

Onderzoek Geschiktheid Deltaklei

Profielkuilbeschrijvingen Dollarddijk en proefdijk



Onderzoek Geschiktheid Deltaklei
Profielkuilbeschrijvingen Dollarddijk en proefdijk

Auteur(s)
dr. M.P. Hijma

Onderzoek Geschiktheid Deltaklei

Profielkuilbeschrijvingen Dollarddijk en proefdijk

Opdrachtgever	TKI Deltatechnologie p/a Vereniging van Waterbouwers
Contactpersoon	n.v.t.
Referenties	n.v.t.
Trefwoorden	Profielkuilen, bodemvorming, dijktaalud




Documentgegevens

Versie	1.1
Datum	19-10-2022
Projectnummer	11207091-005
Document ID	11207091-005-GEO-0003
Pagina's	39
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Marc Hijma	

Onderstaande tabel is niet voor publicatie

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
1.1	Marc Hijma 	Bernadette Wichmann 	Goaitske de Vries 

Samenvatting

In het kader van het TKI-project *Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD)* zijn verschillende profielkuilen beschreven, zowel in de kleibekleding van een bestaande dijk (Dollarddijk) als in een proefdijk opgebouwd uit verschillende typen klei. De kleibekleding op de Dollarddijk geldt hierbij als referentie voor de kleibekleding op de proefdijk: de Dollarddijk ligt er al tientallen jaren, terwijl de proefdijk pas enkele jaren oud is en deels opgebouwd met materiaal uit de kleirijperij. Een vergelijking tussen de profielkuilen draagt bij aan het vaststellen of ongerijpt materiaal, dat enige tijd in een kleirijperij heeft gelegen, gebruikt kan worden als kleibekleding van primaire dijken.

Voor de beschrijving van de profielkuilen is gebruikt gemaakt van een recent ontwikkeld protocol voor profielkuilbeschrijvingen, aangevuld met *in situ* eenvoudige geotechnische metingen van de ongedraineerde schuifweerstand.

De profielkuilen laten sterk afwijkende profielen zien tussen de Dollarddijk en de proefdijk. In de Dollarddijk is een profiel aanwezig dat past bij een lange blootstelling aan de elementen en biologische activiteit (bodemleven, planten). De kuilen in proefdijk laten, afgezien van de referentieklei, een meer ongerijpt profiel zien, maar vooral ook structuren die nog gedomineerd worden door de structuren die ontstaan zijn bij de aanleg van de proefdijk. Met andere woorden, de proefdijk ligt er nog niet lang genoeg voor een omzetting van de aanlegstructuren naar structuren die ontstaan als gevolg van jarenlange blootstelling. In het algemeen is de klei op de proefdijk meer verdicht dan de klei op de Dollarddijk.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Aanpak	6
1.3	Leeswijzer	8
2	Profielkuilen Dollarddijk	9
2.1	Algemeen	9
2.2	Profielkuilbeschrijving	11
2.2.1	Profielkuil 1	11
2.2.2	Profielkuil 2	13
2.2.3	Profielkuil 3	16
2.3	Vergelijk torvane en pocket penetrometer waardes	18
3	Profielkuilen Profieldijk	20
3.1	Algemeen	20
3.2	Profielkuilbeschrijvingen	21
3.2.1	Profielkuil segment 1	21
3.2.2	Profielkuil segment 2	23
3.2.3	Profielkuil segment 3	27
3.2.4	Profielkuil segment 4	30
3.3	Vergelijk torvane en pocket penetrometer waardes	31
4	Conclusies	33
A	Protocol beschrijving profielkuilen klei op dijken	34
A.1	Inleiding	34
A.2	Protocol	34
	Referenties	38

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het kader van het TKI-project *Onderzoek Geschiktheid Deltaklei (OGD)* zijn verschillende profielkuilen beschreven, zowel in de kleibekleding van een bestaande dijk (Dollarddijk) als in een proefdijk opgebouwd uit verschillende typen klei. De kleibekleding op de Dollarddijk geldt hierbij als referentie voor de kleibekleding op de proefdijk: de Dollarddijk ligt er al tientallen jaren, terwijl de proefdijk pas enkele jaren oud is en deels opgebouwd met materiaal uit de kleirijperij. Een vergelijk tussen de profielkuilen draagt bij aan het vaststellen of ongerijpt materiaal, dat enige tijd in een kleirijperij heeft gelegen, gebruikt kan worden als kleibekleding van primaire dijken.

1.2 Aanpak

Bij alle kuilen is een vergelijkbare aanpak gebruikt. Met behulp van een graafmachine is een kuil gegraven door de kleibekleding. In geval van de Dollarddijk tot de zandkern van dijk, in de proefdijk tot een diepte van circa 1,2 m. De kleibekleding is vervolgens beschreven volgens een vast protocol dat is opgenomen als Appendix. Dit protocol is nog in ontwikkeling en zal de komende tijd nog aangepast worden. Verder zijn eenvoudige geotechnische testen uitgevoerd met een pocket penetrometer en een torvane.

Op beide locaties is dezelfde pocket penetrometer gebruikt van het type ST 308 (Figuur 1.1). Hierbij wordt het aantal kg dat nodig is om het opzetstuk de grond te drukken gemeten en genoteerd, en afhankelijk van de grootte van het opzetstuk kan dit vervolgens omgerekend worden naar een ongedraineerde schuifsterkte (s_u , in kPa). Vrijwel altijd wordt het opzetstuk met een diameter van 10 mm gebruikt, hierbij geldt onderstaande vergelijking voor de omrekening van kg naar kPa (afgeleid uit de handleiding van de penetrometer).

$$\text{Vergelijking 1 } s_u \text{ (kPa)} = 16,832 * \text{afgelezen waarde (kg)} + 0,0877$$



Figuur 1.1 Pocket penetrometer, in veld is opzetstuk met voetdiameter van 10 mm gebruikt.

Er zijn twee verschillende torvanes gebruikt. Op de Dollarddijk is een plastic versie van onderstaande torvane gebruikt. Bij de profielkuilen op de proefdijk is pocket vane tester type 14.10 (Eijkelkamp) gebruikt. Deze heeft verschillende opzetstukjes, op de proefdijk is de CL-100 gebruikt. Voor de omrekening van de afgelezen getallen op de torvane naar ongedraineerde schuifsterkte is onderstaande vergelijking gebruikt (afgeleid uit de handleiding van de torvane).

*Vergelijking 2 s_v (kPa)=10.725*afgelezen waarde (-) (geldig voor CL-100)*



Figuur 1.2 Hand torvane, in veld is CL-100 gebruikt, hier zit deze vast aan het handvat.

Het meten van de ongedraineerde schuifsterkte met de pocket penetrometer en de torvane is bedoeld om beschrijvingen als 'stevig' en 'zacht' te objectiveren en te kunnen kwantificeren. De gemeten waarde kan op dezelfde diepte behoorlijk variëren als gevolg van de nabijheid van scheuren of een heterogene opbouw. Daarom worden met beide apparaten meerdere metingen op dezelfde diepte gedaan en wordt op basis daarvan een gemiddelde bepaald. De afgeleide ongedraineerde schuifsterktes moeten als indicatieve waarden beschouwd worden, maar maken het wel mogelijk vergelijkingen te maken tussen kuilen. De figuur hieronder geeft vertalingen van waardes naar een kwalitatieve omschrijving.

CONSISTENTIE VAN KLEI (II)			CONSISTENTIE VAN KLEI (I)			
omschrijving	c_u in kPa	I_c	omschrijving	c_u in kPa	I_L	q_c in MPa
very soft	< 20		soft	20 - 40	> 0,5	0,3 - 0,5
soft	20 - 40	< 0,5	firm	40 - 75	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0
firm	40 - 75	0,5 - 0,75	stiff	75 - 150	(-0,1) - 0,2	1 - 2
stiff	75 - 150	0,75 - 1,0	very stiff	150 - 300	(-0,4) - (-0,1)	2 - 4
very stiff	150 - 300	> 1,0	hard	>300	< (-0,4)	> 4
hard	>300					

Figuur 1.3 Voorbeelden van tabellen met correlaties van consistentie en sterkte. I_c is consistentie-index, I_L liquiditeitsindex (uit Lubking, 2019).

1.3 Leeswijzer

Het rapport begint met een beschrijving van de kuilen op de Dollarddijk, gevolgd door een beschrijving van de kuilen op de proefdijk. Afgesloten wordt met conclusies met betrekking tot de verschillen tussen de kuilen.

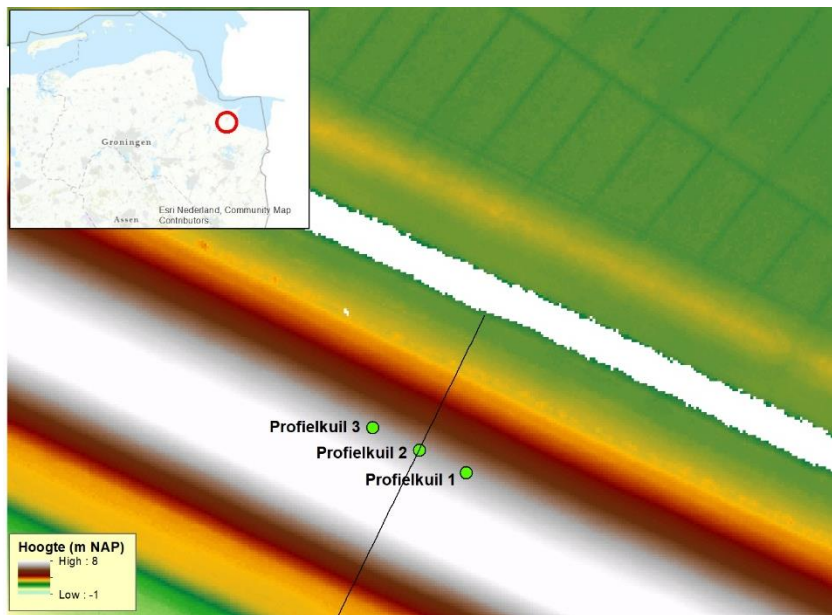
2 Profielkuilen Dollarddijk

2.1 Algemeen

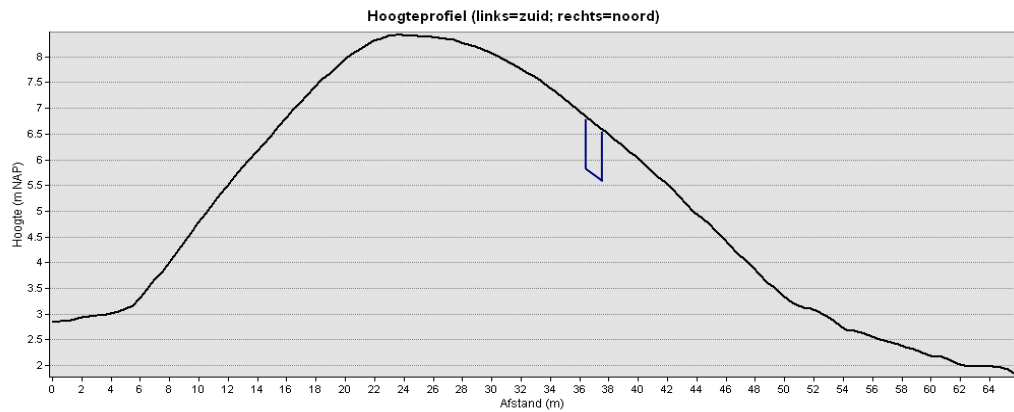
Op de Dollarddijk is in 3 profielkuilen de dijkbekleding beschreven op 15 april 2021 (Figuur 2.1). De gebruikte klei is lokaal gewonnen kwelderklei en circa 30 jaar geleden aangebracht. De beschrijving geeft daarmee inzicht in de meerjarige ontwikkeling van dergelijke gebruikte klei voor de bekleding van de dijk. Dit is bovendien relevant in het kader van het Kleirijperij-project.

De kuilen zijn aangelegd door een graafmachine en waren circa 1x1 m groot. Op een diepte van 0,45 m zijn in iedere kuil 4 bussen gestoken (0,105 m breed en ca. 0,50 m lang): 2 bussen zijn gebruikt voor de karakterisering van de relevante grondeigenschappen (korrelgrootteverdeling, organische stofgehalte, Atterbergse grenzen, etc.) en 2 bussen zijn gebruikt voor kleinschalige roto-erosietesten. De resultaten van deze onderzoeken worden beschrijven in Deltares (2022).

Naast een beschrijving van de profielkuilen zijn, ter indicatie, in de kuilen ook de ongedraineerde schuifsterkte gemeten op basis van de pocket penetrometer en de torvane. De coördinaten en hoogteligging van de middens van de kuillocatie zijn voor het graven ingemeten middels een DGPS (Tabel 2.1). Hieronder volgt per kuil een beschrijving van de profielopbouw.



Figuur 2.1 Locatie van de profielkuilen. De zwarte lijn geeft de ligging van het hoogteprofiel in Figuur 2.2 weer.



Figuur 2.2 Hoogteprofiel over de dijk met de ligging van de profielkuilen (rechthoek in buitentalud).

Tabel 2.1 Coördinaten (volgens Rijksdriehoekstelsel) en hoogteligging van het midden van de profielkuilen (voor het afgraven).

Profielkuil	x-coördinaat	y-coördinaat	maaiveld (m NAP)
1	270088.64	585681.77	6.74
2	270079.53	585686.15	6.72
3	270070.57	585690.78	6.78

In de periode direct na aanleg van de kleibekleding waren er lokaal scheuren ontstaan ten gevolge van krimp en deze zijn gerepareerd door er brokjes klei in te gooien en vervolgens af te dichten. Mogelijk was toen niet de gehele scheur tot in de diepte gevuld. Er is in de kuilen gekeken of dergelijke deels afgevlude scheuren te zien waren.

2.2 Profielkuilbeschrijving

2.2.1 Profielkuil 1

De profielkuil wordt beschreven in Tabel 2.2. De navolgende figuren laten detailopnames zien van de verschillende lagen. Er zijn geen scheuren waargenomen, die nog dateren uit de periode vlak na aanleg.

Tabel 2.2 Beschrijving profielkuil 1

Profielkuil	Diepte (m -mv)	Beschrijving
Algemeen	0.00-0.20	Klei, zwak zandig, donkergrijs, kalkrijk
	0.20-0.9	Klei, uiterst siltig, bruingrijs, kalkrijk
	>0.9	Dijkzand
		IJzervlekken zichtbaar tussen 0.30-0.75 m -mv, met concentratie boven massieve kleistruktuur onderin. Dit duidt op een geaëreerde zone van 0.30 m, met daaronder een zone tot 0.75 m waarin water periodiek stagneert (op de massieve kleilaag) en er afwisselend anaërobe en aërobe condities zijn. Geen scheuren.
Structuur	0.00-0.10	Type A (zie protocol). Zodelaag, gras met grond met kruimels. Losse fijne structuur
	0.10-0.35/0.40	Type B. Losse fijne structuur met open pakking. Brokjes van 5-30 mm.
	0.35/0.40-0.60	Type C. Open tot dichte grove structuur, brokken van 30-50 mm, 10% zichtbare poriënruimte
	0.60-0.75	Type D. Dichte grove structuur, 5-10% zichtbare poriënruimte.
	0.75-0.90	Type F. Massief, nagenoeg geen scheuren zichtbaar
Doorworteling	0.00-0.10	Intensief, gesloten graszode
	0.10-0.30	Matig Wortels tot 0.40 m -mv
Penetrometer (kPa)	0.20	78
	0.30	74
	0.45	72
	0.75	38
	0.85	46
Torvane (kPa)	0.45	103
	0.75	71
	0.85	59



Figuur 2.3 Profielkuil 1. De duimstok is 1 m lang. De zodelaag boven is goed zichtbaar, met daaronder de fijne losse structuur tot circa 0.35/0.40 m -mv. Daaronder wordt de structuur grover en steeds dichter. Direct boven het dijkzand is de klei vrijwel massief.



Figuur 2.4 Detailopnames van profielkuil 1. Links: de zodelaag tot circa 0.10 m -mv. Daaronder de laag met een fijne losse structuur die tot circa 0.35/0.40 m -mv doorloopt. Rechts: de overgang van de zone met een losse fijne structuur naar een open tot dichte grove structuur. De overgang begint hier rond 0.35 m -mv.

2.2.2 Profielkuil 2

De profielkuil wordt beschreven in Tabel 2.3. De navolgende figuren laten detailopnames zien van de verschillende lagen. Er zijn geen scheuren waargenomen, die nog dateren uit de periode vlak na aanleg.

Tabel 2.3 Beschrijving profielkuil 2

Profielkuil	Diepte (m -mv)	Beschrijving
Algemeen	0.00-0.20	Klei, zwak zandig, donkergrijs, kalkrijk
	0.20-0.94	Klei, zwak zandig/uiteerst siltig, bruingrijs, kalkrijk. Rond 0.50 m blauwgrijze horizontale klei-insluitingen
	>0.94	Dijkzand IJzervlekken zichtbaar tussen 0.3-0.90 m -mv. Dit duidt op een geaëreerde zone van 0.30 m, met daaronder een zone tot 0.90 m waarin water periodiek stagneert (op de dichte kleilaag) en er afwisselend anaërobe en aërobe condities zijn. Geen scheuren.
Structuur	0.00-0.10	Type A. Zodelaag, gras met grond met kruimels. Losse fijne structuur
	0.10-0.30/0.35	Type B. Losse fijne structuur met open pakking. Brokjes van 5-30 mm.
	0.30/0.35-0.70	

	0.70-0.90	Type C. Open tot dichte grove structuur, brokken van 30-50 mm, 10% zichtbare poriënruimte
	0.90-0.94	Type D. Dichte grove structuur, 3-10% zichtbare poriënruimte. Type E. Dichte grove structuur, <3% zichtbare poriënruimte.
Doorworteling	0.00-0.10 0.10-0.20	Intensief, gesloten graszode Matig Wortels tot 0.40 m -mv
Penetrometer (kPa)	0.30 0.45 0.55 0.65 0.75 0.85	88 79 69 67 47 40
Torvane (kPa)	0.45 0.75 0.85	80 80 78



Figuur 2.5 Profielkuil 2. De duimstok is 1 m lang. De zodelaag boven is goed zichtbaar, met daaronder de fijne losse structuur tot circa 0.30/0.35 m -mv. Daaronder wordt de structuur grover en steeds dichter. Het dijkzand is zichtbaar in de schaduw links onderin.

2.2.3 Profielkuil 3

De profielkuil wordt beschreven in Tabel 2.4. De navolgende figuren laten detailopnames zien van de verschillende lagen. Er zijn geen scheuren waargenomen, die nog dateren uit de periode vlak na aanleg.

Tabel 2.4 Beschrijving profielkuil 3

Profielkuil	Diepte (m -mv)	Beschrijving
Algemeen	0.00-0.25	Klei, zwak zandig, donkerbruingrijs, kalkrijk
	0.20-1.00	Klei, uiterst siltig, bruingrijs, kalkrijk, rond 0.50 enkele zandinsluitingen
	>1.00	Dijkzand Ijzervlekken zichtbaar tussen 0.25-1.00 m -mv, met concentratie tussen 0.65-0.80 m -mv. Dit duidt op een geaëreerde zone van 0.25 m, met daaronder een zone tot 1.00 m waarin water periodiek stagneert (op de massieve kleilaag) en er afwisselend anaërobe en aërobe condities zijn (boven dichte kleilaag). Geen scheuren.
Structuur	0.00-0.10	Type A. Zodelaag, gras met grond met kruimels. Losse fijne structuur
	0.10-0.25	Type B. Losse fijne structuur met open pakking. Brokjes van 5-30 mm.
	0.25-0.50	Type C. Matig dichte grove structuur, brokken van 30-60 mm, 20-30% zichtbare poriënruimte
	0.50-0.70	Type C. Dichte grove structuur, 10-20% zichtbare poriënruimte
	0.70-0.95	Type D. Dichte grove structuur, 2-5% zichtbare poriënruimte
	0.95-1.00	Type E. Dichte grove structuur, <2% zichtbare poriënruimte
Doorworteling	0.00-0.10	Intensief, gesloten graszode
	0.10-0.20	Matig Wortels tot 0.50 m -mv
Penetrometer (kPa)	0.10	27
	0.20	61
	0.30	57
	0.40	83
	0.50	79
	0.60	56
	0.70	49
	0.80	37
	0.90	42
Torvane (kPa)	0.40	75
	0.50	75
	0.70	64
	0.85	51
	0.95	51



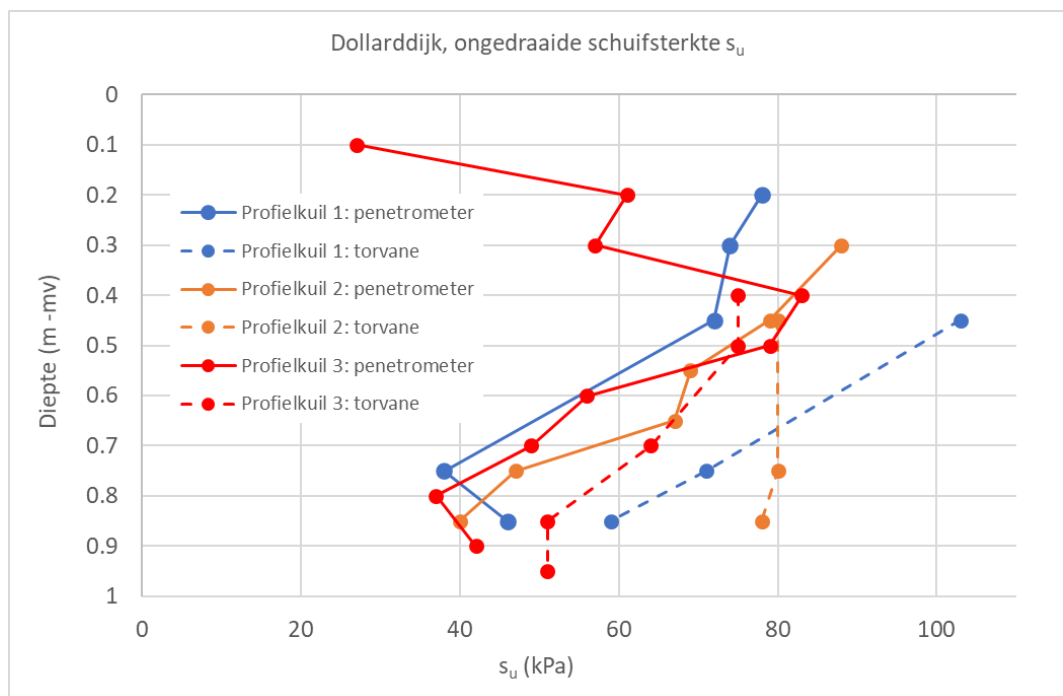
Figuur 2.6 Profielkuil 3. De duimstok is 1 m lang. De zodelaag boven is goed zichtbaar, met daaronder de fijne losse structuur tot circa 0.25 m -mv. Daaronder wordt de structuur grover en steeds dichter. Het dijkzand is zichtbaar links onderin.



Figuur 2.7 Detailopnames van profielkuil 3. Links: de zodelaag tot circa 0.10 m -mv. Daaronder de laag met een fijne losse structuur die tot circa 0.25 m -mv doorloopt. Rechts: de overgang van de zone met een losse fijne structuur (helemaal boven) naar een dichte grove structuur.

2.3 Vergelijk torvane en pocket penetrometer waarden

De verkregen waarden met de pocket penetrometer en de torvane zijn verwerkt volgens bovenstaande vergelijkingen (Figuur 2.8).



Figuur 2.8 Indicatieve waarden voor de ongedraineerde schuifsterkte s_u uit de drie profielkuilen.

Op basis van de penetrometer neemt de s_u af van rond 70-90 kPa op 0.3 m diepte naar waarden rond 40 kPa op 0.7-0.9 m diep. Het materiaal gaat hiermee van enigszins stijf naar zacht/matig stevig.

De handvin-metingen bleken alleen succesvol als op de individuele kluiten werd gemeten en de gemeten waarden liggen wat hoger dan met de penetrometer. Maar ook de torvane geeft duidelijk aan dat de s_u met de diepte afneemt.

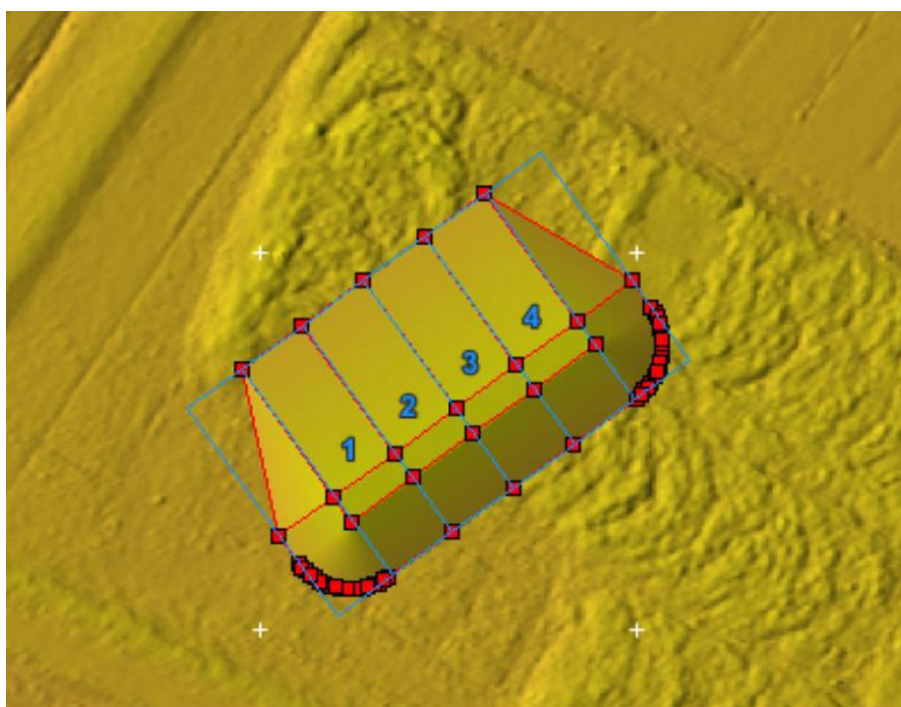
3 Profielkuilen Profieldijk

3.1 Algemeen

Langs de Dollard is in september 2020 een proefdijk aangelegd van circa 40 m lang en 3 m hoog (Figuur 3.1). De proefdijk is ingedeeld in vier segmenten, met in ieder segment een andere soort klei (voor verdere achtergronden, zie Boskalis & Van Oord, 2020):

- Segment 1: referentieklei, afkomstig uit een depot bij Nieuw Statenzijl. Heeft voor aanleg 5 jaar in een depot gelegen.
- Segment 2: klei uit het Delfzijldepot (vak D7) van de kleirijperij, ook bekend als Valgenwegklei. In 2018 uit de haven van Delfzijl gebaggerd. Vanaf november 2018 in ruggen te drogen gelegd. Homogeen met weinig zand, geen ontmenging in zand/slib tijdens transport.
- Segment 3: klei uit het kwelderdepot van de kleirijperij, afkomstig als baggerslib uit het natuurgebied Polder Breebaart. In de winter van 2019/2020 in de kleirijperij gekomen. Heterogener dan de Valgenwegklei, met ontmenging van zand/slib tijdens transport. In de proefdijk is materiaal uit vakken K1 en K2 gebruikt. Klei was nog erg nat vlak voor aanleg proefdijk en alleen de gedroogde korst van de ruggen is gebruikt voor de proefdijk.
- Segment 4: klei uit de Klutenplas, in april/mei 2018 gegraven. Eerst gebruikt als ringdijk voor de kleirijperij Kwelder. Een stuk ringdijk (zeezijde vak K1) is gebruikt voor de proefdijk.

Op 20 april 2022 is in elk segment een proefkuil gegraven en zijn verschillende monsters gestoken voor verder onderzoek. De kuilen zijn aangelegd door een graafmachine en waren circa 1.1-1.3 m diep. De coördinaten en hoogteligging van de middens van de kuillocatie zijn voor het graven ingemeten middels een DGPS (Tabel 3.1).



Figuur 3.1 Locatie van de segmenten (uit Boskalis en Van Oord, 2020).

Tabel 3.1 Coördinaten (volgens Rijksdriehoekstelsel) en hoogteligging van het midden van de profielkuilen (voor het afgraven).

Profielkuil	x-coördinaat	y-coördinaat	maaiveld (m NAP)
Segment 1	269757.8	585921.7	4.27
Segment 2	269766.0	585927.5	4.35
Segment 3	269774.1	585933.4	4.43
Segment 4	269782.3	585939.2	4.47

Naast een beschrijving van de profielkuilen is ter indicatie in de kuilen ook weer de ongedraineerde schuifsterkte gemeten met de pocket penetrometer en de torvane.

3.2 Profielkuilbeschrijvingen

3.2.1 Profielkuil segment 1

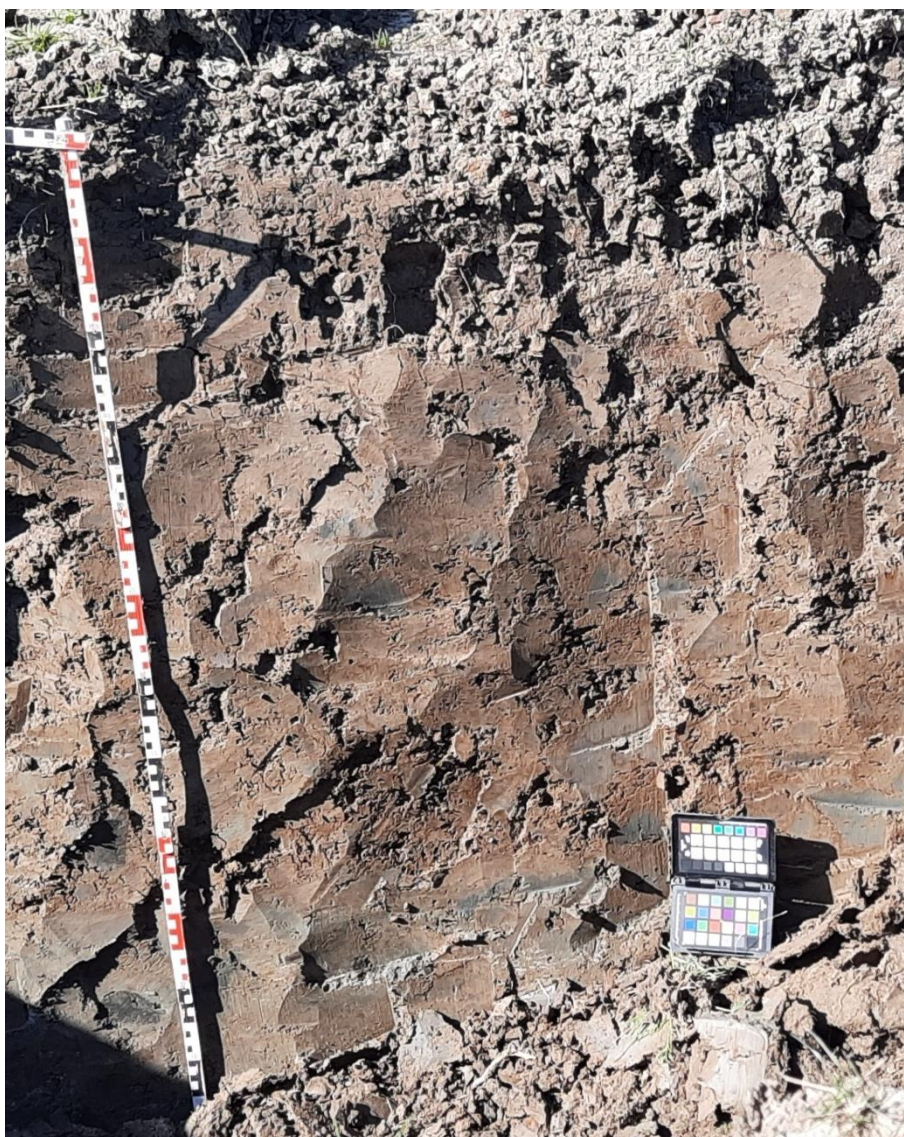
Ten opzichte van vergelijkbare klei die al >3-5 jaar als kleibekleding gebruikt wordt, is deze klei nog weinig ontwikkeld: er zijn nog weinig bodemstructuren zichtbaar en het materiaal oogt daardoor vrij homogeen onder de wortelzone, al is onderin de profielkuil de structuur wel al massiever. Ook zijn de bodemaggregaten nog erg klein. Er is een dunne droge korst aanwezig, maar de scheuren reiken slechts enkele centimeters diep. In het gehele profiel komen ijzeroxidevlekken voor, dus de grond is tot 1,2 m al geaereerd geweest. In het profiel zijn verder enkele aanleglagen zichtbaar. Deze veroorzaken de afwisseling tussen de verdichte en minder verdichte lagen. De profielkuil wordt verder beschreven in Tabel 2.2 en de handtest resultaten worden vermeld in Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Beschrijving profielkuil segment 1.

Profielkuil	Diepte (m -mv)	Beschrijving
Algemeen	0.00-0.03	Klei, sterk siltig, lichtgrijs, kalkrijk, droge korst
	0.03-0.90	Klei, sterk siltig, bruingrijs, kalkrijk, ijzeroxide vlekken
	0.90-1.20	Klei, sterk siltig, grijs, kalkrijk, weinig ijzeroxide vlekken
Structuur	0.00-0.10	Type A. Zodelaag, gras met grond met kruimels. Losse fijne structuur, aan het oppervlak korstvorming van 1-3 cm.
	0.10-0.40	Type D _r . Verdichte fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte <3%, brokjes van 3-5 mm.
	0.40-0.50	Type E _r . Minder verdicht, fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte 3-10%, relatief veel spleten > 3mm, brokjes van 3-5 mm.
	0.50-0.70	Type D _r . Verdichte fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte <5%, brokjes van 3-5 mm.
	0.70-0.90	Type E _r . Minder verdicht, fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte 3-10%, relatief veel spleten > 3mm, brokjes van 3-5 mm.
	0.90-1.20	Type F _r . Verdichte massieve structuur, poriënruimte <3%,
Doorworteling	0.00-0.10	Matig, fragmentarische zodelaag Enkele wortels tot 0.45 m -mv

Tabel 3.3 Uitslagen van de torvane en de pocket penetrometer.

Diepte (m -mv)	Torvane (kPa)	Pocket penetrometer (kPa)
0.10	97	61
0.20	64	55
0.30	91	72
0.40	113	81
0.50	97	98
0.60	91	109
0.70	91	80
0.80	102	93
0.90	118	105
1.00	91	93
1.10	118	76



Figuur 3.2 Profielkuil segment 1. Op de duimstok verandert de kleur elke 20 cm. Het profiel kent weinig bodemstructuur onder de zodelaag.



Figuur 3.3 Detailopname van profielkuil segment 1. Overgang op 0.9 m -mv van een iets minder verdicht deel naar een goed verdichte, vrij massieve structuur.

3.2.2 Profielkuil segment 2

Ten opzichte van de referentieklei is direct zichtbaar dat dit heel ander materiaal is: de klei is erg donker, bevat nog geen ijzeroxidevlekken en is ook zachter. Het is duidelijk dat deze klei veel minder gerijpt is dan de referentieklei. Feitelijk is de klei beneden de zodelaag slecht gerijpt. Het profiel bevat ook blauwgrijze kleilenzen, deze klei is nog nauwelijks/niet blootgesteld aan zuurstof en bevat nog veel FeS (die de blauwgrijze kleur veroorzaakt). Ook zijn veel kleine zwarte vlekken zichtbaar, mogelijk ook veroorzaakt. Ook hier is een dunne droge korst zichtbaar, de scheuren in deze korst reiken slechts enkele centimeters diep. In het profiel zijn geen aanleglagen zichtbaar. De profielkuil wordt verder beschreven in Tabel 3.4 en de handtesten worden vermeld in Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Beschrijving profielkuil segment 2.

Profielkuil	Diepte (m -mv)	Beschrijving
Algemeen	0.00-0.04	Klei, sterk siltig, lichtgrijs, kalkrijk, droge korst
	0.04-1.10	Klei, sterk siltig, grijs met veel zwarte vlekken (waarschijnlijk Fes), kalkrijk
Structuur	0.00-0.04	Type A. Zodelaag, gras met grond met kruimels. Losse fijne structuur, aan het oppervlak korstvorming van 1-2 cm.
	0.04-1.10	Type D _{ro} . Dichte fijne structuur, goed verdicht, geen slagen zichtbaar, poriënruimte <5%, brokjes van 5-30 mm.
Doorworteling	0.00-0.12	Matig, fragmentarische zodelaag Enkele wortels tot 0.25 m -mv

Tabel 3.5 Uitslagen van de torvane en de pocket penetrometer.

Diepte (m -mv)	Torvane (kPa)	Pocket penetrometer (kPa)
0.10	75	64
0.20	64	47
0.30	54	38
0.40	51	39
0.50	54	46
0.60	45	48
0.70	73	46
0.80	45	44
0.90	77	42
1.00	43	35
1.10	70	44



Figuur 3.4 Profielkuil segment 2. Op de duimstok verandert de kleur elke 20 cm. Het profiel kent weinig bodemstructuur onder de zodelaag.



Figuur 3.5 Detailopname van profielkuil segment 2 met duidelijk zichtbare de blauwgrijze, slecht gerijpte kleilagen.

3.2.3 Profielkuil segment 3

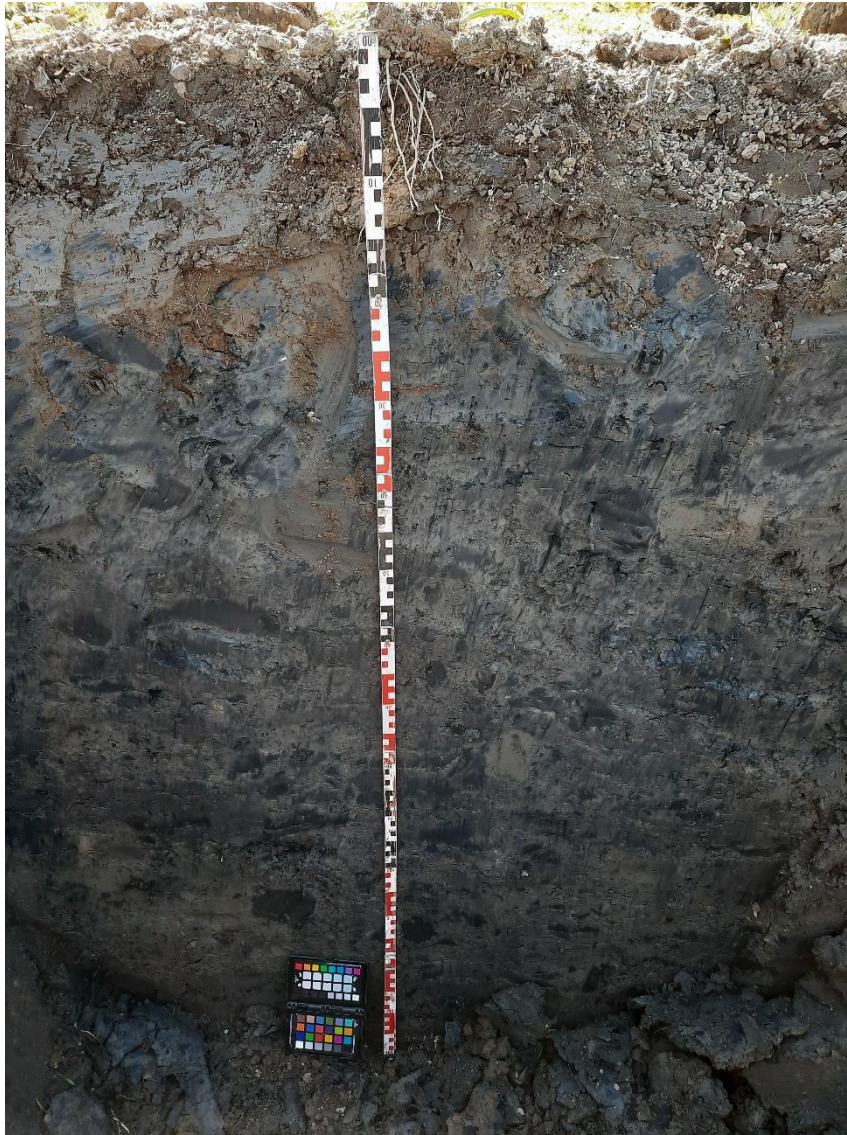
Ook de klei in segment 3 bestaat uit opgebaggerd materiaal, maar ten opzichte van segment 2 bevat deze klei meer ongerijpte kleilenzen. Daar staat tegenover dat bovenin de grond al beter gerijpt is dan in segment 2, dit blijkt bijvoorbeeld uit het voorkomen van ijzeroxide tot een diepte van 0,5 m. Ook hier is een dunne droge korst aanwezig, maar de scheuren reiken ook hier slechts enkele centimeters diep. In het profiel zijn geen aanlegslagen zichtbaar. Het materiaal is in het algemeen minder verdicht dan in segment 2. De profielkuil wordt verder beschreven in Tabel 3.6 en de handtesten worden vermeld in Tabel 3.7.

Tabel 3.6 Beschrijving profielkuil segment 3.

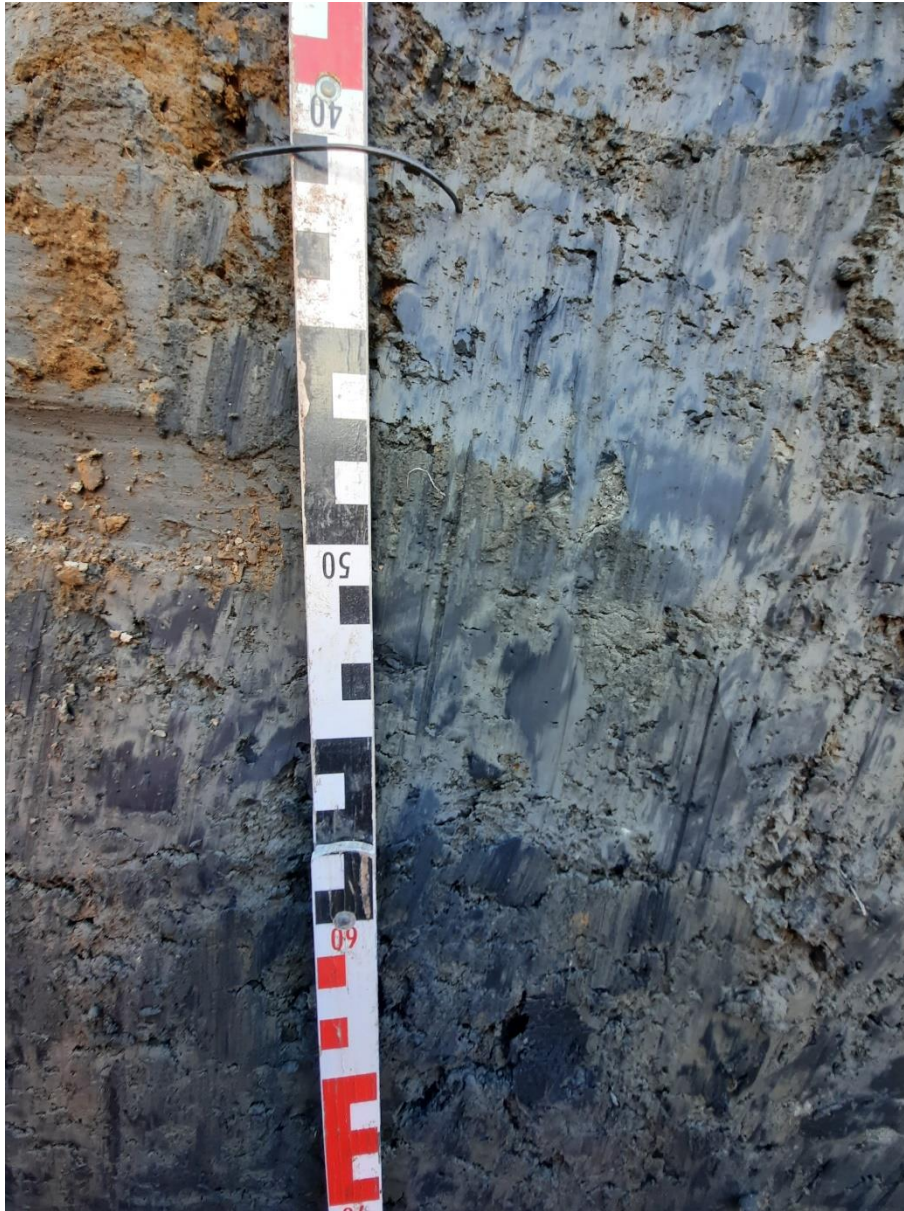
Profielkuil	Diepte (m -mv)	Beschrijving
Algemeen	0.00-0.03	Klei, sterk siltig, lichtgrijs, kalkrijk, droge korst
	0.03-0.50	Klei, sterk siltig, grijs, kalkrijk, veel zwarte vlekken, ijzeroxide vlekken
	0.50-0.95	Klei, sterk siltig, grijs, kalkrijk, veel zwarte vlekken
	0.95-1.20	Klei, sterk siltig, grijs, kalkrijk, veel grote zwarte vlekken
	1.20-1.30	Klei, sterk siltig, grijs, kalkrijk, veel zwarte vlekken
Structuur	0.00-0.10	Type A. Zodelaag, gras met grond met kruimels. Losse fijne structuur, aan het oppervlak korstvorming van 1-2 cm.
	0.10-0.50	Type D _r . Redelijk goed verdichte fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte <10%, brokjes van 3-5 mm.
	0.50-0.95	Type D _{ro} . Redelijk goed verdichte fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte <10%, brokjes van 3-5 mm.
	0.95-1.20	Type B _{ro} . Open, fijne structuur, poriënruimte 20-30%, brokjes van 3-5 mm.
	1.20-1.30	Type D _{ro} . Verdichte fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte <5%.
Doorworteling	0.00-0.15	Matig, fragmentarische zodelaag Enkele wortels tot 0.25 m -mv

Tabel 3.7 Uitslagen van de torvane en de pocket penetrometer.

Diepte (m -mv)	Torvane (kPa)	Pocket penetrometer (kPa)
0.10	75	60
0.20	54	41
0.30	59	33
0.40	54	37
0.50	64	44
0.60	64	45
0.70	51	32
0.80	54	34
0.90	48	25
1.00	59	42
1.10	43	46



Figuur 3.6 Profielkuil segment 3. Op de duimstok verandert de kleur elke 20 cm.



Figuur 3.7 Detailopname van profielkuil segment 3. Zowel de ijzeroxidevlekken (linksboven) als de zwarte FeS-vlekken zijn goed zichtbaar.

3.2.4 Profielkuil segment 4

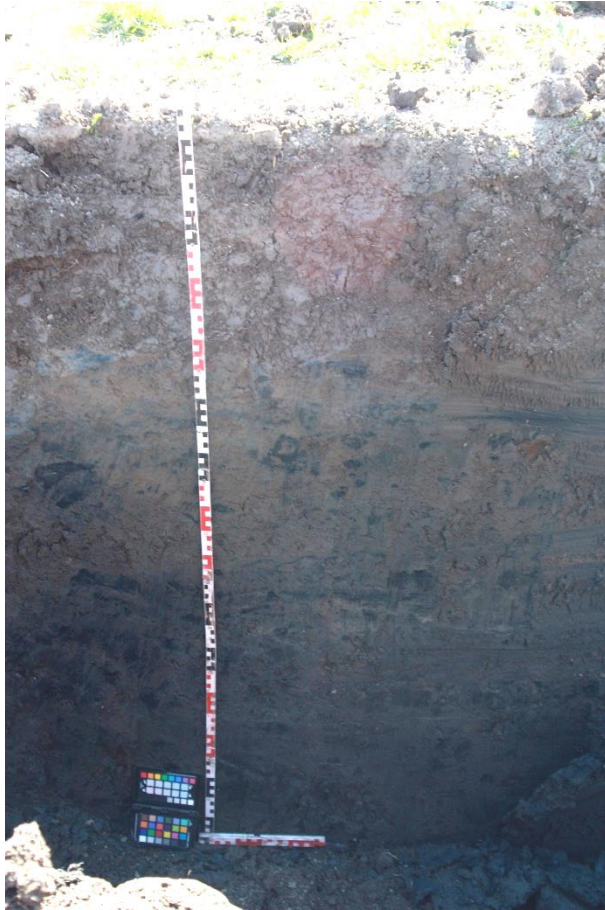
Deze klei is beter gerijpt dan in segmenten 2 en 3, maar bevat nog steeds blauwgrijze FeS-vlekken (ongerijpte klei). Rijping heeft waarschijnlijk al voor aanleg plaatsgevonden. Er is wel al meer bodemstructuur zichtbaar, deze reikt ruwweg tot 0.28 m -mv, terwijl in de overige segmenten dit meestal tot 0.10-0.15 m -mv zichtbaar is. De betere rijping komt ook tot uiting in de ijzeroxidevlekken die tot 0.94 m -mv zichtbaar zijn. Ook hier is een dunne droge korst aanwezig, maar de scheuren reiken ook hier slechts enkele centimeters diep. In het profiel zijn de aanleglagen nog zichtbaar en de verdichting is duidelijk minder dan in segmenten 2 en 3. De profielkuil wordt verder beschreven in Tabel 3.8 en de handtesten worden vermeld in Tabel 3.9. De navolgende figuren laten detailopnames zien van de verschillende lagen.

Tabel 3.8 Beschrijving profielkuil segment 4.

Profielkuil	Diepte (m -mv)	Beschrijving
Algemeen	0.00-0.03	Klei, sterk siltig, lichtgrijs, kalkrijk, droge korst
	0.03-0.94	Klei, sterk siltig, grijs, kalkrijk, ijzeroxide vlekken, zwarte vlekken
	0.94-1.20	Klei, sterk siltig, grijs, kalkrijk, zwarte vlekken
Structuur	0.00-0.10	Type A. Zodelaag, gras met grond met kruimels. Losse fijne structuur, aan het oppervlak korstvorming van 1-2 cm. Type B. Losse fijne structuur
	0.10-0.28	Type C _r . Redelijk verdichte fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte 10-20%, brokjes van 3-5 mm.
	0.28-0.50	Type B _r . Open, fijne structuur, poriënruimte 30-40%, brokjes van 3-5 mm.
	0.50-0.62	Type C _r . Redelijk verdichte fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte 10-20%, brokjes van 3-5 mm.
	0.62-0.94	Type B _r . Open, fijne structuur, poriënruimte 30-40%, brokjes van 3-5 mm.
	0.94-1.02	Type C _{ro} . Redelijk verdichte fijne structuur, geen scheuren, poriënruimte 10-20%, brokjes van 3-5 mm.
1.02-1.20		
Doorworteling	0.00-0.10	Matig, fragmentarische zodelaag Enkele wortels tot tot 0.4 m -mv

Tabel 3.9 Uitslagen van de torvane en de pocket penetrometer.

Diepte (m -mv)	Torvane (kPa)	Pocket penetrometer (kPa)
0.10	64	76
0.20	54	46
0.30	80	73
0.40	75	66
0.50	70	67
0.60	48	45
0.70	59	61
0.80	59	57
0.90	54	52
1.00	73	61
1.10	57	74

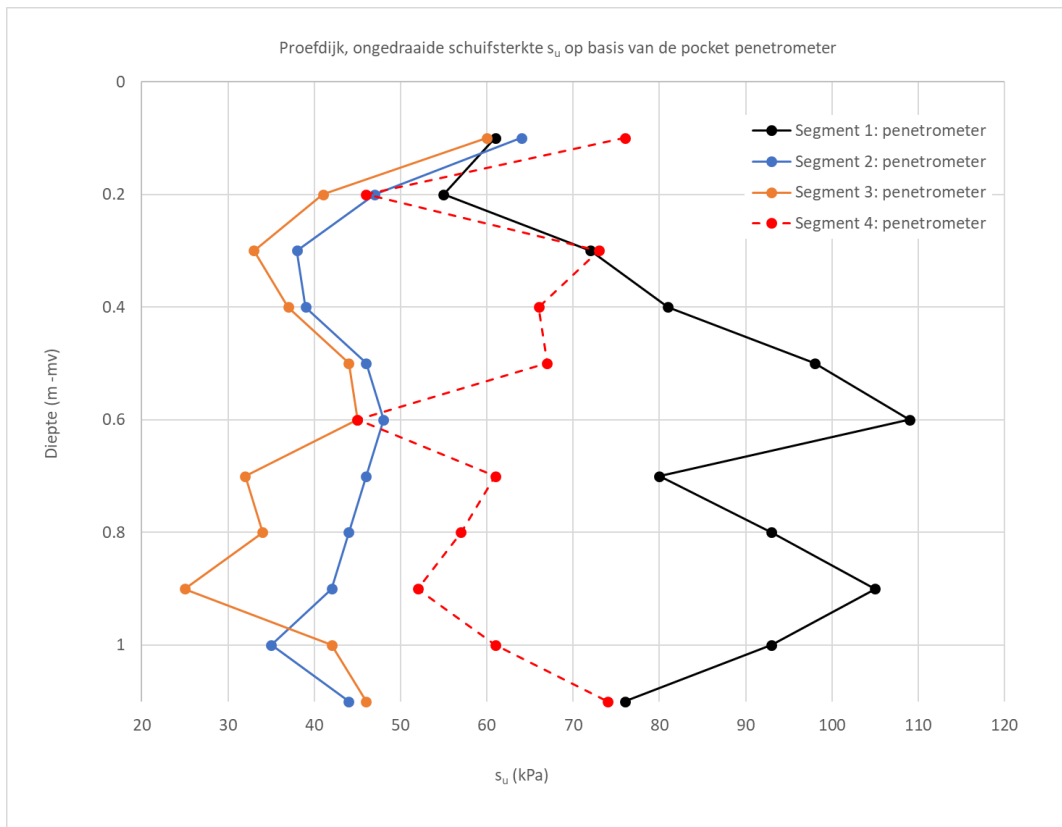


Figuur 3.8 Profielkuil segment 4. Op de duimstok verandert de kleur elke 20 cm.

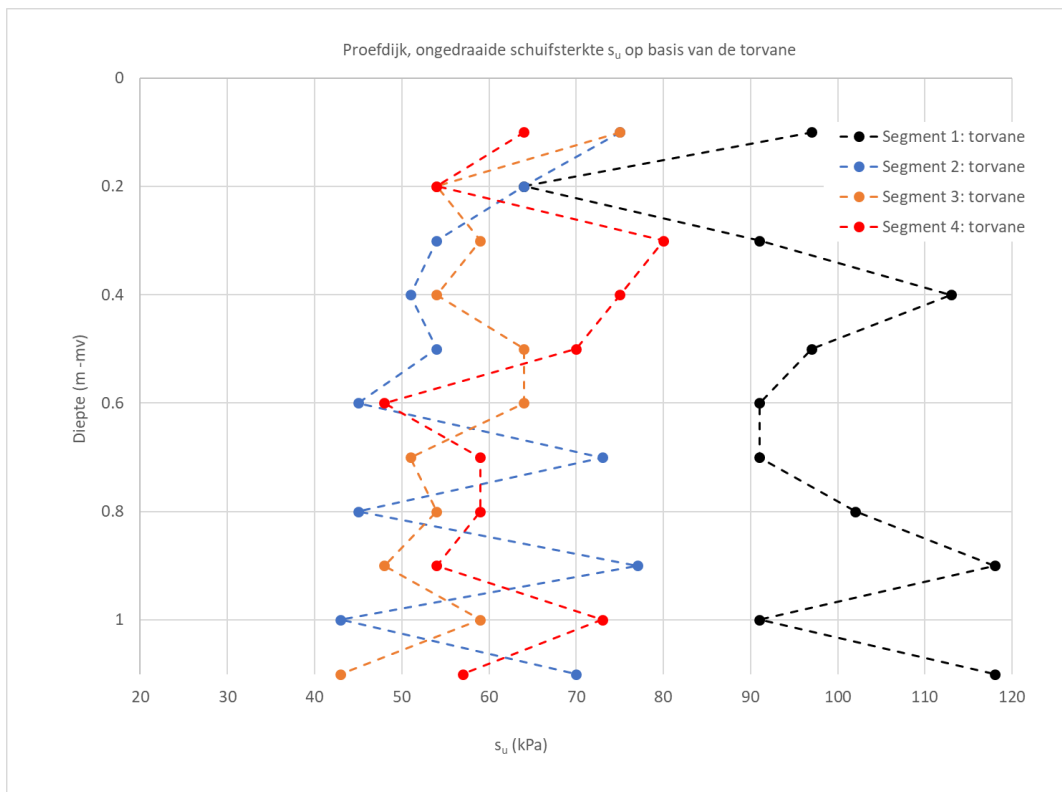
3.3 Vergelijk torvane en pocket penetrometer waarden

Onderstaande figuren laten de gemeten waarden zien voor de torvane en de pocket penetrometer, dit maal in 2 figuren om het overzichtelijk te houden. De referentieklei heeft een duidelijk hogere ongedraineerde schuifsterkte in vergelijking met de andere 3 segmenten. Segment 4 heeft in vergelijking met segmenten 2 en 3 hogere s_u -waarden, in overeenstemming met het feit dat deze klei al meer gerijpt was. Op basis van de torvane is de ongedraineerde schuifsterkte voor segmenten 2-4 op diepte vergelijkbaar, op basis van de pocket penetrometer heeft segment 4 ook op diepte een grotere ongedraineerde schuifsterkte.

Segment 2 laat een opvallende afwisseling zien in s_u op basis van de torvane, zeker op diepte. Hoewel er geen duidelijke aanleglagen zichtbaar waren in het veld, is het aannemelijk dat deze afwisseling wel te maken heeft met de manier van aanleggen en de mate van verdichting.



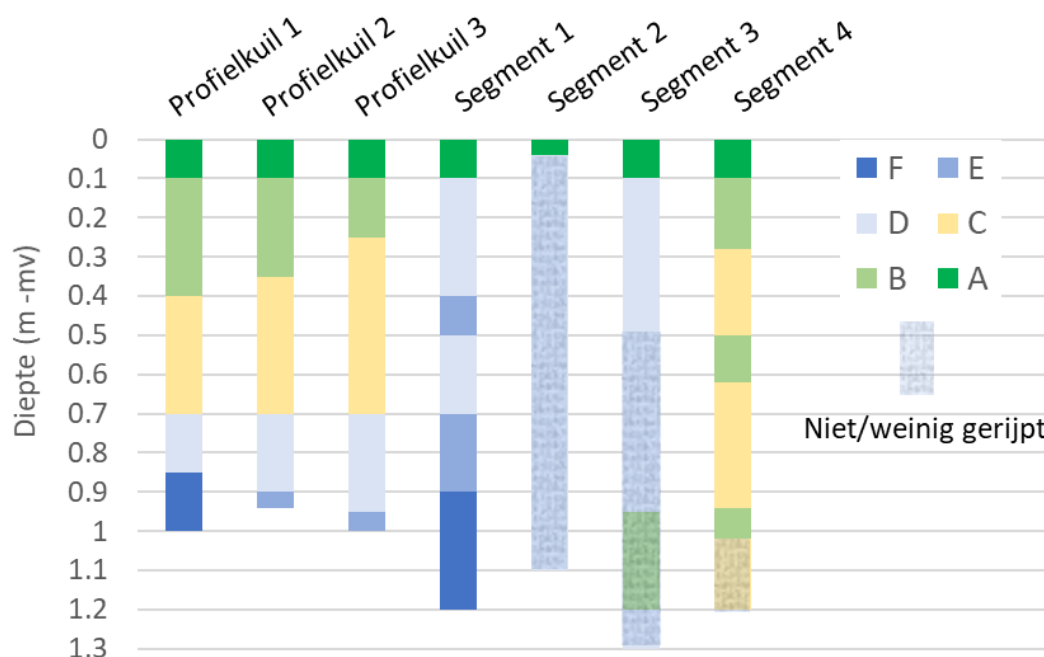
Figuur 3.9 Ongedraineerde schuifsterkte op basis van de pocket penetrometer.



Figuur 3.10 Ongedraineerde schuifsterkte op basis van de torvane.

4 Conclusies

De drie profielkuilen op de bestaande Dollarddijk vertonen een vergelijkbare opbouw in de profielkuilen en laten alle drie een opeenvolging zien die past bij een ouderdom van enkele tientallen jaren (Figuur 4.1). In de vier kuilen op de proefdijk is de situatie heel anders. In segmenten 2-4 is het materiaal nog niet volledig gerijpt en de structuur wordt nog gedomineerd door de structuren die zijn ontstaan bij het aanleggen van de proefdijk. Onder de zodelaag komen in segmenten 1-3 daarom structuren voor die in profielkuilen 1-3 een stuk dieper starten. Deze structuren zijn nog behoorlijk verdicht en verwacht kan worden dat dit invloed heeft op de sterkte. Daar staat tegenover dat de bodemaggregaten in segment 1-4 kleiner zijn dan in profielkuilen 1-3 en ook dit zal invloed hebben op de sterkte. Segment 4 heeft een opbouw die in de eerste 50 cm vergelijkbaar is met de profielkuilen 1-3, maar daaronder vindt geen overgang plaats naar meer verdichte structuren.



Figuur 4.1 Overzicht van de aangetroffen structuren in de zeven kuilen en het voorkomen van niet of weinig gerijpte kleilagen.

De schattingen van de ongedraineerde schuifsterkte op basis van een torvane en pocketpenetrometer geven voor de profielkuilen 1-3 vergelijkbare waarden per kuil. In het algemeen is er een afname zichtbaar van boven naar beneden met waarden rond 80 kPa op 0,20 m -mv en tussen 40-60 op 0,9 m -mv. Deze afname zal met name veroorzaakt worden door een toenemend vochtgehalte, waardoor het materiaal plastischer wordt.

De geleidelijke afname in schuifsterkte is niet zichtbaar in segmenten 1-4, in lijn met de observatie dat het materiaal nog te kort ligt om 'standaard' structuren te laten ontstaan. Per segment zijn de schuifsterktes gemiddeld constant met de diepte. De fluctuaties ontstaan met name door verschillen in verdichting die ontstaan zijn bij de aanleg van de proefdijk. In vergelijking met de profielkuilen op de Dollarddijk zijn schuifsterktes voor segmenten 2-4 vergelijkbaar met de daar gemeten waarden beneden 0.5 m -mv. Segment 1 laat duidelijk veel hogere waarden zien.

A Protocol beschrijving profielkuilen klei op dijken

A.1 Inleiding

In de bovenste 1-2 m van de ondergrond treedt bodemvorming op onder invloed van het weer, bodemleven, vegetatie en het uitgangs- of moedermateriaal. Deze bodemvorming is goed zichtbaar in proefkuilen of proefsleuven en het type bodemvorming heeft invloed op de eigenschappen van de ondergrond. Bij dijken worden regelmatig proefkuilen gemaakt om de kleibekleding van een dijk te inspecteren. Bij de beschrijving van deze kuilen is het belangrijk om een vast protocol te hanteren, zodat beschrijvingen onderling beter vergelijkbaar worden. Onderstaand protocol is een beschrijving van de werkwijze die thans bij Deltares gevolgd wordt. Veel van de achterliggende termen staan beschreven in *Toepassing klei voor dijkversterking* (Hijma et al., 2016).

A.2 Protocol

Locatie proefkuil goed in laten meten, zowel de x-coördinaten als de hoogteligging. Kuil laten aanleggen tot in het zand. Vervolgens 1 wand netjes afsteken met een platte schep over een breedte van 50-100 cm. Zorg ervoor dat bij het afsteken geen versmering optreedt, anders zijn de structuren niet meer goed zichtbaar. Ter controle ook de andere wanden afsteken (minstens 20-30 cm breed) om te zien of daar mogelijk een afwijkende opbouw te zien is. De beschrijving bestaat steeds uit vier onderdelen: Algemeen, Structuur, en doorworteling, daarnaast kunnen nog metingen uitgevoerd worden met bijvoorbeeld een pocket-penetrator of een torvane. Alle dieptes worden aangegeven in meter onder maaiveld (m -mv).

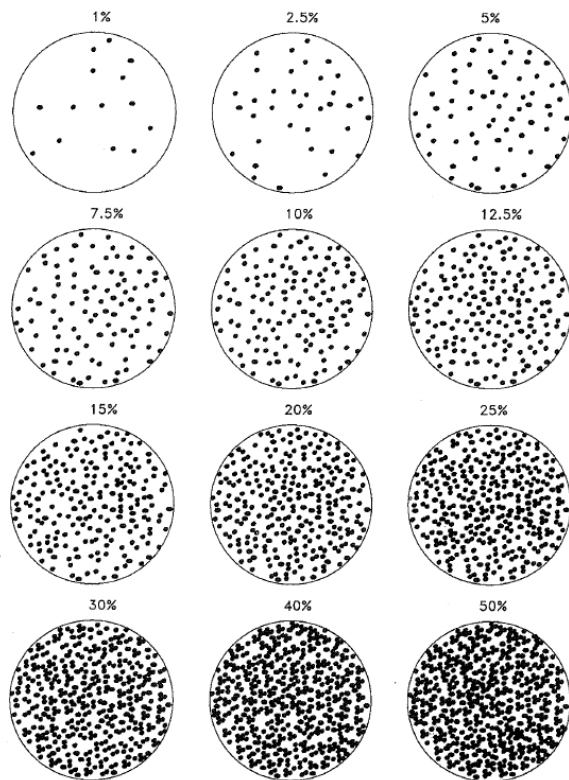
1. Algemene beschrijving: deze omschrijving omvat de textuur, kleur, oxidatie/reductie grenzen en kalkgehalte.
 - a. Textuur: beschrijving, in woorden, eventueel alleen met code in gewenste systeem (bijv. NEN-14688/5104, Standaard Boorbeschrijving (SBB), systeem Universiteit Utrecht).
 - b. Kleur: meestal op het oog, maar zou ook met *Munsell Soil Color Chart* (<https://munsell.com/>) kunnen. Bij het maken van foto's bij voorkeur een kleurenkaart plaatsen op de foto.
 - c. Oxidatie/reductie: dit betreft gleyverschijnselen die worden veroorzaakt door het periodiek stagneren van water in de bodem ten gevolge waarvan, eveneens periodiek, reducerende condities ontstaan. Zij uiten zich vooral als roestvlekken. In het geval van dijken betreft het vaak regenwater en geen grondwater, afgezien van de lagere delen van dijken in het getijdengebied. Er dient opgeschreven te worden op welke dieptes gleyverschijnselen beginnen en eindigen, en de mate waarin (bijvoorbeeld mate van roestvlekken volgens NEN). Let ook op ijzersulfide vlekken. In het algemeen is onderstaande opbouw aanwezig:
 - I. Een bruine zone, eventueel met wat roestvlekjes.
 - II. Grijszone met roestvlekken. Grootste deel van jaar nat, alleen in zomer geaereerd. Alleen rond grove poriën, wortelkanalen en scheuren vindt oxidatie plaats en zijn roestvlekken aanwezig.
 - III. Grijs of blauwe zone (soms zwart), zonder roestvlekken, voortdurend met water verzadigd.

Opgemerkt wordt dat het onderste deel van de kleilaag vaak sterk verdicht is en erg ondoorlatend. Het fungeert daarom als barrière voor het indringende regenwater en er is geen uitwisseling met het zandpakket eronder. Dit deel is dan ook vaak geheel grijs of blauw.

d. Kalkgehalte: meten met zoutzuuroplossing. Codering volgens NEN.

2. Structuur: de grond wordt geclassificeerd volgens onderstaand systeem. Het gaat om een beschrijving van klei die minstens enige jaren op een dijk ligt, niet om zeer recent aangebrachte klei. In dergelijke gevallen bestaat de opbouw voornamelijk uit slagen opgebrachte klei. De hieronder genoemde percentages en afmetingen zijn richtlijnen, in de praktijk kan dit anders zijn, kunnen combinaties voorkomen of kunnen bepaalde structuren niet aanwezig zijn. Naast onderstaande termen, wordt ook beschreven hoe breed/groot de scheuren zijn, of er zandinsluitingen zijn en of er bijvoorbeeld mollengangen zichtbaar zijn. Figuur 1 kan een hulpmiddel zijn voor het inschatten van percentages. Figuur 2 geeft met een foto een voorbeeld van de overgang van een losse naar een dichte structuur. Met blok grootte wordt de grootte van de kleistructuren bedoeld die zichtbaar zijn in een stuk klei na het afsteken. In het algemeen kunnen onderstaande zes hoofdstructuren onderscheiden worden bij dijkbekledingen die langer dan 3 jaar oud zijn. In schrale klei (>50% zand) zijn deze structuren vaak minder goed herkenbaar. De laatste jaren worden ook proefdijken gemaakt met deels gerijpte of ongerijpte grond, deze hebben een aparte codering gekregen.

Code	Diepte (m -mv)	Beschrijving
A	Tot 0.05-0.10	Kruimels (1-4 mm), in zeer open pakking. Vaak de zodelaag
B	Tot 0.20/0.30	Losse fijne structuur: fijne blokken (5-30 mm) in open pakking, veel zichtbare poriënruimte (20-30%). Los betekent ook echt los: uitgestoken valt het snel uit elkaar in losse brokjes.
C	Tot 0.30-0.50	Matig dichte, grove structuur: grove blokken (30-60 mm) in relatief losse pakking, of met grotere, wijdere spleten (veel spleten > 3mm). Vaak 10-20% zichtbare poriënruimte.
D	Tot 0.80-1.00	Dichte grove structuur, grove blokken (50-150 mm) in dichte pakking, met weinig spleten en openingen. Vaak 2-5 % zichtbare poriënruimte, neemt naar beneden toe af. Vaak tussen 0.5 m en massieve kleilaag. Wordt steeds dichter naar beneden toe. Moet echt met de hand gebroken worden om brokken te krijgen.
E	>1.00	Dichte grove structuur, voornamelijk nog verticale scheuren aanwezig. Vaak <1% zichtbare poriënruimte, komt relatief weinig voor.
F	>1.20	Verdicht of vrijwel massief. In dikke kleilagen vaak vanaf 1.50 m, anders de onderste 0.1-0.2 m van de kleibekleding
O	Tot 1.50	Ongerijpte, recent aangebracht grond zonder structuurvorming. Kan bestaan uit een mengsel van meer en minder gerijpte grond. Vaak blauwgrijs tot zwart als gevolg van aanwezigheid FeS.
r of o		<p>Toevoegingen die als subscript worden genoteerd.</p> <p>De 'r' staat voor recent aangebracht. Dit materiaal heeft vaak kleinere bodemaggregaten dan klei al lang op een talud ligt. Classificatie gebeurt op basis van mate van verdichting en zichtbare poriënruimte.</p> <p>De 'o' staat voor niet geheel gerijpt. De grond heeft al enige structuur ten opzichte van (vrijwel) ongerijpte grond, maar ten opzichte van klei die al meerdere jaren ligt is de mate van rijping beperkt.</p>



Figuur 1. Scatterdiagrammen voor het bepalen van oppervlaktepercentages (Technische Adviescommissie Waterkeringen, 1996).



Figuur 2. Bovenin: losse structuur; daaronder een overgang naar een steeds dichtere structuur. De zichtbare poriënruimte wordt naar beneden toe steeds kleiner.

3. Doorworteling: beschrijving van de zodelaag. Zodelaag vaak zeer intensief doorworteld tot 0.1 m, daarna tot circa 0,2 m matig doorworteld. Ook aangeven tot hoe diep de diepste wortels gaan (vaak zichtbaar tot 0,4-0,5 m -mv, kan ook dieper).
- I. Gesloten dichte zodelaag. Nergens onderbrekingen groter dan 0,2 m (lengte in sectie) in een visueel dicht gewoven wortelnet.
 - II. Beschadigde gesloten graszode. Visueel dichte graszode met onderbrekingen groter dan 0,2 m (lengte in sectie).
 - III. Open zodelaag. Wijd gewoven wortelnet, hooguit enkele verdichtingen van graszodes
 - IV. Fragmentarische graszode. Wijd gewoven wortelnet, hooguit enkele verdichtingen van graszodes, met gaten in de wortelmat groter dan 0,2 m.
 - V. Gaten in graszode. Plekken in graslandbekleding van ongeveer 0,5 m lengte in de strekking van de dijk en meer dan 0,2 m breed zonder grasbedekking, dan wel meer dan 0,1 m breedte evenwijdig aan de taludhelling en meer dan 0,5 m lengte.

Referenties

- Boskalis&van Oord, 2020. De Aanleg van een Proefdijk; Verslaglegging van uitvoeringsaspecten en verdichtingsmetingen van een Proefdijk bestaande uit gebiedseigen klei uit de Eems-Dollard t.b.v. Demonstratieproject Brede Groene Dijk van het Waterschap Hunze en Aa's; Boskalis&van Oord, 26 november 2020.
- Deltares, 2022. Onderzoek Geschiktheid Deltaklei in kader van demonstratieproject Brede Groene Dijk - Stap 2A: Onderzoek klei bestaande dijkDeltares rapport 11207091-004-GEO-0006.
- Hijma, M.P., Kraaijenbrink, P., Kruse, G.A.M., Van Meurs, G.A.M., 2016. Toepassing klei voor dijkversterking - inventarisatie kennis en elementen voor kwaliteitsborging, Deltares report 1220633-000-GEO-0009.
- Lubking, P., 2019. Prikken in klei (5) - Grond in de hand houden. Geotechniek, 23 (3).
- Technische Adviescommissie Waterkeringen, 1996. Technisch rapport geotechnische classificatie van veen, TAW.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl