond en over de effecten daarvan op het gedrag van grond. In het onderzoek is ingegaan op de invloeden van verschillende chemische en fysisch-chemische parameters van grond op deze grenzen. Het is in het algemeen mogelijk om aan de hand van deze parameters vergelijkbare informatie over het gedrag van de grond te verkrijgen als uit de Atterbergse grenzen, in sommige gevallen zelfs betere informatie. De Atterbergse grenzen kunnen echter met relatief eenvoudige apparatuur worden bepaald. Indien er onduidelijkheid over de waarde van de bepaalde grenzen bestaat, kunnen aanvullende chemische bepalingen eventueel nadere informatie verstrekken.

In het onderzoek is ingegaan op de relatie tussen Atterbergse grenzen en de hoeveelheid water die tussen 100°C en 180°C nog uit grond verdwijnt na ontwatering bij 103°C (GD 1986, GD 1987b). Er blijkt een goede lineaire correlatie tussen de hoeveelheid hecht gebonden water en de vloeigrens en plasticiteitsindex te bestaan (ibid.). Mogelijk kan dit zogenaamde thermogravimetrisch onderzoek een alternatief voor bepaling van de Atterbergse grenzen zijn.

Thermogravimetrisch onderzoek is onder andere bekend voor het bepalen van het zogenaamde gloeiverlies. Inderdaad kan het gewichtsverlies door onder andere oxidatie van organische stof in het temperatuurtraject van circa 200°C tot 450°C worden bepaald. Andere stoffen in grond ondergaan in delen van dat temperatuurtraject eveneens reacties die met gewichtsverlies gepaard gaan (dehydratatie van ijzer- en aluminiumverbindingen). Het is mogelijk dat op thermogravimetrische wijze bepaalde schattingen van het organische stofgehalte in Nederlandse grond voldoende relevant zijn voor de beoordeling van grond voor bepaalde toepassingen. In het algemeen zullen er echter vaak belangrijke storende omstandigheden optreden en

bladnummer : - 69 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



GRONDMECHANICA
DELFT

voor beoordeling voor gebruik van grond als kleibekleding lijkt de methode daarom voorshands minder geschikt.

Bepaalde aspecten van de samenstelling komen uit thermische bepalingen aan grond naar voren. Met één relatief eenvoudig uit te voeren thermogravimetrische proef is het wellicht mogelijk de geschiktheid van grond voor gebruik als kleibekleding te beoordelen. Het thermische onderzoek van grond kan eveneens aanwijzingen geven over de aan- of afwezigheid van bepaalde substanties in de grond en daarmee tot de kwaliteit van de beoordeling bijdragen. Nader onderzoek hiernaar valt buiten het kader van dit onderzoek. Het lijkt echter van belang aandacht te schenken aan thermogravimetrische bepalingen gezien de mogelijkheden ervan voor het beoordelen van grondeigenschappen die met samenstelling en watergehalte samenhangen.



11. DE OPBOUW VAN DE DIJK EN DE DIKTE VAN KLEIBEKLEDINGEN

De opbouw van de dijk is van belang voor de waterhuishouding van de bovenlaag (de kleibekleding) van de dijk en daarmee voor de structuur die zich in de bovenlaag ontwikkeld. In de opbouw van de dijk zijn in algemene zin twee typen te onderscheiden namelijk de zogenaamde kleidijken en dijken die bestaan uit een zandlichaam dat met kleigrond is afgedekt. Naast de opbouw van de dijk heeft de bedekking van de dijk in de vorm van een grasmat of een asfaltbekleding, invloed op de structuurvorming in de bovenlaag.

11.1 De dikte van de kleibekleding

In het onderzoek zijn zones van invloed van veranderingen in grondwaterstand en atmosferische omstandigheden nagegaan door veranderingen van verzadigingsgraad te meten (GD 1986, GD 1987b). De bepalingen zijn verricht met de NEA- sonde (nucleaire dichtheids- en watergehaltemeting) in standpijpen die verschillende dijklocaties bij de teen en de kruin waren aangebracht tot 3 tot 4 m diepte. De metingen zijn steeds in voorjaar, zomer en najaar verricht. Daarnaast zijn er waarnemingen verricht aan twee voor een groot deel afgegraven kleidijken teneinde de structuur in dieper gelegen lagen van dijken te kunnen beoordelen (DWW/GD 1988 in voorbereiding).

Scheuren en spleten die in kleigrond zijn gevormd blijken tot een diepte van tenminste 2 tot 4 meter beneden de kruin van de dijk in de onverzadigde zone grotendeels intact. De waarnemingen aan dieper gelegen lagen in kleidijken melden dat fenomenen als wormgangen, krimpscheuren en dergelijke er in diepbegraven kleilagen net zo uitzien als nabij het huidige oppervlak van de dijk. Ook bleken zich krimpscheuren tot op een diepte van tenminste meer dan 2 meter te hebben gevormd in een kleilaag die op, of tegen, een dijk was aangebracht. Deze spleten werden onder andere gekenmerkt door de sterke verkleuringen die met oxidatieverschijnselen samenhangen. De vorming van deze spleten lijkt daarom een gevolg van het krimpen van natte, gereduceerde klei die vóór het aanbrengen niet aan het oppervlak heeft kunnen drogen.

Uit de metingen met de NEA- sonde komt naar voren dat invloeden van seizoensmatige veranderingen met betrekking tot het watergehalte tot een diepte van 1.5 tot 2 meter merkbaar zijn in kleidijken.

Scheuren en andere grote poriën blijven ook op grotere diepte kennelijk intact. In de hoeverre de invloeden van veranderingen van atmosferische omstandigheden effectief tot het vormen van structuur in dieper gelegen lagen bijdragen is niet goed te beoordelen met de huidige gegevens. De op 1.5 tot 2 m diepte met de NEA- sonde gemeten veranderingen in watergehalte bedragen slechts enkele procenten. Deze verandering is gering in vergelijking met de verschillen tot meer dan 10% die in de bovenste meter kunnen optreden. De volumeveranderingen



die in de ondergrond gepaard kunnen gaan met de genoemde seizoensmatige veranderingen in watergehalte zullen dus gering zijn. Structuurvorming met de daarbij behorende scheuren en dergelijke als gevolg van wisselende atmosferische invloeden zal derhalve gering zijn in kleigrond die dieper dan 1.5 tot 2 m onder het maaiveld ligt.

Indien het watergehalte van een grond bij het aanbrengen echter hoger is dan het watergehalte dat de grond bij de heersende zuigspanning kan bevatten zal de grond indrogen. Door het drogen zullen ook scheuren tot dieper dan 2 m beneden maaiveld kunnen ontstaan zoals die hiervoor zijn genoemd (DWW/GD 1988 in voorbereiding).

In de onverzadigde zone zijn watergehalteveranderingen gemeten die met fluctuerende grondwaterstand samenhangen. De invloeden van grondwaterfluctuaties op het watergehalte van de dieper gelegen lagen zijn in de meeste metingen met de NEA- sonde geconstateerd. Deze veranderingen zijn zodanig dat daardoor scheurvorming kan optreden in de diepere lagen in een dijk.

11.2. Vochttransport door de zandkern

De NEA- sonde- metingen gaven aan dat het watergehalte aan de basis van de kleibekleding op zand steeds relatief laag was. De oorzaak hiervoor is waarschijnlijk gelegen in het potentiaalverschil dat bestaat tussen relatief koude lagen in de ondergrond en de wat warmere kleibekleding. De onderkant van de kleibekleding kan enigszins droger worden door het transport van water door de voor waterdamp relatief goed doorlatende zandkern naar de koudere diepere ondergrond. De zuigspanning die aan de basis van de kleibekleding heerst, kan dus relatief hoger zijn dan in de rest van de kleibekleding. In hoeverre dit fenomeen tot sterke scheurvorming leidt is voorshands niet te beoordelen.

Door een onverzadigde zandkern zullen relatief weinig stoffen in opgeloste vorm door diffusie getransporteerd worden. Invloeden van zout grondwater op de bekleding zullen daarom in een dijk met een zandkern minder zijn dan in kleidijken. Het uitspoelen van zout uit de bekleding zal echter niet sterk door een zandkern worden beperkt vanwege de voornamelijk verzadigde infiltratie- stroming bij sterke neerslag.

11.3 Aanleg van de bekleding

Een kleibekleding is na het aanbrengen een kortere of langere periode van tenminste enkele maanden, afhankelijk van het seizoen, niet door een grasmat bedekt. Gedurende deze periode kan de bestendigheid tegen erosie slechts van het bekledingsmateriaal zelf komen. Deze omstandigheden zijn nagegaan met 2 grootschalige erosieproeven op kleibekledingen in de Deltagoot (LGM 1985b). De resultaten van deze proeven komen overeen met de beoordeling van de erosiegevoeligheid van



de gebruikte grond aan de hand van zandgehalte en Atterbergse grenzen met de criteria die in dit rapport worden genoemd. Erosietoestelproeven op gemaakte, geheel geroerde, monsters geven in het algemeen eveneens resultaten die overeenkomen met de in dit onderzoek voorgestelde onderverdeling van grond naar erosiegevoeligheid. De monsters die van natte kleibrokjes waren opgebouwd bleken in het algemeen enigszins aan de erosiegevoelige kant. De voorgestelde onderverdeling van grond lijkt gezien de resultaten van het PROVO- onderzoek voorshands geschikt om de erosiebestendigheid van kleigrond te beoordelen zoals die direct na het aanbrengen zal zijn.

Het is van belang dat de grond bij het aanbrengen geen lenzen en lagen van zeer erosiegevoelig materiaal bevat. Deze insluitels ondermijnen de erosiebestendigheid van de bekleding doordat de interne samenhang erdoor wordt onderbroken. Tevens kunnen er na het eroderen van deze insluitels, aangrijpingspunten ontstaan voor het opbouwen van drukken in het eroderende water.

De doorlatendheid van pas aangebrachte homogeen verdeelde kleigrond is zeer laag. Pas na verloop van enkele maanden bereikt de doorlatendheid waarden die voorkomen in gerijpte, gestructureerde, grond.

Het watergehalte bij het aanbrengen is van groot belang voor de mogelijke vorming van grote scheuren door het indrogen van de grond na het aanbrengen. Het water van bijvoorbeeld een regenbui blijft gedurende tenminste de eerste uren voornamelijk aan de buitenkant van de kluiten hangen. Door het intensieve mengen bij het verwerken van grond kan worden aangenomen dat bij verwerking tijdens of kort na een regenbui het regenwater effectief zal gaan bijdragen tot de krimp van de grond die kan gaan optreden. Een hevige bui waarin 20 mm water op de grond valt, doet het watergehalte van een laag van 1 meter grond echter niet meer dan 1 tot 2 % toenemen. In veel gevallen zal bovendien een deel van het regenwater door de grote poriën in de grond kunnen wegstromen. Bij langere perioden van neerslag en bij slechte drainage- of verdampingscondities zal het watergehalte van grond echter significant kunnen toenemen. Het beoordelen van het watergehalte voor het aanbrengen dient dergelijke omstandigheden in beschouwing te nemen.

11.4 Invloeden van de grasmat op de bekleding

Een vegetatie op een kleibekleding zal aanleiding tot grotere seizoensfluctuaties in watergehalte geven dan een bekleding met steen of asphalt. De planten onttrekken in de groeiperiode een grote hoeveelheid water aan de grond. Het is daarom waarschijnlijk dat de structuurvorming in belangrijke mate wordt beïnvloed door de vegetatie en daarmee de constructieve eigenschappen van de grond. De vegetatie heeft daarnaast eveneens invloed op de constructieve eigenschappen van de bekleding door het afschermen tegen erosiekrachten enerzijds en

bladnummer : - 73 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



GRONDMECHANICA
DELFT

anderzijds door de doorworteling die extra sterkte aan de grond geeft. De min of meer los samenhangende kruimels en blokken die de bodemstructuur vormen, kunnen door wortels bijeen gehouden worden.

De resultaten van grootschalige erosieproeven op kale kleibekleding in de Deltagoot waren in overeenstemming met de bevindingen van erosietoestelproeven en met de hier beschreven beoordeling van kleigrond. Zoals uit onder andere de grootschalige erosieproeven in de stroomgoot bij Lith bleek (WL 1984), vervult de grasmat een belangrijke functie voor bepaalde erosieprocessen. Het grootste deel van de grond waar de proeven op werden uitgevoerd bleek weinig erosiebestendig bij de erosietoestelproeven en zou dat ook zijn volgens de in dit rapport aangegeven beoordelingswijze van kleigronden. Slechts enkele monsters van het materiaal komen als erosiebestendig naar voren. In de grootschalige proef bleef de grasmat gedurende meer dan een etmaal de grond tegen de golfaanvallen beschermen. Ook bleek uit de beschrijving van één van de twee beproefde stukken dijkbekleding dat sterke erosie optrad waar de grasmat niet intact was.

Een andere relatie tussen schade aan dijktaluds en de grond waaruit deze is opgebouwd volgt uit het hier gerapporteerde onderzoek en de waarnemingen aan taluds. Van de 10 taluds van dijken waaruit de monsters waren genomen die in dit onderzoek als erosiegevoelig zijn beschreven, bleken er 4 regelmatig schade te ondervinden bij hoog water en bleken er 5 een zeer onregelmatig oppervlak te hebben zonder dat de oorzaak daarvan kon worden achterhaald. De monsternamen voor één van de schade-locaties vond plaats op een stukje talud dat zelf geen schade ondervond en dat door een oprit enigszins tegen directe golfaanval was beschermd (IJLo⁴). Het bemonsterde materiaal was echter geheel identiek aan het materiaal van het tracé ernaast waar jaarlijks schade bij hoog water optrad (visuele beoordeling van handboormonsters). Het talud van de tiende locatie had een onregelmatig oppervlak wat tenminste voor een groot deel het gevolg was van graafoveractiviteiten van knaagdieren. Er is kennelijk een verband tussen de hier afgeleide erosiegevoeligheid van grond en de conditie waarin het talud verkeert. Er bestaat onduidelijkheid over de rol van het beheer bij het optreden van deze schade. Met name over de vraag in hoeverre de grasmat intact was voor het hoog water kon eroderen, is voorshands nog niets bekend. De resultaten van de grootschalige erosieproeven wijzen erop dat de grasmat een belangrijke rol speelt. Het is uiteraard mogelijk dat de schade optreedt op plaatsen die door bijvoorbeeld betreding reeds zijn aangetast. Het kan zijn dat de in dit onderzoek als erosiegevoelig beoordeelde grond eveneens een categorie grond omschrijft die een zodanig gedrag bij betreden vertoont dat de grasmat snel wordt beschadigd.



12. CONCLUSIES

Uit het onderzoek komt naar voren dat de bodemstructuur van onverzadigde grond van groot belang is voor constructieve eigenschappen als erosiegedrag en doorlatendheid. De interactie van de vaste stof met het water in de grond bepaalt voor een groot deel de ontwikkeling van structuur in onverzadigde grond. Chemische en fysisch- chemische parameters van grond geven inzicht in de werking van deze interactie bij de negatieve waterspanningen die in onverzadigde kleibekledingen voorkomen. Deze negatieve waterspanningen in kleibekledingen variëren in het algemeen rond 50 kN/m^2 en in zomeromstandigheden rond 100 kN/m^2 .

Volumeveranderingen van grond tijdens het krimpen en zwellen onder natuurlijke omstandigheden hangen samen met watergehalteveranderingen. Voor de meeste gronden bestaat er een bijna lineair verband tussen volume- en watergehalteverandering. De volumeverandering bedraagt ongeveer de helft van de watergehalteverandering.

De infiltratiesnelheid van kleibekledingen varieert in het algemeen tussen 10^{-6} en 10^{-4} m/s, waarbij bijna al de waarnemingen hoger dan 10^{-5} m/s zijn. De infiltratiesnelheid wijkt niet af van de waarden die elders voor onverzadigde gronden zijn bepaald. De infiltratiesnelheid wordt daarom niet van belang geacht in verband met het beoordelen van de kwaliteit van kleigrond voor gebruik als kleibekleding op dijken.

Erosie van kleibekledingen is nagegaan met erosietoestelproeven en met gegevens van elders uitgevoerde proeven op kleibekledingen van dijken. Uit deze laatste proeven blijkt dat de aanwezigheid en kwaliteit van een grasmat van belang is voor de erosiebestendigheid van een kleitalud. De kwaliteit van de grond blijkt echter ook een belangrijke rol in deze erosiebestendigheid te spelen. Uit het onderzoek blijkt dat de te verwachten erosiebestendigheid van grond kan worden beoordeeld op grond van korrelgroottekenmerken en de Atterbergse grenzen (consistentiegrenzen). Uit het onderzoek blijkt dat de volgende indeling van grond ten aanzien van de beoordeling van erosiegevoeligheid gemaakt kan worden, en wel:



- Erosiegevoelige grond: Grond met een zandgehalte (fractie $> 63\mu$) hoger dan bijvoorbeeld 35 gewichtsprocenten en, dan wel of, met een plasticiteitsindex lager dan 18% of met een plasticiteitsindex lager dan $0.73 \times (\text{vloeigrens} - 20)$ en, dan wel of, grond waarvan de uitrolgrens niet kan worden bepaald door de aard van het materiaal;
- Weinig erosiegevoelige grond: Grond met een zandgehalte lager dan bijvoorbeeld 35 gewichtsprocent en met een vloeigrens hoger dan 45% en een plasticiteitsindex hoger dan $0.73 \times (\text{vloeigrens} - 20)$;
- Matig tot weinig erosiegevoelige grond: Grond die niet in één van de beide hierboven beschreven categoriën voorkomt.

De verhouding tussen plasticiteitsindex en vloeigrens die in de indeling wordt gebruikt, betreft de zogenaamde A- lijn in zogenaamde plasticiteitsdiagrammen (zie figuur 6.19). De A- lijn wordt in Angelsaksische gebieden voor het klassificeren van fijnkorrelige grond gebruikt. De vergelijking van de A- lijn luidt:

$$PI = 0.73 \times (PL - 20) \text{ waarin } PI = \text{ plasticiteitsindex en } PL = \text{ vloeigrens}$$

Het watergehalte van kleigrond bij het aanbrengen is van belang voor de verwerkbaarheid en voor de mogelijke vorming van grote permanente scheuren in de grond die de samenhang van de kleibekleding ernstig ondermijnen. In dit onderzoek is ingegaan op dit laatste aspect. Het watergehalte in bestaande kleibekledingen bleek zelden hoger te zijn dan het watergehalte dat de onderzochte gronden bij een consistentie-index (I_c) van 0.8 zouden hebben. De consistentie- index hangt samen met de Atterbergse grenzen van grond als in de volgende vergelijking:

$$I_c = (\text{vloeigrens} - \text{watergehalte}) / (\text{vloeigrens} - \text{uitrolgrens})$$

Voor de beoordeling van grond ten aanzien van de verwerkbaarheid wordt er wel van uit gegaan dat de consistentie- index hoger dan 0.8 dient te zijn. De beoordeling van grond naar het watergehalte om de vorming van grote scheuren te voorkomen kan dezelfde grens hanteren. Uit het verband tussen volumeverandering en watergehalteverandering van grond die in dit rapport wordt genoemd kan worden opgemaakt in hoeverre een lagere I_c - waarde van grond effectief tot grote scheuren kan leiden. Voor gronden met een plasticiteitsindex van minder dan 20% kunnen enigszins lagere I_c - waarden worden gehanteerd.

bladnummer : - 76 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



GRONDMECHANICA
DELFT

Over de mate en de snelheid waarin omgevingsomstandigheden (zoals het weer, grondwaterniveau en inundatie) het watergehalte en de volumeveranderingen beneden 1 m onder het dijkoppervlak kunnen beïnvloeden, zijn weinig gegevens beschikbaar. Nader onderzoek naar deze invloeden lijkt van belang voor het beoordelen van grond voor gebruik in dijken en voor het ontwerpen van dijkconstructies.

Over de interactie tussen de grasmat en de grond bij erosiebelasting zijn op dit moment nog geen gegevens beschikbaar. Het lijkt van belang hier nader onderzoek naar te verrichten. In dat onderzoek zou onder andere onderscheid gemaakt dienen te worden naar de verschillende mechanismen waardoor erosie kan optreden op grastaluds. Het onderscheid zou betrekking moeten hebben op erosie in de vorm van het wegspoelen van kleine, vaak individuele, gronddeeltjes en erosie in de vorm van het losraken en vervolgens verdwijnen van brokken grond uit taluds.

De hierboven genoemde waarden voor Atterbergse grenzen en zandgehalten zijn vastgesteld aan onderzoek van gronden met circa 10 tot 38 % lutum (fractie $< 2\mu$) en een organische stofgehalte van minder dan 5%. Er zijn voorshands geen redenen waaruit blijkt dat bij hogere lutum- of organische stofgehalten significante afwijkingen van de in dit rapport genoemde relaties tussen grondeigenschappen en parameters optreden. Zeer hoge organische stofgehalten zoals in venige klei kunnen echter aanleiding tot grote afwijkingen geven. Het toevoegen van bepaalde synthetische organische kunstmestsoorten of grondverbeterende organische stoffen kunnen eveneens tot grote afwijkingen leiden.

Er zijn voorshands geen redenen om aan te nemen dat er kleigronden zijn die grote afwijkingen vertonen van de in dit rapport naar voren gebrachte correlaties tussen Atterbergse grenzen en korrelgrootteverdeling enerzijds met de interacties tussen vaste stof en water en de gevolgen daarvan anderzijds. Meer zekerheid over de relevantie van de genoemde relaties voor een bepaalde grond kan echter worden verkregen uit beschrijvingen van de kleur, zichtbare bijmengingen en bepaling van de samenstelling. Indien een grond sterk afwijkende kleuren vertoont of gaat vertonen na ontgraving (zeer donker, helder bruin-rood, helder geel, helder blauw, veel zwarte vlekken), of zeer hoge kalk- of organische stofgehalten heeft (respectievelijk $> \sim 25\%$ en $> \sim 8\%$), een duidelijk van natuurlijke gronden afwijkende korrelgrootteverdeling heeft dan wel een relatief hoge grove siltfractie of grindfractie heeft, of sterk naar waterstofsulfide ruikt ("rotte eieren geur") verdient het aanbeveling nader onderzoek te verrichten naar de invloeden van de samenstelling van die grond op de constructieve eigenschappen.

bladnummer : - 77 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



GRONDMECHANICA
DELFT

De bepaling van de Atterbergse grenzen en de korrelgrootteverdeling in het onderzoek zijn verricht volgens de procedures zoals die in de bijlage VII zijn beschreven en gebruikelijk zijn bij GRONDMECHANICA DELFT. Ten overvloede zij het volgende daarbij nog vermeldt:

Ten aanzien van de bepaling van de Atterbergse grenzen is het van belang dat de monsters niet sterk kunnen indrogen of uitspoelen in de periode tussen monsternamen en bepaling. Voor het bepalen van de korrelgrootteverdeling is de voorbereiding voor het los maken van de deeltjes van belang voor kleigronden. De sterkte van een deel van de deeltjes in kleigrond is relatief gering. Anderzijds zijn sommige verbindingen tussen deeltjes relatief sterk. De mate van segregeren van de deeltjes en het uiteenvallen van de deeltjes is van de methode afhankelijk. In dit onderzoek is voor het segregeren slechts gebruik gemaakt van ultrasoon trillen van een gepeptiseerde grond- water suspensie gedurende 5 minuten.

Het gehalte aan deeltjes kleiner dan 16μ is in sommige aspecten van het onderzoek aan de orde geweest. Het gehalte aan deeltjes $< 16 \mu$ van de monsters varieert in het algemeen omgekeerd evenredig aan het zandgehalte. De afwijkingen bleken echter zodanig dat het gehalte aan fijne deeltjes minder verband met de constructieve eigenschappen vertoonde dan het zandgehalte. Voor het lutumgehalte van de onderzochte gronden (gehalte aan deeltjes $< 2 \mu$) gold dit laatste in nog hogere mate.

In het onderzoek is de relatie tussen thermogravimetrische karakteristieken van grond en Atterbergse grenzen en samenstelling van grond aan de orde geweest. Uit het onderzoek komt naar voren dat het wellicht mogelijk is om aan de hand van thermische analyseparameters van grond te komen tot beoordeling van geschiktheid van grond voor bepaalde doeleinden. Hiervoor is nader onderzoek noodzakelijk.



Literatuur:

- ASTM 1985: Annual Book of ASTM Standards. Section 4 Construction; Vol. 04.08 Soil and Rock; Building Stones. pp 395- 407.
- Bouma, J. 1981: Soil morphology and preferential flow along macropores. Agric. Water Manag., 3, pp.235-250.
- BSI 1981: Code of practice for site investigations: Section 8 Description of soil and rock. pp 100- 120.
- COW 1980: Infiltratieproef in het binnentalud van een kleidijk nabij Zierikzee. Rapport COW S-75.046, RWS DWW Delft, 11pp.
- COW 1984: Klei, bestekseisen ten behoeve van constructie en uitvoering, overzicht huidige kennis en onderzoeksvoorstel. COW rapport S-81.023, RWS DWW Delft, 44pp.
- DWW/GD 1988: Beschrijving van opbouw en structuur van doorgraven dijken langs de Waal. (In voorbereiding)
- GD 1986: Onderzoek van kleibekleding van dijken langs IJssel en Pannerdens Kanaal voor het ontwikkelen van keuringseisen voor klei. Rapport CO- 275921/47, Grondmechanica Delft, 73 pp.
- GD 1987a: Infiltratiesnelheidsmetingen en materiaalkarakteristieken van het buitentalud van de IJsseldijk nabij Terwolde en Veessen. Rapport CO- 287750/09, Grondmechanica Delft, 27pp.
- GD 1987b: Onderzoek van kleibekledingen van dijken aan zout en brak water in Friesland, Zuid Holland en Zeeland voor het ontwikkelen van keuringseisen voor klei. Rapport CO- 275923/29, Grondmechanica Delft, 81 pp.
- GD 1987c: Resultaten van volumeverandering door verandering van zuigspanning in onverzadigde kleigrond. Rapport CO- 275923/33. Grondmechanica Delft, 16pp.
- HA 1984: Onderzoek klei in verbeterde dijkvakken. Heidemij Adviesbureau Rapport AND07/D/Ede, Arnhem, 25pp.
- Hall, D.G.M., M.J. Reeve, A.J. Thomasson, V.F. Wright 1977: Water retention, porosity and density of field soils. Soil Survey Techn. Monograph No. 9, Harpenden, 73 pp.
- Koolen, A.J. & H. Kuipers 1983: Agricultural soil mechanics. Springer, New York 241 pp.
- LGM 1983: Natuurmetingen in kleilaag onder betonblokkenbekleding in de Oesterdam. Rapport CO- 416368/, Grondmechanica Delft, 26pp.

bladnummer : - 79 -
ons kenmerk: CO- 275925/14
datum : september 1988



**GRONDMECHANICA
DELFT**

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

LGM 1985b: Kleionderzoek Deltagootproeven "Provo". Rapport CO-416550/4, Grondmechanica Delft, 20 pp.

LGM 1985c: Klei onder steenzettingen, Oesterdam en Philipsdam: Onderdeel erosieproeven. Rapport LGM CO- 416440/31, Grondmechanica Delft, 38pp.

Methods of Soil Analyses 1969:

Mitchell, J.K. 1976: Fundamentals of soil behaviour. Wiley & Sons, New York, 422 pp.

Poelman, J.N.B. & Th. Van Egmond 1979: Uit eenvoudige karakteristieken af te leiden vocht karakteristieken voor zee- en rivierkleigronden. STIBOKA rapport no. 1492, Wageningen 18 pp.

RWS 1978: Eisen 1978 voor bouwstoffen in de wegenbouw. Rijkswaterstaat, 's Gravenhage, 191 pp.

RWS 1985: Klei onder steenzettingen voor de Oesterdam en Philipsdam. RWS Dir. Zeeland, 44 pp.

Scheffer, F., & P. Schachtschabel 1970: Lehrbuch der Bodenkunde. ENKE Verlag Stuttgart, 448 pp.

Sykora, K.V. & C.I.J.M. Liebrands 1987: Natuurtechnische en civieltechnische aspecten van rivierdijkvegetaties. Landbouw Un. Wageningen, Wageningen, 194 pp.

TAW 1985: Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken: Deel I Bovenrivierengebied. Staatsuitgeverij, 227 pp.

VROM 1983: Fysische bodemonderzoeksmethoden voor de onverzadigde zone. Bodembescherming No. 22, Min. van VROM.

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

WL 1984: Erosiebestendigheid van gras op klei taluds. Rapport Waterloopkundig Laboratorium M 1930 en Laboratorium voor Grondmechanica CO-26412/15, WL, 28pp.



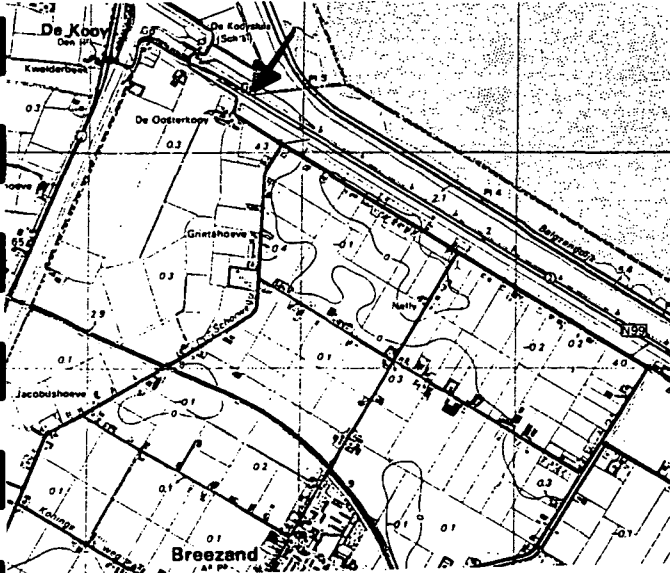


fig. 1: locatie dp124 (waddenzee)
 kaartnr. 14B

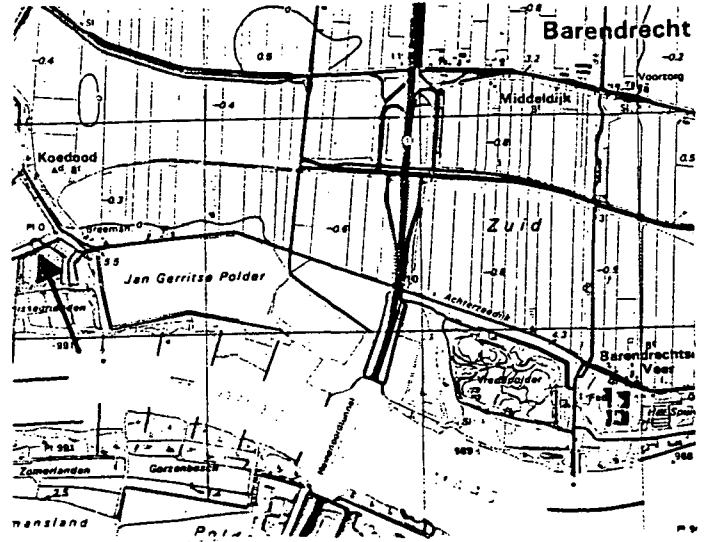


fig. 2: locatie bar (Oude Maas)
 kaartnr. 37H

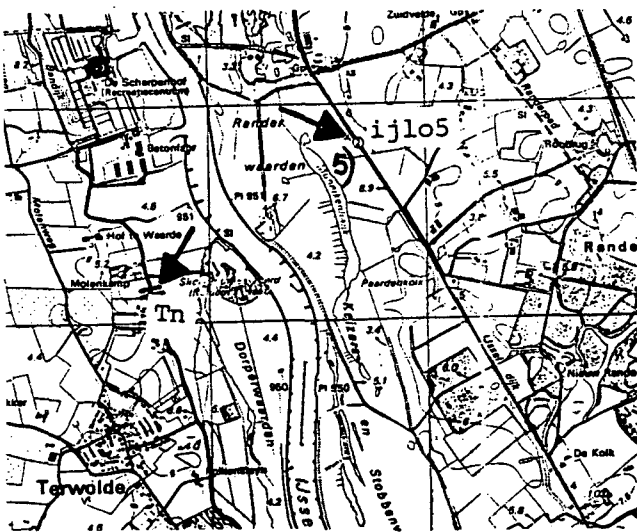


fig. 3: locatie ijlo5 Tn+Tz (IJssel)
 kaartnr. 27G

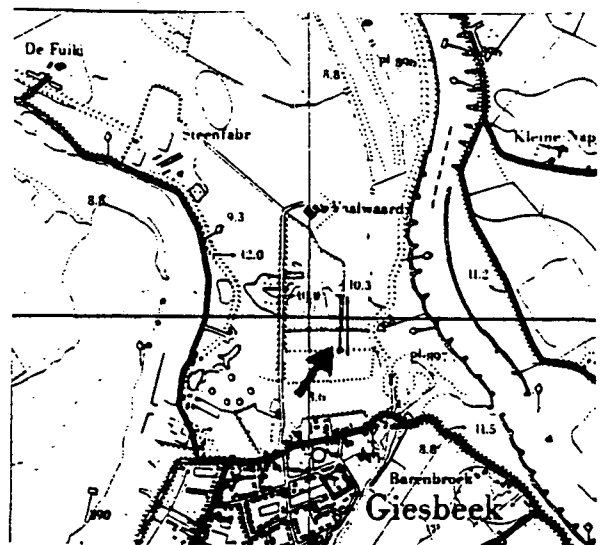


fig. 4: locatie giesb (IJssel)
 kaartnr. 40E

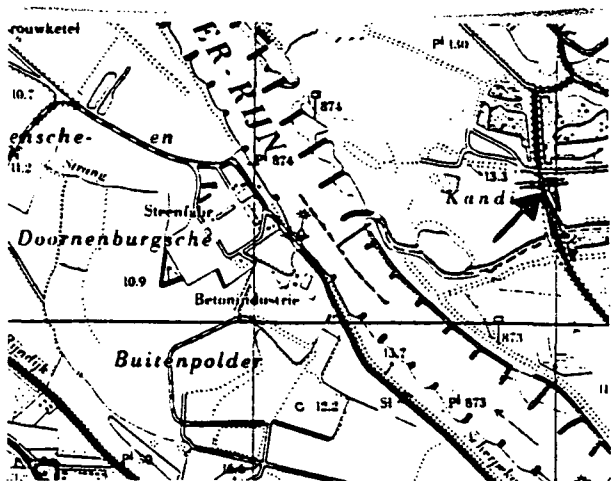


fig. 5: locatie kandia (Pannerdens Kanaal)
 kaartnr. 40D

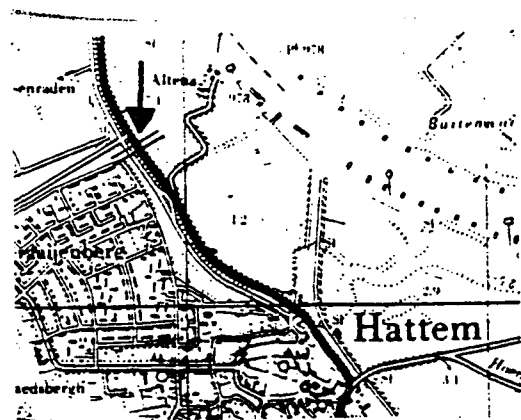


fig. 6: locatie hatterem (IJssel)
 kaartnr. 27E

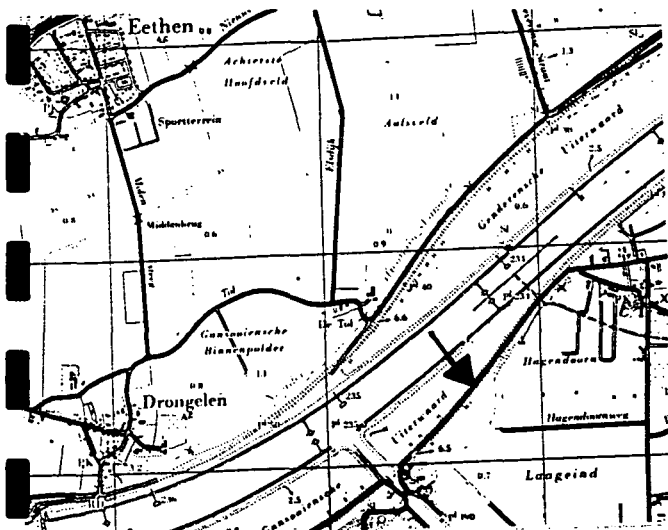


fig. 7: locatie wijk (Bergse Maas)
 kaartnr. 44F

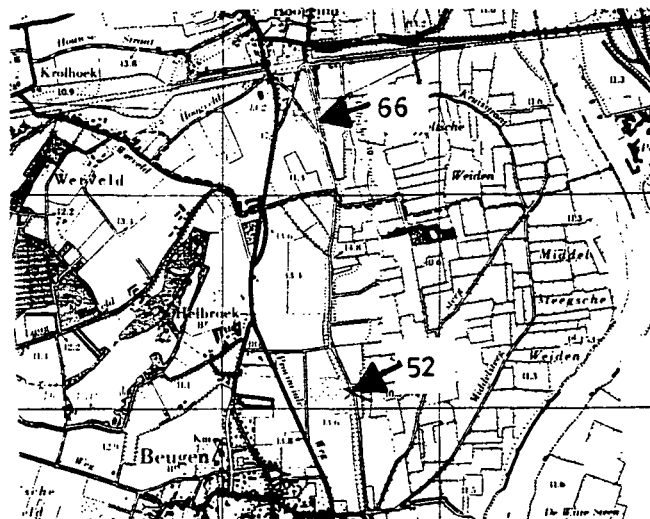


fig. 8: locatie hmp52+hp66 (Maas)
 kaartnr. 46D

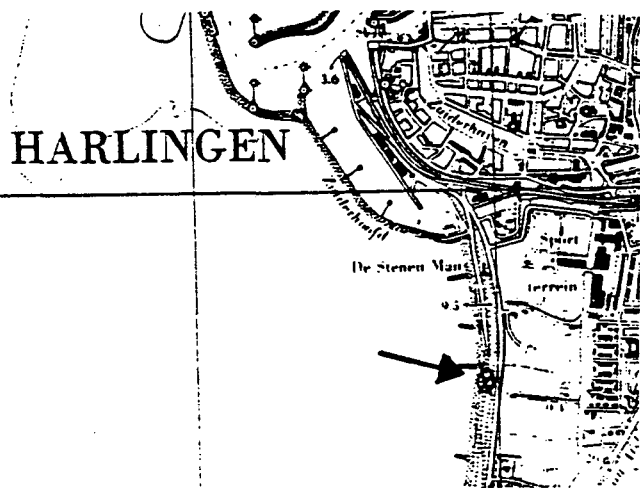


fig. 9: locatie har (Waddenzee)
 kaartnr. 5D

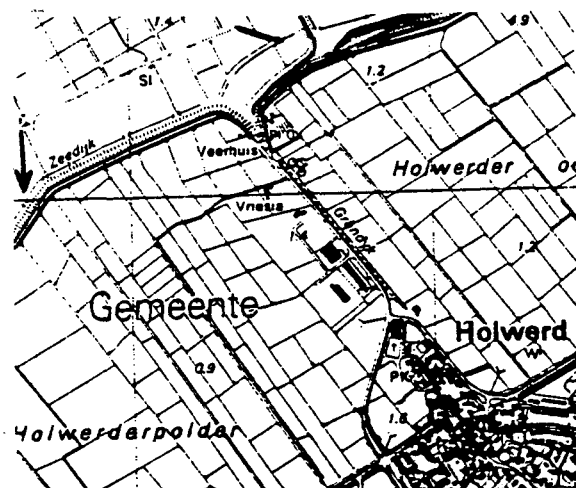


fig. 10: locatie hol (Waddenzee)
 kaartnr. 6A

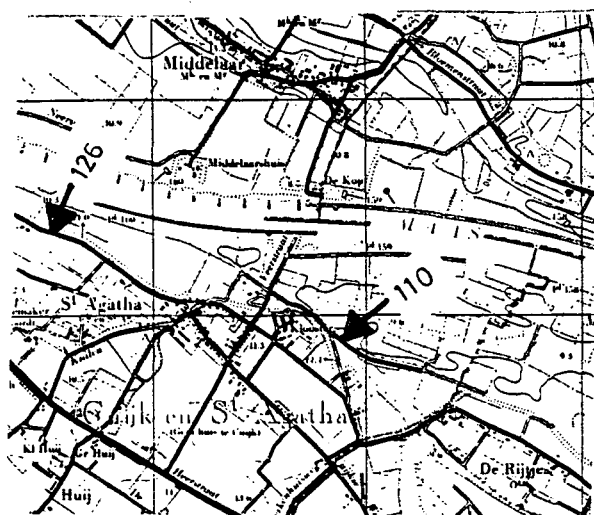


fig. 11: locatie hp110+hp126 (Maas)
 kaartnr. 46D

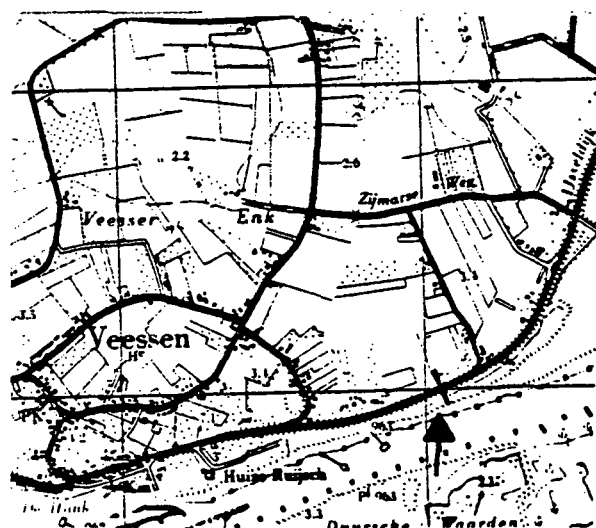


fig. 12: locatie vee (IJssel)
 kaartnr. 27E



fig. 13: locatie seing (Westervoort IJssel)
 kaartnr. 40B

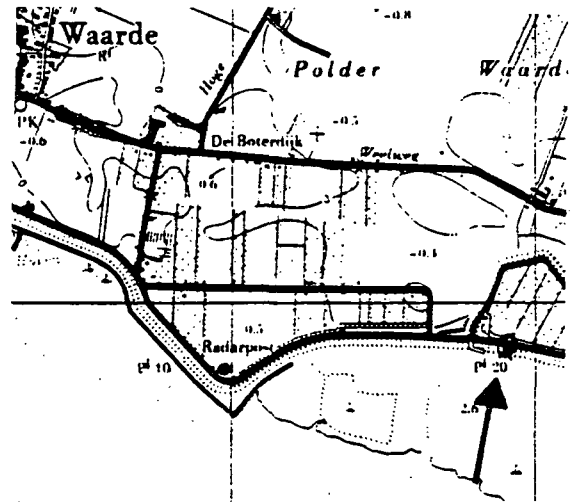


fig. 14: locatie waa (Westerschelde)
 kaartnr. 49C

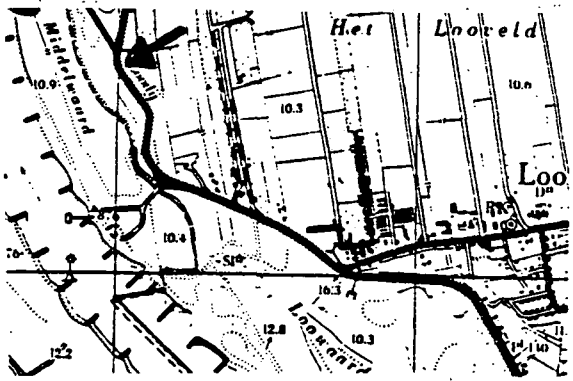


fig. 15: locatie loo (Pannerdens Kanaal)
 kaartnr. 40B

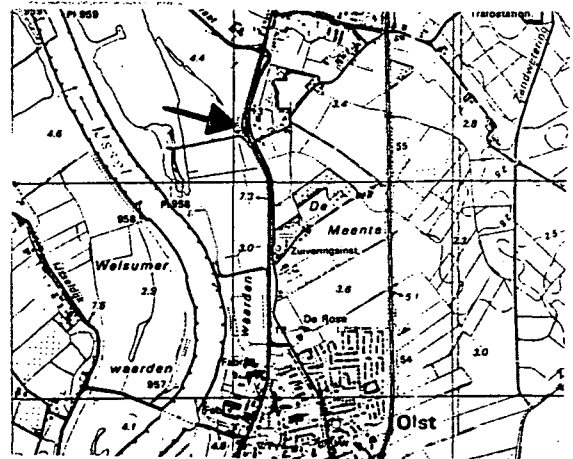


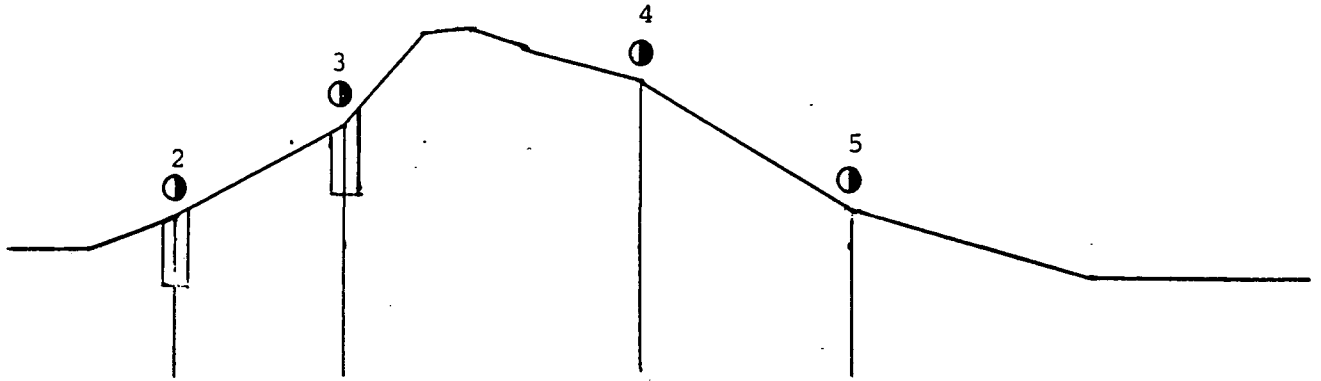
fig. 16: locatie dkst (IJssel)
 kaartnr. 27G



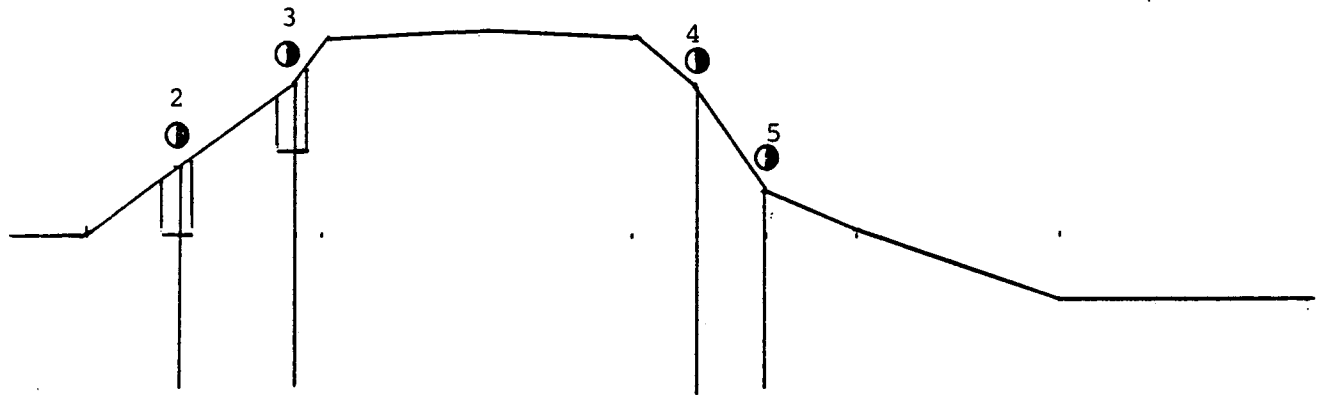
fig. 17: locatie herxen (IJssel)
 kaartnr. 27E



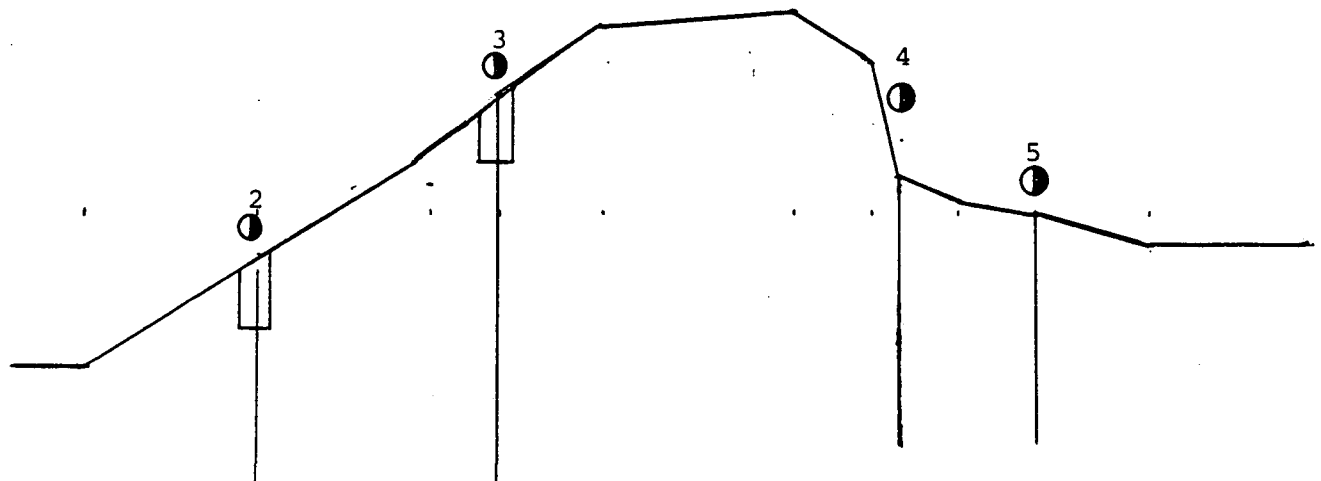
fig. 18: locatie ijlo4 (Wijhe, IJssel)
 kaartnr. 27E






figuur 1: locatie: Terwolde Zuid, HMP 230 (-20 m)



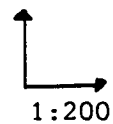
figuur 2: locatie: Terwolde Noord, HMP 230 (+30 m)





figuur 3: locatie Vee

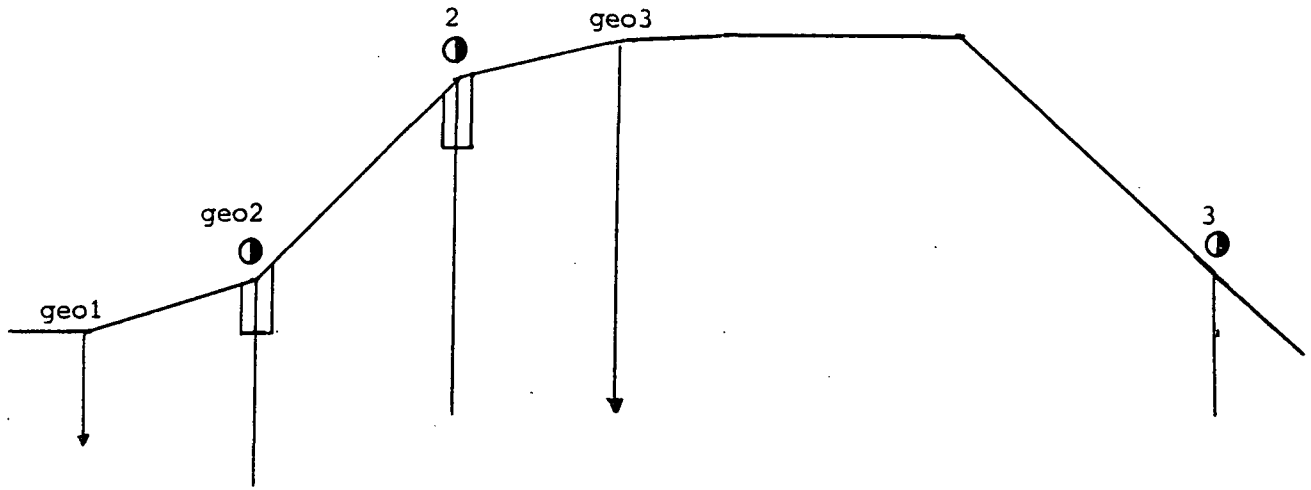
- legenda:
-  = profiel kuil
 -  = boring
 - geo  = geo-electrische meting

schaal 1:100

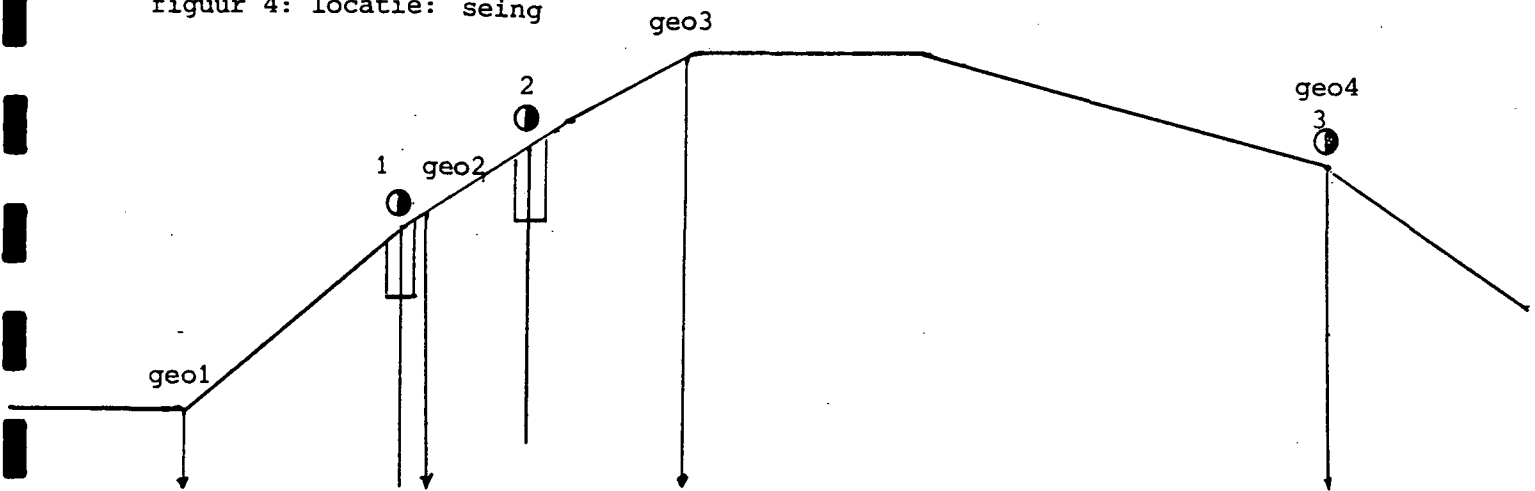




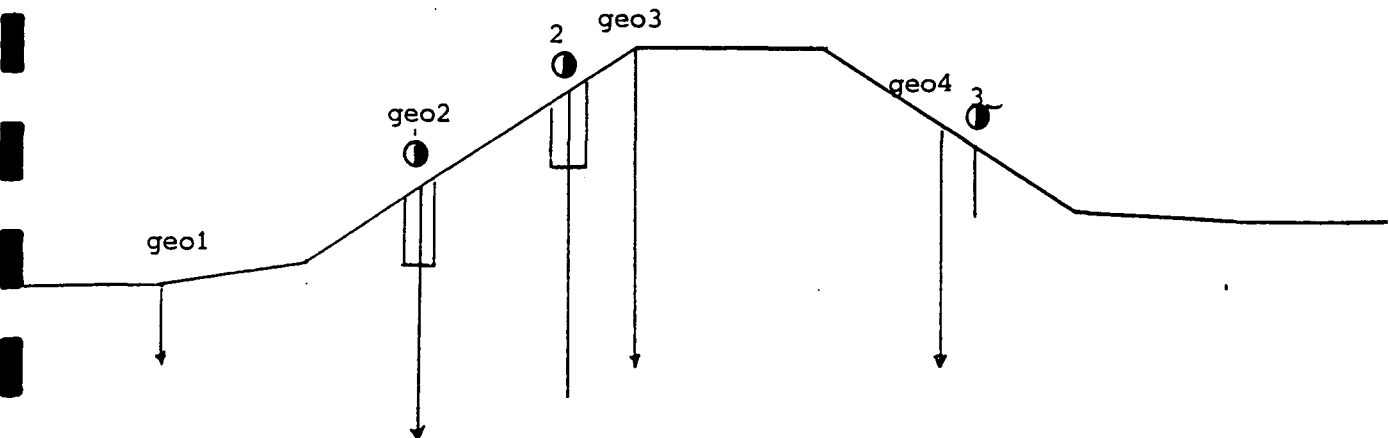
legenda:  = profielkuil
 = boring
geo = geo-electrische meting




figuur 4: locatie: seing

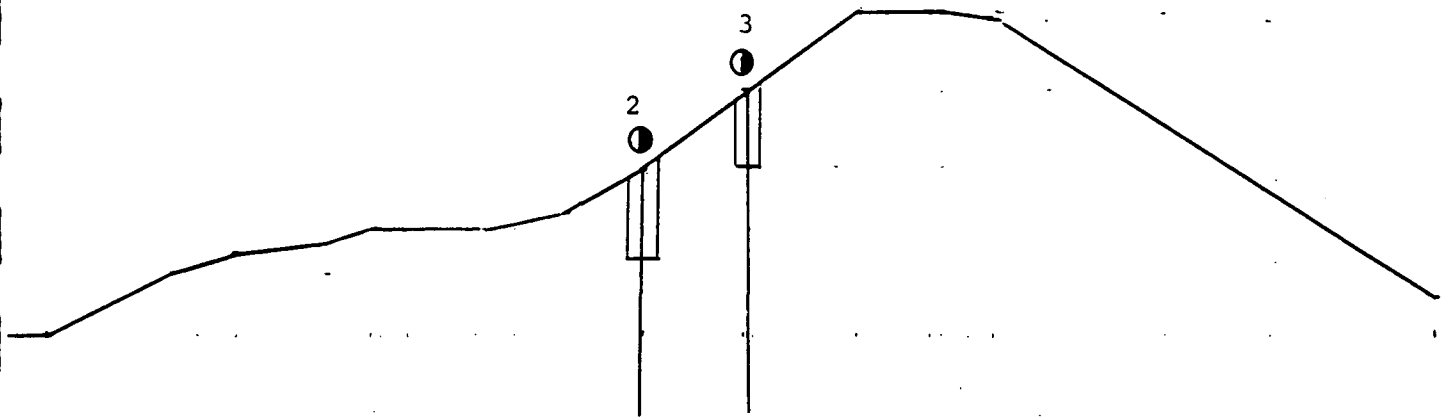


figuur 5: locatie: kandia

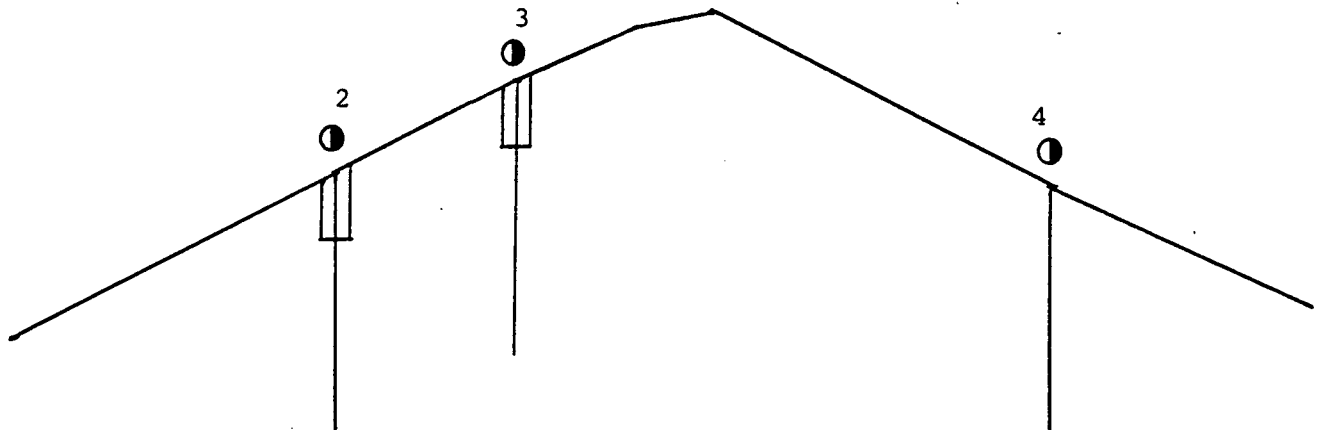


figuur 6: giesb




schaal 1:100 
1:100

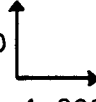


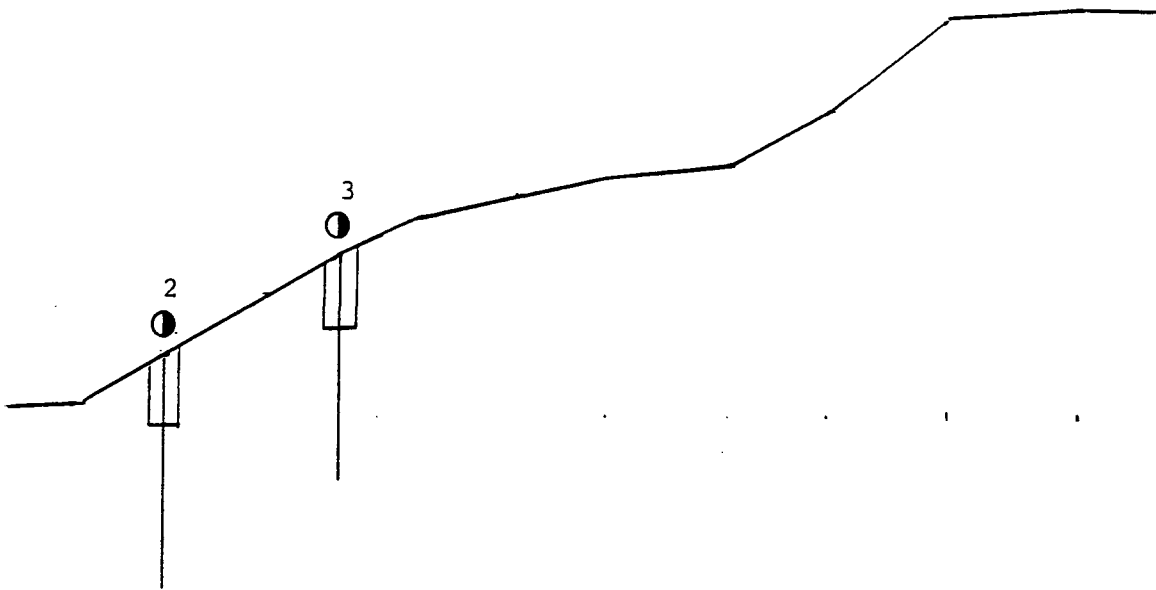
figuur 7: locatie: bar



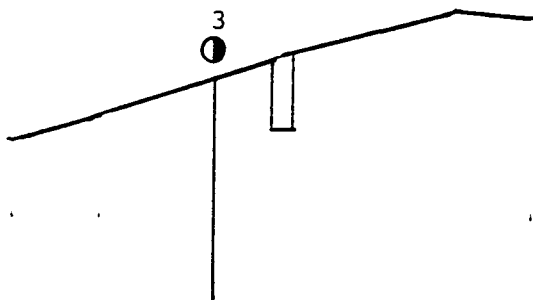
figuur 8: locatie har

legenda:  = profielkuil
 = boring
 = geo-electrische meting

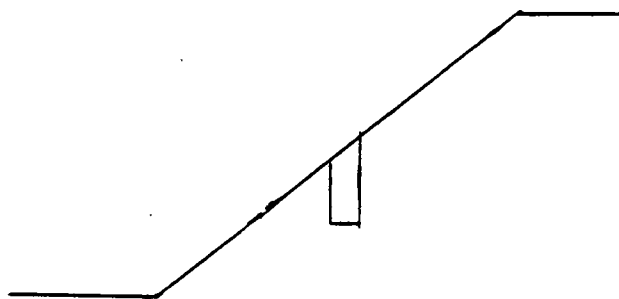
schaal 1:100 
1:200






figuur 9: locatie: Waa



figuur 10: locatie: hol



figuur 11: locatie: dkst



legenda:  = profielkuil
 = boring
 = geo-electrische meting

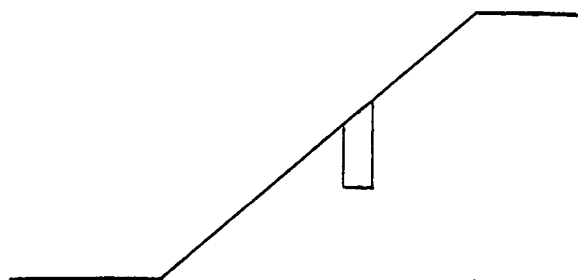
schaal

1:100
1:200

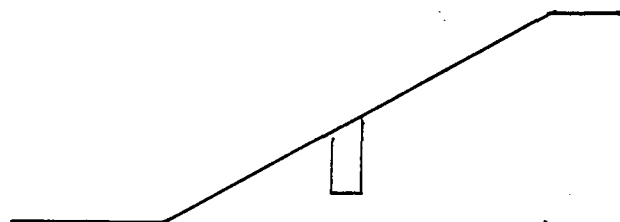


legenda:

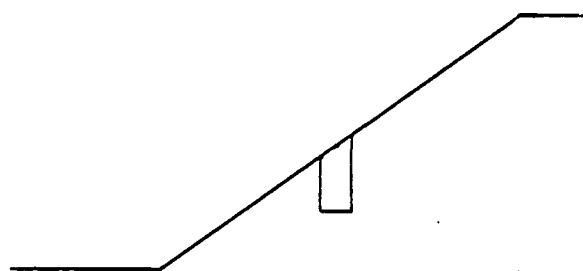
-  = profielkuil
-  = boring
- geo = geo-electrische meting



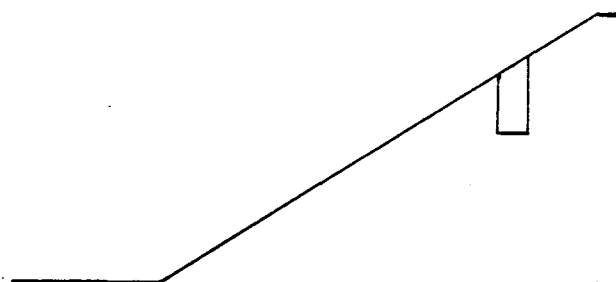
figuur 12: locatie: hrxl



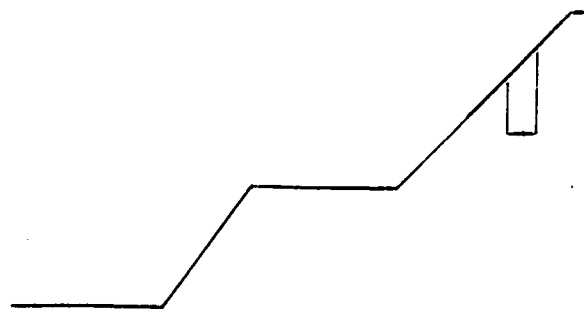
figuur 13: locatie: ijlo4



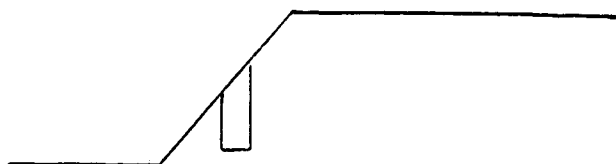
figuur 14: locatie: ijlo5



figuur 115: locatie wlwk



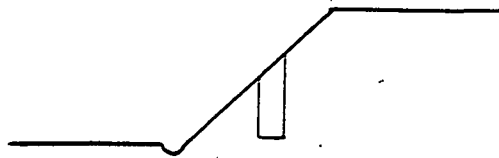
figuur 16: locatie: dp 124



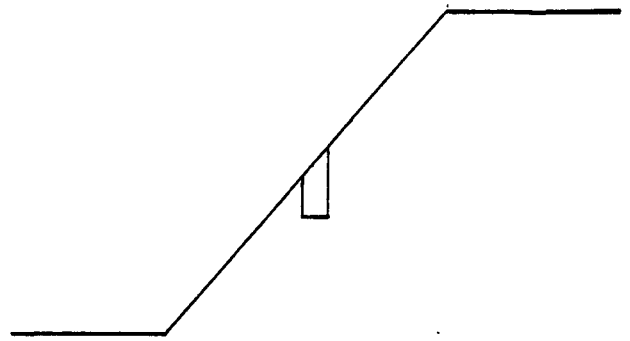
figuur 17: locatie: hmp 52

schaal 1:100

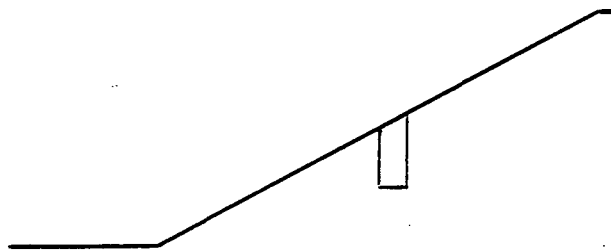







figuur 18: locatie: hmp66




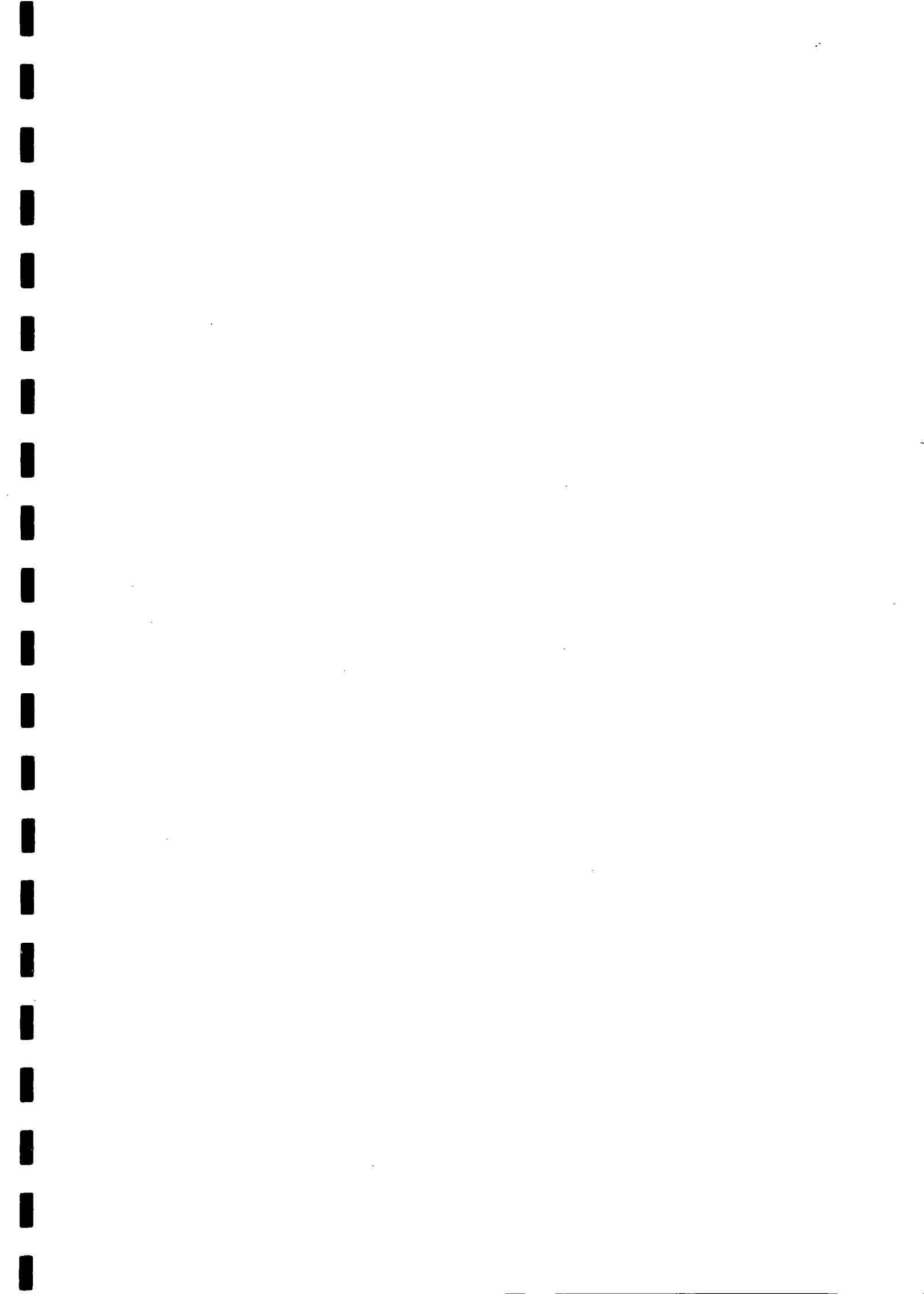
figuur 19: locatie: hp110



figuur 20: locatie: hp126

legenda:  = profiel kuil
 = boring
geo  = geo-electrische meting

schaal 1:100 
1:200



BIJLAGE II
 bij rapport CO- 275925/..
 Gegevens over samenstelling en constructieve eigenschappen
 pagina : - 10 -

Tabel 1:

Verzamelde standaardbepalingen:
 <2mu, <16mu, >63mu, >2mm korrelgroottefracties in gewichtsprocenten
 pl= vloeigrens, pp= uitrolgrens, pi= plasticiteitsindex
 spopp= specifiek oppervlak in m2/g droge stof
 kalk= gewichtsverlies in gewichtsprocenten bij HCl behandeling
 orgm= organisch materiaal (H₂O₂ behandeling) in gewichtsprocenten
 NaCl= zoutgehalte in mg NaCl/kg droge stof; Ec = elektrische geleidbaarheid in mS/cm

locatie	<2mu	<16mu	>63mu	>2000	pl	pp	pi	kalk	orgm	NaCl	Ec
bar2	31.0	62.3	10.2	0.0	55.4	29.1	26.3	20.1	3.6	46.8	395
bar3	27.6	52.3	21.4	0.2	44.4	22.3	22.1	18.5	1.5	23.6	255
dkst	11.8	28.7	52.6	0.0	29.6			13.2	1.6	79.0	190
dpi24	24.6	50.0	25.2	0.0	45.4	17.9	27.5	13.7	3.3	35.0	250
giesb2					59.8	22.2	37.6	17.8	2.4	38.4	460
giesb3	5.3	8.3	69.3		36.0	15.7	20.3	16.4	1.8	30.7	430
har2	29.6	48.5	28.7	1.3	37.4	17.4	20.0	18.3	1.2	116.3	370
har3	28.4	42.9	28.8	0.7	37.9	18.9	19.0	15.1	3.4	30.9	320
hattem	35.2	56.0	26.0		40.7	18.9	21.8	19.2	1.7	20.0	275
hmp52	27.2	40.6	56.1	0.0	46.8	17.0	29.8	8.6	2.6	16.0	110
hol3	33.1	53.8	25.3	0.0	70.3	31.9	38.4	19.9	4.8	3981.0	11800
hpl10	36.2	70.2	4.5	0.0	49.7	25.3	24.3	12.1	2.5	46.0	84
hrx	13.7	34.3	52.0	0.6	39.4			15.4	2.5	20.0	245
ijlo4	19.5	45.3	23.8	0.0	35.7	20.7	15.0	17.2	1.0	38.0	180
ijlo5	7.9	18.1	75.0	0.9	24.6			7.0	1.8	61.0	305
kandia2					54.1	20.3	33.8	19.1	3.0	23.0	220
kandia3	21.7	36.7	36.7		39.6	15.2	24.4	19.2	1.7	23.0	315
lc126	37.4	70.1	12.3	0.0	49.7	22.6	27.1	12.6	2.5	35.0	70
loc66	18.4	38.0	47.6	0.0	29.8	18.2	11.6	10.1	2.5	26.0	78
loo	24.8	40.0	42.3		32.8	16.6	16.2	10.3	2.2	19.1	225
seing2					66.2	23.4	42.8	13.7	2.2	30.7	315
seing3	37.6	80.0	8.2		65.8	22.1	43.7	16.6	2.8	38.4	420
tn3	11.9	20.9	67.6					8.9	1.3	56.8	16
tz3	11.3	21.4	64.5					8.9	1.7	24.9	21
vee3	8.6	12.6	75.3					10.0	0.6	19.4	13
waa2	27.6	57.4	19.7	0.0	65.2	33.5	31.7	27.0	4.1	404.9	840
waa3	26.1	54.7	21.9	0.0	64.8	37.3	27.5	25.2	4.7	144.9	375
wlwk	28.1	63.3	10.2	0.0	55.8	28.3	27.5	20.9	3.4	35.0	295
gemiddelde	23.4	44.3	34.8	0.2	47.1	22.5	26.7	15.5	2.4	195.1	674
stand.dev.	9.7	18.4	22.6	0.4	12.9	5.9	8.4	5.0	1.0	732.3	2148
minimumw.	5.3	8.3	0.0	0.0	24.6	15.2	11.6	7.0	0.6	16.0	13
maximumw.	37.6	80.0	75.3	1.3	70.3	37.3	43.7	27.0	4.8	3981.0	11800
aantal	25	25	26	17	25	22	22	28	28	28	28

Tabel 2:

Verzamelde constructieve eigenschappen
 infilt. x 10e-5 = infiltratiesnelheid in eenheden van 10⁻⁵m/s a.h. einde v.d. proef
 bezw.zoet - zout = toerental waarbij meer dan 33% gew.% van het
 monster is weggeërodeerd in zoet resp. zout water.

Grondwater min.- max. = hoogte in centimeters van de waarnemingspunten
 boven minimum en maximum grondwaterniveau in de directe
 omgeving volgens de bodemkaarten van STIBOKA.

CO-275925	infiltr.	bezw	bezw	grondwater	
loc. datum	x(10e-5)	zoet	zout	min.	max.
bar2 860516		1100	1200	475	415
bar3 861014	3.38				
bar3 860807	5.82			575	515
bar3 860516	2.15	1000	900		
dkst 870831		800		270	310
dp124870827		1200		370	450
giesb860800		1200		240	200
giesb860400	1.00				
giesb860800	0.20			370	330
giesb861100	0.20	1200			
har2 860506		1200	1200		
har3 861009	7.63				
har3 860506	2.58	1200	800	825	767
har3 860506	4.10				
hmp5 870828		25		202	282
hol3 860507	0.11	200	360		
hol3 860805	0.13				
hol3 861010	0.84			900	840
hp110870825		1200		320	400
hrxl 870831		500		280	340
ijlo4870831		300		190	250
ijlo5870831		600		230	290
kandi860800		1200		370	310
kandi860400	3.00				
kandi860800	5.00	1100		520	460
kandi861100	1.6				
lc226870825		1200		250	430
loc66870825		500		180	260
seing860800		1200			
seing860400	2.9				
seing860800	7.40	1200		470	410
seing861100	1.60				
tn3 861015		50		440	380
tz3 861015		50		450	390
vee3 861016		50		600	540
waa2 860515		800	800		
waa3 860806	3.38				
waa3 860515	8.35	400	1200		
waa3 860930	5.31				
wlwk 870825		1200			
mean	3.17	705	923		
std	2.52	450	287		
min	0.11	25	360		
max	8.35	1200	1200		
aantal	21	26	7		

BIJLAGE III

bij rapport CO- 275925/..

Gegevens over samenstelling en constructieve eigenschappen

pagina : - 12 -

Tabel 3:

Chemische en fysisch- chemische eigenschappen

NaCl = zoutgehalte in mg NaCl/kg droge stof; Ec = elektrische geleidbaarheid in mS/cm
 pH = zuurgraad (in water); spopp = specifiek oppervlak in m²/g droge stof
 w145 en w180 = gewichtsverlies tussen 100 en 145°C respectievelijk 180°C
 Humzu = humuszuurgehalte in mg/100g droge stof; Fulzu = fulvozuurgehalte in mg/100g droge stof
 CEC = kationenuitwisselingscapaciteit in meq/100g droge stof
 Ca, Mg, Na, K, = kationenbezetting van Calcium-, Magnesium-, Natrium- en Kaliumionen in meq/100g droge stof
 NB. locatie Westervoort is aangegeven als Seing.

locatie	spec. opp.	w		NaCl	Ec	humus fulvo				kationenbezettingsgraad			
		w145	w180			pH	zuur	zuur	CEC	Ca	Mg	Na	K
bar2	142	15.3	21.2	46.8	395	7.9	2905	1129	36.5	19.8	1.39	0.12	0.12
bar3	117	7.2	17.2	23.6	255	8.1			27.0	15.3	1.18	0.10	0.14
dkst	65			79.0	190				13.0	20.0	0.47	0.02	0.07
dp124	89			35.0	250				25.0	25.0	0.77	0.13	0.13
giesb2		18.5	24.0	38.4	460	8.0	1195	515	50.5	35.9	11.30	0.93	1.22
giesb3	79	8.5	10.5	30.7	430	8.1	1250	350	46.9	36.4	6.73	0.67	0.53
har2	121	12.5	16.5	116.3	370	8.1	206	572	27.2	14.3	2.06	0.50	0.48
har3	111	10.9	14.6	30.9	320	8.3			24.2	12.8	1.56	0.51	0.42
hattem	130	10.0	11.5	20.0	275	8.0	364	592	24.2	25.7	0.83	0.16	0.23
hmp52	134			16.0	110				15.0	14.0	0.35	0.04	0.05
hol3	125	18.5	23.5	3981.0	11800	7.5	3319	863	34.1	7.6	4.05	11.01	2.67
hp110	102			46.0	84				24.0	28.0	0.54	0.09	0.04
hrx	79			20.0	245				16.0	25.0	0.48	0.02	0.05
ijlo4	75			38.0	180				14.0	27.0	0.54	0.04	0.06
ijlo5	60			61.0	305				15.0	14.0	0.75	0.13	0.11
kandia2		16.5	22.0	23.0	220	8.0	510	515	56.2	45.2	12.40	0.82	1.81
kandia3	94	11.0	14.5	23.0	315	8.0	600	350	48.7	32.2	9.00	0.78	0.98
lc226	122			35.0	70				20.0	23.0	0.46	0.02	0.06
loc66	80			26.0	78				13.0	12.0	0.26	0.04	0.06
loo	142	9.0	12.5	19.1	225	8.1	1141	549	23.3	20.7	0.66	0.14	0.22
seing2		24.0	34.5	30.7	315	8.0	1535	325	30.4	23.4	24.80	2.50	1.81
seing3	177	24.5	35.5	38.4	420	8.0	1180	490	54.9	32.7	21.40	1.84	0.93
tn3	43	9.8	13.5	56.8	16	8.4	67	45	15.8	6.8	1.16	0.03	0.03
tz3	46	11.8	16.1	24.9	21	8.1	111	110	21.4	7.5	0.48	0.03	0.06
vee3	28	5.0	7.0	19.4	13	8.5	65	43	12.7	5.8	0.52	0.43	0.07
waa2	162	16.9	23.2	404.9	840	8.3	4093	1686	41.6	13.4	6.19	3.32	1.43
waa3	143	16.4	22.5	144.9	375	8.0	3059	1426	35.5	17.1	3.14	0.24	1.26
wlwk	109			35.0	295				26.0	28.0	0.45	0.12	0.17
gemiddelde	103	13.7	18.9	195.1	674	8.1	1350	598	28.3	21.0	4.07	0.89	0.54
stand.dev.	38	5.3	7.5	732.3	2148	0.2	1257	454	13.2	9.8	6.26	2.10	0.69
minimumwaarde	28	5.0	7.0	16.0	13	7.5	65	43	12.7	5.8	0.26	0.02	0.03
maximumwaarde	177	24.5	35.5	3981.0	11800	8.5	4093	1686	56.2	45.2	24.80	11.01	2.67
aantal	25	18	18	28	28	18	16	16	28	28	28	28	28

BIJLAGE IV
 bij rapport CO- 275925/..
 Gegevens over zuigspanningscurves en watergehaltes
 pagina : - 13

Zuigspanningscurve gegevens en watergehaltes

pf1, pf2, pf27, pf34 = watergehalte in volumepercenten bij zuigspanningen 1, 10, 50, 250 kN/m2
 (resp. pF 1, 2, 2.7, 3.4)
 gew. 100 cc = drooggewicht in gram van grond in steekring van 100 cm3

pg1, pg2, pg2.7, pg3.4 = watergehalte in gewichtspercenten bij zuigspanningen 1, 10, 50 en 250 kN/m2
 Wn = watergehalte in gewichtspercenten van monsters genomen in respectievelijk (volgorde in tabel) voorjaar, zomer en najaar
 pl = vloeigrens, pp= uitrolgrens, pi= plasticiteitsindex
 Ic = verwerkbaarheidsindex (consistentie- index) in respectievelijk (volgorde in tabel) voorjaar, zomer en najaar

NB locatie Westervoort is als Seing aangegeven.

locatie	pf1	pf2	pf27	pf34	gew. 100cc	pg1	pg2	pg27	pg34	wn	wn	wn	pl	pp	Ic	Ic	Ic
bar2 boven	44.7	39.4	33.7	25.9	152.2	29.3	25.8	22.1	17.0	27.3	12.7	20.7	55.4	29.1	1.07	1.62	1.32
bar3 boven	44.2	40	35.4	31	161.2	27.4	24.8	21.9	19.2	23.2	14.8	27.4	44.4	22.3	0.96	1.34	0.77
bar2 onder	48.6	42.0	37.7	29.0	138.3	35.1	30.8	27.2	20.9	26.1	15	15.9	55.4	29.1	1.11	1.54	1.50
bar3 onder	47.1	42.5	37.9	29.9	147.2	31.9	28.8	25.7	20.3	24.6	18.4	29.6	44.4	22.3	0.90	1.18	0.67
dp124	42.4	38.8	36.6	25.1	134.3	31.5	28.8	27.2	18.6			26.9	45.4	17.9	1.65	1.65	0.67
dks	38.3	32.0	29.4	19.1	148	25.8	21.6	19.8	12.9			23.8	29.6				
giesb2	42.6	39.7	35.5	9.3	130.9	32.5	30.3	27.1	7.10	29.8	29.3	21.7	59.8	22.2	0.80	0.81	1.01
giesb3	35.9	34.6	30.1	9.5	153.8	23.3	22.4	19.5	6.17	24	28.4	20.8	36	15.7	0.59	0.37	0.75
hmp110	41.8	34.4	32.3	24.9	141.6	29.5	24.2	22.8	17.5	26.1		49.7	25.3	0.97			
har2 boven	43.8	35.1	28.9	19.7	140.8	31.1	24.9	20.5	13.9	21.9	10	11.2	37.4	17.4	0.78	1.37	1.31
har3 boven	40.8	32.6	25.3	17.9	141.8	28.7	22.9	17.8	12.6	21.9	10.3	12.2	37.9	18.9	0.84	1.45	1.35
hmp52	42.2	33.2	31.5	26.4	146.4	28.8	22.6	21.5	18.0	19.6		46.8	17	0.91			
har2 onder	38.4	30.8	24.3	16.4	140.7	27.2	21.8	17.2	11.6	25.8	11.6	11.8	37.4	17.4	0.58	1.29	1.28
har3 onder	37.3	32.1	26.2	17.8	151.2	24.6	21.2	17.3	11.7	31	20.7	21.6	37.9	18.9	0.36	0.91	0.86
holwerd onder	56.3	54.5	52.0	28.7	107.9	52.1	50.5	48.1	26.5	51	45.1	47	70.3	31.9	0.50	0.66	0.61
holwerd boven	53.r	50.7	47.9	28.8	101.5	52.8	49.9	47.1	28.3	40.1	40	31.6	70.3	31.9	0.79	0.79	1.01
hrx	43.9	35.3	30.8	17.0	139.4	31.4	25.3	22.0	12.1	23.5		39.4					
ijlo4	39.4	35.0	31.4	22.5	146.2	26.9	23.9	21.4	15.3	22.2		35.7	20.7	0.90			
ijlo5	33.0	20.8	17.9	11.3	142.6	23.1	14.5	12.5	7.92	9		24.6					
kandia2	49.8	47.2	43.4	9.2	120.8	41.2	39.0	35.9	7.61	24.7	29.5	27.5	54.1	20.3	0.87	0.73	0.79
kandia3	40.6	39.1	36.1	11.6	145.2	27.9	26.9	24.8	7.98	27.2	25.5	26.5	39.6	15.2	0.51	0.58	0.54
lcl26	39.6	33.4	32.1	30.1	141.5	27.9	23.6	22.6	21.2	20		49.7	22.6	1.10			
loc66	40.8	26.6	24.3	17.7	131.9	30.9	20.1	18.4	13.4	11.9		29.8	18.2	1.54			
seingr2	47.7	45.8	41.8	10.2	128.9	37.0	35.5	32.4	7.91	34.4	30.8	35.1	66.2	23.8	0.75	0.83	0.73
seingr3	49.4	47.2	44.2	10.6	127.7	38.6	36.9	34.6	8.30	28.6	28.1	32.3	65.8	22.1	0.85	0.86	0.77
waarde2 boven	54.1	48.9	46.1	37.8	141.7	38.1	34.5	32.5	26.6	19.3	13.8	11.3	65.2	33.5	1.45	1.62	1.70
waarde3 boven	45.7	33.9	27.5	19.6	132.2	34.5	25.6	20.8	14.8	23.8	9	9.6	64.8	37.3	1.49	2.03	2.01
waarde2 onder	43.0	37.2	33.7	21.8	144.6	29.7	25.7	23.3	15.0	42.3	32.4	12.8	65.2	33.5	0.72	1.03	1.65
waarde3 onder	39.8	26.9	21.4	15.5	133.5	29.8	20.1	16.0	11.6	33	20	18.7	64.8	37.3	1.16	1.63	1.68
wlwk	47.1	41.3	39.1	27.3	131.3	35.8	31.4	29.7	20.7	30.6		55.8	28.3	0.92			
gemiddelde	43.7	37.7	33.8	20.7	138.2	32.2	27.9	25.0	15.1	26.5	22.3	22.5	49.3	24.1	0.9	1.2	1.1
stand.dev	5.4	7.4	7.9	7.7	12.4	7.0	8.0	8.2	6.0	8.4	10.2	9.2	13.2	6.6	0.3	0.4	0.4
minimumwaarde	33.0	20.8	17.9	9.2	101.5	23.1	14.6	12.6	6.2	9.0	9.0	9.6	24.6	15.2	0.4	0.4	0.5
maximumwaarde	56.3	54.5	52.0	37.8	161.2	52.8	50.5	48.2	28.4	51.0	45.1	47.0	70.3	37.3	1.7	2.0	2.0
aantal	30	30	30	30	30	30	30	30	30	28	20	22	30	27	27	21	21

BIJLAGE V

bij rapport CO- 275925/..

Resultaten erosietoestelproeven van onderzoek in 1987

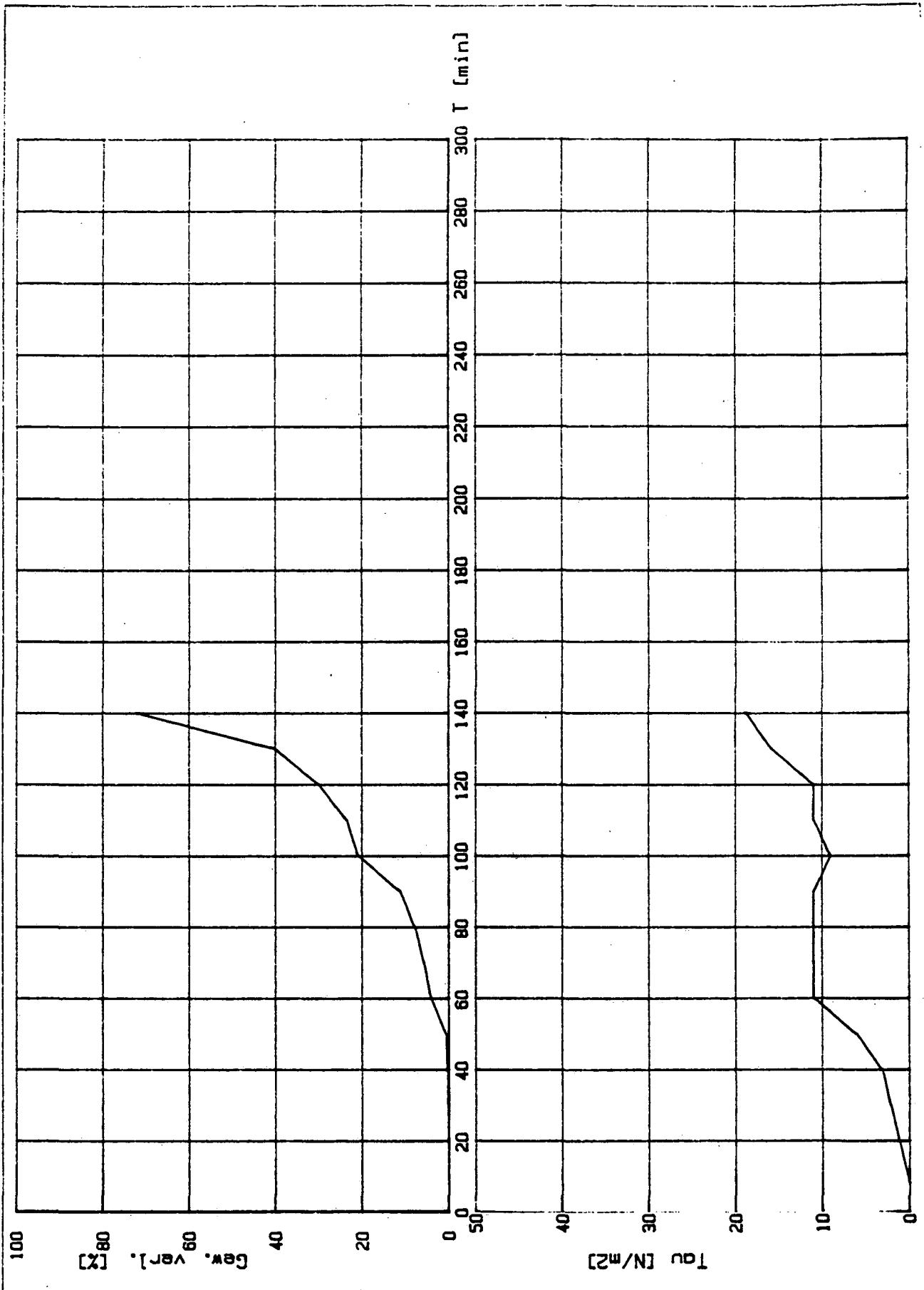
pagina : - 14 -


Resultaten erosieproeven in zoet water

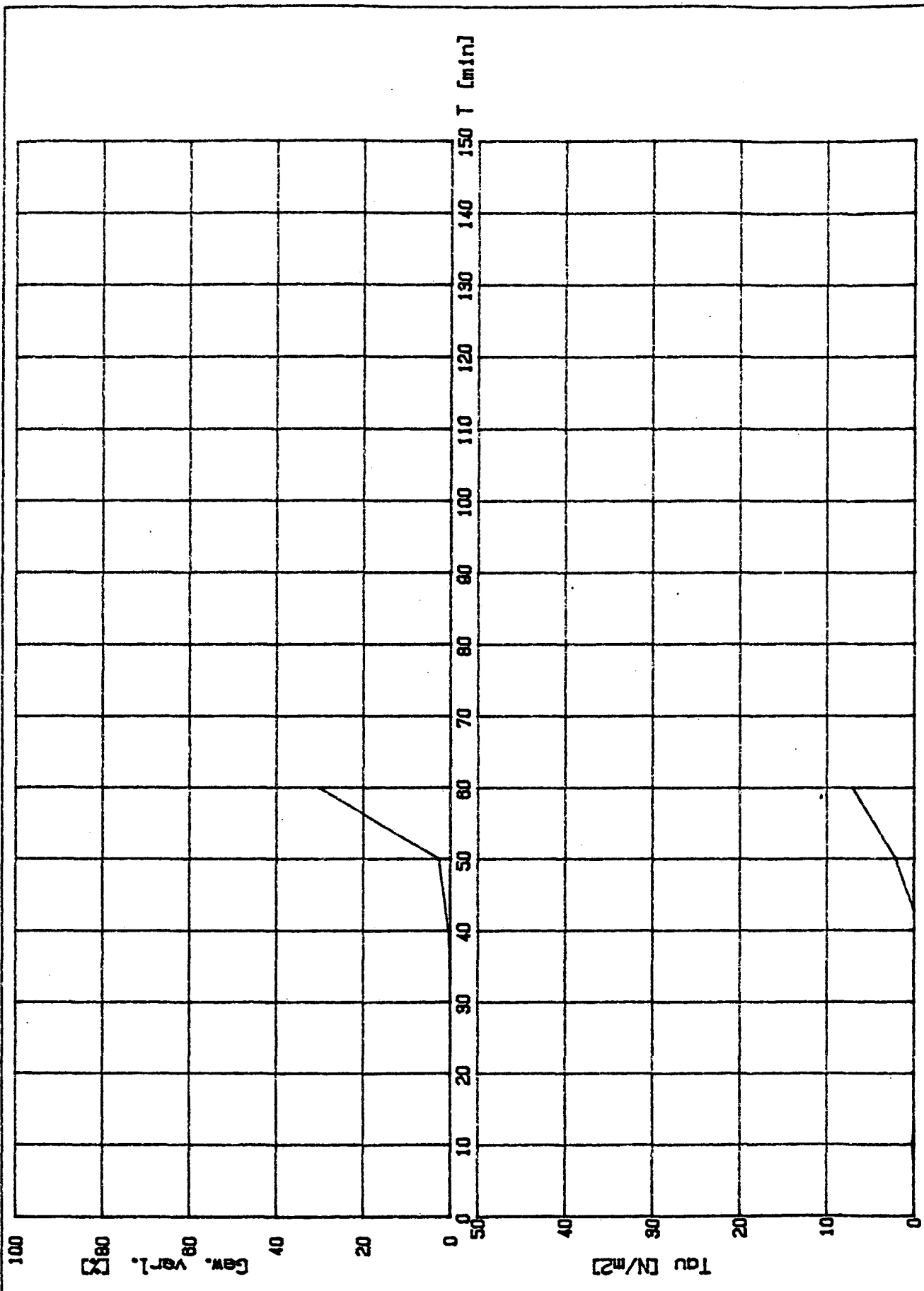
Gedurende de eerste 60 minuten wordt het toerental in stappen van 10 minuten telkens 100 t/min. verhoogd tot 600 t/min. Tussen 60 tot 120 minuten blijft het toerental constant op 600 t/min.. Tussen 120 en 180 minuten wordt het toerental in stappen van 10 minuten telkens 100 t/min. verhoogd tot 1200 t/min. Na 180 minuten blijft het toerental constant op 1200 t/min.


De bovenste grafiek geeft het gewichtsverlies van het monster weer bij de verstreken tijd T in minuten;

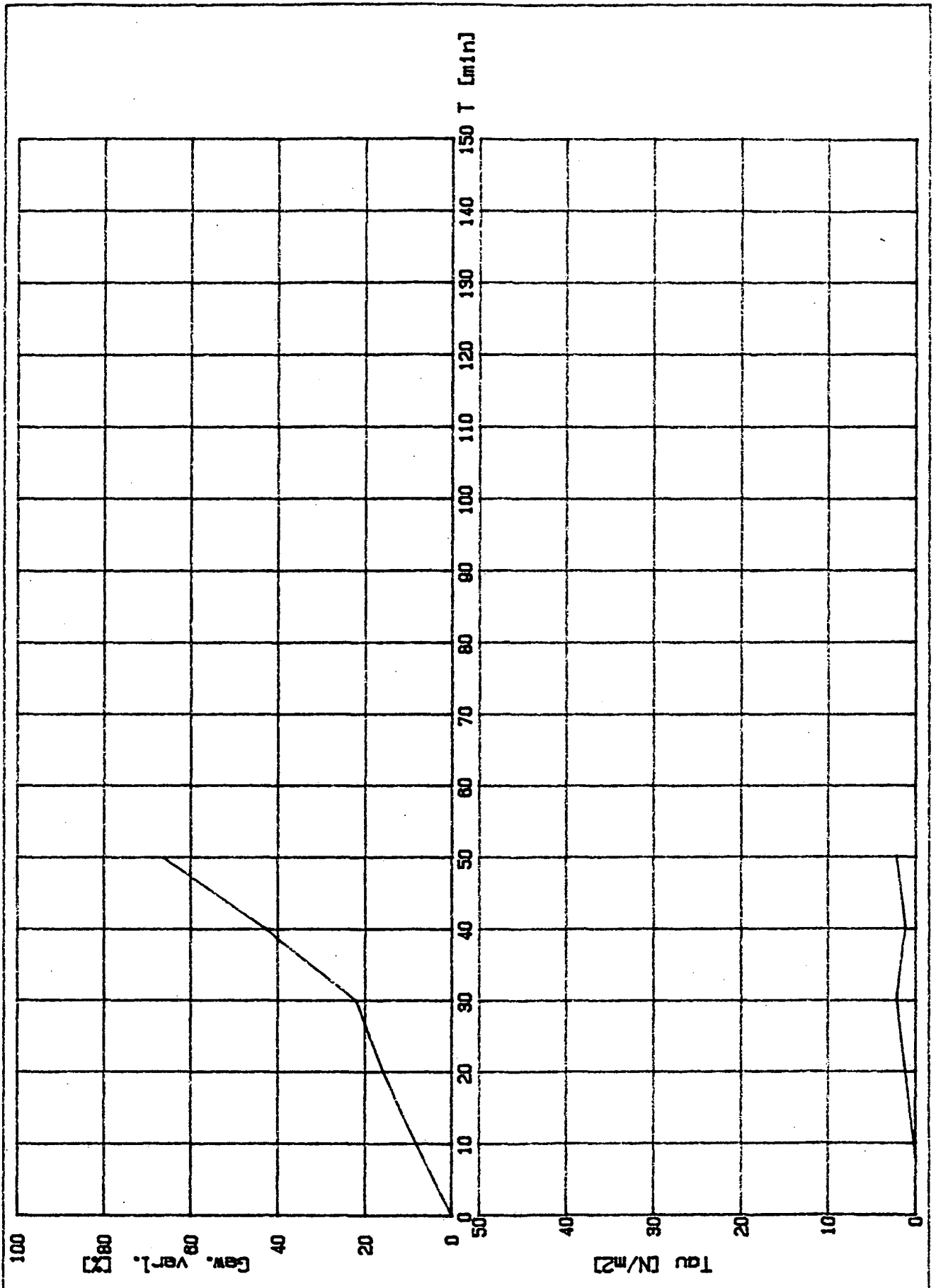
De onderste grafiek geeft de berekende schuifspanning op het monster weer bij de verstreken tijd T in minuten




 GRONDMECHANICA DELFT	Dat 880204
	CO-275925
	bijlage v
Erosie-proef Monster No: 185	
locatie: Dijkstoel (IJssel)	



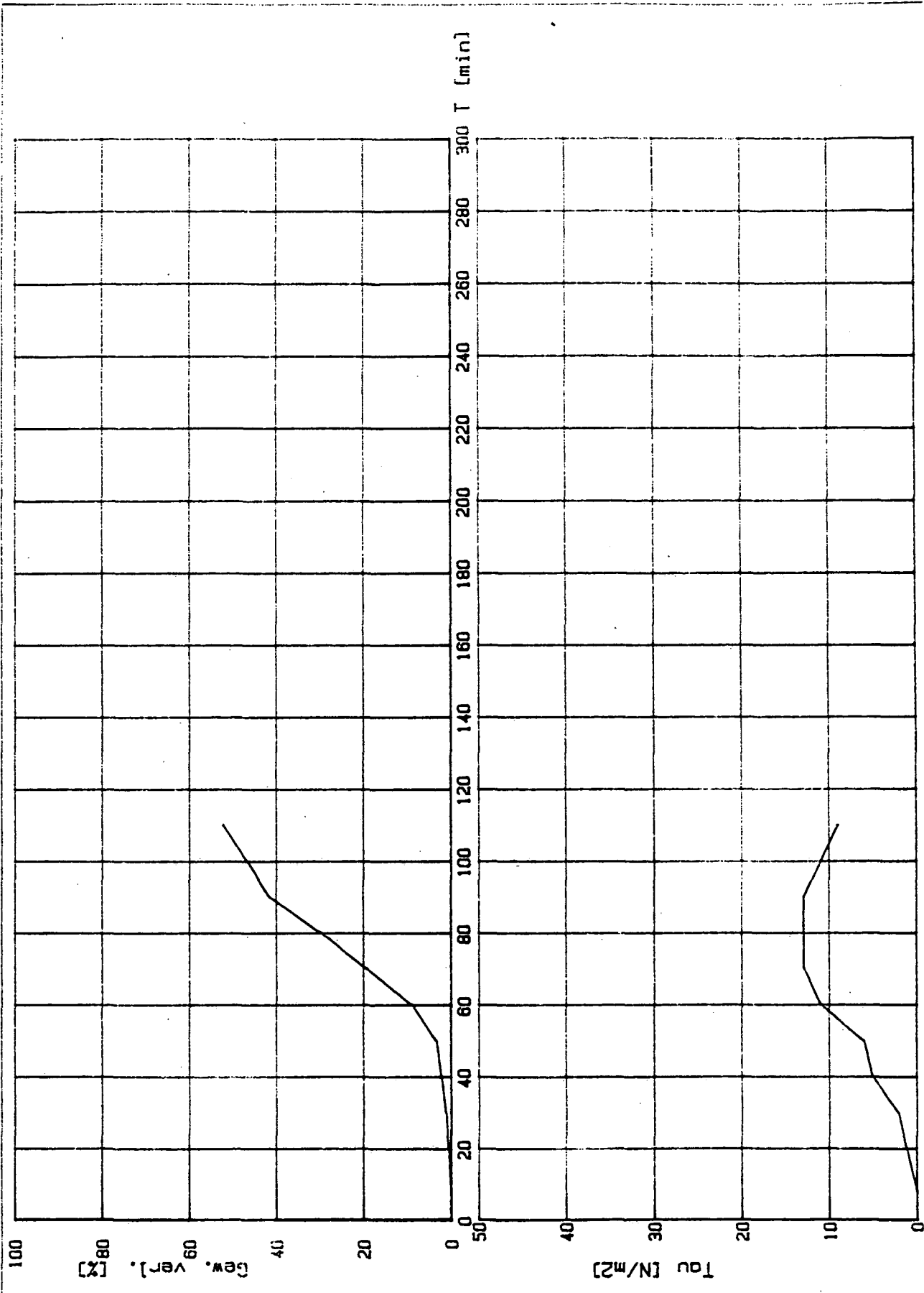
 GRONDMECHANICA DELFT	Dat 871008	
	CO-275925	
	bijlage V	
Erosie-proef Monster No: 189		
locatie: Herxen (IJssel)		




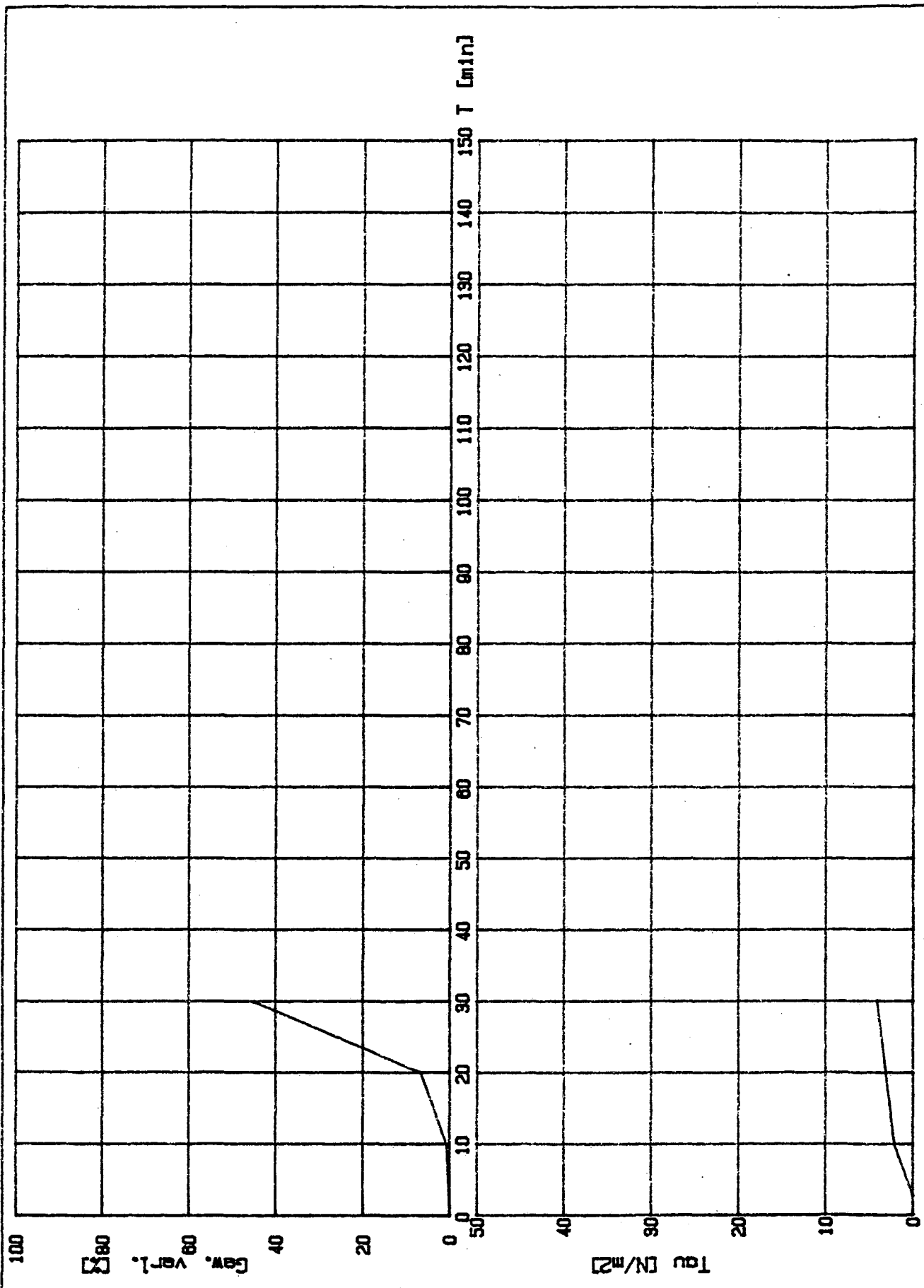
 GRONDMECHANICA DELFT	Dat 871008
	CO-275925
	bijlage V

Erosie-proef
Monster No: 193

locatie: IJloc4 (IJssel)



 GRONDMECHANICA DELFT	Dat 880204
	CO-275925
Erosie-proef Monster No: 197	locatie: IJloc5 (IJssel) bijlage V



GRONDMECHANICA
DELFT

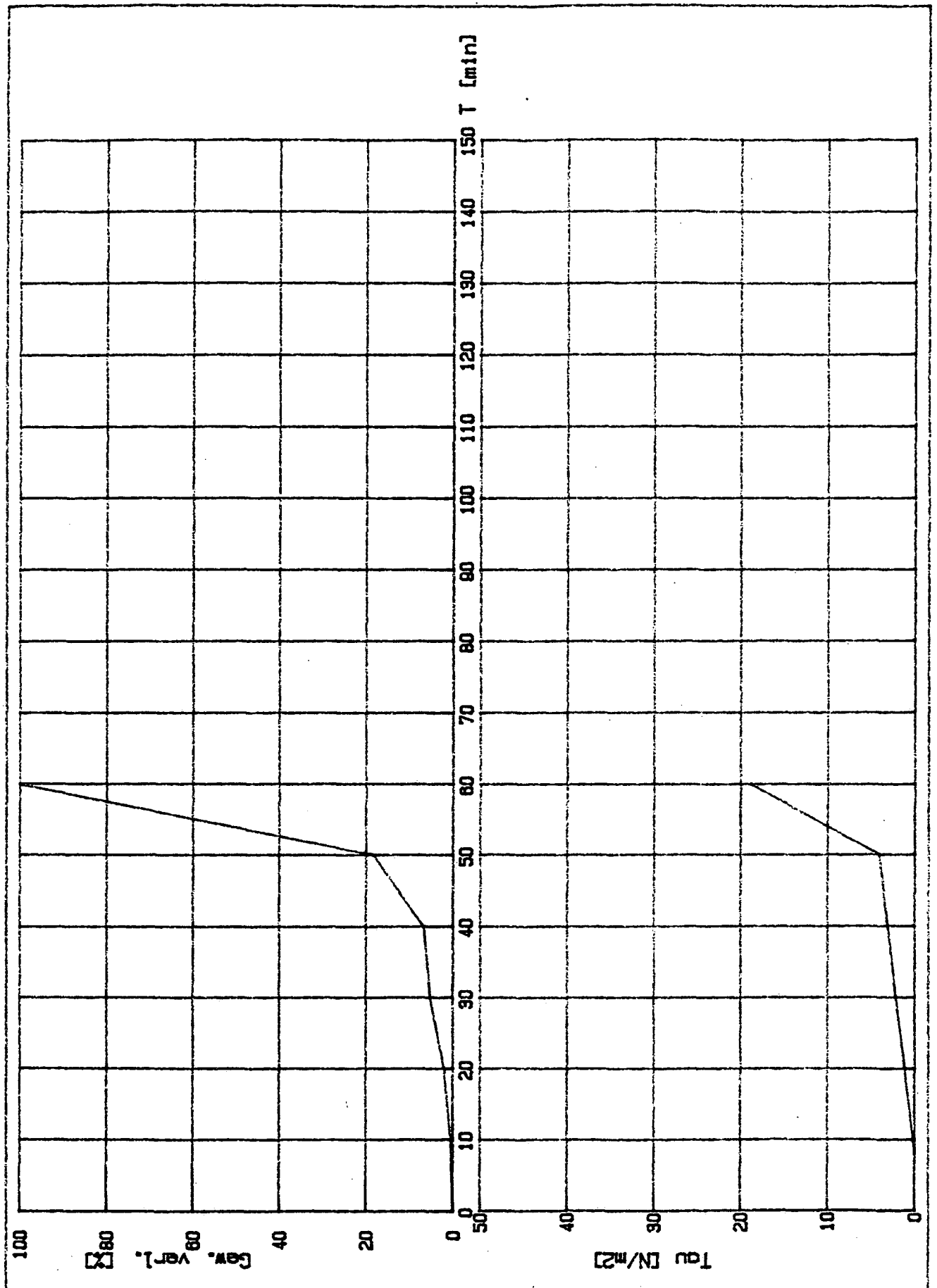
Dat 871022

Erosie-proef
Monster No: 201

locatie: hp 52 (Maas)

CO-275925

bijlage v



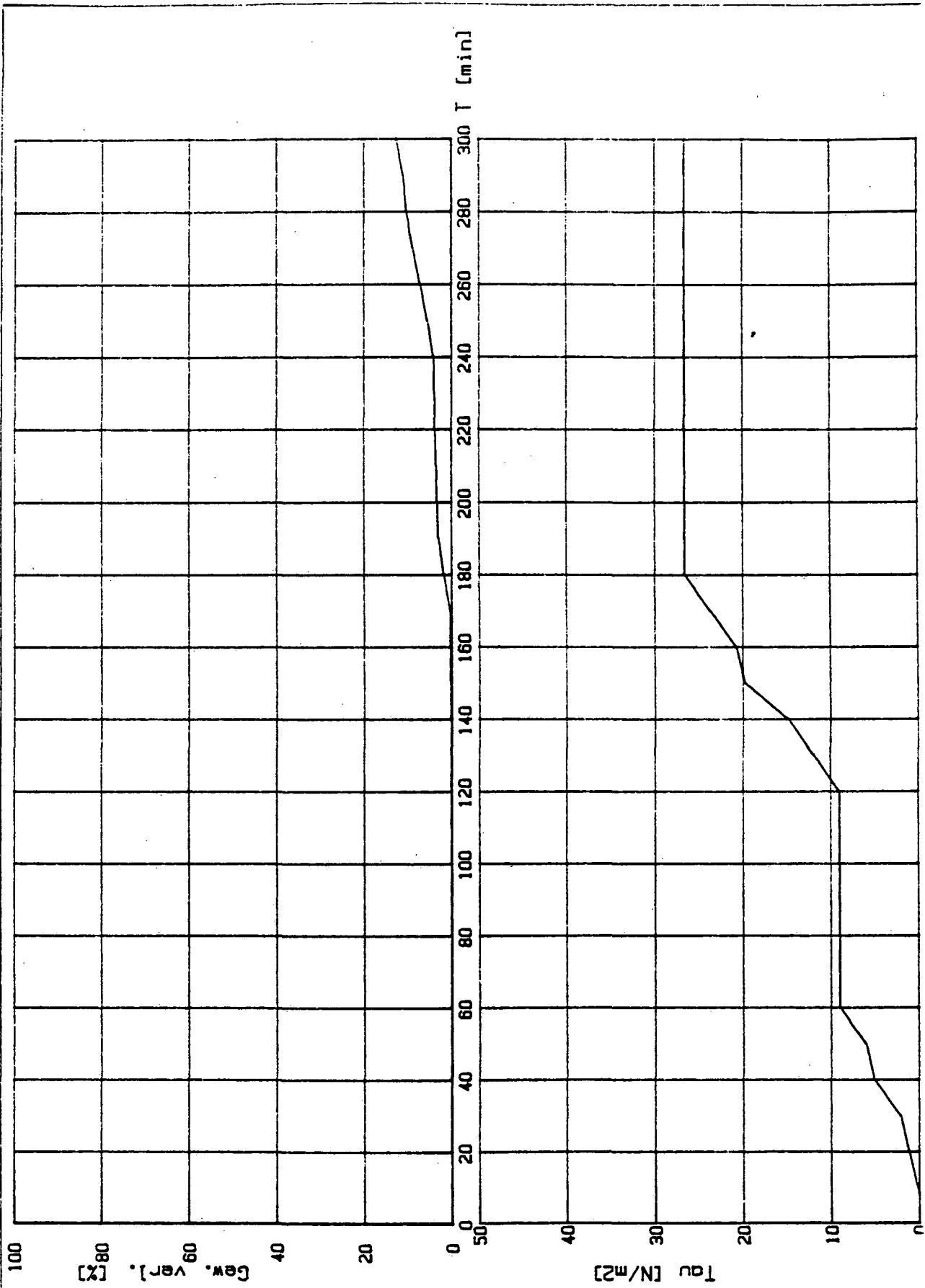
Erosie-proef
 Monster No: 205


locatie: hp 66 (Maas)

Dat 871014

CO-275925

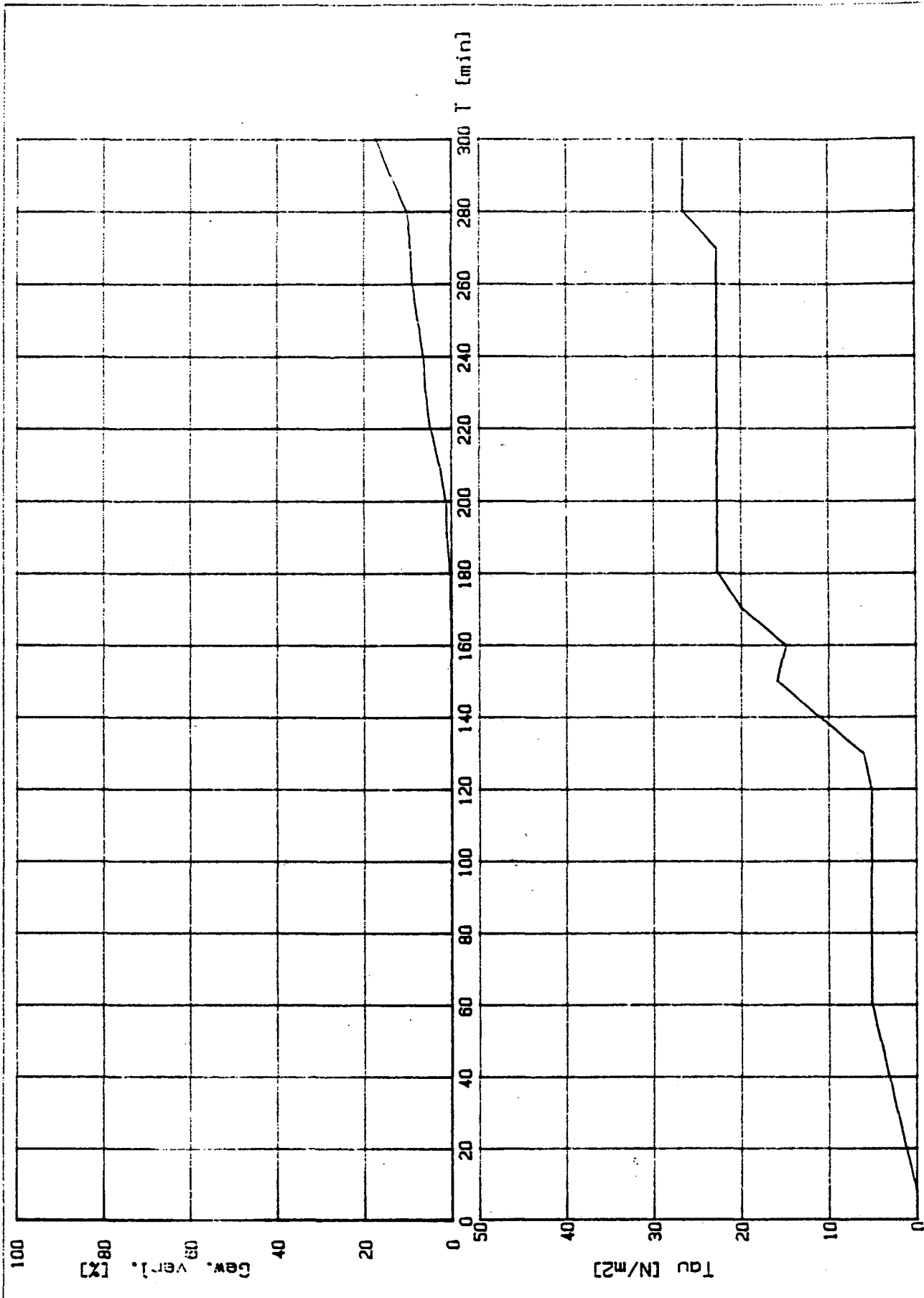
bijlage V




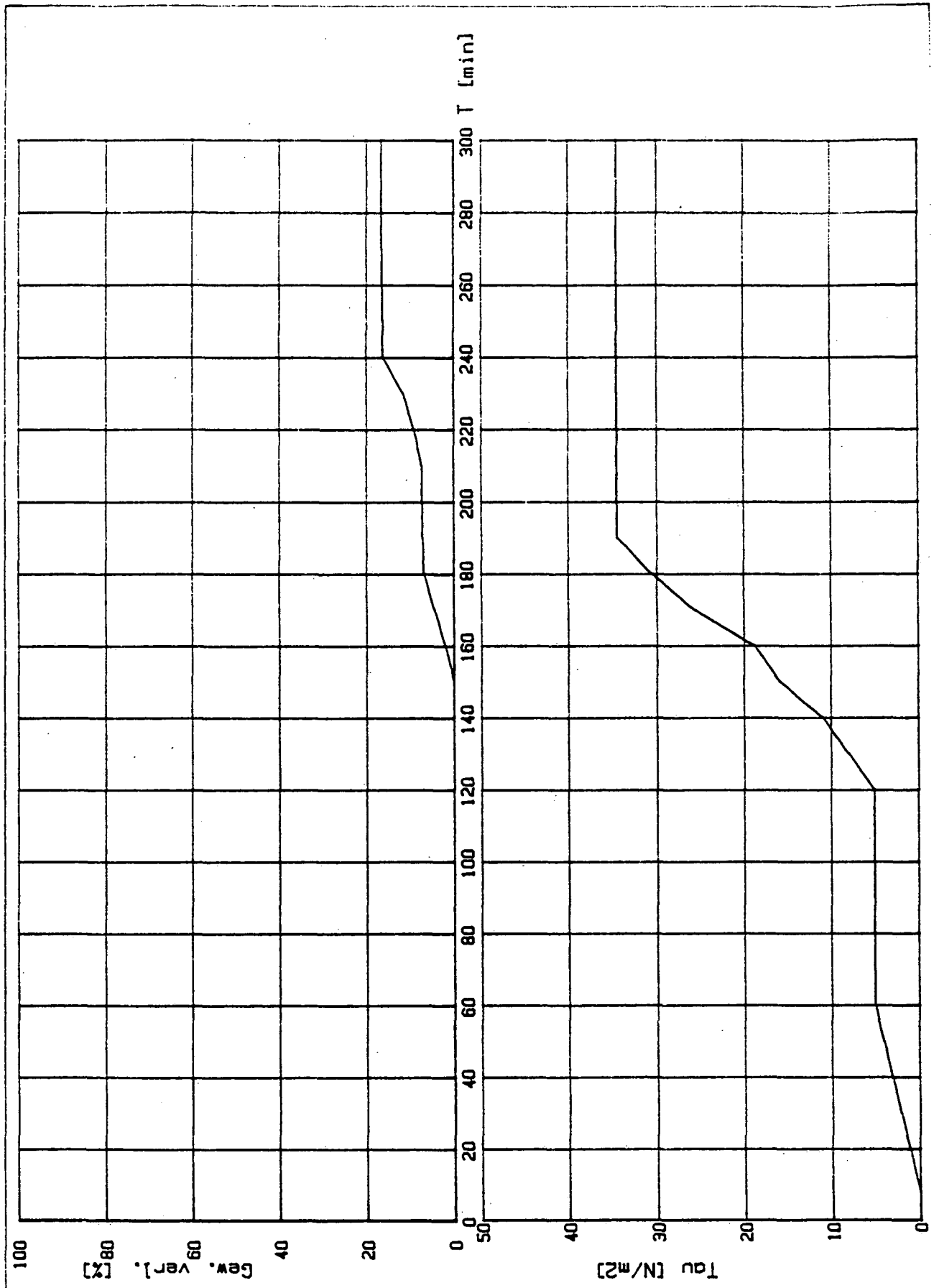
 GRONDMECHANICA DELFT	Dat 880205
	CO-275925
	bijlage V

Erosie-proef
 Monster No: 209

locatie: hp 126 (Maas)



 GRONDMECHANICA DELFT	Dat 880207
	CO-275925
Erosie-proef Monster No: 213	locatie: hp 110 (Maas)
	bijlage v



GRONDMEECHANICA
DELFT

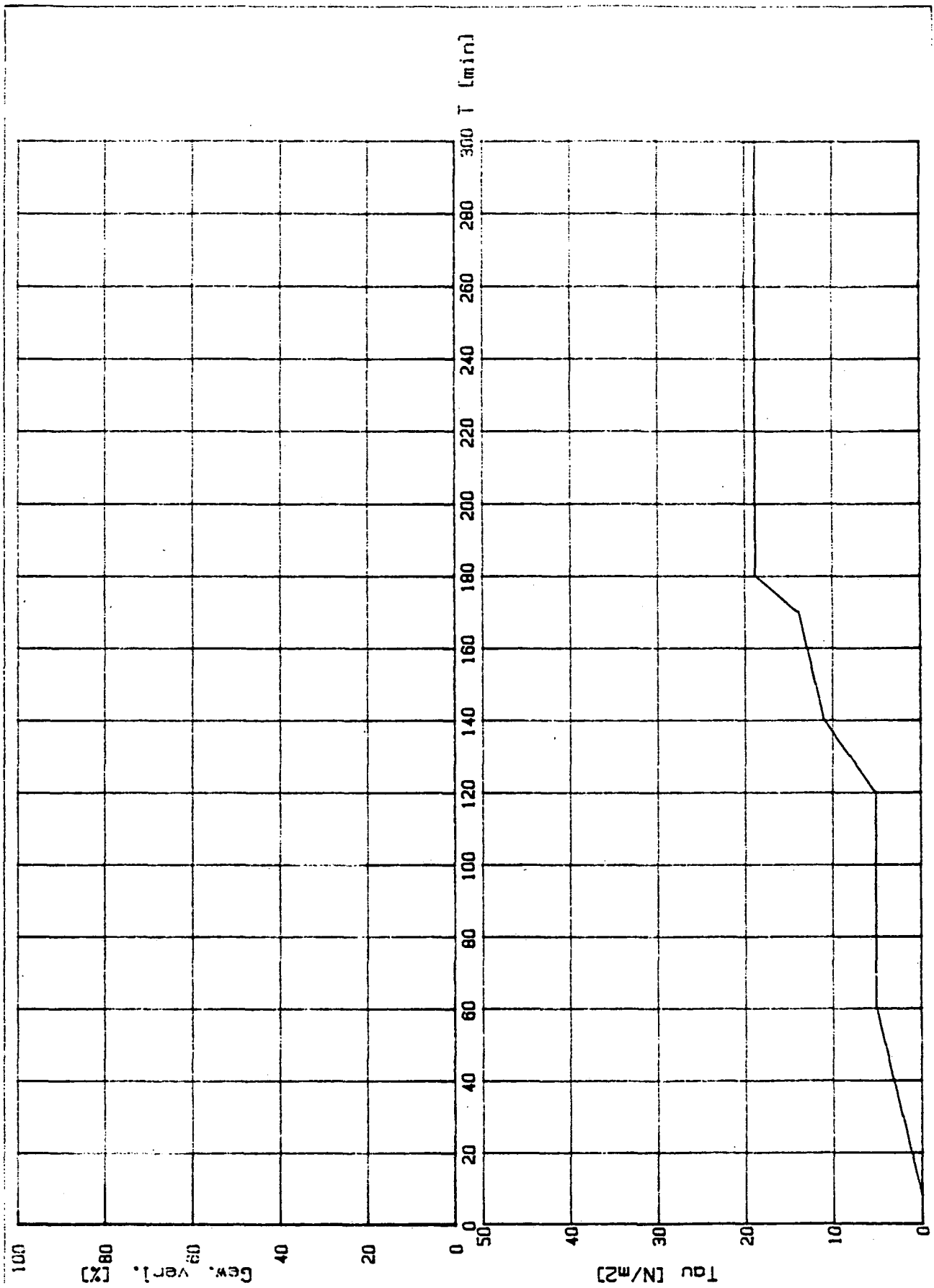
Erosie-proef
Monster No: 181


locatie: Waalwijk (Bergse Maas)

Dat 880208

CO-275925

bijlage V



 GRONDMECHANICA DELFT	Dat 880210
	CO-275925
	bijlage V
Erosie-proef Monster No: 217	
locatie: dp 124 (Balgdijk-Waddenzee)	

BIJLAGE VIa
bij rapport CO- 275925/..
Profielkuilbeschrijvingen onderzoek in 1987
pagina : - 15 -

PROFIELKUILBESCHRIJVINGEN.

- In de bijlagen II zijn de dwarsprofielen van de dijklichamen met aangegeven de plaatsen van de boringen .
- In de bijlage VIb zijn de boorbeschrijvingen gegeven.

DKST

(Bij Den Nul, IJssel, Overijssel)
halverwege het talud

Opname augustus 1987:

Algemeen:

- 0.00 - 0.15 zand, siltig, matig kleiig,
- 0.15 - 0.40 silt, sterk kleiig, sterk fijn zandig,
- 0.40 - 0.50 klei, donkerbruin-grijs,
- 0.50 - 0.80 silt, sterk fijnzandig, matig kleiig.

Structuur:

- 0.00 - 0.25 massief tot zwak fijnblokkig,
- 0.25 - 0.50 fijn blokkig, zwak prismatisch,
- 0.50 - 0.80 massief.

Doorworteling:

- 0.00 - 0.10 intensief,
- 0.10 - 0.25 matig,
- 0.25 - 0.50 matig tot weinig.

Wortels lopen door tot 0.80 m.

Graafgangen:

- wormgangen van 3 mm, 1 per dm²,
- wormgangen van 1 mm, 2 per dm²,
- 2 mollengangen.

HRX

(bij Herxen, IJssel, Overijssel)
halverwege het talud

Opname augustus 1987:

Algemeen:

- 0.00 - 0.50 klei, sterk siltig, sterk zandig, weinig schelpen, tot
0.15 donkerbruingrijs,
- 0.50 - 0.80 silt, sterk kleiig, sterk zandig.

Structuur:

- 0.00 - 0.05 kruimelig,
- 0.05 - 0.40 fijn blokkig, zwak ontwikkeld
- 0.40 - 0.60 prismatisch, duidelijke scheuren tienden van millimeters
open,
- 0.60 - 0.80 zeer zwak prismatisch tot massief.

Doorworteling:

- 0.00 - 0.10 intensief,
- 0.10 - 0.20 matig.

Op 0.70 m matig tot weinig wortels

Graafgangen:

- wormgangen van 3 mm, 3 per dm²,
- graafgangen van 1 mm, 5 per dm²,
- geen mollengangen.

IJLO 4

(Wijhe, IJssel, Overijssel)
halverwege het talud

Opname augustus 1987:

Algemeen:

0.00 - 0.15 klei, sterk zandig, sterk siltig, donkerbruin-grijs,

0.15 - 0.60 klei, sterk siltig, matig fijn zand, bruin-grijs, zand
plaatselijk grover,

0.60 - 0.90 silt, sterk kleiig, sterk fijn zandig, plaatselijk zand
insluitingen.

Structuur:

0.00 - 0.10 kruimelig,

0.10 - 0.50 prismatisch, matig ontwikkeld, fijnblokkig.

Doorworteling:

0.00 - 0.10 intensief,

0.10 - 0.25 matig.

Wortels tot 0.45 m.

Graafgangen:

- wormgangen van 3mm, 1 per dm²,
- graafgangen van 1mm, 4 per dm²,
- 1 mollengang.

IJLO 5

(IJssel t.o. Terwolde, Overijssel)
halverwege het talud

Opname in augustus 1987:

Algemeen:

0.00 - 0.20 klei, sterk zandig, sterk siltig,

0.20 - 0.50 zand met kleilaagjes,

0.50 - 0.60 klei, sterk zandig, siltig,

0.60 - 0.80 zand, sterk kleiig, siltig.

Structuur:

0.00 - 0.30 zeer zwak fijn blokkig,

0.30 - 0.60 zeer zwak prismatisch,

0.60 - 0.80 massief.

Doorworteling:

0.00 - 0.05 intensief, plaatselijk geen doorworteling,

0.05 - 0.20 matig.

Wortels tot 0.35 m.

Graafgangen:

- wormgangen van 3mm, 2 per dm²,
- graafgangen van 1mm, 5 per dm²,
- 2 mollengangen.

WLWK

(Bergse Maas bij Waalwijk, Brabant)
halverwege het talud

Opname in augustus 1987:

Algemeen:

0.00 - 0.45 klei, sterk siltig, donkerbruin-grijs geleidelijk
overgaand in bruin-grijs,
0.45 - 0.80 silt, sterk kleilig, weinig schelpen.

Structuur:

0.00 - 0.20 fijn blokkig, duidelijk,
0.20 - 0.50 prismatisch, zwak, fijn blokkig, duidelijk,
0.50 - 0.80 massief.

Doorworteling:

0.00 - 0.05 intensief,
0.05 - 0.32 matig.

Wortels tot 0.40 m.

Graafgangen:

- wormgangen van 3mm, 2 per dm²,
- graafgangen van 1mm, 3 per dm²,
- 2 muizengaten.

DP124

(Balgdijk, NoordHolland)
halverwege het talud

Opname in augustus 1987:

Algemeen:

0.00 - 0.80 klei, siltig, met weinig zandinsluitels, met schelpen
(mosselen) en schelpenresten.

Structuur:

0.00 - 0.40 fijn blokkig, duidelijk,
0.40 - 0.80 prismatisch, matig grof blokkig, zwak.

Doorworteling:

0.00 - 0.07 intensief,
0.07 - 0.20 matig.

Wortels tot 0.50 m.

Graafgangen:

- wormgangen van 3mm, 4 per dm²,
- graafgangen van 1mm, 5 per dm²,
- 1 mollengang.

HMP52

(bij Oeffelt, Maas, Brabant)
halverwege het talud

Opname in augustus 1987:

Algemeen:

0.00 - 0.65 klei, zandig, siltig, met grote klei- en zandlenzen,
kleilenzen gevlekt, zandlenzen bruingrijs.

Structuur:

0.00 - 0.40 fijn blokkig,

0.40 - 0.80 prismatisch.

Doorworteling:

0.00 - 0.05 intensief,

0.07 - 0.20 matig.

Wortels tot 0.45 m.

Graafgangen:

- wormgangen van 3mm, 1 per dm²,
- graafgangen van 1mm, 4 per dm².

LOC66

(bij Oeffelt, Maas, Brabant)
halverwege het talud

Opname in augustus 1987:

Algemeen:

0.00 - 0.30 klei, sterk siltig, matig fijn zandig, bruingrijs met veel
kleiige en zandige lenzen.

0.30 - 0.80 zand, siltig, matig kleiig, bruingrijs, met bruingele
zandlenzen.

Structuur:

0.00 - 0.25 fijn blokkig, zwak ontwikkeld,

0.25 - 0.40 zeer zwak prismatisch,

0.40 - 0.80 massief.

Doorworteling:

0.00 - 0.07 intensief,

0.07 - 0.22 matig.

Wortels tot 0.50 m.

Graafgangen:

- wormgangen van 3mm, 0.5 per dm²,
- graafgangen van 1mm, 5 per dm².

HP 110

(bij St. Agatha, Maas, Brabant)
halverwege het talud

Opname in augustus 1987:

Algemeen:

0.00 - 0.30 klei, siltig, donkerbruin-grijs,

0.30 - 0.90 klei, siltig, grijsgeel.

Structuur:

0.00 - 0.35 zeer fijn blokkig, zwak ontwikkeld,

0.35 - 0.50 fijn blokkig,

0.50 - 0.90 fijn blokkig, matig ontwikkeld.

Doorworteling:

0.00 - 0.05 intensief,

0.05 - 0.30 matig.

Wortels tot 0.50 m.

Graafgangen:

- wormgangen van 3mm, 3 per dm²,
- graafgangen van 1mm, 4 per dm².

LC 126

(bij St. Agatha, Maas, Brabant)
halverwege het talud

Opname in augustus 1987:

Algemeen:

0.00 - 0.70 klei, zwak zandig, grijs-bruin donker en licht gevlekt.

Structuur:

0.00 - 0.05 kruimelig,

0.05 - 0.30 fijn blokkig, sterk ontwikkeld,

0.30 - 0.70 grof blokkig, matig ontwikkeld, prismatisch sterk ontwikkeld.

Doorworteling:

0.00 - 0.05 intensief,

0.05 - 0.17 matig.

Wortels tot 0.50 m, vooral in wormgaten en spleten.

Graafgangen:

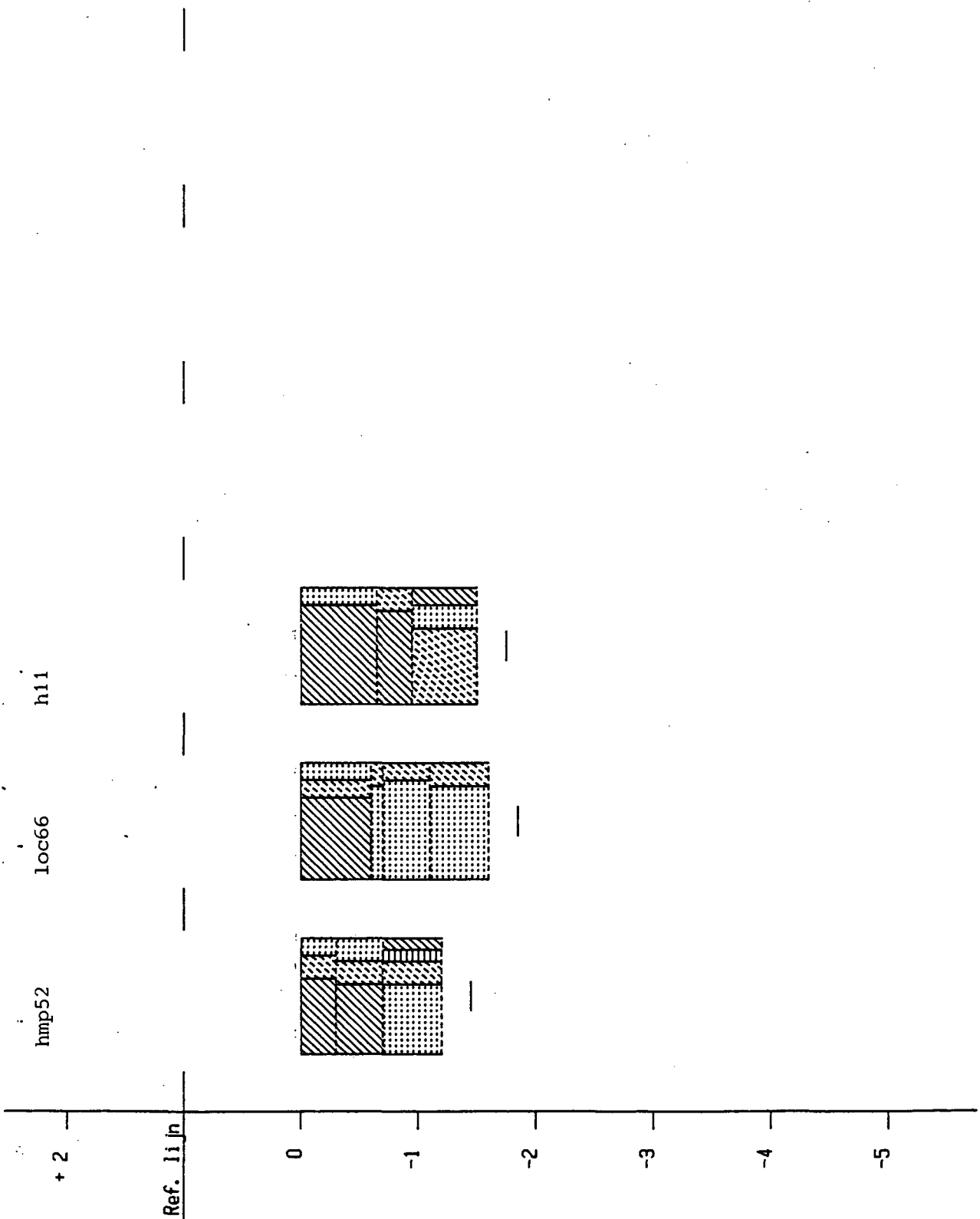
- wormgangen van 3mm, 1 per dm²,
- graafgangen van 1mm, 6 per dm².

BIJLAGE VIb
bij rapport CO- 275925/..
Boringen in het onderzoek in 1987
pagina : - 21 -

Boorkolommen van boringen in de dijken die in 1987 zijn onderzocht en
de legenda



	GRONDMECHANICA DELFT	20-7-88	
KLEIONDERZOEK DIJKEN	co 275925	mak	
boringen	Bijl. VIb		



GRONDMEECHANICA DELFT		20-7-88	
KLEIONDERZOEK DIJKEN boringen		co 275925	mak
		Bijl. v1b	

Foto's	Tekeningen	Beschrijving
O		Opgebrachte grond
T		Teelaarde, zwarte gr.
Lu		Lutum d.i. uitsluitend... fractie 0 - 2 µm
K		Klei
M		Mergel
L		Leem
Lö		Löss
S		Silt
Z		Zand
G		Grind
R		Stenen, keien, (R)otsblokken
U		(land-)Ijsafzetsel m.n. keileem (keikleï)
P		Potklei
F		Flugsand (of andere vulkanische producten)
Pr		Plantenresten
H		Humus
V		Veen
N		Niet nader benoemde (humeuze) slappe grond, modder, e.d.
A		As, sintels
Ho		Hout
B		Brokken, baksteen, puin, e.d.
Co		Concreties
C		Schelpen
W		Water
... X		... laagje(s)
... Y		... stukje(s), ook ... lensjes, ... nestjes, enz.

fracties	
2 - 60 µm	Silt
60 - 200 µm	Zand
200 - 600 µm	Zand
600 - 2000 µm	Zand
2 - 6 mm	Grind
6 - 20 mm	Grind
20 - 60 mm	Grind
> 60 mm	Stenen, keien, (R)otsblokken

Samenhangende grond:		Niet samenhangende grond:	
1 slap		1 fijn	
2 middelmatig slap of stijf		2 middelkorrelig	
3 stijf		3 grof	

Boorkolommen

Hoofbestanddelen 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

Indeling van de gelaagtheid

(...) met weinig ... laagjes of ... stukjes, ook ... lensjes, ... nestjes, enz.
 ... met matig of met veel ... laagjes of ... stukjes, ook ... lensjes, ... nestjes, enz.

Bijbestanddeel	Precisie :
	geschat
	met water geschud
	fractieanalyse
Laagscheiding	
	onzeker
	benaderd
	zeker
	Laagjes en/of stukjes Hoofbestanddeel bijbestanddeel
Z1 (s) KX	Zand, fijn, zwak kleilig met matig en / of veel Kleilaagjes
K3 Z1 (VY)	Klei, stijf, fijn zandig met weinig Veenstukjes
Z1 (KX) VY	Zand, fijn, sterk silthoudend met weinig Kleilaagjes en met matig en / of veel Veenstukjes
G1 Z3	Grind, fijn, Zand, grof
KX ZX	Afwisselend Zand- en Kleilaagjes
KY	Kleistukje (plaatselijk)
VX	Veenlaagje (plaatselijk)

	Ongeroerd monster
	Geroerd monster
	Verloren monster, leeg, enz.
	Kalkvrij
	Met weinig kalk
	Met veel kalk
P... massa per volume in t/m ³	



laboratorium voor grondmechanica delft
 telefoon: (015) - 56 92 23
 telex: 33326 solab nl

a.d. 1983-01-01
 get.

ALGEMENE LEGENDA GRONDAANDUIDING

BIJL. A
 A4





Beschrijving van de methoden die in het onderzoek zijn gebruikt. Bij sommige methoden is tevens aangegeven welke andere bepalingswijzen gebruikt kunnen worden.

Inhoud:

- A. Infiltratieproef
- B. GD-erosieproef
- C. Laboratorium-vinproef
- D. Bepalen structuur kleibekledingen
- E. Opname opbouw van de onderzochte structuur dijk
- F. Bestuderen dunne secties van de grond
- G. Droog volume gewicht en watergehalte
- H. Bepaling van het watergehalte van onverzadigde grond bij verschillende zuigspanningen (pF-curve bepaling)
- I. Korrelgrootteverdeling
- J. Atterbergse grenzen
- K. Organische stof
- L. Kalkgehalte
- M. Chloridegehalte
- N. Bepaling elektrische geleidbaarheid
- O. pH bepaling
- P. Bepaling CEC en geadsorbeerde kationen
- Q. Bepaling specifiek oppervlak
- R. Thermogravimetrische analyses



Infiltratieproef

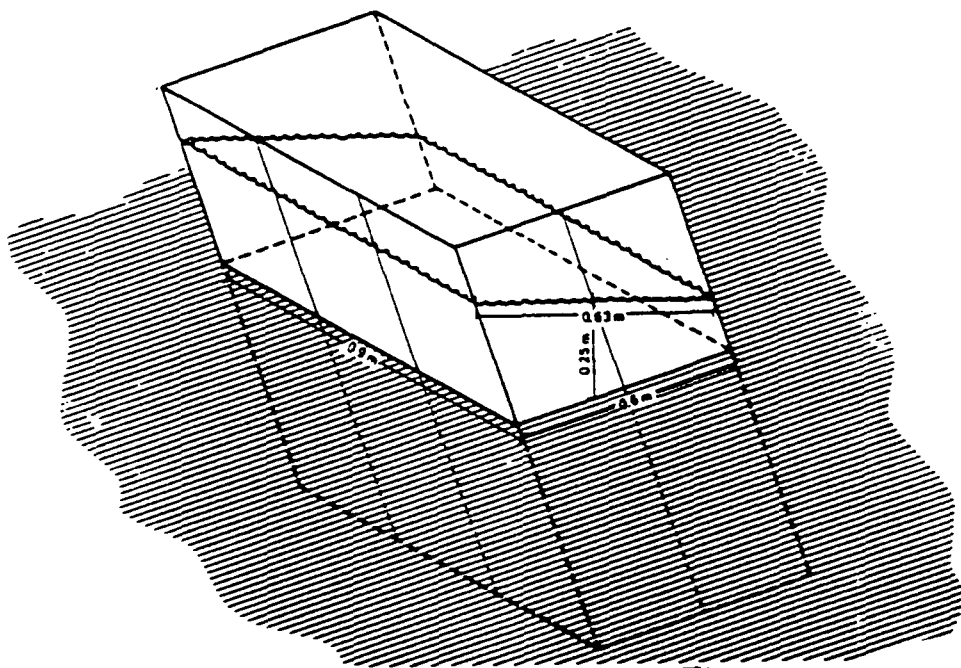
De infiltratiesnelheid van water in het kleidek werd bepaald met een speciaal voor het doel ontwikkelde koker (zie figuur A.1). Gezien de grote variatie in de porieverdeling in onverzadigde kleigrond dienen doorlatendheidsmetingen grote volumina grond te beschouwen, zo groot dat gekozen is voor in situ proeven. Bestaande infiltratieproeven zijn slecht toepasbaar op hellend terrein zoals een dijktalud in verband met het zijdelings hellingafwaarts 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 taludoppervlak 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.

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 handhef (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 werd de grasmat en de kleibekleding slechts minimaal beschadigd.

De koker werd opgesteld als aangegeven in figuur A.1. 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. Het is enige keren voorgekomen dat het water in het begin van de proef sneller zakte dan er uit voorraad ($\sim 0.7 \text{ m}^3$) 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 daalde na verloop van tijd naar een constante waarde.



Figuur A1: 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.

In 1985 is een infiltratieproef 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 macroporieren. In de dieper gelegen lagen waren wel met water verzadigde macroporieren 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 evenmin andere waarneembare verstoringen van de grond in de koker te zijn.



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 water geplaatst. Het water wordt vervolgens in beweging gebracht door een met schoepen bezette cilinder die rond het monster draait (zie figuur B.1). 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 in stappen van 100 t/min. van 0 naar 600 t/min gebracht, vervolgens blijft het toerental 1 uur op 600 t/min. Het toerental wordt in het derde uur stapsgewijs 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 1 tot 3 m/s worden gesteld (LGM 1985). Deze snelheid correspondeert met de maximale stroomsnelheid in een spleet en de maximale stroming op een glad oppervlak zoals bepaald voor golfoploop langs de Oosterschelde (WL 1982).

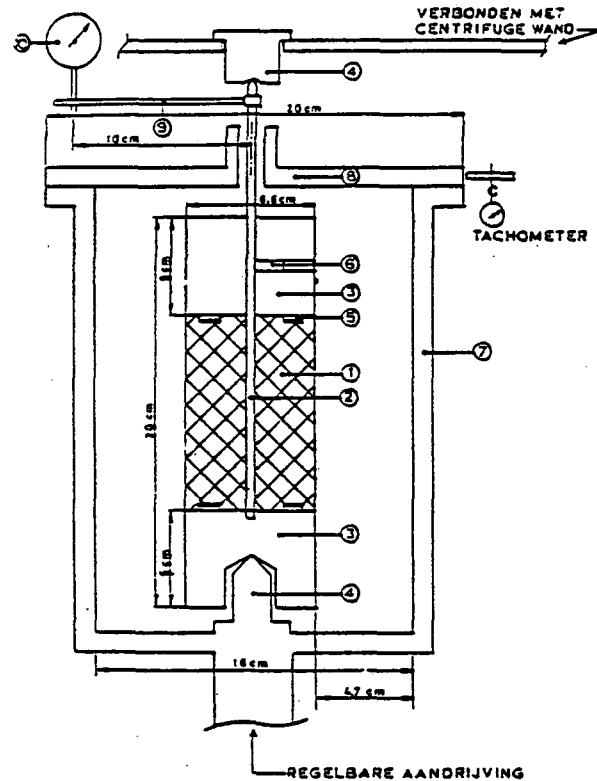
De schoepen van het erosieapparaat bevinden zich op enige centimeters van het monster. Bij een toerental van respectievelijk 290 en 870 t/min. wordt derhalve de hierboven geschetste conditie op een talud gesimuleerd. De snelheid van de schoepen bij 600 t/min. is dus vergelijkbaar met de watersnelheid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

De monsters voor de proeven worden met stalen bussen gestoken. 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 monsternamen en transport op de uitgangsomstandigheden voor de erosieproef zoveel mogelijk te elimineren.

Er zijn uit elke bus 2 monsters voor erosieproeven genomen. Er is één serie werd met zout water geërodeerd en in het celapparaat met zout water behandeld. Het merendeel der monsters is echter met zoet leidingwater met een saliniteit van circa 100 mg NaCl/kg behandeld en geërodeerd.

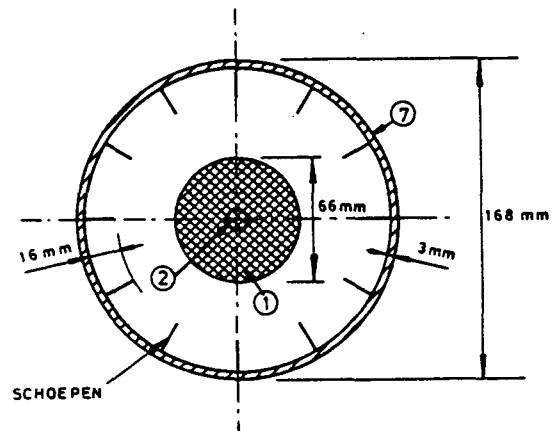
De resultaten van de LGM-erosieproeven omvatten het verloop in de tijd van het gewicht van het monster en het verloop van de kracht die het stromende water op het monster uitoefent en die wordt uitgedrukt in een daarvan afgeleide schuifspanningsmaat. Deze grootheden worden in grafieken gepresenteerd. Daarnaast is er een visuele inspectie van de

geërodeerde monsters uitgevoerd. Deze inspectie richtte zich op oppervlakte verschijnselen op macroscopisch en microscopisch niveau.



LEGENDA

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



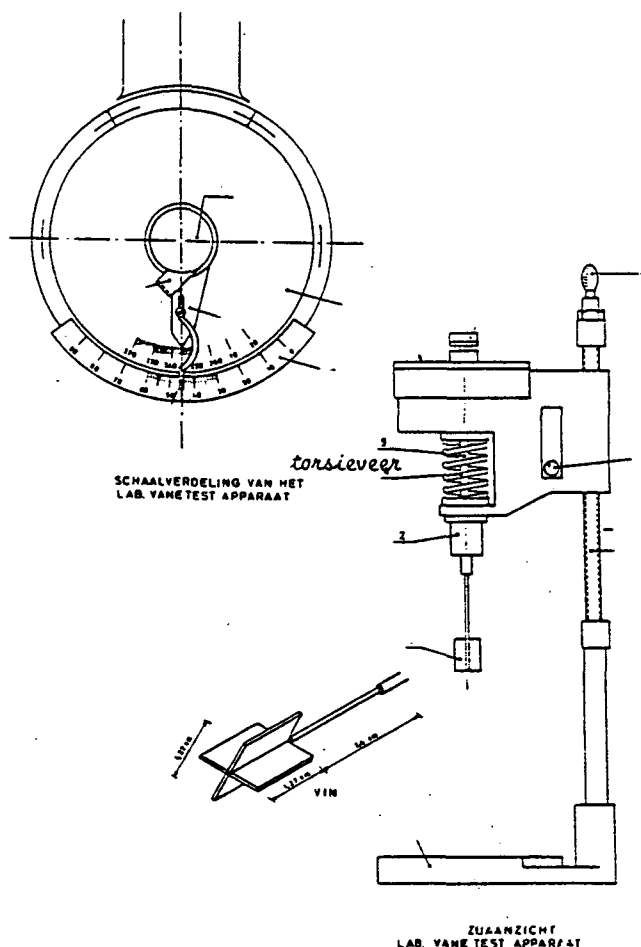
Figuur B1 Het erosie- apparaat waarmee de erosieproeven zijn uitgevoerd. Door het draaien van de rotor wordt het water langs het monster bewogen. De kracht die daardoor op het monster wordt uitgeoefend wordt gemeten evenals het opgetreden gewichtsverlies in intervallen van 10 minuten. Het toerental van de rotor wordt geleidelijk opgevoerd tijdens de proef.

Laboratorium vinproeven

Standaard laboratorium vinproeven (BS 1377, 1975 test 18) zijn uitgevoerd op ringmonsters die zijn gestoken uit blokmonsters. Van deze monsters zijn tevens watergehaltes en droge dichtheden bepaald. Bij de laboratorium vinproef wordt de maximale kracht gemeten die een kleine vin ondervindt wanneer deze in de grond wordt getordeerd (figuur G.1).

Met de monsters waarop de standaard laboratorium vinproeven zijn uitgevoerd zijn eveneens kruipproeven uitgevoerd. De vin werd opnieuw op een andere plaats in het monster gestoken en belast met de helft van de bezwijkspanning die met de standaardproef voor het monster was bepaald. De mate van verdraaiing van de vin bij constante belasting werd daarbij geregistreerd gedurende tenminste enige dagen. Als de spanning op de vin door de verdraaiing afleesbaar afnam, werd de vin tijdens de proef wederom op spanning gebracht. De mate van hoekverdraaiing van de vin is uitgezet tegen de logaritme van de tijd. Op deze wijze kan op eenvoudige enig inzicht in een bepaalde vorm van van kruipgedrag worden verkregen.

Figuur C1:
Laboratoriumvinproef-
apparaat.





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 in de bekleding gegraven zogenaamde profielkuilen. De profielkuilen maten ongeveer $0.5 \times 1.0 \text{ m}^2$ en waren ongeveer 0.8 tot 0.9 m diep afhankelijk van de opbouw van de bekleding. De kuilen zijn in het talud gegraven ongeveer 1 m beneden de kruin van de dijk en circa 1 m boven de teen van de dijk.

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 samenstelling en de kleur van de grond en de variatie daarin

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 helling en richting van de scheuren en spletten werd met een geologisch kompas met een hellingmeter gemeten op goed herkenbare vlakken.



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, geo-electrische metingen, en gegevens die door de betreffende Waterschappen zijn verschaft.

De boringen reiken in het algemeen tot 4 m beneden maaiveld en zijn gemaakt in:

- het aan de teen van de dijk gelegen land
- het buitentalud circa 1 m boven de teen
- 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 6 van dit rapport, waarbij bijzondere aandacht aan verticale variaties is besteed.

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

De geo- electricische metingen zijn uitgevoerd met een standaard apparaat met een Wenner electrode- opstelling. De electrode- opstelling is parallel aan de strekking van de dijk genomen. Het effect van het dijklichaam op de geometrie van het gemeten volume grond is niet in de gegevensverwerking opgenomen. Dit effect zal een rol spelen voor electrode afstanden van meer dan circa 3 tot 4 m voor de onderzochte dijken. In dat geval is de afwijking van aannames voor de berekeningen van normale gelaagdheid in de grond echter zodanig dat de afwijking door het niet vlak zijn van het oppervlak weinig invloed heeft.



Bestuderen van dunne secties van de grond

Van blokmonsters zijn dunne secties van circa $0.05 \times 0.08 \text{ m}^2$ gemaakt met een dikte van 30μ . Deze dunne secties, zogenaamde slijpplaten, worden gemaakt van met een optisch niet aktieve kunsthars geïmpregneerde grond. De slijpplaten kunnen met een polarisatie- microscoop met doorvallendlicht- faciliteit worden bestudeerd. Hiermee kan de opbouw van de grond en de verdeling van zand, de fijne delen en de poriën die groter dan circa 20μ zijn goed beschreven worden.

Voordat de slijpplaten werden gemaakt zijn de natuurlijke structurelementen, aggregaten, waaruit ze zijn gemaakt gedurende circa 12 uur doorstroomd met een methyleenblauw- kleurstofoplossing. Het aggregaat werd daartoe in een mengsel van paraffine en bijenwas in een kunststof cylinder ingegoten. Boven het monster werd in de cylinder ongeveer 0.15 m kleurstofoplossing gegoten welke door het aggregaat wegstroomde. De weg van de oplossing door het aggregaat kan gevolgd worden doordat de kleurstof neerslaat op de wanden van de doorstroomde poriën. Aan de hand van de afmetingen van de doorstroomde aggregaten en de hoeveelheid vloeistof die door het monster is gestroomd zijn schattingen van de doorlatendheid van de aggregaten gemaakt.

De dunne secties zijn beschreven in enige aan de zogenaamde micromorfologie ontleende begrippen. Hier wordt gebruik gemaakt van de begrippen:

- Matrix; een massa van niet individueel te onderscheiden deeltjes;
- Skelet; de grotere individueel aan te geven deeltjes, vooral zandkorrels,
- Poriën; met de microscoop als zodanig te onderscheiden porieruimte.



Droog volumegewicht en watergehalte:

Zowel het droog volumegewicht als het vochtgehalte zijn gravimetrisch bepaald met behulp van monsterringen. De steekringen bevatten 100 cm³. De grond wordt minimaal 24 uur gedroogd bij 105°C. De proef wijkt enigszins af van de eisen RWS 1978 door een langere droogtijd en een iets lagere temperatuur.

Over de voordelen van deze methode boven andere laboratoriummethoden wordt verwezen naar "Fysische bodemonderzoek methoden voor de onverzadigde zone" (VROM rapport, Bodembescherming, dl.22). De nadelen van deze wijze van monsternamen (moeilijk uitvoerbaar bij stenige of veel wortels bevattende bodem) zijn op dit onderzoek niet of nauwelijks van toepassing. Een nadeel dat wel naar voren kwam in dit onderzoek is dat door het vullen van de ring met grond met grote poriën, deze poriën verkleind worden waardoor het volumiek gewicht toeneemt.

Als een mogelijkheid om het eerder genoemde probleem van de monstergrootte te ondervangen, worden vaak veldbepalingen met een neutronen- en gammastralingssonde. De buizen voor de sonde dienen echter zo geplaatst te worden dat zij goed contact maken met de grond. De methodiek is voor absolute vochtgehalte en droge bulkdichtheid bepalingen echter niet zonder meer bruikbaar. Wel is het goed mogelijk hiermee verschillen in vochtgehalte over een bepaalde tijdsspanne op een locatie te meten. Het droog volumiek gewicht zal toch in het laboratorium bepaald moeten worden. De metingen met een gamma- of neutronensonde brengen relatief hogere materiaal- en personeelskosten met zich mee dan de genoemde laboratoriumbepaling.

De nucleaire bepalingen in dit onderzoek zijn uitgevoerd in standpijpen van ABS kunststof (80mm) die aan de onderzijde waren afgesloten en die in een nauwsluitend boorgat zijn weggedrukt. Metingen in die pijpen zijn in voorjaar zomer en najaar van 1985 en 1986 uitgevoerd.



Bepaling van het watergehalte van onverzadigde grond bij verschillende zuigspanningen (pF- curve bepaling)

Van enkele ringmonsters is bij verschillende negatieve waterspanningen het volumetrisch vochtgehalte bepaald. Bij zuigspanningen van 1, 10, en 50 kN/m², respectievelijk pF 1.0, 2.0, en 2.7 is dit op een zogenaamde pF-bak gedaan. Hiermee worden middels een filter met hoge luchtentreewaarde met behulp van een waterkolom de zuigspanningen pF 1 en pF 2 aangelegd. Voor de zuigspanning pF 2.7 is de druk met een kwikmanometer aangelegd. Een zuigspanning van 250 kN/m², pF 3.4, is gerealiseerd door het aanbrengen van een druk middels een pers. Van ieder ringmonster is eerst de bepaling bij pF 1.0 gedaan vervolgens bij pF 2.0 dan bij pF 2.7. Daarna is het monster uit de ring verwijderd en in een stoof (bij 105°C) gedroogd. Vervolgens is het monster opnieuw bevochtigd en op pF 3.4 gebracht.

Door de gewichtsverandering van de monsters te volgen na het aanbrengen van een bepaalde zuigspanning kon worden geconstateerd of er een evenwichtssituatie was ontstaan voor het watergehalte. Er is bij de bepaling geen rekening met hysteresis- effecten gehouden.



Bepaling korrelgrootteverdeling:

De te analyseren monsters zijn gedroogd bij 105°C. Vervolgens is er water en een peptisator (natriumpyrofosfaat) aan toegevoegd. Hierna zijn de suspensies 5 minuten ultrasoon behandeld. Door het toevoegen van de peptisator en de behandeling in het ultrasone bad, dispergeren aggregaten van gronddeeltjes vrijwel volledig.

De fracties groter respectievelijk kleiner dan 38 µm zijn gescheiden verwerkt. De scheiding tussen deze twee fracties wordt gemaakt door het monster in zijn geheel nat te zeven met een zeef met een maaswijdte van 38 µm. Het materiaal wordt door deze zeef gespoeld met gedemineraliseerd water waaraan natriumpyrofosfaat is toegevoegd. Het materiaal > 38 µm wordt vervolgens gedroogd en gewogen. De verdere scheiding van deze fractie gebeurt door droog te zeven (volgens NEN 2560). Met het materiaal < 38 µm, dat door de zeef is gespoeld, wordt een bezinkingsproef uitgevoerd.

Bezinkingsproeven zijn gebaseerd op de wet van Stokes. Deze wet gaat uit van een aantal aannames waar bodemmateriaal niet aan voldoet.

- De wet van Stokes geldt voor bolvormige deeltjes, beneden een bepaalde valsnelheid. Aangezien bodemdeeltjes zelden bolvormig zijn, is de term equivalente straal ingevoerd. Dit is een maat voor de grootte van de deeltjes indien zij bolvormig zouden zijn. Vooral bij kleiplaatjes is de overeenkomst tussen equivalente straal en werkelijke straal gering.
- Duidelijk is dat de peptisatie van het bodemmateriaal volledig moet zijn. Als dit niet het geval is, wordt niet de korrelgrootteverdeling bepaald, maar de "agregaatfractie"-verdeling of een intermediaire grootte.
- De wet van Stokes geldt alleen voor deeltjes in een rustende vloeistof. De vallende deeltjes zelf verplaatsen water, waardoor niet aan de vermelde voorwaarde wordt voldaan. Ook moet men verdacht zijn op convectie als gevolg van temperatuursinvloeden.

Desalniettemin geeft de bezinkingsproef voor veel doeleinden voldoende informatie over de korrelgrootteverdeling van fijn materiaal.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een bezinkingsproef met een sedigraaf (Micromeritics). Dit instrument meet het verloop van de deeltjes concentratie in de suspensie met de tijd, door middel van röntgenstraling. Het instrument heeft in enkele minuten de meting voltooid. Bij ijking met behulp van de pipet methode (zie volgende alinea), heeft het instrument een grote nauwkeurigheid (tot 0.1 µm).

Bij de voorbehandeling zou ook rekening gehouden moeten worden met eventueel aanwezige zouten zoals gips en chloriden. In de Nederlandse situatie moet men met name bedacht zijn op het voorkomen van chlorides. Te hoge concentraties zout kunnen worden verwijderd door enkele malen met gedemineraliseerd water te spoelen. Indien grotere concentraties (enkele procenten of meer) gips in een monster voorkomen



moet de voorbehandeling worden aangepast omdat anders het gevaar bestaat dat het materiaal niet goed dispergeert.

Een andere storende component bij de granulair analyse kan het voorkomen van ijzeroxiden zijn. In enkele gevallen kan ijzeroxide een dermate sterke verkitting veroorzaken dat dispersie van het monster onmogelijk is. Dit "vrije" ijzer kan met een natrium dithioniet-citraat (of een dergelijke) extractie worden verwijderd.

Andere bepalingwijzen voor fijne fracties zijn de pipetmethode en de areometerbepaling. De pipet-methode is een goed en goedkoop alternatief. Deze methode is in tal van laboratoria in gebruik. De concentratie meting wordt verricht door het gewicht te bepalen van de deeltjes tussen twee vooraf bepaalde tijdstippen op een vooraf berekende diepte. Dit gebeurt door een zeker volume te pipetteren. Na drogen van het afgepipetteerde monster wordt het gewogen, en kan de concentratie van de deeltjes met een sedimentatiesnelheid kleiner dan het vooraf bepaalde tijdstip worden gevonden. De bezinksnelheid komt volgens bovenstaande vergelijking overeen met een zekere deeltjesstraal. Deeltjes kleiner dan $2 \mu\text{m}$ bezinken dermate traag dat deze bij routine onderzoek meestal niet bepaald worden. De areometerbepaling is een andere goedkope methode om de kleinere korrelfracties te bepalen. Het verloop van de dichtheid van de vloeistof wordt middels een drijver bepaald. Deze methode geeft echter resultaten die afwijken van die van de pipetmethode en wordt daarom minder nauwkeurig geacht.



Bepalen van de Atterbergse of consistentiegrenzen;

Bij eenzelfde grondsoort verandert de consistentie met het watergehalte. Wanneer dit heel hoog is wordt de grond vloeibaar, is het laag dan wordt het rul en korrelig. Dit geldt met name voor fijnkorrelige grondsoorten. Teneinde de consistentie beter vast te leggen zijn er juist voor deze fijnkorrelige grondsoorten een aantal eenvoudige proeven ontwikkeld. Daarmee worden een vaste, een plastische en een vloeibare fase vastgelegd voor grond. De grenzen tussen de verschillende fasen worden consistentiegrenzen genoemd en heten resp. vloeigrens en uitrolgrens. Behalve deze twee consistentiegrenzen wordt soms ook de krimprens bepaald. Kennis van de consistentiegrenzen geeft een indruk van sommige eigenschappen die van de betreffende grond verwacht mogen worden. Zo is het b.v. mogelijk om in combinatie met het natuurlijk vochtgehalte enige conclusies te trekken ten aanzien van de verwerkbaarheid van grond.

De Atterbergse grenzen bepaling is volgens de ASTM- normen uitgevoerd op materiaal fijner dan 425μ (ASTM D 423- 66 en D 424- 59). De vloeigrens wordt bepaald met behulp van het zogenaamde toestel van Casagrande. Het watergehalte waarbij de groef in het monster nadat het schaalpje 25 keer gevallen is, over 1 cm dichtvloeit wordt de vloeigrens genoemd. De uitrolgrens vindt men door op een glazen plaat met de hand van de betreffende grond draden te rollen van 3 mm dikte. Het waterhalte waarbij het net niet meer lukt de draad tot 3 mm dikte uit te rollen (de draad valt dan in brokken uiteen) wordt de uitrolgrens genoemd.

De vloeigrens en uitrolgrens kunnen ook met een proef waarbij een conisch gevormd gewicht van vaste hoogte in monstermateriaal valt worden bepaald. Er zijn echter bepaalde afwijkingen tussen de resultaten van deze bepalingen en de hiervoor genoemde bepaling.



Organische stofsoorten;

Organische stoffen in de grond kunnen 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 in basisch of zuur milieu;
- organische stoffen die alleen in basisch milieu oplosbaar zijn, zogenaamde huminezuren;
- organische stoffen die in zowel basisch als in zuur milieu oplosbaar zijn, de zogenaamde fulvozuren.

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.

Organische stofgehalte bepaling:

Voor de bepaling van het gewichtspercentage organisch materiaal is 25 g monster in 180 mL water gebracht. Hieraan is 25 mL 30% H_2O_2 toegevoegd. Het geheel is op een kokend waterbad geplaatst tot de bovenstaande vloeistof helder was. Indien nadat het H_2O_2 uitgewerkt is en de bovenstaande vloeistof nog niet helder was, is er meer H_2O_2 toegevoegd. De aanwezige organische stof wordt bij deze proef geoxideerd, zodat hoofdzakelijk, CO_2 en H_2O ontstaan. Het CO_2 ontwijkt en het organische stofgehalte kan worden bepaald uit het gewichtsverlies na drogen.

Deze bepaling kent veel haken en ogen. Een ervan is dat niet alle organische stof wordt geoxideerd. Alleen de goed afbreekbare en fijne deeltjes worden omgezet. Verder kunnen diverse andere oxidatie reacties plaats vinden. Zo kunnen sulfiden en sulfieten worden geoxideerd (waarbij H_2S uit het systeem kan ontwijken). Verder kan een groot scala aan metaalverbindingen geoxideerd worden.

Een andere veel gebruikte methode is de bepaling van het gloeiverlies. De methode is gebaseerd op de droge verassing van de organische stof.



Het organisch materiaal wordt geoxideerd en de gassen die hierbij ontstaan ontwijken. Uit het gewichtsverlies wordt het organische stofgehalte berekend. Deze bepaling kan zonder correcties alleen op materiaal met een hoog organische-stofgehalte worden toegepast. Bij de verhitting van het monster wordt NaCl verwijderd, ontleedt CaCO_3 , worden sesquioxiden gedehydrateerd en wordt een groot deel van het van de klei en het silt gedehydrateerd en gedehydroxyleerd. Hiervoor zijn velerlei correctiefactoren voor bedacht; deze kunnen niet verhinderen dat de bepaling onbetrouwbaar wordt als de bovengenoemde factoren enige rol van betekenis gaan spelen. De methode is eenvoudig en goedkoop en in de praktijk goed bruikbaar.

Er zijn een aantal alternatieven voorhanden die meer betrouwbare resultaten leveren, alhoewel het moeilijk is een absolute referentie voor het belang ervan is te geven. Een vrij algemeen gehanteerd principe is de bepaling van totaal C en anorganisch C. Uit het verschil van die twee kan het organisch C worden berekend. Het is mogelijk het anorganisch C te verwijderen, waarna met het totaal C tegelijkertijd organisch C wordt bepaald. Via het gewicht van het organisch C kan men het gewicht van de organische stof extrapoleren. Het percentage C in organische stof is, zeker in gematigde streken vrij continu 48-58%.

Methoden voor een totaal C bepaling zijn:

- Droge verassing waarna het vrijgekomen CO_2 met een gaschromatograaf (hoge kosten), wordt bepaald. Er zijn automatische C analysers in de handel die volgens dit principe werken (o.a. LECO en Perkin en Elmer). Een alternatieve methode om het vrijgekomen CO_2 te bepalen is het op te vangen in een oplossing en vervolgens titrimetrisch of gravimetrisch te bepalen.
- Dichromaat oxidatie met verhitting. Deze methode is goedkoper dan de bovengenoemde. Ze geeft echter iets minder goede resultaten omdat Cl^- , Fe^{2+} en MnO_2 de bepaling storen.

Het is raadzaam om, voordat met een of andere bepaling wordt begonnen, het monster te malen. Met name grotere carbonaatconcreties kunnen anders onvolledig reageren.

De bepaling van het gehalte aan humine - en fulvozuren: De hoeveelheid huminezuur en fulvozuur 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.

Reagentia: - $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: Los 13 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ op in 250 ml demi-water, voeg 550 ml gec. H_2SO_4 toe en vul aan tot 1 liter.
- Fe^{2+} oplossing: Los 59 g ammonium-ijzer(II)sulfaat $\{(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}\}$ op in 250 ml demi-water, voeg 25



ml gec. H_2SO_4 toe. Vul aan tot 1 L. Stel de Fe (II) oplossing potentiometrisch op $K_2Cr_2O_7$ (Pt + calomel electrode).

Werkwijze:

A. Humine + Fulvozuur.

Weeg ongeveer 100 g grond af in een 250 mL centrifugebuis en voeg 20 mL 0.1 M NaOH toe. Neem tevens een blanco mee. Schud de oplossing gedurende 30 min. en centrifugeer. Pipetteer 25 mL van de verkregen heldere oplossing in een rondbodempipet en voeg 25 mL $K_2Cr_2O_7$ opl. toe. Voeg kooksteentjes toe, plaats een koeler op de kolf en kook gedurende 30 min.

Bepaal potentiometrisch (Pt + calomel) m.b.v. de Fe(II) oplossing de hoeveelheid $Cr_2O_7^{2-}$.

B. Fulvozuur

Pipetteer 50 mL van de bij A gecentrifugeerde oplossing in een 250 mL centrifugebuis, voeg 150 mL 0.1 M HCl toe. Schud gedurende 30 min., centrifugeer en pipetteer daarna 50 mL van de verkregen oplossing. Bepaal volgens de onder A beschreven methode de hoeveelheid $Cr_2O_7^{2-}$. Bepaal tevens een blanco.



Bepaling van kalkgehalte:

Van de monsters is het kalkgehalte bepaald volgens de volgende methode: Aan de monsters is 0.1 N HCl toegevoegd. Het CO₂ dat ontwijkt bij verhitting van de vloeistof, wordt omgerekend naar een equivalente hoeveelheid CaCO₃ in het oorspronkelijke grondmonster. Voor dit onderzoek is de hoeveelheid CO₂ die ontwijkt gemeten door het verschil in gewicht van het monster voor en na de toevoeging van het zoutzuur te bepalen. Andere bepalingsmethoden berusten eveneens op het vrijkomen van CO₂, alleen de hoeveelheid CO₂ wordt op een andere manier bepaald. Zo kan bijvoorbeeld het gewicht of het volume van het vrijgekomen CO₂ worden gemeten.

Wanneer de bovenstaande vloeistof na behandeling van monster met zoutzuur en na centrifugeren afgeschonken wordt, kan een deel van de zeer fijne deeltjes met de vloeistof kunnen weggespoeld. Ook zal op deze manier een deel van de opgeloste zouten worden afgevoerd. Zowel het gewichtsverlies aan zouten als aan fijne deeltjes wordt bij de voor dit onderzoek gebruikte methode als CaCO₃ gerekend. Als het CO₂ direct volumetrisch of gravimetrisch wordt bepaald kunnen dergelijke fouten niet optreden.

Alhoewel alle vrijgekomen CO₂ teruggerekend wordt tot CaCO₃, kunnen natuurlijk ook andere carbonaten, zoals dolomiet, oplossen. De mate waarin de aanwezige carbonaten in oplossing gaan, is sterk afhankelijk van de korrelgrootte van de carbonaten en de reactietijd. Om de reactie te bespoedigen kan het monster gemalen worden. Sideriet (FeCO₃) is het enige carbonaat dat slecht oplost in verwarmde HCl-oplossing en dus niet bepaald wordt.

Daar alle bepalingsmethoden op het principe van het oplossen van carbonaten in zoutzuur berusten, zijn ze gevoelig voor dezelfde fouten. Zo kunnen, indien aanwezig, sulfiden en sulfiet omgezet worden in H₂S en SO₂ en kunnen uit de oplossing ontwijken. Voor gronden met een hoog gehalte sulfiden kan, indien het volume of gewicht van het CO₂ wordt bepaald, het ontwijkende H₂S opgevangen worden (in b.v. een zink- natriumacetaat oplossing) zodat dit niet als CO₂ meegerekend wordt. Indien ijzersulfiden aanwezig zijn als goed ontwikkelde kristallen, zal dit niet of nauwelijks ontleden. Als het echter cryptokristallijn ontwikkeld is, zal er wel H₂S vrij komen. Het ontwijken van SO₂ wordt kwantitatief niet van belang geacht. Het is mogelijk dat sommige aromatische organische zuren door het toevoegen van HCl gedeeltelijk worden gedecarboxyleerd. De CO₂ die hierbij vrijkomt wordt ook als CaCO₃ meegerekend. Alhoewel dit effect niet erg groot zal zijn kan het tegen worden gegaan door Fe(II) of Sn(II)-zouten toe te voegen.



Chloride gehalte (als maat voor de saliniteit)

Van de monsters is het wateroplosbaar Cl₂ gehalte (1-waardig negatief chloor-ion) bepaald. Dit Cl₂ gehalte is hier uitgedrukt in equivalent concentraties NaCl (mg NaCl/kg droge grond). Door het NaCl gehalte uit te drukken in gewicht NaCl per kg droge grond zijn verdunning en concentreren van het bodemvocht niet van invloed op de gemeten gehalten.

Er zijn twee bepaling methoden gebruikt, te weten :

- Fotometrische Cl bepaling met Hg(CNS) (NEN 6582) voor de bepalingen in 1986;
- Titrimetrische Cl bepaling met AgNO₃, volgens de voorschriften van de Rijk 1980 voor de bepalingen in 1985 en 1987.

De colorimetrische bepaling heeft het voordeel dat de bepaling met een z.g. autoanalyser uitgevoerd kan worden. Met een autoanalyser kunnen automatisch waterige oplossingen geanalyseerd worden op een bepaalde stof. Hierbij is de uiteindelijke meting meestal colorimetrisch. Het voordeel van het apparaat is een besparing op personeelskosten. De waarden gevonden bij de fotometrische bepaling blijken echter steeds 10-15% hoger te liggen dan die gevonden bij de titrimetrische bepaling.

Opgemerkt dient te worden dat het NEN 6582 voorschrift is opgesteld ter bepaling van chloride in regenwater. Omdat het niet specifiek op bodemmonsters is toegespitst, kunnen eventuele storingen door de vaste stof niet op voorhand worden uitgesloten. Bij de uitgevoerde proeven is de vaste stof echter afgecentrifugeerd.

Een alternatief voor de titrimetrische bepaling met AgNO₃ methode is de directe potentiometrische bepaling met een chloride specifieke electrode. Deze methode is minder bewerkelijk, maar er is nog niet voldoende praktijkervaring mee opgedaan.



Bepaling elektrisch geleidingsvermogen:

Van de onderzochte monsters is het geleidingsvermogen bepaald in dezelfde suspensie als waarin de pH is gemeten. Het geleidingsvermogen wordt gemeten met een electrode en uitgedrukt in Siemens/cm. Het geleidingsvermogen van een vloeistof heeft een directe relatie met het zoutgehalte. Het geleidingsvermogen van een suspensie is echter, afgezien van het zoutgehalte, afhankelijk van de concentratie en aard van de vaste deeltjes in de suspensie. Aangezien het geleidingsvermogen van verschillende factoren tegelijk afhankelijk is, is er geen directe fysische of chemische betekenis aan de geleidingsvermogen van een bodemsuspensie te verbinden. De gehanteerde grootte is vooral bruikbaar voor globale vergelijkingen tussen monsters.



pH bepaling

Van de grondmonsters is de zuurgraad bepaald volgens NEN 5750. Hiertoe zijn de monsters met gedemineraliseerd water in suspensie gebracht waarin 15 ml veldnatte grond door goed schudden is gemengd met 75 ml demi water en waardoor een grond-water verhouding van 1:5 wordt bereikt. Hierna is met behulp van een glas-kalomel combinatie elektrode (GK 2401 C) na meer dan 2 uur en binnen 24 uur de pH van de suspensie gemeten.

Aan het meten van de pH in een suspensie kleven enkele bezwaren. In diverse handboeken wordt op het gevaar van het zgn. suspension effect gewezen. Het suspensie effect wordt verklaard door de extra diffusie potentiaal van kaliumionen naar de electrisch negatieve colloïden. Dit verschijnsel heeft, naar wordt aangenomen, een maximaal effect van een lagere pH van 0.3 pH eenheden. Tijdens de bepaling kan er ook CO₂ uit de atmosfeer in de suspensie of in de vloeistof oplossen. Het oplossen van CO₂ kan de pH veel sterker (negatief) beïnvloeden dan de genoemde 0.3 eenheden van het suspension effect. Omdat een suspensie beter is gebufferd voor opname van CO₂ dan de bovenstaande heldere vloeistof, is het raadzaam monsters met een pH van ongeveer 6 of hoger in suspensie te meten. Bij monsters met een pH onder de 6 is er weinig verschil tussen een meting in suspensie of in de bovenstaande heldere vloeistof (bij een zelfde grond-water verhouding). Teneinde tot een uniforme bepalingswijze te komen is het nodig alle monsters in suspensie te meten, waarbij het van belang is dat er steeds dezelfde grond-waterverhouding gebruikt wordt.

De pH wordt ook wel bepaald in een 0.01 M CaCl₂ of 1 N KCl oplossing in plaats van in water. Het voordeel van deze methoden is dat eventuele seizoensinvloeden op de concentratie van de bodemoplossing uitgemiddeld worden. De gevonden pH waarde in een KCl oplossing wijken echter vaak sterk af van de werkelijke pH (de pH KCl kan tot meer dan 1.0 pH eenheid lager liggen dan de pH in water). De gemeten pH waarden in een 0.01 M CaCl₂ oplossing liggen vaak iets onder de waarden van de bepalingen in water. Het verschil tussen deze twee wordt veroorzaakt door het H⁺ dat door het Ca²⁺ uit het adsorbtiecomplex wordt verdrongen. Bij kalkhoudende bodems (een lage uitwisselbare aciditeit) zal dit verschil echter te verwaarlozen zijn.



Bepaling CEC en geadsorbeerde kationen:

De kationuitwisselcapaciteit of C.E.C. (Cation Exchange Capacity), is bepaald door het adsorbtie complex van een monster met een bekend kation (index-ion) te verzadigen. Vervolgens is de overmaat van de zoutoplossing van het index- ion uit het monster gewassen, waarna het met een ander kation verzadigd wordt. De hoeveelheid van het index-ion die dan in de vloeistof terecht komt door uitwisseling, is een maat voor de C.E.C.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een natriumacetaat methode bij een pH van ± 8 om de grond met Na- ionen (index- ion) te verzadigen. Hierbij is gebruik gemaakt van 50% ethanol als wasvloeistof, waardoor bij het uitwassen door schudden zo min mogelijk NaCl (en andere zouten) in oplossing gaan. Indien er echter toch natriumzouten oplossen is er onzekerheid over de totaal aanwezige hoeveelheid Na- ionen in de vloeistof.

Voor de bepaling van de kationen die het adsorbtiecomplex bezetten, wordt het adsorbtiecomplex verzadigd met ammonium. Door vervolgens de concentratie van de index- kationen in de oplossing te meten via atomaire absorbtie, is bekend welke en hoeveel van elke soort kationen het adsorbtiecomplex bezetten. (Dit laatste is te ondervangen door een kation te gebruiken dat in de initiële situatie niet of nauwelijks in natuurlijke bodems in Nederland voorkomt, b.v. Lithium).

Omdat de C.E.C. pH afhankelijk is, is het belangrijk te weten bij welke pH deze is bepaald. Als men wil weten hoe groot de C.E.C. onder veldcondities is dient deze ook bij de veld pH waarde bepaald te worden. Indien echter iedere grond een aangepaste C.E.C. bepaling zou ondergaan, is onderling vergelijk moeilijk. Daarom zijn er een aantal methoden van C.E.C. bepalen voorhanden, gericht op bepaalde groepen bodems.

Bij bepaling van de geadsorbeerde kationen kunnen zouten storen. Door het gebruik van ethanol zal het oplossen van kalk en gips weliswaar beperkt blijven. Indien grote hoeveelheden chloriden aanwezig zijn kunnen deze (gedeeltelijk) oplossen waardoor een te hoge kationen concentratie in de oplossing gemeten wordt. Hiermee wordt het feit verklaard dat de som van de, aan het adsorbtiecomplex deelnemende, kationen aanzienlijk groter kan zijn dan de C.E.C.



Bepaling specifiek oppervlak:

Een veel gebruikte methode om het specifiek oppervlak te bepalen is, een monster te verzadigen met een groot polair organisch molecuul. De hoeveelheid geadsorbeerde moleculen zijn een maat voor het specifiek oppervlak (uitgedrukt in m^2/g).

Het specifiek oppervlak is voor dit onderzoek bepaald voor de fractie $< 150\mu$, door een in een exsiccator met $P/0$ gedroogd monster te verzadigen met ethyleenglycol-monoethylether (EGME). Het verzadigde monster wordt in een exsiccator, onder vacuum, met $CaCl_2$ geplaatst. Het monster wordt vervolgens regelmatig gewogen. Nadat geen gewichtsverlies door verdampen van EGME meer optreedt, wordt van het nu gevonden gewicht het gewicht van het initiele droge monster afgetrokken. Uit het gevonden gewicht, van het geadsorbeerde EGME, is het totale oppervlak van het ingewogen monster en daarna het oppervlak per gram monster te berekenen. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat een vaste hoeveelheid EGME per eenheid vaste stofoppervlak is geadsorbeerd.

In het monster aanwezige organische stof kan een deel van het EGME adsorberen of hier zelfs een reactie mee aangaan. Het is arbitrair of de adsorbtie van EGME door organische stof mee gerekend moet worden bij de bepaling van het specifiek oppervlak. Als men dit niet mee wil rekenen dient het monster voorbehandelt te worden met H_2O . Hierdoor zal weliswaar niet alle organische stof worden verwijderd, maar zeker wel het meest actieve deel.



Thermogravimetrische analyses:

De thermogravimetrische analyses geven inzicht in de samenstelling van grond door het meten van de gewichtsverandering van het monster bij gecontroleerde verhitting.

Op een aantal monsters is een thermogravimetrische analyse verricht (TGA of TG) met een Derivatograph van MOM (Boedapest). Het principe van thermogravimetrische analyse berust op de verandering van het gewicht van grond die samenhangen met chemische processen die bij het verhitten van het monster optreden en met processen als het uitdrijven van water en hydroxylgroepen uit gronddeeltjes. Door de gewichtsafname bij een bepaalde temperatuurtoename te bepalen, kan inzicht worden verkregen in de hoeveelheden water die hecht aan het vaste stof oppervlak zijn geadsorbeerd.

De monsters van ongeveer 1000 mg werden in het apparaat met een temperatuurtoename van 11°C per minuut, verwarmd tot 600°C . (In dit traject treden o.a. op: - tot 100°C drogen van de grond; - tot 200°C dehydratatie van het oppervlak van de gronddeeltjes; - $250-500^{\circ}\text{C}$ oxidatie van organisch materiaal; - $250-600^{\circ}\text{C}$ dehydroxillatie van sesqui-oxiden)