

TECHNISCH RAPPORT
KLEI VOOR DIJKEN



**Technisch rapport
klei voor dijken**

Delft, mei 1996

Inhoud

1	Inleiding	2
1.1	Aanleiding en doel	2
1.2	Relatie met huidige leidraden	3
1.3	Inhoud en indeling rapport	3
2	Klei in dijken	5
2.1	Beschrijving van klei	5
2.2	Gebruik van klei bij dijken.	6
3	Eigenschappen van klei	9
3.1	Algemeen.	9
3.2	Klei als mineraal grondbestanddeel.	9
3.2.1	Samenstelling	9
3.2.2	Waterhoudend vermogen.	11
3.2.3	Cohesie	16
3.2.4	Invloed grovere fractie.	17
3.3	Klei als natuurlijke grond.	17
3.3.1	Bodemstructuur.	18
3.3.2	Microstructuur	21
3.3.3	Doorlatendheid.	21
3.3.4	Erosiebestendigheid.	22
3.3.5	Vormvastheid.	25
3.3.6	Verwerkbaarheid.	26
4	Klei in functionele onderdelen	28
4.1	Algemeen	28
4.2	Deklagen	28
4.2.1	Ontwerp van deklagen	29
4.2.2	Voorbeelden van deklagen	31
4.3	Kernmateriaal	34
4.4	Klei in ingraving	34
5	Beoordeling van klei	35
5.1	Eisen	35
5.1.1	Algemeen	35
5.1.2	Beschrijving van eisen	35
5.1.3	Verschillen met oude eisen	37
5.1.4	Verontreinigingen	38
5.1.5	Watergehalte bij aanbrengen	39
5.1.6	Aanvullende opmerkingen	40
5.2	Keuring	41
5.2.1	Procedure	41
5.2.2	Visuele beoordeling.	42
5.2.3	Monsterneming	43
5.2.4	Beproeving	44
6	Uitvoeringsaspecten	46
6.1	Algemeen	46
6.2	Aanbrengen en verdichten	46

LIJST VAN BIJLAGEN

1. Opdracht aan en samenstelling van de projectgroep
2. Bestekseisen volgens RAW-systematiek

Ten Geleide

Het 'technisch rapport: klei voor dijken' ligt voor u. Het wil inzicht verschaffen in het gedrag van klei, zoals dat zich in de dijk voordoet. Klei is een prima materiaal voor dijken: het is vaak stevig, vormvast en samenhangend, ook onder invloed van water.

De omstandigheden van klei in de dijk zijn anders dan van klei in een horizontaal maaiveld. Klei in de dijk is vaak droger dan klei in het maaiveld. De wisselingen in vochtgehalte en temperatuur zijn groter, vooral op zuid-taluds van de dijk. De 'waterdichtheid' van klei geldt wel onvergraven onder het gondwater, maar niet hoog en droog in de dijk.

De belangrijkste reden voor een 'ten geleide' is dat het onderzoek naar het gedrag van klei en de opzet van de tekst van dit technisch rapport dateren van ca. 1990.

Het werd ons toen duidelijk dat de erosiebestendigheid van dijktaaluds niet alleen door de kleikwaliteit, maar ook en mogelijk zelfs in grotere mate wordt beïnvloed door een goed beheer. Na het onderzoek naar klei is de ontwikkeling voortgegaan als een onderzoek naar het beheer van de dijkvegetatie. De publicatie 'AANLEG EN BEHEER VAN GRASLAND OP RIVIERDIJKEN' van L.M.Fliervoet, september 1992, uitgave van de Unie van Waterschappen en de Adviesgroep vegetatiebeheer van IKC-NBLF geeft een uitstekend overzicht van de mogelijkheden.

Bij gebruik van dit technisch rapport dient voor dijktaaluds en -bermen het effect van vegetatie en het beheer van vegetatie nadrukkelijk te worden betrokken.

De eisen die in dit rapport genoemd zijn voor klei voor dijken hebben betrekking op erosiebestendigheid. In het onderzoek is gebleken dat de boven- en ondergrens voor de doorlatendheid van gestructureerde klei slechts een factor 10 uiteen liggen. Bij gestructureerde klei blijkt een geringe doorlatendheid niet bereikbaar door het stellen van eisen.

Er zijn categorieën klei met verschillende erosiebestendigheid onderscheiden. Afhankelijk van de belasting op een talud kan een meer of minder erosiebestendige categorie klei worden toegepast.

Wanneer andere belangen of de wijze van beheer geen andere keuze rechtvaardigen kan de volgende suggestie gevolgd worden.

Categorie 1 klei is geschikt voor buitentaluds met hoge belastingen en bij lage belastingen is categorie 1 of 2 geschikt. Voor een binnentalud met hoge belasting (grote kans op c.q. veel overslaand water) kan categorie 1 klei worden gebruikt, maar categorie 2 is hier zeker ook toereikend, terwijl bij lage belasting zelfs soorten klei uit categorie 3 geschikt zijn. Ook voor binnendijkse steunbermen kan meestal worden volstaan met categorie 3 klei.

De werkgroep heeft de overtuiging dat door de omschakeling naar nieuwe keuringscriteria de hoeveelheid klei die in aanmerking komt voor de dijkbouw wordt vergroot, terwijl tevens klei efficiënter wordt toegepast.

voorzitter 'kleiclub', TAW B6

HOOFDSTUK 1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) is in 1965 ingesteld om de Minister van Verkeer en Waterstaat van advies te dienen over alle technisch-wetenschappelijke aspecten die van belang zijn bij waterkeringen. Als uitvloeisel van deze taak zijn inmiddels diverse leidraden en technische rapporten uitgebracht.

Ook ten aanzien van het gebruik van klei als bouw materiaal voor dijken heeft de TAW onderzoeken geïnitieerd. Enige jaren geleden is een onderzoek gestart naar het verband tussen de civieltechnische eisen en de gewenste kwaliteit van klei bij het gebruik ervan bij waterkeringen. De resultaten hiervan zijn in de periode 1985-1990 gerapporteerd [1 t/m 10, 12]. Het onderzoek heeft zich voor een belangrijk deel gericht op klei in deklagen met een grasbekleding. Op basis van dit onderzoek en eerder uitgevoerde onderzoeken naar klei onder steenzettingen, zijn eisen geformuleerd voor deklagen onder een steenzetting.

De redenen voor het uitvoeren van het onderzoek zijn gelegen in het feit dat voor de beoordeling van de kwaliteit van klei altijd is uitgegaan van de kennis en ervaring uit het verleden. Dit betekent dat vooral gekeken werd naar de samenstelling van de lutum- en zandfracties. Bij vergelijking van de eisen die daarvoor door verschillende beheerders werden gehanteerd, kwamen echter grote verschillen aan het licht. Daarnaast speelde steeds vaker de vraag in hoeverre niet-natuurlijk afgezette kleisoorten, zoals Euroklei en tarragrond, gebruikt kunnen worden voor de dijkenbouw.

Het onderhavige rapport is een Technisch Rapport waarin de resultaten van verschillende onderzoeken zijn samengebracht en één en ander in een logische context is geplaatst. Het doel van het rapport is inzicht te geven in de eigenschappen van klei die voor de dijkbouw van belang zijn en richting te geven in een eenduidige beoordeling van klei. Op grond van de te vervullen functies en de materiaaleigenschappen zijn eisen afgeleid en worden aanbevelingen gedaan voor het gebruik van klei in dijken.

Het rapport is primair opgesteld voor de direct betrokken technici bij het ontwerpen en het beheren van dijken. Daarnaast is getracht ook voor de geïnteresseerde niet-technici inzicht en informatie te geven over de problematiek rond het toepassen van klei in dijken.

Het rapport is niet bedoeld als wetenschappelijk werk waarin theoretische grondslagen uitputtend worden behandeld. Hiervoor wordt verwezen naar de onderzoeksnotities die de basis voor het onderhavige rapport hebben gevormd (zie literatuurlijst). Het rapport geldt als zogenaamde "*groene versie*".

Er dient te worden opgemerkt dat momenteel nog diverse rekenregels ontbreken om de sterkte van de klei nauwkeurig te kunnen kwantificeren.

Daarom is er zoveel mogelijk naar gestreefd praktische aanbevelingen op te nemen, waarmee in de meeste gevallen tot een verantwoord ontwerp en beheer kan worden gekomen.

Het rapport is onder verantwoordelijkheid van de projectgroep TAW-B6 voorbereid. De samenstelling van deze projectgroep is in bijlage 1 weergegeven.

1.2 Relatie met huidige leidraden

Het rapport is een aanvulling op de reeds eerder verschenen Leidraden en rapporten van de T.A.W en vervangt de daarin genoemde eisen voor klei. Het gaat dan om de volgende leidraden en rapporten:

- Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 - bovenrivierengebied [23];
- Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenrivierengebied [24];
- Natuurtechnisch en landbouwkundig beheer dijken [18];
- Leidraad keuzemethodiek dijk- en oeverbekledingen [20];

1.3 Inhoud en indeling rapport

Het onderhavige rapport valt in hoofdlijnen uiteen in twee gedeelten. Het eerste deel richt zich op het beschrijven van de eigenschappen van het materiaal klei en de omstandigheden waaronder dit in de natuur aanwezig is en wordt gebruikt. Het tweede deel betreft een losse bijlage waarin een voorstel is opgenomen voor concept-bestekbepalingen volgens de RAW-systematiek.

Het eerste deel beoogt op grond van de eigenschappen en de natuurlijke omstandigheden, die van invloed zijn op het functioneren van de klei in een dijk, te komen tot materiaaleisen die voor klei in dijken van belang zijn. Voor dit gedeelte is de rapportindeling als volgt te beschrijven:

Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van het materiaal klei en van enkele aspecten wanneer klei gebruikt wordt bij de aanleg van dijken. Hier wordt met name het aspect 'bodemstructuur' geïntroduceerd. Dit hoofdstuk vormt de rode draad voor dit rapport. In *hoofdstuk 3* worden de samenstelling en eigenschappen van klei uitgebreid beschreven. Daarbij is een splitsing gemaakt in klei als mineraal grondbestanddeel en klei als natuurlijke grond. Het laatste richt zich met name op de civieltechnische eigenschappen die van belang kunnen zijn bij het gebruik van klei in dijken. In *hoofdstuk 4* wordt aandacht besteed aan het gebruik van klei in dijken. Daarbij worden per constructie-onderdeel de belangrijkste functionele eisen aangegeven en worden de vereiste materiaaleigenschappen beschreven. *Hoofdstuk 5* geeft een opsomming van de eisen die men moet stellen bij toepassing van het materiaal klei in de dijkenbouw en beschrijft tevens verschillende aspecten die bij de keuring van de kwaliteit van klei in het werk een rol spelen. Hoofdstuk 6 behandelt enkele aandachtspunten bij de uitvoering. Daarbij gaat het met name om het aanbrengen en verdichten van de klei.

De losse bijlage betreft een voorstel voor de concept-besteksbepalingen conform de RAW-systematiek welke kan worden gehanteerd als aanvulling op hoofdstuk 22 van de RAW-bepalingen 1995 van de Stichting CROW [17]. De definitieve bepalingen zullen worden opgenomen in een aanvulling op de "RAW-bepalingen 1995".

2 Klei in dijken

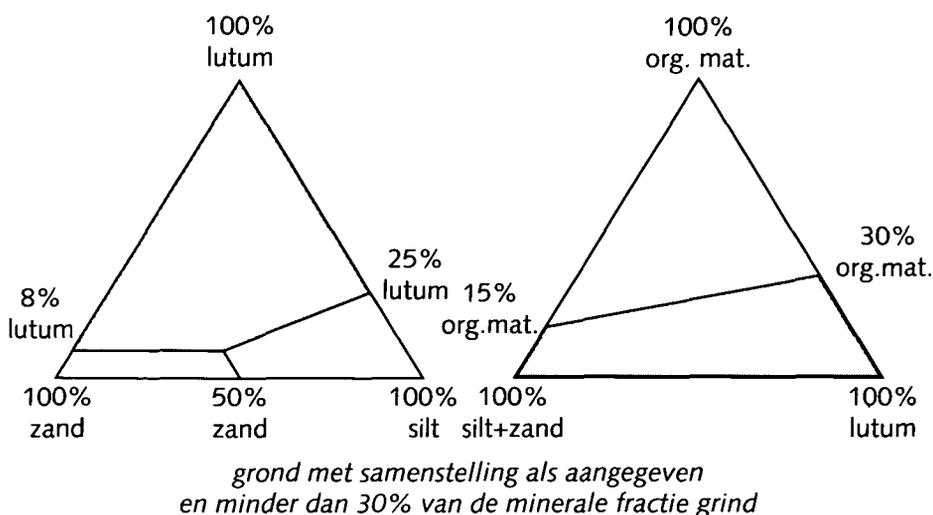
2.1 Beschrijving van klei

De term 'klei' kan op verschillende manieren worden gedefinieerd. In het onderhavige rapport wordt 'klei' gebruikt als benaming voor cohesieve grond die voor een belangrijk deel uit fijne deeltjes bestaat. 'Klei' kan echter tevens gebruikt worden als algemeen begrip voor fijne minerale grondbestanddelen, zoals in "kleiige grond" of "klei heeft affiniteit voor water". Ook deze definitie zal in dit rapport, daar waar nodig, worden gebruikt.

In NEN 5104 [16] wordt de grondsoort klei gedefinieerd als een *natuurlijke grond* met een samenstelling gebaseerd op de massapercentages lutum, silt en zand, zoals in figuur 2.1. is aangegeven. Natuurlijke grond bestaat in dit verband uit erosie- en afbraakprodukten van natuurlijke gesteenten, die door natuurlijke processen bijeen zijn gekomen. De in NEN 5104 gebruikte fractiegrenzen voor de verschillende fracties zijn:

- zand, equivalente korreldiameter gelijk aan of groter dan 63 μm en kleiner dan 2 mm;
- silt, equivalente korreldiameter gelijk aan of groter dan 2 μm en kleiner dan 63 μm ;
- lutum, equivalente korreldiameter kleiner dan 2 μm .

De term 'equivalent korreldiameter' wordt gebruikt omdat voor zeer kleine deeltjes de grootte wordt afgeleid uit de bezinksnelheden van deeltjes in water, waarbij de deeltjes als bolvormig worden verondersteld.



Figuur 2.1: Klassificatie volgens NEN 5104 voor de grondsoort Klei.

Klei komt in verschillende hoedanigheden voor met nogal uiteenlopende eigenschappen. De eigenschappen van een juist ontgraven plastische grijze of blauwe klei verschillen sterk van de eigenschappen van de stugge, kluitige landbouwgrond die daaruit kan ontstaan. De korrelgrootteverdeling van die beide kleisoorten kan dan nagenoeg dezelfde zijn, maar de civieltechnische eigenschappen als doorlatendheid en vormvastheid verschillen sterk. In het algemeen kan gesteld worden dat de civieltechnische eigenschappen van klei veranderen door invloeden vanuit de omgeving waarin de klei zich bevindt. Voorbeelden van dergelijke invloeden zijn verandering van grondwaterstand, uitdroging, etc.

Enkele karakteristieke eigenschappen van klei zijn cohesie (samenhang) en het vermogen om water vast te houden. De cohesie is het gevolg van bindingskrachten tussen zeer fijne gronddeeltjes. Deze krachten zijn groot ten opzichte van het gewicht van de deeltjes. Het vermogen van klei om water vast te houden, komt doordat de watermoleculen zich relatief sterk hechten aan het oppervlak van de gronddeeltjes en omdat de vele zeer fijne poriën in klei, vanwege de grote weerstand, verplaatsing van water door de klei sterk beperken. Wanneer er geen grotere poriën in het kleipakket zitten, is een kleipakket in het algemeen dan ook slecht doorlatend.

2.2 Gebruik van klei bij dijken.

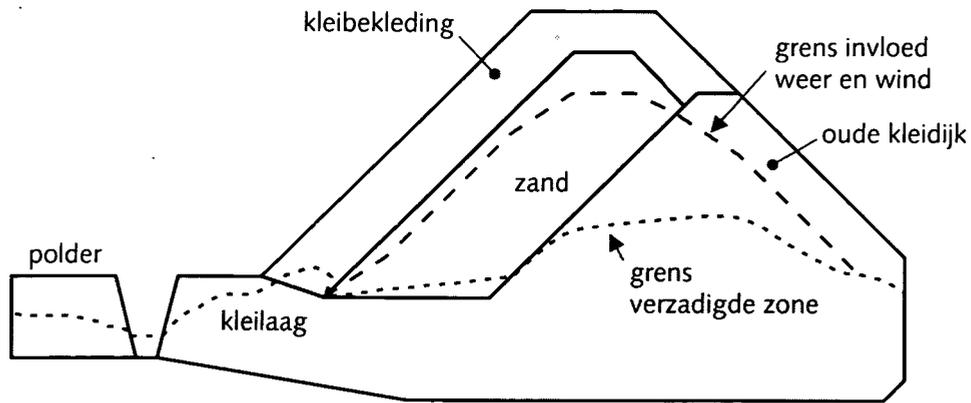
Klei wordt sedert eeuwen voor dijken gebruikt. Met name werd het toegepast als materiaal voor deklagen en in de kern van de dijk.

De grondsoort is van oudsher bekend vanwege de goede erosiebestendigheid en vormvastheid van het materiaal. Deze eigenschappen komen vooral tot uiting bij steile taluds en als er water tegen het talud staat. Ook de relatief geringe doorlatendheid van het materiaal speelde een belangrijke rol bij de keuze om klei in de dijkenbouw toe te passen. Bovendien is klei meestal in de directe omgeving beschikbaar.

Voornamelijk vanwege deze eigenschappen wordt klei ook nu nog veel in de dijkenbouw gebruikt. Een in klei uitgevoerd onderdeel heeft een functie voor de grondmechanische stabiliteit van het gehele dijklichaam. In figuur 2.2. zijn de constructieve onderdelen aangegeven waar klei wordt toegepast.

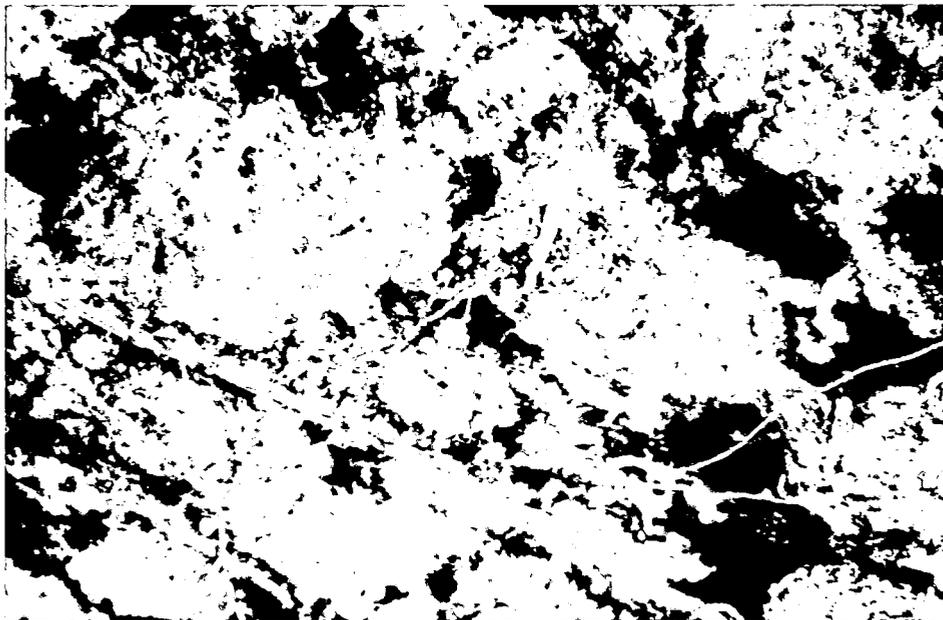
Een belangrijk aspect dat bij het beschouwen van de eigenschappen van klei een zeer grote rol speelt, is de aanwezigheid van een zogenaamde *bodemstructuur*. In een pakket klei ontstaan grotere poriën door het scheuren van de grond en door biologische activiteit in de grond. Scheuren kunnen optreden door krimpen en zwellen als gevolg van het droog en nat worden van klei. Biologische activiteiten betreffen bijvoorbeeld het graven van dieren (wormen, insecten, mollen) en doorworteling als gevolg van vegetatie. Zowel het scheuren van klei als de biologische activiteiten leiden tot bodemstructuur (figuur 2.3A en B).

Klei met een bodemstructuur bestaat uit een samenstel van grotere en kleinere, meestal hoekige brokken; de zogenaamde bodemaggregaten.



Figuur 2.2: Een dijkprofiel met daarin aangegeven de zone die in de meeste dijken permanent verzadigd is en de zone waarin weersgesteldheid grotere invloed heeft.

De grotere bodemaggregaten vallen vaak weer uiteen in kleinere aggregaten. De kleinste aggregaten met afmetingen van minder dan 2 mm, worden in en direct onder de graszode aangetroffen (figuur 2.3A).



Figuur 2.3A: Bodemstructuur in klei in dijken, bestaande uit scheuren, graafgangen van dieren, en bodemaggregaten. De foto laat een fijne structuur in een graszode zien.

Grote aggregaten in de vorm van min of meer hoekige kolommen of brokken met afmetingen van soms meer dan 20 cm, komen onder bepaalde omstandigheden echter ook voor (figuur 2.3B). De aggregaten hebben meer of minder onderlinge samenhang doordat ze aan elkaar kleven of doordat ze door bijvoorbeeld wortels aan elkaar verbonden zijn. De aggregaten van klei worden bij graafactiviteiten vaak versmeerd en de bodemstructuur is dan ook meestal pas te vinden als de klei voorzichtig met een mes wordt

'ontleed'. De buitenkant van de aggregaten heeft vaak een enigszins andere kleur en oppervlaktetextuur dan die van een vers gebroken stuk grond.



Figuur 2.3B: Bodemstructuur van klei in dijken. De foto toont de invloed van graven-de dieren en doorworteling tot op 0,7 m diepte. De structuur daaronder is het gevolg van wisselingen in vochtgehalte.

De aanwezigheid van een bodemstructuur domineert de meeste civieltechnische eigenschappen van een kleipakket; de doorlatendheid van het pakket wordt er volledig door bepaald en het heeft een belangrijke, negatieve invloed op de erosiebestendigheid.

In het algemeen heeft alle klei in dijken in meer of mindere mate een bodemstructuur. Inzicht in het fenomeen bodemstructuur en de aanwezigheid ervan in de dijk is dan ook essentieel.

Bodemstructuur in klei kan op veel plaatsen in de dijk voorkomen. Als gevolg van klimaateffecten en weersinvloeden ontstaat bodemstructuur ondermeer in de buitenste 1 tot 2 meter van een dijk, met name daar waar die niet verzadigd blijft door buitenwater of grondwater (figuur 2.2). Echter ook in de kern van dijken kan een bodemstructuur aanwezig zijn. De effecten van bodemstructuur zijn in het algemeen dominerend voor de eigenschappen van klei in en onder bekledingen, maar zal eveneens van invloed zijn op het functioneren van kleikernen bij dijken.

In paragraaf 3.3 wordt uitgebreid ingegaan op de bodemstructuur en met name het ontstaan ervan.

3 Eigenschappen van klei

3.1 Algemeen.

Bij de beschrijving van de eigenschappen van klei dient onderscheid gemaakt te worden in de eigenschappen van het materiaal als *mineraal grondbestanddeel* en de eigenschappen van klei als *natuurlijke grond*.

In het eerste geval gaat het om een beschrijving over de samenstelling van het kleimineraal, het waterhoudend vermogen en de cohesie. De beschrijving van de eigenschappen van klei als natuurlijke grond richt zich op aspecten als bodemstructuur, doorlatendheid, schuifweerstand, vormvastheid en verwerkbaarheid.

In de volgende paragrafen worden de verschillende eigenschappen beschreven.

3.2 Klei als mineraal grondbestanddeel.

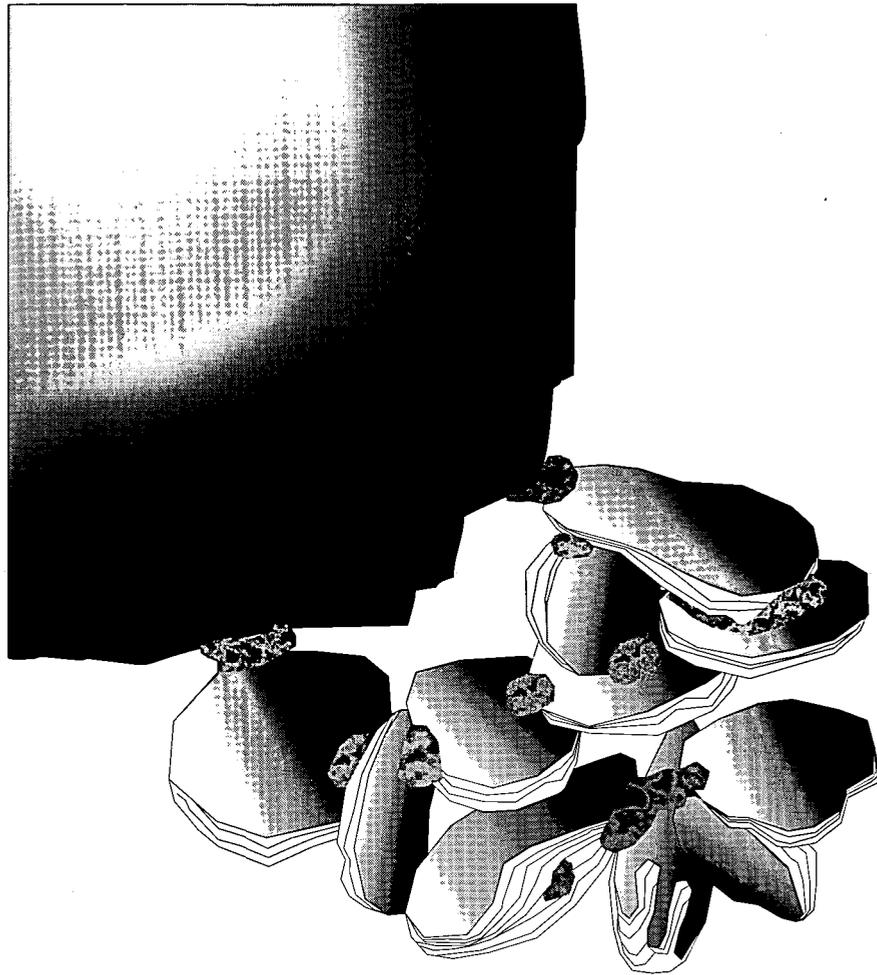
Voor het begrip van de materiaaleigenschappen van klei en van de verandering daarin, zijn een aantal aspecten van klei op microscopische en submicroscopische schaal belangrijk. Voor het grootste deel komen de materiaaleigenschappen van klei voort uit chemische en daar direct mee geassocieerde fysische verschijnselen.

3.2.1 Samenstelling

Klei bestaat uit deeltjes vaste stof, water met daarin opgeloste stoffen en uit gassen. De fijne fractie van de deeltjes vaste stof en het water bepalen de karakteristieke eigenschappen van klei. De fijne deeltjes bestaan uit verschillende mineralen. In Nederlandse kleisoorten zijn dit voor een groot deel vrijwel altijd kleimineralen. Dit zijn zeer dunne (dunner dan 10^{-8} m) plaatvormige deeltjes (figuur 3.1). Daarnaast komen er in de fijne fractie andere mineralen voor zoals kwarts, bepaalde ijzer- en aluminiumverbindingen, kalk, e.d. In klei zijn ook organische materialen aanwezig in de vorm van resten van plantaardige en dierlijke organismen (microscopische en grotere organismen), vezels, actieve bacteriën en schimmels, en organische moleculen. Voor uitgebreide informatie wordt verwezen naar de diverse mineralogische en bodemkundige handboeken [31, 46, 47].

In Nederlandse klei is de variatie in relatieve hoeveelheden van de verschillende bestanddelen vaste stof zodanig dat er daardoor aanmerkelijke verschillen in eigenschappen bestaan. Het verschil in eigenschappen tussen grijze of blauwe klei en klei uit een oudere kleibekleding komt voor een belangrijk deel daaruit voort. De samenstelling van de vaste stof verandert namelijk onder invloed van de omgeving waarin de klei verkeert. De verkleuring van grijze of blauwe klei tot een soms bont-geel en bruin gevlekte klei, wordt veroorzaakt door verandering van de mineralogische samenstelling (vooral door het omzetten van ijzer- en mangaanverbindingen).

gen). Deze verbindingen kunnen na verloop van tijd eveneens wederom veranderen.



Figuur 3.1: kleideeltjes, onderling en met een zanddeeltje gekoppeld door chemische verbindingen van o.a. ijzer en organisch materiaal.

De betreffende mineralen hebben invloed op het waterhoudend vermogen van de grond en op de sterkte van de verbindingen tussen de vaste stofdeeltjes en daarmee derhalve op de civieltechnische eigenschappen als vormvastheid en erosiebestendigheid.

De aard en de hoeveelheid van de in de klei aanwezige organische stoffen veranderen eveneens. Omzetting door micro-organismen doet de hoeveelheid grove en fijne organische resten afnemen. Als er geen lucht bij kan komen en als de temperatuur minder dan 10° tot 15°C bedraagt, is deze omzetting zeer langzaam. Het toetreden van lucht en hogere temperaturen doen de afbraak sterk versnellen, waardoor organische resten in de bovengrond binnen enige jaren afgebroken kunnen worden. In de bovengrond

ontstaat vaak organische stof als gevolg van plantenwortels, schimmels, toegevoegde mest en micro-organismen. Direct onder een graszode ontstaat door toevoer en omzetting van organische stof, een dynamisch evenwicht, waarin de totale hoeveelheid organische stof ongeveer 3 tot 5 % bedraagt. Door veranderingen van de hoeveelheid organische stof veranderen weer diverse eigenschappen van klei, onder andere de bulkdichtheid, het waterhoudend vermogen en de vervormingseigenschappen.

Eveneens van invloed op de eigenschappen van klei is het zogenaamde *specifieke oppervlak*. Dit is het totale oppervlak van de buitenkant van de deeltjes vaste stof. Omdat er in klei veel zeer kleine deeltjes vaste stof zitten, is het totale oppervlak van de buitenkant van de deeltjes in een bepaalde hoeveelheid klei in verhouding zeer groot. Het specifieke oppervlak van de deeltjes vaste stof in een gewone Nederlandse klei ligt meestal tussen 40 en 120 m² per gram grond. Bij zand is het vaak minder dan 1 m² per gram. Aangezien er een samenhang bestaat tussen de korrelgrootteverdeling en het specifiek oppervlak van grond is het mogelijk inzicht te krijgen in het specifiek oppervlak door het bepalen van de korrelgrootteverdeling.

3.2.2 Waterhoudend vermogen.

Klei houdt een bepaalde hoeveelheid water vast die afhangt van de fysisch-chemische eigenschappen van water en klei en van de zuigkracht die de omgeving op het water uitoefent. Veel eigenschappen van klei hangen samen met het watergehalte en veranderingen daarin.

Affiniteit voor water

Het oppervlak van nagenoeg al de deeltjes vaste stof in klei heeft affiniteit voor water, wat wil zeggen dat watermoleculen zich min of meer aan het oppervlak van de deeltjes hechten [53]. Zo houdt klei zelfs bij een temperatuur van 100°C nog een klein beetje water vast. Onder langdurig droge omstandigheden is in een kleibekleding, het water in een laagdikte van slechts enkele watermoleculen over het oppervlak van de deeltjes vaste stof verspreid. De hoeveelheid water die de klei dan vasthoudt, hangt af van de mate van de affiniteit voor water. Deze affiniteit wordt beïnvloed door de omvang en samenstelling van het oppervlak van de vaste stof en door eventuele stoffen die in het water zijn opgelost en aan de vaste stof zijn geadsorbeerd. Stoffen die in water oplossen houden namelijk ook water vast. Klei met een hoog zoutgehalte kan bijvoorbeeld relatief veel water vasthouden.

Klei houdt ook water vast door de aanwezigheid van zogenaamde oppervlaktetenspanningen. Daardoor kan water in fijnere poriën en kleine hoeken in grotere poriën worden vastgehouden. De oppervlaktetenspanning is het gevolg van de aantrekking tussen de watermoleculen en een vaste stofoppervlak, waardoor het water als het ware aan vaste stofoppervlakken blijft hangen.

Veranderingen in watergehalte.

De waterspanning in klei boven het freatisch vlak is meestal negatief ten opzichte van de atmosferische druk. Deze negatieve waterspanning wordt gewoonlijk met *zuigspanning* aangeduid omdat klei als gevolg van die negatieve spanning water kan opzuigen vanuit het freatisch wateroppervlak. Slechts door neerslag of infiltratie van buitenwater kan de waterspanning boven het freatisch vlak plaatselijk positief worden. De zuigspanning wordt bepaald door een dynamisch evenwicht tussen de zwaartekrachtspotentialiaal, de plaatshoogte boven het freatisch vlak, de vorm en de grootte van de poriën. Bovendien speelt de verdamping naar de atmosfeer een belangrijke rol. Deze kan zowel direct van de grond naar de atmosfeer als via de vegetatie verlopen. De mate van verdamping is ondermeer afhankelijk van de relatieve luchtvochtigheid van de lucht.

Nabij het oppervlak van een dijk bedraagt de zuigspanning in de zomer vaak meer dan 100 m waterkolom; voornamelijk ten gevolge van de relatief hoge temperatuur en de zuigkracht van vegetatie. Door neerslag en temperatuursveranderingen kan de zuigspanning in de zomer echter sterk schommelen en is bij regen vaak minder dan 5 m.

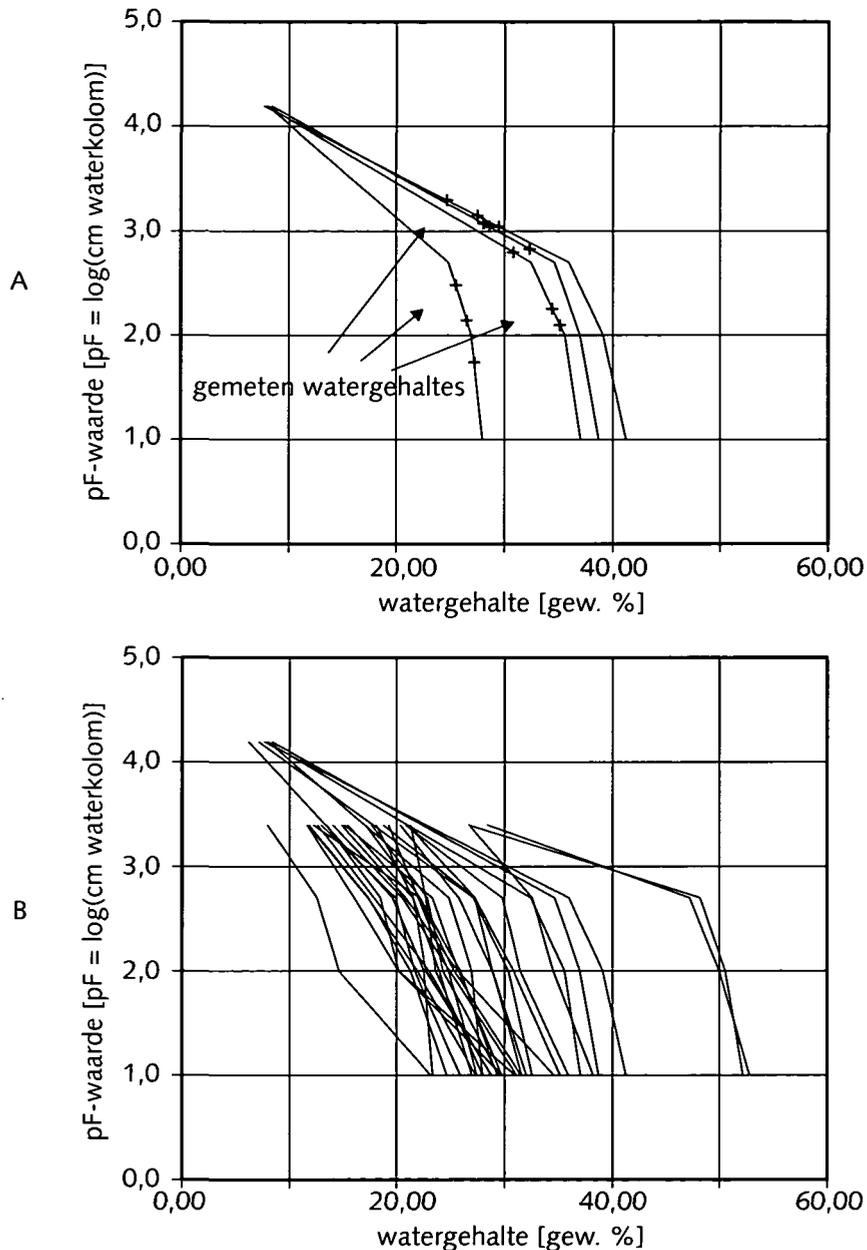
In winteromstandigheden is in natte perioden de zuigspanning in de kleibekleding van een dijk gemiddeld veelal minder dan 1 m waterkolom. Slechts in droge vrieslucht kan de zuigspanning aanmerkelijk hoger zijn, met name in taluds die op het zuiden zijn georiënteerd. In een wortellaag treden de grootste schommelingen in zuigspanning op door afwisseling van neerslag, wateronttrekking door wortels en zeer grote temperatuursverschillen.

In de kern van de dijk wordt de variatie van de zuigspanning veroorzaakt door verandering van de ligging van het freatisch vlak en door atmosferische invloeden. De effecten van wisselingen in atmosferische omstandigheden zijn hier gedempt. De variaties in zuigspanning in de kern zijn meestal langzaam en beperkt in omvang. De zuigspanning in de kern van een dijk varieert van 0 m tot zelden meer dan 5 m waterkolom.

Door verschillen in zuigspanning bestaat er een voortdurend transport van vocht door een dijklichaam. In de winter wordt klei meestal vochtiger, zelfs als er geen regen valt. Zomers droogt klei in bekledingen uit door vochttransport naar de atmosfeer. Als een bekleding nat is, verdwijnt er water door diffusie naar de atmosfeer en naar de relatief koude kern van de dijk.

Over een langere termijn varieert de zuigspanning voor elke plaats in een dijklichaam tussen bepaalde waarden. In de kern van een dijk liggen de representatieve waarden voor de zuigspanningen zoals eerder vermeld, tussen 1 en 5 m waterkolom in de zone ruim boven grondwaterniveau. In de buitenste 1 tot 2 meter van het dijkprofiel is er een grotere spreiding in gemiddelde zuigspanning en in de variatie ervan rond het gemiddelde (zie ook figuur 3.3). De zuigspanningen die in een drietal zomerperioden in de bovenste 30 cm van een grastalud zijn gemeten, bleken meestal hoger te zijn dan 10 m waterkolom. Op een diepte van 40 cm tot 70 cm bleek dat voor iets minder dan de helft van de bepalingen het geval te zijn. Voor grastaluds in Nederland is daarom vastgesteld dat een zuigspanning van 10 m waterkolom ($pF = 3$) voor de zomerperiode een geschikte representatie-

ve waarde is. Voorlopige bevindingen wijzen er op dat deze waarde ook een geschikte representatieve waarde is voor klei onder steenzettingen, maar dat de zuigspanning onder een steenbekleding minder snel wisselt.



Figuur 3.2: A: pF-curven met aangegeven de watergehaltes die in voorjaar, zomer en najaar zijn gemeten.
B: Enige pF-curven van klei uit kleibekledingen [7].

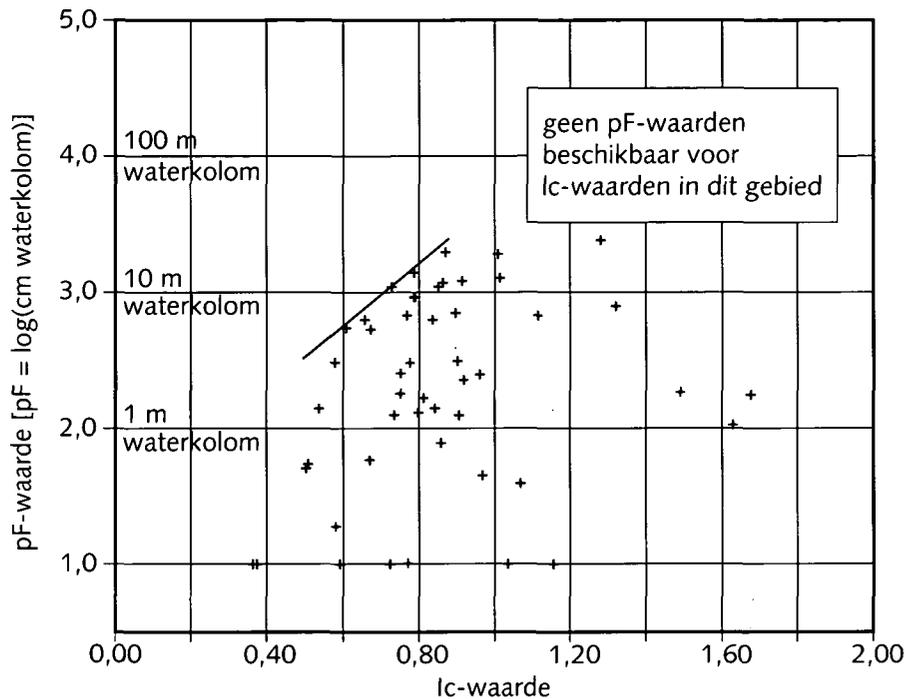
De hoeveelheid water die een klei onder verschillende omstandigheden vasthoudt, hangt af van de zuigspanning en van het waterhoudend vermogen van die klei. De hoeveelheid water die een klei kan vasthouden bij verschil-

lende zuigspanningen, wordt met behulp van een pF-curve weergegeven (zie figuur 3.2). Daarbij geldt:

$$pF = {}^{10}\log(\text{zuigspanning in centimeters waterkolom}).$$

De pF-curve is een belangrijk gegeven van een klei in onverzadigde omstandigheden.

In figuur 3.3 zijn enkele op dijken gemeten watergehalten van klei onder grasbekleding en de daarbij behorende zuigspanningen weergegeven.



Figuur 3.3: Zuigspanningen en watergehalten die zijn bepaald voor klei in bekledingsslagen van dijken met gras in voorjaar, zomer en najaar.

Watergehalte versus Atterbergse grenzen

De Atterbergse grenzen (vloei grens en uitrolgrens) zijn een maat voor de plastische eigenschappen van grond. Een belangrijke rol daarbij spelen de fysische eigenschappen van de vaste stof. In het algemeen wordt het waterhoudend vermogen van klei, zoals reeds eerder is genoemd, bepaald door de fysisch-chemische eigenschappen van water en vaste stof en door de vorm en grootte van de poriën. Bij zuigspanningen groter dan ongeveer 5 m waterkolom wordt de hoeveelheid water die klei vasthoudt voornamelijk bepaald door de eigenschappen van het oppervlak van de vaste stof. De grootte en vorm van poriën zijn dan relatief onbelangrijk. Het waterhoudend vermogen van klei bij zuigspanningen groter dan ongeveer 5 m waterkolom vertoont dan ook een samenhang met de Atterbergse grenzen.

Een afnemend watergehalte doet de stevigheid van verzadigde klei toenemen; ondermeer omdat de deeltjes dichter bij elkaar komen te liggen. Een verdergaande afname van het watergehalte leidt ertoe dat zo'n klei zich

meer als plastische vaste stof gaat gedragen dan als dikke vloeistof. Het watergehalte waarbij tijdens kneden de overgang van dikke vloeistof naar plastische klei plaatsvindt, hangt vooral af van de hechting van water aan de deeltjes van die klei. Deze hechting kan ondermeer wijzigen door verandering in de samenstelling van ionen en moleculen. Het watergehalte bij die overgang is dan een aanwijzing van de hechting (direct en indirect) van water aan de deeltjes en wordt de *vloeigrens* genoemd. Deze geeft inzicht in de fysisch-chemische eigenschappen van het oppervlak van de vaste stof en van het water. Omdat civieltechnische eigenschappen een direkt verband met deze fysisch-chemische eigenschappen hebben, is de vloeigrens in de praktijk een nuttige classificatieproef voor klei.

Als de klei nog droger wordt, komt men aan de grens waarbij geroerde cohesieve grond nog juist snel plastisch kan vervormen. Het watergehalte bij deze proef wordt de *uitrolgrens* genoemd. Deze classificatieproef geeft eveneens inzicht in de binding tussen deeltjes waarbij water betrokken is. De uitrolgrens is relatief laag als de grond weinig deeltjes bevat die fijner zijn dan 10 tot 20 μm .

Het verschil tussen de vloeigrens en de uitrolgrens wordt de *plasticiteitsindex* (I_p) genoemd. Deze waarde geeft inzicht in de mate waarin de klei gevoelig is voor verschillen in watergehalte. Bij zandige klei is de vloeigrens relatief laag. Meestal is de plasticiteitsindex dan ook laag. Bij sommige kleisoorten kan de uitrolgrens relatief hoog zijn ten opzichte van de vloeigrens van die klei, waardoor de plasticiteitsindex eveneens relatief laag is. In dergelijke klei zit dan veel water dat niet bijdraagt aan de zogenaamde cohesie van de grond. Voor klei in de dijkenbouw wordt de gemiddelde ondergrens voor het verband tussen uitrolgrens en vloeigrens door de zogenaamde A-lijn in een plasticiteitsdiagram weergegeven (figuur 5.1).

Zoals reeds eerder is vermeld, is er een zekere samenhang tussen bijvoorbeeld de Atterbergse grenzen en de fysisch-chemische eigenschappen van klei. De maximale hoeveelheid water die klei bij de wat grotere zuigspanningen kan vasthouden, kan daardoor worden geschat met een bepaalde verhouding tussen deze grenzen, namelijk de zogenaamde *consistentie-index*, (I_c). Deze index geeft aan hoe het watergehalte van een klei zich verhoudt tot de vloeigrens en de uitrolgrens en is als volgt gedefiniëerd:

$$I_c = \frac{w_l - w_n}{w_l - w_p} = \frac{w_l - w_n}{I_p}$$

Hierin is:

I_p = plasticiteitsindex

w_l = vloeigrens*

w_p = uitrolgrens*

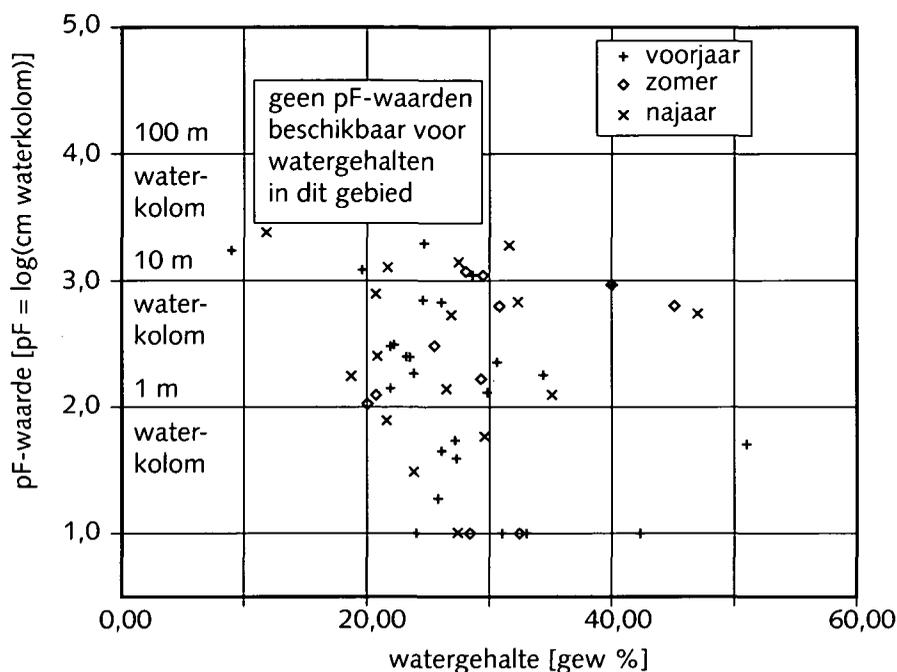
w_n = aanwezige watergehalte*

in massapercentage t.o.v. de droge stof

Bij een relatief hoog watergehalte en daardoor een lage consistentie-index, zal klei gemakkelijk vervormen. Als het aanwezige watergehalte in de buurt van de uitrolgrens ligt, zal de klei niet gemakkelijk meer snel plastisch vervormen. Een en ander is dus van invloed op de mate van verdichten van

klei en de consistentie-index is daarom een goede indicatie van de verwerkbaarheid van klei (zie ook paragraaf 3.3.6). Deze index wordt dan ook in dit rapport gebruikt om het watergehalte van klei bij het aanbrengen en verwerken te begrenzen.

Zo is het watergehalte van klei bij een I_c van 0.75 een goede benadering voor het maximum watergehalte bij een zuigspanning van 10 m waterkolom (figuur 3.4). Het watergehalte van klei in de kern van een dijk ruim boven het freatisch vlak, wordt benaderd met het watergehalte van klei bij een I_c van 0.6 [33].



Figuur: 3.4 De consistentie-index (I_c) van klei in kleibekledingen van Nederlandse dijken en de daarbij bepaalde zuigspanningen (pF-waarden). De I_c is voor pF=3 hoger dan ongeveer 0.75.

3.2.3 Cohesie

De cohesie van klei wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door de affiniteit van de deeltjes voor water. Watermoleculen hechten zich immers aan deze deeltjes, waardoor ze een verbinding kunnen vormen tussen die deeltjes. Daarnaast is voor cohesie de hechting van watermoleculen aan opgeloste stoffen van belang. Door de beweeglijkheid van watermoleculen blijft cohesie als gevolg van hechting van watermoleculen ook bestaan als klei sterk gekneet wordt. Ook hier spelen de Atterbergse grenzen en de consistentie-index een grote rol (zie paragraaf 3.2.2.). Bij kleisoorten met een relatief hoge uitrolgrens ten opzichte van de vloeigrens en dus een relatief lage plasticiteitsindex, zit veel water dat niet bijdraagt aan de cohesie van de grond.

Een afnemend watergehalte doet de cohesie van verzadigde klei toenemen omdat de deeltjes dichter bij elkaar komen te liggen. Een klei gaat zich dan

meer als plastische vaste stof gedragen dan als dikke vloeistof. Een verder gaande verdroging leidt tot afnemende plasticiteit.

Naast de affiniteit van de vaste stofdeeltjes voor water is de cohesie in klei tevens voor een deel het gevolg van het direct met elkaar verbonden zijn van mineralen en organische stoffen in de grond. Deze bindingen ontstaan meestal door mineralen en organische stoffen die chemisch aan het oppervlak van meerdere gronddeeltjes vastzitten en daardoor de deeltjes als cement bijhouden. De cementatie veroorzaakt relatief zeer sterke bindingen, waardoor de grond stevig tot hard wordt. Cementatiebindingen vormen zich meestal pas na verloop van uren tot soms jaren. De bindingen zijn echter weinig flexibel en worden daardoor bij grotere vervormingen verbroken. De eerder genoemde ijzer- en aluminiumverbindingen vormen een belangrijke categorie van deze cementerende stoffen en zijn veelal de oorzaak van de toename van de sterkte van blauwe of grijze klei die met lucht in contact komt. Daarnaast zijn veel omgezette organische verbindingen werkzaam als cementerende stof.

3.2.4 Invloed grovere fractie.

De wat grovere fractie in klei (de fractie groter dan 10 à 20 μm) heeft invloed op de eigenschappen van klei zoals bulkdichtheid, doorlatendheid en vervormingseigenschappen. Indien grond in de onverzadigde zone veel grovere deeltjes bevat (meer dan 60 tot 70 %), verspreidt de fijne fractie zich in een laag rond de grovere deeltjes, vooral rond de contactpunten. Een dergelijke grond heeft dus een relatief laag specifiek oppervlak. Het bestaat uit een skelet van grovere korrels waar fijn materiaal op zit en waarin de grotere poriën tussen die korrels open blijven.

Indien er weinig grovere korrels in een klei aanwezig zijn (klei met een hoog specifiek oppervlak), dan drijven deze als het ware in een massa van fijne deeltjes. In dat geval heeft de grovere fractie relatief weinig invloed op eigenschappen als doorlatendheid en schuifvervorming. De korrelgrootteverdeling van klei geeft inzicht in de invloed van de grovere fractie en is mede daarom voor de beoordeling van klei van belang.

3.3 Klei als natuurlijke grond.

Bij het beschouwen van de eigenschappen van klei als natuurlijke grond gaat het veelal om civieltechnische eigenschappen als waterdoorlatendheid, erosiebestendigheid, vormvastheid, etc. Deze eigenschappen kunnen na het aanbrengen, sterk in de tijd variëren. Dit is ondermeer afhankelijk van de omgeving en de wijze van aanbrengen. In de onderhavige paragraaf zullen deze eigenschappen en de directe achtergronden ervan in het kort worden besproken.

Zoals reeds in hoofdstuk 2 is aangegeven, is de *bodemstructuur* van essentiële invloed op de verschillende civieltechnische eigenschappen. Derhalve zal in dit hoofdstuk, alvorens in te gaan op de verschillende civieltechnische eigenschappen, eerst ruime aandacht worden besteed aan de bodemstructuur.

3.3.1 Bodemstructuur.

Door drogen en bevochtigen krimpt en zwelt klei. Het krimpen en zwellen hangt direct samen met de verandering van het watergehalte van klei. De verandering in watergehalte in onverzadigde grond wordt, zoals in paragraaf 3.2.2. is beschreven, veroorzaakt door verschillen in zuigspanning. Klei in de onverzadigde zone ondergaat daarmee tevens volumeveranderingen door de veranderingen in zuigspanning. De relatieve volumeverandering in dergelijke klei is ongeveer de helft van de verandering van watergehalte (uitgedrukt in gewichtsprocenten).

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 in de grond. De grotere krimp-scheuren staan meestal verticaal, ook in een dijkta-lud. Kleinere krimp-scheuren en de schuifvlakken komen in alle oriëntaties voor. Door de scheurvorming ontstaat een grond die uit aggregaten van verschillende afmetingen bestaat. Het samenstel van deze scheuren en aggregaten, samen met poriën en aggregaten die door dieren zijn gemaakt, wordt de *bodemstructuur* genoemd.

De ontwikkeling van bodemstructuur is enerzijds afhankelijk van de eigenschappen van de klei, zoals de interactie van de kleideeltjes met water, en anderzijds van omgevingsfactoren die bepalend zijn voor verandering van zuigspanning. Daarnaast spelen bijvoorbeeld graafactiviteiten van regenwormen of grotere dieren een rol waardoor de vorm en grootte van aggregaten en scheuren voortdurend wijzigt. De bodemstructuur onder en in een graszode is dan ook nogal dynamisch; er vormen zich voortdurend nieuwe aggregaten die vervolgens weer worden aangetast.

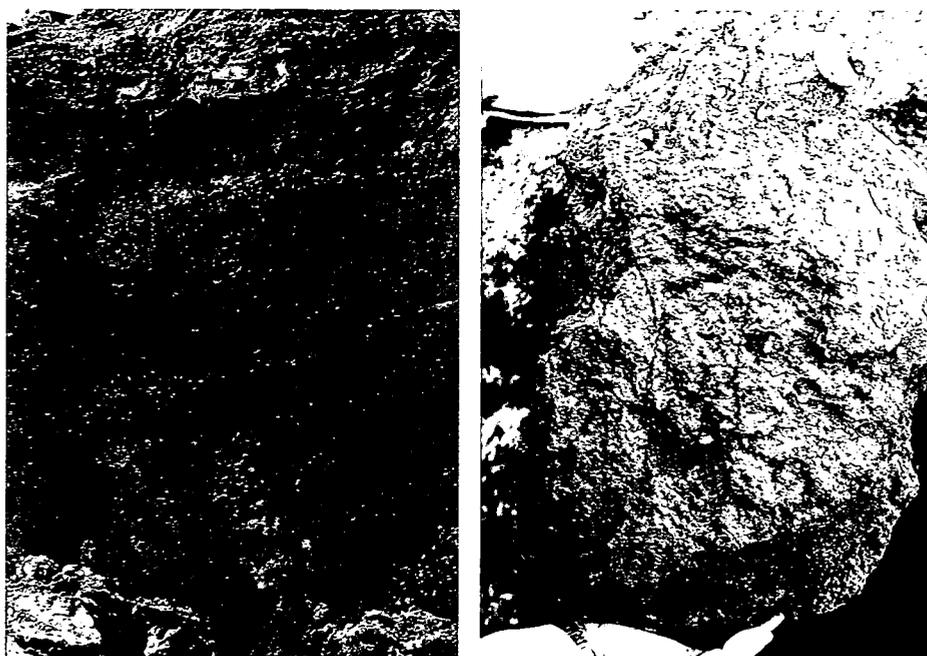
De bodemstructuur kan meer of minder duidelijk ontwikkeld zijn. Bij een sterk ontwikkelde bodemstructuur is er sprake van aggregaten die duidelijk afzonderlijk herkenbaar zijn en die onderling weinig samenhang vertonen. Zo'n uitgesproken structuur ontwikkelt zich door voortdurende geringe beweging door zwellen en krimpen, of door een éénmalig zeer sterk krimpen, waarna de daardoor ontstane grote spleten niet meer worden opgevuld. Snelle veranderingen van watergehalte, bijvoorbeeld door regenval, veroorzaken veel kleine scheurtjes en daarmee een fijne structuur. In de bovenste decimeters onder een graszode op een dijkta-lud is de structuur meestal zeer sterk ontwikkeld en bestaat uit relatief kleine aggregaten met afmetingen van millimeters tot centimeters. De aggregaten zijn vaak door wortels met elkaar verbonden (zie figuur 2.3A). Op grotere diepte onder een grasdek en in kleilagen onder steenzettingen zijn de aggregaten vaak minder duidelijk herkenbaar. Daar zijn afmetingen van soms meer dan 10 cm en is vaak nog enige cohesie aanwezig tussen de aggregaten.

In klei die door getijde-invloed zeer regelmatig nat wordt, zoals klei onder een steenbekleding beneden de hoogwaterlijn, vormt zich hooguit in de bovenste centimeters tot decimeters van de klei een bodemstructuur en is de structuur vaak minder duidelijk zichtbaar.

Onder een graszode vormt zich binnen een periode van enige jaren een duidelijke bodemstructuur tot een diepte van meer dan 0.8 m. De beschikbare waarnemingen geven aan dat er in een periode van 5 jaar een duidelijk herkenbare bodemstructuur onder een steenzetting kan ontstaan en dat na 10 tot 15 jaar de structuur overal aanwezig is. Ook in klei onder asfalt kan sterke structuurvorming optreden [37].

Als klei met een hoog watergehalte wordt aangebracht boven het freatisch vlak, zal het watergehalte ervan afnemen tot het in overeenstemming is met de zuigspanning in de omgeving. De klei krimpt daardoor éénmalig, hetgeen met vorming van grote scheuren gepaard gaat. In de bovengrond bestaan deze scheuren relatief kort door het homogeniseren door gravende dieren en door wortelwerking. Beneden enige decimeters onder maaiveld blijven deze scheuren vele jaren bestaan; in de kern van een dijk zijn zulke "fossiele" spleten meer dan 10 jaar na aanleg geconstateerd [33].

Het zal duidelijk zijn dat de aanwezigheid van bodemstructuur sterk van invloed is op de waterdoorlatendheid van kleilagen. Een deklaag van klei zal een aanzienlijk hogere doorlatendheid hebben dan op grond van proeven op kleimonsters is vastgesteld.



Figuur 3.5: Bodemstructuur in de kern van een dijk die na ophoging vrijwel niet is aangetast. A: Ophogingen herkenbaar in laagopbouw Erlecomse Dam. B Kluit met structuur van 1.5 m diepte uit onderste laag van figuur A.

Bodemstructuur wordt niet alleen in de deklagen van een dijk aangetroffen maar kan ook dieper in een dijklichaam aanwezig zijn. Als bijvoorbeeld een dijk met tussenpozen steeds weer is opgehoogd, hebben de diverse lagen ooit bij het oppervlak van de dijk gelegen en hebben daardoor een bodemstructuur. In dat geval bestaat zo'n dijk uit een opeenstapeling van pakketten grond met een bepaalde bodemstructuur (figuur 3.5).

Graafgangen van wormen, e.d. dringen soms eveneens diep in de dijk door en leiden daar tot structuurvorming (zie figuur 3.6). Ook is er op grotere diepte in de kern van een dijk bodemstructuur aangetroffen die het gevolg was van beworteling van opgaande vegetatie op de dijk. Door deze en soortgelijke omstandigheden is er zelfs in de kern van dijken heel vaak een duidelijke bodemstructuur aanwezig.

Dit heeft dan ook voor het gehele dijklichaam aanzienlijke consequenties voor de waterdoorlatendheid van het dijk.



Figuur 3.6: Wormgangen in een dijk kern bij Hank op 2 m beneden de kruin: de wormgangen zijn in grote hoeveelheden tot 0,6 m boven het plaatselijke grondwaterpeil aangetroffen.

In paragraaf 3.2 is er reeds op gewezen dat het watergehalte bij een consistentie-index (I_c) van 0.6 een indicatie geeft van het maximum watergehalte voor klei in de kern van een dijk ruim boven het freatisch niveau. Voor klei in een bekleding is het watergehalte bij een consistentie-index van 0.75 een indicatie van het maximum watergehalte. Als het watergehalte bij het aanbrengen hoger is dan het watergehalte van de aangegeven consistentie-indexwaarden, zal er een éénmalige daling van het watergehalte optreden na aanleg. Deze afname van het watergehalte leidt tot de genoemde volume-afname en scheurvorming.

Door de vorming van bodemstructuur wordt de samenhang in een kleipakket aanzienlijk beperkt en ontstaat er een netwerk van grove poriën. De

civieltechnische eigenschappen van een kleipakket met een bodemstructuur verschillen daardoor sterk van die van individuele aggregaten uit zo'n pakket. In gestructureerde grond kan oppervlaktewater snel infiltreren en door de grotere spleten en graafgangen kan veel water worden afgevoerd. De structuurvorming is gunstig en vaak zelfs onontbeerlijk voor vegetatie en ander bodemleven aangezien de doorluchting er sterk door verbetert en wortels er gemakkelijker een weg in de grond door kunnen vinden.

Zandinsluitingen in een kleipakket leiden tot dezelfde effecten als de spleten van de bodemstructuur. De samenhang in een kleipakket wordt door zandinsluitingen onderbroken en ook de doorlatendheid van een zandinsluiting is vele malen hoger dan die van de klei. Zandinsluitingen beïnvloeden ook de vorming van bodemstructuur. De insluitingen vergemakkelijken de toetreding van zuurstof en de afvoer van water. Rondom zandlenzen is dan ook vaak een sterke verkleuring door neerslag van ijzer- en mangaanverbindingen te zien.

3.3.2 Microstructuur

Behalve de hiervoor besproken vorming van bodemstructuur beïnvloedt het veranderen van het watergehalte ook de zogenaamde microstructuur van klei. De microstructuur betreft de ruimtelijke ordening van de individuele kleinere en grotere gronddeeltjes. Door het afnemen van het watergehalte van een grijze of blauwe klei, of van minerale baggerspecie, komen de deeltjes zeer dicht bij elkaar 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. Het effect van deze dichte pakking wordt aanzienlijk versterkt door de aanwezigheid van de cementerende stoffen die in paragraaf 3.1 zijn besproken. Een herhaalde wisseling van watergehalte versterkt de dichte rangschikking van deeltjes waardoor de klei steviger wordt.

In het algemeen is klei binnen één zomerseizoen na ontgraven reeds aanzienlijk steviger door de veranderingen in samenstelling en microstructuur. De aggregaten in een klei in dijkbekledingen hebben na enige jaren een schuifsterkte van vaak meerdere MPa (c_u -waarde met laboratorium vinproef). Klei in de onverzadigde zone in de kern heeft binnen enige jaren een ongedraineerde schuifsterkte van vaak veel meer dan 100 kPa. Fijnkorrelige minerale baggerspecie kan binnen 2 tot 4 jaar tot een stevige klei worden omgevormd door het in contact te brengen met de atmosfeer. De veranderingen die daarbij in baggerspecie en grijze of blauwe klei optreden, worden vaak met de term 'rijpen' aangeduid. De effecten van de verandering van microstructuur worden voor gerijpte klei bij intensief kneden weer teniet gedaan.

3.3.3 Doorlatendheid.

Door het ontstaan van scheuren in klei en eventuele graafgangen van dieren, neemt, zoals in paragraaf 3.3.1. reeds is aangegeven, na het aanbrengen de doorlatendheid van klei sterk toe. Tijdens een onderzoek lag de gemeten infiltratiesnelheid voor water op enige tientallen locaties op dijken tussen 10^{-5} en 10^{-4} m/s. De meetperiode liep van het vroege voorjaar tot in

de herfst. De variatie in infiltratiesnelheid op een dijktalud was op korte onderlinge afstand meestal groter dan op grond van de seizoensvariatie mocht worden verwacht.

Door verdichten wordt de doorlatendheid van gestorte klei aanzienlijk geringer. De doorlatendheid van een goed verdichte kleibekleding op een dijk bedroeg kort na het aanbrengen minder dan 10^{-6} m/s. In het eerste halfjaar na de aanleg nam de doorlatendheid echter toe tot ca. 10^{-5} m/s; een tienvoudige toename als gevolg van nauwelijks waarneembare scheurvorming door drogen.

Op een tweetal locaties is de infiltratiesnelheid gemeten in dieper gelegen delen van de dijk [33]. Op beide locaties bedroeg de infiltratiesnelheid eveneens ongeveer 10^{-5} m/s. Het kernmateriaal bestond hierbij in één geval uit zandige klei en in het andere uit klei die door wormgangen geperforeerd was tot ongeveer 60 cm boven het grondwaterniveau. Van een zestal bestaande dijken waarvan een deel van de kern was vrij gegraven, was er slechts één waarvan de indruk bestond dat structuurvorming en materiaaleigenschappen van een deel van de kern zodanig waren, dat de bulkdoorlatendheid daarvan beduidend lager was dan 10^{-5} m/s [33].

Op grond van het bovenstaande kan gesteld worden dat het niet mogelijk lijkt om de doorlatendheid van bekledingsklei op langere termijn te beïnvloeden door een bepaalde soort natuurlijke klei aan te brengen. De doorlatendheid van de klei-deklagen ligt door de genoemde oorzaken vrijwel altijd tussen 10^{-4} en 10^{-5} m/s.

3.3.4 Erosiebestendigheid.

Ten aanzien van erosie van klei in dijken dienen verschillende erosiemechanismen onderscheiden te worden. Enkele voorbeelden zijn het dispergeren van fijne deeltjes in water, het meevoeren van deeltjes onder invloed van waterstroming en de krachten door brekende golven. De werking van deze mechanismen hangt af van de belasting en van de structuur in de klei.

Fijne deeltjes in klei kunnen onder bepaalde omstandigheden zonder enige stroming in water worden opgenomen. De klei lost als het ware op (dispergeert), doordat de deeltjes en de opgeloste stoffen zoveel water aantrekken dat de onderlinge samenhang verloren gaat. Deze vorm van erosie werkt bij de meeste klei in Nederland slechts zeer langzaam, maar kan belangrijk zijn bij wisselende zoet-zout omstandigheden. Op langere termijn kan mede door dit mechanisme ook in erosiebestendige klei zodanige ontgronding onder harde bekleding ontstaan dat de functie daarvan wordt aangetast (bijvoorbeeld van invloed bij geulvorming onder steenzetting).

Door stroming van water langs grond kunnen individuele gronddeeltjes of kleine aggregaten uit de grond worden losgewerkt, hetgeen als een min of meer regelmatige slijtage van het oppervlak wordt waargenomen. Dit mechanisme leidt, zoals bekend, bij stroming langs zand snel tot grote schade. Ook bij zandige klei leidt dit mechanisme tot snelle aantasting. Met een laboratoriumerosietoestel is erosie van verschillende soorten grond

vergeleken die nauwelijks doorworteld zijn. Het bleek dat grond met meer dan 40 % zand, zeer snel erodeert bij relatief geringe stroomsnelheden. Ook grond met een plasticiteitsindex lager dan 18 % erodeert sterk. Een dergelijke plasticiteitsindex is een aanwijzing voor een laag gehalte aan fijne deeltjes.

Bij de vette kleisoorten, met een vloeigrens hoger dan 45 %, leidt erosie door langsstromend water niet tot sterke slijtage. Water kan gedurende tenminste enige uren met een snelheid van 8 m/s langs een dergelijke klei stromen, zonder een grotere slijtage te veroorzaken dan 1 tot 3 mm. Dit geldt als de grond goed verdicht is of lang in de onverzadigde zone is geweest. Slechts enkele kleisoorten met een vloeigrens hoger dan 45 % vertoonden bij een onderzoek een sterke erosie, maar deze hadden allen een relatief lage vloeigrens ten opzichte van de uitrolgrens. Ook is geconstateerd dat bij een aantal monsters met een relatief gering zandgehalte, maar wel met een vloeigrens lager dan 45%, een relatief sterke erosie optrad. De bevindingen met het laboratoriumerosietoestel zijn in overeenstemming met resultaten van grootschalige proeven en met veldwaarnemingen van erosieschade. Ook komen de bevindingen overeen met hetgeen in grootschalige proeven in 1992 is geconstateerd over erosie van klei met een hoge vloeigrens [51].

In hoofdstuk 5 zijn de bevindingen van diverse onderzoeken samengevoegd tot een aantal eisen die de erosiebestendigheid van klei karakteriseren. Daarbij zijn de Atterbergse grenzen en het zandgehalte gebruikt om 3 categorieën klei te onderscheiden. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

Indien grond een sterk ontwikkelde fijne bodemstructuur heeft, kan ook bij vette klei sterke erosie optreden door het verdwijnen van kleinere aggregaten, net als bij erosie van zand. In tegenstelling tot zandkorrels kunnen kleine aggregaatjes echter door wortels zeer hecht aan elkaar verankerd worden (figuur 2.3), waardoor de graszode toch relatief erosiebestendig is.

Op taluds met een graslandvegetatie blijkt dan ook weinig erosie op te treden als gevolg van stroming van water. Water dat over een dergelijk talud stroomt, veroorzaakt zelfs op relatief zandige klei vrijwel geen erosie. Hierbij dient er wel sprake te zijn van een gesloten zode. Er moet echter worden opgemerkt dat op grastaluds soms toch significante schade aan de grasmat ontstaat. Deze schade is meestal, naar het zich laat aanzien, ontstaan in de zone waar golven breken en daar waar andere krachten werkzaam zijn dan die van over het talud stromend water (bijvoorbeeld als gevolg van drijf hout). Proeven op een grasmat met zeer zandige grond wijzen er echter op dat schade door golven niet of zeer traag in een gesloten grasmat ontstaat wanneer deze golven lager zijn dan 0.2 tot 0.3 m (Hs).

Een belangrijk erosiemechanisme bij golfaanval wordt gevormd door de optredende krachten als gevolg van brekende golven [27]. Voor klei met een bodemstructuur is het losslaan en verdwijnen van grondaggregaten een belangrijke vorm van erosie bij golfaanval. De brokken kunnen door

verschillende mechanismen worden losgewoeld. Deze mechanismen hangen samen met de respectievelijke drukopbouw in het talud als gevolg van de golfwerking, de krachten op het talud door brekende golven en de daarop volgende waterbeweging over het talud [32]. Bij de in 1992 uitgevoerde grootschalige proeven op klei met bodemstructuur bleek deze wijze van erosie reeds bij golven van 1 m (Hs) de belangrijkste oorzaak van schade te zijn, in overigens erosiebestendige klei [51, 52]. De uitkomsten van benaderende berekeningen wijzen er echter op dat deze vorm van erosie bij golven lager dan 0.5 m waarschijnlijk nauwelijks meer optreedt [32].

Door de wisselwerking van de verschillende betrokken erosieprocessen ontwikkelt schade zich steeds sneller. Er kunnen in betrekkelijk korte tijd gaten van meer dan 0.8 m diepte ontstaan in klei zonder graszode met een bodemstructuur. Figuur 3.1 geeft een voorbeeld van de schade die in korte tijd in de Deltagoot ontstond bij in 1992 uitgevoerde proeven op klei zonder een graszode.

Er zijn in 1992 tevens grootschalige proeven uitgevoerd met golven van 1.5 m (Hs) op klei met een graszode en een taludhelling van 1:4 [52, 38]. Deze proeven geven de beschermende werking van een goede graszode goed aan. Er ontstond pas grote schade aan de klei met een bodemstructuur nadat de graszode op de klei zeer sterk was aangetast. In de bedoelde proef kon de zode pas na meer dan 16 uur golfbelasting als plaatselijk bezwaken worden aangemerkt. Ook de overslag van meer dan 5 ltr/m.s, die bij de proeven werd gegenereerd, veroorzaakte geen waarneembare aantasting van het binnentalud.

In het algemeen kan gesteld worden dat hoge golven in korte tijd grote schade kunnen aanrichten in de zone boven gemiddeld hoogwater in klei zonder graszode of harde bekleding. Lage golven kunnen slechts schade veroorzaken in weinig erosiebestendige klei als die niet voldoende beschermd is door bekleding. Opgemerkt kan worden dat overstromend water, zoals bij overslag van een dijk, slechts schade zal veroorzaken op klei die weinig erosiebestendig is en die geen voldoende gesloten bedekking heeft. Klei uit de onverzadigde zone heeft bij belasting in laboratoriumproeven een veel hogere erosiebestendigheid betoond dan er bij belasting door overslag optreedt.



Figuur 3.7: Schade door erosie van brokken uit een kleilaag met bodemstructuur die onder gezette steen was gevormd. De klei is in de vorm van brokken geërodeerd uit het gat dat 0,4 m. diep is. Enkele brokken hebben roesthuidjes (bruin).

3.3.5 Vormvastheid.

Vormvastheid is vooral van belang voor de klei die in dikke pakketten in de kern wordt verwerkt. De stevigheid van een pakket klei direct na het aanbrengen hangt nauw samen met het watergehalte en de mate waarin het pakket verdicht is. De stevigheid neemt na het aanbrengen, in de meeste gevallen toe (zie paragraaf 3.2.1). Een mogelijke uitzondering hierop is een droog verwerkte klei die intensief is verdicht. Zo'n klei kan na aanbrengen in de buurt van het grondwater tijdelijk enigszins minder stevig worden. Het is, naar het zich laat aanzien, niet waarschijnlijk dat verandering van zoute naar zoete omgeving of omgekeerd, belangrijke effecten op de sterkte van goed verdichte klei heeft. De schuifweerstand en samendrukkingseigenschappen van verdichte klei kunnen daarom direct na het aanbrengen als maatgevend voor de vormvastheid worden beschouwd.

De vervormingseigenschappen van een bepaalde kleisoort zijn direct na het aanbrengen van veel factoren afhankelijk. Er zijn geen eenduidige relaties tussen classificatieproefresultaten en vervormingseigenschappen van klei voorhanden. Een kwaliteitsbeoordeling op grond van deze relatie kan derhalve niet worden gegeven. De vervormingseigenschappen bij het aanbrengen kunnen met de gebruikelijke grondmechanische proeven worden bepaald, omdat het watergehalte van de klei tijdens het aanbrengen veelal bekend zijn en de mate van verdichting gespecificeerd kan worden.

Door afname van het watergehalte van een te nat aangebrachte kleikern kan, na het aanbrengen het volume van de klei met meerdere procenten verminderen (nog afgezien van consolidatie door bovenbelasting van het grondlichaam). Klei in de onverzadigde zone van de kern wordt na verloop van tijd dan ook meestal stevig tot hard.

Zoals eerder is vermeld, ontstaat in de kern echter ook vaak een bodemstructuur die de interne samenhang van de kern beperkt en die de doorlatendheid ervan sterk verhoogt. Deze verandering van eigenschappen heeft ook invloed op de vormvastheid van de klei.

3.3.6 Verwerkbaarheid.

De verwerkbaarheid van klei is van grote invloed op de wijze waarop klei wordt en kan worden aangebracht en verdicht. Het beïnvloed daardoor in grote mate het functioneren van een kleipakket in een dijk. Bijvoorbeeld de erosiebestendigheid en de vormvastheid van een kleiafdekking dat net is aangebracht, hangen, zoals in voorgaande paragrafen is geschreven sterk af van de mate waarin de gestorte klei is verdicht.

Voor het goed kunnen verwerken van klei dient deze zo plastisch te zijn dat kluiten goed door grondverzetmachines tot één samenhangend geheel verdicht kunnen worden. Anderzijds dient de klei voldoende hard te zijn om voldoende draagkracht te bieden aan de banden en tracks van grondverzetmachines. Ook dient de grond niet in zeer dikke plakken aan de machines te blijven kleven.

Zowel de stevigheid als de kleefbaarheid van klei hangen nauw samen met het watergehalte. De verwerkbaarheid wordt derhalve ook sterk bepaald door het watergehalte. De verwerkbaarheid wordt vaak aangegeven met het watergehalte in relatie tot de Atterbergse grenzen en wel de consistentie-index, I_c (zie paragraaf 3.2.2). Als klei erg nat is, zal door kleefwerking en geringe draagkracht de verwerkbaarheid beperkt zijn. Als klei daarentegen erg droog is, zijn de kluiten vaak zo hard dat verdichten alleen in de bovenste centimeters effectief is.

In het algemeen is klei het best tot de gewenste pakkingsdichtheid te verwerken als het watergehalte in de buurt ligt van de uitrolgrens, tussen de uitrolgrens en de vloeigrens. Bij een consistentie-index van 0.6 kan veel klei nog goed verwerkt worden. Een lagere consistentie-index leidt veelal tot lastigere verwerkingsmogelijkheden.

Het verdichten van klei met een watergehalte in de buurt van de uitrolgrens vergt een relatief hoge belasting. Voertuigen met banden kunnen bij een dergelijke klei slechts de bovenste één tot twee decimeter voldoende verdichten. Hetzelfde geldt voor verdichten met de bak van een hydraulische kraan. Met bulldozers kan een dergelijke klei in het algemeen tot een diepte van meerdere decimeters voldoende verdicht worden. De verdichting van een kleilaag dient uiteraard beoordeeld te worden aan het effect ervan in de onderkant van de verdichte laag.

De verwerkbaarheid kan sterk in negatieve zin worden beïnvloed door een overmaat aan water in de rand van de kluiten en op het contactvlak tussen gereedschap en klei. Een enkele stevige regenbui kan de verwerkbaarheid daardoor tijdelijk aanzienlijk beperken, terwijl de bui het watergehalte van het kleipakket als geheel slechts weinig heeft verhoogd.

Tot slot moet nog worden opgemerkt dat het watergehalte, naast de invloed op de verwerkbaarheid, natuurlijk nog de vorming van bodemstructuur in de klei beïnvloedt. Zoals reeds in paragraaf 3.2.2. aan de orde is gekomen, zullen, als het watergehalte van een klei bij het verwerken veel hoger is dan het representatieve watergehalte voor die klei op die plaats in de dijk, er grote krimpscheuren in het kleilichaam ontstaan die niet meer verdwijnen.

In het algemeen geldt dat het watergehalte dat voor het verwerken van klei in de kern en in de bekleding van dijken wordt vereist (zie hoofdstuk 5), vrijwel altijd leidt tot een redelijk goede verwerkings situatie.

4 Klei in functionele onderdelen

4.1 Algemeen

Bij het ontwerpen van een dijk en daarmee de verschillende klei-onderdelen spelen diverse aspecten een belangrijke rol. Ten aanzien van de lokale omstandigheden zijn dat bijvoorbeeld de geometrie van de dijk, de oriëntatie van taluds en de wijze van beheer. Veel van deze aspecten vallen buiten het kader van het onderhavige rapport. Voor het ontwerp wordt dan ook verwezen naar de leidraden en handreikingen van de T.A.W.

In dit hoofdstuk zullen die aspecten worden beschreven die betrekking hebben op het gebruik van het materiaal klei. In hoofdstuk 3 zijn de eigenschappen van het materiaal en de wijzigingen daarin als gevolg van omgevingsfactoren, uitgebreid beschreven, zowel voor klei als mineraal grondbestanddeel als voor klei als natuurlijke grond. In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de mogelijke invloeden die vanuit de omgeving kunnen voorkomen en waar derhalve rekening mee dient te worden gehouden. Daarbij is onderscheid gemaakt in de functionele onderdelen waar klei in dijken kan worden toegepast. Het gaat dan om:

- klei in deklagen;
- klei in de kern van een dijk;
- klei in kleikisten.

Bij de deklagen kan men denken aan kleilagen op binnen- en buitentaluds, maar ook aan horizontale deklagen in het voorland ten behoeve van vergroting van de kwelengte.

Uitgaande van de verschillende functionele onderdelen worden eisen en aanbevelingen gegeven voor de klei in die betreffende onderdelen.

4.2 Deklagen

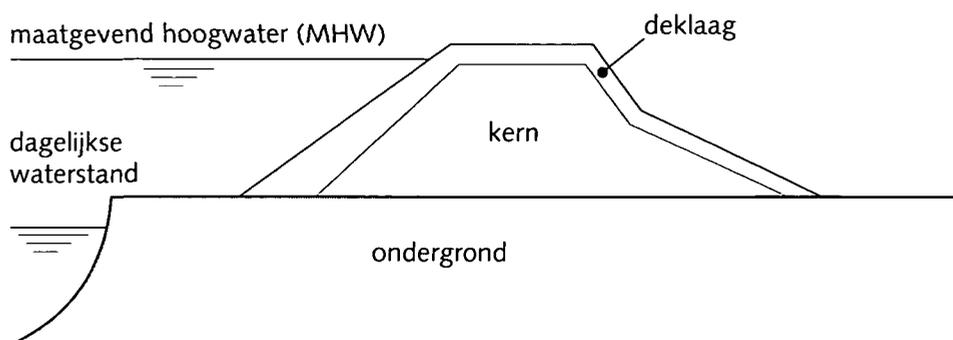
Een kleideklaag is een kleilaag die aan of nabij het oppervlak van de dijk worden toegepast. In de praktijk zijn het kleilagen op het talud van de kern van een dijk, bedekt met een grasland- of een steenbekleding. De deklaag heeft als functie het beschermen van de kern tegen aantasting. De klei vervult veelal de functie om de doorlatendheid te beperken en meestal ook de substraatfunctie voor de bekleding.

Als deklagen waarin klei wordt verwerkt, worden in deze paragraaf, de volgende constructies behandeld:

- deklaag op talud onder een graslandbekleding;
- deklaag in voorland ter vergroting van de kwelengte;
- deklaag op talud onder een 'harde' bekleding.

Figuur 4.1 geeft een overzicht van de functionele onderdelen.

Omdat de lagen zich aan of nabij het oppervlak van de dijk bevinden, is de invloed van het weer en de atmosferische omstandigheden groot. In paragraaf 3.2.2. is al aangegeven dat nabij het oppervlak van een dijk de zuigspanning in de zomer vaak meer dan 100 m waterkolom bedraagt ten gevolge van de relatief hoge temperatuur en de zuigkracht van vegetatie. Door neerslag en temperatuursveranderingen kan de zuigspanning in de zomer echter sterk schommelen.



Figuur 4.1 functionele onderdelen van een waterkering.

Voor graslandtaluds in Nederland is vastgesteld dat een zuigspanning van 10 m waterkolom ($pF = 3$) voor de zomerperiode een geschikte representatieve waarde is (figuur 3.3). Hoewel de zuigspanning onder steenbekleding minder snel wisselt en verdamping door vegetatie daarbij geen rol speelt, wordt ook daarvoor een representatieve waarde aangehouden van 10 m waterkolom. Het watergehalte bij aanleg mag daarom niet hoger zijn dan deze waarde.

In winteromstandigheden in natte perioden is de zuigspanning gemiddeld in de kleibekleding van een dijk vaak minder dan 1 m waterkolom. In de zode (de laag waar de meeste wortels aanwezig zijn) treden de grootste schommelingen in zuigspanning op door afwisseling van neerslag, wateronttrekking door wortels en zeer grote temperatuursverschillen.

Voor deklagen in het voorland ter vergroting van de kwelengte is het van belang dat weinig krimp optreedt. Als veilige representatieve waarde voor de zuigspanning kan hierbij ook een waarde worden aangehouden van 10 m waterkolom. Afhankelijk van de ligging van de freatische lijn en de variatie daarin kan eventueel een lagere representatieve waarde voor de zuigspanning gehanteerd worden, waardoor eventueel klei met een hoger watergehalte verwerkt kan worden.

Het is aan te bevelen maximaal een watergehalte aan te houden voor klei die in de kern van de dijk verwerkt wordt.

4.2.1 Ontwerp van deklagen

Ten aanzien van de substraatfunctie

De substraatfunctie van een kleibekleding vergt een bepaalde vormvastheid, afhankelijk van de soort bekleding. De vormvastheid van een kleibekleding hangt direct na het aanbrengeen vooral samen met het watergehalte en met de mate van verdichting van de losgestorte klei (zie paragraaf 3.3.5.).

Voór een harde bekleding dient klei zodanig verdicht te zijn dat tenminste de grote poriën tussen kluiten grond zijn dicht gedrukt. Bij onvoldoende verdichting kan klink optreden door compactie en door geleidelijke interne erosie in het pakket. Het functioneren van een harde bekleding kan hierdoor op den duur ondermijnd worden. Door erosie van onderliggende klei kan namelijk een harde bekleding ondergraven worden. Onder gezette steen kan in niet verdichte klei door golfbelasting sterke erosie optreden. Ondermijning van harde bekleding kan ook optreden door het in paragraaf 3.3.5 reeds genoemde verschijnsel dat klei als het ware kan oplossen. Grote verschillen in zoutgehalte versterken deze vorm van erosie; vooral zoutwaterklei in een omgeving van zoet water is soms gedurende meerdere jaren gevoelig voor deze vorm van erosie.

Om planten voldoende gelegenheid te geven wortel te schieten, dient de bovengrond in de te bewortelen zone niet te sterk verdicht te zijn. Het indringen van graswortels in sterk verdichte grond vergt zoveel tijd dat de jonge wortels van opkomend gras te weinig water en voedingsstoffen aan planten kunnen verschaffen om te overleven. De vorming van een zode wordt onder andere verbeterd door de goede combinaties van voedingsstoffen en door een geschikte water en luchthuishouding van de toplaag; de laag moet niet te snel uitdrogen (zoals zand), maar toch voldoende doorluchting hebben voor de afvoer van kooldioxide en andere gassen. Een en ander hangt samen met de wijze van beheer van het dijkta-
lud.

Een graszode kan zichzelf in een periode van enige maanden tot een jaar aanpassen aan kleine veranderingen van het taludoppervlak; de grasbekleding volgt de verandering van het taludoppervlak. Een graszode is daarom minder gevoelig voor lokale ondiepe erosie en andere lichte schade aan het talud.

Ten aanzien van beschermfunctie: Binnentalud en kruin

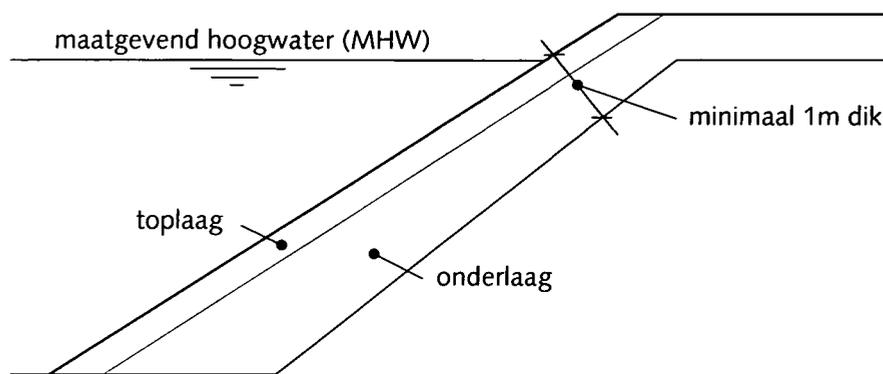
Het ontwerp van het binnentalud en de kruin van een dijk wordt behandeld in de 'Handreiking Constructief Ontwerp Rivierdijken' van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen van april 1994. In hoofdstuk 3.2.3. van dat rapport, 'Erosie binnentalud bij overslag', wordt aangegeven of en zo ja, op welke wijze, een voldoende sterk binnentalud ontworpen kan worden. Een en ander afhankelijk van de belasting, de taludhelling, het type graslandbekleding en de gebruikte klei-categorie.

Op deze wijze kan de benodigde klei-categorie worden bepaald voor een bepaald talud.

Ten aanzien van beschermfunctie: Buitentalud

Het ontwerp van het buitentalud van een dijk is ondermeer afhankelijk van de belasting (stroming en golven), de taludhelling, het type bekleding en de sterkte van de deklaag (substraat en bekleding). De gebruikte klei-categorie heeft invloed op de sterkte van het talud. Voor het ontwerp van buitentaluds is nog geen handreiking beschikbaar.

De geometrie van een deklaag op het buitentalud van rivierdijken wordt vaak wigvormig aangelegd (bijv. onderzijde 1:2, bovenzijde 1:3), zodat op plaatsen waar relatief frequent en langdurig belasting aanwezig is, een grotere weerstand tegen infiltratie en erosie aanwezig is (figuur 4.2). De wigvorm is tevens gunstig tegen het afschuiven van buitentaluds na een snelle val van de buitenwaterstand, waardoor eventueel overdrukken op kunnen treden. De dikte van de deklaag wordt meestal op minimaal 1 m aangehouden.



Figuur 4.2 Wigvormige deklaag op buitentalud.

4.2.2 Voorbeelden van deklagen

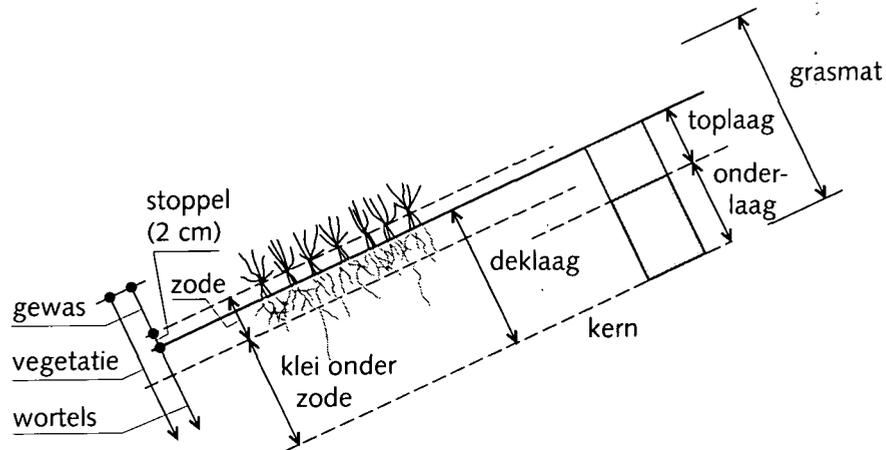
Deklaag met graslandbekleding

Een deklaag bestaande uit klei met een graslandbekleding is een eenvoudige en in veel situaties (vooral bij rivierdijken) doeltreffende bekledingsconstructie. Figuur 4.3 geeft de deklaag met de hierin te onderscheiden onderdelen weer.

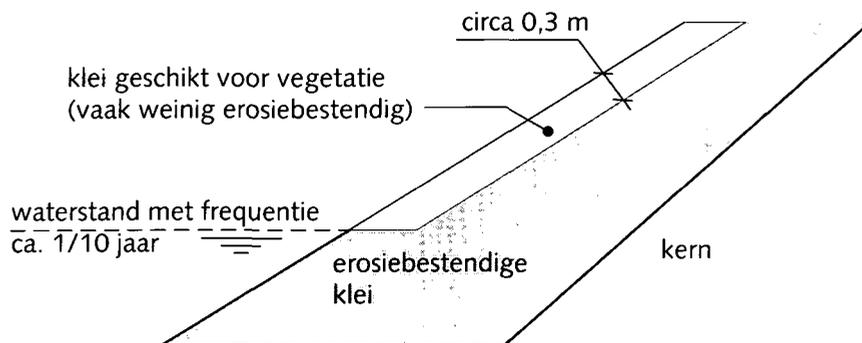
De functie van de deklaag is, zoals eerder vermeld, het beschermen van de kern tegen aantasting. Aan deze functie wordt voldaan door een goede erosiebestendigheid van het oppervlak van het talud. De erosiebestendigheid wordt geleverd door de interactie van de klei en de vegetatie, waarbij diversiteit aan vegetatie een sterke zode bewerkstelligt. Dit is te bereiken door de wijze van beheren.

Er lijkt een tegenspraak aanwezig, doordat een vette klei erosiebestendiger is, terwijl een sterke zode zich beter ontwikkelt op een armere klei. Om deze reden wordt de deklaag wel opgebouwd uit een toplaag en een onderlaag. De toplaag van ca. 0,3 m bestaat dan uit materiaal waarop de

vegetatie zich goed ontwikkelt en de onderlaag bestaat uit erosiebestendiger klei (zie figuur 4.4.).



Figuur 4.3 Opbouw deklaag met onderdelen



Figuur 4.4 Gedifferentieerde topklaag

Bij dijkverbetering wordt voor de topklaag ook wel materiaal gebruikt van de topklaag van de oude dijk, wanneer daarop interessante vegetatie aanwezig is. Door de TAW wordt momenteel verder onderzoek gedaan naar de erosiebestendigheid van taluds met een graslandbekleding.

Voor het beheer wordt verwezen naar 'Aanleg en beheer van grasland op rivierdijken' van dr. L.M. Fliervoet en naar 'LNC-aspecten en beheer van steile dijktafuds', dat in de handreiking 'constructief ontwerp' (TAW april 1994) is opgenomen.

De ontwikkeling van een soortenrijke vegetatie op een nieuw aangelegd talud duurt ca. 3 tot 5 jaar. Vooral direct na aanleg, wanneer de vegetatie zich nog niet heeft ontwikkeld, is een deklaag kwetsbaar voor erosie. Om deze reden wordt de aanleg van een zandiger topklaag op het buitentalud waarop een soortenrijke vegetatie zich goed ontwikkelt beperkt tot die delen die hoger liggen dan een waterstand met een frequentie van ca. 1/10

per jaar. In de lager gelegen delen van het talud, waar een grotere kans is dat er in het winterseizoen water tegen de dijk kan staan, wordt dan de gehele deklaag van erosiebestendige klei gemaakt. Ook kan het lagere deel van het talud met zoden worden bekleed.

Een nieuw aangelegd talud heeft in de eerste jaren na aanleg een intensiever onderhoud nodig, zeker als het in die eerste jaren wordt belast door een hoge waterstand eventueel in combinatie met golfaanval. Het is mogelijk in het bestek van aanleg van het talud een onderhoudsperiode van bijvoorbeeld drie jaar op te nemen, om het risico van de eerste jaren in te dekken.

Er zijn geen aanwijzingen dat een bekleding van de deklaag met *doorgroei-stenen*, die vervolgens gevuld of overvuld worden met klei, een betere erosiebestendigheid heeft dan een graslandvegetatie zonder doorgroei-stenen.

Deklaag in voorland

Deklagen in het voorland ter vergroting van de kwelengte dienen aan te sluiten op de kleilagen in het buitentalud van de dijk. De lagen in het voorland worden niet of nauwelijks belast door golfslag. De functie van de laag is water zoveel mogelijk tegen te houden door een zo klein mogelijke doorlatendheid. Zoals in paragraaf 3.3.3. als is aangegeven zullen kleilagen die een sterke structuurvorming vertonen een doorlatendheid bereiken van 10^{-4} à 10^{-5} m/s. Dit is ten opzichte van de doorlatendheid van zand een factor 1 tot 100 kleiner. In deklagen op dijktaluds zal deze structuurvorming altijd plaatsvinden, maar op grotere diepte in een horizontaal maai-veld, waar voldoende vochttoevoering plaats kan vinden vanuit de ondergrond, zal structuurvorming minder zijn. Ook zandiger kleisoorten vertonen minder structuurvorming. Deze soorten zijn derhalve geschikt voor horizontale afdichtende kleilagen in het voorland.

Deklaag onder 'harde' bekleding

'Harde' bekledingen worden onderscheiden in de volgende soorten:

- Gesloten bekleding. Dit betreft ondoorlatende plaatconstructies van cement- of asfaltbeton.
- Open bekleding. Dit betreft doorlatende constructies.
Hierin kan het volgende onderscheid worden gemaakt:
 - gezette bekledingen zoals basalt- of betonzuilen, blokken en keien;
 - stortsteen bekledingen;
 - plaatconstructies van doorlatende materialen zoals open colloïdaal beton of open steenasfalt.

Bij een nieuw aan te leggen gesloten bekleding zal niet voor een onderlaag van klei gekozen worden. De eisen voor een dergelijke klei worden dan ook niet behandeld.

Bij de open bekleding wordt de klei direct onder de harde bekleding of onder een filterlaag aangebracht. Eventueel kan nog een geotextiel boven de klei worden toegepast.

De klei onder harde bekledingen wordt aangesproken op de erosiebestendigheid van de kale klei. Een belangrijke achtergrond daarvoor is dat de

klei onder een harde bekleding dient te zorgen voor voldoende reststerkte in het geval de harde bekleding zou bezwijken. Het zal duidelijk zijn dat de mate waarin zich een bodemstructuur in de klei heeft ontwikkeld bepalend is voor de reststerkte.

In het algemeen zal de erosie zowel veroorzaakt worden door water dat afkomstig is van golfoploop als van water dat afkomstig is van neerslag. Onder open bekledingen komen regelmatig erosiegeulen in de klei voor.

Klei onder bekledingen dient derhalve goed erosiebestendig (categorie 1) en tevens goed verdicht te zijn.

4.3 Kernmateriaal

De belangrijkste eigenschap van klei voor de kern van een dijk is de vormvastheid. Zoals eerder genoemd is, hangt deze af van het watergehalte na aanbrengen, en van de mate van verdichting en neemt in het algemeen na het aanbrengen toe.

Wanneer de kern tevens een functie krijgt toegewezen ten aanzien van het beperken van de vervolgschade voor het geval dat de deklaag beschadigd is, dienen tevens eisen aan de erosiebestendigheid van de klei in de kern te worden gesteld

4.4 Klei in ingraving

Voor klei in ingraving, ter afsluiting van watervoerende zandlagen (kleikist) kan meestal uitgegaan worden van een toepassing in de verzadigde zone. Het beperken van de doorlatendheid is de enige functie.

Aan de klei worden uitsluitend eisen gesteld uit overwegingen van samendrukbaarheid en verwerkbaarheid.

Wanneer klei vanuit een verzadigde omgeving in een kleikist verwerkt wordt is het mogelijk om blijvend een veel lagere doorlatendheid te bereiken dan bij gestructureerde klei. Dit geldt voor het gedeelte dat zich onder de grondwaterstand bevindt.

5 Beoordeling van klei

5.1 Eisen

5.1.1 Algemeen

De keuze voor een bepaalde categorie klei die in een situatie dient te worden toegepast, wordt gemaakt op grond van de functies die vervuld moeten worden en de wijze waarop die functies doelmatig en efficiënt vervuld kunnen worden.

In dit hoofdstuk worden de eisen vermeld waaraan een klei moet voldoen om in een bepaalde klei-categorie te vallen.

De basis voor de indeling van klei in categorieën is de *erosiebestendigheid*. Er is daartoe een indeling gemaakt in drie categorieën van erosiebestendigheid van klei. Wanneer klei voldoet aan de criteria voor een bepaalde categorie is in principe de samenstelling van de klei zodanig dat de klei geschikt kan zijn of worden voor toepassing in de dijk. Voordat de klei definitief geschikt is om in de dijk te verwerken, dient ook nog voldaan te worden aan de eisen voor het watergehalte (de consistentie-index) van de klei.

Wanneer aan deze eisen wordt voldaan en een goede verdichting wordt bewerkstelligd, zal een optimaal resultaat voor de verschillende constructie-onderdelen kunnen worden gerealiseerd. Dit geldt dan zowel voor de (on)doorlatendheid, de vormvastheid als de erosiebestendigheid.

5.1.2 Beschrijving van eisen

In de onderstaande tabel zijn de eisen weergegeven die bij de beoordeling van klei voor gebruik in dijken kunnen worden gehanteerd. Daarbij is de volgende driedeling aangebracht:

categorie 1.	Erosiebestendig.
categorie 2.	Matig erosiebestendig.
categorie 3.	Weinig erosiebestendig.

Het onderscheid tussen de drie categorieën is gebaseerd op de Atterbergse grenzen en het zandgehalte. Daarnaast zijn nog enkele eisen toegevoegd die ook voor de andere eigenschappen van belang zijn en die voor alle drie categorieën gelden. Deze eisen liggen op het gebied van organisch stofgehalte, zoutgehalte, kalkgehalte, verkleuringen en geur. Daarnaast gelden uiteraard de vigerende eisen aan grond met betrekking tot toxiciteit en milieu-effecten.

Ten aanzien van de eis met betrekking tot het watergehalte voor klei in de kern van de dijk is onderscheid gemaakt in de kern met een waterdichtheidsfunctie en klei dat in de kern alleen als vulmateriaal dienst doet. Voor de eerste is het van belang dat geen bodemstructuur door krimp-scheuren ontstaat. Derhalve wordt een iets drogere klei vereist.

Tabel 5.1: Overzicht van de eisen aan klei voor gebruik in dijken.

Erosiebestendigheidscategorie	Grenswaarden classificatieproeven (alle getallen zijn massapercentages t.o.v. de droge massa) w_l = vloeigrens I_p = plasticiteitsindex $I_p = 0.73*(w_l-20)$ is de zogenaamde Δ -lijn in het plasticiteitsdiagram (figuur 6.1)	
1. Erosiebestendige klei	w_l en I_p en zandgehalte	> 45 > $0.73*(w_l-20)$ < 40
2. Matig erosiebestendige klei	w_l en I_p en zandgehalte	< 45 > 18 < 40
3. Weinig erosiebestendige klei	w_l en/of I_p en/of zandgehalte	< $0.73*(w_l-20)$ < 18 > 40

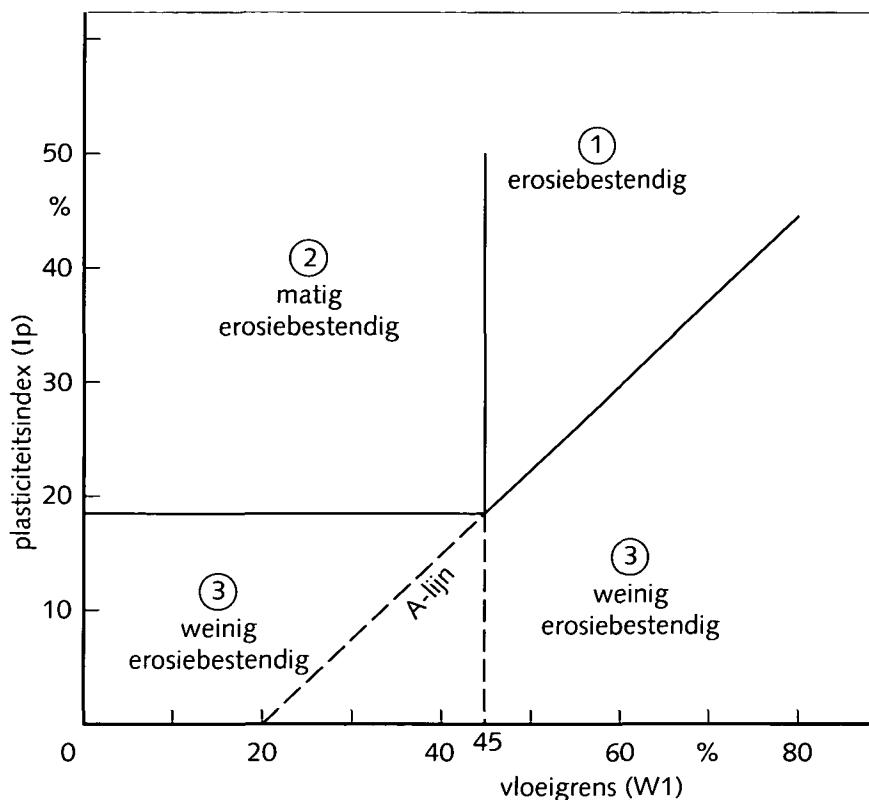
Voor alle klei voor dijken geldt tevens:

Organische stofgehalte	< 5
Zoutgehalte (NaCl g/l bodemvocht)	< 4
Watergehalte bij verwerken:	deklaag: $I_c \geq 0,75$
kern:	$I_c \geq 0,60$

en tevens (vanwege mogelijk afwijkende samenstelling):

- Kalkgehalte (HCl massaverlies): < 25
- Geen extreme verkleuringen bij ontgraven of drogen
(helder rood, helder geel, helder blauw of veel zwarte plekken)
- Geen afwijkende sterke geur
(rotte eieren, olie- of kolenachtig)

De eisen ten aanzien van vloeigrens en plasticiteitsindex zijn tevens weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1 Erosiebestendigheid uitgezet in het plasticiteitsdiagram; de vergelijking van de A-lijn is $I_p = 0.73 * (w_l - 20)$

5.1.3 Verschillen met oude eisen

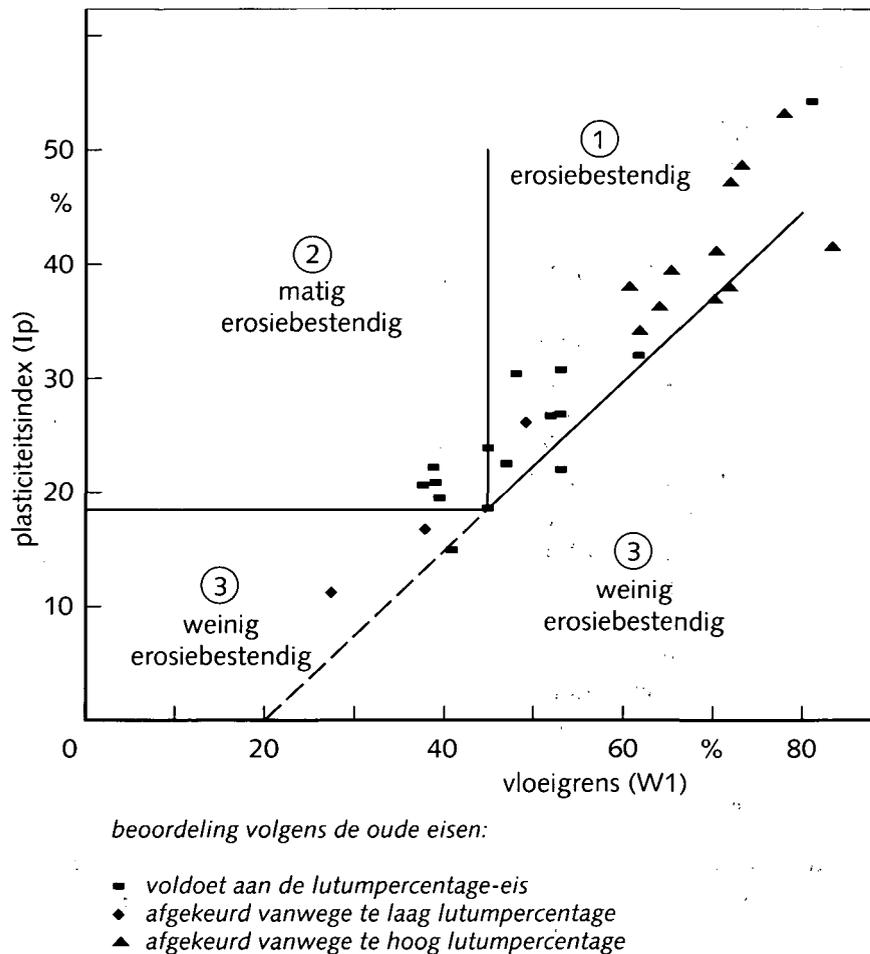
Vergelijking van de in dit rapport omschreven eisen met de voorheen gehanteerde eisen [24] laat zien dat het lutumgehalte niet meer als keuringscriterium is opgenomen. De achtergrond hiervan is, dat de consistentiegrenzen een betere relatie hebben met het gedrag van klei dan het lutumgehalte.

Het maximaal toelaatbare zandgehalte voor erosiebestendige en matig erosiebestendige klei is gesteld op 40 %. Het voorheen gehanteerde minimum zandgehalte is vervallen.

Het maximaal toelaatbare organisch stofgehalte is verhoogd van 4 naar 5 procent. Dit is slechts een geringe aanpassing. De nieuwe eis ten aanzien van het organisch stofgehalte is echter uitsluitend opgenomen met het oog op beperking van de krimp. Door afbraak van organisch materiaal kan namelijk een volumevermindering ontstaan. Verder wordt in de nieuwe eisen het organisch stofgehalte beperkt door eisen aan het watergehalte (consistentiegrenzen).

Ter vergelijking is in figuur 5.2 de beoordeling volgens de oude eisen (op basis van lutumgehalte) in het nieuwe beoordelingsdiagram uitgezet. Alle monsters uit de figuur voldoen aan de nieuwe eis ten aanzien van het zandgehalte.

De figuur laat o.a. zien dat klei die volgens de oude eisen werd afgekeurd op grond van een te hoog lutumgehalte, volgens de nieuwe eisen vaak in de categorie erosiebestendig valt.



Figuur 5.2 Vergelijking oude en nieuwe klei-indeling

5.1.4 Verontreinigingen

Verontreinigingen in de klei, hetzij al aanwezig op de winplaats, hetzij tijdens winning, transport of verwerking in de klei gekomen, kunnen het functioneren van de klei nadelig beïnvloeden. Meer specifiek kunnen verontreinigingen genoemd worden zoals puin, hout, wortels en andere delen van planten, plastic en dergelijke. De functionele eigenschappen van

de klei, zoals erosiebestendigheid, waterdichtheid en vormvastheid, zullen met dergelijke verontreinigingen aanzienlijk slechter worden. Klei mag derhalve geen van deze verontreinigingen bevatten in zodanige hoeveelheden dat deze schadelijk zijn voor de constructieve toepassing van de klei.

De opzet en werkwijze bij winning, opslag en transport dient erop gericht te zijn dat verschillende materialen gescheiden blijven. Vooral het voorkomen van zandige lagen in kleiconstructies verdient de nodige aandacht. Hierbij kan gedacht worden aan de volgorde van uitvoering en het aanbrengen van kleilagen op een zandonderlaag. Het zal duidelijk zijn dat zichtbare zandlenzen en zandlagen niet in klei mogen voorkomen. Wanneer een deel van een partij klei zandinsluitingen bevat zal dat deel van de klei bij de beoordeling of de keuring als een deelpartij moeten worden beschouwd en kan dan gerichter bemonsterd worden.

Ten aanzien van chemische verontreiniging dient de te verwerken klei te voldoen aan de mitigerende regelgeving op dat gebied. Het onderhavige rapport gaat niet in op dit onderwerp.

5.1.5 Watergehalte bij aanbrengen

Indien klei met een hoger watergehalte wordt aangebracht dan overeenkomt met de representatieve zuigspanning van de deklaag, zal de klei die daar verwerkt is, verder uitdrogen en daardoor krimpen. Hierdoor ontstaan grote scheuren die de civieltechnische eigenschappen van de klei aanzienlijk veranderen. Ter voorkoming hiervan wordt een maximum watergehalte voorgeschreven bij verwerking in een constructie-onderdeel. Het maximaal toelaatbare watergehalte wordt uitgedrukt in de zogenaamde consistentie-index I_c (zie paragraaf 3.2.2.).

Als eis voor alle deklagen geldt $I_c \geq 0,75$ en als eis voor klei voor de kern met de functie van vulmateriaal geldt $I_c \geq 0,6$. Hieruit is het maximum watergehalte w_{\max} af te leiden:

$$w_{\max, \text{deklaag}} = w_l - 0,75 I_p \text{ en } w_{\max, \text{kern}} = w_l - 0,60 I_p.$$

Uit de proctorproef volgt het optimum watergehalte W_{opt} . Dit is het watergehalte, waarbij de grootste dichtheid verkregen kan worden. Het verdichten van drogere klei dan dit optimum watergehalte wordt bemoeilijkt door de sterkte van de kluiten klei. Goed verdichten van droge klei kost veel inspanning. Het optimum watergehalte wordt dan ook als minimum watergehalte aangehouden. Voor klei ligt het optimum watergehalte ca. 5 à 10% lager dan bij een I_c van 0,75 en ca. 10 à 15% lager dan bij een I_c van 0,6.

Hieruit volgt dat het watergehalte waarbij de klei verwerkt wordt ligt boven het optimum watergehalte voor een efficiënte verdichting (proctorproef) en onder het maximaal toelaatbare watergehalte:

$$W_{\text{opt}} \leq W_n \leq W_{\max}$$

5.1.6 Aanvullende opmerkingen

Het watergehalte van oorspronkelijk blauwe of grijze klei is vaak te hoog om de klei direct in een dijk te kunnen verwerken. Het verwerken ervan leidt na verloop van tijd tot ongewenste vorming van grote scheuren in zowel kleibekledingen als de kern van dijken. Dergelijke natte klei dient gedroogd te worden alvorens hij wordt toegepast. Het drogen verloopt onder nederlandse omstandigheden het snelst als de klei in niet te dikke depots boven grondwaterniveau wordt gebracht. Oorspronkelijke blauwe of grijze klei is meestal slechts op korte termijn tot het vereiste watergehalte voor klei in bekledingen te drogen als het in lagen dunner dan ongeveer 1 m wordt uitgespreid.

In plaats van oorspronkelijk natuurlijk afgezette kleien kunnen veelal ook niet-natuurlijk afgezette kleien goed gebruikt worden; te noemen zijn *Euroklei* (klei geproduceerd uit havenslib uit Europoort) en *tarragrond* (grond van industrieel verwerkte wortel- en knolgewassen). Ook kan klei worden samengesteld door het mengen van verschillende soorten grond.

Er dient bij al deze grondsoorten op een aantal aspecten te worden gelet, met name:

- de grond moet voldoende homogeen zijn, waarbij vooral gelet dient te worden op:
 - zand en andere grofkorrelige insluitingen;
 - grove verontreinigingen;
 - grote lokale variatie in eigenschappen.
- de chemische en mineralogische samenstelling dient niet in belangrijke mate af te wijken van die van natuurlijke grond die voor dijkenbouw wordt gebruikt. Bij grotere afwijkingen dienen alle relevante aspecten voor het civieltechnische functioneren van het materiaal nagegaan te worden. Belangrijke afwijkingen betreffen o.a:
 - zoutgehalte;
 - toxische stoffen (voor plant, dier en mens);
 - afwijkende organische stoffen;
 - grotere hoeveelheden niet stabiele mineralen.

Bij het aanbrengen van klei bestaat de mogelijkheid dat zand van elders in het werk in het kleipakket terecht komt. De zandlenzen en lagen die daardoor ontstaan hebben dezelfde effecten als de spleten van bodemstructuur in de klei (zie paragraaf 3.3.1). De zandinsluitingen kunnen echter ook aanwezig zijn in klei op plaatsen waar zich geen bodemstructuur vormt. Een kleipakket met veel zandinsluitingen heeft, naar het zich laat aanzien, dezelfde doorlatendheids- en erosie- eigenschappen als klei met een bodemstructuur. De zandinsluitingen zelf kunnen echter snel wegeroderen. Zandinsluitingen dienen daarom zeker te worden vermeden voor kleipakketten waar hoge eisen aan gesteld worden.

Klei van bestaande dijken wordt vaak, al dan niet vergraven, in nieuwe dijken verwerkt. Oudere dijken hebben meestal een zeer heterogene opbouw, waarbij variatie in grondopbouw zowel in langs- als in dwarsrichting groot is. Klei uit oude dijklichamen dient daarom selectief ontgraven en opnieuw toegepast te worden. Klei in bestaande dijken is behalve hetero-

geen opgebouwd ook gestructureerd. In de oudere dijken wordt tot op grote diepte in de kern structuurvorming aangetroffen. De daarmee samenhangende eigenschappen hebben eventueel gevolgen voor het functioneren van een oud dijklichaam als onderdeel van een nieuwe waterkering.

5.2 Keuring

5.2.1 Procedure

De beoordeling van de kwaliteit van de te verwerken specie is gebaseerd op visuele beoordeling, monsterneming en keuring. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in vier fasen:

- vooronderzoek;
- keuring tijdens produktie;
- visuele beoordeling bij levering en monsterneming, eventueel gevolgd door keuring;
- definitieve keuring na verwerking.

Het vooronderzoek en de keuring tijdens de produktie vinden plaats door en onder verantwoordelijkheid van de aannemer.

Op basis van het vooronderzoek bepaalt de direktie of zij het vertrouwen heeft dat de aannemer tijdig voldoende klei van voldoende kwaliteit zal kunnen leveren.

Door beoordeling en keuring tijdens de produktie houdt de direktie de vinger aan de pols inzake de levering van de klei.

De direktie geeft toestemming het materiaal te verwerken op grond van de door de aannemer beschikbaar gestelde gegevens. Het staat de direktie ten allen tijde vrij zelf monsters te (laten) nemen en te (laten) onderzoeken om te kunnen beoordelen of de klei aan de eisen voldoet.

Omdat de keuring van de aangevoerde klei enige tijd neemt, zijn de proefresultaten meestal niet bekend voordat de klei verwerkt wordt. De direktie kan dan toestemming geven om het materiaal te verwerken op basis van een visuele beoordeling van de klei door de toezichthouder en/of op basis van gegevens die door de aannemer ter beschikking zijn gesteld. Vanwege de kosten die aan beproeving van monsters zijn verbonden zal niet iedere partij worden gekeurd, maar zal een groot deel van de aangevoerde klei slechts visueel worden beoordeeld.

Wanneer er bij de visuele beoordeling van de klei twijfel is aan de kwaliteit, is het verstandig monsters te laten beproeven.

Deze toestemming tot verwerking van het materiaal is echter onder het voorbehoud dat, indien een definitieve keuring uitwijst dat de klei niet aan de eisen voldoet, de aannemer voor eigen rekening de afgekeurde klei dient af te voeren en te vervangen door geschikt materiaal.

Bij de keuring na verwerking wordt getoetst of de klei voldoet aan de eisen die gesteld zijn, ondermeer ten aanzien van het watergehalte (I_c) en de verdichting van de klei in het werk.

Deze keuring vindt plaats na verwerking en geschiedt door of namens de direktie.

Deze beoordeling of keuring is dan ook bepalend voor de acceptatie van de verwerking, waarbij de kwaliteit moet voldoen aan de gestelde eisen.

5.2.2 Visuele beoordeling.

Bij de visuele beoordeling van een op het werk aangeleverde partij klei zijn de onderstaande aspecten van belang:

- extreme verkleuringen;
- sterke afwijkende geur;
- homogeniteit;
- verontreinigingen;
- zandgehalte;
- kalkgehalte;
- consistentie / hardheid.

Bij de visuele beoordeling van de klei dient er op gelet te worden dat de klei geen extreme verkleuringen vertoont (helder rood, helder geel, helder blauw of veel zwarte plekken). Ook mag de grond geen afwijkende sterke geur verspreiden (rotte eieren, olie of kolenachtig).

De klei mag geen vreemde bestanddelen, zoals puin, wortels van planten en houtresten, in zodanige hoeveelheden bevatten dat deze schadelijk zijn voor de constructieve toepassing van de klei. Bovendien dient de klei homogeen van samenstelling te zijn. Er mogen geen concentraties van zand of zandrijk materiaal in voorkomen.

Grond kan worden geclassificeerd volgens de NEN geotechniek 5104. Hiertoe wordt het lutum-, silt- en zandgehalte en het gehalte organisch materiaal van een voldoende aantal monsters geschat. Met behulp van de lutum-silt-zanddriehoek en de organische stof- lutum-silt+zanddriehoek (NEN 5104) is classificatie mogelijk. De schattingen van de gehalten kunnen verricht worden door de toezichthouder of een bodemkundige. Op basis van het door de vingers wrijven van het materiaal, het goed bekijken van de monsters en op basis van ervaring kan een redelijke schatting van de verschillende fracties worden gedaan en kan de grond worden geclassificeerd.

Voor de beoordeling van de erosiegevoeligheid van de klei zijn met name het zandgehalte en de plasticiteitgrenzen van belang. Het lutumgehalte wordt in de nieuwe eisen niet meer toegepast. Een schatting van het zandgehalte (<40 of >40) is goed mogelijk. Een adequate schatting van de PI is niet zondermeer mogelijk.

Voor de beoordeling van de erosiegevoeligheid van het aangeleverde materiaal wordt in het conceptrapport "Toetsingssysteem grasmatten (TAW A3)" gesteld, dat op basis van een visuele beoordeling indeling in categorie 1 (weinig erosiegevoelig) niet mogelijk is. Een richtlijn voor de categorisering is het geschatte zandgehalte. Kleilig zand en sterk zandige klei behoren tot categorie 3. Kleien mogen op deze manier niet beter worden beoordeeld dan categorie 3.

Het kalkgehalte kan met behulp van een eenvoudige proef worden bepaald. Indien verdund zoutzuur (10 %HCL) aan een verbrokkeld monster wordt toegevoegd is de mate van opbruising een maat voor het kalkgehalte.

- kalkloos: reactie is niet hoorbaar en niet zichtbaar;
- kalkarm: reactie hoorbaar en niet zichtbaar tot duidelijk hoorbaar en met korte opbruising;
- kalkrijk: reactie heftig en langdurig.

De consistentie of hardheid van de klei kan worden bepaald met de hardheidsaanduidingen volgens Sowers. In tabel .. is een overzicht gegeven van de hardheidsindeling en de toe te passen eenvoudige proef.

Tabel 5.2 Hardheidsaanduidingen volgens Sowers.

hardheids-aanduiding	ongedraineerde schuifsterkte [kPa]	eenvoudige veldherkenningsproef
zeer zacht	< 12.5	perst tussen de vingers door bij gesloten vuist gemakkelijk met de vingers te vervormen met de vingers vervormbaar onder sterke druk
zacht stevig	12.5 - 25 25 - 50	met de vingers in te drukken onder sterke druk
stijf	50 - 75	nauwelijks indrukbaar met de vingers
zeer stijf hard	75 - 100 > 100	nauwelijks indrukbaar met een potloodpunt

5.2.3 Monsterneming

Bij het vooronderzoek mogen voor het bepalen van de kleicategorieën geen mengmonsters worden gebruikt. De reden hiervan is dat bij het vooronderzoek een indruk verkregen dient te worden van de spreiding van de eigenschappen in de winplaats.

Voor de bepaling van de chemische verontreinigingsgraad kan gebruikt worden gemaakt van mengmonsters, voor zover de regels dat toelaten.

Het vooronderzoek op de winplaats of in het depot dient te bestaan uit:

- een representatief aantal boringen door een ter zake deskundige;
- per onderscheiden bodemlaag minimaal 3 representatieve monsters per te leveren kleicategorie. Het totaal aantal monsters is afhankelijk van de oppervlakte en de dikte van de te bemonsteren bodemlagen;
- nauwkeurige beschrijving van de bodemopbouw en de boorlocaties.

Op basis van dit vooronderzoek kan eventueel besloten worden selectief te ontgraven naar kleicategorieën.

Ten behoeve van het onderzoek naar de verontreinigingsgraad wordt, conform de "Opzet indicatief bodemonderzoek" van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten, d.d. 1986 [26], geadviseerd om in eerste instantie mengmonsters te verzamelen, bestaande uit maximaal 3 ongemengde monsters. De totale hoeveelheid monsters moet afgestemd worden op de vraag in hoeverre chemische verontreinigingen verwacht kunnen worden ("historisch onderzoek"). Blijkt uit de analyses dat in één of meer mengmonsters de verontreinigingseisen worden overschreden, dan kan worden

besloten tot het uitvoeren van een nader onderzoek, waarbij de omvang van de verontreiniging (in oppervlakte, diepte en verontreinigingsgraad) nader wordt vastgesteld.

De keuring tijdens de winning geschiedt evenals het vooronderzoek door of in ieder geval onder verantwoordelijkheid van de aannemer. De uitgebreidheid van dit onderzoek tijdens de winning zal in relatie moeten staan tot de inhomogeniteit van de klei, zoals uit het vooronderzoek is gebleken en de wijze van ontgraven.

Bij de aanvoer van klei op het werk wordt de klei door of namens de directie visueel beoordeeld, waarbij tevens aselekt monsters worden genomen.

Wanneer de visuele beoordeling reden tot twijfel geeft aan het voldoen aan de gestelde eisen kunnen de genomen monsters worden beproefd.

Wanneer een deel van de lading aanleiding geeft tot twijfel, kan dat deel van de lading als een deelpartij worden aangemerkt, waaruit aselekt monsters genomen worden. De beoordeling van de deelpartij geldt voor de gehele partij. Wanneer de deelpartij afzonderlijk gehouden kan worden van de gehele partij kan de directie toestemming verlenen om het goed beoordeelde of goedgekeurde deel van de partij te verwerken.

Ten aanzien van het controleren van de verdichtingsgraad kan het volgende opgemerkt worden. Het volume van de bij de dichtheidsbepaling gehanteerde steekringen is relatief klein ten opzichte van de afmetingen van kluiten of aggregaten. Het kiezen van de plaats waar de steekringen worden genomen is daarom van belang. Aan de wanden van een gegraven sleuf door de gehele verdichte laag kan worden waargenomen of na het verdichten nog grote poriën of holten aanwezig zijn. Deze informatie kan als indicatie gebruikt worden voor het bepalen van de plaats van de steekringen.

De opzet van de definitieve keuring na verwerking moet per project worden bepaald, waarbij de hoeveelheid onderzoek afhankelijk is van de proefresultaten van het vooronderzoek, de keuring tijdens productie en de weersomstandigheden tijdens de verwerking.

5.2.4 Beproeving

Gedurende het proces vanaf de winning van de klei tot en met het verwerken van de klei zijn monsters van de klei genomen (zie 5.2.1). De kleimonsters dienen te voldoen aan de in tabel 5.1 geformuleerde eisen. Bovendien worden eisen gesteld aan het watergehalte van de klei tijdens het aanbrennen in verband met het optreden van krimp en in verband met een goede verdichting (zie 5.1.5). Na verdichting geldt dat de droge dichtheid tenminste 97% van de proctordichtheid bij het aanwezige watergehalte dient te zijn (zie 6.2).

Om te toetsen of de klei voldoet aan de gestelde eisen wordt gebruik gemaakt van gestandariseerde proeven. Voor het onderzoek naar de erosiegevoeligheid van de klei zijn de vloeigrens, de uitrolgrens, de plasticiteitsindex, het zandgehalte, het kalkgehalte, het organisch stofgehalte en het zoutgehalte van belang.

De vloeigrens wordt bepaald met het toestel van Casagrande en is afgesproken als het watergehalte waarbij een V-vormige groef gemaakt met een standaardmes, zich net sluit nadat het bakje 25 maal is opgelicht en teruggevallen. De uitrolgrens is gedefinieerd als het watergehalte waarbij het nog juist mogelijk is om de klei uit te rollen tot draden van 3 mm. De vloe- en de uitrolgrens wordt bepaald conform proef 15 van de standaard RAW bepalingen 1990. De plastische index is gedefinieerd als het verschil tussen de vloeigrens en de uitrolgrens.

Het zandgehalte van de klei kan worden bepaald met proef 2 van de RAW 1990. Voor de bepaling van het kalkgehalte, het gehalte organische stof en het zoutgehalte wordt verwezen naar de in de bijlagen beschreven proefmethoden (bijlage 2A, 2B en 2C).

De dichtheid van de klei en het watergehalte wordt vastgesteld conform proef 4.4 en de proctordichtheid conform proef 5 van de standaard RAW bepalingen van 1990

6 Uitvoeringsaspecten

6.1 Algemeen

Naast de eisen voor klei die in vorige hoofdstukken zijn behandeld, zijn er ook een aantal aspecten die tijdens de uitvoering aandacht behoeven en die het functioneren van de klei kunnen beïnvloeden. De aandachtspunten zijn verwerkt in de losse bijlage, waarin concept standaard besteksbepalingen voor klei in dijken zijn geformuleerd volgens de RAW systematiek. Na de uitgave van de Standaard RAW Bepalingen 1995, waarin de concept standaard besteksbepalingen naar verwachting opgenomen zullen worden, dient daarvan gebruik gemaakt te worden en vervallen de hierbij gevoegde conceptbepalingen. Er wordt bij de bepalingen uitgegaan van "uitvoering in den droge".

De belangrijkste aandachtspunten tijdens de uitvoering ten aanzien van klei zijn:

- verdichten van klei;
- verontreiniging van de klei.

6.2 Aanbrengen en verdichten

Ten aanzien van de invloed van het watergehalte op de verwerkbaarheid van klei is reeds in paragraaf 3.3.6 aan de orde geweest. Enkele overige aspecten die van belang zijn voor het aanbrengen en verdichten zullen in de onderhavige paragraaf worden besproken.

Klei die aangevoerd is ter verwerking in een dijk, bestaat uit losse brokken en kluiten, waarvan de afmetingen afhankelijk zijn van de samenstelling, de vochttoestand en de wijze van winning. De bedoeling van verdichten is om deze brokken in elkaar te werken op een zodanige wijze dat de grote porieën en holten tussen de brokken worden dichtgedrukt.

Om een optimale verdichting te verkrijgen, moet de klei worden aangebracht in lagen van maximaal 0,40 m dikte, die ieder afzonderlijk door een bulldozer worden verdicht.

Door tegen een helling op rijdend de klei te verdichten ontstaat een grotere zwaartekrachtcomponent, waardoor een effectievere verdichting optreedt. Verdichten met een machine op banden geeft een te hoge contactdruk direkt onder de band, tenzij met zeer lage bandenspanning wordt gewerkt. Bij verwerking met de bak van een hydraulische kraan wordt geen goede verdichting verkregen.

Klei mag niet in bevroren toestand worden verwerkt. De reden hiervoor is dat een goede verdichting dan niet mogelijk is.

Na verdichting moet de droge dichtheid tenminste 97% van de proctor-dichtheid (éénpuntsproctorproef) bij het aanwezige watergehalte bedragen.

Door te sterk verdichten kan plaatvorming, versmering en verkneding optreden. Dit veroorzaakt een verlies aan stevigheid van de klei en de doorworteling verloopt zeer moeizaam en langzaam. Om die reden dient de klei die over het gemaakte werk wordt aangevoerd, versparend te worden uitgereden.

De klei dient zodanig te worden verwerkt dat door neerslag geen plassen op de klei kunnen blijven staan. De kleilagen dienen daartoe afwaterend te worden aangebracht.

LITERATUUR

1. Centrum voor Onderzoek Waterkeringen
Klei, bestekseisen t.b.v. constructie en uitvoering: Overzicht huidige kennis en onderzoeksvoorstel
Den Haag, COW, onderzoek S-81.023, 1984.
2. Grondmechanica Delft
Kleigrond voor de bekleding van dijken: opmerkingen over het zwellen en krimpen en het ontwikkelen van structuur.
Delft, GD, rapport CO-275920/12, 1985.
3. Grondmechanica Delft
Onderzoek van kleibekledingen van dijken langs IJssel en Pannerdens Kanaal voor het ontwikkelen van keuringseisen van klei.
Delft, GD, rapport CO-275921/47, 1986.
4. Grondmechanica Delft
Onderzoek van kleibekleding van dijken aan zout en brak water in Friesland, Zuid-Holland en Zeeland voor het ontwikkelen van keuringseisen van klei.
Delft, GD, rapport CO-275923/29, 1987.
5. Grondmechanica Delft
Resultaten van bepaling van volumeverandering door verandering van zuigspanning in onverzadigde kleigrond.
Delft, GD, rapport CO-275923/33, 1987.
6. Grondmechanica Delft
Infiltratiesnelheidsmetingen en materiaalkarakteristieken van het buitentalud van de IJsseldijk nabij Terwolde en Veessen.
Delft, GD, rapport CO-287750/09, 1987.
7. Grondmechanica Delft
Onderzoek naar het beoordelen van de geschiktheid van kleigrond voor bekleding van dijken met grasbedekking.
Delft, GD, rapport CO-275925/14, 1988.
8. Grondmechanica Delft
Simulaties van watergehalteveranderingen en structuurvorming in een kleilaag op een dijk onder invloed van het weer.
Delft, GD, rapport CO-275925/11, 1989.
9. Grondmechanica Delft
Validatie keuringseisen klei voor bekleding van dijken met gras.
Delft, GD, rapport CO-307280/10, 1990.
10. Grondmechanica Delft
Eisen te stellen aan klei onder blokken.
Delft, GD, rapport CO-321240/5, 1990.

11. Grondmechanica Delft, Waterloopkundig Laboratorium Delft
Taludbekledingen van gezette steen: Samenvatting van onderzoeksresultaten 1980 - 1988.
Delft. RWS-DWW, rapport M1795/H195 deel XXIV, 1990.
12. Grondmechanica Delft
Voorlopige bevindingen onderzoek aanbrengen en verdichten klei voor dijken.
Delft. GD, rapport CO-319080/11, 1991.
13. Kuipers, Dr. Ir. S.F.
Bodemkunde
Zwolle, N.V. Uitgeversmij W.E.J. Tjeenk Willink, 1966.
14. Landbouwuniversiteit Wageningen, vakgroep Vegetatiekunde, Plantenecologie en Onkruidkunde
Natuurtechnische en civieltechnische aspecten van rivierdijkvegetaties
Wageningen, LU, 1987.
15. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Leidraad Bodemsanering, aflevering 4.
Den Haag, Min. van VROM, 1988.
16. Nederlands Normalisatie-Instituut
NEN-5104: Classificatie van onverharde grondmonsters
Delft. NNI, 1989.
17. Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek
Standaard RAW-bepalingen 1995.
Ede. Stichting C.R.O.W, 1995
18. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Landbouwkundig en natuurtechnisch beheer van rivierdijkgrasland.
Den Haag, TAW, z.j.
19. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Leidraad voor ontwerp, beheer en onderhoud van constructies en vreemde objecten in, op en nabij waterkeringen.
Den Haag, Staatsuitgeverij, 1976.
20. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Vereniging Nederlandse Cementindustrie, Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt
Leidraad Keuzemethodiek dijk- en oeverbekledingen (2 delen).
Delft. TAW, VNC VBW-Asfalt, z.j.
21. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Leidraad cel- en triaxiaalproeven ten behoeve van de beoordeling van de stabiliteit van dijken.
Delft. TAW/Waltman, 1988.

22. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. CUR-VB
Leidraad cementbetonnen dijkbekledingen.
Den Haag, TAW, CUR-VB, 1984.
23. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
**Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken: deel 1 - bovenrivier-
engebied.**
Den Haag, Staatsuitgeverij, 1985.
24. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
**Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken: deel 2 - benedenriverenge-
bied.**
Den Haag, Staatsuitgeverij, 1989.
25. Veen, Ir. C. van der; Horvat, Ir. E.; Kooperen, ing. C.H.
Grondmechanica, met beginselen van de funderingstechniek
Delft, Waltman, 1981
26. Vereniging Nederlandse Gemeenten
Opzet indicatief bodemonderzoek.
Amersfoort, VNG/DHV, 1986.
27. Bezuijen, A., A.M. Burger, M. Klein Breteler 1990: **Taludbekleding van
gezette steen: Samenvatting onderzoeksresultaten 1980-1988.**
M1795/H195. RWS DWW, Delft, 288 pp.
28. COW 1980: **Inventarisatie markante verschijnselen aan rivierdijken
opgetreden tijdens de hoge Rijnafvoer van februari 1980.** Centrum
Onderzoek Waterkeringen rapport S-80.027, 54 pp, DWW, Delft.
29. COW 1982: **Inventarisatie markante verschijnselen aan rivierdijken
opgetreden tijdens hoge Rijnafvoer van januari 1982.** COW rapport S-
82.018, 68 pp., DWW Delft.
30. Dalrymple, J.B. en C.Y. Jim 1984: **Experimental study of soil microfa-
brics induced by isotropic stresses of wetting and drying.** Geoderma 34,
pp. 43-68.
31. De Boodt, M.F., M.H.B. Hayes, A. Herbillion 1990: **Soil colloids and
their association in aggregates.** NATO ASI Series B: Physics Vol 215.
Plenum Press N.Y.
32. GD 1991a: **Beschouwingen over de reststerkte van een kleilaag onder
steenzetting.** Grondmechanica Delft rapport CO-318170/10 voor RWS
DWW Delft, 56 pp.
33. GD 1991b: **Waarnemingen aan de opbouw van dijken in het rivieren-
gebied.** Grondmechanica Delft rapport CO-307281/07 voor RWS
DWW Delft, 24 pp.
34. GD 1991c: **Opbouw en erosie van graszode op dijken.** Grondmechanica
Delft concept rapport CO-307282/18 voor RWS DWW Delft, 74 pp.

35. GD 1992a: **Rapportage over klei onder steenzetting en erosie bij golf-aanval n.a.v. Deltagootproeven 1992.** Rapportage voor RWS DWW, Delft. in voorbereiding.
36. GD 1992b: **Rapportage aanbrengen en verdichten van klei.** in voorbereiding.
37. GD 1992c: **Rapportage structuur klei onder steenzetting en asfalt in Friesland en Zeeland, en klei in de kern van een dijk in Friesland.** in voorbereiding.
38. GD 1993: **Meetverslag Deltagootproeven op grastalud: Waterspanningsmetingen, erosieschade en mechanische eigenschappen van zode en klei-onderlaag.** In voorbereiding.
39. GD & WL 1984: **Erosiebestendigheid van gras op dijkstaluds: Verslag modelonderzoek in 1982 en 1983, uitgevoerd in de stroomgoot te Lith.** Grondmechanica Delft rapport CO-265412/15 en Waterloopkundig Laboratorium rapport M 1930 voor COW, 28 pp.. RWS DWW Delft.
40. NEN 5104: **Classificatie van onverharde grondmonsters, 1989.** NNI, Delft.
41. Ingles, O.G. 1968: **Soil chemistry relevant to the engineering behaviour of soils.** In I.K. Lee (ed.) Soil mechanics; Selected topics, Butterworths London, pp. 1-57.
42. Koolen, A.J. & H. Kuipers 1983: **Agricultural soil mechanics.** Springer-Verlag New York, 241 pp.
43. Phillipse en Seijffert 1990: **PIANC bijdrage.**
44. Pons, L.J. en I.S. Zonneveld 1965: **Soil ripening and soil classification.** Intl. Inst. Land Recl. and Improvement, Publ. 13, Wageningen.
45. RWS Zeeland 1985: **Eindrapport Klei onder steenzettingen voor Oesterdam en Philipsdam.** RWS Directie Zeeland, 44 pp.
46. Scheffer, F. en P. Schachtschabel 1970: **Lehrbuch der Bodenkunde.** Enke Verlag, Stuttgart, 448 pp.
47. Sposito, G. 1984: **The surface chemistry of soils.** Oxford Un. Press, N.Y. 234 pp.
48. Sykora, K.V. & C.I.J.M. Liebrand 1987: **Natuurtechnische en civiel-technische aspecten van rivierdijk vegetaties.** Rapport van Landbouw-universiteit Wageningen VPO voor DWW, DWW Delft.
49. TAW 1988: **Water tegen de dijk: De toestand van de rivierdijken tijdens de hoge Rijnaafvoer van maart 1988.** TAW, Waltmans, Delft, 53 pp.

50. TAW 1985: **Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken: deel 1 - bovenrivierengebied.** Staatsuitgeverij, Den Haag.
51. WL en GD 1992a: **Reststerkte van dijkbekledingen, stabiliteit van steenzetting en klei-onderlaag: Deel III, Meetverslag deltagootonderzoek.** Rapport Waterloopkundig Laboratorium en Grondmechanica Delft voor RWS DWW, Delft in voorbereiding.
52. WL en GD 1992b: **Meetverslag Deltagootproeven erosiebestendigheid grastalud.** in voorbereiding.
53. Yarif, S. en H. Cross 1979: **Geochemistry of colloid systems.** Springer N.Y. 450 pp.

Bijlage 1

Opdracht aan en samenstelling van de
projectgroep

1. Samenstelling van de projectgroep

De projectgroep TAW-B6, 'keuringseisen voor klei voor de dijkbouw', was als volgt samengesteld:

Ir. D.C. van Ooijen (voorzitter)	Rijkswaterstaat
Ing. J.A. Muijs (secretaris)	Rijkswaterstaat
Ing. J. Dekker	Grondmechanica Delft
Dr. L.M. Fliervoet	Landbouwuniversiteit Wageningen
Ir. G.J. Flórián	Heidemij Advies BV/ Technische Universiteit Delft
Drs. G.A.M. Kruse	Grondmechanica Delft
Ing. G.J. Laan	Rijkswaterstaat
Drs. C.I.J.M. Liebrand	Landbouwuniversiteit Wageningen
Dr. K.V. Sykora	Landbouwuniversiteit Wageningen
Ing. M. van Zetten	Rijkswaterstaat

De leden van de projectgroep zijn allen uit waterbouwkundig of natuurtechnisch oogpunt nauw betrokken bij de rivierdijkverbeteringen.

De onderzoeken die ten grondslag liggen aan dit rapport, zijn uitgevoerd door of in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van Rijkswaterstaat.

Ir. G.J. Flórián is in 1992 opgevolgd door ir. W.A. de Haan.

In de subgroep voor de voorbereiding van de RAW-bepalingen zijn naast leden van de projectgroep ing. K. Zuurman van Heidemij Advies BV en ir. A. Hakkers van Aannemingsbedrijf Hakkers Werkendam BV betrokken geweest.

Bijlage II bij het Technisch rapport “Klei voor dijken”

Het betreft hier de conceptversie van de uitbreiding van hoofdstuk 22, grondwerken, met het onderdeel klei. Voor de te doorlopen beoordelingsprocedure wordt verwezen naar pagina 3 van deze bijlage.

RAW - systematiek

GRONDWERKEN
Uitbreiding van hoofdstuk 22,
paragraaf 01 t/m 07,
Grondwerken, algemeen
met

het onderdeel
KLEI

Ede, 29 augustus 1996

INHOUDSOPGAVE

Toelichting RAW-systematiek	1
Indeling technische bepalingen klei	4
Toelichting technische bepalingen	5
Technische bepalingen	9
Bepalingen Algemeen Besteksbestand RAW	17
Proeven	19

TOELICHTING RAW-SYSTEMATIEK

1 Algemeen

Bij het opstellen van technische bepalingen en resultaatsbeschrijvingen ten behoeve van de RAW-systematiek voor bestekken in de grond-, water- en wegenbouwsector gelden de volgende uitgangspunten:

- gelijkwaardigheid van partijen;
- afbakening van verantwoordelijkheden;
- eenduidige besteksinformatie gericht op de uitvoering;
- kostenhomogeniteit;
- betaling van productie.

Met gelijkwaardigheid van partijen wordt bedoeld op de contractuele gelijkwaardigheid van partijen in de bouw. Voor de afbakening van verantwoordelijkheden wordt de verdeling aangehouden zoals deze in de paragrafen 5 en 6 van de U.A.V. is neergelegd. Dit houdt in dat de opdrachtgever in beginsel de verantwoordelijkheid draagt voor het ontwerp en wat daarmee in verband staat, terwijl de aannemer in principe verantwoordelijk is voor de uitvoering en wat daarmee samenhangt.

De omschrijving van het werk en de randvoorwaarden daaraan gesteld, zullen zodanig moeten zijn geformuleerd dat zij niet voor meer dan één uitleg vatbaar zijn.

Zij moeten een duidelijke omschrijving bevatten van rechten en verplichtingen van partijen.

Bij het opstellen van deze informatie moet een goede aansluiting gewaarborgd worden naar calculatie, uitvoering en bedrijfsvoering.

In een volgens de RAW-systematiek opgesteld bestek wordt deze informatie verstrekt in de vorm van een beschrijvende hoeveelhedenstaat en daarop afgestemde technische en administratieve bepalingen.

Aan de besteksposten in de beschrijvende hoeveelhedenstaat wordt de eis gesteld dat zij kostenhomogeen moeten zijn. Kostenhomogeen wil zeggen dat de prijs per eenheid voor de gehele bij de bestekspost behorende hoeveelheid nagenoeg gelijk is. Indien het werk in duidelijke, meetbare besteksposten wordt omschreven, is een goede aansluiting verkregen naar calculatie, uitvoering en bedrijfsvoering. Daarmee is de basis voor betaling van geleverde productie gelegd. Tevens is het mogelijk een koppeling te leggen naar de besteksadministratie en de verrekening van meer en minder werk op verrekenbare hoeveelheden.

Het bovenstaande met betrekking tot de scheiding van verantwoordelijkheden betekent dat in een RAW-bestek de opdrachtgever het 'wat', 'waar', 'waarvan' en 'onder welke voorwaarden' zal omschrijven. De aannemer zal het 'hoe' en 'waarmee' invullen.

In de praktijk zal het bovenstaande beginsel 'vrijheid in wijze van uitvoering' niet altijd gerealiseerd kunnen worden. Afwijken is verantwoord indien:

- een onevenredig groot risico voor één van de bouwpartners ontstaat;
- een kans op onherstelbare fouten optreedt;
- slechts één bepaalde uitvoeringswijze tot het gewenste resultaat leidt;
- belangen van derden geschaad zullen worden.

2 Resultaatsbeschrijvingen, inleiding

Teneinde het werk op uniforme wijze te kunnen omschrijven in een beschrijvende hoeveelhedenstaat zijn catalogi opgesteld met zgn. resultaatsbeschrijvingen, dat wil zeggen gestandaardiseerde werkbeschrijvingen. De resultaatsbeschrijvingen zijn gesorteerd naar werkcategorieën (Grondwerk, Verhardingen, Rioleringen, Groenvoorzieningen, enz.) in de catalogi opgeborgen. Deze catalogi worden periodiek onderhouden en aangevuld met nieuwe ontwikkelingen.

De in de catalogi opgenomen resultaatsbeschrijvingen voldoen aan de genoemde uitgangspunten.

Zij moeten daarbij een beschrijving bevatten van:

- het gevraagde resultaat;
- de benodigde bouwstoffen;
- de te stellen kwaliteitseisen;
- de activiteiten met inachtneming van de vrijheid die de aannemer heeft in de wijze van uitvoering en de keuze van het in te zetten materieel.

Elke resultaatsbeschrijving bevat tenslotte de kostenbeïnvloedende factoren voor het beschreven resultaat. Met behulp van resultaatsbeschrijvingen worden, door de bestekschrijver, besteksposten geformuleerd, die kostenhomogeen en meetbaar zijn.

3 Technische bepalingen

In aansluiting op de resultaatsbeschrijvingen worden in de technische bepalingen de randvoorwaarden gesteld waarbinnen het werk moet worden uitgevoerd (kwaliteitseisen aan het resultaat en/of de bouwstof, toegestane afwijkingen, enz.).

De technische bepalingen en resultaatsbeschrijvingen vormen elkaars complement. Het spreekt voor zich dat deze bepalingen volledig en ondubbelzinnig moeten zijn alsmede juridisch verantwoord.

Bepalingen die algemeen te stellen zijn voor uit te voeren werken worden opgenomen in een bundel met standaardbepalingen: de 'Standaard RAW Bepalingen'. Bepalingen die per werk verschillen zullen in het bestek opgenomen kunnen worden, in aanvulling op deze standaardbepalingen.

De technische bepalingen worden ingedeeld in hoofdstukken overeenkomend met de werkcategorieën en onderverdeeld in zeven vaste paragrafen, te weten:

1. **Begrippen**
Een afbakening c.q. beschrijving van in het bestek gebruikte termen, welke niet eenduidig zijn.
2. **Eisen en uitvoering**
Randvoorwaarden welke gesteld worden aan de uitvoering en kwaliteitseisen aan het verlangde resultaat.
3. **Informatie-overdracht**
Een beschrijving van de informatie, die opdrachtgever en aannemer elkaar ten minste behoren te verstrekken.

4. Risicoverdeling en garanties

Een nadere afbakening van verantwoordelijkheden tijdens (en in bepaalde gevallen aansluitend op) de uitvoering.

5. Bijbehorende verplichtingen

Een beschrijving van werkzaamheden, welke tot de verplichtingen van de aannemer behoren; deze werkzaamheden zijn van zodanige aard dat zij niet d.m.v. besteksposten verwoord worden, maar door middel van bepalingen.

6. Bouwstoffen

Kwaliteitseisen te stellen aan bouwstoffen, voorzover deze niet reeds zijn opgenomen in door het NNI vastgestelde normbladen.

7. Meet- en verrekenmethoden

Wijze van meting en verrekning van resultaat, activiteiten en bouwstoffen.

Toelichting RAW-systematiek en GWW-Standaardbestek

Voor een uitgebreide toelichting op te hanteren criteria bij het opstellen van technische bepalingen en resultaatsbeschrijvingen wordt verwezen naar de Handleiding RAW-systematiek, hoofdstuk 000 - Algemeen.

Voor meer informatie over bestekken in het algemeen en over standaardbestekken in het bijzonder, wordt verwezen naar het boek 'Bestekken in de Grond-, Water- en Wegenbouw'. Dit boek is verkrijgbaar bij de Stichting C.R.O.W.

Beoordelingsprocedure

De door de werkgroep opgestelde resultaatsbeschrijvingen en technische bepalingen worden na gereed komen op de gestelde uitgangspunten getoetst door het bureau van C.R.O.W.

Vervolgens worden zij beoordeeld door de Juridische- en Bestekstechnische commissie, waarna zij aangeboden worden aan de Raad voor de Regelgeving ter voorlopige goedkeuring. Hierna kan tervisielegging plaatsvinden.

Na verwerking van opmerkingen en commentaren uit de tervisielegging door het bureau, de werkgroep en de Juridische- en Bestekstechnische commissie worden de beschrijvingen en bepalingen aangeboden aan de Raad voor de Regelgeving ter definitieve goedkeuring en vaststelling.

TECHNISCHE BEPALINGEN GRONDWERKEN; KLEI

- 22.01 *Begrippen*
- 22.01.21 Klei
- 22.02 *Eisen en uitvoering*
- 22.02.21 Klei, verwerking
- 22.02.22 Klei, watergehalte
- 22.03 *Informatie-overdracht*
- 22.03.21 Klei, leverantie
- 22.03.22 Klei, vooronderzoek
- 22.03.23 Klei, bedrijfscontrole
- 22.03.24 Klei, beoordeling van de verstrekte gegevens
- 22.03.25 Klei, bewijs van oorsprong
- 22.04 *Risicoverdeling en garanties*
- 22.05 *Bijbehorende verplichtingen*
- 22.05.21 Klei, monsterneming en -behandeling
- 22.05.22 Klei, bedrijfscontrole
- 22.06 *Bouwstoffen*
- 22.06.21 Klei, eisen algemeen
- 22.06.22 Klei, eisen erosiebestendigheid
- 22.07 *Meet- en verrekenmethoden*
- 22.07.21 Klei, hoeveelheidsbepaling
- 22.07.22 Klei, aantal monsters en aantal monsters per verzamelmonster
- 22.07.23 Klei, vooronderzoek
- 22.07.24 Keuring klei na aanvoer
- 22.07.25 Klei, bemonsteren uit winplaats
- 22.07.26 Klei, bemonsteren uit depot of middel van vervoer
- 22.07.21 ABB Keuring klei na aanvoer
- 22.07.22 ABB Keuring klei na verwerking
- Proef 501** *Klei, organisch stofgehalte*
- Proef 502** *Klei, massaverlies bij zoutzuurbehandeling*
- Proef 503** *Klei, gehalte natriumchloride in het bodemvocht*

TOELICHTING TECHNISCHE BEPALINGEN KLEI

1 Paragraaf 22.02 'Eisen en uitvoering'

Artikel 22.02.21: **Klei, verwerking**

Zoals in punt 2.8 van de 'Toelichting klei' reeds is uiteengezet is klei met een te hoog vochtgehalte niet meer te verwerken. Daarom moet worden voorkomen dat op ondergronden waarop klei moet worden aangebracht grote plassen water (lid 02) of lagen sneeuw (lid 01) aanwezig zijn. De klei mag evenmin bevroren zijn; verdichten is dan niet goed mogelijk.

Het gestelde in lid 03 moet voorkomen dat de klei te sterk wordt verdicht, waardoor plaatvorming, versmering en verkneding zou kunnen optreden, hetgeen ten koste gaat van de structuur. Bovendien verloopt in dat geval de doorworteling zeer moeizaam en langzaam.

Het aanbrengen van klei in lagen van maximaal 0,40 m (lid 04) heeft te maken met het feit dat het verdichten met een bulldozer nauwelijks meer effect heeft bij een grotere laagdikte. Klei die aangevoerd wordt op een werk bestaat uit losse brokken en kluiten, waarvan de afmetingen afhankelijk zijn van de samenstelling, de vochttoestand en de wijze van winning. De bedoeling van het verdichten is dat de grote poriën en holten tussen de brokken zoveel mogelijk worden dichtgedrukt.

Ten aanzien van de bepaling van de dichtheid van de verdichte klei (lid 05) moet in dit verband het volgende worden opgemerkt. Het bepalen van de dichtheid dient bij een fijnkorrelig materiaal als klei te gebeuren overeenkomstig proef 4.4 van de Standaard 1995, de steekringmethode.

Artikel 22.02.22: **Klei, watergehalte**

De hier gestelde eis onderstreept nog eens het belang van het juiste watergehalte op het moment van verdichten. Voor achtergrondinformatie wordt verwezen naar de toelichting bij 'Eigenschappen van klei'.

2 Paragraaf 22.03 'Informatie-overdracht'

Artikel 22.03.21: **Klei, leverantie**

Het bepaalde in lid 01 gaat uit van te leveren klei.

Het beschikken over informatie met betrekking tot de herkomst van de te leveren klei is van belang in verband met de kwaliteitscontrole door de directie. Eventueel aanwezige ervaringskennis over betreffende wingebieden geeft een indicatie over de te verwachten kwaliteit en variatie daarvan.

Verder is het van belang om over informatie te beschikken met betrekking tot de wijze van (een selectieve) winning, de wijze van transport, overslag en opslag in verband met de kans op optreden van verontreinigingen en eventuele bewerkingen van de klei.

Het bepaalde in lid 01 is niet van toepassing als de klei door de opdrachtgever in een depot of in de winplaats ter beschikking wordt gesteld. Het omgekeerde is dan het geval; de desbetreffende informatie dient in (Deel 3 van) het bestek te worden aangegeven. In dat geval wordt de in het depot of in de winplaats nader aangewezen klei geacht te zijn goedgekeurd (par. 18 lid 01 van de U.A.V. 1989). De resultaten van het eerder verricht desbetreffende onderzoek kunnen ter informatie in het bestek worden opgenomen; zij dienen dan als referentie voor de kwaliteit van de klei vanaf het moment van winning. Het bepaalde in lid 02 blijft, ook als de klei door de opdrachtgever ter beschikking wordt gesteld, onverkort van kracht.

Artikel 22.03.22: Klei, vooronderzoek

Het systeem van het overleggen van gegevens van een vooronderzoek met betrekking tot te leveren klei is gericht op de beheersing van de kwaliteit die volgens de gestelde eisen wordt gedefinieerd. Het systeem vertoont gelijkenissen met kwaliteitssystemen bij certificering, zij het dat geen onafhankelijke derde partij als onderzoeker betrokken hoeft te zijn. Het gaat uit van de verantwoordelijkheid van de aannemer voor de kwaliteit van de te leveren klei.

Het verstrekken van de gegevens van het onderzoek naar de geschiktheid van de winplaats van de te leveren klei (artikel 22.07.23 lid 01), aangevuld met de verstrekte resultaten van de door de aannemer te verrichten bedrijfscontrole in de fase na de winning (artikel 22.03.23), dient voldoende zekerheid te geven omtrent de kwaliteit op het moment van aanbrenge, waardoor de kans op afkeuring van reeds aangebracht materiaal wordt verkleind.

Artikel 22.03.24: Klei, beoordeling van de verstrekte gegevens

De bezwaren kunnen diverse aspecten inhouden zoals:

- het niet voldoen aan de eisen;
- de duidelijkheid en volledigheid van de gegevens;
- contradicties tussen de onderzoeksresultaten van het vooronderzoek en de onderzoeksresultaten van de bedrijfscontrole tijdens de verwerking.

De bezwaren kunnen leiden tot aanvullend onderzoek of afwijzen van het materiaal of winplaats.

Artikel 22.03.25: Klei, bewijs van oorsprong

Het bewijs van oorsprong maakt controleerbaar of de aangevoerde klei afkomstig is uit een wingebed waarvan door de directie geaccepteerde gegevens van een vooronderzoek aanwezig zijn.

De spreiding in de resultaten van de diverse onderzoeken van de klei en de marges ten opzichte van de eisen zijn voor de directie van belang om het beleid ten aanzien van keuring na aanvoer te bepalen.

In sub c is aangegeven dat het bewijs van oorsprong in dat geval een verwijzing naar de bedrijfscontrole van 'de producent' moet bevatten. Met andere woorden: de beheersing van de kwaliteit van de klei op de winplaats moet desgevraagd worden aangetoond.

4 Paragraaf 22.05 'Bijbehorende verplichtingen'

Artikel 22.05.21: Klei, monsterneming en -behandeling

Tot de bijbehorende verplichtingen behoort niet enkel het nemen van de monsters, maar ook het op de juiste wijze behandelen (verpakken en vervoeren) van de monsters.

Bij een vooronderzoek (lid 01) behoort vanzelfsprekend ook daartoe het onderzoeken van de monsters. Bij keuring na aanvoer (lid 02) wordt het onderzoek verricht door de directie.

Artikel 22.05.22: Klei, bedrijfscontrole

Als door middel van het vooronderzoek blijkt dat de winplaats voldoende klei van voldoende kwaliteit bevat, kan de aannemer beginnen met de winning. Vanaf dat moment is de aannemer verantwoordelijk voor het behoud van deze kwaliteit. Als bijbehorende verplichting is dan ook opgenomen dat hij in dat opzicht bedrijfscontrole verricht (lid 02 en 03). Hij dient de directie in de gelegenheid te stellen de bedrijfscontrole te volgen (lid 01) en de resultaten van de onderzoeken aan de directie ter beschikking te stellen (lid 04).

Het op het werk hebben van een eigen laboratorium wordt niet standaard voorgeschreven. Het is ter beoordeling aan de aannemer waar hij de onderzoeken verricht c.q. laat verrichten.

5 Paragraaf 22.06 'Bouwstoffen'

Artikel 22.06.21: **Klei, eisen algemeen**

Als de aannemer de klei moet leveren, moet deze voor wat betreft de kwaliteit aan de in dit artikel genoemde eisen voldoen op het moment van aanvoer (het formele keuringsmoment). De aannemer dient dit via de resultaten van de bedrijfscontrole aan te tonen.

In het geval de directie besloten heeft om zelf keuringsonderzoeken te (laten) verrichten, kan de directie met betrekking tot de eisen onder lid 01 en 02 in de regel binnen zes uur na aanvoer van de lading klei een uitspraak doen (zie artikel 22.07.24 lid 02). Voor wat betreft de zinsnede 'of chemisch te bepalen verontreinigingen' moet worden opgemerkt dat in de regel mag worden uitgegaan van het feit dat deze verontreinigingen niet aanwezig zijn, omdat dit bij de vooronderzoeken al zou zijn gebleken. Bovendien moet worden uitgegaan van het feit dat de klei voldoet hetzij aan de samenstellingseisen als bedoeld in het Bouwstoffenbesluit, hetzij aan de grenswaarden van de IPO-interimregeling. Keuring van de eisen onder de leden 03, 04 en 05 vergt enkele dagen tijd.

6 Paragraaf 22.07 'Meet- en verrekenmethoden'

Artikel 22.07.22: **Klei, aantal monsters en aantal monsters per verzamelmonster**

Bij het vooronderzoek (lid 02) mogen voor het bepalen van de klei-categorieën geen mengmonsters worden gebruikt. De reden hiervan is dat bij het vooronderzoek een indruk verkregen dient te worden van de spreiding van de eigenschappen in de winplaats. Op basis van dit (voor)onderzoek kan eventueel besloten worden selectief te ontgraven naar kleicategorieën.

In lid 04 is een regeling vastgelegd voor de gevallen dat op grond van een visuele beoordeling getwijfeld wordt aan de kwaliteit van een deel van een aangevoerde partij klei. De partij klei moet dan worden gesplitst in deelpartijen.

Artikel 22.07.23: **Klei, vooronderzoek**

Op basis van de verstrekte gegevens bepaalt de directie of zij het vertrouwen heeft dat de aannemer tijdig de benodigde hoeveelheid klei van voldoende kwaliteit zal kunnen leveren en verleent op grond hiervan een voorlopige goedkeuring, onder voorbehoud dat de kwaliteit in de werkfase na ontgraving gehandhaafd blijft.

De in de verklaring op te nemen onderzoeksgegevens (zie lid 02) kunnen gebaseerd zijn op een onderzoek dat ten behoeve van het onderhavige bestek door de aannemer zelf of door een door hem ingeschakeld laboratorium is verricht. Het kunnen echter ook de resultaten zijn van reeds eerder uitgevoerd onderzoek door de eigenaar van de kleiwinplaats, in deze context 'de producent' genoemd. Hoe het ook zij, de aannemer draagt de volle verantwoordelijkheid voor de juiste uitvoering van het onderzoek, niet alleen wat zijn eigen (voor)onderzoek betreft maar ook ten aanzien van de reeds beschikbare onderzoeksgegevens.

Artikel 22.07.24: **Keuring klei na aanvoer**

Zoals in de toelichting bij artikel 22.03.22 reeds is opgemerkt, geeft het onderzoeken van de kwaliteit van het materiaal in de winplaats, aangevuld met een bedrijfscontrole van de aannemer in de werkfase vanaf de ontgraving, als standaardregeling een vrij grote mate van zekerheid. Bovendien heeft deze methodiek het voordeel dat de kans op ongewenst oponthoud in de werkvoortgang tot een minimum wordt verkleind.

Desondanks kan de directie besluiten steekproefgewijs zelf keuringen te verrichten na aanvoer van de klei.

Om de aannemer een indruk te geven met hoeveel stagnatie en inspanningen voor monsterneming hij rekening dient te houden, is het aantal keuringen, dat de directie in dit verband voornemens is uit te voeren, in (Deel 3 van) het bestek vermeld. In het genoemde aantal keuringen zijn uiteraard niet begrepen de keuringen, waarbij de aangevoerde lading klei door de directie werd afgekeurd.

Er kunnen bovendien situaties zijn dat de directie op grond van een visuele beoordeling twijfelt aan de kwaliteit van een aangevoerde partij klei, ondanks afgegeven gegevens met betrekking tot vooronderzoeken (zie in dit verband ook de toelichting bij artikel 22.06.21 en 22.06.22).

Het tijdig kennen van het tijdstip en de plaats van aanvoer stellen de directie en aannemer in dat geval in de gelegenheid de keuring van de lading voor te bereiden, zodat tijdig daartoe benodigd personeel, materieel en hulpmiddelen beschikbaar zijn. Een eerste beoordeling van de klei na aanvoer beperkt zich normaliter tot een visuele inspectie van de aangevoerde hoeveelheid klei, waarbij gelet wordt op vreemde bestanddelen zoals hout, boomstronken, puin en andere verontreinigingen. Verder wordt de klei beoordeeld op (extreme) verkleuringen en op een mogelijke sterk afwijkende geur, hetgeen zou kunnen wijzen op chemische verontreinigingen. Zo nodig wordt ook gelet op de al of niet aanwezigheid van zandconcentraties. Ladingen klei die voor 12.00 uur aankomen worden ten aanzien van deze eisen nog dezelfde dag gekeurd. Ten behoeve van de keuringen op het gehalte organisch stof, het massaverlies bij een zoutzuurbehandeling, het gehalte aan natriumchloride en de mate van erosiebestendigheid worden monsters genomen; de aannemer verleent hierbij de nodige hulp.

De resultaten van deze keuringen zijn meestal nog niet bekend als de klei verwerkt wordt.

De kosten van de keuring(sonderzoeken) zijn voor rekening van de opdrachtgever behoudens in de gevallen dat de lading klei wordt afgekeurd.

22.01 BEGRIPPEN22.01.21 *Klei*

- 01 Onder *klei* is te verstaan: de grondsoort die volgens NEN 5104 'Geotechniek. Classificatie van onverharde grondmonsters' met de hoofdnaam *klei* wordt aangeduid.

22.02 EISEN EN UITVOERING22.02.21 *Klei, verwerking*

- 01 De te verwerken *klei* moet vorst- en sneeuwvrij zijn.
- 02 *Kleilagen* niet aanbrengen op een ondergrond waarop waterplassen aanwezig zijn.
- 03 Transport van *klei* over reeds aangebrachte *klei* dient versprend te geschieden.
- 04 Indien verdichting is voorgeschreven, de *klei* aanbrengen in lagen met een dikte van maximaal 0,40 m, gemeten na verdichting.
In verband met het bepaalde in lid 02 de lagen afwaterend aanbrengen.
- 05 De dichtheid (4.4) van verdichte *klei* moet ten minste 97% bedragen van de proctordichtheid (5), behorende bij het watergehalte als bedoeld in artikel 22.02.22.

22.02.22 *Klei, watergehalte*

- 01 Het watergehalte w van klei moet op het moment van verdichten, zowel over de gehele dikte van een te verdichten laag als voor de bovenste 0,10 m, voldoen aan de eis

$$w_{\text{opt}} \leq w \leq w_1 - I_c \times I_p.$$

Hierin is:

- w_{opt} = optimumvochtgehalte in % (m/m), (5);
 w_1 = vloeigrens in % (m/m), (15);
 w_p = uitrolgrens in % (m/m), (15);
 I_p = plasticiteitsindex ($I_p = w_1 - w_p$) in % (m/m), (15);
 I_c = consistentie-index (eenheidsloze factor).

- 02 De consistentie-index I_c als bedoeld in lid 01 bedraagt:
- 0,75, indien de klei wordt toegepast als deklaag op de taluds en kruin van een dijk;
 - 0,60, indien de klei wordt toegepast in de kern van een dijk;

22.03 **INFORMATIE-OVERDRACHT**22.03.21 *Klei, leverantie*

- 01 De aannemer deelt schriftelijk aan de directie mee van welke producent(en) en uit welke winplaats(en) de te leveren klei zal worden betrokken, met opgave van de desbetreffende hoeveelheden.
- 02 De aannemer verstrekt de directie tevens gegevens omtrent de wijze van winning, transport, overslag, opslag en eventuele bewerking van de te leveren klei.

22.03.22 *Klei, vooronderzoek*

- 01 Zo spoedig mogelijk nadat de aannemer daarover beschikt doch uiterlijk twee weken voorafgaand aan de leverantie van klei verstrekt hij de directie de in artikel 22.07.23 lid 02 bedoelde gegevens.
- 02 Indien door of vanwege de aannemer een vooronderzoek als bedoeld in artikel 22.07.23 wordt uitgevoerd, stelt hij de directie in de gelegenheid bij de monsterneming aanwezig te zijn. Hij deelt daartoe, ten minste één week voordat de monsterneming plaatsvindt, het tijdstip waarop de monsterneming wordt uitgevoerd aan de directie mee. Binnen één week nadat het betreffende onderzoek heeft plaatsgevonden verstrekt de aannemer de directie de hieruit verkregen gegevens.

22.03.23 *Klei, bedrijfscontrole*

- 01 Bij de in het kader van de bedrijfscontrole verrichte onderzoeken, als bedoeld in artikel 22.05.22, stelt de aannemer de directie in de gelegenheid bij de monsterneming aanwezig te zijn. Hij deelt daartoe, ten minste één week voordat de monsterneming plaatsvindt, het tijdstip waarop de monsterneming wordt uitgevoerd aan de directie mee. Binnen één week nadat de desbetreffende onderzoeken hebben plaatsgevonden verstrekt de aannemer de directie de hieruit verkregen resultaten.

22.03.24 *Klei, beoordeling van de verstrekte gegevens*

- 01 Binnen één week na ontvangst van de overeenkomstig artikel 22.03.21 tot en met 22.03.23 verstrekte gegevens deelt de directie de aannemer schriftelijk mee of er wel of niet bezwaren bestaan en zo ja welke bezwaren zij tegen welke gegevens heeft.

22.03.25 *Klei, bewijs van oorsprong*

- 01 De aannemer verstrekt de directie een bewijs van oorsprong van door hem geleverde klei. Op het bewijs van oorsprong dienen de volgende gegevens vermeld te zijn:
 - a. de naam van de producent, voor zover van toepassing;
 - b. de naam en locatie van de winplaats(en) waaruit de klei wordt gewonnen.
 - c. een verwijzing naar de door de producent verrichte bedrijfscontrole.
- 02 Iedere aflevering van bouwstoffen overeenkomstig een bewijs van oorsprong dient vergezeld te zijn van een schriftelijke verwijzing hiernaar.

22.04 RISICOVERDELING EN GARANTIES

(In deze Standaard zijn geen bepalingen opgenomen, behorend tot deze paragraaf.)

22.05 BIJBEHORENDE VERPLICHTINGEN**22.05.21 *Klei, monsterneming en -behandeling***

- 01 Bij een vooronderzoek als bedoeld in artikel 22.07.23 worden de volgende daarbij behorende werkzaamheden door of vanwege de aannemer verricht:
 - a. het nemen van de voor de afzonderlijke keuringen benodigde monsters;
 - b. het zo nodig verpakken en vervoeren van de monsters als bedoeld onder a naar de plaats van onderzoek;
 - c. het onderzoeken van de monsters als bedoeld onder a op de voor de afzonderlijke keuringen voorgeschreven te controleren eisen.
- 02 Bij keuringen na aanvoer als bedoeld in artikel 22.07.24 worden de volgende daarbij behorende werkzaamheden door of vanwege de aannemer verricht:
 - a. het nemen van de voor de afzonderlijke keuringen benodigde monsters;
 - b. het zo nodig verpakken en vervoeren van de monsters als bedoeld onder a naar de plaats van onderzoek.

22.05.22 *Klei, bedrijfscontrole*

- 01 Ten behoeve van de kwaliteitsbewaking van de klei, is de aannemer verantwoordelijk voor de bedrijfscontrole.
Hij stelt de directie in de gelegenheid de bedrijfscontrole te volgen.
- 02 Tijdens de winning, het transport, de overslag en opslag en de eventuele bewerking van de in het werk te brengen klei, bedrijfscontrole verrichten aangaande de in artikel 22.06.21 en 22.06.22 genoemde eisen.
- 03 Tijdens en na het verdichten van de in het werk gebrachte klei, bedrijfscontrole verrichten aangaande de in artikel 22.02.21 en 22.02.22 genoemde eisen.
De dichtheid moet per aangebrachte laag worden bepaald.
- 04 De resultaten van de bedrijfscontrole ter beschikking stellen van de directie.

22.06 **BOUWSTOFFEN**22.06.21 *Klei, eisen algemeen*

- 01 Het materiaal mag geen visueel waarneembare vreemde bestanddelen, zoals steenmaterialen, wortels en planten, of chemisch te bepalen verontreinigingen in zodanige hoeveelheden bevatten, dat deze op enigerlei wijze schadelijk zijn voor de constructieve toepassing.
- 02 Klei moet homogeen van samenstelling zijn. Er mogen geen concentraties van zand of zandrijk materiaal in voorkomen.
- 03 Het gehalte organisch stof (501) mag ten hoogste 5% (m/m) bedragen.
- 04 Het massaverlies bij een zoutzuurbehandeling (502) mag ten hoogste 25% (m/m) bedragen.
- 05 Het gehalte natriumchloride in het bodemvocht van klei (503) mag ten hoogste 4 g per liter bedragen.

22.06.22 *Klei, eisen erosiebestendigheid*

- 01 Klei met een erosiebestendigheid volgens categorie 1 (erosiebestendig) moet voldoen aan de volgende eisen:
 - de vloeigrens w_1 (15) moet ten minste 45% (m/m) bedragen;
 - de plasticiteitsindex I_p (15) moet ten minste $0,73 \times (w_1 - 20)\%$ (m/m) bedragen;
 - het gehalte minerale deeltjes door zeef 63 μm (2) moet meer dan 60% (m/m) bedragen.
- 02 Klei met een erosiebestendigheid volgens categorie 2 (matig erosiebestendig) moet voldoen aan de volgende eisen:
 - de vloeigrens w_1 (15) moet kleiner zijn dan 45% (m/m);
 - de plasticiteitsindex I_p (15) moet ten minste 18% (m/m) bedragen;
 - het gehalte minerale deeltjes door zeef 63 μm (2) moet meer dan 60% (m/m) bedragen.
- 03 Klei die niet voldoet aan de eisen als bedoeld in lid 01 of 02, wordt aangemerkt als categorie 3 (weinig erosiebestendig).
- 04 Levering van klei categorie 1 is toegestaan daar waar categorie 2 is voorgescreven en levering van klei categorie 1 of 2 daar waar categorie 3 is voorge-

schreven.

22.07 MEET- EN VERREKENMETHODEN

22.07.21 *Klei, hoeveelheidsbepaling*

- 01 Tenzij het bestek anders vermeldt, is voor de hoeveelheidsbepaling van klei in m³, het bepaalde in de artikelen 22.07.04 tot en met 22.07.08 van toepassing, met dien verstande dat voor 'grond' gelezen dient te worden 'klei'.

22.07.22 *Klei, aantal monsters en aantal monsters per verzamelmonster*

- 01 De voor de keuringsonderzoeken benodigde monsters dienen aselekt te worden genomen en representatief te zijn.
- 02 Het vooronderzoek als bedoeld in artikel 22.07.23 ten behoeve van de controle op de eisen overeenkomstig artikel 22.06.21 en 22.06.22, geschiedt met behulp van afzonderlijke monsters of een representatief deel daarvan.
- 03 Het onderzoek van een partij of deelpartij klei geschiedt met behulp van één verzamelmonster, dat uit ten minste 10 monsters of representatieve delen ervan wordt samengesteld.
- 04 Wanneer op grond van een visuele waarneming een partij klei als inhomogeen of mogelijk inhomogeen ten aanzien van één of meer relevante eigenschappen wordt beoordeeld, de partij klei splitsen in homogeen veronderstelde deelpartijen. De monsterneming in dat geval per deelpartij uitvoeren. Indien blijkt de keuringsresultaten één van de deelpartijen niet aan de eisen voldoet, geldt dat de gehele partij niet voldoet. Indien de deelpartij(en) die niet aan de eisen voldoet (voldoen) op een eenvoudige wijze van het resterende deel van de partij kunnen worden afgescheiden, kan in overleg tussen de aannemer en de directie worden overeengekomen het resterende deel van de partij klei als een afzonderlijke partij te beschouwen.
- 05 Het in het kader van de bedrijfscontrole verrichte onderzoek naar de eisen aan de verdichtingsgraad als bedoeld in artikel 22.02.21 lid 05, geschiedt met behulp van 10 monsters ter bepaling van de dichtheid (4.4) en twee monsters ter bepaling van de proctordichtheid (5). Van de 10 monsters ter bepaling van de dichtheid (4.4) worden vijf monsters op een diepte van 0,10 m en vijf monsters op een diepte van 0,25 m onder de bovenkant van de verdichte kleilaag genomen.

De twee monsters ter bepaling van de proctordichtheid (5) worden daar genomen, waar de monsters genomen zijn, waarvan de dichtheden de op één na hoogste en één na de laagste waarde hebben binnen de groep van 10 monsters.

22.07.23 *Klei, vooronderzoek*

- 01 Het beoordelen van de geschiktheid van de winplaats van de te leveren klei vindt plaats op basis van door de aannemer verstrekte reeds beschikbare onderzoeksgegevens, of op basis van een door de aannemer te verrichten vooronderzoek, dan wel op basis van een combinatie van beide.
- 02 De te overleggen gegevens als bedoeld in lid 01 moeten ten minste het volgende bevatten:
- een beschrijving van de verrichte boringen als bedoeld in lid 03;
 - de resultaten van een door of vanwege de producent verricht vooronderzoek waarbij de klei op de in artikel 22.06.21 en 22.06.22 gestelde eisen is gecontroleerd. De resultaten dienen per kleicategorie en per gestelde eis te zijn gespecificeerd.
 - de wijze waarop de monsters zijn genomen;
 - waar, wanneer en door wie het onderzoek is verricht.
- 03 Het aantal verrichte boringen, die over de volle laagdikte moeten worden uitgevoerd, bedraagt ten minste:
- één per 1000 m² bij een laagdikte van minder dan 5 m, ofwel
 - één per 5000 m³ bij een laagdikte van 5 m of meer.
- Het totale aantal boringen bedraagt ten minste drie.

22.07.24 *Keuring klei na aanvoer*

- 01 Bij een keuring van te leveren klei na aanvoer, verricht door de directie, wordt de klei op de in artikel 22.06.21 en 22.06.22 vermelde eisen onderzocht. Het aantal keuringen is in het bestek vermeld. De gegevens van deze onderzoeken, de wijze waarop de monsters zijn genomen alsmede waar, wanneer en door wie de keuring is verricht, worden schriftelijk vastgelegd door de directie.
- 02 Ten aanzien van het onderzoek op de eisen als bedoeld in artikel 22.06.21, leden 01 en 02, keurt de directie direct na aanvoer met dien verstande dat:
- een voor 12.00 uur aangekomen lading uiterlijk binnen zes uur na aankomst wordt gekeurd;
 - een na 12.00 uur aangekomen lading uiterlijk de eerstvolgende werkdag voor 12.00 uur wordt gekeurd.

22.07.25 *Klei, bemonsteren uit winplaats*

- 01 De gegevens van de monsterneming worden schriftelijk vastgelegd op de wijze als omschreven in NEN 5119 'Geotechniek - Boren en monsterneming in grond'.
- 02 Het verkrijgen van monsters uit een winplaats geschiedt door het uitvoeren van boringen over de volle hoogte van de te gebruiken klei, waarbij de klei van elke boordiepte van maximaal 0,50 m uit die boring wordt samengevoegd tot één monster.
- 03 Wanneer op grond van visuele beoordeling een laagscheiding geconstateerd wordt, dient vanaf die scheiding een nieuw monster te worden genomen.

22.07.26 *Klei, bemonsteren uit depot of middel van vervoer*

- 01 Het verkrijgen van monsters uit een geproduceerd depot of uit een middel van vervoer geschiedt met behulp van een grondboor over een diepte van ten minste 0,50 m onder het oppervlak van de klei, waarbij de vrijgekomen klei per boring wordt samengevoegd tot één monster.

In het Algemeen Besteksbestand RAW zullen de volgende standaardbepalingen worden opgenomen.

22.07 MEET- EN VERREKENMETHODEN GRONDWERKEN, ALGEMEEN

22.07.21 KEURING KLEI NA AANVOER

01 Het aantal keuringen als bedoeld in artikel 22.07.24 lid 01 van de Standaard 1995 bedraagt **.

- * DE INVULTEKST ZODANIG KIEZEN DAT HET AANTAL
- * KEURINGEN NIET ONNODIG GROOT WORDT.

22.07.22 KEURING KLEI NA VERWERKING

01 Ten behoeve van de keuringen van klei na verwerking wordt, in aanvulling op artikel 22.05.22 lid 03 van de Standaard 1995, bepaald dat het aantal in het kader van de bedrijfscontrole te verrichten onderzoeken ten minste ** bedraagt. De onderzoeken worden door de aannemer uitgevoerd op nader door de directie aan te geven tijdstippen. Het aantal onderzoeken wordt verhoogd met het aantal malen dat op grond van de onderzoeksresultaten geen goedkeuring kan worden verleend.

- * DE INVULTEKST ZODANIG KIEZEN DAT HET AANTAL
- * KEURINGEN NIET ONNODIG GROOT WORDT.

Proef 501 *Gehalte aan organische stof van grond*

Benodigdheden

Mortier met stamper. Droogstoof, 110±5 °C.

Balans, weegvermogen 1000 g, nauwkeurigheid 0,01 g.

Maatbeker 1000 ml. Horlogeglas. Maatcilinder 500 ml.

Verwarmingsapparatuur.

Waterstofperoxide (H₂O₂) 35% (m/m). Gedemineraliseerd water.

Uitvoering

Homogeniseer het grondmonster. Zonder door verfijnen en kwarteren een representatief monster af uit het oorspronkelijke monstermateriaal. Droog deze afzonderde grond in de droogstoof tot constante massa. Maak kluitjes fijn in het mortier.

Weeg de maatbeker (b g) met een nauwkeurigheid van 0,01 g. Weeg van de gedroogde grond ongeveer 20 g (a g) met een nauwkeurigheid van 0,01 g af in de maatbeker.

Voeg 125 ml gedemineraliseerd water toe. Voeg 25 ml waterstofperoxide toe en dek de maatbeker af met het horlogeglas.

Laat dit materiaal gedurende 12 uur staan.

Verwarm vervolgens de maatbeker tot er zichtbare gasbel- of schuimvorming optreedt en houdt de maatbeker vervolgens verwarmd. Voeg na het verdwijnen van de gasbellen of het schuim 10 ml H₂O₂ toe. Herhaal het toevoegen van H₂O₂ tot er geen gasbel- of schuimvorming meer plaatsvindt bij toevoeging.

Vul de maatbeker aan met gedemineraliseerd water tot 400 ml en laat het enige tijd koken.

Laat de inhoud van de maatbeker afkoelen en geheel bezinken. Decanteer de inhoud van de maatbeker tot er circa 50 ml resteert in de maatbeker.

Droog het restant in de maatbeker in de droogstoof tot constante massa.

Weeg de maatbeker met inhoud (c g) met een nauwkeurigheid van 0,01 g.

Berekening

$$\left(1 - \frac{c-b}{a}\right) \cdot 100\%$$

Bereken het gehalte aan organische stof met een nauwkeurigheid van 0,1% als waarin:

a = de massa van de droge grond voor behandeling, in g;

b = de massa van de maatbeker, in g;

c = de massa van de maatbeker en de droge grond na behandeling, in g.

Toelichting bij (501)

De gasbel- en schuimvorming kan in gronden met veel fijnverdeeld organisch materiaal zeer heftig zijn en waterstofperoxide dient derhalve voorzichtig gedoseerd en in kleine hoeveelheden tegelijk te worden toegevoegd.

Proef 502 *Massaverlies bij zoutzuurbehandeling van grond.*

Benodigdheden

Mortier met stamper. Droogstoof, 110 ± 5 °C.

Balans, weegvermogen ten minste 1000 g, nauwkeurigheid 0,01 g.

Maatbeker 1000 ml. Maatcilinder 1000 ml.

Verwarmingsapparaat.

Zoutzuur (HCl) 0,1 N. Gedemineraliseerd water.

Uitvoering

Homogeniseer het grondmonster. Zonder door verfijnen en kwarteren een representatief monster af uit het oorspronkelijke monstermateriaal. Droog deze afgezonderde grond in de droogstoof tot constante massa. Maak kluitjes fijn in het mortier.

Weeg de maatbeker (b g) met een nauwkeurigheid van 0,01 g. Weeg van de gedroogde grond ongeveer 10 g (a g) met een nauwkeurigheid van 0,01 g af in de maatbeker.

Voeg 500 ml zoutzuur toe. Roer de inhoud van de maatbeker tot een homogene suspensie totdat gasbelvorming uitblijft. Laat de inhoud van de maatbeker geheel bezinken.

Decanteer de inhoud van de maatbeker tot er circa 50 ml resteert in de maatbeker.

Verhit de inhoud van de maatbeker tot koken en houdt de inhoud op deze temperatuur.

Voeg zoutzuur in hoeveelheden van 50 ml toe, net zolang tot er geen gasbelvorming meer optreedt bij toevoeging.

Vul de maatbeker aan met gedemineraliseerd water tot 500 ml. Laat de inhoud van de maatbeker afkoelen en geheel bezinken. Decanteer de inhoud van de maatbeker tot er circa 50 ml resteert in de maatbeker.

Droog het restant in de maatbeker in de droogstoof tot constante massa.

Weeg de maatbeker met inhoud (c g).

Berekening

Bereken het massaverlies met een nauwkeurigheid van 0,1% als

$$\left(1 - \frac{c-b}{a}\right) \cdot 100\%$$

waarin:

a = de massa van de droge grond voor behandeling, in g;

b = de massa van de maatbeker, in g;

c = de massa van de maatbeker en de droge grond na behandeling, in g.

Toelichting bij (502)

De gasbelvorming kan in gronden met veel kalk heftig zijn, vooral bij verhitting en zoutzuur dient derhalve voorzichtig gedoseerd en in kleine hoeveelheden tegelijk te worden toegevoegd. Bij deze proef worden naast kalk (CaCO₃) ook andere stoffen opgelost.

Proef 503 *Zoutgehalte van grond per liter bodemvocht*

Benodigdheden

Mortier met stamper. Droogstoof 110±5 °C. Zeef 2 mm.
 Balans, weegvermogen ten minste 1000 g, nauwkeurigheid 0,01 g.
 Bekerglas 400 ml. Maatcilinder 200 ml. Gedemineraliseerd water.
 Centrifuge met centrifugebuizen met een inhoud van 200 ml.

Uitvoering

Homogeniseer het monstermateriaal. Zonder door verfijnen en kwarteren een representatief monster af uit het oorspronkelijke grondmonster.

Bepaal het watergehalte (w%) van het monster (Ontw.NEN 5113:1994).

Zonder door verfijnen en kwarteren een representatief monster af uit het oorspronkelijke grondmonster. Droog deze afgezonderde grond in de droogstoof tot constante massa. Maak kluitjes fijn in het mortier.

Zeef gedroogde grond door zeef 2 mm. Maak de fractie op zeef 2 mm fijn in het mortier, zodat al het gedroogde materiaal door zeef 2 mm kan passeren.

Weeg van het gezeefde materiaal ongeveer 10 g af met een nauwkeurigheid van 0,01 g.

Breng deze hoeveelheid over in het bekerglas en voeg 200 ml gedemineraliseerd water toe. Roer het materiaal om met de roerstaaf tot een homogene suspensie en laat het ten minste 16 uur weken; voorkom hierbij verdamping. Roer de inhoud van het bekerglas nogmaals om. Centrifugeer het materiaal. Neem van het afgescheiden water 100 ml.

Voer op dit water de chemische analyse voor Cl⁻/l (NEN 3104) uit.

Berekening

Bereken het zoutgehalte van de klei per liter bodemvocht met een nauwkeurigheid van 0,1 g/l als:

$$\frac{0,0329}{w} a \quad \text{g/l}$$

waarin:

a = resultaat van proef (NEN 3104, Cl⁻/l) uit;

w = vochtgehalte van de klei, in % (m/m).

Toelichting bij (503)

1. Ontw.NEN 5113:1994 'Geotechniek - Bepaling van het watergehalte van grond in het veldlaboratorium'. NEN 3104 'Chemische analyse - Algemene chemische bepalingen'.
2. Indien geen geëigende centrifuge beschikbaar is, kan de benodigde 100 ml water verkregen worden door bezinken, decanteren en filteren door een wit bandfilter. Hierbij moet verdamping zoveel mogelijk vermeden worden.

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werd door de Minister van Verkeer en Waterstaat ingesteld.

De commissie adviseert de minister omtrent alle technisch-wetenschappelijke aspecten die van belang kunnen zijn voor een doelmatige constructie en het onderhoud van waterkeringen, dan wel voor de veiligheid van door waterkeringen beschermde gebieden.

Met vragen omtrent werk van de TAW kan men zich wenden tot het werkorgaan van de commissie, ondergebracht bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat.

Postbus 5044, 2600 GA Delft,
tel. (015) 269 94 36

Delft, mei 1996