

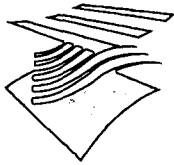
Technische
Adviescommissie voor de
Waterkeringen

Werkgroep A, Belasting en Bekleding

**Bodems in klei/reststerkte,
onder steenzetting op Nederlandse dijken**



augustus 1995



Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde, TAW-A2

**Bodems in klei/reststerkte,
onder steenzetting op Nederlandse dijken**

Drs. G.A.M. Kruse

augustus 1995



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Rapport nr.:CO-358350/15:TAWA2.95.67		Datum rapport: 7 augustus 1995	
Titel en sub-titel: BODEMS IN KLEI ONDER GEZETTE STEEN OP NEDERLANDSE DIJKEN EN RESTSTERKTE		Behandelende afdeling: Strategisch Onderzoek	
		Projectnaam: Bodem onder gezette steen	
Projectleider:drs. Gerard A.M. Kruse		Projectbegeleider(s): Ir. T.P. Stoutjesdijk	
Naam en adres opdrachtgever: Dienst Weg- en Waterbouwkunde Postbus 5044, 2600 GA Delft		Referentie opdrachtgever: WB/CX 940907, DWW-802	
		Verzonden in: 50-voud	
		Type rapport: definitief	
<p>Samenvatting rapport:Er is een onderzoek uitgevoerd naar bodemvorming onder gezette steen op 11 dijktafsluitingen in Zeeland in verband met de reststerkte bij golfaanval en in verband met geulvorming onder de stenen. Voor het onderzoek zijn ongeveer 1 m brede sleuven in de klei-onderlaag gegraven en is de ondergrond in detail beschreven en zijn er monsters voor classificatie-doelinden genomen.Duidelijk herkenbare bodemvorming blijkt algemeen voor te komen in klei-onderlagen onder gezette steen. De belangrijkste invloeden op de bodemvorming, en de bodemstructuur, is de wijze van aanbrengen en verdichten van kleigrond en de samenstelling van de grond. In goed verdichte lagen is op meer dan 0.3 tot 0.4 m diepte de bodemstructuur meestal nog massief, dat wil zeggen dat er bijna geen spleten of scheuren als gevolg van krimpen en zwellen worden aangetroffen. Van dergelijke goed verdichte lagen, indien niet te dun, kan een belangrijke bijdrage in de reststerkte van de onderlaag verwacht worden. In dit onderzoek zijn een aantal dijktafsluitingen waarbij het oude dijklichaam deel van de klei-onderlaag uitmaakt. Dit oude dijklichaam bestaat in een aantal gevallen uit zeer dichte cohesieve grond die een zeer grote bijdrage aan de reststerkte van de dijk kan leveren. In bijlage 10 is de reststerkte van de onderzochte locaties beschreven. De bovenste 0.15 tot 0.25 m van klei-onderlagen heeft nagenoeg altijd een bodemstructuur van millimeters-grote blokjes die vaak los gestapeld zijn. Deze toplaag zal nagenoeg niet kunnen bijdragen in de reststerkte van de onderlaag. Op veel locaties zijn lagen aangetroffen van grond die na het aanbrengen niet of weinig is verdicht. Naar verwachting is de bijdrage van dergelijke lagen aan de reststerkte zeer beperkt. Een belangrijke factor daarbij is dat bodemleven welig heeft kunnen tieren in zulke lagen hetgeen de erosieresistentie van een laag sterk ondermijnd.Uit deze studie kan in het licht van de thans bestaande inzichten over erosie van klei-onderlagen worden afgeleid dat de reststerkte van onderlagen zeer beperkt is als er beneden ongeveer 0.3 m veel zeer zandige of niet verdichte grond voorkomt en als bodemvorming tot grotere diepte een herkenbare bodemstructuur heeft veroorzaakt.Bij klei-onderlagen treedt nagenoeg altijd enige oppervlakkige erosie van de grond onder de stenen op hetgeen op bijna al de onderzochte locaties tot geulvorming heeft geleid. Deze erosie is beperkt tot een zone met een breedte van 1.5 tot 2.5 m boven de overgangsconstructie naar stortsteen (mijnsteen, slakken en dergelijke) en is niet afhankelijk van de ligging ten opzichte van de hoogwaterlijn. De geulvorming neemt in het algemeen af met toenemend gehalte afslibbaar (< 16µm) en komt vooral voor in vergraven, meestal slecht verdichte lagen.Samenvattend kan worden gesteld dat zowel de reststerkte van klei-onderlagen als het beperken van geulvorming daarin gebaat zijn bij het aanbrengen van geschikte, zware of vette klei en het goed verdichten daarvan over de gehele dikte van de klei-onderlaag. Het verkennen van de gesteldheid van klei-onderlagen en van de opbouw van het dijklichaam onder gezette steen kan met sonderingen, aangevuld met waarnemingen in enige kuilen in de onderlaag worden uitgevoerd. Voorafgaand archiefonderzoek en interviews met bij de aanleg betrokkenen lijkt een voor de hand liggende eerste stap in de verkenning ten behoeve van het vaststellen van de noodzaak en het stellen van prioriteiten voor gedetailleerde verkenningen. De meeste grond in klei-onderlagen heeft karakteristieken van hydromorfe gronden met gley en pseudo gley verschijnselen.</p>			
Opmerkingen:			
Trefwoorden:bodemvorming, klei, gezette steen, erosie, verkenning, grondbeschrijving, reststerkte		Verspreiding: DWW, TAW A2	
Opgeslagen op 145.3.5.21 onder titel: subrap3.wp			Aantal blz.:141
Versie:	Datum:	Opgesteld door:	Gecontroleerd door:
1	7 augustus 1995	kru	std

INHOUDSOPGAVE

Deel I

Samenvatting	1
1 INLEIDING	5
2 WIJZE VAN ONDERZOEK	7
3 ONTGRONDEN VAN DE KLEI-ONDERLAAG DOOR GOLFWERKING	9
3.1 Erosie van klei onder gezette steen	9
3.2 Overzicht van enige belangrijke fenomenen	10
4 DIJKAANLEG EN BODEMVORMING	13
4.1 Bodems en bodemvorming	13
4.1.1 Samenstelling	13
4.1.2 Bodemstructuur	15
4.1.3 Overige aspecten	18
4.2 Enige opmerkingen over bodemvorming en civieltechnische eigenschappen	21
4.3 Aspecten van oorsprong en verwerken van grond	23
4.4 Bodembeschrijving	26
4.4.1 Algemeen	26
4.4.2 Opzet van het beschrijvingssysteem	27
4.4.3 Werkwijze voor het beschrijven	29
5 OVERZICHT VAN BODEMS OP DE ONDERZOCHE LOCATIES	31
5.1 Algemeen	31
5.2 Karakteristieken van klei-onderlagen onder stenen	35
5.2.1 Opbouw van de dijk	35
5.2.2 Variatie in de diepte en van hoogwaterlijn naar berm	36
6 INVLOEDEN OP BODEMVORMING ONDER GEZETTE STEEN	39
6.1 Algemeen	39
6.2 Invloed taludrichting	39
6.3 Ligging ten opzichte van de hoogwaterlijn	40
6.4 Aanbrengen, verdichten en samenstelling	40
6.5 Ouderdom van de bodem	42
6.6 Vegetatie tussen de stenen en boven de gezette steen	42
6.7 Discussie	43
7 KLEI-ONDERLAAG EN GOLFEROSIE	45
7.1 Algemeen	45
7.2 Bodemstructuur in klei-onderlagen	45
7.3 Effecten van samenstelling en verdichting.	48
7.4 Opmerkingen over vergroten van erosiebestendigheid van klei-onderlagen	49
8 GEULVORMING EN BODEMVORMING	51

9	ONDERZOEK GRONDGESTELDHEID GEZETTE STEEN TALUDS	53
9.1	Algemeen	53
9.2	Penetrometer onderzoek en sonderingen	53
9.3	Voorstel voor verkennen ondergrond gezette steen taluds	54
9.4	Vooronderzoek met kleine handboor	55
10	CONCLUSIES	57
	Bronnen	60
	Bijlage 1 BESCHRIJVINGSSYSTEEM VOOR BODEMS ONDER GEZETTE STEEN VOOR BEOORDELEN EROSIEBESTENDIGHEID	64
	Bijlage 2 VOORSTEL VERKENNING KLEI-ONDERLAAG EN DIJKOPBOUW GEZETTE STEEN TALUDS	75
	Bijlage 3 BEKNOPTE BESCHRIJVING VAN DE LOCATIES	79
	Bijlage 4 RESULTATEN SCHUDEROSIEPROEF	102
	Bijlage 5 KLASSIFICATIEPROEFRESULTATEN.	104
	Bijlage 6 HANDBOOR VOOR BEPALING GRONDSOORT KLEI-ONDERLAAG	106
	Bijlage 7 FOTO'S VAN KLEI-ONDERLAGEN	107
	Bijlage 8 DEEL II: BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOCHE LOCATIES MET PROFIELOPNAMEN	135
	Bijlage 9 OVERZICHTEN VAN OPBOUW EN POCKETPENETROMETERWAARDEN VAN DE 11 LOCATIES	136
	Bijlage 10 BEOORDELING VAN DE RESTSTERKTE VAN DE 11 LOCATIES (rapport CO-358350/07)	

Samenvatting

Er is een onderzoek uitgevoerd naar bodemvorming onder gezette steen op 11 dijktafstanden in Zeeland in verband met de reststerkte bij golfaanval en in verband met geulvorming onder de stenen. Voor het onderzoek zijn ongeveer 1 m brede sleuven in de klei-onderlaag gegraven en is de ondergrond in detail beschreven en zijn er monsters voor classificatie-doeleinden genomen.

Duidelijk herkenbare bodemvorming blijkt algemeen voor te komen in klei-onderlagen onder gezette steen. Uit de aangetroffen variatie in grondgesteldheid in klei-onderlagen blijkt dat er een grote variatie in reststerkte van klei-onderlagen bestaat. De belangrijkste invloeden op de bodemvorming, en de bodemstructuur, zijn de wijze van aanbrengen en verdichten van kleigrond en de samenstelling van de grond.

In goed verdichte lagen dieper dan 0.3 tot 0.4 m is de bodemstructuur meestal nog massief, dat wil zeggen dat er bijna geen spleten of scheuren als gevolg van krimpen en zwellen worden aangetroffen. Van dergelijke goed verdichte lagen, indien niet te dun, kan een belangrijke bijdrage in de reststerkte van de onderlaag verwacht worden. In dit onderzoek zijn een aantal dijktafstanden aangetroffen waarbij het oude dijklichaam deel van de klei-onderlaag uitmaakt. Dit oude dijklichaam bestaat in een aantal gevallen uit zeer dichte cohesieve grond die een zeer grote bijdrage aan de reststerkte van de dijk kan leveren. In bijlage 10 van dit rapport wordt nader ingegaan op de reststerkte van de 11 onderzochte locaties. De bovenste 0.15 tot 0.25 m van klei-onderlagen heeft nagenoeg altijd een bodemstructuur van millimeters-grote blokjes die vaak los gestapeld zijn. Deze toplaag zal nagenoeg niet kunnen bijdragen in de reststerkte van de onderlaag.

Plaatselijk komen relatief dunne klei-onderlagen op zand voor (minder dan 0.7 m dik), hetgeen meestal relatief snel tot een bodemstructuur door de gehele onderlaag leidt. De bijdrage aan de reststerkte van zulke onderlagen is zeer beperkt. Op veel locaties zijn lagen aangetroffen van grond die na het aanbrengen niet of weinig is verdicht. Naar verwachting is de bijdrage van dergelijke lagen aan de reststerkte zeer beperkt. Een belangrijke factor daarbij is dat bodemleven welig heeft kunnen tieren in zulke lagen hetgeen de erosieresistentie van een laag sterk ondermijnd. Zulke lagen komen regelmatig voor bij de overgangsconstructie aan onderkant van het gezette steen talud.

Uit verschillende onderzoeken naar de gesteldheid van klei-onderlagen tot dusver en uit het huidige onderzoek komt naar voren dat de reststerkte van de klei-onderlaag plaatselijk sterk is ondermijnd door respectievelijk bodemvorming, grondsoort en te geringe verdichting. Uit deze studie kan in het licht van de thans bestaande inzichten over erosie van klei-onderlagen worden afgeleid dat de reststerkte van onderlagen zeer beperkt is als er beneden ongeveer 0.3 m veel zeer zandige of niet verdichte grond voorkomt en als bodemvorming tot grotere diepte een herkenbare bodemstructuur heeft veroorzaakt. Vorming van een herkenbare bodemstructuur (anders dan

massief) kan op noordhellingen veel meer dan 30 jaar vergen indien de klei-onderlaag goed verdicht is en niet te dun (minder dan 0.8 m) is.

Bij klei-onderlagen treedt nagenoeg altijd enige oppervlakkige erosie van de grond onder de stenen op hetgeen op bijna al de onderzochte locaties tot geulvorming heeft geleid. Deze erosie is beperkt tot een zone met een breedte van 1.5 tot 2.5 m boven de overgangsconstructie naar stortsteen (mijnsteen, slakken en dergelijke) en is niet afhankelijk van de ligging ten opzichte van de hoogwaterlijn. De gemiddelde dieptetoename na aanleg bedraagt 0.5 tot 10 mm/jaar en wordt beïnvloed door de materiaalsamenstelling en de mate waarin de laag door wormen is vergraven. De geulvorming neemt in het algemeen af met toenemend gehalte afslibbaar ($< 16\mu\text{m}$) en komt vooral voor in vergraven, meestal slecht verdichte lagen.

Samenvattend kan worden gesteld dat zowel de reststerkte van klei-onderlagen als het beperken van geulvorming daarin gebaat zijn bij het aanbrengen van geschikte, zware of vette klei en het goed verdichten daarvan over de gehele dikte van de klei-onderlaag. Het is waarschijnlijk dat een in een laag van ongeveer 1.5 m dikte goed aangebrachte geschikte klei (met een niet te hoog watergehalte bij het aanbrengen, zie TAW [1995] in voorbereiding) gedurende tenminste enige tientallen jaren een zeer hoge reststerkte heeft. De reststerkte van de bovenste 1 tot 3 meter van de locaties waar een oud dijklichaam in de onderlaag is opgenomen, bedraagt naar verwachting meer dan 24 uur, indien het oude dijklichaam tenminste grotendeels uit klei bestaat. De reststerkte van locaties waar een dunne dan wel zeer zandige onderlaag op zand voorkomt bedraagt minder dan 1 tot 2 uur bij golven van meer dan 1.2 m.

Het verkennen van de gesteldheid van klei-onderlagen en van de opbouw van het dijklichaam onder gezette steen kan met sonderingen, aangevuld met waarnemingen in enige kuilen in de onderlaag worden uitgevoerd. De sonderingen dienen te worden uitgevoerd met een conus die veel dunner is dan in de geotechniek gebruikelijke diameter (36 mm). Voorafgaand archiefonderzoek en interviews met bij de aanleg betrokkenen lijkt een voor de hand liggende eerste stap in de verkenning ten behoeve van het vaststellen van de noodzaak en het stellen van prioriteiten voor gedetailleerde verkenningen.

Ten aanzien van bodemvorming heeft het onderzoek een aantal bevindingen opgeleverd die voor het vaststellen van meer gedetailleerde diagnostische criteria van belang kunnen zijn. De meeste grond in klei-onderlagen heeft karakteristieken van hydromorfe gronden met gley en pseudo gley verschijnselen. Door de afwezigheid van bioturbatie (activiteit van fauna en wortelwerking) in de meeste lagen en horizonten is de mechanisch gevormde bodemstructuur, evenals huiden en impregnaties zeer goed te herkennen.

1 INLEIDING

Het hier gerapporteerde onderzoek is uitgevoerd voor de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, werkorgaan van de Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW A2) en wel de werkgroep A2, Bekledingen, van de commissie. Het betreft onderzoek naar de onderlaag van gezette steenbekleding waar deze uit klei of kleiige grond bestaat. In voorgaand onderzoek [GD 1991 en 1993a] is gebleken dat bodemvorming de erosiebestendigheid van een verdichte klei zeer sterk kan ondermijnen. Ook bleek uit voorgaand onderzoek [GD 1993b] dat bodemvorming veel voorkomt in klei onder gezette steen, maar dat er verschillen in mate van bodemvorming optraden die wellicht met omgevingsfactoren als expositierichting van het talud en begroeiing verband hielden. Daarnaast leek het voor de stabiliteit van gezette steen nadelige verschijnsel van de vorming van geulen in het oppervlak van klei een verband met bodemvorming te hebben [GD 1993b].

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met Dienstkring Schelde-Rijn, Waterschap De Drie Ambachten, Waterschap Het Vrije van Sluis, Waterschap Hulster Ambacht, Waterschap Noord- en Zuid- Beveland, Waterschap Tholen en met de Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van onderzoeken naar de stabiliteit van gezette steen en naar de reststerkte van de onderlaag met het doel de sterkte van bekleding en onderlaag beter te kunnen evalueren. Het onderzoek beoogt respectievelijk:

- Vast te leggen welke verschijnselen in klei onder gezette steen aangetroffen worden, met name wat betreft bodemvorming;
- op empirische wijze met veldonderzoek na te gaan welke aspecten van bodemvorming de civieltechnische eigenschappen van de klei-onderlaag significant beïnvloeden;
- een indruk te verkrijgen van de effecten van de bodemvormingsprocessen op de civieltechnische eigenschappen, met name erosiebestendigheid;
- een systeem op te stellen voor beoordeling van bodemvorming in klei onder gezette steen.
- een eerste beoordeling van de reststerkte van de 11 locaties te geven

Het onderzoek bestond uit respectievelijk:

- Het maken van gedetailleerde opnamen van grond onder gezette steen op een 11- tal locaties;
- het beschrijven en met foto's vastleggen van de verschijnselen;
- bronnenonderzoek naar classificatiesystemen voor bodems in verband met toepassing voor het beoordelen van grond onder gezette steen;
- bronnenonderzoek naar de invloeden van bodemvorming op oppervlakkige erosie en dispersie van klei
- het analyseren van de gegevens in het licht van de bodemvorming en de invloed ervan op erosiebestendigheid van klei.

In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze nader toegelicht. In hoofdstukken 3 en 4 wordt een beknopt overzicht gegeven van respectievelijk invloeden van de gesteldheid van de klei-onderlaag op erosiebestendigheid en van relevante aspecten van bodemvorming en bodemvormingsprocessen in klei-onderlagen. Vanwege de op praktische toepassingen en inzichten toegespitste aard van het rapport worden in die hoofdstukken reeds veel bevindingen van dit onderzoek verwerkt. Het kader van het onderzoek en de beperkte daarvoor benodigde bodemkundige detaillering, maakt het mogelijk deze werkwijze toe te passen. In hoofdstuk 5 wordt een overzicht gegeven van de aangetroffen klei-onderlagen op de 11 locaties en in hoofdstuk 6 wordt een overzicht gegeven van de invloeden op de gesteldheid van de klei-onderlagen. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de relatie tussen de aangetroffen verschijnselen en golferosie van de klei-onderlagen. In hoofdstuk 8 behandelt geulvorming onder gezette steen, erosie over een veel langere periode, en de invloeden daarop, met name de gesteldheid van de klei. De mogelijkheden om de relevante aspecten van de gesteldheid van grond onder gezette steen voor grotere lengten dijk te onderzoeken worden in hoofdstuk 9 nagegaan. De bijlage 1 betreft een beschrijvingssysteem voor grond onder gezette steen voor civieltechnische beoordeling en de bijlage 2 betreft een systeem voor beoordelen van de grond onder gezette steen. Bijlage 6 betreft een in het kader van dit project ontwikkeld klein handboortje voor inspectie van grond onder stenen. Bijlagen 3, 4, 5 en 7 bevatten de gegevens uit veld en laboratoriumonderzoeken en in bijlage 7 zijn foto's van fenomenen in de klei-onderlagen opgenomen. De bijlage 8 met detailbeschrijvingen van bodems in profielkuilen is vanwege grote hoeveelheid basisinformatie als apart deel, deel II, uitgevoerd. In bijlage 10 is een beoordeling van de reststerkte van de 11 onderzochte locaties opgenomen.

2 WIJZE VAN ONDERZOEK

Teneinde de invloeden van verschillende factoren op de bodemvorming, voor zover civieltechnisch van belang, na te gaan, is voor een aantal locaties in Zeeland de bodem onder gezette steen onderzocht. Het betreft bodemkundig onderzoek dat vanwege de doelstelling en het kader civiel technisch is gericht. De waarnemingen, analyses en gevolgtrekkingen in dit onderzoek zijn dan ook sterk gericht op de civieltechnische toepassing, met name erosie door golfwerking.

Het onderzoek betreft respectievelijk:

- Samenstellen van een geschikt beschrijvingsstelsel
- Visuele waarnemingen aan grond onder gezette steen;
- Monsternamen en bepalingen in het laboratorium, te weten grondmechanische klassificatieproeven en schuderosieproeven.
- Analyseren van de waarnemingen in het licht van de toepassingen
- Het evalueren van de reststerkte van de aangetroffen klei-onderlagen

Voor het onderzoek van de bodems zijn gedetailleerde beschrijvingen van de grond onder gezette steen op een 11-tal locaties gemaakt. De beschrijvingen zijn verricht aan de grond zoals die te zien was in profielkuilen en -sleuven. Op 2 van de 11 locaties zijn benedenaan, bovenaan en halverwege het gezette steen talud de stenen over ongeveer 1 m² verwijderd en is met de schop een kuil tot 1 m diepte gegraven. Op de overige 9 locaties zijn de stenen over een breedte van 2 tot 3 stenen (1.0 tot 1.5 m) van benedenaan tot bovenaan het gezette steen talud, of het gedeelte daarvan boven de hoogwaterlijn, verwijderd en is met een hydraulische graafmachine een sleuf van ongeveer 1 m diep door de grond gegraven. De wanden van de aldus gemaakte gaten in de grond zijn over grotere delen met een mes en andere hulpmiddelen zodanig bewerkt dat de aanwezige bodemkundige karakteristieken voldoende duidelijk waar te nemen waren, met name de aanwezige structuur van de bodem was daarbij van belang. Het waarnemen van de structuur vond ten dele plaats door het nagaan van de aanwezigheid van natuurlijke breukvlakken in de grond. Dit aspect van de waarneming vergde vaak het afgraven van 0.2 tot soms 0.5 m van de wanden van de gaten vanwege breukvlakken veroorzaakt door de werking van de graafmachines.

In het begin van het onderzoek is aan de hand van praktijkervaring en bronnenonderzoek een beschrijvingsstelsel samengesteld dat grotendeels op al de locaties is gehanteerd.

Voor het selecteren van de locaties van het onderzoek is een klein schroef-handboortje ontwikkeld (zie bijlage 6). Dit boortje heeft een dikte van 6 mm. Het bleek op veel van de in de selectie betrokken stukken talud mogelijk om binnen een straal van 25 m een voldoende grote opening te vinden om met het boortje grond van onder de stenen omhoog te halen. De vorm van de slag van de schroef was zodanig er weinig grond van boven de bemonsterde diepte mee omhoog kwam. De aldus verkregen zeer kleine monsters van de onderlaag lieten een eerste

indicatie van de grondslag toe, het verschil tussen zeer zandige (schrale) en een vettere (weinig zand) ondergrond was er goed mee te bepalen, evenals het voorkomen van puin of stortsteen onder de stenen. Op sommige stukken talud bleek er geen voldoende grote opening tussen stenen te vinden. Het bepalen van de ondergrond met het boortje is dan slechts mogelijk nadat er een 6 mm gat met een boormachine (accu) door de stenen of tussen de stenen is gemaakt.

De grondmechanische classificatieproeven zijn volgens de gebruikelijke RAW-voorschriften uitgevoerd, met uitzondering van bepaling van organische stofgehalte en bepaling van gewichtsverlies met HCl behandeling (zie hiervoor TAW 1995 in voorbereiding).

De schuderosieproef betrof het langzaam schudden in water van een korf met kluitjes grond. Een korf van 40 x 40 x 100 mm³ van gaas met rechthoekige 4 mm mazen en gevuld met de hand gebroken kluitjes grond van ongeveer 10 mm grootte werd met een slag van ± 30 mm met een frequentie van 1 Hz door water bewogen. Het gewichtsverlies van de grond in de korf werd bepaald. Een en ander is in bijlage 4 beschreven.

Bodemvorming beïnvloedt civieltechnische eigenschappen van grond. Er is slechts een zeer beperkte hoeveelheid specifieke bodemkundige informatie over de details van die beïnvloeding beschikbaar. Naar het zich laat aanzien zijn de invloeden complex en is het zelden mogelijk voldoende gespecificeerde relaties tussen bodemvormende processen en civieltechnische eigenschappen te geven. Er zal moeten worden volstaan met globale karakterisering. Vanwege de verwachte invloed van bodemkundige aspecten op civieltechnische gedrag van klei-onderlagen en de beperkte inzichten in details van die invloeden, bestaat de indruk dat tenminste voorshands globale analyses gebaseerd op veldwaarnemingen volstaan. Veel aspecten van bodemstructuur bijvoorbeeld kunnen daarmee voorshands in voldoende detail worden behandeld. Teneinde de rapportage op de civieltechnische doelstelling toe te kunnen spitsen en omdat de complexiteit van het bodemkundige onderzoek beperkt is gehouden, wordt in de rapportage bij het beschrijven van bodemkundige aspecten, hoofdstuk 4, geen uitputtende analyse van de bodemvorming onder gezette steen gegeven. In hoofdstuk 4 wordt volstaan met voorlopige analyses van bodemvormende processen onder gezette steen.

Voor de wijze van beoordelen van de reststerkte van de 11 locaties wordt verwezen naar bijlage 10 van dit rapport.

3 ONTGRONDEN VAN DE KLEI-ONDERLAAG DOOR GOLFWERKING

3.1 Erosie van klei onder gezette steen

Grond onder gezette steen verkrijgt onder omstandigheden die onder een deel van het talud voorkomen een zogenaamde bodemstructuur. Door deze bodemstructuur lijkt de grond in bepaalde opzichten op een stapeling blokken. Een groot deel van dit rapport is aan deze bodemstructuur en de effecten ervan gewijd. De mate waarin de structuur aanwezig is en de aard ervan, bleek voor de erosiebestendigheid van het talud van belang [GD en WL 1992]. De vorming van bodemstructuur omvat onder meer de vorming van een spletenstelsel in de grond, waardoor de grond samenhang verliest en uit bodemstructurelementen komt te bestaan. De structurelementen zelf worden echter zeer stevig en, waar ze in grond onder gezette steen voorkomen, hebben ze meestal een relatief nauwsluitende pakking. Behalve de structuur die door bodemvorming ontstaat, zijn er de grote poriën en overige variatie in opbouw van de grond als gevolg van de wijze van aanbrengen en verwerken.

Brekende golven en waterbeweging op een talud roepen krachten op het taludoppervlak en in het talud op. In Bezuijen et al. [1990] wordt een overzicht gegeven van de werking van golven op en in een talud met gezette steen gegeven. In de bureaustudie GD [1991] wordt ingegaan op aspecten van de effecten van golven in grond met een bodemstructuur, deels gebaseerd op de inzichten die in Bezuijen et al. [ibid.] worden gegeven. Uit metingen en waarnemingen in 1:1 modelproeven in de Deltagoot met golven op klei met een bodemstructuur [GD 1993a] blijkt dat er inderdaad mechanismen werkzaam zijn bij het ontgronden die in bepaalde opzichten vergelijkbaar zijn met die welke uit het onderzoek naar stabiliteit van gezette steen naar voren komen.

Bij golfaanval direct op klei met een bodemstructuur breken er blokken klei los van het talud door met name de effecten van waterspanningen in de grond en de golfklap. Bij bepaalde mate van aanwezigheid van bodemstructuur kan er hierdoor een zeer snelle ontgroning plaatsvinden. Er bleken echter voor de praktijk belangrijke verschillen te bestaan in mate van ontgroning bij de 1:1 modelproef die samenhangen met verschillen in mate van aanwezigheid van bodemstructuur. Een klei waarvan de structuur als zeer duidelijk aanwezig werd omschreven ontgronde extreem snel bij 1.0 m golven, terwijl een klei waarvan de bodemstructuur als matig duidelijk werd omschreven, juist vele uren stand bleef houden bij die golven [GD en WL 1992].

Behalve ontgroning door de werking van golven direct op een van bekleding ontdane klei-onderlaag, treedt er ontgroning onder gezette steen op die tot geulen met doorsneden van centimeters tot decimeter leidt. Deze geulen vormen een ondermijning van de stabiliteit van de gezette steen en kunnen zo groot worden dat de substraatfunctie van de onderlaag aangetast

wordt.

Deze geulvorming is zeer veel langzamer dan de hierboven beschreven ontgroning. De werkzame processen kunnen eerder als slijten worden opgevat dan als het losbreken van stukken grond. De veronderstelde mechanismen bij het optreden van deze slijtage zijn werkzaam op zeer veel kleinere schaal en slechts de randvoorwaarden ervan zijn gerelateerd aan de grofschaliger bodemstructuur. Zo wordt de plaats van slijtage uiteraard beïnvloed door de mogelijkheden die grote spleten geven voor waterbeweging langs de klei. Het is echter mogelijk dat andere aspecten van bodemvorming dan de vorming van de bodemstructuur alleen het proces van slijtende erosie beïnvloeden [GD 1993b].

3.2 Overzicht van enige belangrijke fenomenen

De invloeden die bodemvorming heeft op de mogelijke ontgroning door golfwerking en langsgstromend water, kunnen tot een aantal voorshands van belang geachte fenomenen worden herleid.

Door het zwellen en krimpen van grond als gevolg van het droger en natter worden, kan grond scheuren. Dit proces leidt voor grond in de onverzadigde zone en onder invloed van weer en wind, tot een structuur van blokken en spleten in de grond in de onverzadigde zone. Grond bestaat ook uit een open stapeling van brokken als er niet goed is verdicht bij aanleg. De brokken kunnen zelf echter zeer stevig en hard worden. De buitenkant van de blokken en brokken is vaak verhard door verschillende processen.

Naast deze structuur treden er chemische en mineralogische omzettingen op die voor de sterkte van de bindingen tussen individuele gronddeeltjes (klei- tot zandkorrels) soms van belang zijn. Bovendien beïnvloeden die omzettingen de affiniteit van de grond met water, hetgeen voor bijvoorbeeld erosie en voor structuurvorming van belang is.

Veel civieltechnische eigenschappen van de grond worden in belangrijke mate door de bodemstructuur bepaald. De spleten en overige holle ruimte maken kleigrond zeer veel doorlatender. Ook verdwijnt een groot deel van de samenhang op grotere schaal door de spleten en overige holle ruimten. Daarnaast worden bepaalde civieltechnische eigenschappen beïnvloed door de toename van de sterkte van de blokken zelf. Ontgroning door golfwerking op een talud wordt sterk door de aanwezigheid en mate van bodemstructuur beïnvloed en erosie op kleine, deeltjes-, schaal wordt in belangrijke mate door de bodemvorming beïnvloed.

De fenomenen die door de vorming van bodems ontstaan en die voor de civieltechnische eigenschappen in verband met ontgroning van belang zijn betreffen met name:

- De grootte van individuele samenhangende blokken in de structuur;
- de breedte, lengte en onderlinge verbondenheid van de spleten en holle ruimten in de structuur;
- de sterkte en vervormingseigenschappen van de klei, zowel van kleilagen als van eventuele individuele blokken en brokken;

De fenomenen die door bodemvorming worden beïnvloed en die voor de erosie op kleine schaal, die tot geulen leidt, van belang zijn betreffen met name:

- Affiniteit met water van deeltjes;
- sterkte van bindingen tussen deeltjes;
- porositeit en doorlatendheid van klei op millimeter tot centimeterschaal.

In het volgende hoofdstuk zal meer specifiek op bodemvorming van direct belang voor civieltechnische eigenschappen, met name erosiebestendigheid, worden ingegaan.

4 DIJKAANLEG EN BODEMVORMING

4.1 Bodems en bodemvorming

Grond wordt door verschillende disciplines in detail bestudeerd. Eén van de disciplines is de bodemkunde die traditioneel op de landbouw geënt was. In de bodemkunde worden onder meer de processen bestudeerd die optreden in grond nabij het aardoppervlak onder invloed van de omgevingsomstandigheden ter plaatse en die in de tijd tot veranderingen van de grond leiden. In grond die niet direct door de atmosfeer wordt beïnvloed treden eveneens veranderingen op. Deze veranderingen worden echter in de geologie onder zogenaamde diagenese, meer specifiek de vroege diagenese, samengevat. In fundamenteel opzicht zijn de verschillen tussen beide typen veranderingen niet erg groot, maar door de werkwijze en achtergrond bestaan er belangrijke accentverschillen tussen bodemkunde en studie van vroege diagenese.

In het volgende wordt met "bodem" de grond (meestal nabij het maaiveld) bedoeld met de eigenschappen zoals die onder invloed van omgevingsomstandigheden ter plaatse zijn gevormd.

4.1.1 Samenstelling

Grond bestaat uit vaste stofdeeltjes, water met daarin opgeloste stoffen en uit gassen. De fijne fractie van de vaste stofdeeltjes geeft samen met water de karakteristieke eigenschappen aan kleigrond. De fijne deeltjes bestaan uit verschillende mineralen. De kleimineralen (mineralogische klassen) die een belangrijk deel van lutumfractie (korrelgrootteklasse) vormen zijn zeer dunne (dunner dan 10^{-9} m) meestal plaatvormige deeltjes. Daarnaast komen er in de fijne fractie andere mineralen voor zoals kwarts, opaal, bepaalde ijzer- mangaan- en aluminiumverbindingen, kalk en dergelijke stoffen. In klei zitten ook organische materialen in de vorm van resten van plantaardige en dierlijke organismen (microscopische en grotere organismen), vezels, organische moleculen, actieve micro-organismen en schimmels en overige fauna en flora. De bodemkundige en mineralogische handboeken geven een uitgebreid overzicht van de samenstellende bestanddelen en de invloeden daarop [Sposito 1984, De Boodt et al. 1990, Scheffer & Schachtschabel 1970, Wang et al. 1993, Birnie en Patterson 1991, Giani et al. 1990, Gianni et al. 1993, Rabenhorst 1990, Landuydt 1990, Childs 1992] (zie ook [TAW 1995] in voorbereiding).

In klei zoals die in Nederland voorkomt is de variatie in relatieve hoeveelheden van de verschillende vaste stofbestanddelen zodanig dat er daardoor aanmerkelijke verschillen in verschillende relevante eigenschappen bestaan [Yong et al. 1992]. Het verschil in eigenschappen tussen grijze of blauwe klei uit een schor en klei uit een oudere kleibekleding komt voor een deel daaruit voort. De vaste stofsamenstelling verandert namelijk lokaal onder invloed van de directe omgeving van de grond. De verkleuring van grijze of blauwe klei tot een soms bont geel en bruin

gevlekte klei wordt veroorzaakt door verandering van de mineralogische samenstelling en wel vooral door het omzetten van ijzer- en mangaanverbindingen [Birnie en Patterson 1991].

De mate waarin zuurstof in de grond beschikbaar is, regelt in belangrijke mate de chemische omstandigheden die bepalen welke stoffen (mineralen) in de grond ontstaan of worden omgezet. Daarbij wordt veelal gesproken van reducerende omstandigheden die optreden als er weinig vrije zuurstof beschikbaar is en van oxiderende omstandigheden als grond voldoende doorlucht is. In de permanent verzadigde zone in fijnkorrelige grond is relatief weinig vrije zuurstof beschikbaar en heersen reducerende omstandigheden. Micro-organismen, en daarmee temperatuur, spelen bij de vorming van verschillende mineralen een belangrijke rol. Tevens is de aanwezigheid van voldoende water belangrijk voor verschillende omzettingen en voor het aan- en afvoeren van opgeloste stoffen. In grond die meestal droog is treden bijna geen omzettingen op (zie bijlage 7 foto's 18 en 20).

Door micro-organismen ontstaat sulfide in gereduceerde grond [Breemen 1976] die onmiddellijk met beschikbaar ijzer zwarte ijzersulfiden vormen die direct als vaste stof neerslaan in de grond (bijlage 7 foto's 11, 24 en 26). Aangezien door het grondwater steeds ijzer in opgeloste vorm kan worden aangevoerd (diffuus of door stroming) kan de ijzersulfidevorming voortgaan, hetgeen tot toenemende gehalten aan ijzersulfideneerslag in de grond leidt. De betreffende activiteit van de micro-organismen is het oxideren van organisch materiaal en bij hogere organisch materiaalgehalten neemt de omzetting dan ook toe. Daardoor kan plaatselijk veel meer ijzersulfidevorming en daarmee zwarting optreden. In een eerder stadium zullen echter de bruine tinten van bepaalde ijzerverbindingen in grond verdwijnen en zal de grond grijs worden, hetgeen bij begraven zodelagen kan optreden (bijlage 7 foto 13). Indien de grond wordt ontgraven en onverzadigd raakt (oxiderende omstandigheden), oxideren andere micro-organismen het ijzer van de sulfiden en worden er ijzerverbindingen met gele tot bruine kleuren gevormd.

Micro-organismen oxideren bij aanwezigheid van vrije zuurstof ijzer dat in opgeloste vorm in water in grijze of blauwe klei aanwezig is. Door het oxideren ontstaan bijna niet meer oplosbare ijzerverbindingen die onmiddellijk neerslaan in de vorm van zeer kleine deeltjes die zich aan de grond hechten. Op en direct onder het oppervlak van natte grijze klei vormt zich daarom vaak een dunne dichte laag van rode of roodbruine ijzerverbindingen, die ijzerhuid of -coating wordt genoemd (zie paragraaf 4.1.3) (bijlage 7 foto's 9, 12, 16, 17, 21, 22).

Processen van dezelfde aard als voor ijzer spelen zich af voor mangaan. Bij mangaan treedt het neerslaan echter pas bij sterker oxiderende omstandigheden op. Bij het hiervoor aangehaalde oppervlak van natte grijze klei is daardoor vaak de roodbruine ijzerverbindingen-laag gescheiden van de zwarte (tot bruinzwart)-laag van mangaanverbindingen. Soms ligt de zwarte laag verder de grond in en soms de roodbruine; afhankelijk van de gradient in oxiderende omstandigheden, respectievelijk toenemend van een nat oppervlak de grond in of vanuit de klei naar het (verdampende) oppervlak. Hieronder (paragraaf 4.1.3) zal nader op dit fenomeen worden

ingegaan.

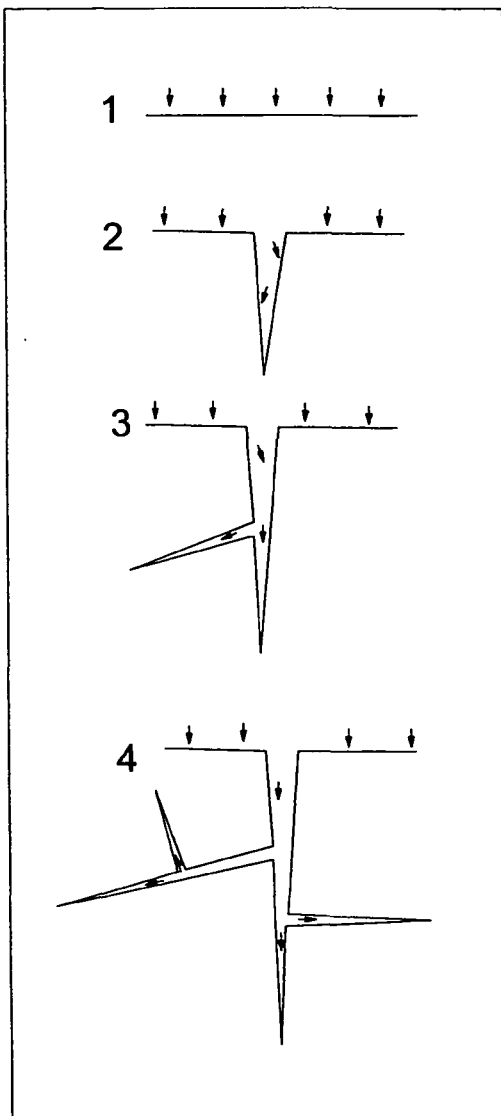
In grond kunnen sterk verschillende omstandigheden vlak naast elkaar bestaan en kunnen elkaar in de tijd afwisselen. Zo is de toestand in een kluit klei in een kleibekleding vaak reducerend, terwijl de buitenkant van de kluit oxiderende omstandigheden kent (bijlage 7 foto 9, 12). Door het veranderen van de taludbekleding van gras naar gezette steen, zonder daarbij de grond te vergraven, gaan op bepaalde plaatsen reducerende omstandigheden heersen terwijl die daarvoor oxiderend waren (bijlage 7 foto 13, 23). Tenslotte kunnen door bijvoorbeeld seizoensgebonden verschillen in gemiddelde buitenwater- en grondwaterstand regelmatige afwisselingen van reducerende en oxiderende omstandigheden optreden met de daarbij behorende vorming van verschillende soorten neerslagen.

4.1.2 Bodemstructuur

Door drogen en bevochtigen krimpt en zwelt grond. Het krimpen en zwellen hangt direct samen met de verandering van het watergehalte van de grond, waarbij de volumeveranderingen voor klei zeer veel groter zijn dan voor zand. De verandering in watergehalte in onverzadigde grond wordt veroorzaakt door verschillen in waterspanning. In onverzadigde grond wordt de waterspanning negatief aangenomen en wordt dan zuigspanning genoemd. In grond onder stenen zijn zuigspanningen tot meer dan 5 m waterkolom op 0.3 m diepte gemeten [GD 1993b]. De temperaturen die in klei onder stenen gemeten zijn ($>20^{\circ}\text{C}$) wijzen erop dat er veel hogere zuigspanningen in klei onder gezette steen kunnen bestaan [GD 1993b]. De zuigspanningen veranderen in de tijd met toenemende diepte dagelijks, met het weer, of met de seizoenen. Het watergehalte van de grond en daarmee het volume van de grond eveneens. De meeste grond in de onverzadigde zone onder gezette steen ondergaat naar het zich laat aanzien volumeveranderingen door de veranderingen in zuigspanning die samenhangen met het weer en de seizoenen.

Het krimpen en zwellen van grond in de onverzadigde zone gaat gepaard met de vorming van scheuren. Als grond krimpt ontstaan er trekscheuren en bij het zwellen ontstaan er afschuifvlakjes [GD 1986] in de grond. Deze scheuren ontstaan en groeien langzaam, het front van de scheur kruipt langzaam de nog niet aangetaste klei in. Het is de vraag of de gebruikelijke breukmechanica, zoals gebruikt door Lima en Grismer [1994] dergelijke processen adequaat kan beschrijven. Een scheur die eenmaal is ontstaan beïnvloedt het vochttransport, waardoor er weer andere scheuren kunnen ontstaan (zie figuur 4.1). De grotere krimpscheuren staan meestal verticaal, ook in een dijktaalud. Kleinere krimpscheuren en de schuifvlakken komen in alle oriëntaties voor. Door deze scheurvorming ontstaat een grond die uit elementen, of aggregaten van verschillende afmetingen bestaat, met onder gezette steen karakteristieke maten van enige millimeters (bijlage 7 foto's 16, 17, 18, 19, 20), tot meer dan 0.1 m (bijlage foto's 21, 22). Scheuren kunnen behalve door veranderingen van watergehalte ook ontstaan door verschillende processen die met vorst in de grond samenhangen, hetgeen voor de bovenste decimeter van

belang kan zijn.



Figuur 4.1: Scheurvorming door externe invloed op grond, bijvoorbeeld drogen. Elke nieuwe scheur, of uitbreiding van een scheur, doet de invloed van de omgeving verder in de grond doordringen.

Het samenstel van deze scheuren en aggregaten, samen met poriën en aggregaten die door dieren zijn gemaakt (bijlage 7 foto's 2, 7, 25), wordt de bodemstructuur genoemd. De ontwikkeling van de bodemstructuur is afhankelijk van enerzijds de eigenschappen van de klei, zoals de interactie van de klei met water en anderzijds van de omgeving van de klei, zoals de invloeden op de veranderingen van zuigspanning.

De bodemstructuur kan meer of minder duidelijk ontwikkeld zijn. Bij een sterk ontwikkelde bodemstructuur is er sprake van aggregaten die duidelijk afzonderlijk herkenbaar zijn en die onderling weinig samenhang vertonen (bijlage 7 foto's 16, 17, 18, 21). Zo'n uitgesproken structuur ontwikkelt zich door voortdurende geringe beweging door bijvoorbeeld zwellen en krimpen, of door een éénmalig zeer sterk krimpen, waarna de daardoor ontstane grote spleten niet meer worden opgevuld (bijlage 7 foto 21). De aggregaten hebben daar afmetingen tot soms meer dan 0.1 m. Snelle veranderingen van watergehalte, zoals regen op droge grond, veroorzaken veel kleine scheurtjes en daarmee een fijne structuur. Verschillende vaak voorkomende vormen van structuurelementen zijn in bijlage 1 weergegeven.

Behalve de hiervoor besproken vorming van bodemstructuur beïnvloedt het veranderen van watergehalte ook de zogenaamde microstructuur van klei. De microstructuur betreft de ruimtelijke ordening van de individuele kleinere en grotere gronddeeltjes. Door het herhaald afnemen van het watergehalte van een grijze of blauwe klei komen de kleideeltjes zeer dicht opeen te liggen. Door die dichtere pakking wordt de binding tussen de deeltjes zeer hecht, waardoor ze nog maar weinig uiteen kunnen wijken als de klei weer nat wordt. Een herhaalde wisseling van watergehalte versterkt de dichte rangschikking van deeltjes en daarmee het effect ervan op de eigenschappen van klei, die daardoor steviger wordt. Het effect van deze dichte pakking wordt aanzienlijk versterkt door de vorming van de verschillende stoffen die hierboven bij samenstelling zijn besproken en die als cement tussen en rond de deeltjes werken. De verschillende processen hebben een duidelijke invloed op de eigenschappen van grond die voor erosie van belang zijn [Levebvre et al. 1986, Yong et al. 1992, Ohtsubo 1989].

Gravende fauna heeft een belangrijke invloed op de bodemstructuur. Het meest opvallend is de graafactiviteit van wormen, insecten en krab-en kreeftachtigen in grond. Deze fauna laat buisvormige poriën achter. Meestal leidt de graafactiviteit tot het verstoren van de door krimpen en zwellen ontstane structuur. Soms is de dichtheid van dergelijke gangen zo hoog dat de grond een spons structuur krijgt. De invloeden op de activiteit van gravende fauna zijn vooral de mate waarin de grond vergraafbaar is door de organismen en de aanwezigheid van voedsel in de directe omgeving [Curry 1994, Wolff 1973, Wood 1989]. In het geval van dijk aanleg lijkt het een belangrijke factor dat fauna met de aangebrachte grond meekomt, met name als deze uit het voorland afkomstig is. Sommige organismen, van eitjes tot volwassen individuen, kunnen indien de grond niet te dicht is, nog gedurende geruime tijd foerageren of anderszins voortbestaan. Het is zelfs mogelijk dat hele populaties nog geruime tijd in stand blijven na het verplaatsen van de grond en dat ervan uitsterven als gevolg van niet optimale omstandigheden slechts langzaam gaat.

4.1.3 Overige aspecten

Moedermateriaal

De verschillende processen die onder de term bodemvorming worden samengevat zijn afhankelijk van de grond waar de bodem zich in vormt. De mate waarin de grond uitwisseling van water en lucht toestaat is daar een belangrijk aspect van. Daarnaast is de samenstelling van de grond van belang voor de bodemvormende processen. De opbouw van de grond, in lagen en dergelijke, houdt met beide verband en leidt vaak tot omstandigheden die bepaalde processen, en daarmee de bodemvorming, sterk beïnvloeden.

Grond met een significante fijne fractie zwelt en krimpt veel sterker dan zandgrond en kan daardoor een meer uitgesproken bodemstructuur krijgen dan zandgrond. Deze bodemstructuur beïnvloedt bovendien de eigenschappen van de klei veel sterker dan het geval zal zijn bij zandgrond. Anderzijds heeft grond met een significante fijne fractie in dichte toestand een veel geringere doorlatendheid dan zand. Het veranderen van watergehalte neemt in kleigrond veel meer tijd dan in zandgrond. Frequentie veranderingen van omgevingsomstandigheden beïnvloeden daarom slechts de buitenkant van een pakket dichte klei. Door de vorming van bodemstructuur dringt het contactoppervlak van de omgeving met de dichte klei steeds verder het pakket klei in echter, en daarmee ook de wisselingen van de omgevingsomstandigheden. Het vormen van een bodemstructuur in een pakket dichte klei gaat dus zeer veel langzamer dan in zand, maar resulteert op de lange termijn in een veel meer uitgesproken structuur.

Wat betreft de samenstelling van de grond is vooral de hoeveelheid afbreekbaar organisch materiaal van belang, onder andere in verband met de hiervoor aangehaalde vorming van ijzersulfiden en de verhoging van het ijzergehalte van grond daardoor. Andere aspecten van de mineralogische samenstelling van het moedermateriaal zijn van ondergeschikt belang in vergelijking met de effecten van de chemie van het poriewater en het chemische milieu.

De opbouw, gelaagdheid, van de grond heeft op verschillende schalen invloed op de vorming van bodems. Voor klei-onderlagen is vooral de centimeter tot decimeterschaal van belang. Klei in direct contact met een zandlaag kan relatief snel op veranderingen van zuigspanning in de omgeving reageren en valt daardoor relatief snel in bodemstructuurblokken uiteen (bijlage 7 foto 20). De klei in een pakket van doorlatende zand- en dichte kleilaagjes zal daardoor veel sneller uit blokken komen te bestaan dan een homogeen pakket grond met dezelfde dikte en dezelfde gemiddelde korrelgrootteverdeling als het gelaagde pakket. Op de grens van zandlaagje met kleilaagje kunnen ook extreme veranderingen van reducerende naar oxiderende omstandigheden optreden. IJzer in opgeloste vorm in de gereduceerde klei kan in het gebied met oxiderende omstandigheden nabij het zandklaagje komen en zal daar dan neerslaan. Door de voortdurende aanvoer van opgelost ijzer uit het kleilaagje vormt zich een roodbruine korst, of huidje op de grens met het zandlaagje. Omgekeerd kan een dichte slechtdoorlatende, laag tot stagnatie in de drainage van hemelwater en infiltrerend buitenwater leiden. Hierdoor ontstaat lokaal in de

onderlaag een laag waarin meer reducerende omstandigheden heersen dan in de omgeving. Zo'n laag beïnvloedt uiteraard in belangrijke mate de lokale waterhuishouding in een talud, onder andere de zuigspanning eronder.

Tijd

De meeste bodemvormende processen worden ten dele bepaald door de aan- en afvoer van stoffen, water, opgeloste stoffen en dergelijke. Dit betreft zowel vorming en omzetting van stoffen als de vorming van de bodemstructuur. Veel van de belangrijke processen worden daarnaast bepaald door de snelheid waarmee chemische reacties verlopen, de dynamiek van populaties van micro-organismen (en macro-fauna zoals wormen) en de snelheid waarmee veranderingen in de mechanische spanningen in de grond tot permanente vervormingen leiden (kruip). De snelheden van aan en afvoer en van de verschillende reacties en dergelijke zijn zodanig dat bodemvorming pas in perioden van enige jaren tot grond met een bodemprofiel van meer dan enige decimeter dikte leidt.

Sommige verschijnselen ontstaan zeer snel. Binnen een paar uur vormt zich een zwak bruine tot olijfgroene waas op een vers oppervlak in zogenaamde blauwe klei. Als het oppervlak van de natte klei niet te snel indroogt door voldoende toevoer van water uit de grond, kunnen binnen een paar weken tot een paar maand helder roodbruine kleuren op zulke vlakken ontstaan door de accumulatie van ijzerverbindingen. In de bovenste centimeters van kleigrond treedt reeds binnen enige dagen scheurvorming op als vochtige klei uitdroogt aan de lucht.

In dichte kleigrond neemt de snelheid van scheurvorming en van omzettingen sterk af met de afstand tot vrije oppervlakken, in eerste instantie het maaiveld, en later de wanden van spleten. Het is niet waarschijnlijk dat een eindstadium van bodemvorming in een klei-onderlaag kan ontstaan binnen een periode van enige tientallen jaren na aanbrengen, of veranderen. Dit is ten dele het gevolg van de geringe snelheid van de transport en omvormingsprocessen, waarbij voor de mineralogische omzettingen een laag watergehalte bovenin de onderlaag onder een harde bekleding een vertragende of blokkerende werking heeft. Opgemerkt wordt dat voor veel klei-onderlagen of delen daarvan, de omgevingsomstandigheden vaak al veranderen voordat er een stationaire situatie is ontstaan.

Het is waarschijnlijk dat de thans aanwezige onderlagen van gezette steen in Nederland in de tijd nog duidelijke veranderingen zullen ondergaan.

Kleuren, impregnaties en huidjes

Zoals hiervoor reeds aangehaald treden er veranderingen in mineralogische samenstelling op in grond wanneer die in een andere omgeving komt. Op kleine schaal treedt zo'n verandering van omgeving bijvoorbeeld op als er een scheur ergens in de grond ontstaat. De omstandigheden in de klei aan het oppervlak van de scheur kunnen daardoor in korte tijd van reducerend naar oxiderend veranderen. De wand van de scheur verkleurt in dat geval van binnen enige uren van grijs naar

olijfgroen en krijgt later vaak geel tot roodbruine kleuren (bijlage 8 foto 22). Met de tijd kan de verkleuring zich verder de klei in verplaatsen. De snelheid waarmee deze verplaatsing naar binnen optreedt is echter zeer variabel en hangt af van watergehalte en waterdoorlatendheid zowel binnen een individuele kleibrok als van de kleibrok naar de klei eromheen.

Indien kleigrond voortdurend door fauna en wortels van planten wordt omgezet, terwijl er mineralogische omzettingen optreden onder oxiderende omstandigheden, zal de bodemlaag in binnen enige maanden tot jaren nogal egaal grijsbruin worden in Nederlandse omstandigheden. Onder gezette steen treedt dergelijk vergraven slechts zeer lokaal op. Er is dan ook meestal een duidelijk kleurverschil tussen de wanden van blokken en de binnenkant ervan. Meestal zijn de wanden bruin tot roodbruin en is de kern grijs bovenin de onderlaag (bijlage 7 foto 16). Er komen echter ook omstandigheden voor waarbij de kern van de blokken bruin is, terwijl de wanden grijs en zwart gekleurd zijn (bijlage 7 foto 23). Deze laatste wijze van kleuring treedt op als klei van bijvoorbeeld een oud grastalud of van bouwland in een omgeving onder gezette steen komt waar reducerende omstandigheden heersen, zoals ontstaat na goed verdichten, maar ook voorkomt bij stagnerend water door slecht doorlatende lagen en beneden hoogwaterniveau. De grond onder gezette steen vertoont dan ook meestal meer uitgesproken kleurschakeringen dan in normale bouwland of grastalud omstandigheden. Deels is dat het gevolg van genoemde geringe vergraving en deels door de plaatselijk optredende grote contrasten in chemische omstandigheden.

Hierboven is opgemerkt dat de wanden van spleten vaak een andere kleur hebben dan de kern van de brokken in klei-onderlagen. Soms is de afwijkende kleur beperkt tot een laagje dat op de oorspronkelijke wand is neergeslagen en dat met huid wordt aangeduid. In veel gevallen echter is er sprake van een impregnatie van de wand met de stoffen met afwijkende kleur (bijlage 7 foto 12, 22). In dat geval wordt hier over impregnatie gesproken. Impregnatie kan ontstaan door omzetting van reeds lokaal aanwezige stoffen, maar kan ook gevormd worden door omzetting van uit de klei of van over het oppervlak aangevoerde stoffen.

Als er een, dunne, laag met een duidelijk afwijkende kleur of samenstelling op de oorspronkelijke wand is afgezet wordt gesproken van een huid of huidje (Eng. "coating", bodemkundig "cutan") (bijlage 7 foto 21). Zulke huidjes vormen zich vaak door langduriger aanvoer van benodigde stoffen die door de chemische omstandigheden op de wand van de spleet neerslaan tot een minerale neerslag. Huidjes kunnen ook ontstaan door het neerslaan van zeer fijne vaste stofdeeltjes die elders zijn ontstaan of hebben losgelaten, bijvoorbeeld kleideeltjes, en die door veranderde chemische omstandigheden weer op de wand neerslaan. Zogenaamde kleihuidjes zijn een veel voorkomend verschijnsel. Op die wijze ontstane kleilaagjes geven reeds bij een dikte van slechts 5 μ een vette klei-glans aan een spleetwand. De huidjes vormen zich meestal doordat hoger in de bodem kleideeltjes dispergeren ("oplossen") wat onder andere gebeurt als zoet (regen-) water bij weinig stevige of geroerde zoute klei komt. Dieper in de bodem klitten de deeltjes weer samen of tegen een spleetwand wanneer het zoutgehalte verandert, de waterstroming stagneert, of wanneer er andere stoffen aan het deeltje geadsorbeerd raken.

De meeste processen die bij vorming van impregnaties en huidjes van belang zijn worden sterk door lokale chemische omstandigheden beïnvloedt. De impregnaties en huidjes hebben dan ook vaak een zeer grillige verspreiding en binnen een centimeter kunnen sterk contrasterende stoffen ontstaan langs een spleetwand.

4.2 Enige opmerkingen over bodemvorming en civieltechnische eigenschappen

Door de vorming van een bodem kunnen de eigenschappen van grond in belangrijke mate worden gewijzigd. In het algemeen past grond die ergens wordt aangebracht zich met bodemvorming aan zijn nieuwe omgeving en omstandigheden aan. In deze aanpassing kunnen verschillende tijdsschalen onderscheiden worden. Voor de civieltechnische eigenschappen dienen ook enige tijdsschalen onderscheiden te worden ten aanzien van het gebruik van grond. In het volgende worden civieltechnische eigenschappen van grond voor een korte termijn, uren tot dagen, middenlange termijn, weken tot een jaar, en lange termijn, meerdere jaren besproken voor een laag grond als een klei-onderlaag van gezette steen.

Korte termijn (uren tot dagen)

Binnen enige dagen ontwikkelen zich scheuren in het oppervlak van natte klei die aan de lucht wordt blootgesteld. De doorlatendheid voor water en voor gassen neemt daardoor extreem toe in de toplaag. Dit geldt eveneens voor de wanden van brokken klei. Kleine kleibrokken, centimeters, nabij de buitenkant van gestorte grond drogen binnen een week zeer sterk uit bij droog weer en worden daardoor hard. Verdichten van een laag van dergelijke harde brokjes tot een homogene dichte laag treedt alleen op onder bijvoorbeeld de zeer hoge drukken direct onder harde banden of tracks.

De neerslag van één of enkele zware buien op relatief droge grond die uit brokken bestaat, wordt door de open structuur grotendeels naar beneden gedraineerd. Enerzijds is dat het gevolg van het grove poriënsysteem tussen de brokken, anderzijds van de extreem lage doorlatendheid van droge klei zoals die in de brokken voorkomt. Als de buitenkant van een brok tot één centimeter dikte is ingedroogd voorkomt dat reeds het effectief bevochtigen van de grond in het brok door enige buien. Het watergehalte van droge klei op een drainerende ondergrond neemt niet significant toe door enkele buien. Voor het bevochtigen van klei voor verwerking bij langdurig droge weersomstandigheden dient daarom gedurende relatief lange tijd te worden berekend, waarbij een geringe intensiteit van beregening reeds voldoet.

Binnen enige uren tot dagen kunnen de randen van klei zeer sterk verkleuren bijvoorbeeld bij ontgraven van grijze of blauwe klei. Het betreft echter chemische processen in lagen van slechts fracties van millimeters. De sterkte-eigenschappen van de bulk worden door deze processen dan ook niet beïnvloed. Chemische processen beïnvloeden wel het herstel op korte termijn van de

sterkte van klei die intens geroerd is. Indien klei sterk is geroerd, zoals in contact zones met graafwerktuigen, neemt de sterkte ervan aanzienlijk af. De sterkte neemt echter weer duidelijk toe binnen uren tot dagen door chemisch beïnvloedde processen. Deze sterkte-eigenschappen zijn voor bijvoorbeeld ontgronding door langsstromend water van groot belang. Geroerde klei erodeert relatief snel en dispergeert ("oplossen") vaak sterk, wat beduidend minder wordt als de klei enige dagen met rust gelaten wordt.

Middellange termijn (weken tot een jaar)

Een kleilaag van 0.8 m dikte die niet zeer nat is aangebracht, verkrijgt op een goed drainerende ondergrond binnen enige jaren een watergehalte dat schommelt rond het lange termijn gemiddelde. Door de werking van bijvoorbeeld seizoensverschillen kan in die kleilaag op wat langere termijn een bodemstructuur ontstaan.

Binnen een jaar kunnen scheuren ontstaan dwars door een niet bedekte kleilaag van 1 meter dikte. Deze scheuren zijn aan de basis visueel nog nauwelijks waarneembaar, maar verhogen de bulkdoorlatendheid van een dicht kleipakket reeds aanzienlijk.

Door de aanpassing van het watergehalte en door bepaalde chemische processen neemt de sterkte van brokken klei met name bij de contacten met de atmosfeer (bij de buitenkant van het pakket of bij de wanden van spleten) zeer sterk toe na aanbrengen. In klei waarvan de brokken bij het aanbrengen een sterkte (C_u) van 30 tot 80 kPa hadden, bereiken de brokken een sterkte van meer dan 200 kPa. Op langere termijn neemt de sterkte veelal nog veel meer toe.

De erosie door langsstromend water en dispersie kunnen door de in de vorige alinea genoemde omzettingen beperkt worden. Echter, afhankelijk van de omstandigheden kunnen er ook stoffen en microstructuren ontstaan die de binding van de individuele deeltjes langs de wanden van kleigrond juist ondermijnen, waardoor erosie kan toenemen. Eén van de processen die kan optreden is het vervangen van zout poriewater door zoetwater (bijvoorbeeld regenwater). Deze vervanging heeft invloed op de binding tussen kleideeltjes en leidt tot volumeverandering van de grond afhankelijk van het watergehalte. Door voortdurende vervanging van zout- door zoetwater in de buitenste millimeters van kleigrond en tegelijkertijd langsstromen van water, zoals bijvoorbeeld bij neerslag op uit kwelders opgegraven grond, kan er aanzienlijke slijtage langs het oppervlak en in scheuren optreden. Omgekeerd kan het indringen van zout water in klei uit zoetwateromgeving door osmotische werking tot zwelkrachten tussen de deeltjes leiden die aan de rand van kleibrokken tot het loslaten van individuele deeltjes kan leiden. De toename van snelheid van slijtage door stromend water hierdoor is theoretisch echter minder sterk.

Gravende en op het oppervlak levende fauna kan in de termijn van weken tot een jaar significante hoeveelheden grond verzetten. De daarbij behorende grote poriën beïnvloeden de vochthuishouding in de grond aanmerkelijk.

Lange termijn (jaren)

Op de langere termijn verkrijgt kleigrond onder invloed van weer en wind in de onverzadigde zone een bodemstructuur. Onder gezette steen blijken die omstandigheden vaak aanwezig. De bodemstructuur verhoogt de doorlatendheid van een pakket dichte klei tot een waarde tussen 10^{-6} en 10^{-4} m/s. De cohesie neemt door het uiteenvallen in brokken sterk af. Echter, aangezien de brokken die ontstaan relatief sterk zijn ($C_u > 200$ kPa) en een goed aaneensluitend geheel vormen, neemt de hoek van inwendige wrijving sterk toe en ontstaat er een samenhang door de beperkte onderlinge bewegingsvrijheid van brokken in de pakking. De sterkte- en vervormingseigenschappen worden bepaald door zowel de bodemstructuur als de eigenschappen van individuele brokken. Bij hogere alzijdige spanningen zullen de eigenschappen van de brokken gaan domineren, terwijl nabij het oppervlak de structuur een grote rol speelt bij niet al te hoge belasting.

Door voortgaande trage mineralogische omzettingen en door de vorming van significante hoeveelheden neerslagen als gevolg van voortgaande aanvoer van bepaalde stoffen gedurende lange tijd, kan de samenstelling van kleigrond significant veranderen. Kleigrond die in de onverzadigde zone is gebracht verkrijgt op termijn een zeer hoge sterkte door deze processen en de brokken ontwikkelen, indien er geen vergraven optreedt, eigenschappen als zacht gesteente ("weak rock" [Hawkings en Pinches 1992]). Onder gezette steen heeft die omzetting effect op termijn van enige jaren voor de bovenste 0.1 tot 0.2 m en kan, afhankelijk van de omstandigheden, in een periode van 10 tot 20 jaar ook effect hebben op de sterkte van dieper gelegen grond.

4.3 Aspecten van oorsprong en verwerken van grond

Oorsprong

Er zijn een aantal karakteristieke bronnen voor klei voor onderlagen, te weten: Voorland van de dijk, veelal kwelder of slik; oude dijklichamen; grond van wat diepere ontgravingen (merendeels beneden grondwater) zoals cunetten en sloten; grond van ondiepe ontgravingen (nabij het oppervlak boven grondwaterspiegel) zoals bij egalisaties en bouwrijp maken.

Grond voor klei-onderlagen die uit het voorland van de dijk komt, is meestal de bovenste 1.0 tot 1.5 m van het schor of slik voor de dijk. Het gemiddelde gehalte aan cohesieve bestanddelen van dat materiaal is wisselend en hangt van de afzettingomstandigheden in het voorland af, soms is zelfs het schor nog sterk zandig. Klei van schorren bevat vaak veel organisch materiaal en bevat meestal meer fijne bestanddelen dan de slikken in dezelfde omgeving. In de afzettingen in het voorland komen grote soms abrupte verticale verschillen in samenstelling voor. Het zandgehalte in een schor neemt in het algemeen toe met de diepte, vaak is er sprake van relatief schoon zeer fijn zand ter hoogte van het laagwaterniveau. De meeste grond uit het voorland is zeer nat en slap. De bovenste ongeveer 0.3 m van schorren op veel plaatsen in Zeeland is echter vaak al

enigszins stevig en heeft geen zeer hoog watergehalte meer. De grond in het voorland is meestal aangerijkt in ijzersulfiden (zwarte kleur). Ten aanzien van het gebruik in onderlagen zijn de korrelgrootteverdeling en het watergehalte van de klei vaak problematisch. Teneinde een enigszins homogene samenstelling zonder hogere zandgehalten of veel zandinsluitingen te verkrijgen zou de grond in nogal dunne lagen afgegraven moeten worden, hetgeen zelden het geval is geweest. De bodemvorming in een klei-onderlaag met grond uit het voorland kan in relatief korte tijd tot vorming van grotere scheuren in de klei-onderlaag leiden als de grond niet vooraf voldoende is gedroogd. Het watergehalte van de grond is pas geschikt voor toepassing in onderlagen nadat de grond een periode aan de lucht heeft kunnen drogen; afhankelijk van de te drogen laagdikte en de ondergrond kan dat van enige maanden tot meer dan een jaar vergen. In sommige schorafzettingen is het organische stofgehalte erg hoog voor gebruik als vormvaste onderlaag. Het verwerken van de wortellaag van een schor in een klei-onderlaag leidt tot een belangrijke verstoring van de opbouw van de laag en in het functioneren ervan.

Grond voor klei-onderlagen afkomstig van het graven van sloten en cunetten en dergelijke heeft eveneens vaak een hoog watergehalte. De stevigheid van zulke grond is meestal wat hoger dan die van schorklei. Gezien de meestal grote verticale variatie in samenstelling, komen er grote verschillen in korrelgrootteverdeling en organisch stofgehalte voor in over grotere diepte uitgegraven grond. Om het voorkomen van in klei-onderlagen niet gewenste zandinsluitingen en dergelijke te voorkomen moet zulke grond hetzij per grondlaag apart worden weggezet, hetzij zeer grondig gehomogeniseerd worden. In veel omstandigheden zal de grond enigszins moeten indrogen alvorens het watergehalte zodanig is dat de grond goed verdicht kan worden (ten behoeve van stabiliteit na aanbrengen) en dat vorming van grote scheuren in de klei-onderlaag wordt voorkomen. De bodemvorming die optreedt hangt onder meer af van het watergehalte en de mogelijke aanwezigheid van ijzersulfiden in de grond zoals bij de hiervoor besproken grond uit het voorland.

Grond van oude dijken heeft bijna altijd een geschikt watergehalte en heeft relatief hoge stevigheid. Oude dijken zijn echter bijna altijd uit lokaal voorhanden grond opgebouwd, waardoor het zandgehalte ervan lang niet altijd laag is. Vanwege de verschillen in constructietypen en wijzen van aanleg kunnen zand en klei elkaar in een dijklichaam op velerlei wijzen afwisselen. Het verkrijgen van grond met een geschikte en homogene samenstelling vergt daarom afstemming van het afgraven en in depot zetten met het beoogde gebruik. Behalve grond komt er in oude dijklichamen vaak veel puin en ander steenmateriaal voor (oude beschermingen) wat niet bevorderlijk is voor zowel het verwerken als voor het functioneren van klei-onderlagen. Ook het verwerken van de graszode van een oude dijk in een klei-onderlaag kan tot belangrijke verstoring van de opbouw van de laag leiden. De bodemvorming hangt af van de lokale omstandigheden. Reeds bruingekleurde grond kan na aanbrengen in een onderlaag weer bleken en grijze kleuren krijgen door de reducerende omstandigheden die in verdichte klei optreden. Dit verschijnsel wordt versterkt indien er veel organisch materiaal aanwezig is waardoor micro-organismen de vrije zuurstof relatief snel opgebruiken en zuurstof van ijzer- en andere oxyden en hydroxiden gaan

gebruiken. Oude zodelagen kunnen daardoor grijs worden en er kunnen zelfs ijzersulfiden (zwarte kleuren) ontstaan door de activiteit van de micro-organismen.

Grond die afkomstig is van egalisatie en bouwrijp maken betreft meestal de bovenste decimeter van een oud maaiveld. Het watergehalte van zulke grond is veelal voldoende laag voor gebruik en de stevigheid is eveneens hoog. Aangezien het een meestal veel bewerkte laag betreft is de samenstelling relatief nogal homogeen. In zulke grond komen echter zeer veel bijmengingen van wortelmateriaal, puin, hout en dergelijke voor. De vaak grote hoeveelheden en de grootte van de stukken in zulke bijmengingen ondermijnen het functioneren van de onderlaag. De bodemvorming is in het algemeen vergelijkbaar met die van grond uit oude dijklichamen.

Aanbrengen en verdichten

De wijze waarop de klei voor een onderlaag wordt aangebracht kan de bodemvorming en de civieltechnische eigenschappen op de middellange en lange termijn beïnvloeden en wel vooral door de mate van homogeniseren die daarbij optreedt. In een onderlaag waarin veel zandinsluitingen in de klei zitten treedt veel sneller uiteenvallen van de klei in brokken op. Bij het aanbrengen van grond afkomstig van een pakket met afwisselend zand en kleilaagjes wordt de klei vaak tot brokken verkneed, met daartussen het zand. Het zand zit dan vaak als een schil op de kleibrokken.

Het transport van gassen en vocht door de bodem bepaalt in hoge mate de bodemvorming. In goed verdichte klei is transport van vocht erg traag, zeker indien er geen grote zuigspanning zoals bij plantenwortels wordt aangelegd. Ook de mate waarin vrije zuurstof toe kan treden is beperkt in goed verdichte klei. Zowel de vorming van bodemstructuur als vorming van mineralen waarvoor oxiderende omstandigheden nodig zijn worden door verdichten beperkt. Zo kan in verdichte grond een begraven zodelaag tot reducerende omstandigheden leiden doordat organisch materiaal afbrekende bacteriën de beschikbare vrije zuurstof in de grond gebruiken en er niet voldoende snel aanvoer van vrije zuurstof vanuit de omgeving is. Verdichten heeft als direct effect dat gravende fauna wordt ontmoedigd. Wormen en plantenwortels kunnen amper in verdichte klei binnendringen (pas als door andere effecten zoals fysische bodemstructuurvorming, de klei lossener wordt kan fauna de grond vergraven).

4.4 Bodembeschrijving

4.4.1 Algemeen

De bestaande bodembeschrijvings- en bodemclassificatiesystemen die de verschijnselen in bodems in de onverzadigde zone beschouwen, zijn opgezet met het oogmerk de natuurlijk voorkomende bodems zoveel mogelijk in min of meer natuurlijke, vaak genetische, groepen te verdelen. De achtergrond daarbij is vaak landbouwkundig. Deze systemen gebruiken de natuurlijk voorkomende range van een reeks van meer of minder gemakkelijk herkenbare discriminerende verschijnselen in de bodem. Deze systemen maken daarbij gebruik van karakteristieken van de omgeving (ontwateringsgraad, klimaatszone en dergelijke) om de bodems nader te karakteriseren.

De bestaande systemen gaan daarbij uit van een oorspronkelijk min of meer homogeen uitgangsmateriaal (zogenaamd moedermateriaal, dat vaak verondersteld wordt hetzelfde te zijn als de grond die op het moment van waarnemen onder de "bodem" wordt aangetroffen), ofwel van een natuurlijke verticale opeenvolging van uitgangsmaterialen.

Pas de laatste paar jaar wordt er gewerkt aan systemen waarbij natuurlijke bodems worden gekategoriseerd aan de hand van meer of minder duidelijk herkenbare verschijnselen teneinde een of meer bepaalde chemische of fysische eigenschappen direct af te kunnen leiden (Quisenberry et al. 1993, Langley Turnbaugh and Evans 1994). De gepresenteerde voorbeelden echter, maken wel gebruik van "conventionele" classificatiekenmerken, zoals het voorkomen van klei-inspoelingshorizonten en dergelijke. De voorbeelden in de betreffende publikaties maken ook duidelijk dat er details worden afgeleid uit algemene beschrijvingstermen die alleen binnen een bepaald gebied met enige zekerheid gedaan kunnen worden. Er wordt ook gewerkt aan systemen om de relevante chemische of fysische informatie uit bestaande "natuurlijke" of genetische classificaties af te leiden (Bouma 1988). Het detail in de karteringen die met de bestaande classificaties zijn gemaakt is relatief groot, echter het afleiden van de betreffende eigenschappen gaat gepaard met brede marges. In het algemeen kan worden gesteld dat voor bodems onder gezette steen deze systemen niet van toepassing zijn. Verschijnselen die niet of nauwelijks relevant zijn voor bodems onder gezette steen domineren vaak de bestaande indeling en het detail in het civieltechnisch karakteriseren dat met die systemen mogelijk zou zijn is te beperkt. De terminologie die voor natuurlijke bodems op hoger niveau gehanteerd wordt, is maar zeer ten dele bruikbaar voor de relatief zeer jonge bodems die onder relatief extreme omstandigheden in dijken onder gezette steen zijn gevormd. De beschrijvingsterminologie voor de lage niveaus is voor een groot deel geschikt, zij het met enige aanpassingen.

De laatste jaren verschijnen er regelmatig publikaties die wijzen op de mogelijkheden om met "fractals" bodemkarakteristieken te benaderen (onder andere [Rawls et al. 1994]). In deze studie is daar verder niet op ingegaan, aangezien de mogelijkheden nog niet voldoende zijn vast te stellen.

In geen van de klassificatiesystemen die zijn aangetroffen in de literatuur wordt voldoende aandacht besteedt aan het beschrijven van de voor civieltechnische doeleinden belangrijke indicaties van doorlatendheid (spleten- en overige grote poriesystemen) en samenhang. Zelf de ingenieursgeologische beschrijvingen van "mudrock" (versteende klei en silt) gaan niet veel verder dan het aangeven van de gemiddelde onderlinge afstand tussen diaklazen (eng. joints, zijnde scheuren of spleten), waarbij eerder aan decimeter en meters gedacht wordt dan aan millimeters tot centimeters.

Samenvattend kan worden gesteld dat voorshands alleen delen van de beschrijvingsterminologie van bestaande systemen gehanteerd kunnen worden en dat de ervaringen met gerichte klassificatiesystemen er op wijst dat voor elk probleemveld een nieuw dan wel sterk aangepast beschrijvingsstelsel nodig is. In het volgende zal op een beschrijvings- en klassificatiesysteem voor gebruik in het terrein worden ingegaan dat voor het evalueren van de erosiebestendigheid bij golfaanval gebruikt kan worden. In bijlage 1 is het systeem voor het beschrijven van klei-onderlagen opgenomen

4.4.2 Opzet van het beschrijvingsstelsel

Het te ontwikkelen systeem voor het beschrijven van de bodem die onder gezette steen ontstaat op dijktafval dient om de relevante civieltechnische eigenschappen van grond te kunnen afleiden. De civieltechnische eigenschappen van grond kunnen met expliciete, maar meestal impliciete geotechnische beschouwingen uit de indicatie van de waarde van de geotechnische parameters worden afgeleid, dan wel dienen met 1:1 modelproeven van het betreffende belasting-sterkte mechanisme te worden bepaald, waarbij de bandbreedten van belasting en sterkte goed omschreven dienen te zijn.

De geotechnische parameters die voor beschouwingen voor de civieltechnische eigenschappen van kleigrond met een bodemstructuur nodig zijn, worden in tabel 4.1 vermeld. Over deze parameters moet voor al de relevante eenheden in de bodem in de kleilaag informatie beschikbaar komen. De ingangen om deze informatie te verkrijgen met behulp van beschrijvingen in het terrein zijn:

- Geometrie van het spletenpatroon in de grond op verschillende niveaus van detaillering (spleetwijdtes, geometrie stapeling van kleiblokken);
- De aard van de wanden van de spleten;
- De stevigheid (ongeronde consistentie) van de kleibrokken;
- Het gewicht van de blokken;
- Samenstelling kleibrokken (fijne fractie, mate van chemische rijping en dergelijke);
- De verticale en horizontale variatie in bovenstaande.

parameter omschrijving	bulk	klei-brokken	spleten	opmerkingen
volumieke massa	x	x		in "veldnatte" toestand
effectieve porositeit	x			deel dat meedoet aan stroming
verzadigde doorlatendheid	x		x	in "veldnatte" toestand
elasticiteitsmodulus	x	x	x	
poissonverhouding	x		x	
effectieve grootte		x	x	
interlock (pakkings-haakweerstand)	x			
interne wrijvingshoek	x	x	x	of andere bezwijkparameters
cohesie	x	x	x	

Tabel 4.1: Geotechnische eigenschappen waarover inzicht moet bestaan voor het beoordelen van het functioneren van grond in de onverzadigde zone zoals onder gezette steen. In de tabel wordt aangegeven voor welke elementen van de grond de informatie beschikbaar moet zijn.

De beschrijving dient te leiden tot schattingen van representatieve waarden, eventueel met bandbreedte van een aantal verschijnselen (zie ook bijlage 1), te weten:

Spleetwijdte groepen

spleetwijdte), continuïteitslengte, connectiviteit totaal en hiërarchische ordening van typen, tortuositeit (kronkeligheid), afmeting rechte stukken, angulariteit tussen "rechte stukken";

Blokken

karacteristieke maten ($l \times b \times h$) van brokken, aantal ribben, lengte van ribben, in- (uit-)gesloten hoeken, afgerondheid van hoeken, mate van aansluiting en op elkaar passen per spleetwijdte type, vormgroep;

Wanden van brokken per spleetwijdte type,

ruwheid (hoogte en lengte), mate van aanwezigheid huiden (klei, hydroxides, organisch materiaal), verkleuring (impregnatie) van wanden;

De stevigheid (ongeroderde consistentie) van de kleiblokken

Samenstelling kleibrokken (fijne fractie, mate van chemisch/mineralogische omzetting);
geschatte korrelgrootteverdeling/consistentie
macroscopische variatiepatronen in zand-siltinsluitingspatronen
De verticale en horizontale variatie in de kleilaag van bovenstaande.

Het inzicht in het schatten van de invloeden op de factoren die het erosie-gedrag van klei-onderlagen is nog niet voldoende om tot eenduidige criteria aan de hand van beschrijvingen te kunnen komen. De hierboven genoemde verschijnselen beïnvloeden alle echter het civieltechnische gedrag van de grond, dan wel zijn als diagnostisch kenmerk voor het herkennen van relevante aspecten van de onderlaag van belang..

4.4.3 Werkwijze voor het beschrijven

De volgende werkwijze voor het beschrijven kan worden toegepast om een voldoende indruk van de opbouw van de grond te verkrijgen, te weten:

- 1 Het onderscheiden moedermateriaaleenheden waarbij inbegrepen eenheden als gevolg van aanbrengen en activiteiten na het aanbrengen zoals verdichten of lokaal vergraven.
- 2 Beschrijven korrelgrootte-consistentie moedermateriaaleenheden, bijmengingen (schelpmateriaal, plantenresten en dergelijk) en begrenzingen
- 3 Onderscheiden van structuur-orden per moedermateriaaleenheid
- 4 Systematisch beschrijven poriestructuur van macro-poriën en blokvorm van de hoogste orde per moedermateriaal of per moedermateriaalgroep
- 5 Systematisch beschrijven structuur per orde per moedermateriaal
Bij elk niveau beschrijven:
 - algemene vorm van elementen
 - karakteristieke maat van elementgrootte
 - vormspecificaties
 - karakteristieke spleetwijdte
 - huiden op poriën
 - poriewandimpregnaties (vlekken)
 - kleuren
- 6 beschrijven overige bodemstructuurfenomenen (bioturbatie) en lokale afwijkingen van structuur

Voorgesteld wordt om zoveel mogelijk de terminologie die in bijlage 1 wordt gegeven te hanteren, teneinde communicatie te vergemakkelijken.

Indien er meer dan 10 tot 20 profielopnamen ge-evalueerd moeten worden is het met de huidige stand van de techniek aan te bevelen tot geautomatiseerde verwerking over te gaan. Deze verwerking vergt dat de gegevens met gestandaardiseerde codes in gestandaardiseerde vorm

worden toegeleverd. Het verdient dan aanbeveling om de opnamen in het terrein met behulp van gestandaardiseerde formulieren uit te voeren. Immers, het gebruiken van een complexe codering vergt vele jaren ervaring voor foutloze opname. De coderingen die de geautomatiseerde toepassingen gebruiken kan eenvoudig van een gestandaardiseerd terreinformulier worden geabstraheerd. NB het blijkt dat een kolom "opmerkingen" onmisbaar is voor een adequate beschrijving, aangezien de soms relevante details lang niet altijd in van te voren gedefinieerde nog hanteerbare codes te vatten zijn.

Opgemerkt wordt dat het voor geïnteresseerden goed mogelijk om met enige dagen "on the job training" het beschrijven van de verschillende individuele fenomenen in bodems in klei-onderlagen voldoende onder de knie te krijgen. Het adequaat onderkennen van verschillende eenheden en de relevante karakteristieken ervan in een soms onregelmatige kuil of sleuf vergt echter langdurige ervaring in het beschrijven van grond en met de verschillende aspecten die voor de toepassing (reststerktebepaling) van belang zijn.

5 OVERZICHT VAN BODEMS OP DE ONDERZOCHE LOCATIES

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting van de beschrijving van de aangetroffen bodems onder gezette steen gegeven. In de bijlage 3 is een beknopte beschrijving per locatie opgenomen en in de bijlage 8 (deel II) zijn gedetailleerde profielbeschrijvingen opgenomen. In bijlage 10 is een beoordeling van de reststerkte van de klei-onderlaag van de 11 locaties opgenomen.

De bodems hebben in de bovenste 1 tot 2 decimeter een structuur van hoekige fijne, 3 tot 6 mm, blokken vaak met een dominante spleetrichting evenwijdig aan het talud. De structuur wordt wat grover naar beneden toe. De kleur van de grond kan grijs of bruin zijn, maar heeft vaak onderaan het talud helder roodbruine verkleuringen van de spleetwanden. In het volgende wordt deze opbouw met normaal profiel aangeduid. De belangrijkste afwijkingen van het "normale" profiel zijn het gevolg van het voorkomen van de oude dijk in de onderlaag. De oude dijk komt voor in de profielen van respectievelijk de locaties:

- Perkpolder west, oude dijk met zode-onderlaag op enige decimeter diepte;
- Kruispolder, oude dijk met zodelaag ontsloten aan de onderkant van de gezette steen
- Thomaspolder, plaatselijk resten van zodelaag op enige decimeter diepte;
- Poortennisepolder, op beide locaties komt slecht een geringe aanvulling op de oude dijk voor;
- Calamiteuze Polder west, aan de onderkant van de gezette steen ligt een vlak stuk van de oude dijk met zode-onderlaag;
- Calamiteuze Polder noord, tot midden onder de gezette steen komt een vlak stuk van de oude dijk met zode-onderlaag voor;
- Boone Polder, op de oude dijk met onderbroken zodelaag is enige decimeter grond aangebracht.

Op 8 van de 11 locaties bevindt zich een oud dijklichaam tenminste plaatselijk dicht onder de gezette steen. Op 5 van de locaties is het oude dijklichaam over de gehele hoogte van de gezette steen met weinig, hooguit enige decimeter grond bedekt. Op 7 locaties werd onder een klei-onderlaag van 0.5 tot 0.9 m dikte zand aangetroffen, meestal waarschijnlijk van een zandkern, dan wel grotere aanvulling.

In de tabellen 5.1a en 5.1b worden overzichten van enige karakteristieken van ligging en bekleding gegeven. In bijlage 5 zijn de gegevens van de classificatieproeven op de monsters van de verschillende locaties in tabelvorm weergegeven. In de bijlage 3 zijn beknopte beschrijvingen van de verschillende profielen opgenomen, waarvan de figuren 12 tot en met 22 in bijlage overzichtsschetsen zijn.

naam	dijk- paal (etc)	aanleg [jaar]	expo- sitie	talud- helling 1: x	stenen	onder- kant blok- ken [m+ NAP]	berm [m+ NAP]	GHW [m+ NAP]	onder kant blok- ken t.o.v. GHW [m]
Hulster Ambacht, Perkpolder West	dp 81	1976	Noord	3.5	Stand.	3.2	6.2	2.4	0.8
Hulster Ambacht, Kruispolder	dp 200	1981	Noord	3.5	Stand.	3.3	6.2	2.4	0.9
Oesterdam	raai 42	1986	West	4.0	Har.	1.8	4.0	1.8	0.0
Vrije van Sluys, Paulina polder	dp 12	1973	Noord	3.5	Stand.	3.0	5.6	1.8	1.2
Vrije van Sluys, Thomaspolder	dp 73	1966	Noord oost	3.5	Stand.	3.0	5.6	1.8	1.2
Tholen, Poortnisse Polder	dp9 +10	1958	Zuid	3.2	Har.	2.6	3.1	1.7	0.9
Tholen, Poortnisse Polder	dp9 -3	1958	Zuid	3.2	Leen.	1.5	3.1	1.7	-0.2
Drie Ambachten, Calamiteuze polder	dp29 +30	1965	West	4.0	Stand.	3.4	5.8	2.1	1.3
Drie Ambachten, Calamiteuze polder	dp 31	1965	Noord	4.0	Stand.	3.4	5.8	2.1	1.3
Beveland, Waarde polder	dp 8	1970	Zuid oost	3.5	Har.	1.5	4.2	2.1	-0.6
Beveland, Boone polder	dp 9	1975	Zuid	3.5	Har.	2.5	3.7	2.1	0.4

Tabel 5.1a: Overzicht van ligging en bedekking van de onderzochte taluds. GHW = gemiddeld hoogwater: Stenen: stand. = standaard 0.5 x 0.5 x 0.2 of 0.25 m blokken, Har. = Haringmanblokken, 0.5 x 0.5 x 0.25 m, Leen. = Systeem Leendertse blokken 0.5 x 0.5 x 0.2 tot 0.35 m met "dakpan" stapeling.

naam	dijk- paal (etc)	onder- kant t.o.v. GHW [m]	vege- tatie onder- kant t.o.v. GHW [m]	vege- tatie inten- siteits- klasse	verzak- -king blok- ken [mm]	geul- diepte [mm]	geul- inten- siteit- klasse	geul boven- -kant [m+ NAP]	geul boven kant [m + GHW]	voor- land
Hulster Ambacht, Perkpolder West	dp 81	0.8	1.9	1.5	10	60	2	3.7	1.3	slik
Hulster Ambacht, Kruispolder	dp 200	0.9	2.0	1.5	15	10	1	3.8	1.4	slik
Oesterdam	raai 42	0.0	2.0	0.5	20	50	2	2.3	0.5	slik
Vrije van Sluys, Paulina polder	dp 12	1.2	1.8	3.5	15	5	1	3.6	1.8	schor
Vrije van Sluys, Thomaspolder	dp 73	1.2	2.2	2	25	150	2	3.6	1.8	slik
Tholen, Poortenisse Polder	dp9+10	0.9	1.1	3	10	200	3	3.2	1.5	geen
Tholen, Poortenisse Polder	dp9-3	-0.2	1.4	2.5	100	400	4	2.1	0.4	geen
Drie Ambachten, Calamiteuze polder	dp29+3 0	1.3	2.3	1	20	20	1	3.9	1.8	geen
Drie Ambachten, Calamiteuze polder	dp 31	1.3	2.7	1	20	100	2	3.9	1.8	geen
Beveland, Waarde polder	dp 8	-0.6	0.4	2.5	5	5	1	2.1		bij schor
Beveland, Boone polder	dp 9	0.4	0.9	2	20	20	1.5	3.0	0.9	slik

Tabel 5.1b: Overzicht van voorkomen van begroeiing en van geulen in de onderzochte taluds. De klassen-indeling voor begroeiing tussen stenen en mate van voorkomen van geulen is als volgt: Begroeiing: 0=afwezig, 1=regelmatig smalle repen, 3= zeer veel brede repen, 4=bijna geheel overgroeid; Voorkomen van geulen: 1= weinig, 2=matig (1 per 1 tot 2 m), 3=veel (bijna 2 per meter), 4=geheel ondergraven)

5.2 Karakteristieken van klei-onderlagen onder stenen

5.2.1 Opbouw van de dijk

Er zijn een 3-tal typen opbouw voor de onderzochte buitentaluds onder de gezette steen te onderscheiden, te weten: Een buitentalud van enige decimeter tot bijna 1 meter klei op zand; een klei-aanvulling van tenminste enige decimeter op een bestaand, eventueel geherprofileerd, dijklichaam; een bestaand buitentalud dat hooguit geherprofileerd is.

Het buitentalud van een klei-onderlaag op zand is vaak aangetroffen waarbij kleilaagdikten varieerden van 0.5 m tot op sommige locaties iets meer dan 1 m, een dikte van ongeveer 0.7 m is het meest aangetroffen. Er komen veel laagjes en insluitingen van zand voor in klei-onderlagen. De bodemvorming is met name vanaf de bovenkant van de kleilaag naar beneden doorgedrongen, maar ook vanuit de zandlaag dringen verkleurings- en structuurvormingsverschijnselen naar boven toe door. Op een aantal locaties was de overgang van klei op zand naar klei op bestaand talud in de profielsleuf ontgraven. De ligging van een eventueel oude dijklichaam onder het aangebrachte zand van de nieuwe dijk is voor de waterhuishouding in de dijk van belang en daarmee onder andere voor de stabiliteit van de taluds.

Ook klei-aanvullingen op een bestaande dijk zijn vaak aangetroffen. In veel gevallen is de samenstelling van de aangebrachte grond erg variabel op centimeter tot decimeterschaal, evenals bij de kleilagen op zand. In de bestaande dijk is de bodem herkenbaar die zich vormde toen de bovenkant van het oude dijklichaam aan het maaiveld lag en in de meeste aangetroffen gevallen een bekleding van gras had. Deze bodemvorming is uiteraard door veranderde omstandigheid gestopt en de daarvoor in aanmerking komende bestanddelen (ijzer-en mangaan- en aluminiumverbindingen en organische stoffen) zijn meer of minder omgevormd na het herprofilen (bijlage 7 foto 7). Met name de directe omgeving van oude zodelagen met hun grote hoeveelheid organische stoffen is door omzettingen veranderd (bijlage 7 foto 13). De fijne zodestructuur is veelal sterk verdicht, maar op een aantal locaties is de grove bodemstructuur nog intact (bijlage 7 foto 23).

Soms is de steen direct op een min of meer geherprofileerd klei-talud gezet. De dan bestaande bodemstructuur is vaak in gefossilificeerde vorm intact gebleven. Door de veranderde vochthuishouding zijn er echter tal van minerale omvormingen gaande. Door de vroeger veel voorkomende praktijk van lokaal herstel van de frequente taludbeschadigingen en door geringe aandacht voor te gebruiken materialen is de opbouw van oude dijklichamen vaak erg onregelmatig en komen veel insluitingen als houten palen, puin en dergelijke voor.

In de meeste ontsluitingen stroomde vrij water op een aantal plaatsen uit de kleilaag. In enige gevallen, met een tot laag op het talud gegraven ontsluiting, trad er veel water uit de dijk tot ongeveer 0.2 tot 0.3 m boven hoogwaterniveau. In veel gevallen stroomde er ook enig water uit

grotere poriën tot meer dan 0.5 m boven hoogwaterniveau (bijlage 7 foto 13). Op een aantal plaatsen trad het water uit de grond direct boven een oud dijklichaam. Naast de ligging ten opzichte van het hoogwaterniveau, de diepte beneden maaiveld lijkt daarom de doorlatendheidsopbouw van het dijklichaam van belang, zowel voor de bodemvormingsprocessen als voor het functioneren van het dijklichaam onder verschillende omstandigheden.

5.2.2 Variatie in de diepte en van hoogwaterlijn naar berm

Er zijn 2 steeds herkenbare trends in de bodems en bodemvorming onder gezette steen herkenbaar, te weten de afstand tot dan wel hoogte boven het buitenwater en de diepte beneden het maaiveld. Deze verschillen hangen deels samen met de wijze van aanleggen van de klei-onderlaag en deels met de invloeden op de bodemvorming.

De verschillen als gevolg van aanbrengen betreffen met name de verdichting. Nabij de hoogwaterlijn wordt vaak niet of slecht verdichte grond aangetroffen (bijlage 7 foto 11), hetgeen direct met de slecht beheersbare omstandigheden en daardoor vaak ook hoge watergehalten nabij de hoogwaterlijn samenhangt. Op een aantal locaties hoger op het talud zijn de slagen waarin de grond is aangebracht te herkennen, meestal zo'n 0.3 tot 0.5 m en meestal is dan slechts de bovenkant van zo'n slag duidelijk verdicht. Daaronder is de grond niet of nauwelijks verdicht hetgeen zich uit in het nauwelijks open-geperst zijn van de gestorte kleibrokken (bijlage 7 foto 9). Behalve verschillen in verdichten bij aanbrengen is het regelmatig zo dat voor de bovenste laag de wat zwaardere, vette, klei werd gebruikt.

De verzadigingsgraad van de grond nabij de hoogwaterlijn is gemiddeld veel hoger dan hoger op het talud. De bodemvorming nabij de hoogwaterlijn verschilt dan ook van die hoger op het talud doordat er in het algemeen kenmerken van reducerende omstandigheid aanwezig zijn. Eén van die kenmerken is de over het algemeen donkergrijze kleur van klei onder reducerende omstandigheden. De grond van taluds waarin een oud dijklichaam aanwezig is, maar ook sommige nieuw gemaakte taluds, vertoont dan ook net boven hoogwaterniveau een kleuromslag van voornamelijk grijs naar voornamelijk bruine tinten. Deze kleuromslag komt hoger te liggen met de afstand tot de hoogwaterlijn (bijlage 7 foto's 14, 15). Bij de meeste in de zeventiger en tachtiger jaren aangelegde dijktaluds is die kleuromslag niet als zodanig eenduidig te herkennen. De bruine verkleuring van de hoger gelegen grond is in die gevallen door relatief lage watergehalten nog niet dominerend. Vaak is wel een aanrijking van zwarte ijzersulfiden herkenbaar laag op het talud in de meer permanent verzadigde zones. De vorming van bodemstructuur leidt lager op het talud, tot ongeveer 0.5 m boven hoogwaterniveau, tot een veel minder goed herkenbare structuur (bijlage 7 foto 19); vaak is de klei er nog niet stevig door hoge watergehalten en verkneeden de op veel plaatsen wel aanwezige structurelementen reeds bij geringe druk. Er zijn slechts zelden spleten tussen de structurelementen herkenbaar en de structuur openbaart zich slechts door verkleurde wanden (zwarting) en het uiteenvallen van de grond bij voorzichtig ontgraven.

De verandering met de diepte betreft behalve verschillen in samenstelling en verdichting die met het aanbrengen te maken hebben, vooral een verandering in bodemstructuur. De bovenste laag van 0.1 tot 0.2 m dikte heeft in het algemeen een structuur die gedomineerd wordt door fijne hoekige blokken met afmetingen van enige millimeters (bijlage 7 foto 18). Dieper in het talud worden de structuurelementen taluds grover (bijlage 7 foto 16, 17). Soms is er dieper in het talud, beneden ongeveer 0.3 tot 0.5 m, nog nauwelijks bodemstructuur herkenbaar. In sommige gevallen is dat klaarblijkelijk het gevolg van een zeer zandig karakter van de grond.

In oude dijklichamen en de daarop aangebrachte grond zijn vaak duidelijke tekenen van stagnerend water herkenbaar (pseudo-gley in bodemkundige termen). Zelfs zijn de omstandigheden vaak zo dat reducerende omstandigheden domineren in bepaalde lagen, waardoor bij aanwezigheid van bijvoorbeeld graswortels, stukken hout of ander organisch materiaal, ijzersulfiden ontstaan. In een later stadium van bodemvorming, als de reducerende omstandigheden door structuurvorming oxiderend zijn geworden, kunnen de ijzersulfiden ter plaatse weer in dikke lagen ijzerhydroxiden worden omgezet. Binnen één spleet of wormgang kunnen al deze stadia binnen een diepte-interval van 0.2 m elkaar bestaan.

Bij de overgang van gezette steen naar grasbegroeiing op talud of berm zijn de karakteristieken van grond onder graszode tot soms meer dan een meter onder de gezette steen aanwezig. Dit betreft vooral een nogal egaal bruingrijze verkleuring tot grotere diepte, een zeer fijne kruimelige losse structuur in de bovenste decimeter en frequent voorkomen van graafgangen van regenwormen. Grasgroei tussen stenen lager op het talud heeft slechts in zeer beperkte mate effect op de bodemvorming. De beworteling dringt slechts bij dichte begroeiing tussen de stenen tot in de ondergrond door en blijft beperkt tot ondiepe zones die de naden tussen de stenen volgen.

6 INVLOEDEN OP BODEMVORMING ONDER GEZETTE STEEN

6.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt voor een aantal invloeden op bodemvorming hun bijdrage in de structuur van de bodem onder gezette steen nagegaan. Vermeld wordt dat de selectie van de onderzochte locaties heeft plaatsgehad aan de hand van de veronderstelde invloed van de verschillende factoren, en niet willekeurig. Het is de verwachting echter dat het aantal van 11 locaties samen met de eerdere onderzoeken van grond onder gezette steen een redelijk overzicht van variatie in bodemvorming onder gezette steen geven. In paragraaf 6.7 wordt op dit aspect teruggekomen.

6.2 Invloed taludrichting

De taluds met noordexpositie zijn alle gelegen ten zuiden van de Westerschelde en zijn aangelegd tussen 1965 en 1981. De grond in deze taluds heeft relatief veel minder bodemvorming ondergaan dan bijvoorbeeld de grond van de Oesterdam (aanleg 1986) met west-expositie of de grond van de dijk van de Waarde Polder (Beveland) met Zuidoost-expositie (aanleg (1970)). De grond van de taluds met zuid-expositie, de dijk van de Boone Polder (Beveland) en de beide taluds van de dijk van de Poortnisse Polder (Tholen), zijn niet rechtstreeks voor het vaststellen van de invloed van de taludrichting te gebruiken. De grond van deze locaties was bij het aanleggen van de gezette steen bekleding reeds geheel of grotendeels aanwezig en is daarbij niet geroerd. De bovenste laag op de locatie Boone Polder vormt een uitzondering, in deze bovenste laag hebben bodemvormende processen meer invloed gehad dan op de taluds met noord-expositie.

Het verschil tussen de bodemvorming van de Noord respectievelijk West ge-oriënteerde taluds van de Calamiteuze Polder (Drie Ambachten) is gering. De roodbruine en bruine verkleuringen van de wanden van spleten dringen op de westhelling dieper door dan op de noordhelling. De mate van bodemstructuur verschilt echter niet eenduidig. Daarbij moet worden opgemerkt dat het materiaal op beide locaties relatief weinig klei bevat en dat er grote verticale variatie in verdichtingsgraad bestaat op de beide locaties. Het gemiddeld ongelijkmatig verdeeld zijn van het zand in de grond beperkt de vorming van een continue bodemstructuur.

Het is opvallend dat de grond van al de locaties met een noordexpositie zeer weinig bruine kleuren hadden, behalve de klei op de locatie Perkpolder West. De bodems op die locaties hebben wel een duidelijke structuur maar de oxidatie- en transportprocessen die de bruine kleur veroorzaken zijn niet voldoende werkzaam geweest op de noordhellingen om sterke bruinverkleuring van het materiaal te bewerkstelligen. Op de locatie Paulina Polder (1973) was

onderaan het talud de bruinverkleuring wel effectief in de randen van de kluiten van de aangebrachte klei, maar de kern van de kluiten was nog grijs en zwart. De gegevens wijzen erop dat in klei-onderlagen waar transport van water en opgeloste stoffen beperkt is, door bijvoorbeeld lage watergehalten of door de aanwezigheid van veel spleten, de vorming van rode en bruine neerslagen achterwege blijft. Dit verschijnsel is met name op noord-taluds aangetroffen in grond met relatief veel zand en wel in de hogere lagen van de klei-onderlaag.

6.3 Ligging ten opzichte van de hoogwaterlijn

Er zijn een aantal taluds onderzocht waar het gemiddeld hoogwaterniveau hoger dan de onderkant van de klei-onderlaag lag. In deze kleilagen, waaronder geen van taluds met noordexpositie, lag een overgang van bruine en roodbruine kleuren naar grijze en zwarte kleuren ongeveer ter hoogte van het gemiddeld hoogwaterniveau. Voor deze locaties gold dat er eveneens een minder uitgesproken bodemstructuur beneden deze overgang bestond. Echter, behalve voor de locatie Waarde Polder, was de klei-onderlaag een niet sterk geroerde oude dijk. Het verschijnsel bestond echter ook in de kleilaag van de locatie Waarde Polder, die in 1970 is aangelegd. Het is daarom aannemelijk dat de oxidatie en transportprocessen die de bruinverkleuring veroorzaken op zuid- en zuidoost taluds tot ongeveer de gemiddeld hoogwaterlijn werkzaam zijn in een periode van minder dan 25 jaar.

Bodemstructuur in de vorm van blokken met afmetingen tot enige centimeters komen voor in de bovenste paar decimeter van klei bij de hoogwaterlijn. De pakking van de zeer hoekige elementjes is zeer dicht en de elementjes zijn relatief slap en vervormen gemakkelijk plastisch. Boven ongeveer 0.6 m boven gemiddeld hoogwaterniveau is de pakking in de bovenste paar decimeter niet meer zeer dicht en zijn de elementjes vaak al stevig tot hard.

6.4 Aanbrengen, verdichten en samenstelling

Verdichten:

Op 6 van de locaties was de kluitenstructuur van het aanbrengen van de grond nog duidelijk herkenbaar in dikke stukken van de klei-onderlaag. Deze grond is niet zodanig verdicht dat de ruimte tussen de kluiten effectief weggeperst is. In een aantal gevallen bestonden de kluiten uit kleiig materiaal en waren de tussenruimten en randen ervan zandig, waardoor de kluiten onderling weinig samenhang vertoonden. Bij het aanbrengen zijn de kluiten klei kennelijk samen met los zand gestort.

De ruimten tussen de kluiten fungeren als transportwegen voor toe- en afvoer van water en gassen van boven en van beneden de kleilaag in. Door deze ruimten ontstaan er in de klei zeer hoge lokale chemische fysisch-chemische gradiënten als de grond voldoende vochtig is, zoals

bijvoorbeeld in zones met stagnerend water boven een dichte laag. De vorming van korsten en dergelijke van ijzer- mangaan- en aluminiumverbindingen wordt hierdoor bevorderd. In klei-onderlagen met grote poriën die vaak zeer nat zijn worden daarom dikke korsten van roodbruine en gele of paarse neerslagen aangetroffen.

In goed verdichte klei ontstaat in de bovenste paar decimeter een bodemstructuur van hoekige fijne blokken (3 tot 6 mm). In grond die niet goed is verdicht komen vaak zeer veel fossiele wormgangen voor. De grond wordt geheel doorgraven door kleine (wad ?) wormen en wordt daardoor rul, mede door de vaak met wormgangen geassocieerde dikke roodbruine neerslagen. Op verschillende locaties blijkt dit verband tussen fossiele wormactiviteit en geringe initiële verdichting uit de laterale overgang van een doorgraven laag naar een niet verdichte laag.

Op een aantal locaties blijkt dat de grond nabij de gemiddeld hoogwaterlijn niet goed verdicht is na het aanbrengen. De grond onderaan het onderzochte deel van het talud is dan los, weinig stijf, en vertoont een kluiten structuur.

Op plaatsen waar de ondergrond van de aangebrachte onderlaag een goed verdichte zode (onder-) laag van een bestaande dijk was, is een zeer stevige dichte laag ontstaan. Waar de zodelaag niet goed verdicht is geweest is de grond los en bevat veel grote spleten en gangen.

Aanbrengen:

Verschiedende omstandigheden bij het aanbrengen beïnvloeden de voortgang van bodemvorming. Te noemen zijn homogeniteit van het materiaal, mate van verdichten en initieel watergehalte en variatie daarin. Het verdichten is in de vorige alinea's aan de orde geweest. Het watergehalte bij het verdichten is behalve voor de effectiviteit van verdichten van belang voor het mogelijk ontstaan van grote scheuren. Na het aanbrengen tendert het watergehalte tot een voor lokale omstandigheden geldend evenwichtswatergehalte. Als de grond te nat wordt aangebracht neemt het watergehalte sterk af, hetgeen met vorming van permanente krimp-scheuren gepaard gaat. Deze scheuren ontstaan relatief snel na het aanbrengen en zijn vaak relatief groot. De onderlaag van de Oesterdam vertoont zulke scheuren. Deze scheuren hebben dikke korsten van zowel chemische neerslagen (rood-paarsroodbruin en zwart) als van klei die intern is gedispergeerd ("opgelost") en weer is neergeslagen (gecoaguleerd).

Klei-onderlagen van zand en kleikluiten zijn op een aantal locaties aangetroffen. Deze inhomogene verdeling van het fijne materiaal in de grond heeft op een aantal locaties preferente transport- en neerslagbanen veroorzaakt.

Samenstelling:

De locaties met laag kleigehalte vertonen nagenoeg geen bodemstructuur bij noord en west expositie. De zandige stukken in de onderlaag van de Waarde Polderdijk (zuidoost expositie)

hebben eveneens weinig of geen bodemstructuur.

De locaties met noordexpositie ten zuiden van de Westerschelde hebben alle een relatief hoog zandgehalte en hebben alle relatief weinig verkleuring als gevolg van bodemvorming ondergaan. met uitzondering van plaatselijke extreme verkleuringen. Een eenduidig uiteenravelen van de invloed van samenstelling en taludrichting lijkt daardoor maar ten dele mogelijk. De wat kleiiger locaties hebben evenwel vaak verkleuring van randen van kleibrokken.

Het gehalte aan fijne delen lijkt voor de effectiviteit van de vorming van bodemstructuur van belang. In sterk zandige klei en silt grond wordt bodemstructuur slechts in de vaak aanwezige kluiten van fijner materiaal gevormd. Het effect van de verminderde aanwezigheid van bodemstructuur in zeer zandige grond wordt ten aanzien van erosie echter teniet gedaan door het hoge zandgehalte.

6.5 Ouderdom van de bodem

De aanleg van de verschillende locaties varieerde tussen 1958 en 1986. De in 1986 aangelegde locatie Oesterdam vertoont reeds alle karakteristieken van bodemvorming die voor erosie van belang zijn. Er zijn hooguit invloeden van enige aspecten van bodemvorming waarvoor de ouderdom van de onderlagen van de onderzochte locaties ten zuiden van de Westerschelde een duidelijke rol speelt. De aantasting van zodelagen op oude dijklichamen door enerzijds oxidatie en anderzijds ijzersulfidevorming, is voor de oudere (1965) locaties veel sterker dan voor de jongere rond 1980 aangelegde locaties. Het effect van de diepteligging van deze zodelagen is daarbij ook van belang; waar de zodelaag ondieper ligt treedt oxidatie eerder op.

Met het ouder worden van een klei-onderlaag neemt in het algemeen de diepte tot waarop significante bodemvorming is opgetreden toe. Echter, de verschillende aspecten van grondsoort en aanleg-verdichten domineren de ontwikkeling van bodems in de onderzochte klei-onderlagen.

6.6 Vegetatie tussen de stenen en boven de gezette steen

Vegetatie tussen stenen van gezette steen taluds heeft in het algemeen slechts invloed nabij de overgang van de gezette steen naar grasbedekking en waar het planten met dieper indringend wortelstelsel betreft. Bij een rietpol heeft de grond tot meer dan 0.4 m een fijne blokken structuur in plaats van gewoonlijk tot zo'n 0.2 m. Aan de bovenkant van een gezette steen talud wijkt de ondergrond niet sterk af van die onder gras tot 1 tot 1.5 m onder de gezette steen. Zelfs mollegangen komen onder gezette steen voor bij de overgang.

Het fijne gras tussen stenen wortelt tot hooguit 0.15 m diepte in de ondergrond met fijne wortels,

die slechts bij de naden tussen stenen worden aangetroffen. Deze wortels worden slechts hoger op het talud in de ondergrond aangetroffen. Gras tussen stenen lager op het talud heeft slechts wortels tussen de stenen en niet in de ondergrond.

De hoogte waarboven begroeiing tussen stenen duidelijk aanwezig is, lijkt van de golfaanval af te hangen. Taluds langs open water hebben weinig begroeiing. Taluds met een bij gemiddeld hoogwater breed gebied dat niet geheel geïnundeerd is hebben relatief dichte begroeiing. Bij begroeid voorland (schor) komt vegetatie relatief laag, tot aan het voorland voor. Waar bij laagwater geen of bijna geen grond voor de dijk droogvalt begint vegetatie pas veel hoger, soms pas nabij de berm en bij voorland dat bij laagwater over grotere lengte droogvalt ligt de onderkant van het voorkomen van vegetatie tussenin. Echter, het niveau van de onderkant van het voorkomen van begroeiing ligt bij de onderzochte zuid- en zuidoosttaluds een meter lager dan bij noord- en westtaluds. Opgemerkt wordt dat de omvang van de steekproef niet groot is, maar dat de bevindingen de algemene indruk van andere dijktaaluds bevestigen.

6.7 Discussie

In de voorgaande paragrafen zijn een aantal invloeden op de bodemvorming aan de orde geweest. De belangrijkste verschillen in bodems onder gezette steen hangen samen met de opbouw van het dijktaalud waarin te onderkennen zijn respectievelijk: Klei-onderlaag op zand; klei-onderlaag van relatief geringe dikte aangebracht op bestaande dijk met meer of minder van de zodelaag daarin aanwezig; Onderlaag is grotendeels de oude dijk, meer of minder geherprofileerd. Een tweede in het oog springend verschil betreft de mate waarin de klei verdicht is na het aanbrengen. De niet verdichte grond heeft een nogal losse slecht gepakte structuur van de min of meer vervormde kluiten van het aanbrengen. Op een aantal locaties zijn de verdichte bovenkanten van de slagen waarin de grond is aangebracht herkenbaar.

Waar de zodelaag goed verdicht is heeft deze een zeer dichte pakking en is zeer stevig tot hard. Zo'n laag is onder andere beproefd in de Deltagootproeven op kale klei (Perkpolderklei) en bleek golven van 1 m tenminste meer dan 10 uur te weerstaan.

Grond die niet goed is verdicht bestaat uit relatief weinig samenhangende min of meer afgeronde kluiten. Deze grond lijkt relatief weinig erosiebestendig. Daarnaast bestaat er tussen de kluiten een netwerk van wijde (1 tot 5 mm) spleten en gangen hetgeen de bodemvorming kan versnellen indien overige omstandigheden daarvoor in aanmerking komen (zoals locatie Pauline Polder dijk).

Grond die na het aanbrengen niet goed verdicht is, blijkt vaak door wormen te zijn doorgraven. De grond wordt daardoor zeer rul. Diepere geulvorming is waargenomen waar dergelijke grond aan het oppervlak onder de stenen voorkomt.

Het niet goed verdicht zijn van grond heeft ten aanzien van erosiebestendigheid de volgende nadelen: De grond heeft relatief weinig samenhang, de grond kan sterk doorgraven worden waardoor oppervlakkige erosie versterkt wordt en de snelheid van verschillende bodemvormende processen wordt verhoogd.

Het beoordelen van grond onder gezette steen dient daarom vooral aandacht te schenken aan: De opbouw van de bovenste meters van de dijk en de verdichting van de aangebrachte grond. Daarnaast is de samenstelling van de grond van belang indien het zand-siltgehalte erg hoog wordt (> 40 % > 63 µm). Aspecten als expositierichting, begroeiing tussen stenen en ouderdom zijn relatief van ondergeschikt belang voor dijktaluds ouder dan 8 jaar.

7 KLEI-ONDERLAAG EN GOLFEROSIE

7.1 Algemeen

Bodemvorming blijkt onder gezette steen algemeen op te treden. De bodemstructuur die is aangetroffen onder gezette steen op de 11 locaties lijkt echter in veel gevallen niet zodanig dat de reststerkte van de klei-onderlaag even kort is als de reststerkteduur van minder dan 1 uur van de Kruiningen klei in de 1:1 Deltagootproeven op kale klei [GD 1994].

Verschillen in bodemvorming door verschillen in expositie en in mate van begroeiing tussen de stenen lijken ruimschoots te worden overschaduwd door verschillen in samenstelling en wijze van aanbrengen en verdichten van klei-onderlagen. Deze verschillen werken middels de invloeden ervan op bodemvorming door in de reststerkte van de klei-onderlaag. Echter, de verschillen in samenstelling en de verschillen in verdichting werken ook rechtstreeks door in de reststerkte, zowel direct na aanleg als na verloop van tientallen jaren onder bepaalde omstandigheden.

Uit parallel onderzoek naar de modellering van de reststerkte van klei-onderlagen zal informatie naar voren komen over de effecten van de grootte en vormen van de blokken en spleten van de bodemstructuur die van belang zijn. De hier gerapporteerde studie bevat al de benodigde informatie die in het terrein kan worden verzameld over de 11 onderzochte locaties ten behoeve van gebruik in de modelleringsstudies. Daarnaast zullen hieronder de meer algemene aspecten die voorshands voor het karakteriseren van reststerkte nodig lijken worden besproken. In bijlage 10 wordt de reststerkte van de 11 onderzochte locaties beoordeeld.

7.2 Bodemstructuur in klei-onderlagen

De bovenste 0.15 tot 0.25 m van een klei-onderlaag heeft nagenoeg altijd een bodemstructuur van kleine hoekige blokken, soms kubus-achtig, die los tot zeer los gepakt zijn. Deze structuur treedt zowel bij de hoogwaterlijn op als veel hoger op het talud. Bij de hoogwaterlijn zijn de blokken, hoewel goed te onderkennen, vaak zacht en vervormen plastisch, maar bij graven valt de klei wel in de betreffende blokjes uiteen. Deze structuur is aanwezig in klei-onderlagen van minder dan 8 jaar oud. Het is niet waarschijnlijk dat een laag grond met zo'n structuur bestand is tegen golfwerking: De blokjes zijn klein en relatief licht van gewicht, de blokjes hebben onderling weinig samenhang en de pakking is meestal los. De verwachte beperkte bestendigheid van die laag is in overeenstemming met waarnemingen elders [GD 1994c] van erosie van klei-onderlagen. Reeds bij golven van 0.4 m verdwijnt grond met een fijne bodemstructuur.

De ontwikkeling van de bodemstructuur met de diepte hangt samen met een aantal factoren die hier kort belicht worden.

In klei-onderlagen die zijn aangelegd met te natte klei ontwikkelen zich grote diep doordringende krimp-scheuren onder gezette steen. Deze scheuren doen een grove verticale prisma-structuur ontstaan (4 tot 6 kantig) in de kleilaag. Representatieve maten voor de diameter van die prisma's zijn 0.1 tot 0.2 m. De breedte van de betreffende scheuren bedraagt van vaak 1 tot 3 mm tot soms meer dan 10 mm welke over een hoogte van soms bijna de gehele klei-onderlaag continu doorlopen. Het ontstaan van zo'n structuur kan worden voorkomen door de klei niet te nat te verwerken en te verdichten (zie [TAW 1995]). De prisma's of zuilen bestaan meestal uit blokken van zo'n 0.1 m als gevolg van veel minder geprononceerde spleten en scheuren. Aangezien doorgraven van de grond onder gezette steen door dieren (met name wormen) en wortels hooguit een fractie is van de doorgraving onder graszoden, blijven zulke grote scheuren in fossiele vorm bewaard onder gezette steen. De wijze van ontgronden door golven van een klei-onderlaag met zulke spleten blokken wordt tenminste deels bepaald door de relatief grootte omvang van de blokken. Bij de Deltagootproeven op kale klei [GD en WL 1992] was te zien dat er brokken met afmetingen van tenminste iets meer dan 0.1 tot 0.15 m als geheel uit het talud waren gekomen. Deze waarneming wijst erop dat de grootte van de blokken in de prisma-structuur geen belangrijke beperkende factor is. Mogelijk dat de grote anisotropie van de structuur met geprononceerde verticale spleten van belang is voor het ontgrondingsgedrag.

Afhankelijk van de aard van de grond, samenstelling, gelaagdheid en verdichtingsgraad, kan zich onder de fijngestructureerde bovenste laag een grovere structuur van blokken met afmetingen van enige centimeters tot bijna 0.1 m ontwikkelen. Deze structuur is echter vaak slechts plaatselijk duidelijk ontwikkeld als gevolg van de variatie in de grond door grote verschillen in verdichting en samenstelling. Deze structuur komt echter tot een diepte van zo'n 0.4 tot 0.5 m veel voor en soms tot grotere diepte als de aangebrachte laag tot die diepte uit relatief homogene klei bestaat. Deze structuur komt niet, of tenminste niet herkenbaar, voor in klei beneden en juist boven hoogwaterniveau. De breedte van de spleten in deze structuur is gering in het algemeen ($\ll 0.5$ mm) en individuele spleten zijn langs niet meer dan enige blokken te vervolgen. De pakking is dan ook altijd aaneensluitend, behalve bij verstoringen als zandinsluitingen en puin en dergelijke. Er is een graduele afname tussen deze nog uit individuele blokken bestaande structuur en de structuur die wordt beschreven als het voorkomen van spleten. In de onderlaag van de Oesterdam was deze structuur na ongeveer 10 jaar plaatselijk ontwikkeld. In de goed verdichte lagen van de locaties Calamiteuze Polder die zo'n 30 jaar oud zijn werd deze structuur niet aangetroffen. De bulkdoorlatendheid van grond met deze structuur is naar verwachting 10^{-6} tot 10^{-5} m/s. De samenhang tussen de blokken door cohesie is beperkt, zoals blijkt uit de wijze van uiteenvallen van de grond bij vergraven, maar de samenhang door de zeer nauw aaneensluitende pakking kan de grond bijeen houden door het beperken van bewegingsmogelijkheden van individuele blokken die geheel of grotendeels omgeven zijn in de stapeling. Het is daarom voorshands de verwachting dat grond met deze bodemstructuur niet zo gemakkelijk door golven

verwijderd kan worden als de bovenste laag, maar toch aanzienlijk sneller dan een dichte homogene kleilaag. Waarbij er mogelijk verschillen zullen bestaan in ontgroning als gevolg van verschillen in de mate waarin de structuur aanwezig is.

Er is op een 3-tal plaatsen kleigrond beneden ongeveer 0.3 tot 0.5 m aangetroffen waar geen duidelijke bodemvorming was opgetreden. In deze gevallen had de grond in de betreffende lagen een hoge pocket penetrometer weerstand en waren niet de grote poriën tussen kleikluiten aanwezig die wel in lagen daarboven voorkwamen. Deze lagen hadden karakteristieken die duiden op goede verdichting bij de aanleg. In de volgende paragraaf wordt op de erosieresistentie van die lagen ingegaan.

In de omgeving van het hoogwaterniveau is beneden 0.1 tot 0.2 m meestal weinig bodemstructuur te herkennen in klei die als onderlaag is aangebracht. Deze grond is meestal relatief zacht. Afhankelijk van samenstelling en verdichtingsgraad zal deze grond in het algemeen een reststerkte hebben die meer lijkt op die van homogene klei dan die van klei met een herkenbare bodemstructuur. Opgemerkt wordt echter dat de grond bij hoogwaterniveau vaak slecht verdicht is waardoor de erosiegevoeligheid verhoogd wordt.

Op veel plaatsen werd het oude dijklichaam op geringe diepte beneden de gezette steen aangetroffen. De samenstelling van de grond van het oude dijklichaam bleek variabel. In alle gevallen was de bovenkant van het dijklichaam de ondergrond van een voormalige graszode soms met resten van de zode zelf. Er waren 2 typen te onderkennen namelijk een type waarbij de zodelaag zeer sterk was verdicht, en een type waar de oorspronkelijke open structuur en regelmatig voorkomende grote spleten en wormgangen nog intact waren. In het geval dat de zode-ondergrond goed verdicht was bleek de grond zeer stug en waren er amper open spleten en gangen te herkennen. Wel viel de grond bij het ontgraven in de typische graszodestructurelementen uiteen, met op de wanden duidelijk de graswortelsporen, maar door de relatief onregelmatige vorm van de blokken en de dichte pakking had de grond een goed merkbare cohesie verkregen. De structuur in de niet verdichte graszode-onderlagen werd gekenmerkt door frequente grote scheuren en wijde wormgangen met vaak dikke neerslagen, zowel ijzersulfide soms alswel ijzerhydroxide-verbindingen. De bijdrage aan de reststerkte van een verdichte zode-onderlaag van een oud dijktaalud kan aanzienlijk zijn. Dit blijkt uit de hoge reststerkte die zo'n laag op 0.3 tot 0.5 m diepte gaf aan de Perkpolder klei in de Deltagootproeven op kale klei [GD en WL 1993]. De bijdrage aan de reststerkte door een niet verdichte zodelaag zal veel geringer zijn dan die van de ondergrond van een bestaand grastalud. omdat de wortels in de fossiele zode-ondergrond weliswaar herkenbaar zijn, maar goeddeels zijn vergaan. In het algemeen zal de reststerkte van de bovenste 1 tot 2 m van locaties met een oude voornamelijk uit klei opgebouwde dijk in de onderlaag hoog zijn, naar het zich laat aanzien meer dan 24 uur.

7.3 Effecten van samenstelling en verdichting.

Indien de grond erg zandig is, dan wel veel lagen en insluitingen van zand heeft, zal de reststerkte van de klei-onderlaag beperkt zijn bij gebrek aan samenhang in de grond en door een relatief hoge doorlatendheid. Anderzijds beperkt een laag gehalte aan fijne bestanddelen, meestal gepaard gaand met een hoog zandgehalte, de vorming van een duidelijke bodemstructuur met de daarbij behorende spleten en blokken. Het is echter de verwachting dat deze beperkte bodemstructuur niet opweegt tegen de voor reststerkte nadelige effecten van veel zand in de grond.

Een opvallende bevinding van dit onderzoek is dat goed verdichte grond na meer dan 30 jaar na aanbrengen nog duidelijk als zodanig herkenbaar is onder gezette steen. De goed verdichte grond is alleen in min of meer duidelijk te onderscheiden lagen aangetroffen, ingebed tussen niet goed verdichte grond. De verdichte lagen betreffen de bovenkanten van de slagen waarin de grond is aangebracht (2 slagen voor een standaard klei-onderlaag in de periode 1970-1986). De goed verdichte grond heeft meestal geen herkenbare bodemstructuur en heeft relatief hoge sterkte voorzover dat uit de bepalingen met de pocketpenetrometer te bepalen is. De verwachting is dat grond van zo'n laag een grote bijdrage aan de reststerkte van de klei-onderlaag kan geven, mits de laag voldoende dik is, tenminste meer dan 0.2 m, in verband met de ook in die lagen voorkomende grote variatie in samenstelling en plaatselijk wel aanwezige scheuren. In het algemeen kan gesteld worden dat goed verdichte lagen bijdragen aan de reststerkte door hun relatief grotere sterkte en dichtheid bij golfaanval en anderzijds omdat bodemvorming in de verdichte lagen veel langzamer verloopt dan in de omgevende niet verdichte grond. Goed verdichten heeft dus ook op langere termijn tenminste op taluds met noordexpositie, een belangrijke verhoging van de reststerkte tot gevolg.

Slecht verdichte grond is vaak aangetroffen. De grond bestaat in dat geval uit losse niet aaneensluitende kluiten met afmetingen van centimeters tot meer dan een decimeter. In veel gevallen betreft het kluiten klei met meer of minder zand ertussen. Tussen de kluiten komen grotere holten voor die in de zone boven hoogwaterniveau vaak zeer dikke huiden van ijzerverbindingen hebben. Op veel plaatsen is de niet verdichte grond geheel door kleine wormen vergraven, hetgeen in een zeer dicht netwerk van millimeters dikke graafgangen resulteert. De geringe samenhang tussen de kleikluiten in zulke grond en de grotere hoeveelheid grove poriën geeft deze grond een geringe potentie om bij te dragen aan de reststerkte. Zulke slecht verdichte grond komt vaak nabij de hoogwaterlijn voor: Problemen bij het droog verwerken en bereikbaarheid voor verdichten zullen daarvan de oorzaak zijn. De klei-onderlaag nabij de onderkant van de gezette steen, dan wel bij de overgangsconstructie aan de onderzijde ervan, zal daardoor vaak een betrekkelijk geringe reststerkte hebben.

7.4 Opmerkingen over vergroten van erosiebestendigheid van klei-onderlagen

Bodemvormende processen verkorten de reststerkte van de klei-onderlaag onder gezette steen. De bestendigheid tegen golfwerking van de klei kan echter beïnvloed worden. De beïnvloeding kan op tweeërlei wijze tot stand komen; enerzijds kan de bodemvorming worden beïnvloed, en anderzijds kunnen de effecten van bodemstructuur worden beperkt.

De bodemvorming kan sterk worden vertraagd onder gezette steen indien de doorlatendheid van de grond, ook op kleine schaal, beperkt kan blijven. Hierdoor wordt uitwisselen van water en overige stoffen sterk gehinderd en kan de grond niet zodanig snel op veranderingen in de omgeving reageren dat er bijvoorbeeld scheurgroei optreedt. Dit is voor de bovenste laag, de bovenste 0.15 m, slechts mogelijk indien er een kunstmatige afdekking wordt aangebracht (dichte kunststoffolie bijvoorbeeld) en er voldoende beperking van temperatuursschommelingen is. Met of zonder afdekking van de bovenkant kan de bodemvorming sterk worden vertraagd door de klei na het aanbrengen goed te verdichten, waarbij zowel de ruimten tussen kluiten geheel dichtgedrukt moeten worden, alswel eventuele macroporiën in de kluiten. Ook zandinsluitingen moeten worden voorkomen. Zonder afdekking zal de bodemvorming langzaam van bovenaf in de klei doordringen. Echter gezien de geringe effecten van bodemvorming in slechts plaatselijk goed verdichte klei op sommige locaties, zal het vormen van bodemstructuur in goede klei beneden een diepte van meer dan enige decimeter vele tientallen jaren vergen onder gezette steen naar het zich laat aanzien.

Een aanvullende mogelijkheid om bodemvorming te beperken is het toevoegen van bepaalde polymeren (synthetisch of natuurlijk) aan de klei-massa. De grond kan daarmee plastisch worden verwerkt en kan zeer lage doorlatendheden krijgen en gedurende lange tijd plastisch blijven waardoor scheurgroei sterk beperkt zal blijven. Ook graafactiviteit door de grond zal met toevoeging sterk beperkt worden, tenzij de toevoeging gemakkelijk door wormen en dergelijke verteerbaar is. De kosten van de toevoeging zijn niet extreem hoog, echter het mengen en verwerken van grote hoeveelheden zal niet eenvoudig zijn. De lange termijn stabiliteit van de met name synthetische toevoegingen (20 tot 50 jaar) is weinig onderzocht.

De effecten van bodemstructuur op erosie door golfwerking betreffen vooral de hoge doorlatendheid en de mogelijkheid om blokken grond te verwijderen. Uit onderzoek van ontgroning van graszode komt naar voren dat graswortels kennelijk de blokken grond goed bijeenhouden. Weliswaar treden er aanzienlijke vervormingen op bij hogere golven, maar de hoge elasticiteit van de met wortels gewapende grond zorgt ervoor dat de grond na een golf weer nagenoeg geheel terug veert.

Het is mogelijk om klei te mengen met vezels, synthetisch of natuurlijk, waardoor de blokken ook bij aanwezigheid van veel scheuren, bijeen blijven. De verbinding tussen de blokken

onderling krijgt daardoor een treksterkte en er is een beperkte mate van elastische beweging mogelijk zonder dat de blokken zich loswerken. Bij voorkeur dienen de vezels vertakkingen te hebben om verankering te vergroten. De lengte van individuele stukken vezel dient tenminste enige centimeters te bedragen en de vezels moeten bij voorkeur niet recht zijn, maar bij voorkeur enigszins te krullen. De gemiddelde onderlinge afstand dient eveneens niet meer dan enige centimeters te bedragen. Voor een effectief gebruik zullen soms veel meer dan 1000 m vezel per kubieke meter klei nodig zijn (in 1 m² gewoven stof zit meer dan 1000 m vezel).

8 GEULVORMING EN BODEMVORMING

Geulen onder gezette steen komen algemeen voor en zijn op bijna al de locaties aangetroffen, zij het dat de grootte van de geulen en de mate van voorkomen verschilde van plaats tot plaats. Het voorkomen van kleine geulen heeft reeds belangrijke consequenties voor de stabiliteit van de gezette steen. Waar grotere geulen voorkomen wordt de integriteit van het oppervlak van de gezette steen zelfs aangetast en zakken hele stenen uit hun verband.

De geulen komen algemeen voor tot zo'n 1.3 m boven gemiddeld hoogwaterniveau, maar geulvorming is op sommige locaties tot bijna 2 m boven GHW waargenomen. De gemiddelde dieptetoename sinds aanlegdatum van de aangetroffen geulen bedroeg zo'n 0.5 tot 10 mm per jaar, waarbij is uitgegaan van de erosiediepte die is aangetroffen bij het terreinbezoek. Materiaalverschillen lijken een belangrijke oorzaak voor gevonden verschillen in erosie. Er zijn geen duidelijke correlaties gevonden tussen de erosiesnelheid en parameters als ligging ten opzichte van gemiddeld hoogwater, expositie en dergelijke. Wel is de afstand waarover tenminste de duidelijke geulen onder gezette steen doordringen beperkt naar het zich laat aanzien. Slechts zelden worden duidelijke geulen meer dan 2.5 m van de overgangsconstructie van goed doorlatende stortsteen onderlaag (mijnsteen, slakken en dergelijke) naar klei-onderlaag aangetroffen. Dit geldt ook voor de constructies waar de klei-onderlaag tot beneden de hoogwaterlijn was doorgetrokken. De bovenkant van door geulen veroorzaakte onregelmatige ligging van gezette steen ligt ongeveer 0.3 tot 0.5 m boven het niveau van overgangsconstructie, met één uitschieter naar 0.9 m voor een talud waar de stenen in 1958 zijn gezet en de klei-onderlaag tot tenminste 0.2 m beneden GHW was doorgetrokken. Er is geen verklaring voor deze afwijking, maar er kan worden opgemerkt dat de gemiddelde jaarlijkse ontgronding meer dan 11 mm/jaar bedroeg en de stenen geheel ondergraven waren. Het is denkbaar dat de "overgangsconstructie" door het geheel ondergraven van de stenen, hoger op het talud is komen te liggen, waardoor het verschil tussen hoogte van geulvorming en overgangsconstructie weer in het gebruikelijke bereik komt te liggen.

Het onderzoek gerapporteerd in [GD 1993b] wijst op de samenhang die lijkt te bestaan tussen de plaats en diepte van geulen onder gezette steen en enige karakteristieken van de grond op die plaatsen die met bodemvorming samenhangen. In dit onderzoek is dit mogelijke verband nader onderzocht.

Geulvorming lijkt vooral op te treden in grond die sterk door graafgangen is aangetast. De graafgangen met diameters tot 2 mm zijn fossiel en komen met dichtheden tot meer dan 100 per dm² doorsnede voor. Het betreft waarschijnlijk wormactiviteit direct na de aanleg van de dijk door wormen die met de grond zijn meegekomen. Het betreft waarschijnlijk de wadwormen waarvan diverse soorten in klei in slikken en platen voorkomen. In Kooistra [1978] wordt een kort overzicht van de verschillende soorten gegeven voor schorren en slikken in Zeeland onder

meer gebaseerd op Wolff [1973]. Kooistra [ibid.] bevat tevens zeer gedetailleerde, micromorfologische, beschrijvingen van de fenomenen waartoe de gangen aanleiding geven in de buitendijkse afzettingen en bij droogvallen van de grond. De in de klei-onderlagen aangetroffen netwerken van kleine gangen vertonen overeenkomst met de beschrijving van gangensystemen in de natuurlijke oeverwallen op schorren door Kooistra [ibid.].

De wormgangen komen voor in klei die in gereduceerde toestand (grijze klei) is. De wanden van de gangen zijn geïmpregneerd en bedekt met roodbruine neerslagen (huidjes) als gevolg van de hoge zuurstofpotentiaal in de gangen en de hoge vochtigheid. IJzerionen die in reducerende omstandigheden mobiel zijn, kunnen door de klei naar de wanden van de gangen bewegen om daar bijna onoplosbare verbindingen met zuurstof te vormen en als huiden en impregnaties neer te slaan. De grond bestaat in zulke doorgraven klei dus uit grijze klei met zeer veel gangen met heldere roodbruine wanden van ijzerverbindingen en gerelateerde neerslagen.

Deze ijzernerseerslagen bestaan uit stoffen die veel minder cohesie door affiniteit met water vertonen dan grijze klei (onder andere [Ohtsubo 1989]). Bovendien is de grond door het doorgraven rul geworden, heeft een groot volume aan grote poriën en heeft een geroerde microstructuur (zie ook [Levebvre et al. 1986]). Een en ander resulteert in geringere erosiebestendigheid.

Deze doorgraven zones gaan zijwaarts over in grond die na het aanbrengen zichtbaar niet goed verdicht is in bijna al de gevallen. In lagen die wel goed verdicht zijn, werden nagenoeg geen intens doorgraven stukken grond aangetroffen.

Er zijn laboratoriumproeven op verschillende soorten grond van klei-onderlagen uitgevoerd. Deze schudproeven geven aan dat de grond die sterk doorgraven is inderdaad zeer snel erodeert bij reeds relatief geringe waterbeweging (zie bijlage 4). Echter het zand- en siltgehalte van de grond heeft evenals in de onderzoeken van Levy et al. [1993] een belangrijke invloed; grond met kleine fractie afslibbaar erodeert kennelijk sneller (Levy et al [1993] noemt minder dan 15 % silt en lutum als grens wat zeer laag is voor klei-onderlagen).

De mate van verdichting van de grond is een belangrijke karakteristiek voor het voorkomen van doorgraven zones. In slecht verdichte grond kunnen met het aanbrengen meegekomen wormen voldoende lang een grote populatie in stand houden om grond effectief zeer los te maken. Waar de effecten van de golfwerking voldoende hoog zijn kan daardoor geulvorming optreden. Aan het oppervlak van de klei-onderlaag is vergraven door soorten die daar hun habitat hebben bijna niet te voorkomen. Echter de mate waarin de grond van het oppervlak omgewoeld wordt lijkt beperkt, aangezien het oppervlak van 30 jaar geleden aangelegde onderlagen slechts in geringe mate aangetast was (slechts 5 tot 10 mm vergraven) op plaatsen waar geen geulen voorkwamen.

9 ONDERZOEK GRONDGESTELDHEID GEZETTE STEEN TALUDS

9.1 Algemeen

Er bestaat een grote variatie in samenstelling, bodemvorming en opbouw van de grond onder gezette steen zoals uit de vorige hoofdstukken naar voren komt. Het is goed mogelijk de verschijnselen van de variatie te beschrijven met de in bijlage 1a beschreven classificaties. De verschillende verschijnselen op zich zijn voor geïnteresseerde en enigszins geschoolde waarnemers goed te onderkennen en te classificeren. Echter, de civieltechnische eigenschappen worden niet eenduidig door een of enkele van de verschijnselen bepaald; de meeste individuele fenomenen zijn elk voor zich marginaal van belang voor civieltechnisch functioneren en er is voorshands geen zicht op unieke diagnostische parameters. Ten aanzien van reststerkte van de onderlaag wijst dit onderzoek erop dat vaak voorkomende lagen van rulle grond en van grond met weinig dichtgepakte bodemstructuur de bestendigheid tegen golfaanval ondermijnen. Het identificeren van zulke lagen en het aangeven van de omvang ervan is echter niet triviaal.

De wijze waarop grond in ontsluitingen zoals profielsleuven zich voordoet, maakt het zeer lastig voor niet ervaren personen om de relevante patronen in de variatie te onderkennen. Het opsporen en identificeren van bijvoorbeeld de hiervoor genoemde "verdachte" lagen berust echter wel op het interpreteren van de patronen in de variatie, waaruit bijvoorbeeld de aanleggeschiedenis naar voren komt. Het beschrijven van de grond kan men zich wel in relatief korte tijd eigen maken, maar het herkennen van de relevante patronen in de variatie vergt langdurige ervaring naar het zich laat aanzien. Er wordt daarom hier voorgesteld om het herkennen van patronen in de variatie te ondersteunen met meer objectieve metingen, en wel sonderingen. Deze werkwijze heeft als bijkomend voordeel dat er niet een groot aantal kuilen in de taluds gemaakt hoeven te worden.

9.2 Penetrometer onderzoek en sonderingen

Er is in dit onderzoek nagegaan of met een pocket penetrometer de variatie in patronen vastgesteld kan worden. Een pocket penetrometer is een stift met platte kop die enige millimeters in de grond geduwd wordt, waarbij de kracht die daarvoor nodig is op eenvoudige wijze mechanisch wordt geregistreerd. Het apparaatje dient om een eerste kwantitatieve indruk van de stevigheid van grond te verkrijgen. Het apparaatje heeft echter ook verschillende beperkingen, bijvoorbeeld: Vanwege de geringe indringingsdiepte kan door het losbreken van schilfers van stijve of harde grond een betrekkelijk lage weerstand geregistreerd worden, terwijl de grond juist zeer stevig is, hetzelfde kan optreden in grond met een fijne blokken bodemstructuur.

De gemiddelden van de per laag gemeten pocketpenetrometerwaarden, die wel voor het schatten

van ongedraineerde sterkte worden gebruikt, zijn gelijkelijk verdeeld tussen zo'n 100 tot 300 kPa met hoge waarden tot meer dan 500 kPa. Individuele aflezingen bedroegen tot veel meer dan 600 kPa (maximum uitlezing voor de gebruikte meter). De verhouding van de standaard deviatie met het gemiddelde is ongeveer constant over het gehele bereik.

Uit het onderzoek komt naar voren dat de pocket penetrometerwaarden consistent variëren met de grondgesteldheid voor elke locatie (bijlage 9). Het is daarom mogelijk om de grootschalige variatie in de ondergrond uit de patronen in indringingsweerstand af te leiden. De patronen van indringingsweerstand kunnen afgeleid worden uit sonderingen in een voldoende dicht netwerk, vergelijkbaar met de verwerking en interpretatie van courante sonderingen.

Het lijkt daarom goed mogelijk om de opbouw van een dijklichaam, de onderlaag en de ondergrond daarvan, te verkennen met sonderingen. De sonderingen dienen te worden uitgevoerd met een conus met geringere diameter dan de gebruikelijke standaard conus. Immers de verticale resolutie van zo'n conus is door de dieptewerking ervan te gering om de relatief sterke verticale variatie te onderkennen die voor het vaststellen van het patroon in de ondergrond nodig is (0.1 m lagen). Een conus met een diameter van 15 mm lijkt haalbaar. De dunnere conus heeft het voordeel dat er minder wegdruk- en reactiekracht nodig is. Voor het wegdrukken kan een wegdrukeenheid gebruikt worden die voor steile hellingen geschikt is en die als kleine aanhanger naar de onderzoekslocatie kan worden gebracht.

Voor het beoordelen van de gesteldheid van de ondergrond van de dijk taluds is de ligging van het oude dijklichaam en de opbouw daarvan van belang. Deze ligging is van belang voor de waterhuishouding in de dijk en voor de mogelijke bijdrage aan de reststerkte. De verkenning met sonderingen is zeer geschikt om de ligging van zulke oude dijklichamen te bepalen. Voorgesteld wordt daarom om de sonderingen tot een diepte van 3 m -mv uit te voeren teneinde de ligging voorzover van direct belang voor de waterhuishouding in verband met de stabiliteit van het buitentalud te kunnen bepalen.

9.3 Voorstel voor verkennen ondergrond gezette steen taluds

Het verkennen van de onderlaag, en dijkopbouw voor dijk taluds met gezette steen dient voldoende informatie te geven voor (i) evaluatie van reststerkte van onderlaag en dijklichaam, (ii) beoordelen omstandigheden in verband met andere bezwijkmechanismen (bijvoorbeeld opbarsten) en (iii) planning van onderhoud, vervangings- en aanpassingswerkzaamheden. Op grond van de ervaringen met de gebruikelijke werkwijze met sondeergegevens en de aangetroffen variatie in de ondergrond van gezette steen op dijken kan een indicatie van het benodigd onderzoek en de daarbij te volgen werkwijze gegeven worden. De voorgestelde wijze voor gedetailleerd verkennen van de gesteldheid van de ondergrond van dijk taluds met gezette steen is als volgt:

- Sonderingen met dunne conus (15 tot 20 mm diameter) tot 3 m beneden maaiveld door

- gaten die in de stenen zijn geboord;
 - sonderen in raaien op 50 tot 200 m afstand met 4 tot 7 sonderingen per raai, daarbij rekening houdend met op het talud aanwezige variatie;
 - vaststellen patronen in de verdeling van de conusweerstand en mantelkleef, per raai en voor combinaties van raaien;
 - selectief maken van gaten of sleuven in het talud om de verschillende onderkende eenheden in de patronen van de sondeerwaarden te beschrijven en om eventueel monsters te nemen;
 - Vaststellen van verspreiding van niet betrouwbare lagen in de onderlaag;
 - Vaststellen opbouw van de ondergrond en identificeren van niet betrouwbare strekkingen.
- Op deze wijze verkrijgen de beheerders een eenduidig en goed gedefinieerde indruk van de ondergrond van de dijktraluds.

Deze relatief gedetailleerde verkenning kan worden voorafgegaan door een globale inventarisatie. Uit de informatie die bij beheerders aanwezig is kan op korte termijn een indruk van de opbouw van de ondergrond van dijkvakken worden verkregen aan de hand van gegevens over aanleg, oorsprong van grond en eventueel destijds ter plaatse aanwezige betrokkenen. Deze informatie, waar nodig aangevuld met enig terreinonderzoek, kan dienen om vast te stellen welke dijkvakken nader onderzocht dienen te worden en voor het bepalen van de volgorde waarin de verkenning van de dijkvakken wordt uitgevoerd.

9.4 Vooronderzoek met kleine handboor

Uit eerdere onderzoeken en uit het overleg met vertegenwoordigers van de dijkbeheerders bleek dat de grondgesteldheid onder de gezette steen niet met grote zekerheid aangegeven kon worden op grond van daartoe geraadpleegde archiefgegevens. Er is daarom een kleine handboor ontwikkeld om in de selectiefase van dit onderzoek een indruk van de directe ondergrond van de gezette steen te verkrijgen.

Het boortje is een schroefboor waarmee tot 0.5 m diepte grond in de schroefdraad omhoog gehaald kan worden (zie figuur 1 bijlage 6). De vorm van de schroefdraad en de spoed zijn zodanig gemaakt dat er zoveel mogelijk grond in blijft hangen en er niet teveel hoger gelegen grond in terecht komt bij het ophalen van de boor. De geringe dikte van de boor, 6 mm, maakte het mogelijk om op de meeste locaties van het vooronderzoek een geschikte opening tussen de stenen te vinden binnen een gebied met een straal van 25 m. Soms was een geschikte opening niet voorhanden. Het is dan in principe mogelijk met een accuboormachine een gat door de stenen of op de naden ervan te maken waardoor de grond alsnog bemonsterd kan worden. De monsterkwaliteit is voldoende om na te gaan wat de algemene consistentie en het zandgehalte van de grond is. De kwaliteit is niet voldoende om de opbouw van de ondergrond te kunnen beschrijven.

Het boortje is geschikt om op zeer eenvoudige wijze de directe ondergrond van gezette steen te inspecteren zonder daarvoor de stenen te verwijderen. Als zodanig is het een handige aanvulling bij visuele inspecties van taluds van gezette steen.

10 CONCLUSIES

Duidelijk herkenbare bodemvorming blijkt algemeen voor te komen in klei-onderlagen onder gezette steen. De diepte beneden maaiveld tot waar herkenbare significante bodemvorming is opgetreden varieert en lijkt ten dele afhankelijk van de gesteldheid van de grond na het afwerken van de klei-onderlaag. Uit de aangetroffen variatie in grondgesteldheid in klei-onderlagen blijkt dat er een grote variatie in reststerkte van klei-onderlagen bestaat. In bijlage 10 is een beoordeling van de reststerkte van de 11 onderzochte locaties opgenomen.

In goed verdichte lagen op meer dan 0.3 tot 0.4 m beneden maaiveld is de bodemstructuur meestal nog massief, dat wil zeggen dat er bijna geen spleten of scheuren als gevolg van krimpen en zwellen worden aangetroffen. Dit is zeker het geval op taluds met noordelijke expositie en lijkt in grond met minder klei ook eerder het geval te zijn. De invloed van expositie en samenstelling zijn echter niet eenduidig uit elkaar te houden als gevolg van het beperkte aantal onderzoekslocaties. Van dergelijke goed verdichte lagen, indien niet te dun, kan een belangrijke bijdrage in de reststerkte van de onderlaag verwacht worden.

In dit onderzoek zijn een aantal dijkstaluds aangetroffen waarbij het oude dijklichaam deel van de klei-onderlaag uitmaakt. Dit oude dijklichaam bestaat in een aantal gevallen uit zeer dichte cohesieve grond die een zeer grote bijdrage aan de reststerkte van de dijk kan leveren. In bijlage 10 wordt afgeleid dat de reststerkte van zulke locaties meer dan 24 uur zal bedragen voor de bovenste 1 tot 2 meter bij golven van 1.2 tot 2 m. De dichte grond is waarschijnlijk het gevolg van verdichting tijdens aanleg van de klei-onderlaag en samenhang met mineralogische omvormingen in zode- en zode-onderlagen.

De bovenste 0.15 tot 0.25 m van klei-onderlagen heeft nagenoeg altijd een bodemstructuur van millimeters-grote blokjes die vaak los gestapeld zijn. Deze bovenste laag zal nagenoeg niet kunnen bijdragen in de reststerkte van de onderlaag.

Plaatselijk komen relatief dunne klei-onderlagen op zand voor (minder dan 0.7 m dik), hetgeen meestal relatief snel tot een bodemstructuur door de gehele onderlaag leidt. De bijdrage aan de reststerkte van zulke onderlagen is zeer beperkt.

Op veel locaties zijn lagen aangetroffen van grond die na het aanbrengen niet of weinig is verdicht. Deze grond bestaat uit weinig samenhang vertonende kluiten, of kluitjes, die slechts in beperkte mate opeengedrukt zijn en waartussen grote openingen voorkomen. Naar verwachting is de bijdrage van dergelijke lagen aan de reststerkte zeer beperkt. Bovendien veroorzaakt de combinatie van hoge doorlatendheid met aanwezigheid van fijnkorrelige grond voor versterking van bodemvorming in de laag zelf en de directe omgeving ervan. Een belangrijke factor daarbij is dat bodemleven zoals dat op drogere delen van schorren voorkomt welig heeft kunnen tieren in zulke lagen die daardoor vaak geheel doorgraven zijn en een spons-achtige structuur hebben

verkregen, hetgeen de erosieresistentie van een laag sterk ondermijnd. Zulke lagen komen regelmatig voor bij de overgangsconstructie aan onderkant van het gezette steen talud.

Uit verschillende onderzoeken naar de gesteldheid van klei-onderlagen tot dusver en uit het huidige onderzoek komt naar voren dat de reststerkte van de klei-onderlaag plaatselijk sterk is ondermijnd door respectievelijk bodemvorming, grondsoort en te geringe verdichting. Uit deze studie kan in het licht van de thans bestaande inzichten over erosie van klei-onderlagen worden afgeleid dat de reststerkte van onderlagen zeer beperkt is als er beneden ongeveer 0.3 m veel zeer zandige of niet verdichte grond voorkomt en als bodemvorming tot grotere diepte een herkenbare bodemstructuur heeft veroorzaakt. Vorming van een herkenbare bodemstructuur (anders dan massief) kan op noordhellingen veel meer dan 30 jaar vergen indien de klei-onderlaag goed verdicht is en niet te dun (minder dan 0.8 m) is.

Bij klei-onderlagen treedt nagenoeg altijd enige oppervlakkige erosie van de grond onder de stenen op hetgeen op bijna al de onderzochte locaties tot geulvorming heeft geleid. Deze erosie is beperkt tot een zone met een breedte van 1.5 tot 2.5 m boven de overgangsconstructie naar stortsteen (mijnsteen, slakken en dergelijke) en is niet afhankelijk van de ligging ten opzichte van de hoogwaterlijn. De gemiddelde dieptetoename na aanleg bedraagt 0.5 tot 10 mm/jaar en wordt beïnvloed door de materiaalsamenstelling en de mate waarin de laag door wormen is vergraven. De geulvorming neemt in het algemeen af met toenemend gehalte afslibbaar ($< 16\mu\text{m}$) en komt vooral voor in vergraven, meestal slecht verdichte lagen.

Samenvattend kan worden gesteld dat zowel de reststerkte van klei-onderlagen als het beperken van geulvorming daarin gebaat zijn bij het aanbrengen van geschikte, zware of vette klei en het goed verdichten daarvan over de gehele dikte van de klei-onderlaag. Het is waarschijnlijk dat een in een laag van ongeveer 1.5 m dikte goed aangebrachte geschikte klei (met een niet te hoog watergehalte bij het aanbrengen, zie TAW [1995] in voorbereiding) gedurende tenminste enige tientallen jaren een zeer hoge reststerkte heeft.

Het verkennen van de gesteldheid van klei-onderlagen en van de opbouw van het dijklichaam onder gezette steen kan met sonderingen, aangevuld met waarnemingen in enige kuilen in de onderlaag worden uitgevoerd. De sonderingen dienen te worden uitgevoerd met een conus die veel dunner is dan in de geotechniek gebruikelijke diameter (36 mm). Voorafgaand archiefonderzoek en interviews met bij de aanleg betrokkenen lijkt een voor de hand liggende eerste stap in de verkenning ten behoeve van het vaststellen van de noodzaak en het stellen van prioriteiten voor gedetailleerde verkenningen.

Ten aanzien van bodemvorming heeft het onderzoek een aantal bevindingen opgeleverd die voor het vaststellen van meer gedetailleerde diagnostische criteria van belang kunnen zijn. De meeste grond in klei-onderlagen heeft karakteristieken van hydromorfe gronden met gley en pseudo gley verschijnselen. Door de afwezigheid van bioturbatie (activiteit van fauna en wortelwerking) in de

meeste lagen en horizonten is de mechanisch gevormde bodemstructuur, evenals huden en impregnaties zeer goed te herkennen. Op een aantal plaatsen kan de geschiedenis van de klei-onderlaag uit de opbouw en laterale en verticale opeenvolging van huden ten dele worden gereconstrueerd. In die gevallen bleek daaruit een daling van de ligging van de grond ten opzichte van de verzadigde zone, of toename van de mate van inundatie.

De grote hoeveelheid organisch materiaal in begraven zodelagen kan ertoe leiden dat oorspronkelijk bruine grond binnen 20 jaar wordt gedomineerd door grijze en zwarte kleuren. Dit verschijnsel treedt op als de grond van de zodelaag en de directe omgeving ervan goed verdicht zijn.

Herkenbare bodemstructuur, anders dan massief, is vaak niet aanwezig in zeer dichte lagen van cohesieve grond beneden ongeveer 0.3 tot 0.4 m beneden maaiveld.

Op veel plaatsen is er wel een duidelijke bodemstructuur gevormd, maar is er kennelijk door de vochthuishouding onder gezette steen, geen vorming van herkenbare neerslagen (huden en impregnaties) opgetreden en is de grond grijs tot donkergrijs gebleven. In te nat aangebrachte cohesieve grond ontstaan scheuren die een patroon van grove (0.1 tot 0.2 m) prisma's vormen binnen tenminste 8 jaar na aanleg.

Bronnen:

Bernie, A.C. en E. Patterson 1991: The mineralogy and morphology of iron and manganese oxides in an imperfectly-drained Scottish soil. *Geoderma*, 50, pp. 219-237.

Bezuijen, A., A.M. Burgers, M. Klein Breteler 1990: Taludbekleding van gezette steen: Samenvatting onderzoeksresultaten 1980-1988. M1795/H195, RWS DWW, Delft, 288 pp.

Bouma, J. 1988: Using soil survey data for quantitative land evaluation. In B.A. Stewart (ed.) *Advances in soil science*. Vol. 9, pp.177-215.

Bouma, J., C.A. Fox en R. Miedema 1990: Micromorphology of hydromorphic soils: Applications for soil genesis and land evaluation. pp. 257-278

BS 5930:1981 code of practice for site investigation.

Breemen, N. van 1976: Genesis and solution chemistry of acid sulphate soils in Thailand Ph.D. thesis, Un. Wageningen, Wageningen, 263 pp.

Brewer, R., J.R. Sleeman 1988: Soil structure and fabric. CSIRO, Adelaide, 163 pp.

Chids, C.W. 1992: Ferrihydride: A review of structure, properties and occurrence in relation to soils. *Z. Pflanzenernaehr.Bodenk.*, 155, pp.441-448.

Curry, J.P. 1994: Grassland invertebrates. Chapman & Hall, London, 437 pp.

Dexter, A.R. 1988: Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*, 11, pp. 199-238.

GD 1988: Onderzoek naar het beoordelen van de geschiktheid van kleigrond voor bekleding van dijken met grasbedekking. *Grondmechanica Delft rapport CO-275925/14* voor RWS DWW, Delft, 79 pp.

GD 1991: Beschouwingen over de reststerkte van een kleilaag onder steenzetting. *Grondmechanica Delft rapport CO- 318170/10* voor RWS DWW, Delft, 56 pp.

GD 1993a: Reststerkte van dijkbekledingen: Sterkte van klei onder golfbelasting Deel IV, Analyse van Deltagootmetingen. *Grondmechanica Delft rapport A2.93.42* voor TAW A2 RWS DWW, Delft, 60 pp.

GD 1993b: Structuurvorming van klei en meting van zuigspanning onder harde bekleding. Grondmechanica Delft rapport CO-338480/13 voor RWS DWW, Delft, 16 pp.

GD 1994: Eerste analyse van deltagootproeven op een grastalud. Grondmechanica Delft rapport CO-334430/25 voor RWS-DWW, Delft, 65 pp.

GD en WL 1992: Reststerkte van dijkbekledingen, stabiliteit van steenzettingen en klei-onderlaag: Deel III Meetverslag Deltagootonderzoek juni 1992. Grondmechanica Delft en Waterloopkundig Laboratorium rapport TAW A2 A2.93.27 voor RTWS DWW, Delft 35pp.

Gianni, L., C Massau, H. Schroeder en S. Unger 1990: Initiale Bodenbildung aus marinen Sedimenten in Lysimeterversuchen. Z. Pflanzenernaehr.Bodenk., 153, 283-289.

Gianni, L., B. Keuchel, M. Nay en S. Widzowski: 1993: Periodische und aperiodische Veraenderungen in den Eigenschaften junger Marschboeden im Deichvorland. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk., 156, pp. 323-331.

Hawkins, A.B., G.M. Pinches 1992: Engineering description of mudrocks. Quat.Journ. Eng. Geol., 25, pp. 17-30.

Kooistra, M.J. 1978: Soil development in recent marine sediments of the intertidal zone in the Oosterschelde - The Netherlands. Publ. Fys. Geogr. Bodemk. Inst. Un. Amsterdam, No. 24, Un. of Amsterdam, Amsterdam, 183 pp.

Landuydt, C.J. 1990: Micromorphology of iron minerals from bog ores of the Belgian Campine area. pp. 289-294.

Langley Turnbaugh S.J., C.V. Evans 1994: A determinative soil development index for pedostratigraphic studies. Geoderma, 61, pp. 39-59.

Levevre, G., K. Rohan en J.-P. Milette 1986: Erosivity of intact clay: Influence of the natural structure. Can. Geotech.J., 23, pp. 427-434.

Levy, G.J., H. Eisenberg en I. Shainberg 1993: Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. Soil Science, 155/1, pp.15-22.

Lima, L.A. en M.E. Grismer: 1994: Application of fracture mechanics to cracking of saline soils. Soil Science, 158/2, pp. 86-96.

Ogden, C.B., R.J. Wagenet, H.M. van Es en J.L. Hudson 1992: Quantification and modelling of macropore drainage. Geoderma, 55, 17-35.

Ohtsubo, M. 1989: Interaction of iron oxides with clays. *Clay Science*, 7, pp. 227-242.

Quisenberry, V.L., B.R. Smith, R.E. Phillips, H.D. Scott, S. Northcliff 1993: A soil classification system for describing water and chemical transport. *Soil Science*, 156/5, pp. 306-315.

Rabenhorst, M.C. 1990: Micromorphology of induced iron sulphide formation in Chesapeake Bay (USA) tidal marsh. pp. 303-310.

Rawls, W.J., D.L. Brakensiek en S.D. Logsdon: Predicting saturated hydraulic conductivity utilizing fractal principles. *Soil Sci. Am. J.*, 57, pp. 1193-1197.

TAW 1995: Eisen klei voor de dijkenbouw. TAW Technisch rapport in voorbereiding.

Wang, H.D., G.N. White, F.T. Turner en J.B. Dixon 1993: Ferrihydrite, Lepidocrocite, and Ghaetite in coatings from East Texas Vertic Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, pp. 1381-1386.

Wolff, W.J. 1973: The estuary as habitat. An analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. *Zool. Verh. No. 126*, Brill, Leiden.

Wood, M. 1989: *Soil biology*. Blackie, London, 154 pp.

Yong, R.N., A.M.O. Mohamed en B.W. Wang 1992: Influence of amorphous silica and iron hydroxide on interparticle action and soil surface properties. *Can. Geot.J.* 29, pp. 803-818.

BIJLAGEN

1 OPZET VAN HET BESCHRIJVINGSSYSTEEM

Het te ontwikkelen systeem voor het beschrijven van de bodemstructuur die onder gezette steen ontstaat op dijktafsluitingen dient om de relevante civieltechnische eigenschappen voor het afleiden van de reststerkte van grond te kunnen bepalen. De geotechnische parameters die voor beschouwingen voor de civieltechnische eigenschappen van kleigrond met een bodemstructuur nodig zijn, worden in tabel 1 bijlage 1 vermeld. Over deze parameters moet voor al de relevante eenheden in de bodem in de klei-onderlaag informatie beschikbaar komen. De ingangen om deze informatie te verkrijgen met behulp van beschrijvingen in het terrein zijn:

- Geometrie van het spletenpatroon in de grond op verschillende niveaus van detaillering (spleetwijdtes, geometrie stapeling van kleiblokken);
- De aard van de wanden van de spleten;
- De stevigheid (ongeroderde consistentie) van de kleibrokken;
- Het gewicht van de blokken;
- Samenstelling kleibrokken (fijne fractie, mate van chemische rijping en dergelijke);
- De verticale en horizontale variatie in bovenstaande.

De beschrijving dient te leiden tot schattingen van representatieve waarden, eventueel met bandbreedte van een aantal verschijnselen en wel:

Spleetwijdte groepen

spleetwijdte), continuïteitslengte, connectiviteit totaal en hiërarchische ordening van typen, tortuositeit (kronkeligheid), afmeting rechte stukken, angulariteit tussen "rechte stukken";

Blokken

karakteristieke maten (l x b x h) van brokken, aantal ribben, lengte van ribben, in- (uit-)gesloten hoeken, afgerondheid van hoeken, mate van aaneensluiting en op elkaar passen per spleetwijdte type, vormgroep;

Wanden van brokken per spleetwijdte type,

ruwheid (hoogte en lengte), mate van aanwezigheid huiden (klei, hydroxides, organisch materiaal), verkleuring (impregnatie) van wanden;

De stevigheid (ongeroderde consistentie) van de kleiblokken

Samenstelling kleibrokken (fijne fractie, mate van chemisch/mineralogische omzetting);

geschatte korrelgrootteverdeling/consistentie

macroscopische variatiepatronen in zand-siltinsluitingspatronen

De verticale en horizontale variatie in de kleilaag van bovenstaande.

Bijlage 1: Beschrijvingssysteem

parameter omschrijving	bulk	klei- brokken	spletten	opmerkingen
volumieke massa	x	x		in "veldnatte" toestand
effectieve porositeit	x			deel dat meedoet aan stroming
verzadigde doorlatendheid	x		x	in "veldnatte" toestand
elasticiteitsmodulus	x	x	x	
poissonverhouding	x		x	
effectieve grootte		x	x	
interlock (pakkings- haakweerstand)	x			
interne wrijvingshoek	x	x	x	of andere bezwijkparameters
cohesie	x	x	x	

Bijlage 1 tabel 1: Geotechnische eigenschappen waarover inzicht moet bestaan voor het beoordelen van het functioneren van grond in de onverzadigde zone zoals onder gezette steen. In de tabel wordt aangegeven voor welke elementen van de grond de informatie beschikbaar moet zijn.

Bijlage 1: Beschrijvingsysteem

1.1 Werkwijze voor het beschrijven

De volgende werkwijze voor het beschrijven kan worden toegepast om een voldoende indruk van de opbouw van de grond te verkrijgen, te weten::

- 1 Het onderscheiden moedermateriaaleenheden waarbij inbegrepen eenheden als gevolg van aanbrengen en activiteiten na het aanbrengen zoals verdichten of lokaal vergraven.
- 2 Beschrijven korrelgrootte-consistentie moedermateriaaleenheden, bijmengingen (schelpmateriaal, plantenresten en dergelijk) en begrenzingen
- 3 Onderscheiden van structuur-orden per moedermateriaaleenheid
- 4 Systematisch beschrijven poriestructuur van macro-poriën en blokvorm van de hoogste orde per moedermateriaal of per moedermateriaalgroep
- 5 Systematisch beschrijven structuur per orde per moedermateriaal
Bij elk niveau beschrijven:
 - algemene vorm van elementen
 - karakteristieke maat van elementgrootte
 - vormspecificaties
 - karakteristieke spleetwijdte
 - huiden op poriën
 - poriewandimpregnaties (vlekken)
 - kleuren
- 6 beschrijven overige bodemstructuurfenomenen (bioturbatie) en lokale afwijkingen van structuur

2 TERMINOLOGIE VOOR BESCHRIJVINGEN

Voor het beschrijven van de verschijnselen kan de volgende terminologie worden gebruikt.

Structuur niveau (zie figuur bijl.1.1):

1ste orde grootste herkenbare regelmatige structuur met spleten en elementen

2de orde herkenbare eerste regelmatige onderverdeling van 1ste orde

et cetera

n-de orde kleinste in het veld waarneembare structuur (zichtbaar door de aanwezigheid van facetten van structuurelementen die bij breken van de grond zichtbaar worden)

Algemene vorm (zie figuur bijl.1.2):

De algemene vorm is de dominante vorm in de structuur orde, waarbij de volgende namen gebruikelijk zijn, te weten: Prisma, blokken, platen, lenzen, massief.

Vormspecificaties (zie figuur bijl.1.3):

zeer hoekig

matig hoekig

matig afgerond

zeer afgerond

Spleetwijdtegroepen (zie figuur bijl.1.4):

niet open (alleen breukherkenning), <0.2, 0.2- 0.5, 0.5-1,1-2, 2-5,>5 mm breedte

Wanden van de spleten (per spleetwijdte type)

- regelmatigheid (cm-schaal) en ruwheid (sub-mm. schaal)

- aanwezigheid van huiden (dikte, kleuren) op de wanden

- impregnatie (diepte, kleuren) van wanden

Eventueel Spleetcontinuïteit:

hoge continuïteit veel herkenbare spleten zijn vlakken die herkenbaar zijn langs 3 of meer elementen van de betreffende orde

matig continue veel spleten zijn langs 2 elementen van de betreffende orde te volgen en een deel (minder dan de helft) sluit herkenbaar aan op andere spleten

niet continue meeste spleten zijn telkens slechts tussen 2 facetten aanwezig en spleten hebben onderling weinig herkenbare aansluiting

In tabel 2 bijlage 1 worden klassen en termen voor het beschrijvingssysteem genoemd die als basis voor een consistent beschrijvingssysteem kunnen dienen. De klasse-grenzen zijn zodanig gekozen dat deze zoveel als mogelijk is overeenkomst hebben met sprongen tussen natuurlijke groepen van de diverse fenomenen, tevens worden in de tabel afkortingen voor de verschillende termen voorgesteld.

Bijlage 1: Beschrijvingsysteem

E = elementen; pr=prisma,bl=blokken,pl=platen,br=brokken								C = samenstelling				K = kleuren			
s = grootte		a = hoekigheid		r = regelmatigheid		f = vlakken		componenten		hoeveelheid		zwart	zwt		
maat	#	niet genoemd	0	regelmatig	r	glad	g	zand	znd	dominant	6				
eventueel		sterk afgerond	1	onregelmatig	o	ruw	r	silt	slt	zeer sterk	5	donker grijs	dog		
0-6 mm	f	matig afgerond	2			onregelmatig	o	klei	kle	sterk	4	grijs	grs		
6-60 mm	m	matig hoekig	3			sterk gebogen	k	planten resten	pln	weinig/zwak	2	blauwgrijs	blg	lichtgrijs	lig
>60 mm	l	zeer hoekig	4					wortels	wor	zeer weinig	1	bruin	brg	bruin	brn
								hout	hot	niet gespec.	3	grijsbruin	grb		
J = spleten				G = gangen				M = intensiteit kleurvlekken, impregnatie		olijfgroen	olg				
w = wijdtte		p = aanwezigheid		c = continuïteit		d = diameter		n = aantal/dm ²		zwak bruin	zwb				
dicht	0	plaatselijk	p	weinig	1	zeer dun	0,5	aantal #	geen	0	bruin	brn			
bijna dicht	0,2	overig	o	matig	2	dun	2		weinig	5	helder roodbruin	hrb			
open	#			hoog	3	dik	4		matig	10	paarsrood	par			
overig	9			niet genoemd	0	zeer dik	6		veel	25	oranjerood	orr			
						overig	#		evenveel	50	overig	ovv			
											P = penetrometer				
											gemiddeld	#			
											spreiding	#			
V = overige poriën				F = coating				I = impregnatie		O = ontstaanswijze					
d = diameter		s = vorm		t = dikte		s = textuur		m = samenstelling		t = dikte		overig	ov		
zeer dun	0,5	brok	b	herkenbaar	0	glad	g	klei	k						
dun	2	bioturbaat	g	dun	0,1	mammilated	b	overig	o	herkenbaar	0	kluiten	k		
dik	4	overig	o	dik	0,5	overig	o			dun	0,1	zode	zo		
zeer dik	6			gespecificeerd	#					gespecificeerd	#	subzode	sz		
overig	#			overig	9					overig	9				

Bijlage 1 tabel 2: Beschrijvingskenmerken, klassen daarin en eventueel te gebruiken afkortingen

Bijlage 1: Beschrijvingsysteem

ten behoeve van het vereenvoudigen van het maken van notities in het terrein of ten behoeve van geautomatiseerde (database en dergelijke) verwerking.

In de gecodeerde beschrijving kunnen de structuur-orden worden onderscheiden met 1ste, 2de en dergelijke en worden dan gescheiden door dubbele punt (:). De verschillende verschijnselen die bij structuurcomponenten (elementen, spleten, gangen en overige poriën) van een bepaalde orde horen, worden door dubbele schuine strepen gescheiden (//) en de verschillende specificaties voor een fenomeen (kleur hoeveelheid en dergelijke) worden door enkele schuine strepen gescheiden (/). Naast de gecodeerde beschrijving is een aparte ingang met opmerkingen vaak nodig omdat de waargenomen en soms relevante variatie niet binnen nog hanteerbare codes of laagdikten zou gaan vallen.

Een voorbeeld van een gecodeerde beschrijving is de volgende:

Een laag met een bodemstructuur als:

diepte: beschrijving:

[m]

.48-.80 Klei siltig plaatselijk zwak plaatselijk sterk zandig weinig wortels op contact met zand
20mm overgang van bruin paars rood via grijsbruin naar grijs op veel plaatsen in de laag
120 mm blokken afgerond met roodbruine randen en zwarte-grijze kernen met soms open
spleten daartussen

qpocket: 80 70 130 80 80 100 100 100 90 80

structuur:

1ste prisma 100mm spleten 0-.5mm

2de blokken 100mm hoekig vlakken onregelmatig en regelmatig roodbruine coating
kern blok zwart tot grijs met bruingrijze aura

3de blokken plaatselijk 30mm afgerond tot hoekig spleten 0-1mm wanden
onregelmatig roodbruine coating plaatselijk .1mm dik

gecodeerd wordt de beschrijving als volgt:

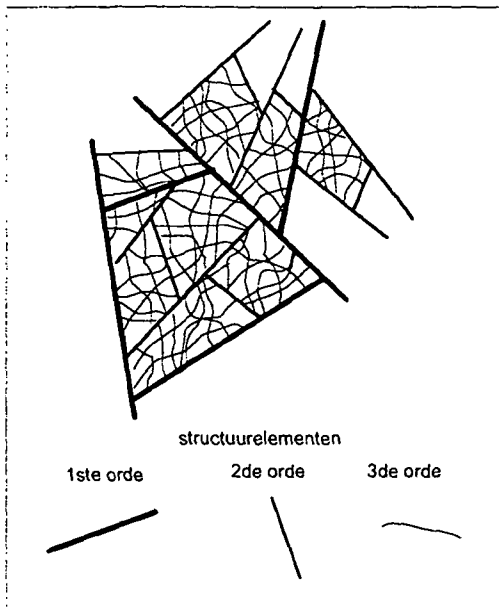
0.48-0.80 Ckle6slt3znd3wor2/Kdog/I9M25rob/Ok: 1steEpr100//P90/17//Jw0w0.5:

2deEbl100a4rrro/Kdog/It9brg: 3deEbl30a3a2//Jw0w1/Ft0.1Krob

opmerkingen: Er zijn kluiten te herkennen met grijze kern en roodbruine randen met
veel open ruimten daartussen; overgang met zand heeft paars tot grijze kleuren.

Het blijkt in de praktijk dat het hanteren van gecodeerde beschrijvingen langere ervaring vergt voordat er efficiënt in het terrein mee gewerkt kan worden. Het verdient daarom vaak de voorkeur om veldbeschrijvingen met gestandaardiseerde formulieren uit te voeren, waaruit, na de veldopname, de gecodeerde beschrijving kan worden afgeleid, bijvoorbeeld ten behoeve van geautomatiseerde verwerking. Zo'n geautomatiseerde verwerking is met de huidige algemeen beschikbare techniek (hard-en software) nuttig als het aantal profielbeschrijvingen meer dan ongeveer 10 tot 20 wordt.

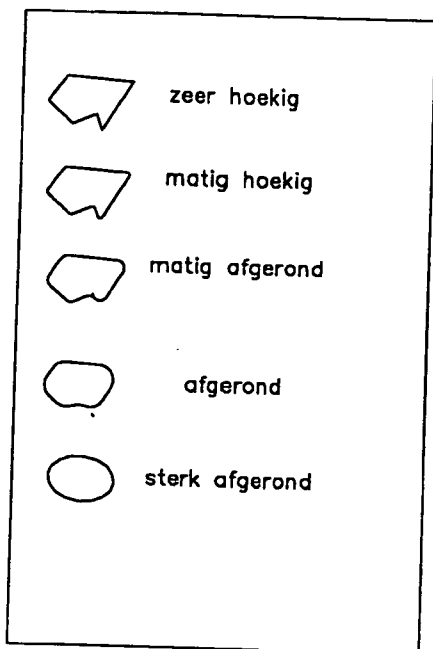
bijlage 1 figuur 1: Schets van de wijze waarop structuurorden in grond voorkomen.



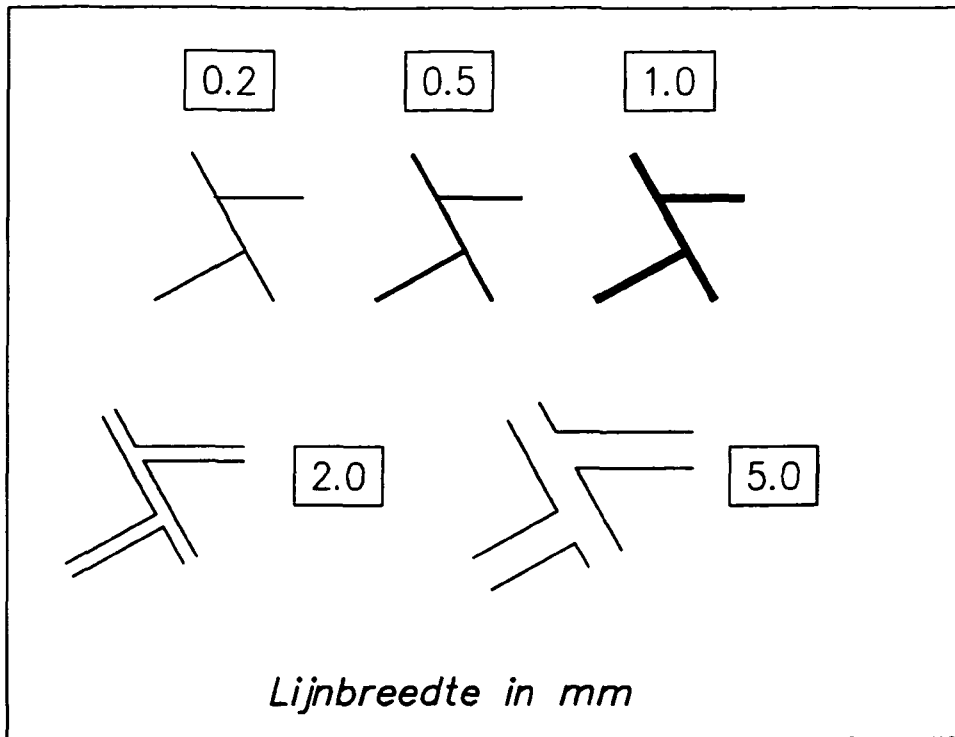
bijlage 1 figuur 2: Vorm van bodemstructurelementen: 1= fijne blokken met onregelmatige vorm (kruimels); 2= blokken met regelmatige vorm; 3= prisma-vormen; 4=plaat-vormen; 5= regelmatige blokken-vormen; 6= onregelmatige blokkenvormen.



bijlage 1 figuur 3: Specificatie van de hoekigheid van bodemstructurelementen in de voorgestelde klassen.



bijlage 1 figuur 4: De in de figuur weergegeven lijnen, of ruimte tussen lijnen, geven een beeld van de voorgestelde spleetwijdtegroepen zoals die zich in het terrein kunnen voordoen.



1 ALGEMEEN

Uit verschillende onderzoeken naar de gesteldheid van klei-onderlagen tot dusver [GD 1993, GD 1994] en uit het huidige onderzoek komt naar voren dat de reststerkte van de klei-onderlaag plaatselijk sterk is ondermijnd door respectievelijk bodemvorming, grondsoort en te geringe verdichting. In deze studie wordt gesteld dat de reststerkte van onderlagen zeer beperkt is als er beneden ongeveer 0.2 tot 0.3 m veel zeer zandige of niet verdichte grond voorkomt en als bodemvorming tot grotere diepte een herkenbare bodemstructuur heeft veroorzaakt. Dit laatste is op taluds met zuidexpositie eerder het geval dan op taluds met noordexpositie en kan op noordhellingen tenminste meer dan 30 jaar vergen. Plaatselijk is de klei-onderlaag op zand dun, hetgeen relatief snel tot een bodemstructuur door de gehele onderlaag leidt. De bijdrage aan de reststerkte van zulke onderlagen is zeer beperkt.

In dit onderzoek zijn een aantal dijktafstanden aangetroffen waarbij het oude dijklichaam deel van de klei-onderlaag uitmaakt. Dit oude dijklichaam bestaat in een aantal gevallen uit zeer dichte cohesieve grond die een zeer grote bijdrage aan de reststerkte van de dijk kan leveren.

Samenvattend kan worden gesteld dat er stukken dijktafstand met gezette steen bestaan die een relatief geringe bijdrage aan de reststerkte van de dijk zullen leveren en dat er ook stukken dijktafstand zijn waar door de gesteldheid van de onderlaag of de aanwezigheid van een oud dijklichaam een relatief hoge reststerkte verwacht kan worden.

Om inzicht te krijgen in de verbreiding van stukken taafstand met een geringe reststerkte wordt een verkenning van de desbetreffende dijktafstanden voorgesteld. Het verkennen van de onderlaag, en dijkopbouw voor dijktafstanden met gezette steen dient daarnaast voldoende informatie te geven voor het beoordelen van omstandigheden in verband met andere bezwijkmechanismen (bijvoorbeeld opbarsten) en voor de planning van onderhoud en vervangings- en aanpassingswerkzaamheden.

Voorgesteld wordt om de verkenning in 2 stappen uit te voeren. De eerste stap betreft een globale inventarisatie aan de hand van archiefgegevens en interviews met de betrokkenen bij de aanleg destijds, waar nodig aangevuld met beperkt terreinonderzoek. Deze inventarisatie heeft tot doel strekkingen vast te stellen waar de reststerkte onvoldoende lijkt en waar andere beperkingen van het functioneren van het dijklichaam voorkomen. De tweede stap betreft het gedetailleerd verkennen van de klei-onderlaag en dijkopbouw. Met deze stap wordt aan de hand van terreinonderzoek bepaald wat de kwaliteit van de klei-onderlaag en wat de dijkopbouw is van de met stap 1 geselecteerde strekkingen en de verdeling daarvan binnen die strekkingen.

2 GLOBALE INVENTARISATIE

Uit de informatie die bij dijkbeheerders aanwezig is kan op relatief korte termijn een indruk van de opbouw van de ondergrond van dijkvakken worden verkregen aan de hand van gegevens over aanleg, oorsprong van grond en eventueel destijds ter plaatse aanwezige betrokkenen. Deze informatie, waar nodig aangevuld met enig terreinonderzoek, kan dienen om vast te stellen welke dijkvakken nader onderzocht dienen te worden en voor het bepalen van de volgorde waarin meer gedetailleerde verkenningen van dijkvakken wordt uitgevoerd.

Voor het uitvoeren van een dergelijke inventarisatie is informatie en expertise over de volgende onderwerpen nodig, te weten:

- Dijkbouw, zowel lokale kennis als algemene inzichten;
- omstandigheden ten tijde van de aanleg;
- ervaringen in het beheer, zowel lokaal als algemene inzichten in onderhoud en schade;
- faal- en schademechanismen en materiaalgedrag.

Met de thans bij de verschillende betrokken instellingen aanwezige inzichten kan een voorlopige lijst van criteria en diagnostische kenmerken worden samengesteld aan de hand waarvan strekkingen dijktalud voorlopig kunnen worden beoordeeld in de globale inventarisatie. Deze lijst zal ten dele gebaseerd kunnen zijn op de documentatie die voor de TAW "Leidraad Toetsing" (in voorbereiding) bestaat. Deze voorlopige lijst met beschrijvingen kan tijdens de eerste inventarisaties nader worden gespecificeerd en waar nodig worden gecompleteerd.

Op basis van deze lijst met criteria en bijbehorende kenmerken kunnen medewerkers van dijkbeherende instanties, waar nodig geadviseerd door externe deskundigen, bepalen welke strekkingen nader onderzocht dienen te worden, hetzij omdat er onvoldoende controleerbare gegevens over beschikbaar zijn, hetzij omdat reststerkte of andere mogelijke bezwijkmechanismen tot twijfelachtig functioneren kunnen leiden. Ter aanvulling van archief- en interviewgegevens kan het plaatselijk nodig zijn beperkt terreinonderzoek uit te voeren.

Het samenstellen van de voorlopige lijst met criteria en diagnostische kenmerken vergt naar het zich laat aanzien een inspanning van 4 tot 5 mensweken. De inspanningen voor een globale inventarisatie door een dijkbeheerder met ondersteuning van adviseurs hangen sterk van lokale omstandigheden af (onder andere van de te beoordelen totale lengte dijk). Een zeer voorlopige schatting van de auteur komt tot enige mensweken voor zo'n 50 km dijk, enige dagen terrein-onderzoek en enige dagen advies van externe deskundigen.

3 GEDETAILLEERDE VERKENNING

De gedetailleerde verkenning dient informatie over de variatie in de relevante aspecten van de opbouw van de klei-onderlaag te geven zodanig dat eventuele zwakke plekken die groot genoeg zijn om tot voortgaande schade te leiden met voldoende zekerheid kunnen worden getraceerd. De relevante aspecten van de opbouw betreffen onder meer diagnostische kenmerken, aangezien er nog geen eenvoudige set parameters gedefinieerd kan worden voor beoordeling van de sterkte van een onderlaag. Zwakke plekken zoals een zandinsluiting met een oppervlak van enige vierkante meters in klei kunnen uiteraard tot voortgaande schade leiden, maar zijn slechts tegen zeer hoge kosten met enige zekerheid alle te vinden. Wel lijkt het voorshands mogelijk stukken talud te traceren waar bijvoorbeeld kennelijk relatief veel van dergelijke zwakke plekken in voorkomen, hetgeen oogpunt van schade, onderhoud en vervanging belangrijker is dan individuele plekken.

In het algemeen lijken voor het beoordelen van de ondergrond van taluds uitspraken met enige zekerheid over de opbouw van de dijk over strekkingen van enige tientallen meters tot zeker niet meer dan honderd meter nodig, afhankelijk van het type dijk. De verticale resolutie van de waarnemingen dient voor de klei-onderlaag ongeveer ± 0.1 m te zijn willen er voldoende diagnostische kenmerken herkenbaar zijn. Van de verkenningstechnieken die beschikbaar zijn, worden voorshands alleen boringen en sonderingen geacht informatie met dergelijk detail tegen redelijke inspanning te kunnen geven. Waarbij sonderingen het voordeel hebben dat er van objectieve metingen sprake is die bovendien informatie over sterkte-ervormingseigenschappen geven. In hoofdstuk 9 van dit rapport is al ingegaan op de mogelijkheid om sonderingen voor verkenningsdoeleinden voor klei-onderlagen te gebruiken. In het volgende wordt daarom op een dergelijke verkenning ingegaan.

Op grond van ervaringen met de gebruikelijke werkwijze met betrekking tot sondeergegevens en ervaring met de aangetroffen variatie in de ondergrond van gezette steen op dijken kan een indicatie van het benodigd onderzoek en de daarbij te volgen werkwijze voor niet voldoende betrouwbare strekkingen gegeven worden. De voorgestelde wijze van verkennen van de gesteldheid van de ondergrond van dijktaluds met gezette steen omvat het volgende, te weten:

- Sonderen in raaien op 50 tot 200 m afstand met 4 tot 7 sonderingen per raai, daarbij rekening houdend met op het talud aanwezige variatie;
- sonderingen met dunne conus (15 tot 20 mm diameter) tot 3 m beneden maaiveld door gaten die door de stenen zijn geboord;
- vaststellen patronen in de verdeling van de conusweerstand en mantelkleef (eventueel aanvullende sensoren), per raai en voor combinaties van raaien;
- selectief maken van gaten of sleuven in het talud om de verschillende onderkende eenheden in de patronen van de sondeerwaarden te beschrijven en om eventueel monsters te nemen;
- Vaststellen van verspreiding van niet betrouwbare lagen in de onderlaag;
- Vaststellen opbouw van de ondergrond en identificeren van niet betrouwbare strekkingen.

Op deze wijze verkrijgen de beheerders een eenduidig en goed gedefinieerde indruk van de

Bijlage 2: Verkenning klei-onderlaag.

ondergrond van de dijktaluds.

De inspanningen zullen afhankelijk zijn van de werkwijze van sonderen en de ervaring met het verwerken van sondeergegevens.

Gedetailleerde beschrijvingen van de profielkuilen zijn in bijlage 8, deel II, opgenomen. Deze bijlage bevat een samenvatting van de beschrijvingen.

De codering in de profielen is als volgt:

zode= zodelaag, veelal met bladdelen; subzod= laag direct onder zodelaag; fbl= fijne blokken structuur; mbl= centimeterblokken structuur (middelgroot); lbl= grote blokken (>60 mm); gan= zeer veel graafgangen; pl= platige structuur; lpr= grote prisma-structuur; spl= individuele spleten; mbr= matig grote kluiten; m= massieve structuur (massief)si= silt; znd=zand. De onderbroken lijn geeft het niveau aan tot waar water is uitgetreden.

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Perkpolder West, Hulster Ambacht
expositie : Noord
Taludhelling : 1:3.5
Onderkant : ~ 0.8 m boven GHW
klei

Opbouw:

0.3 tot 0.5 m aanvulling op bewerkte graszode ondergrond van oude dijklichaam.

Materiaal:

Oude dijklichaam: sterk zandige klei en kleiige silt;

Aanvulling: zandige klei, soms sterk zandig, onderaan talud veel puin op oude dijk. Plaatselijk inhomogeniteiten, klei in zandiger klei en zandinsluitingen.

Positie en bedekking:

Vlakke blokken, met weinig tot matig begroeiing. Gelegen direct naast locatie van de kleilaagmonsters voor de Deltagootproeven op kale klei.

Bodemvorming:

Oude dijklichaam: klei is bruin, maar in zode(onder)laag grijs-blauwgrijs al dan niet met bruine vlekken. Zodelaag met duidelijke graszode onderlaagstructuur met bijbehorende wortelgangresten e.d. Onderaan talud is de structuur nog open, maar bovenaan talud structuur zeer dicht en hard, en onder andere veel platige structuur (gevolg van verdichting).

Aangebrachte grond: bruine grond met normaal profiel van 0.1 - 0.2 m losse goedgepakte fijne blokken (2-5 mm) op laag wat grovere blokken, regelmatig bruine coatings op spleetwanden. Op > ~0.15 m dichte pakking van blokken en platen

Tot 4 m boven hoog water zeer veel graafgangen in laag boven oude dijk, bovenkant gesplitst in 2 lagen.

Overig:

Spletten boven oude dijk zijn onderaan zeer vochtig.

Pocket penetrometer weerstanden extreem hoog in en beneden zodelaag.

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Kruispolder, Hulster Ambacht
expositie : Noord
Taludhelling : 1:3.5
Onderkant : 0.9 m boven GHW
klei

Opbouw:

Klei, 0.6 - 0.9 m, op zand behalve onderaan, waar oude dijk met graszode op 0.7 m is aangetroffen. Klei is aangebracht in 2 lagen (?)

Materiaal:

Oude dijk: Klei

Aangebrachte grond: onderste ~ 0.5 m klei met veel plantenresten en vaak veel schelpmateriaal plaatselijk veel puin en overgang naar zand vaak in laagjes, bovenste 0.2 tot 0.3 m klei, plaatselijk heterogeen silt insluitingen

Positie en bedekking:

Vlakke blokken, met weinig begroeiing.

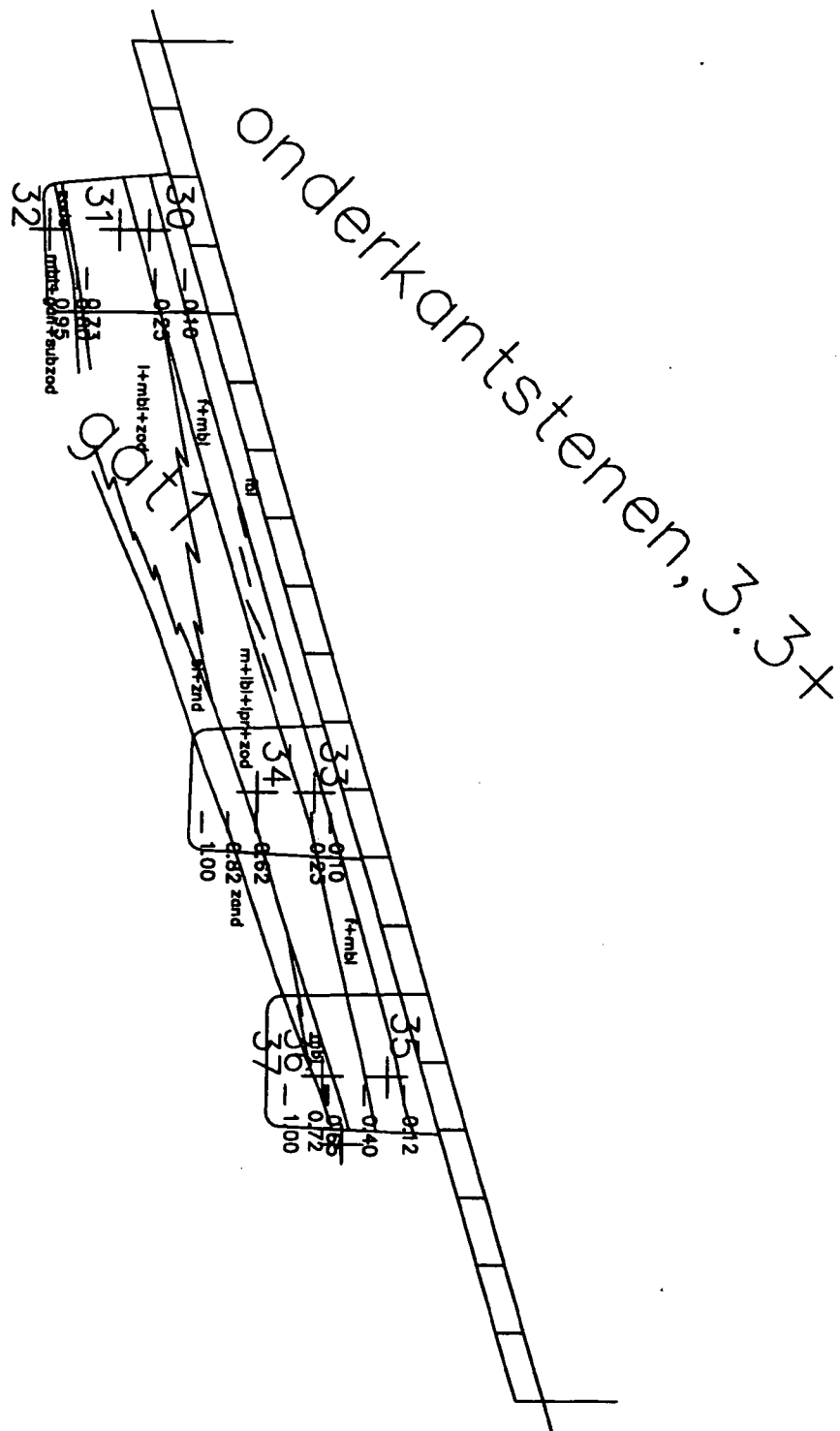
Bodemvorming:


Oude dijklichaam : structuur graszode en onderlaag duidelijk, niet zeer dicht, met roodbruine aanrijkingen.

Aangebrachte grond : Grijs grond met normaal profiel bovenin met roodbruine verkleuring, dieper veel zwarte verkleuringen, bovenaan talud meer grijsbruin en weinig zwart bovenin, onderste 0.2 tot 0.4 m veel wijde poriën (slechte verdichting),

Overig:

Onderaan veel water in grovere spleten en gangen



 GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	datum	get.
			1994-06-28	
			HulsterAmbacht, Kruispolder, dp 200 overzicht bodemprofiel	
			gez.	
			CO-346150	
			Fig. 13	form. A4

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Oesterdam, RWS Zeeland
expositie : West
Taludhelling : 1:4
Onderkant : ~ 0.6 m boven GHW
klei

Opbouw:

0.7 m klei op zand, onderaan uitwiggend op mijnsteen, met veel kleinere en grotere (onderaan) insluitingen op 0.3 m diepte.

Materiaal:

onderste laag 0.3-0.4 m zandige klei , daarboven minder zand, veel zandinsluitingen

Positie en bedekking:

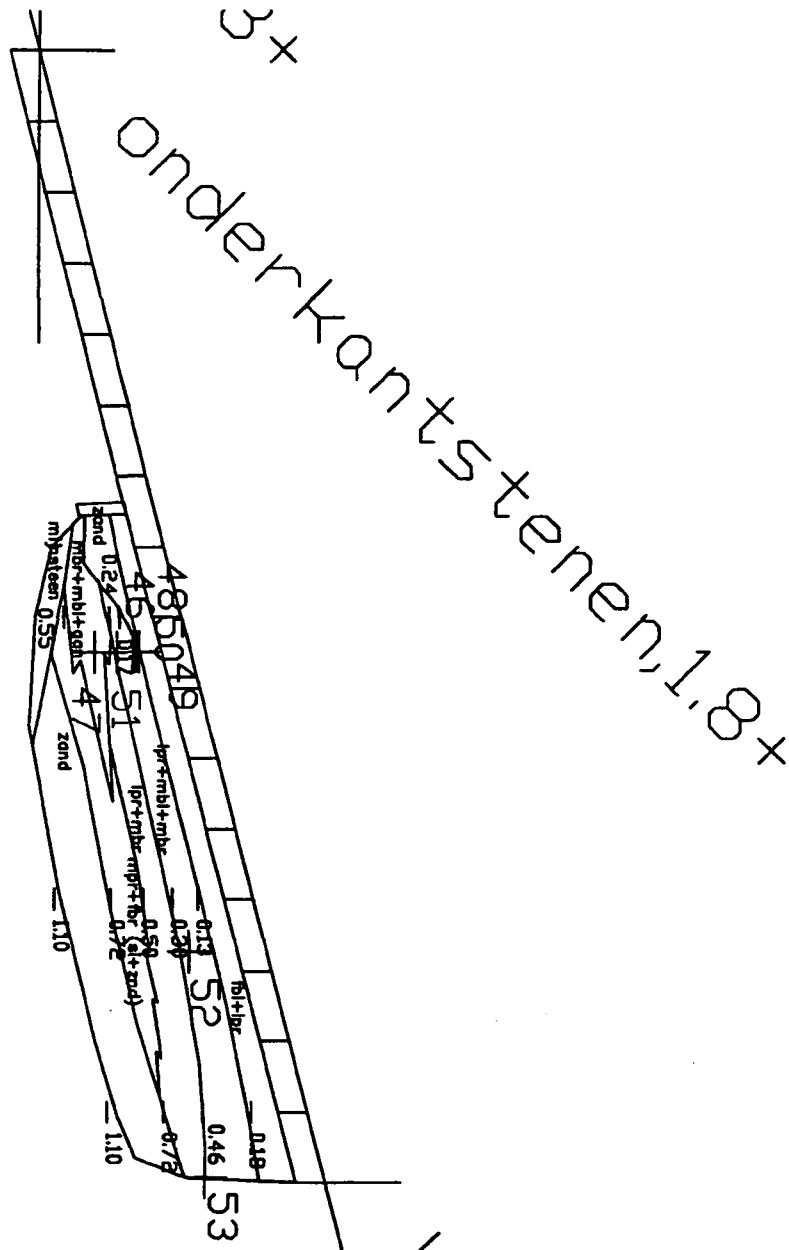
Haringman blokken, met weinig begroeiing. Gelegen 25 m ten zuiden van locatie PROVO klei-onderzoek.

Bodemvorming:

De klei is grijs plaatselijk bruin grijs bovenin. Bovenin normale profielontwikkeling, zij het vaak wat grovere, 6 mm, blokken. Opvallend veel wijde spleten (> 0.5 mm tot meerdere mm's) met helder roodbruine coatings, soms > 1 mm dik, beneden 0.2 - 0.3 m. Kleibrokken zijn na aanbrengen niet voldoende opeengedrukt, waardoor grotere ruimte tussen brokken in onderste 0.3 tot 0.4 m. Plaatselijk nesten van zeer veel graafgangen.

Overig:

Klei onderaan talud met klei-onderlaag, in uitwiggend pakket boven mijnsteen, geheel in losse slecht gepakte blokken.



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum
1994-06-28

get.

Oesterdam, raai 42
overzicht bodemprofiel

CO-346150

gez.

Fig. 14

form.
A4

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Paulina Polder Vrije van Sluis
expositie : Noord
Taludhelling : 1:3.5
Onderkant : 1.2 m boven GHW
klei

Opbouw:

0.85 m klei op zand

Materiaal:

sterk zandige klei en silt met meer of minder klei en zand, Onderaan talud meer klei.

Positie en bedekking:

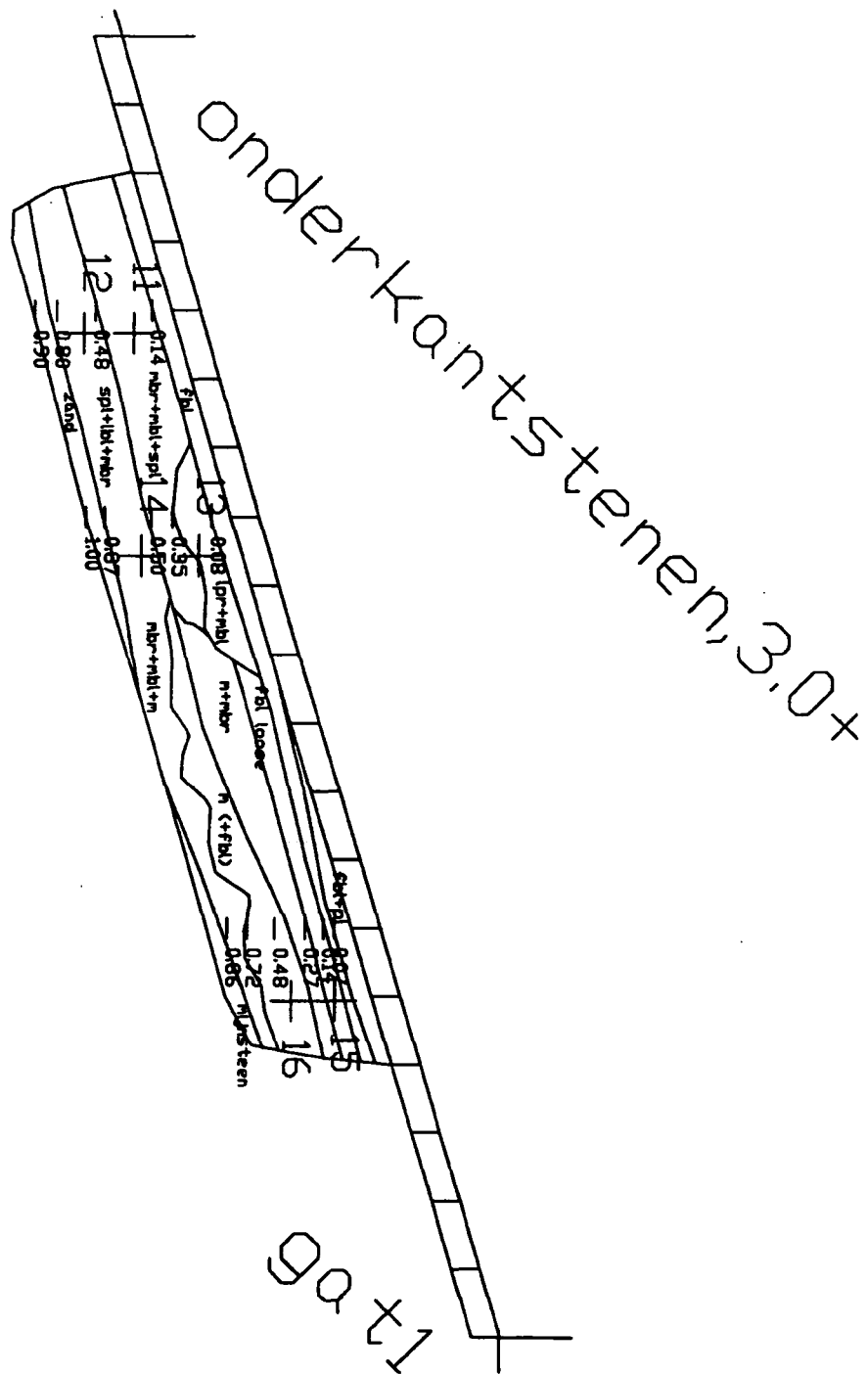
Vlakke blokken, met zeer veel begroeiing.

Bodemvorming:

Grond grijs en bruingrijs. Bovenin normaal profiel met bovenaan zeer los, random, gestapelde fijne blokjes. Merendeel van de grond bestaat uit herkenbare brokken van het aanbrengen (zeer slechte verdichting). Kern van brokken grijs- zwart, daaromheen aura van bruin en coatings roodbruin met name onderaan talud. Zeer zandige klei en silt onderin hoger op talud zeer weinig bodemvorming, alleen in kleibrokken.

Overig:

Alleen bovenkant talud lijkt verdicht.



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum	1994-06-28	get.
gez.	CO-346150	
form.	Fig. 15	A4

VrijevanSluys, Paulinapolder, dp 12
overzicht bodemprofiel

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Thomaspolder, Vrije van Sluis
expositie : Noordoost
Taludhelling : 1:3.5
Onderkant : ~ 1.2 m boven GHW
klei

Opbouw:

0.9 tot > 1.0 m klei op zand, in 2 lagen

Materiaal:

onderste laag 0.3-0.4 m klei en zeer zandige klei , daarboven minder zand

Positie en bedekking:

vlakke blokken, met weinig tot matig begroeiing, prominente rietpol midden op talud. 3 m ten zuidoosten van "deuk" in talud.

Bodemvorming:

De klei is grijs met bovenin roodbruine verkleuringen. Bovenin normale profielontwikkeling met bij rietpol grotere diepte van fijne blokken structuur. In onderste 0.3 tot 0.4 m nagenoeg geen structuurontwikkeling, behalve kleiige insluitingen, waarschijnlijk als gevolg van verdichting. Bovenaan talud echter brokken van aanbrengen niet goed verdicht, waardoor grotere ruimten tussen brokken met veel los materiaal erin. In bovenlaag bovenaan zeer veel graafgangen in 0.7 m brede band tussen normale profielontwikkeling, waarschijnlijk gevolg van niet verdicht zijn van zone tussen tracks/wielen.

Overig:

Rietpol heeft duidelijk bodemontwikkeling dieper doen doordringen. Niet verdichte zone bovenaan talud in bovenste laag heeft zeer veel graafgangen. Bovenaan talud is onderlaag niet goed verdicht.

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Poortensse polder dp 9⁺¹⁰, Tholen
expositie : Zuid
Taludhelling : 1:3.2
Onderkant : ~ 0.5 m boven GHW
klei

Opbouw:

Klei met palen, oude dijklichaam aan of direct onder oppervlak, eventueel geherprofileerd.

Materiaal:

Siltige klei

Positie en bedekking:

5 rijen Haringmanblokken met matige tot sterke begroeiing.

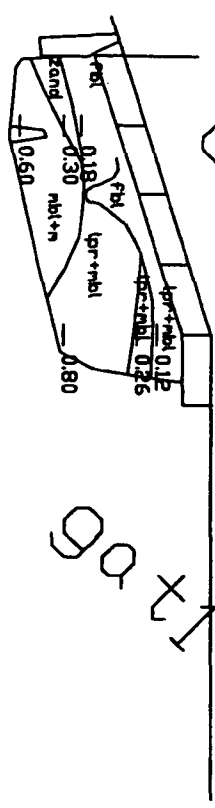
Bodemvorming:

De klei is bruingrijs, behalve de bovenste laag waar grijs en roodbruin domineren. Bovenin normale profielontwikkeling, daaronder bovenaan duidelijke structuur met grote spleten en gangen met dikke coatings (zwart-roodbruin) en onderaan (bij hoog niveau) plaatselijk dicht aaneengesloten blokken.

Overig:

Veel vrij stromend water uit onderkant van grotere spleten bovenaan talud. Zeer diepe geulen onderaan op talud.

5/10



onderkantstenen, 2,5 x
bovenkant,



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum
1994-06-28

ge1.

Tholen, Poortenisepolder, dp 9 + 10
overzicht bodemprofiel

CO-346150

gez.

Fig. 17

form.
A4

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Poortnisse polder dp 9³, Tholen
expositie : Zuid
Taludhelling : 1:3.2
Onderkant : < GHW
klei

Opbouw:

Klei met palenrijen, oude dijklichaam aan of direct onder oppervlak, eventueel geherprofileerd.

Materiaal:

Siltige klei

Positie en bedekking:

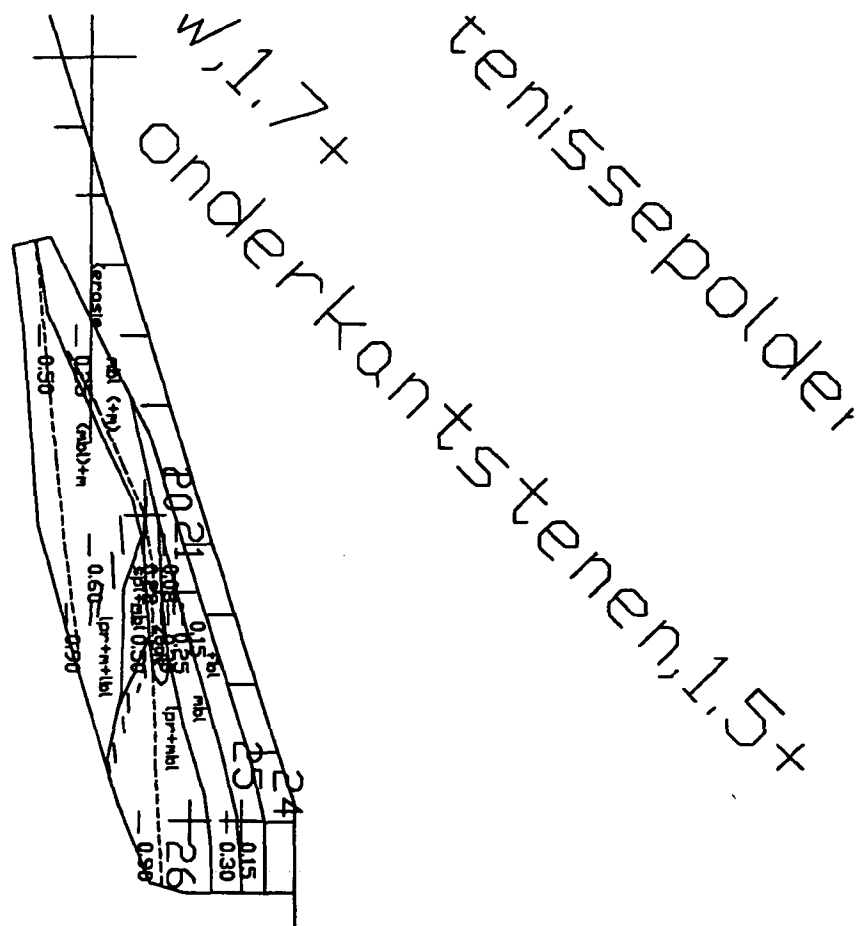
Systeem Leendertse blokken (interlock) tot beneden GHW, met weinig begroeiing.


Bodemvorming:

De klei boven ongeveer GHW is grijs tot bruingrijs, behalve de bovenste laag waar grijs met bruine verkleuringen domineren. Beneden GHW is de klei grijs en zwart met bovenin plaatselijk geel en roodbruine verkleuringen. Boven GHW komt een grove structuur voor met grote spleten en graafgangstructuren met dikke coatings (roodbruin- zwart en klei). Beneden GHW is er een structuur van spleten en grove blokken met plaatselijk verkleurde wanden (er komt water uit de spleten).

Overig:

Veel vrij stromend water tot ver boven GHW uit de spleten en gangen. Oppervlak is onderaan het ontgraven deel van het talud enige decimeter verlaagd door erosie.



 GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	datum	got.
			1994-06-28	
			Tholen, Poortnissepolder, dp 9 -3 overzicht bodemprofiel	
			gez.	
			CO-346150	
			Fig. 18	form. A4

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Calamiteuze Polder dp 29⁺³⁰, Drie Ambachten
expositie : West
Taludhelling : 1:4
Onderkant : 0.8 m boven GHW
klei

Opbouw:

0.8 m klei op zand bovenaan en, dunner, op oude dijklichaam onderaan, Klei in 2 lagen, bovenste ~0.3 m dik.

Materiaal:

Oude dijklichaam, siltige klei met zodelaag erop: Aangebrachte grond silt en plaatselijk zeer sterk zandige klei.

Positie en bedekking:

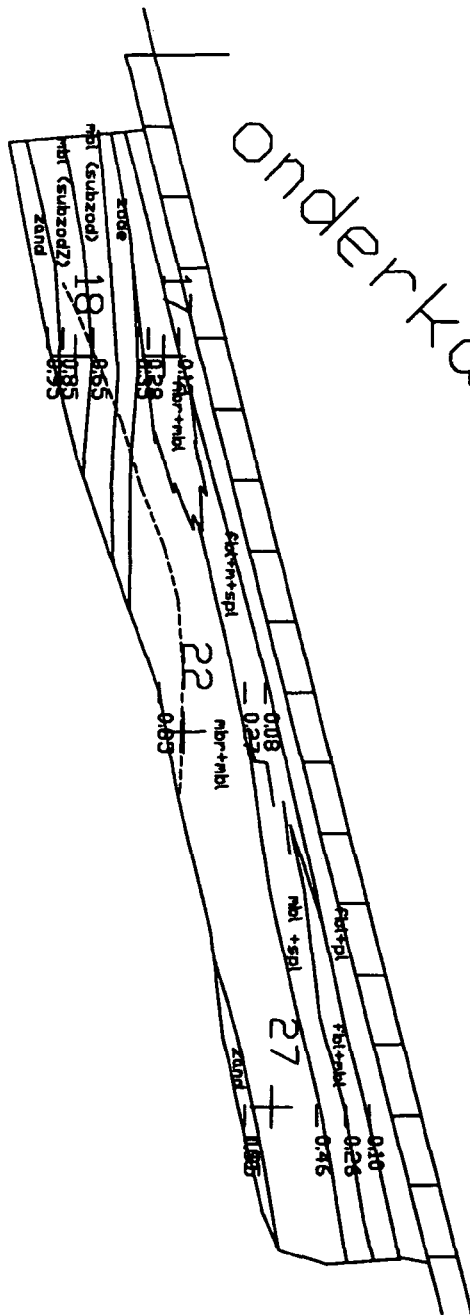
Vlakke stenen, weinig begroeiing

Bodemvorming:

Oude dijklichaam : met duidelijke maar dichte bruine en grijsverkleurde subzode structuur met veel wortelgangetjes, met helderbruine coatings plaatselijk.
Aangebrachte grond : Klei is grijs, bovenste centimeters bruin. Bovenin normaal bodemprofiel. Daaronder: Veel ruimten tussen brokken van aanbrengen behalve in bovenste laag en verdichte top van onderste laag, alleen fijne structuur in kleiige insluitingen.

Overig:

Veel water boven 1ste aangebrachte laag.



onderkantstenen, 3,4+



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum

1994-06-28

get.

DrieAmbachten, Calamiteuzepolder, dp 29 +30
overzicht bodemprofiel

CO-346150

gez.

Fig. 19

form.

A4

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Calamiteuze Polder dp 31, Drie Ambachten
expositie : Noord
Taludhelling : 1:4
Onderkant : 0.8 m boven GHW
klei

Opbouw:

Klei bovenaan en klei op oude dijklichaam onderaan, klei in 2 lagen, bovenste ~0.6 m dik.

Materiaal:

Oude dijklichaam, siltige klei met zodelaag erop: Aangebrachte grond zandige klei en silt klei, bovenste laag vaak zandige klei.

Positie en bedekking:

Vlakke stenen, weinig begroeiing

Bodemvorming:

Oude dijklichaam : met duidelijke grijze subzode structuur met veel graafgangen en met spleten met helderbruine coatings, hoger op talud subzodelaag zeer dicht.

Aangebrachte grond : Klei is grijs, bovenste centimeters bruin. Bovenin normaal bodemprofiel, plaatselijk tot 0.4 m verdiept (plant). Daaronder: Veel ruimten tussen brokken van aanbrengen behalve in bovenste laag en sterk verdichte top van onderste laag (zeer hoge pocket penetrometerwaarden).

Overig:

Veel water boven zodelaag.

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Waarde Polder, Beveland
expositie : Zuidoost
Taludhelling : 1:3.5
Onderkant : < GHW
klei

Opbouw:

0.5 m klei op zand.

Materiaal:

Sterk zandige klei.

Positie en bedekking:

Haringmanblokken matig tot veel begroeiing

Bodemvorming:

Klei boven GHW bruin, daaronder grijs en zwart. Bovenaan structuur als onder gras, echter minder intens, veel brokken van aanbrengen nog herkenbaar. Onderin niet herkenbaar, behalve bovenin normale profielontwikkeling en losse kleibrokken van aanbrengen.

Overig:

Zand tot ruim boven GHW verzadigd, loopt we uit gat bij ontgraving.

Bijlage 3: Beknopte beschrijvingen.

Locatie : Boone Polder, Beveland
expositie : Zuid
Taludhelling : 1:3.5
Onderkant : ~ < GHW
klei

Opbouw:

Oud dijklichaam met ~0.6 m aangebrachte klei

Materiaal:

Oud dijklichaam, klei met herstel van zand en puin: Aangebrachte grond, klei.

Positie en bedekking:

Vlakke blokken matig begroeiing

Bodemvorming:

Oude dijklichaam: Subzode structuur, grijs en blauwgrijs, echter zeer dicht, en plaatselijk hoge pocket penetrometerwaarden

Aangebrachte grond : Klei boven GHW bruin, daaronder grijs en blauwgrijs. Bovenin klei-onderlaag normale ontwikkeling, daaronder vaak veel graafgangen en vooral bovenaan talud spleten met coatings.

Overig:

Zeer veel vrij water in spleten en gangen boven oude dijklichaam.

gewichtsverlies= relatieve gewicht dat bij de schuderrosieproef van de kluiten is verdwenen.

wl= vloeigrens, wp=uitroegrens, pi= plasticiteitsindex, wn= watergehalte, vold= droog volumegewicht, >63=zand en grindgehalte, <16= "afslibbaar" (fractie < 16 μ), <2= lutumgehalte, om= gew. % organisch materiaal,

HCl= gew.% gewichtsverlies met HCl behandeling.

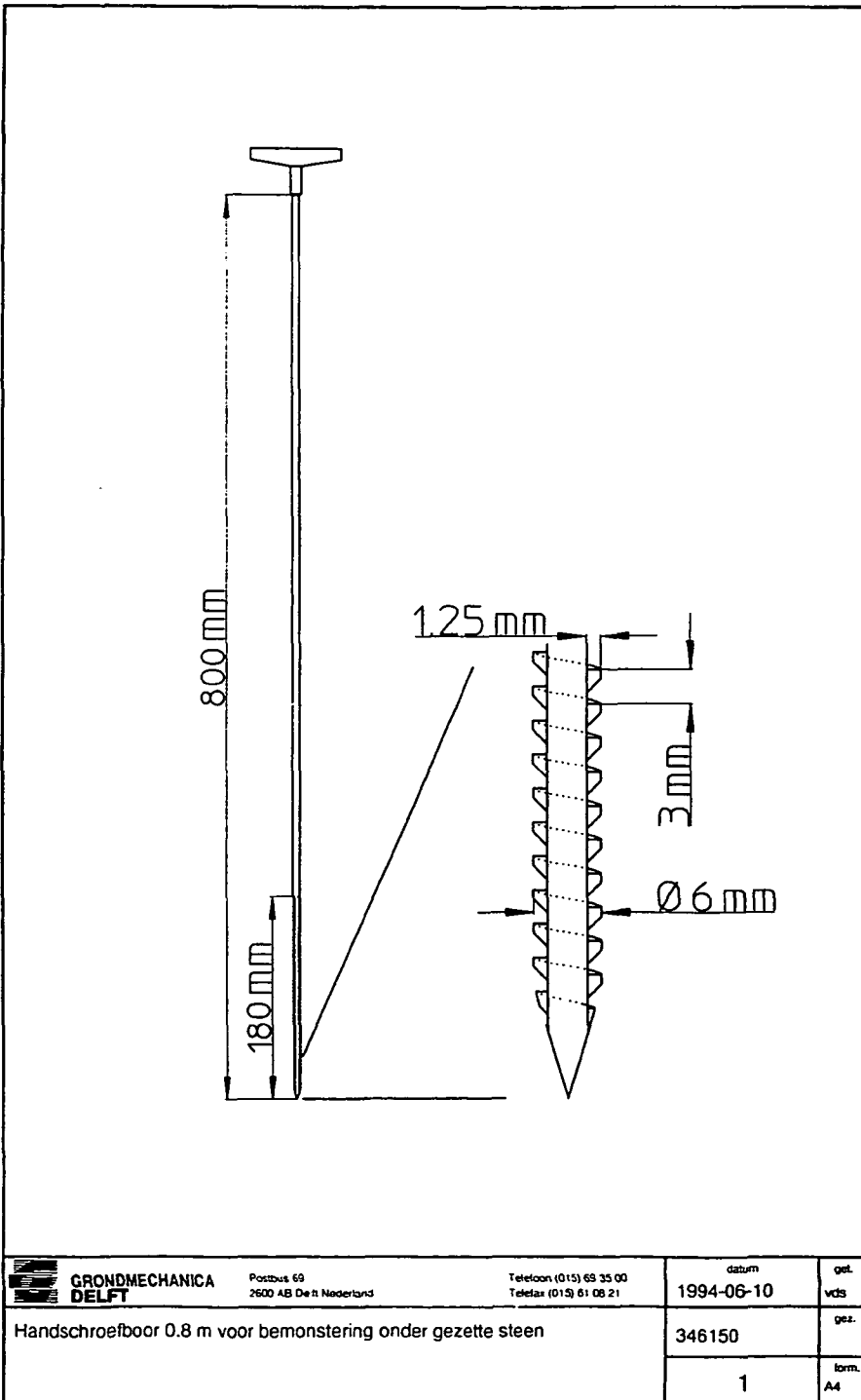
no.	gewichts- verlies [%m/m]	vorm geerdeerde.broekjes	laag structuur en samen- stelling	63 [% m/m]	<16 [% m/m]	<2 [% m/ m]	wn [% m/m]	wl [% m/m]	wp [% m/m]	pi [% m/m]	vold [t/m ³]	om [% m/m]	HCl [% m/m]
5	13,2	zeer hoekig	massief klei	9,8	60,5	41,7	31,0	51,5	20,7	30,8		1,6	17,3
36	15,3	hoekig	mbl klei	18,2	67,5	46,4	35,8	56,7	23,7	33,0		2,3	14,3
20	32,9	hoekig	mbl klei	12,0	69,5	54,6	42,4	75,7	20,2	55,5	1247	2,8	5,8
51	45,9	hoekig	mbl klei	3,5	63,5	42,4	44,3	66,0	20,3	45,7	1181	3,9	
1	49,5	afgerond (klein)	fbl klei	9,9	35,0	52,6	29,1	53,8	13,5	40,3	1382	2,1	9,0
19	50,0	zeer hoekig	fbl klei	17,1	58,1	23,8	31,6	47,6	15,3	32,3	1430	2,0	16,8
23	53,1	afgerond (klein)	fbl klei gangen	20,5	50,8	34,4	28,2	47,6	16,4	31,2		2,2	17,9
3	55,8	zeer hoekig	fbl klei gang	12,1	37,7	54,4	32,2	52,2	15,3	36,9	1378	2,0	8,5
24	58,7	zeer hoekig	fbl klei+wort els	13,7	56,7	38,3	50,8	70,8	18,3	52,5	1119	3,7	17,1
50	75,0	afgerond	fbl z+kl	18,5	54,1	38,5	45,6	62,8	19,7	43,1	1171	3,3	18,2
48	84,2	afgerond (klein)	fbl z+kl	23,7	50,2	33,3	46,4	57,3	29,4	28,0		2,5	17,0

wl= vloeigrens, wp=uitrolgrens, pi= plasticiteitsindex, wn= watergehalte, vold= droog volumegewicht, >63=zand en grindgehalte, <16= "afslibbaar", <2= lutumgehalte, om= gew. % organisch materiaal, HCl= gew.% gewichtsverlies met HCl behandeling, er= % gew. verlies bij schuderosieproef.

locatie: dijkpaal (etc.), jaar van aanleg	diepte [m -mv]	GD no.	>63 [% m/m]	<16 [% m/m]	<2 [% m/m]	wn [% m/m]	wl [% m/m]	wp [% m/m]	pi [% m/m]	vold [t/m ³]	om [% m/m]	HCl [% m/m]	er [% m/m]
Hulster Ambacht, Perkpolder West dp 81, 1976	0,20	43	31,3	41,2	29,7	22,2	38,0	18,6	19,4		1,0	11,8	
	0,55	44	27,6	40,8	28,4	19,6	36,1	18,5	17,6		1,4	11,2	
Hulster Ambacht, Kruispolder dp 200, 1981	0,40	31	11,2	72,6	51,1	45,7	69,6	25,9	43,7		2,5	16,3	
	0,55	34	28,2	51,2	37,2	25,5	49,0	19,4	29,6		2,2	12,7	
	0,65	36	18,2	67,5	46,4	35,8	56,7	23,7	33,0		2,3	14,3	15,3
	0,65	37	23,5	60,3	43,1	34,0	66,2	16,8	49,4	1367	2,9	18,4	
Oesterdam raai 42, 1986	0,10	48	23,7	50,2	33,3	46,4	57,3	29,4	28,0		2,5	17,0	84,2
	0,10	49	19,4	55,9	38,0	44,1	63,6	19,7	43,9	1171	3,3	17,3	
	0,14	50	18,5	54,1	38,5	45,6	62,8	19,7	43,1	1171	3,3	18,2	75,0
	0,25	51	3,5	63,5	42,4	44,3	66,0	20,3	45,7	1181	3,9		45,9
	0,55	53	11,9	64,4	39,0	52,0	81,7	37,9	43,8		5,0	18,2	
Vrije van Sluys, Paulina polder dp 12, 1973	0,25	11	40,6	39,1	27,3	23,1	31,0	18,8	12,1		1,8	15,1	
	0,50	16	41,1	38,3	27,4	25,4	35,2	21,1	14,0		1,9	15,9	
Vrije van Sluys, Thomas polder dp 73, 1966	0,25	9	12,5	57,2	39,3	28,4	51,4	24,3	27,1		2,2	16,5	
	0,75	10	16,6	53,9	36,4	29,5	56,0	21,4	34,6		1,5	17,7	
	0,15	1	9,9	35,0	52,6	29,1	53,8	13,5	40,3	1382	2,1	9,0	49,5
	0,35	3	12,1	37,7	54,4	32,2	52,2	15,3	36,9	1378	2,0	8,5	55,8
	0,50	5	9,8	60,5	41,7	31,0	51,5	20,7	30,8		1,6	17,3	13,2
	0,50	6	13,6	54,9	39,6	26,7	55,8	18,1	37,7	1497	1,9	17,4	
Tholen, Poortnisse Polder dp9-3, 1958	0,15	20	12,0	69,5	54,6	42,4	75,7	20,2	55,5	1247	2,8	5,8	32,9
	0,15	25	8,5	61,7	42,2	49,6	68,5	28,4	40,1		2,4	17,7	
	0,15	24	13,7	56,7	38,3	50,8	70,8	18,3	52,5	1119	3,7	17,1	58,7
	0,50	26	24,5	49,8	39,0	36,5	60,0	23,8	36,2		2,2	6,4	
Drie Ambachten, Calamiteuze polder dp29+30, 1965	0,20	17	22,8	48,0	34,0	26,9	50,3	23,6	26,6		1,8	12,8	
	0,80	18	21,7	51,2	34,1	28,4	39,6	22,2	17,4		1,8	14,3	
	0,75	27	15,6	60,5	40,8	26,4	47,3	21,4	25,9		2,5	18,4	

locatie: dijkpaal (etc.), jaar van aanleg	diep- te [m -mv]	GD no.	>63 [% m/m]	<16 [% m/m]	<2 [% m/m]	wn [% m/m]	wl [% m/m]	wp [% m/m]	pi [% m/m]	vold [t/m ³]	om [% m/m]	HCl [% m/m]	er [% m/m]
Drie Ambachten, Calamiteuze polder dp 31, 1965	0,10	19	17,1	58,1	23,8	31,6	47,6	15,3	32,3	1430	2,0	16,8	50,0
	0,10	23	20,5	50,8	34,4	28,2	47,6	16,4	31,2		2,2	17,9	53,1
Beveland, Waarde polder dp 8, 1970	0,35	28	40,6	38,7	26,1	25,0	38,5	18,9	19,5		2,4	12,6	
	0,30	29	40,0	37,6	25,0	29,7	44,2	21,1	23,1		2,3	12,6	

De handboor is een schroefboor met een diameter van 6 mm waarvan de slag 2 mm breed is en over 150 mm is aangebracht, zie bijlage 6 figuur 1. De handboor past door veel voorkomende openingen in gezette steen, indien geen geschikte opening beschikbaar is, kan deze met een geschikte (accu-) boormachine worden gemaakt. De in de schroef omhooggehaalde grond geeft een goede indicatie van de grondsoort van de klei-onderlaag. Door herhaald inbrengen in hetzelfde gat kan met deze uitvoering van de boor tot 0.5 m totale diepte worden bemonsterd.



27 Foto's met beschrijving van de verschillende waargenomen verschijnselen in klei-onderlagen.

Foto 1 (12 oes st 9) (aanleg 1986)

Grote krimp-scheuren in een klei-onderlaag. Deze krimp-scheuren ontstaan door het droger worden van te nat aangebrachte klei en blijven bestaan indien ze niet door vergraven (wormen en dergelijke) worden aangetast. In foto 21 zijn de karakteristieken van de wanden van zulke scheuren in een klei-onderlaag te zien. De randen van sommige van de scheuren zijn aangetast door blootstelling aan waterbeweging en graafactiviteit.

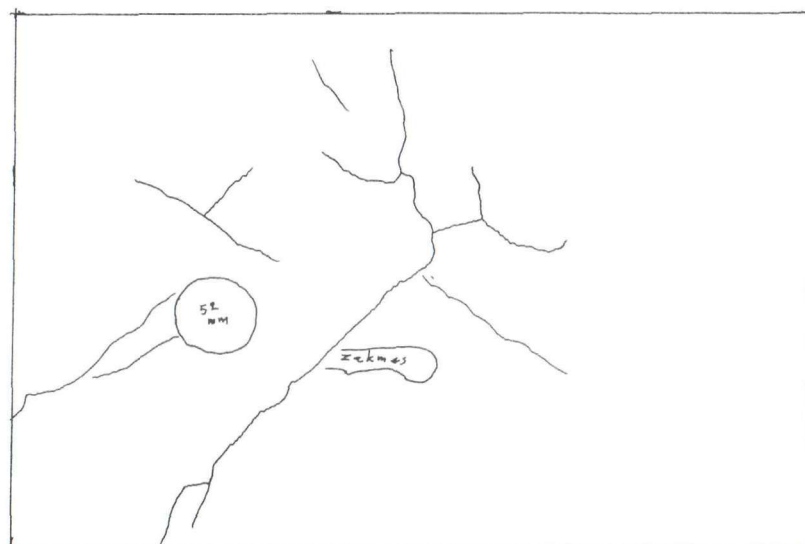


Foto 2 (22a cal w st 2) (aanleg 1965)

Ondergraving van de stenen leidt ertoe dat deze komen te rusten op kleieilandjes, sommige met een puin (mijnsteen) fragment. Op een aantal plaatsen zijn wormgangen te zien die meestal verticaal in de klei-onderlaag verdwijnen, sommige beginnen bij de rand van scheuren. Excrementen van grote en kleine wormen zijn op het oppervlak te herkennen, onder andere rond de ingang van enige graafgangen. Scheuren behorende bij een hogere orde structuur in de klei-onderlaag zijn duidelijk te zien. Elders zijn er tot 0.1 m diepte geulen onder gde stenen aangetroffen (zie foto 4). e= steendragend kleieilandje; s= spleet; w= graafgang; c= wormexcrementen.

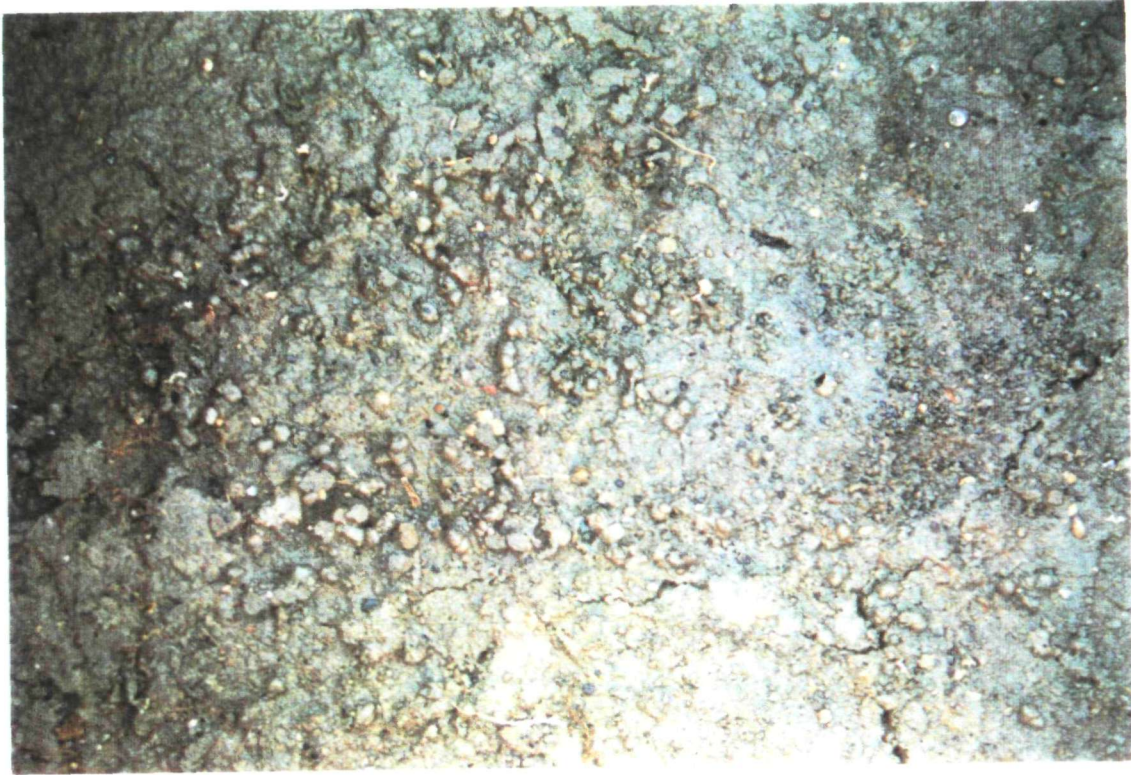


Foto 3 (18a per st 3) (aanleg 1976)

Geulen onder gezette steen. De geulen zijn in dit geval enige centimeters diep en volgen de naden tussen de stenen. Een grotere graafgang op het oppervlak loopt echter midden onder de verwijderde steen door. Deze grotere graafgang is enigszins aangetast (door stromend water naar het zich liet aanzien), wat goed te zien is bij de aansluiting ervan op de dieptere geulen. Vanuit de grotere graafgang vertakken kleinere graafgangen zich. De worm, linksonder, werd weliswaar onder de steen aangetroffen, maar het is niet duidelijk bij welke maat graafgang deze worm hoort. Op een aantal plaatsen zijn in het oppervlak de structuren te herkennen die bij de 1ste orde bodemstructuur van de klei-onderlaag horen. w = worm; g = geul; 1e = 1ste orde structuur

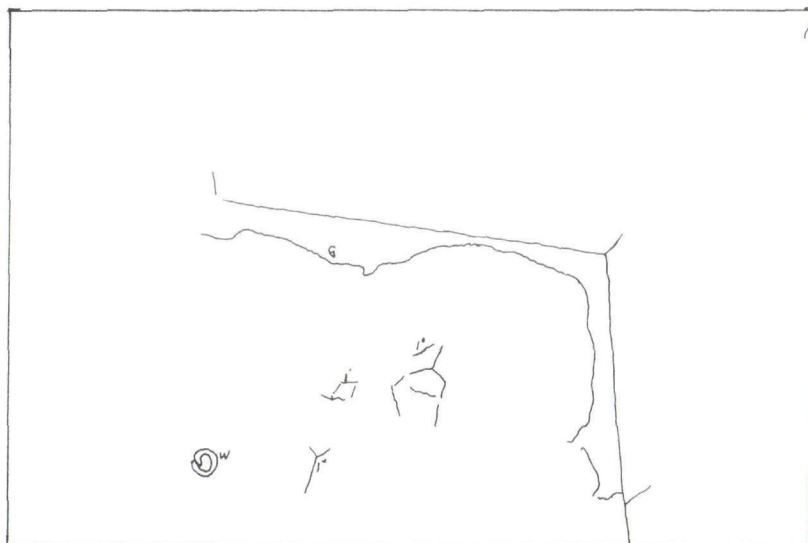
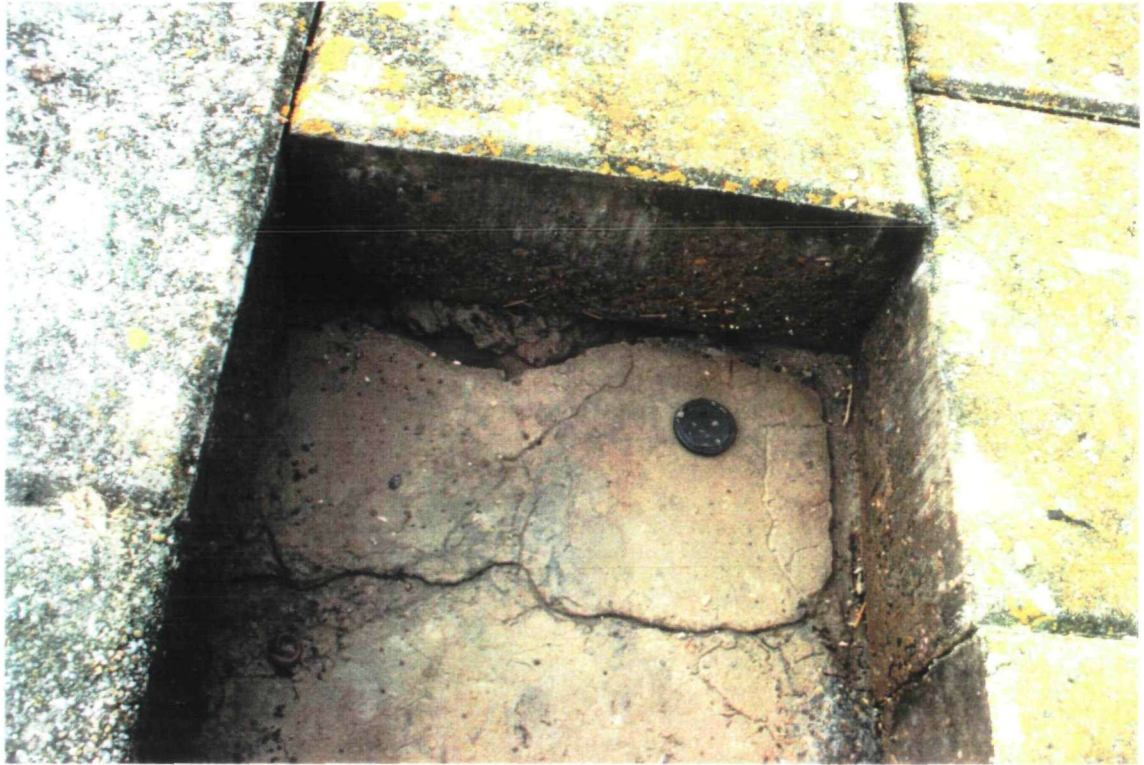


Foto 4 (26A caw st3) (aanleg 1965)

Wijde graafgang met enige vertakkingen waarvan kleinere onder een hoek de klei-onderlaag ingaan. De graafgang mond uit in een geul onder de stenen die onder de linker steen nog juist te zien is en die 60 mm diep was. Deze geulen vormden een nagenoeg continue netwerk dat de naden tussen stenen volgde, met verwijdingen en verdiepingen waar 2 naden bijeenkwamen. g= geul; w= graafgang.

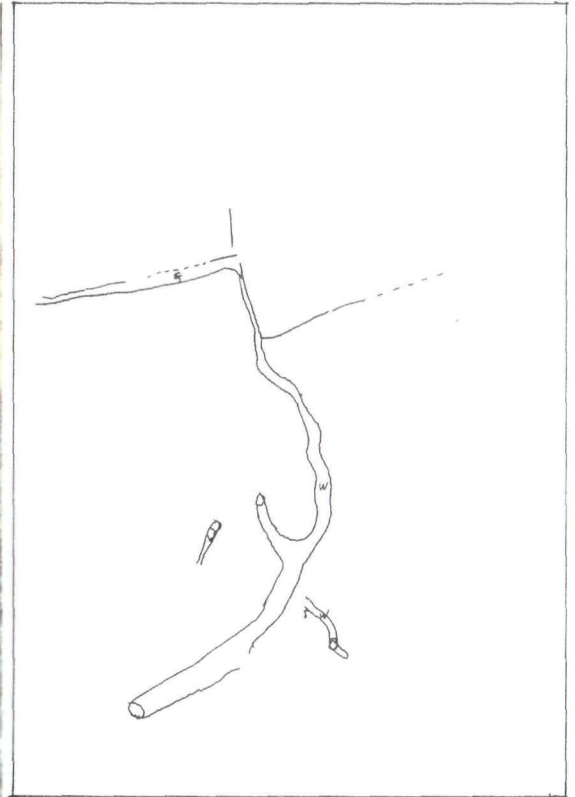


Foto 5 (3 can st 3) (aanleg 1965)

Diepere geulen (0.15 m) waarvan er één in de lengte is afgegraven en waarin de monding van een andere geul is te zien. In de wanden van de geul zijn scheurtjes te zien. Tevens is te zien dat in de geulen plaatselijk de wanden van spleten van de bodemstructuur zijn uitgeprepareerd. Links van de scherpe ribbe is de natuurlijk uitgeprepareerde wand van de spleet met de hand verder uitgegraven en blijkt de continuïteit van de beide stukken wand. De geul is gevormd in geheel door gangen doorgraven grond. g = geul; s = spleet; sw = spleetwand

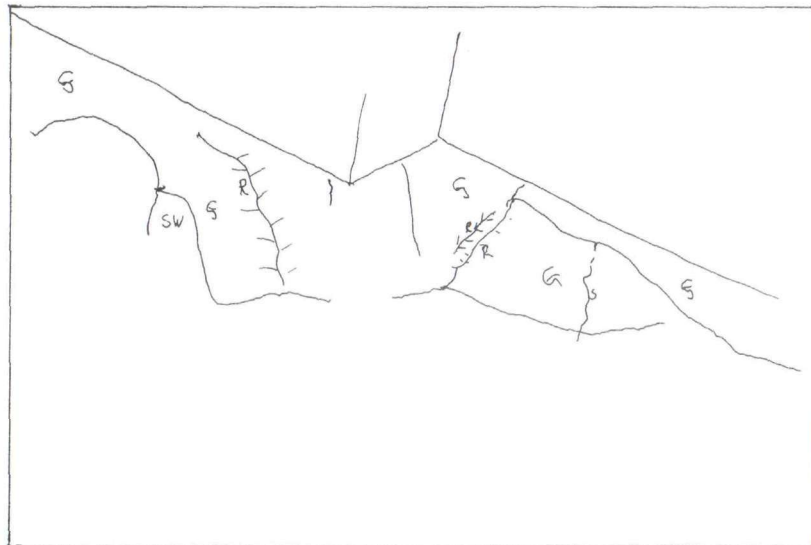


Foto 6 (1A pole) (aanleg 1958)

De gezette steen (systeem Leendertse) is geheel ondermijnd en in zijn geheel over langere stukken verzakt, doorgebogen (het talud is in 1994 vervangen). Uit de verschillende aanwijzingen is afgeleid dat de ontgraving onderaan het ontsloten stuk ongeveer 0.2 tot 0.3 m bedraagt. Geulen vanuit de ontgronde zone lopen tot een hoogte van zo'n 0.9 meter boven de hoogwaterlijn, maar worden het talud op snel smaller. In de geulen bij de basis was een rijk geschakeerd fauna aanwezig.

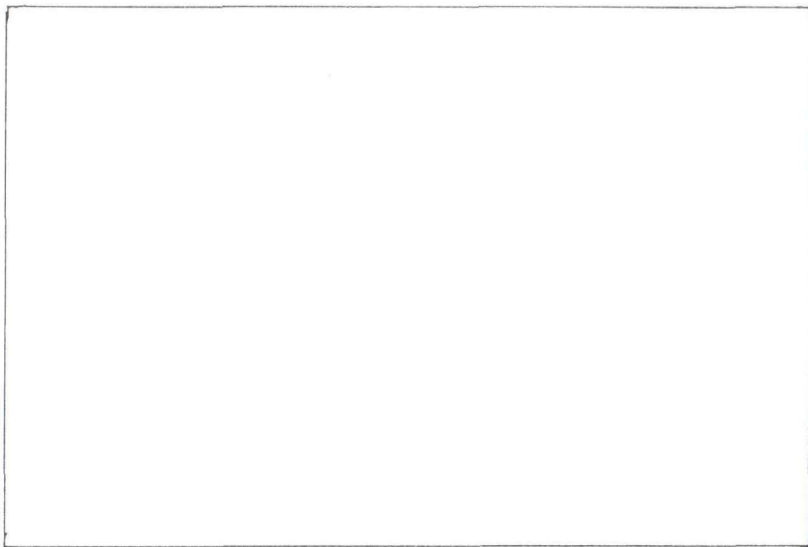


Foto 7 (13A pole) (aanleg 1958)

Detailopname van gang-vormige poriën, te weten graaggangen van kleine wormen en door graven en of doorstroming verwijfde contact tussen bodemstructuur elementen. De wanden van de gangen zijn bekleed met een helder roodbruine huid van ijzerverbindingen, plaatselijk zijn de spleetwanden tussen de elementen eveneens met een duidelijke roodbruine huid bekleed, meestal is de huid op de element-wanden minder dik echter. De bodemstructurelementen zijn gevormd toen het talud nog niet met stenen was bekleed, maar een grasbedekking had. De geprononceerde huiden en de kleine graafgangen zijn gevormd nadat het talud met stenen is bekleed. Uit de grote poriënstroomt tot bijna 1 m boven GHW vrij water uit de onderlaag. B = blok; s=spleet; w = graafgang; p=porie.

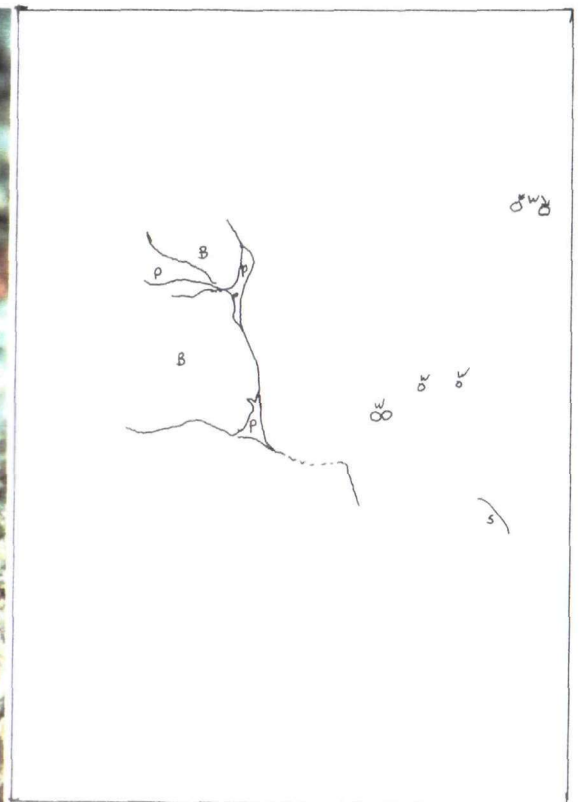


Foto 8 (13A tho) (aanleg 1966)

Geheel door dunne 1 tot 3 mm wijdde graafgangen aangetaste laag, de graafgangen hebben een dichtheid van voorkomen (in verticale doorsnede) van 300 per dm^2 . De wanden van de graafgangen hebben een helder roodbruine huid van ijzerverbindingen. Op plaatsen waar graafgangen spleten en dergelijke van de bodemstructuur kruizen is de wand van de bodemstructurelementen ook plaatselijk helder rood. De consistentie van de grond ter plaatse is los, ten dele door de kleine zeer onregelmatige structurelementen die zijn ontstaan in niet of slechts weinig verdichte grond. BR= afdruk van kluit; sw = spleetwand; s=spleet.

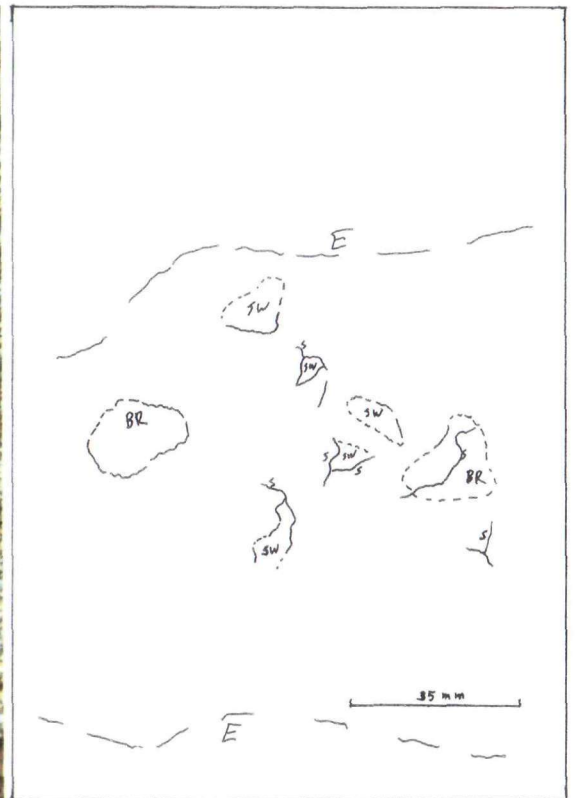


Foto 9 (8A pau) (aanleg 1973)

Plaatselijk intensief door 1 tot 3 mm graafgangen met roodbruine huiden aangetaste grond. De aangetaste grond betreft rulle grond tussen brokken dichtere grond. Een en ander is ontstaan door het storten van relatief dichte kluiten klei die niet goed aaneen gedrukt zijn bij het verdichten. De losse grond tussen de kluiten is niet verdicht en is vervolgens geheel door wormen doorgraven. Slechts plaatselijk komen graafgangen, meestal wat grotere, in de kluiten zelf voor. De kluiten klei hebben een duidelijke bodemstructuur gekregen met op de wanden van de structuurelementen met eveneens roodbruine huiden. BR = kluitafdruk; w = grtotere graafgang; T = opgevulde ruimte tussen kluiten.

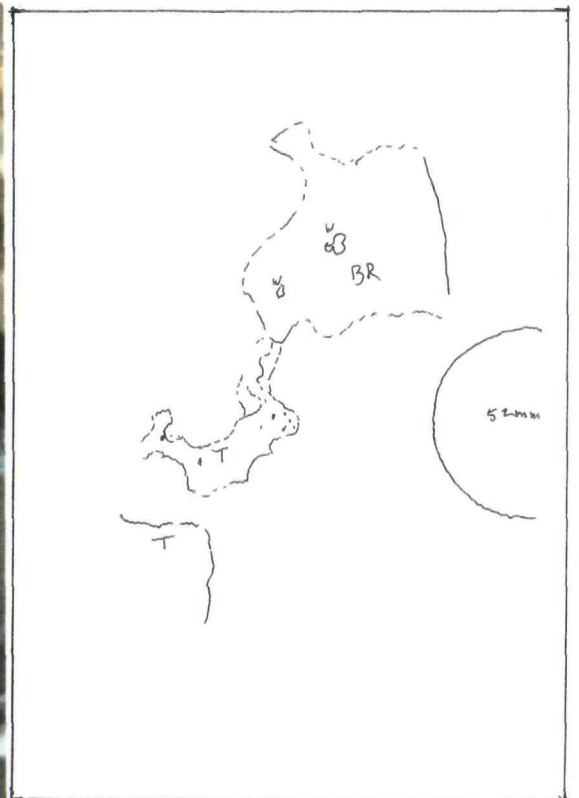


Foto 10 (18A tho) (aanleg 1966)

Rulle grond (onregelmatige kruimelige structuur) met zeer veel graafgangen, direct onder de gezette steen, zowel graafgangen als kruimels hebben roodbruine verkleuringen die vaak in 5 tot 15 mm dikke banden voorkomt. Plaatselijk komen kleine oppervlakken voor met een dichtere fijne blokken structuur. Het is waarschijnlijk dat deze rulle structuur is ontstaan in niet verdichte grond. Ter plaatse kwamen in het talud tot meer dan een decimeter diepe glooiende verzakkingen van de gezette steen voor, welke waarschijnlijk eveneens het gevolg zijn van het niet voldoende verdichten van de toplaag. L = gelaagdheid; s = spleet; sw = spleetwand; fb = fijne blokkenstructuur; Opp. = oppervlak onderlaag.

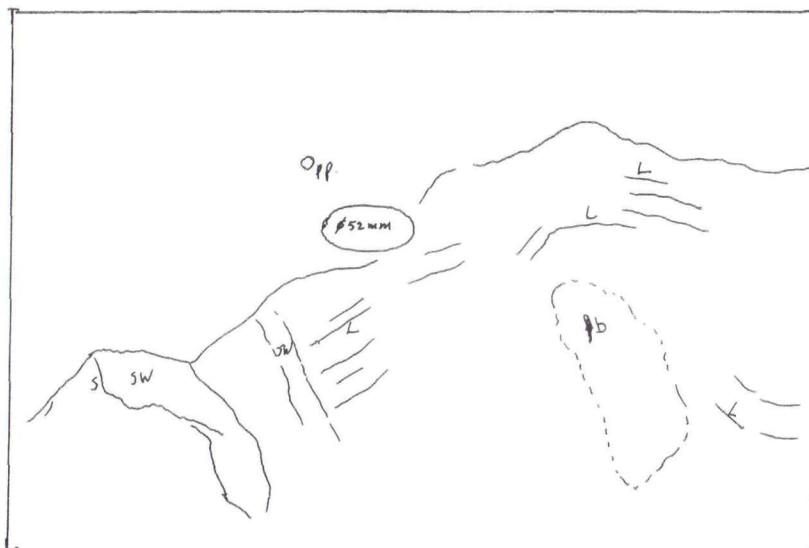


Foto 11 (37 waa) (aanleg 1970)

Zeer rulle kleigrond met grijze en zwarte (ijzersulfiden) kleuren juist boven GHW. De grond bestaat uit losgepakte kruimels van 5 tot 10 mm, waarvan de wanden direct onder de gezette steen vaak een zwakke roodbruine verkleuring hebben. De grond is kennelijk niet verdicht na het aanbrengen. 1 = duidelijk zichtbare kruimels (door verkleuringen); 2 = snede door laag met kruimelstructuur; z = zwarting (ijzersulfide-aanrijking).

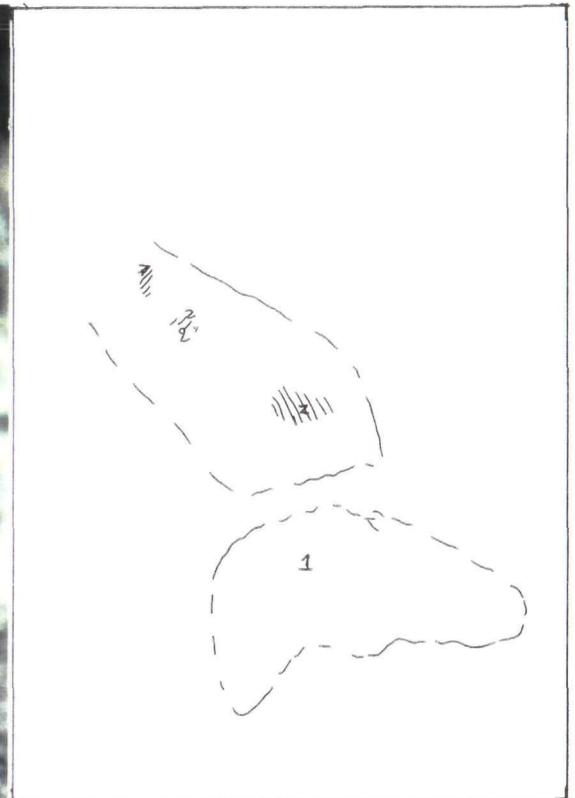


Foto 12 (3A pau) (aanleg 1973)

Onderdeel van een klei-onderlaag waarin de structuur van het aanbrengen is te herkennen als kluiten blauwgrijze klei met langs de wanden ervan bruine en roodbruine verkleuringen (impregnatie). De ruimte tussen de brokken is ter plaatse veel meer dichtgedrukt dan het geval is bij de grond van foto 9, slechts plaatselijk zijn nog open spleten herkenbaar. Er zijn slechts zeer weinig graafgangen aangetroffen tussen de kluiten. De kluiten zijn echter niet zodanig aaneengedrukt dat er geen oxiderende omstandigheden (toetreden lucht) konden ontstaan, blijkens de verkleuringen van de wanden van de kluiten. De kluiten zelf hebben weinig bodemstructuurvorming ondergaan en zijn stevig. K= kluit; St= spleet door uiteenvallen kluiten na afgraven.

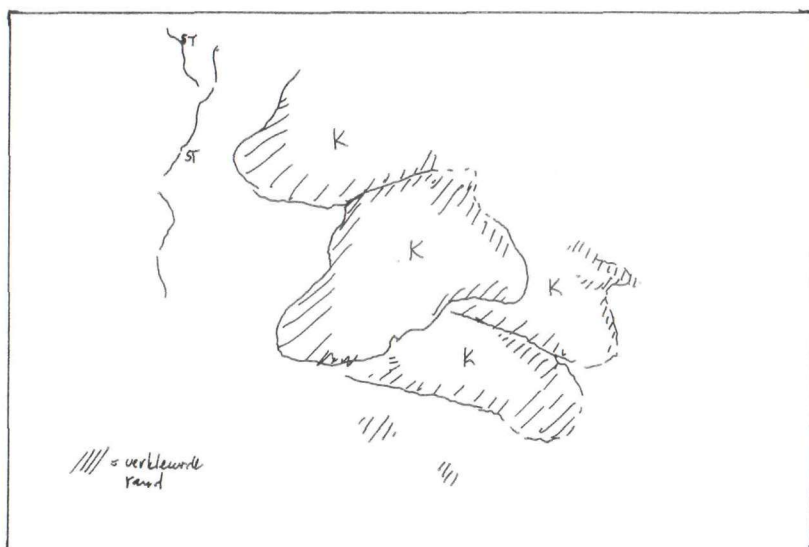


Foto 13 (27A per) (aanleg 1976)

De blauwgrijze laag betreft een zode laag (bovengrondse deel van zode en toplaag van de grond is weggehaald). De grond onder de zodelaag heeft de bodemstructuur van grond onder graszode en ook de kleur, zij het wat vlekkeriger, maar is zeer dicht en stijf. Er zijn nagenoeg geen open wormgangen meer in aangetroffen en de bodemstructurelementen zijn slechts te herkennen aan de fijne wortelsporen op de wanden ervan, vaak is een vers breukvlak van de grond onafhankelijk van de oorspronkelijke bodemstructuur. De aangebrachte grond boven de zodelaag is eveneens bruin en heeft een plaatselijk ontwikkelde bodemstructuur, maar is veel minder stevig. Plaatselijk treedt er water uit de grond boven de zodelaag. De blauwgrijze kleur van de oude zodelaag is het gevolg van de reducerende omstandigheden in de laag. Die omstandigheden zijn ontstaan doordat de oorspronkelijk aanwezige vrije zuurstof door micro-organismen is gebruikt om organisch materiaal af te breken dat overvloedig aanwezig was in de laag. Doordat de klei onder en boven de laag dicht was (verdicht en nog geen bodemstructuur met open spleten) is de zuurstofconsumptie veel sneller geweest dan de aanvoer ervan. Op sommige plaatsen wijzen zwarte verkleuringen in en de geur van de zodelaag op ijzersulfidevorming. E= begrenzing zodelaag; sw = verkleurde spleetwand; fb= fijne blokken structuur; p= zeer fijne platige, of gefolieerde structuur.

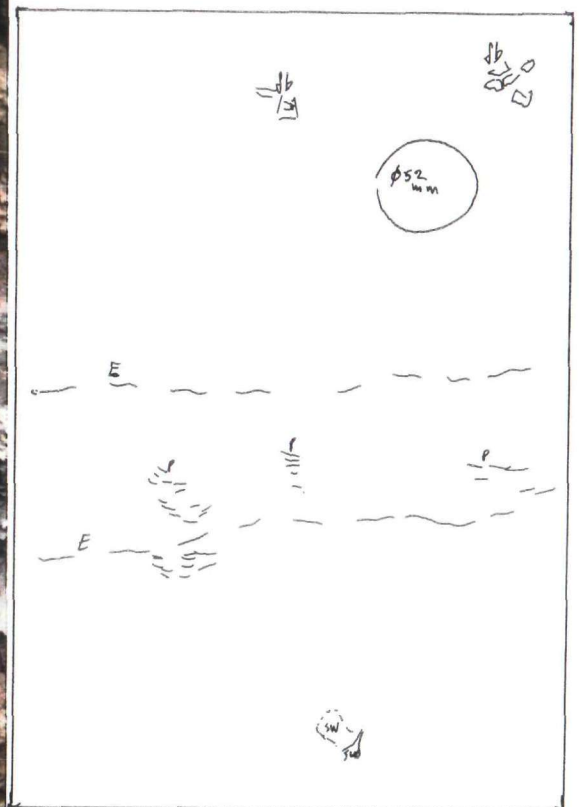


Foto 14 (19 boo) (aanleg 1975)

De bruingrijze bovenlaag van de grond wordt onregelmatig dunner naar de hoogwaterlijn toe. De bovenkant van de ter plaatse blauwgrijze grond ligt juist boven hoogwaterniveau en loopt iets omhoog dijkinwaarts. De onderlaag ter plaatse bestaat uit een oud dijklichaam met een deels verwijderde zodelaag en daarop aangebrachte klei. De onregelmatigheden in de grens tussen grijze en bruingrijze klei zijn het gevolg van onregelmatigheden van het oude grastalud, onder andere door herstel van schadeplekken in de zode met losse klei of soms met schoon zand. B = grens grijs-bruine (oxiderende -reducerende omstandigheden); z = zodelaag; sc taludschade oude dijk; opp. = oppervlak onderlaag.

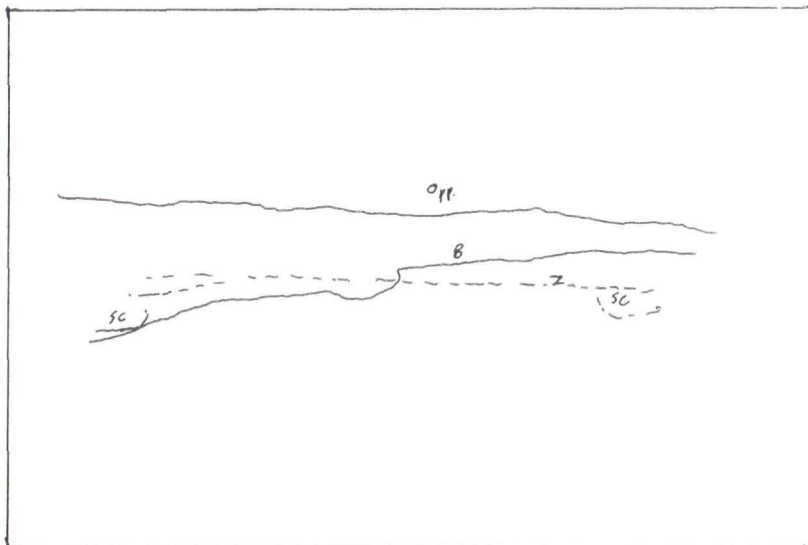


Foto 15 (32 waa) (aanleg 1970)

Overgang van grijze en blauwe klei naar bruingrijze klei. Het bovenkant van de grijze grond ligt op of net boven hoogwaterniveau. Het water in de kuil is uit het zand van kern van de dijk omhooggekomen, waarbij het zeer veel zand meevoerde, totdat er zoveel grond van de terugschrijdende wand in de kuil was terechtgekomen dat het opdrijven van het zand effectief stopte. B = grens grijs-bruine (oxiderende - reducerende omstandigheden); H = water; opp. = oppervlak onderlaag (met strooisel).

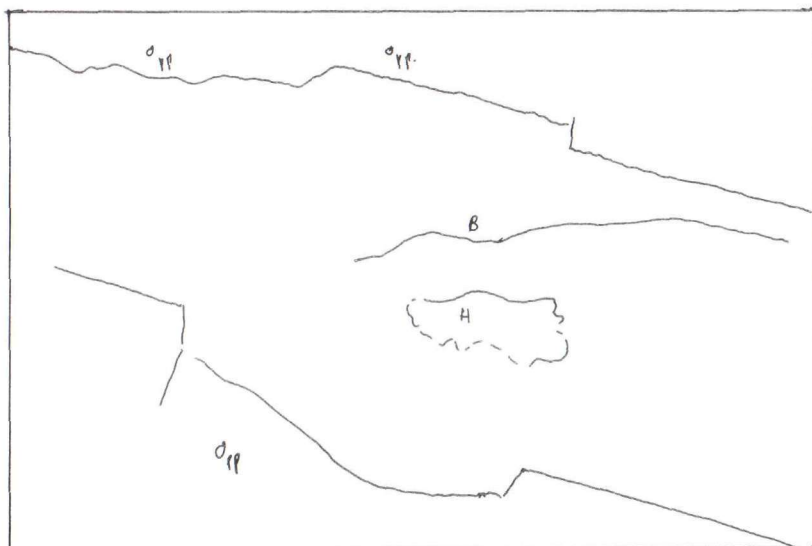


Foto 16 (4A pau) (aanleg 1973)

Bodemstructuur van centimeter-grote hoekige blokken. De wanden van de elementen zijn roodbruin verkleurd (huid en impregnatie). De spleten zijn over het algemeen nogal vlak en zijn vaak over 50 mm of meer te vervolgen en zijn 0.2 tot meer dan 0.5 mm wijdt. De blokken passen goed open in de stapeling, maar vallen bij ontgraven uit de wand en hebben onderling geen cohesie. ST= spleet door bezwijken wand van ontgraving langs eerste orde vlak; s1e= spleet 1ste orde; sw1= spleetwand 1ste orde.

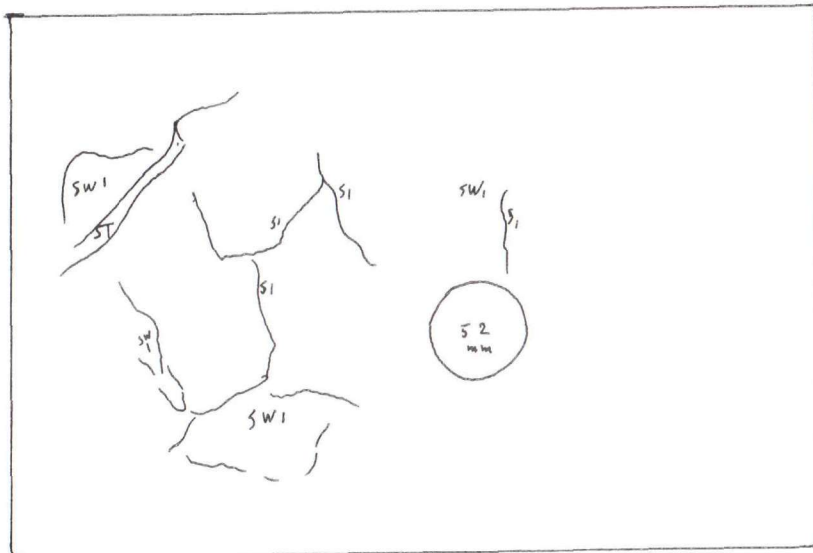


Foto 17 (32A caw) (aanleg 1965)

Bodemstructuur van centimeter-grote hoekige blokken juist boven de overgang naar dichte grijze klei met slechts plaatselijk ontwikkelde bodemstructuur. De wanden van de spleten van de structuur zijn helder roodbruin gekleurd. Bij de overgang naar de grijze klei met weinig bodemstructuur komen echter ook zwarte huiden (waarschijnlijk ijzersulfide) op de wanden voor en de wanden van de blokken van de structuur in de grijze klei hebben nagenoeg geen verkleuring. De overgang tussen verschil in bodemstructuur en chemisch-mineralogische omzettingen treedt binnen 0.15 m op. De laag met centimeter-grote blokken is de overgang van een veel fijnere structuur en de daaronder gelegen laag met slechts plaatselijk ontwikkelde blokkenstructuur. 1 = zone met fijne blokken structuur; 2 = zone met plaatselijk centimeter structuur; 3 = wand van deels spleet deels graafgang; z = spleetwand met zwarting (ijzersulfide)

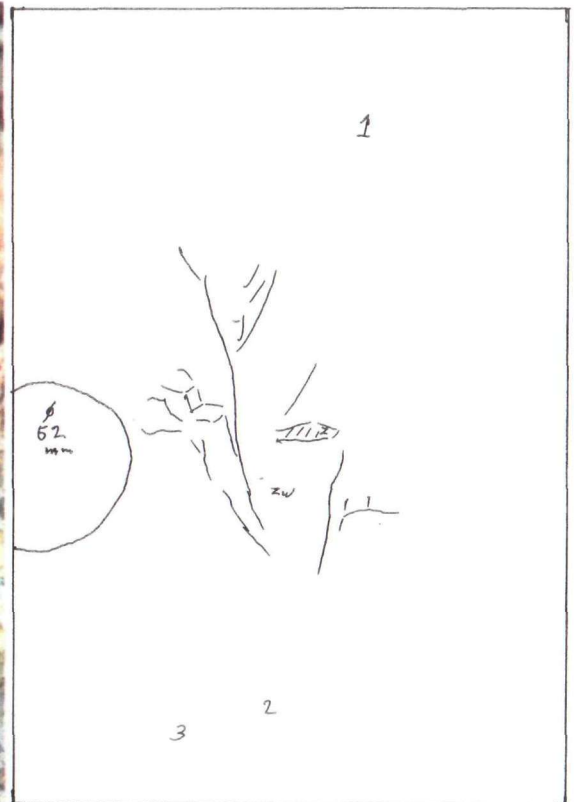


Foto 18 (5A pau) (aanleg 1973)

Bodemstructuur van centimeter-grote hoekige, soms platige blokken in zeer losse willekeurige stapeling. Er komen soms centimeters grote open ruimten voor tussen de brokken. Deze extreem open pakking van de blokken van een bodemstructuur kan niet verklaard worden met krimpen en zwellen van de grond, mogelijk heeft ijsvorming in deze ondiepe laag van nogal siltige zandige klei de losse pakking doen ontstaan. De grond is nog geheel grijs hetgeen voor onverzadigde grond ruim boven hoogwater wijst op droge omstandigheden waarin de karakteristieke bruine en roodbruine neerslagen niet ontstaan door zowel afwezigheid van transport middels water van benodigde stoffen alswel afwezigheid van voldoende water waarin de neerslagvormende reacties plaatsvindt en dat zelf ook meedoet in de reactie. 1= zeer grote open ruimten tussen blkjes van 4; 2= centimeter blokken structuur; 3= millimeter blokken structuur; 4= zeer los gestapelde millimeterblokken structuur.

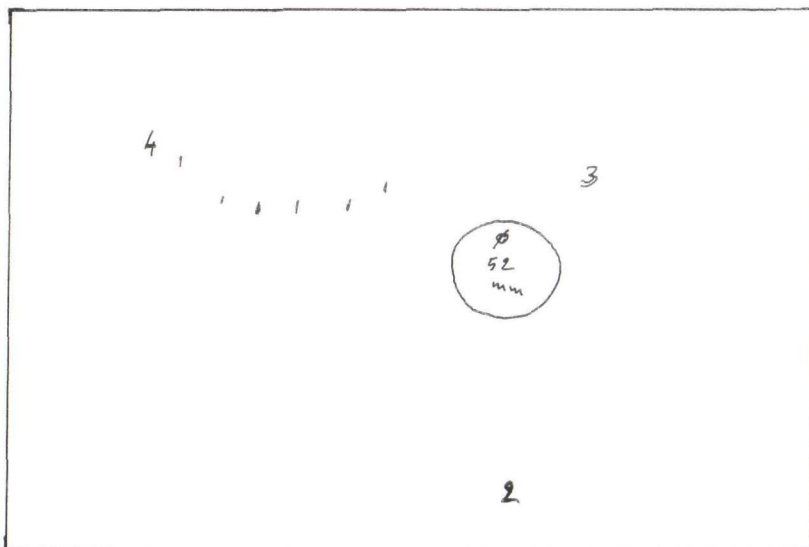


Foto 19 (30Al kru) (aanleg 1981)

Bodemstructuur van kleine, 6 mm, hoekige blokken in nauw aaneensluitende pakking waarin spleten amper zichtbaar zijn. De klei vervormt plastisch bij bewerking met een mes, het uitprepareren van de structuur in zulke grond vergt dat er telkens slechts kleine stukjes grond tegelijk verwijderd worden. De structuur bevindt zich in klei op 0.4 m boven hoogwaterniveau op 0.25 m het klei-oppervlak. 1 = duidelijk herkenbare fijne bl;okken structuur; sw = spleetwand 1ste orde structuur met zwarting (ijzersulfide).

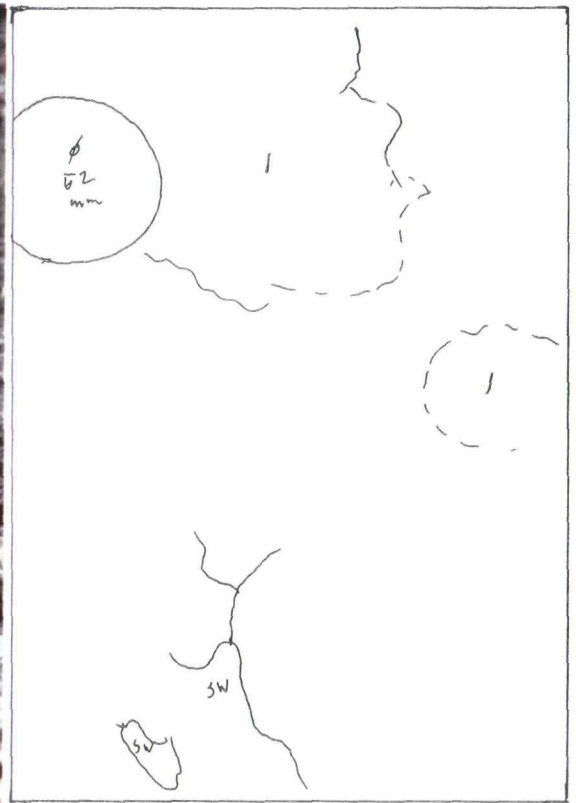
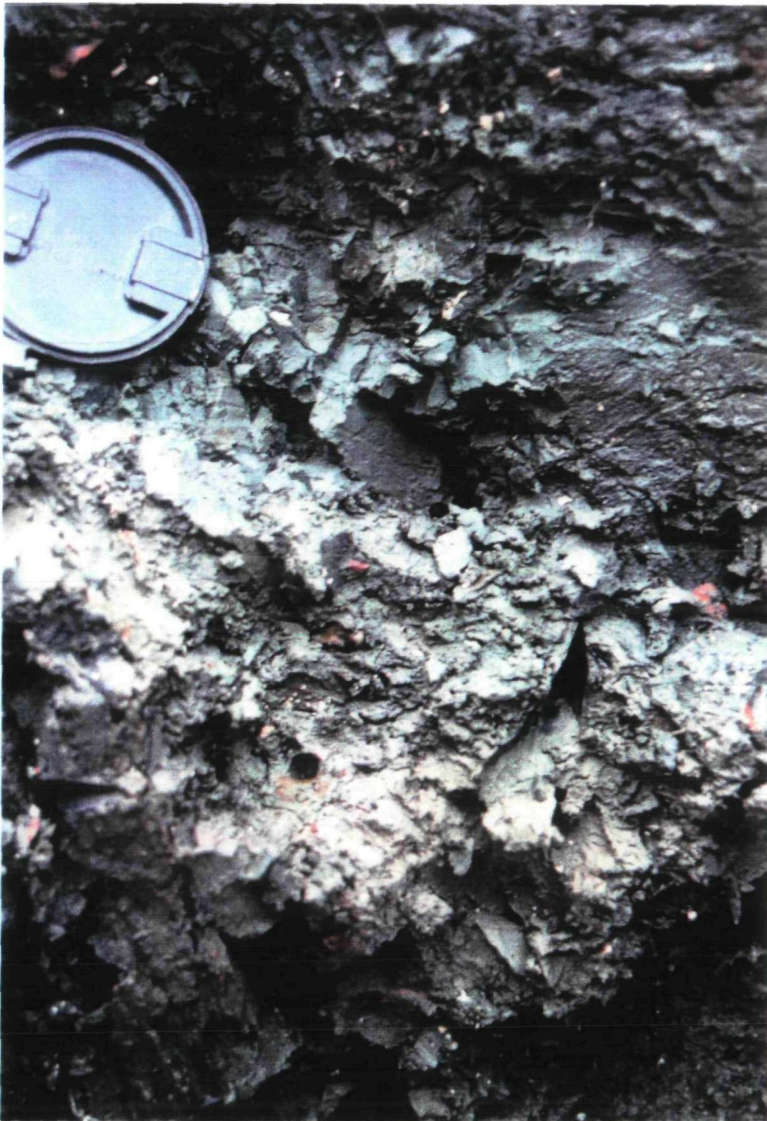


Foto 20 (29 waa) (aanleg 1970)

Bodemstructuur van hoekige blokken van ongeveer 5 tot 15 mm klei met veel zandinsluitingen, laagjes en lens-vormig. Soms zijn de spleten van de structuur in de kleistukken nog enige millimeters tot centimeters in zeer zandige klei insluitingen te vervolgen. De wanden van de blokken hebben plaatselijk een zwakke bruin verkleuring, maar zijn meestal grijs. De grond is te weinig vochtig geweest om aanvoer van ijzer uit de omgevingen met reducerende omstandigheden aan te voeren, en misschien ook te weinig vochtig om reacties te doen plaatsvinden. znd= zandlaagjes; 1= kleiblokken met fijne blokken structuur; 2= spleet door zandinsluiting.

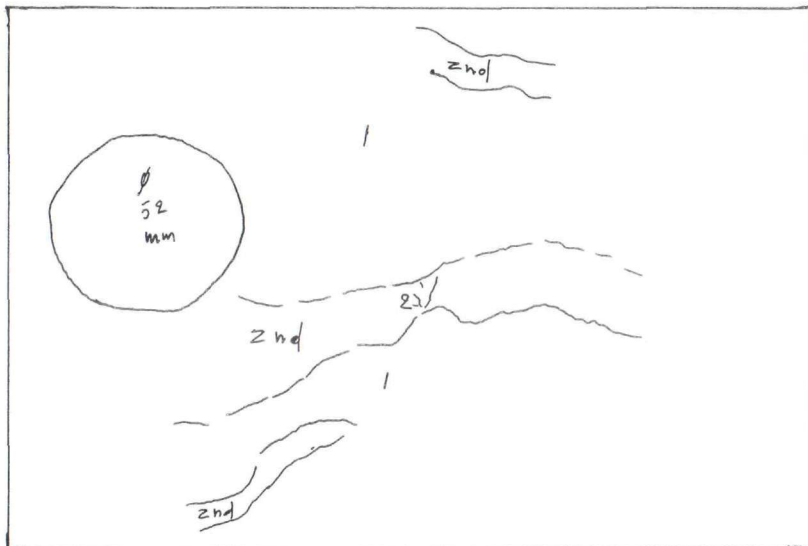


Foto 21 (18 oes) (aanleg 1986)

De wand van een grote spleet in een klei-onderlaag. De wand is van een spleet die onderdeel uitmaakt van een systeem van spleten dat 4 tot 6 hoekige verticale prisma's met een diameter van zo'n 0.10 tot 0.25 m in de grond vormt en die tot 10 mm wijdt zijn (zie foto 1). De spleten lopen op deze locatie door nagenoeg de gehele klei-onderlaag van 0.7 m dikte op zand. De grond in de prisma's heeft bovenin reeds een blokkenstructuur met blokken van centimeters grootte, dieper in de onderlaag bestaan de prisma's uit soms duidelijk herkenbare grote blokken. De wanden van spleten zijn bedekt met een tot 1 mm dikke huid van roodbruine ijzer- en aanverwante verbindingen. Opsommige plaatsen is een duidelijke iriserend olie-achtig oppervlak te zien hetgeen duidt op een bacterie-laag op het oppervlak. De spleten zijn ontstaan door het krimpen van te nat aangebrachte klei, waarvan het watergehalte na het aanbrengen is gedaald tot het in overeenstemming is met de omstandigheden in de directe omgeving van de klei-onderlaag. sw = spleetwand; 1 = centimeterblokken structuur; 2 = fijne blokken en kruimelstructuur van toplaag.

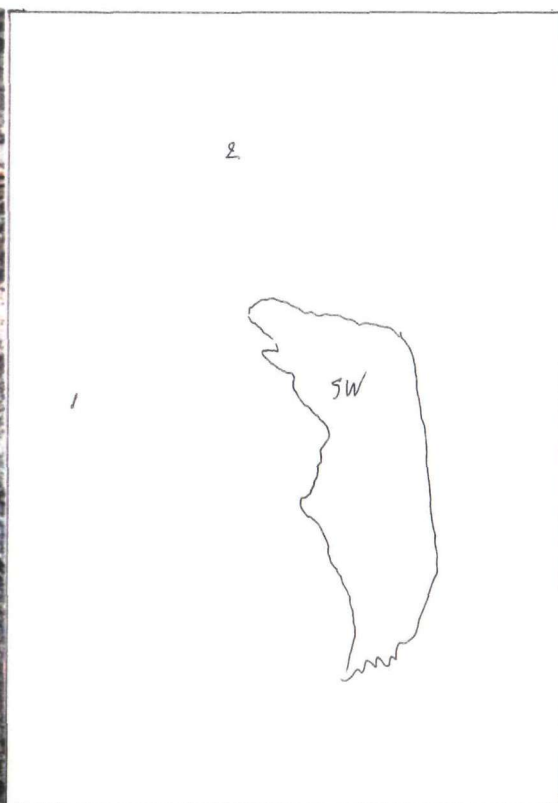
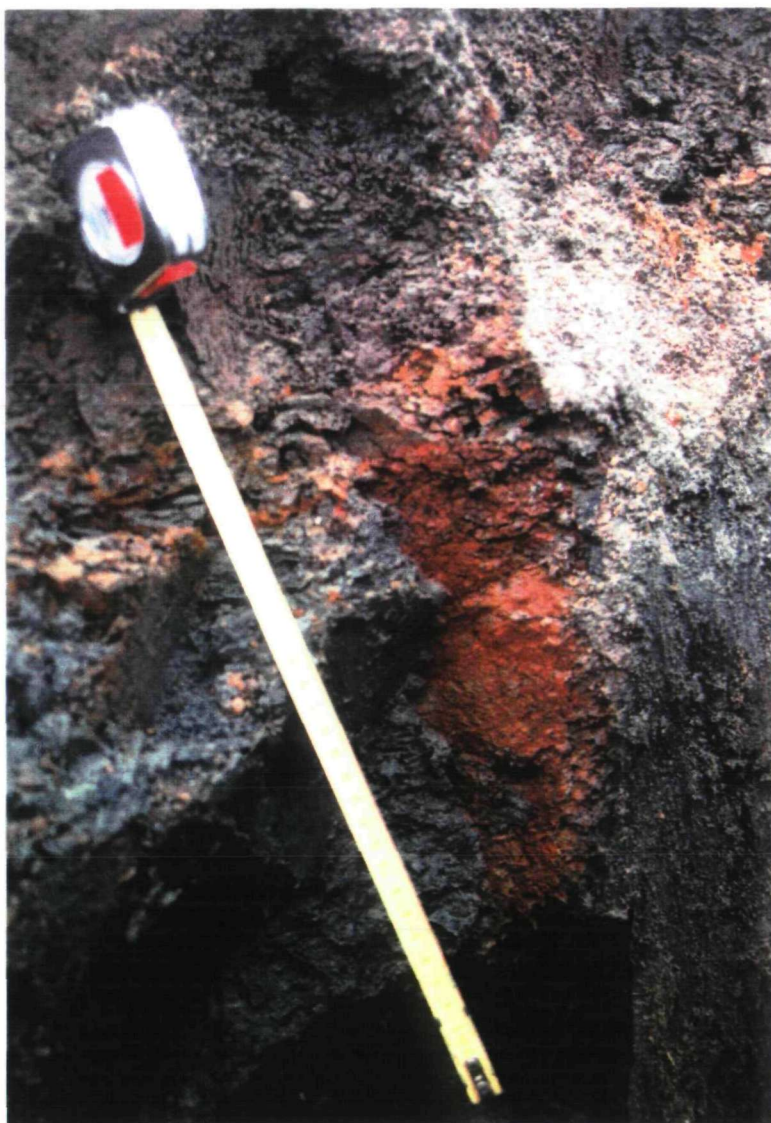


Foto 22 (25 oes) (aanleg 1986)

De wand van een grote spleet die is ontstaan in te nat aangebrachte klei die is gedroogd tot het watergehalte van de klei-onderlaag in evenwicht was met de omstandigheden in de directe omgeving. De spleet is niet geheel continue, hetgeen samenhangt met de wijze van vorming van spleten, scheuren, in drogende of zwellende grond. De scheuren groeien langzaam de grond in door de spanning die de drogende, krimpende grond uitoefent en doordat de scheur zelf voor contact van het front van de scheur met de "drogende" omgeving zorgt. Vanuit de wand van initiële scheuren, waar de grond ook droogt en krimpt, ontstaan nieuwe, dwars-, scheuren die elk weer het contact van klei met de omgeving bevorderen en waarlangs uitwisseling van vocht en chemische omzettingen plaatsvinden. sw = spleetwand; s = spleet; I = impregnatie.

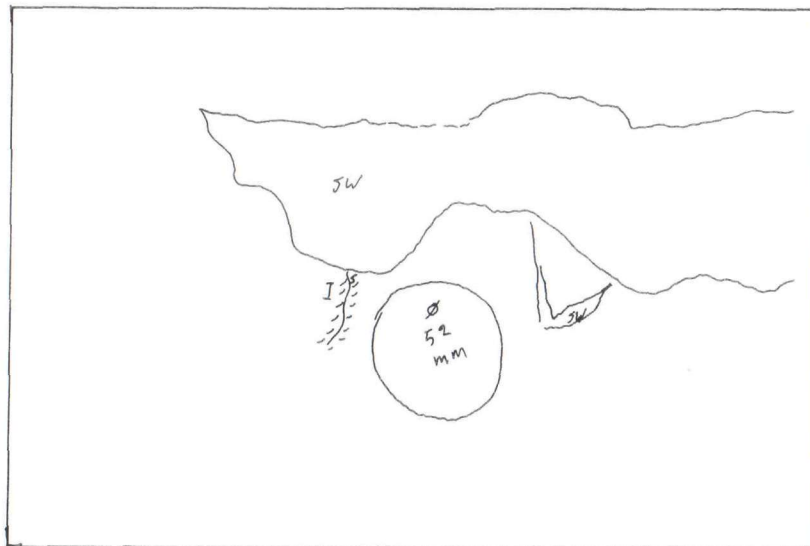


Foto 23 (16A pol) (aanleg 1958)

Neerslagen, huiden en impregnaties, van bruine en bruinrode ijzerverbindingen en van klei langs een spleetsysteem dat gevormd is toen het talud nog een grasbedekking had. In de oorspronkelijke grond bestonden grote diepe spleten (foto is 0.4 m beneden bijbehorende zodelaag) waarlangs veel grote wortels naar beneden drongen en die later ook door dikke wormen werden gebruikt. Door verandering van omgevingsomstandigheden (verdwijnen van vegetatie en zakking) is de grond natter geworden waardoor op en bij de wanden de nog goed drainerende grote spleten ijzer- en gerelateerde verbindingen zijn neergeslagen. Later zijn kleideeltjes hoger in de onderlaag gedispergeerd ("opgelost") en neergeslagen langs de wanden van sommige grote spleten en graafgangen. c = klei- huiden; I = zone met impregnatie langs wanden van spleten en grafgangen; s = spleten oorspronkelijke 1ste orde structuur.



Foto 24 (18A pol) (aanleg 1958)

Een door spleten en dunne, 1 mm, graafgangen omgeven blok uit de bodemstructuur zoals die zich onder gras ontwikkelt, echter geheel door de veranderde omgevingsomstandigheden aangetast. De grond bevindt zich thans op ongeveer hoogwaterniveau, maar de structuur van de grond is naar het zich laat aanzien gevormd onder gras en de grond lag toen zeker 0.2 tot 0.4 m boven hoogwaterniveau. Door het natter worden vande omgeving (zakking en verdwijnen van vegetatie) zijn uiteindelijk reducerende omstandigheden gaan heersen. De stoffen die de bruine kleuren geven aan grond onder graszode zijn door micro-organismen omgezet in verband met de oxidatie van de relatief grote hoeveelheid afbreekbaar organisch materiaal. Plaatselijk zijn helder gele vlekken op wanden van blokjes te zien die duiden op plaatselijk opnieuw ontstane oxiderende omstandigheden, mogelijk als gevolg van het veranderen van de bodemstructuur. B=blokken oorspronkelijke structuur; 1= gele verkleuringen (ferrihydroxide); w= kleine graafgangen.

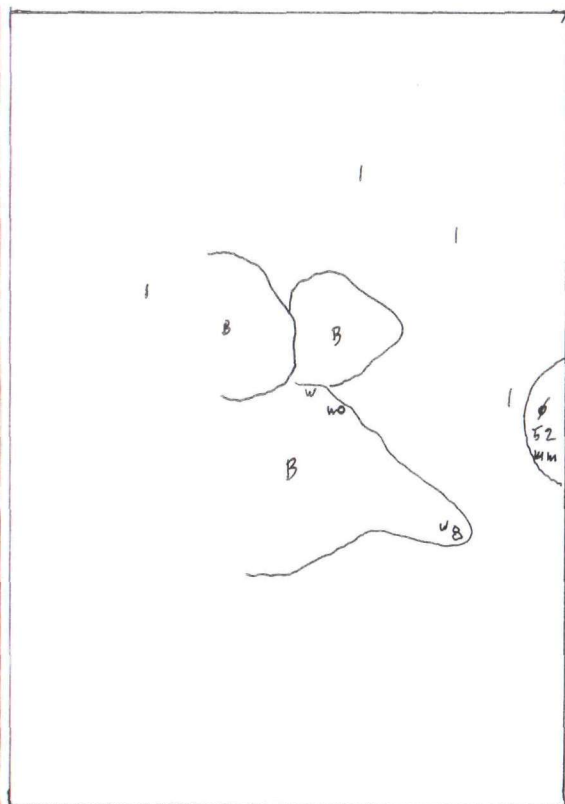


Foto 25 (22 oes) (aanleg 1986)

Grotere gebogen graafgangen in zachte klei zonder duidelijke bodemstructuur, maar die bij voorzichtig ontgraven kruimelig aandoet. De graafgangen lijken op die in beschrijvingen van sommige wadwormen, echter de diameter is relatief fors. De graafgangen beperken zich tot die zones waar de grond relatief zacht is en de kruimelig aandende structuur heeft. de wanden van de graafgangen hebben de karakteristieke roodbruine huiden van gedraineerde macroporiën in grijze klei. w = graafgang; 1 = zones met veel kleine graafgangen; 2 = zone met rulle, krui

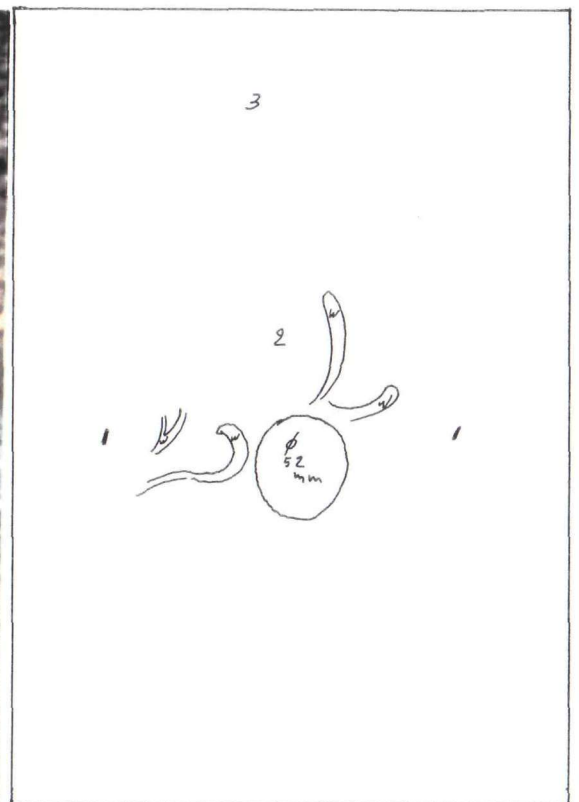


Foto 26 (23 oes) (aanleg 1986)

Combinatie van spleten, dunne en wijdere graafgangen in grijze klei aan de basis van een zone waarin die verschijnselen optreden in de onderlaag. De fijne wormgangen komen in de zachte rulle grond zeer veel voor. De wijde graafgangen komen in de zachte wat dichtere klei voor. De graafgangen volgen enigszins de grotere spleten van de bodemstructuur die aan het ontstaan is als gevolg van drogen van te nat aangebrachte grond. De spleten zijn niet zeer uitgebreid omdat er grote variatie in dichtheid en samenstelling is van de onderlaag ter plaatse. Op de meeste plaatsen hebben de fijne graafgangen een bruine en roodbruine huid, evenals de spleetwanden. De spleten die in de grijze klei dringen hebben bovenaan nog een roodbruine huid of impregnatie, maar dieper in de klei zijn de wanden vaak zwart, hetgeen er op wijst dat de spleten zich vormen onder reducerende omstandigheden. Het watergehalte daalt kennelijk reeds zodanig dat er scheurvorming optreedt, zonder dat er voldoende vrije zuurstof (lucht) bij de spleet is om rood en bruin gekleurde ijzer-verbindingen te vormen. De spleten vormen zich dan hetzij in kortdurende droge perioden, of onder verzadigde omstandigheden. so = spleten met oxiderend milieu; sw = spleetwand; 1 = zones met veel fijne graafgangen met oxiderende milieu in gereduceerde grond; 2 = fijne graafgangen in oxiderende omstandigheden.

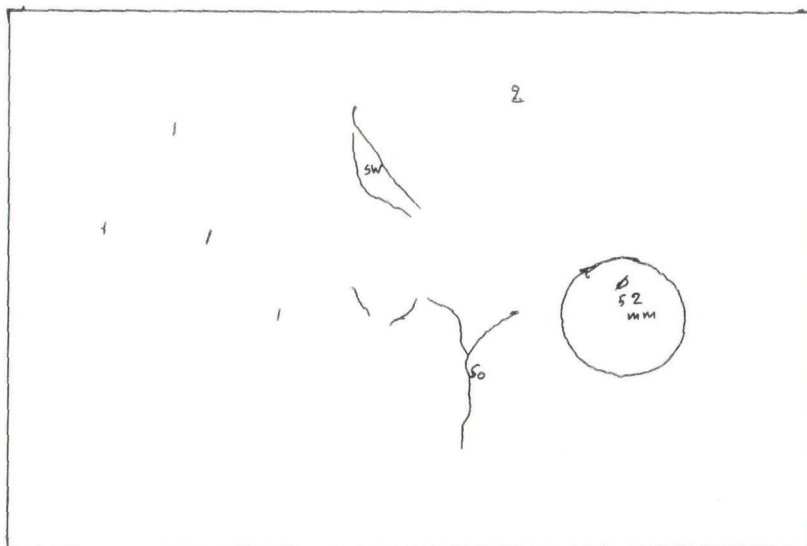
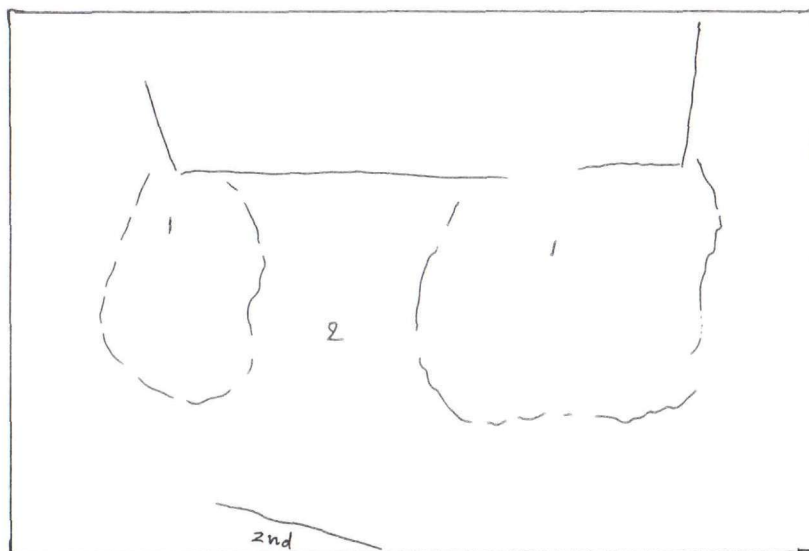


Foto 27 (22 waa) (aanleg 1970)

Graswortels tussen en onder stenen waartussen zeer dichte begroeiing aanwezig is. De wortels dringen op deze locatie tot in de grond nder de stenen door, maar zijn beperkt tot de directe omgeving van de naden tussen de stenen. Ter plaatse komen er veel regenwormgangen in de grond onder de gezette steen voor. 1 = zone met relatief veel wortels; 2 = klei-onderlaag (0.5 m) van klei met fijne blokken structuur en zandinsluitingen; znd = zand (kern).



De bijlage is in DEEL II van dit rapport opgenomen en bevat de detailgegevens van de 11 onderzoekslocaties, met voor elke locatie:

- taludgeometrie, met monsterlocaties
- profielbeschrijvingen
- bijbehorende profielschets

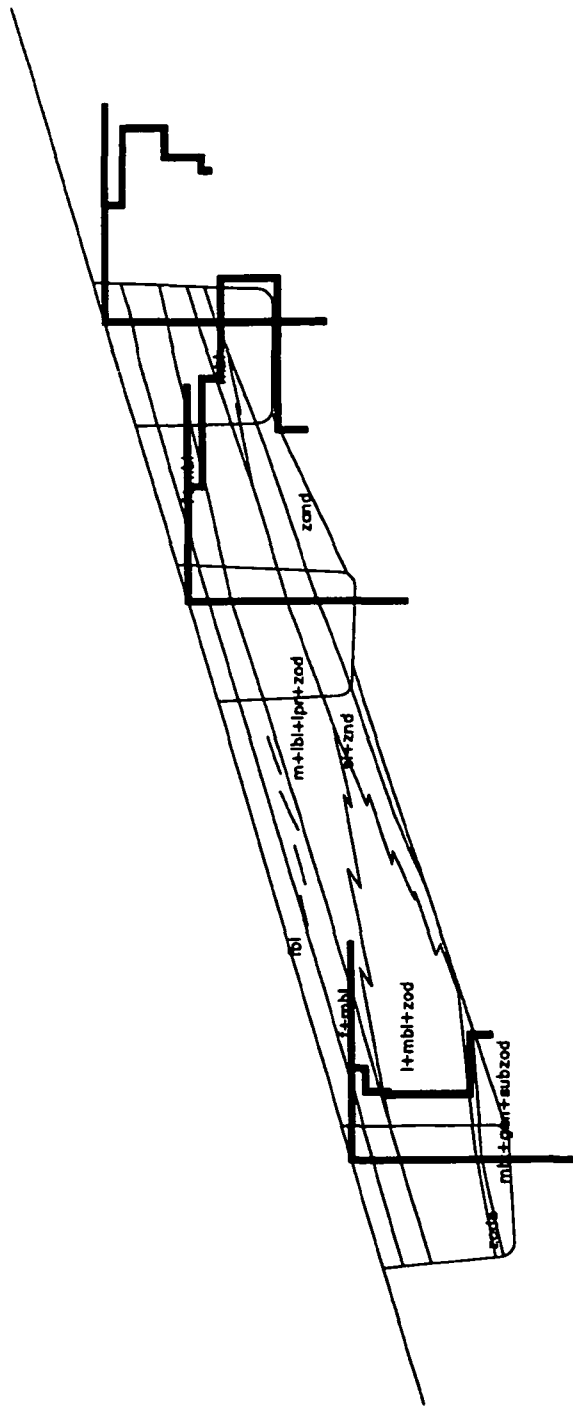
De codering in de profielen is als volgt:

zode= zodelaag, veelal met bladdelen; subzod= laag direct onder zodelaag; fbl= fijne blokken structuur; mbl= centimeterblokken structuur (middelgroot); lbl= grote blokken (>60 mm); gan= zeer veel graafgangen; pl= platige structuur; lpr= grote prisma-structuur; spl= individuele spleten; mbr= matig grote kluiten; m= massieve structuur (massief)si= silt; znd=zand. De onderbroken lijn geeft het niveau aan tot waar water is uitgetreden.

De codering in de profielen is als volgt:

zode= zodelaag, veelal met bladdelen; subzod= laag direct onder zodelaag; fbl= fijne blokken structuur; mbl= centimeterblokken structuur (middelgroot); lbl= grote blokken (>60 mm); gan= zeer veel graafgangen; pl= platige structuur; lpr= grote prisma-structuur; spl= individuele spleten; mbr= matig grote kluiten; m= massieve structuur (massief)si= silt; znd=zand. De onderbroken lijn geeft het niveau aan tot waar water is uitgetreden.

(NB De figuren 1 tot en met 11 zijn in deel II van het rapport verwerkt en de figuren 12 tot en met 22 in bijlage 3 van dit rapport)



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum

1994-11-28

get.

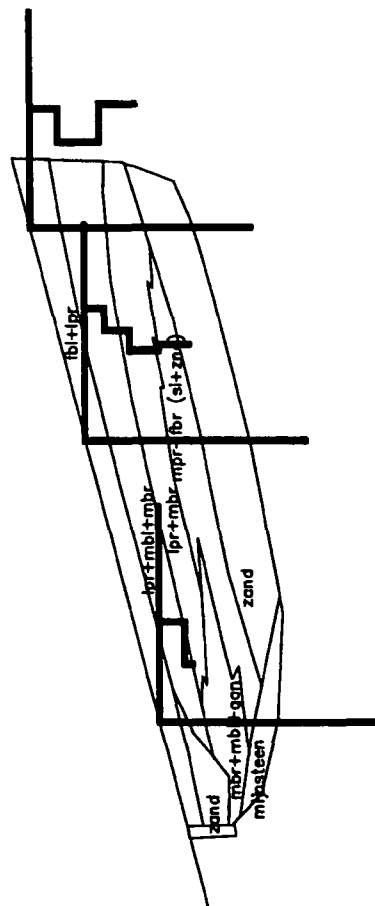
HulsterAmbacht, Kruispolder, dp 200
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden

CO-346150

gez.

Fig. 24

form.
A4



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum

1994-11-28

get.

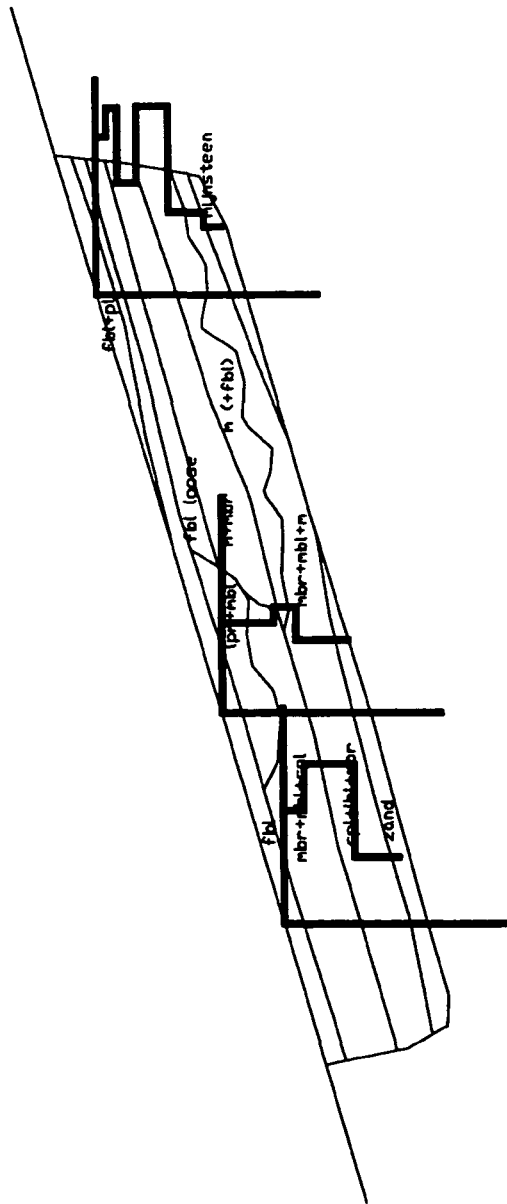
Oesterdam, raai 42
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden

CO-346150

gez.

Fig. 25

form.
A4



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum

1994-11-28

get.

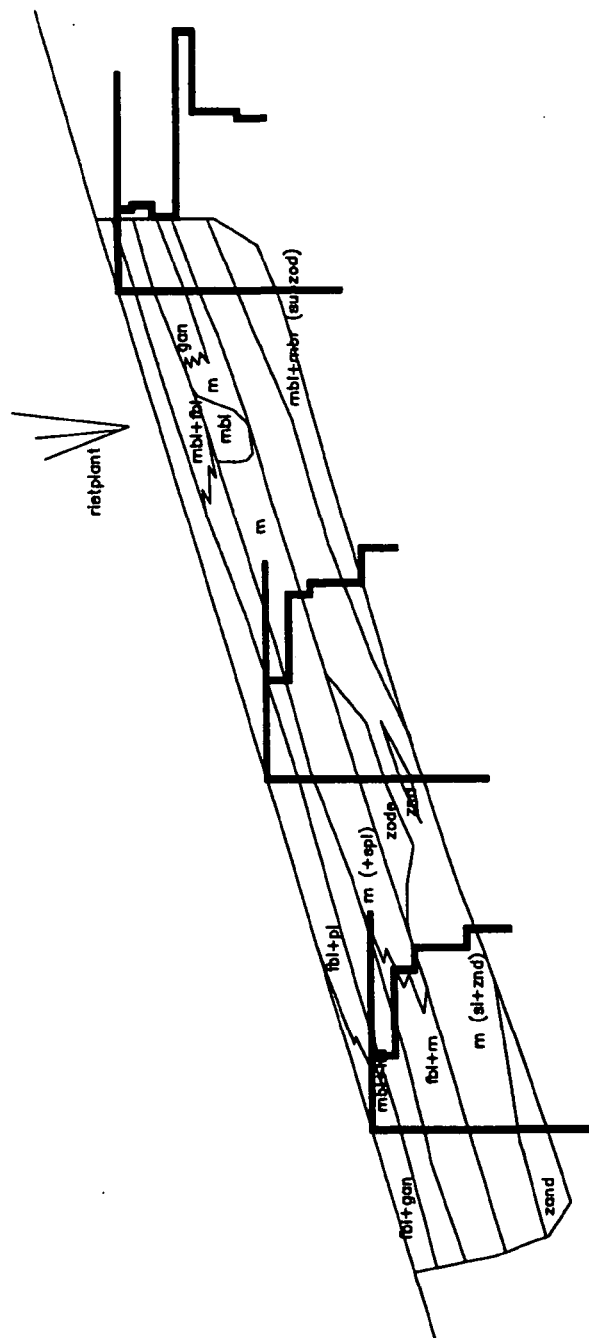
VrijevanSluys, Paulinapolder, dp 12
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden

CO-346150

gez.

Fig. 26

form.
A4



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum

1994-11-28

get.

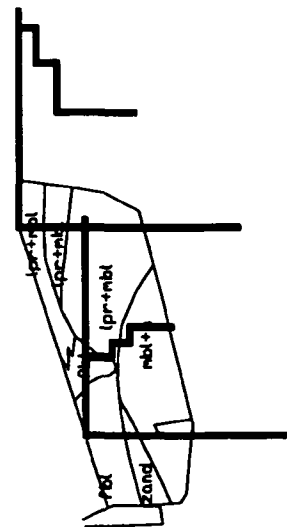
VrijevanSluys, Thomaspolder, dp 73
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden

CO-346150

gez.

Fig. 27

form.
A4



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 06

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum
1994-11-28

get.

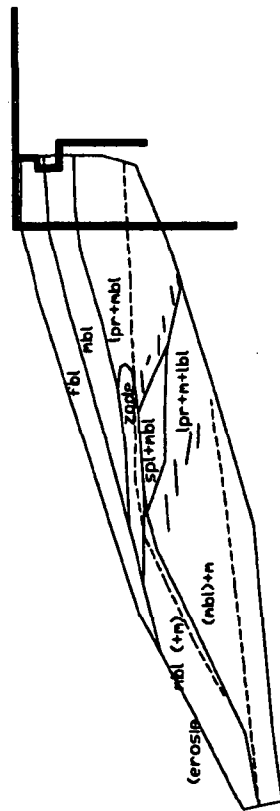
Tholen, Poortensepolder, dp 9 +10
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden

CO-346150

gez.

Fig. 28

form.
A4



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum

1994-11-28

get.

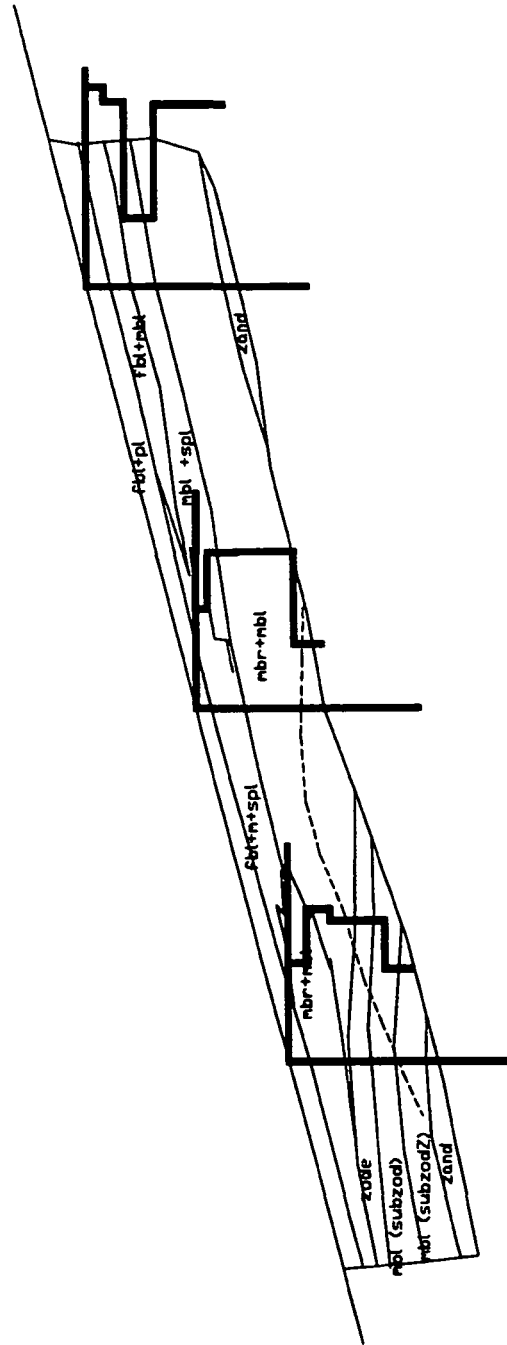
Tholen, Poortensepolder, dp 9 -3
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden

CO-346150

gez.

Fig. 29

form.
A4



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum

1994-11-28

get.

DrieAmbachten, Calamiteuzepolder, dp 29 +30
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden

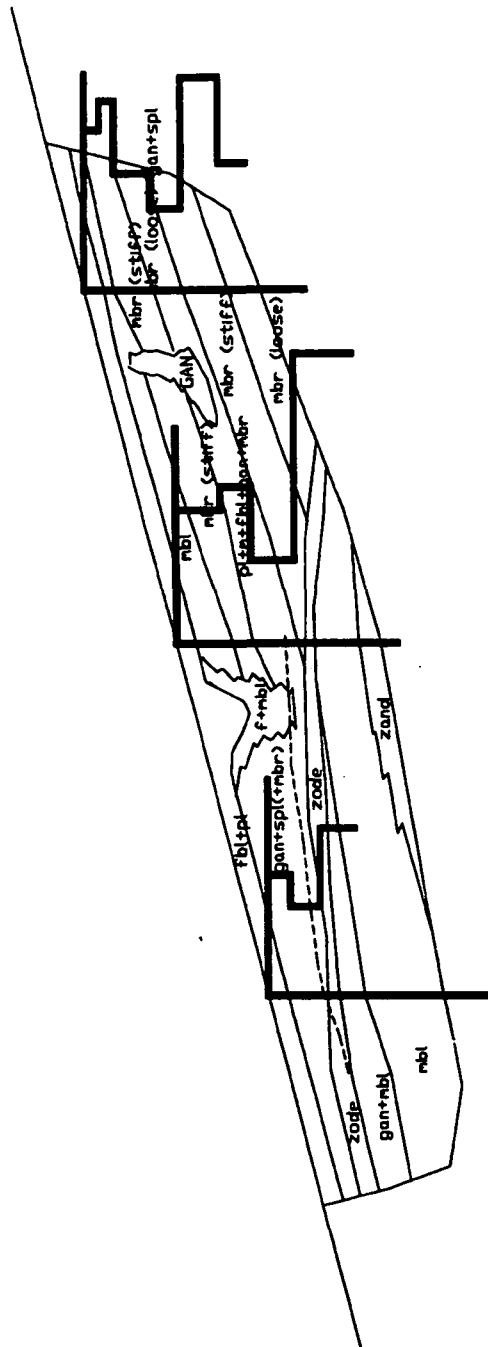
CO-346150

gez.

Fig. 30

form.

A4



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum
1994-11-28

get.

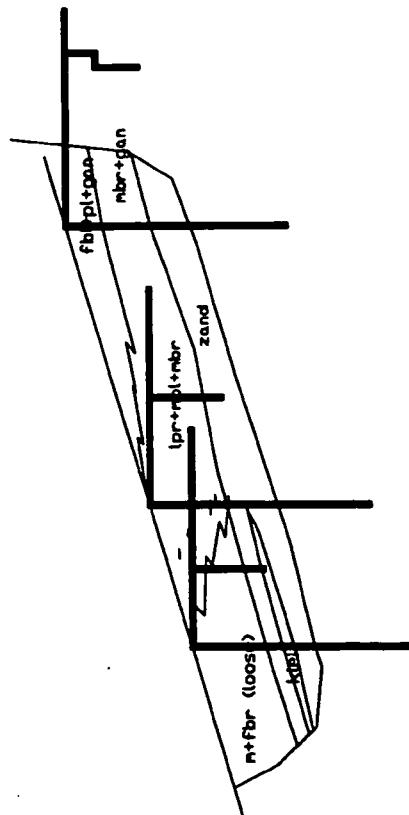
DrieAmbachten, Calamiteuzepolder, dp 31
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden

CO-346150

gez.

Fig. 31

form.
A4



**GRONDMECHANICA
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21
Telex 38234 soil nl

datum

1994-11-28

get.

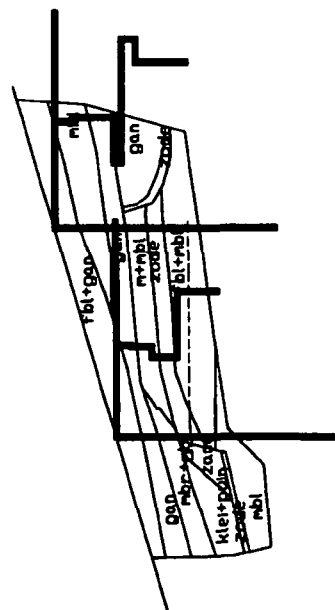
Beveland, Waardepolder, dp 8
overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden


CO-346150

gez.

Fig. 32

form.
A4



 GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69, 2600 AB Delft Nederland Telefoon (015) 69 35 00	Telefax (015) 61 08 21 Telex 38234 soil nl	datum 1994-11-28	get.
Beveland, Boonepolder, dp 9 overzicht bodemprofiel en pocket penetrometerwaarden			CO-346150	gez.
			Fig. 33	form. A4

**RESTSTERKTE VAN 11
LOCATIES IN ZEELAND**

**CO- 358350/07
juni 1995**

RESTSTERKTE VAN 11 LOCATIES IN ZEELAND

CO-358350/07
juni 1995
Kru/Hey/35835007.wp5

Opgesteld in opdracht van:
RIJKSWATERSTAAT, DIENST WEG- EN WATERBOUWKUNDE
Postbus 5044
2600 GA DELFT

AFDELING STRATEGISCH ONDERZOEK
projectleider: drs. Gerard A.M. Kruse
projectbegeleider: Ir. T.P. Stoutjesdijk

GRONDMECHANICA DELFT
Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 69 35 00
Telefax (015) 61 08 21
Postbank 234342
Bank MeesPierson NV
Rek.nr. 25.92.35.911

Rapport nr.: CO-358350/09		Datum rapport: 1995-06-14			
Titel en sub-titel: RESTSTERKTE VAN 11 LOCATIES IN ZEELAND		Behandelende afdeling: Strategisch onderzoek			
		Projectnaam: Reststerkte klei-onderlagen			
Projectleider(s): drs. Gerard A.M. kruse		Projectbegeleider(s): ir. T.A. Stoutjesdijk			
Naam en adres opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Water- bouwkunde postbus 5044 2600 GA Delft		Referentie opdrachtgever: TAWA/STEENZ 3100/1947			
		Verzonden in: 10 -voud			
		Type rapport: definitief			
<p>Samenvatting rapport:</p> <p>Als supplement op een onderzoek naar de bodemvorming van klei-onderlagen onder gezette steen is een schatting van de reststerkte van de onderlagen van 11 locaties in Zeeland uitgevoerd. Het blijkt dat eerdere aannamen over de opbouw van onderlagen onder gezette steen tekort schieten in het indelen van heterogeniteit in de onderlaag. Een belangrijke uitbreiding in dit opzicht betreft de invloed van goed verdichte lagen in de onderlaag en het voorkomen van oude dijklichamen in of direct onder de onderlaag. De reststerkte van een groot aantal locaties wordt daardoor aanmerkelijk verhoogd ten opzichte van schattingen volgens een voorstel voor de TAW Leidraad Toetsing (in voorbereiding).</p>					
Opmerkingen:					
Trefwoorden: klei, erosie, reststerkte, zeeland		Verspreiding: DWW, TAW A2			
Opgeslagen op 145.3.1.214 onder titel: c:\user\so\35835007.wp5				Aantal biz.:	
Versie:	Datum:	Opgesteld door:	Paraaf:	Gecontroleerd door:	Paraaf:
1	1995-06-14	Kru			

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	1
1 INLEIDING	3
2 OPBOUW VAN DE ONDERLAAG EN DIJKOPBOUW	5
3 RESTSTERKTE EN EROSIE-MECHANISMEN	7
4 BEOORDELING VAN DE RESTSTERKTE	9
5 AANVULLINGEN VOOR HET BEOORDELEN VAN RESTSTERKTE	13

Referenties

BIJLAGEN

Bijlage 1: tabellen

Bijlage 2: figuren

Samenvatting

Als supplement op een onderzoek naar de bodemvorming van klei-onderlagen onder gezette steen is een schatting van de reststerkte van de onderlagen van 11 locaties in Zeeland uitgevoerd. Het blijkt dat eerdere aannamen over de opbouw van onderlagen onder gezette steen tekort schieten in het indelen van heterogeniteit in de onderlaag. Een belangrijke uitbreiding in dit opzicht betreft de invloed van goed verdichte lagen in de onderlaag en het voorkomen van oude dijklichamen in of direct onder de onderlaag. De reststerkte van een groot aantal locaties wordt daardoor aanmerkelijk verhoogd ten opzichte van schattingen volgens een voorstel voor de TAW Leidraad Toetsing (in voorbereiding).

1 Inleiding

Als supplement bij een studie naar bodemvorming in klei onder gezette steen op dijkwalen langs getijde wateren in Zeeland [GD 1995a] is een eerste beoordeling van de reststerkte van de onderlaag van de 11 in dat verband onderzochte locaties verricht. De beoordeling is gebaseerd op de waargenomen opbouw van de onderlaag op de 11 onderzochte locaties en op de inzichten in ontgronding bij golfwerking die de afgelopen 2 jaar zijn ontstaan.

In de beoordeling zijn de volgende elementen betrokken:

- overzicht van ontgrondingsmechanismen
- de aangetroffen variatie in de opbouw van de onderlaag
- het evalueren van de reststerkte voor elk van de verschillende locaties (waarbij de reststerkte de duur tot het niet meer voldoende functioneren van de klei-laag betreft).

In 1994 is de opbouw van onderlaag op 11 locaties in Zeeland in detail onderzocht [GD 1995a]. Uit dat onderzoek komen belangrijke aanvullingen op eerdere aannamen [GD 1994a] (Voorstel voor Leidraad Toetsing) over grond in de klei-onderlaag voort. De in GD[1994a] gegeven beschrijving van variatie in de onderlaag komt voort uit aannamen die zijn gebaseerd op de ontwerppraktijk. Er is toen uitgegaan van een klei-onderlaag van 0.8 m dikte met een min of meer constante samenstelling waarvan het functioneren door bodemvorming en door zand-insluitingen, puin en dergelijke wordt beperkt. Het beoordelen met het in GD [1994a] weergegeven schema doet maar ten dele recht aan de aangetroffen fenomenen in de onderlaag. In de praktijk blijken die omstandigheden niet te worden aangetroffen. Deze rapportage zal daarop ingaan.

Daarnaast zijn de inzichten in ontgrondingsprocessen bij golfaanval verdiept sedert het opstellen van aanbevelingen in GD [1994a], hetgeen in bepaalde opzichten een verscherping van de beoordeling van reststerkte mogelijk maakt. De inzichten zijn echter nog geenszins volledig uitgewerkt bij het tot stand komen van deze rapportage.

In hoofdstuk 2 worden uitbreidingen van de beschrijving van de onderlaag behandeld. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op reststerkte in het licht van de aangepaste inzichten in erosieprocessen en de aangetroffen opbouw van de onderlaag onder gezette steen. Hoofdstuk 4 bevat de beoordeling van de reststerkte voor de 11 locaties met een samenvatting van de daarvoor belangrijk geachte aspecten van de opbouw van de taluds. In hoofdstuk 5 wordt tenslotte een overzicht gegeven van een mogelijke aanpassing van de classificatie van onderlagen in samenhang met de dijkopbouw ten aanzien van reststerkte.

2 Opbouw van de onderlaag en dijkopbouw

De aanname over de opbouw van de onderlaag in GD [1994a], namelijk 0.8 m klei die een kern van zand bedekt, blijkt voor de 11 onderzochte locaties niet juist (zie GD [1995a]). Er is nergens een 0.8 m dikke klei-onderlaag onder de gezette steen aangetroffen. Er is eerder sprake van respectievelijk:

- een klei-aanvulling tot het huidige profiel op een ouder dijklichaam van klei, al dan niet met een zode-toplaag en met zandlagen
- een geherprofileerd ouder dijklichaam van voornamelijk klei met slechts her en der wat aanvullingen
- een klei-onderlaag van ongeveer 0.9 tot 1 m
- een klei-onderlaag van 0.5 tot 0.7 m dikte.

Gezien de waarnemingen in GD [1995a] dienen de aannamen over heterogeniteit te worden uitgebreid met respectievelijk:

- aanwezigheid van zeer stevige lagen (goed verdichte lagen) met een bijna massieve bodemstructuur (weinig of geen spleten) over grote delen van het profiel
- lagen met zeer hoge concentratie van graafgangen die daardoor zeer open zijn geworden
- aanwezigheid van oude palenrijen
- herstel van schade met losse grond, zand of klei, en puin of mijnsteen.

De beschrijving van zand-insluitingen en van rulle of losse grond kan nader worden gespecificeerd met onder andere:

- klei kluiten omgeven door zandig materiaal (als gevolg van het vergraven van grond bestaande uit afwisselend klei- en zandlaagjes) al dan niet verdicht
- klei-kluiten van 50 tot 150 mm met daartussen fijnere kluitjes en overig los materiaal (als gevolg van niet verdichten van aangebrachte klei)
- losse stapeling van klei- kluitjes van 10-30 mm (als gevolg van niet verdichten van aangebrachte klei).

In GD [1995a] wordt gesteld dat de hierboven beschreven verschijnselen vaak de variatie door verschillen in bodemvorming zullen overheersen beneden ongeveer 0.4 m beneden het oppervlak. Bij klei-onderlagen onder gras is de hierboven beschreven inhomogeniteit na verloop van tijd tot meer dan tenminste 0.5 m diepte door graafoactiviteit en dergelijke gehomogeniseerd, wat

tot een duidelijk verschil in beide soorten onderlagen leidt. Ook is de stevigheid in de bovenste tenminste 0.5 m onder graszode op den duur niet meer afhankelijk van de dichtheid bij aanbrengen, terwijl voor een klei-onderlaag onder gezette steen de dichtheid bij aanbrengen tot tenminste enige tientallen jaren van invloed blijft. Bij het aanleggen van klei-onderlagen onder gezette steen dient daarom veel aandacht aan de verdichting en homogeniteit te worden geschonken.

3 Reststerkte en erosie-mechanismen

Er zijn sedert het rapport GD [1994a] nadere gegevens en inzichten ten aanzien van ontgrondingsmechanismen gekomen die voor het beoordelen van reststerkte van belang zijn (onder andere GD [1995b, 1995c]). Eerder is reeds onderscheid gemaakt in ontgroning van klei-grond in de vorm van brokken respectievelijk erosie door het geleidelijk slijten van het oppervlak [GD 1990]. Daarnaast kan geconstateerd worden dat ontgroning van een talud kan plaatsvinden door het verlagen van het taludoppervlak in de aangevallen zone, maar dat de ontgroning in de meeste gevallen voornamelijk plaatsvindt door het achteruitschrijden van een klif het talud in, hetgeen voor een belangrijk deel het effect van waterdrukken in het talud is [GD 1995b]. Het volgende kan daarbij opgemerkt worden, te weten:

- A Ontgroning door verticaal verdiepen van een ontgrondingskuil in de aangevallen zone is bij golven van 0.75 m alleen effectief voor losse en voor rulle grond of grond met fijne bodemstructuur (zoals de bovenste ongeveer 0.35 m van bijna alle klei onder gezette steen boven GHW). Verticaal verdiepen van een ontgrondingskuil treedt bij golven hoger dan 1 m slechts op indien er een goed herkenbare bodemstructuur aanwezig is (Deltagootproef reststerkte van klei-onderlagen) Deze bevindingen komen voort uit waarnemingen bij de Deltagootproeven [GD en WL 1993, GD 1994b] en voorlopige berekeningen aan de effecten van golfwerking op een intact talud. Bij golven van naar schatting ongeveer 2 m is nagenoeg geen verticale ontgroning opgetreden in stevige grond zonder duidelijke bodemstructuur zoals die vaak voorkomt in de zone beneden ongeveer 1+ GHW (schade havenhoofden Sloe-gebied bij Vlissingen). Het voorkomen van een stevige laag van dichte klei zal de verticale ontgroning bij golven van meer dan 1.0 m zeer sterk vertragen. Middels aanpassing en uitbreiding van de uitgevoerde modelberekeningen kan de nogal beperkte basis van de hierbovenstaande bevindingen worden verbeterd.
- B Door het opbouwen van een wateroverdruk in het talud als gevolg van golfwerking ontstaan er stabiliteitsproblemen als lokaal het oppervlak steil wordt zoals bij een erosiegat. Dit leidt tot het relatief snelle terugschrijden van de bovenwand van het gat zoals dat bij dijk-erosie vaak geconstateerd wordt. Zulk ontgraven volgens een min of meer verticale terugschrijdende wand (zie figuur 1) vindt plaats als de treksterkte van de grond waarin de klif is gevormd, geringer is dan de krachten die de gradiënten in waterspanning oproepen. Dit zal voor dichte kleigrond zonder bodemstructuur pas bij hoge golven het geval kunnen zijn (golven naar verwachting veel hoger dan 1 m). De voortgang van deze ontgroning reikt tot een diepte op ongeveer het niveau van het "run down" punt (onderste aangegeven waterdrukkniveau in figuur 2). Deze ontgroning is het meest effectief als er nog golfoploop over het min of meer intacte talud kan lopen: In het algemeen als rand van de klif beneden het niveau ligt tot waar de golfwerking tot drukopbouw in het talud leidt (bovenste drukkniveau in figuur 2). Een stevige laag van beperkte dikte zal de voortgang van deze ontgroning slechts beperkt beïnvloeden

aangezien de laag dan relatief snel doorgraven kan worden en bij ondermijning afbreekt. Indien de laag zodanig dik en stevig is dat er geen erosiegat van enige diepte ontstaat, zal een dergelijke laag het verdiepen van het ontgrondingsgat verhinderen (als de laag ongeveer evenwijdig aan het talud loopt als in figuur 1). Deze bevindingen zijn voornamelijk gebaseerd op grove inschattingen. Middels aanpassing van de modelberekeningen in onder andere GD [1995b, 1995c] kunnen de effecten van golfwerking op klif-vormen in verschillende soorten worden nagegaan.

De reststerkte van een dijk wordt voor een groot deel bepaald door het dijklichaam zelf. In figuur 3 zijn een aantal configuraties weergegeven waarin in het dijklichaam een oud dijklichaam aanwezig is. De aanwezigheid van een oud dijklichaam van voornamelijk klei zal de reststerkte van de dijk aanmerkelijk hoger maken dan een dijklichaam van zand.

Op een aantal locaties is een oud dijklichaam in een deel van de onderlaag aangetroffen, terwijl elders in het profiel er kennelijk ten dele een zandaanvulling tussen de klei-onderlaag en de oude dijk betreft. Deze opbouw kan gemakkelijk leiden tot vlakke afschuiving als de klei-onderlaag is aangetast en als er een snelle daling van het buitenwaterniveau optreedt. Het is mogelijk dat deze afschuiving tot aanmerkelijke daling van het kruinniveau leidt. In dit rapport wordt dit verschijnsel niet in de beschouwing betrokken aangezien het geen betrekking heeft op de reststerkte van de onderlaag. Het verschijnsel zal daarom ook niet in de beoordeling van de reststerkte van de onderlaag worden betrokken.

4 Beoordeling van de reststerkte

In tabel 1 is een beschrijving van de onderlagen volgens de indeling in GD [1994a] gegeven, zoals die uit de beschikbare beschrijvingen GD [1995a] blijkt. De beoordeling van de reststerkte volgens deze tabel en de classificatie in GD [1994a] is in tabel 2 weergegeven.

Met de inzichten gegeven in hoofdstuk 3 en met inbegrip van de afwijkingen van de heterogeniteit beschreven in hoofdstuk 2 kan de volgende beoordeling van de reststerkte worden gegeven. In het volgende worden de locaties individueel behandeld. In tabel 3 is een overzicht van de geschatte reststerkte voor de bovenste ongeveer 0.8 m van de onderlaag gegeven, of voor de onderlaag indien die niet zeer dik was. Tabel 4 bevat een schatting van de reststerkte tot het ontstaan van een gat van een paar meter diepte, waarbij het effect van aanwezigheid van oude dijklichamen een rol speelt. Bij deze laatste tabel is geen rekening gehouden met de invloed van ondermijning van de stabiliteit door de dijkopbouw in die omstandigheden, waardoor het buitentalud instabiel kan worden.

Perkpolder West

De onderlaag is een 0.3 tot 0.5 m dikke aanvulling op een oud dijklichaam van nogal zandige kleigrond en waarvan de graszode goeddeels is verwijderd. Bovenaan het talud is de grond van het oude dijklichaam zeer stevig en dicht door verdichting bij het verbeteren, maar onderaan is de open structuur van grond onder graszode blijven bestaan. Bovendien komt onderaan het talud een sterk doorgraven laag voor als gevolg van het niet goed verdichten van de op de oude dijk aangebrachte grond. NB de monsters Perkpolder van de 1:1 modelproef in de Deltagoot [GD en WL 1992] komen van een hooggelegen positie op het talud en hebben dus een onderkant van zeer stevige dichte grond.

De reststerkte van de onderkant van het talud is veel geringer dan hoger op het talud. De aanwezigheid van een relatief goede homogene grond beneden ongeveer 0.4 m in de onderste helft van het talud zal de reststerkte bij lagere golven relatief wat hoger doen uitvallen dan in GD [1994a], aangezien deze inhomogeniteit de erosiebestendigheid zal verhogen. Hoger op het talud is de reststerkte voor golven hoger dan 1 m zeer hoog, zoals uit de Deltagootproef is gebleken. De aanwezigheid van het oude dijklichaam aansluitend op de onderlaag zal de reststerkte voor het buitentalud sterk verhogen, tenminste als blijkt dat de oude dijk voor een groot deel uit klei is opgebouwd.

Kruispolder

De onderlaag van ongeveer 0.7 m dikte bestaat grotendeels uit niet goed verdicht vaak heterogeen materiaal en ligt op zand, behalve aan de onderkant. Aan de onderzijde ligt aangebrachte grond op een oud dijklichaam waarvan de graszode slechts zeer ten dele is verwijderd en die een losgepakte structuur heeft met veel zachte klei.

De reststerkte van de onderlaag is relatief gering. Er zijn geen verschijnselen die erop duiden dat de reststerkte zal afwijken van wat volgt uit GD [1994a].

Oesterdam

Er is een klei-onderlaag van maximaal ongeveer 0.7 m dikte aangetroffen die aan de benedenzijde uitwigt over mijnsteen. De onderlaag bevat veel nogal dikke zandinsluitingen en heeft een bodemstructuur met veel wijde spleten.

De reststerkte van de onderlaag is relatief gering en is aan de benedenzijde zelfs voor lage golven nagenoeg afwezig.

Paulina Polder

Er is een klei-onderlaag van 0.9 m op zand aangetroffen. De onderlaag bestaat uit nogal zandig materiaal en is vooral hoger op het talud heterogeen. De onderlaag is grotendeels slecht verdicht.

De reststerkte van de onderlaag is relatief gering. Er zijn geen verschijnselen die erop duiden dat de reststerkte zal afwijken van wat volgt uit GD [1994a].

Thomas Polder

Hoger op het talud ligt de onderlaag direct op een oud dijklichaam en onderaan op zand. Onderaan het talud is de klei-onderlaag grotendeels erg zandig, hoger op het talud komen er goed verdichte lagen voor in de onderlaag en de bovenkant van het oude dijklichaam.

De aanwezigheid van relatief dichte lagen van een paar decimeters dikte zal de reststerkte ten opzichte van de schatting volgens GD [1994a] voor lagere golven verhogen. De reststerkte zal sterk worden beïnvloed door de aanwezigheid van het oude dijklichaam aansluitend op de onderlaag.

Poortensse Polder Haringmanblokken

De klei-onderlaag is een deel van een geherprofileerd talud van een oud dijklichaam met hoger op het talud een bodemstructuur als van enige diepte onder gras, namelijk een nogal grove structuur. Lager op het talud komen resten van palenrijen in de onderlaag voor.

De reststerkte van de onderlaag zal gezien de grove bodemstructuur relatief hoog zijn in de schatting gebaseerd op GD [1994a], behalve voor hoge golven. De heterogeniteit van palenrijen heeft nagenoeg geen invloed op de reststerkte beneden GHW +1 m.

Poortensse Polder Leendertse blokken

De klei-onderlaag is een deel van een geherprofileerd talud van een oud dijklichaam met hoger op het talud een bodemstructuur als van enige diepte onder gras, namelijk een nogal grove structuur. Lager op het talud komen resten van palenrijen in de onderlaag voor.

De reststerkte van de onderlaag zal gezien de grove bodemstructuur relatief hoog zijn in de schatting gebaseerd op GD [1994a], behalve voor hoge golven. De heterogeniteit van palenrijen heeft nagenoeg geen invloed op de reststerkte beneden GHW +1 m.

Calamiteuze Polder dp 31 West

Onderaan het talud ligt de onderlaag op een oud dijklichaam en hoger op het talud komt 0.7 tot 0.9 m klei op zand voor. De klei-onderlaag is in tenminste twee slagen aangebracht en is grotendeels weinig dicht; bestaat grotendeels uit enigszins opeengedrukte kleibrokken met veel zand en losse grond daartussen. De bovenkant van de eerste slag is hoger op het talud goed verdicht en vormt daar een stevige laag. De oude dijk in de bovenste 1.1 m bestaat uit een zeer dunne kleilaag met daaronder zand.

De reststerkte zal door het voorkomen van de oude dijk en de stevige laag bij lagere golven relatief hoog zijn in de schatting volgens GD [1994a]. Bij hogere golven zal de reststerkte echter weinig door deze lagen worden beïnvloedt.

Calamiteuze Polder dp 31 Noord

In de onderlaag is behalve bovenaan het talud een oud dijklichaam opgenomen. De aangebrachte grond, meer dan 1.1 m bevat enige sterk verdichte lagen gescheiden door slecht verdichte lagen, waarschijnlijk door het aanbrengen in slagen waarvan slechts de bovenste paar decimeters zijn verdicht.

Door de relatief stevige grond van het oude dijklichaam en de verdichte lagen is de reststerkte bij lagere golven aanmerkelijk hoger dan in de schatting volgens GD [1994a]. Voor hogere golven is het niet waarschijnlijk dat de reststerkte hoger zal uitvallen.

Waarde Polder

Er is een ongeveer 0.5 m dikke onderlaag op zand aangetroffen van zeer zandige grond die nabij de hoogwaterlijn zeer los is, waarschijnlijk door ontbreken van voldoende verdichting.

De reststerkte van deze laag zal gering zijn, ook in de schatting volgens GD [1994a].

Boone Polder

Er is een tot ongeveer 0.6 m dikke laag grond aangebracht op een oud dijklichaam. Deze grond is slechts plaatselijk verdicht en bevat veel graafgangen. De grond van het oude dijklichaam is echter wel dicht en stevig.

De reststerkte van de bovenste ongeveer 0.8 m van de onderlaag zal relatief hoog zijn ten opzichte van de schatting volgens GD [1994a] door de aanwezigheid van de stevige grond van de oude dijk onderin de onderlaag, behalve voor hoge golven.

De voorlopige beoordelingen van de reststerkte van de bovenste ongeveer 0.8 m voor de slechtste stukken van de 11 locaties leiden voor de volgende locaties tot relevant langere reststerkten, te weten:

- Perkpolder West: effect van stevige dichte oude dijk in onderlaag
- Thomaspolder: effect van verdichte, zij het zeer schrale, laag en oude dijklichaam
- Poortnisse Haringman: de heterogeniteit bestaat uit palen die de reststerkte niet nadelig beïnvloeden (GD 1991, schade Vlissingen Boulevard)
- Poortnisse Leendertse: de heterogeniteit bestaat uit palen
- Calamiteuze Noord: effect van zeer stevige lagen in het profiel
- Boone Polder: aanwezigheid van stevige grond van oud dijklichaam in bovenste 0.8 m.

5 Aanvullingen voor het beoordelen van reststerkte

Ten aanzien van het vaststellen van de reststerkte dienen de volgende omstandigheden onderscheiden te worden, te weten:

- Klei-onderlaag op zand:
soms zeer dun
regelmatig zeer inhomogeen met zandige en losgepakte lagen
regelmatig met verdichte lagen.
- Klei-aanvulling op ouder dijklichaam:
top oude dijklichaam kan sterk verdicht zijn en daardoor een zeer stevige laag vormen
top oude dijklichaam kan niet verdicht zijn en de toplaag ervan kan dan met puin, losse oude zodegrond en dergelijke gemarkeerd zijn.
- Geherprofileerde oude dijk:
vaak met palenrijen, schade-herstel plekken (zand, puin, rulle klei) en boven GHW met goed ontwikkelde bodemstructuur als van grastalud.
- Variatie in opbouw langs talud:
er bestaat op bijna al de locaties een grote variatie in materiaal en overige omstandigheden die de reststerkte kunnen beïnvloeden, onder andere door respectievelijk het profiel van het oude dijklichaam, het voorkomen van goed verdichte lagen dan wel juist zeer slecht verdichte plekken

Met het oog op deze laatstgenoemde omstandigheid moet worden vastgesteld of de reststerkte wordt gespecificeerd als de minimum reststerkte voor het gehele talud of voor delen daarvan en of het van belang is de bovenste ongeveer 1 m onafhankelijk van dieper gelegen componenten van de dijk te beoordelen.

In de beoordelingen in hoofdstuk 4 van dit rapport is uitgegaan van de schatting van de reststerkte van de zwakkere plekken in het talud. Het beoordelen van de reststerkte met inbegrip van de invloed van het oude dijklichaam daarop lijkt van groot belang: Enerzijds vanwege de bijdrage die de klei van de oude dijk levert aan de erosiebestendigheid, maar anderzijds omdat de opbouw van de ondergrond van het buitentalud er zodanig door beïnvloed kan worden dat de stabiliteit ondermijnd kan worden. In dit rapport is dat laatste echter niet beschouwd aangezien het naast de invloed van de klei-onderlaag staat. Het verdient echter aanbeveling om het effect van de opbouw van het buitentalud te onderzoeken met betrekking tot stabiliteit, aangezien er naar het zich laat aanzien regelmatig zodanige omstandigheden voorkomen dat bij bezwijken van de onderlaag of bij snelle daling van het buitenwater stabiliteitsverlies zal optreden wat de kruinhoogte van de dijk kan aantasten.

De aanname van homogene grond in GD [1994a] kan bijna nergens in bestaande klei-lagen worden toegepast. Het verdient aanbeveling om de effecten van verschillende soorten inhomogeniteit, met name van stevige lagen in de onderlaag te onderzoeken. Hiertoe is in eerste instantie een grondmechanische modellering nodig waarin de stevige lagen en het effect ervan op doorlatendheid en sterkte kan worden nagegaan.

De in dit rapport weergegeven schatting van de reststerkte van een groot aantal locaties is door met name de invloed van de aanwezigheid van een oud dijklichaam in de onderlaag sterk verhoogd ten opzichte van schattingen volgens het voorstel voor de Leidraad Toetsing [GD 1994a]. De aanwezigheid van stevige lagen, als gevolg van goed verdichten van aangebrachte grond kan de reststerkte zeker bij wat lagere golfhoogte aanmerkelijk vergroten.

Referenties

[GD 1991]

Beschouwingen over de reststerkte van een kleilaag onder steenzetting. Grondmechanica Delft rapport CO-318170/10 voor RWS DWW, Delft, 56 p.

[GD 1994a]

Voorstel voor de TAW Leidraad Toetsing, onderdeel: 2.2.3 Erosiebestendigheid onderlaag. Grondmechanica Delft rapport CO-340660/16 voor Dienst Weg-en Waterbouwkunde, Delft, 14 p.

[GD 1994b]

Meetverslag grastaludproeven. Grondmechanica Delft rapport CO-334430/17 voor RWS DWW, 21 p.

[GD 1995a]

Bodemgesteldheid onder gezette steen op Nederlandse dijken. Grondmechanica Delft rapport CO-346150/32 voor Dienst Weg-en Waterbouwkunde, Delft, 134 p.

[GD 1995b]

Reststerkte van dijkbekledingen: Deel V modelleren van reststerkte klei. Grondmechanica Delft Rapport A2.95.27 voor RWS DWW, Delft, 32 p.

[GD 1995c]

Analyse van deltagootproeven op een grastalud. Grondmechanica Delft rapport voor RWS-DWW (in voorbereiding).

[GD en WL 1992]

Reststerkte van dijkbekledingen, stabiliteit van steenzettingen en klei-onderlaag: Deel III Meetverslag Deltagoot-onderzoek juni 1992. Grondmechanica Delft en Waterloopkundig Laboratorium rapport TAW A2 A2.93.27 voor RWS DWW, Delft, 35 p.

BIJLAGEN

Tabel 1: Beschrijving volgens tabel in GD [1994a]

locaties	beneden 1+			boven 1+			NB
	erosie cat.	hoeda-nigheid	steen no.s	erosie cat.	hoeda-nigheid	steen no.s	
Perkpolder West	m-g	het	1-2	m-g	het	3-19	deltagoot-monsters hoger dan steen 15
Kruispolder	g	het	1-2	m-g	het	3-20	
Oesterdam	w-g	het	7-8	g	het	8-16	zeer slecht rij 7-9
Paulina Polder			n.v.t	w-m	het	1-11	
Thomaspolder			n.v.t.	m-g	het	1-6	
Poortnisse Haringman	g	het	1-2	g	hom	3-5	heterogeniteit van palen van oude versterking
Poortnisse Leen	g	het	1-5	g	hom	6-13	
Calamiteuze West			n.v.t.	m-g	het	1-19	
Calamiteuze Noord			n.v.t	m-g	het	1-19	
Waarde polder	w-m	het	1-11	w-m	het	12-13	
Boone polder	g	het	1-5	g	het	5-8	

Tabel 2: Beoordeling volgens tabel in GD [1994a] met condities als in tabel 1

locaties	positie < GHW +1m			positie > GHW +1m		
	golfhoogte			golfhoogte		
	0.3-0. 7	0.7-1. 2	>1.2	0.3-0. 7	0.7-1. 2	>1.2
Perkpolder West	3-6	3	<3	3-6	<3	<3
Kruispolder	3-6	3-6	<3	3-6	<3	<3
Oesterdam	3-6	<3	<3	3-6	<3	<3
Paulina Polder	n.v.t.			3-6	<3	<3
Thomaspolder	n.v.t.			3-6	<3	<3
Poortensse Haringman	3-6	3-6	<3	6-12	<3	<3
Poortensse Leen	3-6	3-6	<3	6-12	<3	<3
Calamiteuze West	n.v.t.			3-6	<3	<3
Calamiteuze Noord	n.v.t.			3-6	<3	<3
Waarde polder	3-6	<3	<3	3	<3	<3
Boone polder	3-6	3-6	<3	3-6	<3	<3

Tabel 3: Beoordeling van de reststerkte met inbegrip van enige aanpassingen ten opzichte van de tabel in GD[1994a]. Het betreft een eerste benadering van de reststerkte in uren van de bovenste ongeveer 0.8 m van het slechtste stuk van het talud met inbegrip van het aangenomen effect van stevige lagen

locaties	golfhoogte [m]			ligging slechtste
	0.3-0.7	0.7-1.2	>1.2	
Perkpolder West	8	6	1-2	3.3 - 4.9
Kruispolder	4.5	2	1-2	3.3 - 5.9
Oesterdam	4	2	1-2	2.5 - 3.6
Paulina Polder	4	2	1-2	3.0 - 4.4
Thomaspolder	6	2	1-2	3.0 - 3.7
Poortennis Haringman	12	3	1-2	2.8 - 3.1
Poortennis Leendertse	12	3	1-2	2.2 - 3.0
Calamiteuze West	6	3	1-2	4.4 - 5.6
Calamiteuze Noord	12	5	1-2	3.4 - 4.4
Waarde polder	4	1	1-2	1.5 - 3.1
Boone polder	12	3	1-2	2.5 - 3.4

Tabel 4: Beoordeling reststerkte bij golven van 1.2 tot ongeveer 2 m indien de aanwezigheid van een oud dijklichaam in de reststerkte wordt betrokken en de duur tot ontgroning van veel meer dan 1 m diepte wordt geschat. Hierin is niet betrokken het effect van de dijkprofielopbouw op de stabiliteit van het buitentalud

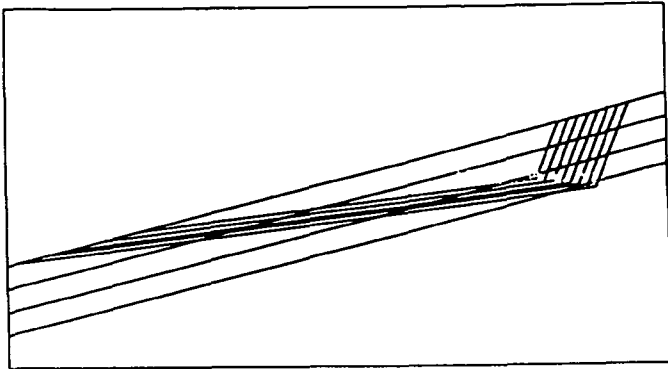
locatie	duur	opmerkingen	maatgevende golfhoogte
Perkpolder West	> 24	stevige toplaag, oude klei dijk	1.6
Kruispolder	1-2	dunne slechte onderlaag	1.8
Oesterdam	1-2	dunne slechte onderlaag	1.6
Paulina Polder	1-2	matige onderlaag	1.8
Thomas Polder	> 24	oude dijk en stevige lagen	1.85
Poortenissee Haringman	> 24	oude klei dijk	0.8
Poortenissee Leendertse	> 24	oude klei dijk	0.8
Calamiteuze West ¹⁾	3-6	dikke onderlaag met stevige lagen	2.4
Calamiteuze Noord ²⁾	> 24	oude klei dijk en stevige lagen	2.6
Waarde Polder	1	slechte zeer dunne onderlaag	1.5
Boone Polder	> 24	oude klei dijk	< 1.0

opmerkingen:

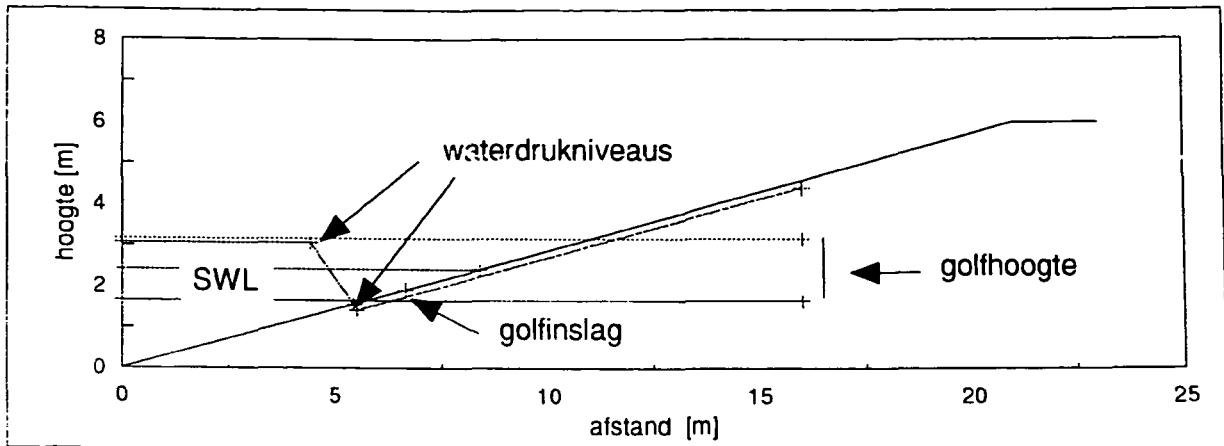
¹⁾ de verhoogde bestaande dijk bestaat uit een zandkern met een slechts relatief dunne klei-bekleding (deze opbouw is ongunstig met betrekking tot stabiliteit)

²⁾ de verhoogde bestaande dijk bestaat uit een zandkern met een dikke klei-bekleding (deze opbouw is ongunstig met betrekking tot stabiliteit). Er wordt bij de schatting van de reststerkte vanuit gegaan dat de oude dijk voor een groot deel uit klei bestaat.

Figuur 1: Ontgronding door het terugschrijden van een klif. Het terugschrijden van de klif gaat verloop veel sneller dan de verticale erosie. Dit proces verklaard de meestal waargenomen vorm van de erosieschade aan dijken.



Figuur 2: Schematisatie van golfwerking op een talud. De doorgetrokken lijnen geven aan tot waar ontgronding door terugschrijden van een klif effectief is bij constant stilwater-niveau



Figuur 3: Voorbeelden van dijkopbouw

- A Klei-onderlaag op zand
- B Oud dijklichaam dat deels in de onderlaag is verwerkt
- C Oud dijklichaam dat integraal deel van de onderlaag uitmaakt
- D Oud dijklichaam dat als onderlaag fungeert.

