

Wieringermeerdiijk

Samenvattend verslag van de geavanceerde reststerktetoets

OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland

PROJECTNUMMER: 07i080

VERSIE: definitief

14-04-2008

Projectgegevens

- **Titel:** Wieringermeerdijk
- Versie:** definitief
- Opdrachtgever:** Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland
- Projectnummer:** 07i080
- Partners:** elft Hydraulics, GeoDelft, Fugro
- Omschrijving project:** Dit rapport vat de onderzoeken samen die zijn uitgevoerd t.b.v. de geavanceerde toets “Bekledingen” voor de Wieringermeerdijk. De mogelijke bijdrage van de keileemkern van de dijk aan de reststerkte van de taludbekleding staat hierbij centraal. Daar kennis over de sterkte van keileem ontbrak is in het kader van deze geavanceerde toets modelonderzoek op ware grootte in de Deltagoot uitgevoerd.
- Uitgevoerd door:** Ir. J. Wouters

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding en doel van het onderzoek	1
1.2	Leeswijzer	1
2	De Wieringermeerdijk	2
3	Plan van aanpak voor onderzoekstraject	4
4	Keileem in de waterbouw	7
5	Het modelonderzoek	8
5.1	Winlocatie	8
5.2	Het winnen van de keileem	9
5.3	Het onderzoek	10
5.3.1	De Deltagoot	10
5.3.2	Modelopstelling	10
5.3.3	Meetmethoden	12
5.3.4	Schaal- en modeleffecten	12
5.3.5	Proevenprogramma	12
5.3.6	Modelresultaten	13
6	Geavanceerde toets steenbekleding Wieringermeerdijk	15
7	Conclusies en toetsresultaat	20

1 Inleiding

Het voorliggende rapport vat de onderzoeken samen die ten behoeve van de geavanceerde toets van de Wieringermeerdijk zijn uitgevoerd. Het betreft met name de volgende studies:

- Bronnenonderzoek naar erosie en reststerkte van de Wieringermeerdijk, door G. Kruse van GeoDelft [6]
- Onderzoek keileemkern Wieringermeerdijk, veld/ en labonderzoek, door GeoDelft [10]
- Deltagootonderzoek naar de sterkte van keileem door WL-Delft Hydraulics [12]
- Reststerkte van de Wieringermeerdijk (de geavanceerde toets steenbekleding voor de Wieringermeerdijk) door WL- Delft Hydraulics [13]
- Stormschade aan den zeedijk van den Proefpolder, door Infram [8]

1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek

In het kader van de Landelijke Inventarisatie Steenzettingen (LIS) [2] is de steenzetting op de Wieringermeerdijk getoetst (niveau “eenvoudig”). Vrijwel nergens haalde de steenzetting een score “goed” of “voldoende” [1] en [2]. Op basis van dit (negatieve) resultaat wordt overwogen om de betreffende taludbekleding te renoveren. Hiermee is een investering van ca. 40 miljoen euro gemoeid. Het is echter de vraag of renovatie van de taludbekleding om veiligheidsredenen echt noodzakelijk is. Om deze vraag te beantwoorden is besloten om de betreffende steenbekleding geavanceerd te toetsen. De geavanceerde toets richt zich hierbij op het bepalen van de reststerkte, die de keileemkern van de dijk genereert.

Het doel van het hiertoe uitgezette onderzoekstraject was tweeledig, namelijk:

- 1 Vergaren van de nodige kennis over keileem om de geavanceerde toets naar de reststerkte voor de steenbekleding van de Wieringermeerdijk te kunnen uitvoeren.
- 2 Formuleren van een rekenregel waarmee de reststerkte in geval van een keileemkern in het algemeen kan worden berekend.

Dit samenvattende rapport beoogt het onderzoekstraject en de resultaten van de verschillende onderdelen van dit traject kort weer te geven. Het eindresultaat van de geavanceerde toets zal aan de ENW kerngroep ter goedkeuring worden voorgelegd.

In de brief van 24-7-2007 met het kenmerk 4500093431 heeft Rijkswaterstaat Noord-Holland aan Infram opdracht gegeven voor het maken van een overall rapportage van het onderzoek “Reststerkte keileem”. Dit rapport is geschreven door ir J. Wouters van Infram met de medewerking van dr. ir J.W. van der Meer (Van der Meer Consulting b.v.) die de kwaliteitscontrole voor zijn rekening heeft genomen.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving van de Wieringermeerdijk gegeven. Waarna in hoofdstuk 3 het plan van aanpak [3] wordt besproken en geëvalueerd. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op keileem als bouw materiaal in de waterbouw in het algemeen en in de Wieringermeerdijk in het bijzonder. Hoofdstuk 5 is geheel gewijd aan het modelonderzoek naar de sterkte van keileem. Terwijl in hoofdstuk 6 de geavanceerde toets voor de steenbekleding van de Wieringermeerdijk wordt beschreven. Hoofdstuk 7 bevat de eindconclusie van de geavanceerde toets.

NAP + 2,50 m aangebracht, dit was de hoogst te verwachten stormvloedniveau in de toenmalige Zuiderzee [6].

Tussen NAP 0,0 m en NAP + 3,0 m wordt de kern van de Wieringermeerdijk door een steenzetting op een filterlaag van puin (taludhelling 1:2,5 à 1:3) beschermd tegen golfbelasting. De dikte van de steenzetting (bloksteen met een veronderstelde massadichtheid van 2500 kg/m^3) varieert tussen 0,25 m en 0,45 m, ca. 60% van de geleverde bloksteen was dikker dan 0,25 m (respectievelijk 0,30 m, 0,35 m en 0,45 m [7]). Bij de eenvoudige toets is standaard een dikte van 0,25 m aangehouden [1]. Beneden NAP 0,0 m is het talud bekleed met zinkstukken, die door een steenbestorting (40 – 200 kg) zijn gefixeerd. In de loop der tijd is deze steenbestorting meerdere malen aangevuld met als gevolg dat er nu een dikke laag stortsteen ligt met zijn top op ca. NAP + 0,50 m en met een geschatte breedte van ca. 5,0 m (in de legger wordt uitgegaan van de oorspronkelijke bermbreedte van 2,5 m op NAP – 0,50 m).

De steenzetting bestaat uit natuursteen (Doornikse en Lessinesche steen) en deze is nu zo'n 75 à 80 jaar oud. Met een zekere regelmaat zitten er stenen in de zetting die aan sterke erosie onderhevig zijn. Ook als er geen grote renovatie van de taludbekleding wordt uitgevoerd dan moeten er onderhoudswerkzaamheden aan de bekleding worden gedaan ten einde deze in een dusdanige staat te houden dat deze golfomstandigheden, die met enige regelmaat voorkomen, goed kan weerstaan.



Foto 2.1: Bekleding op het talud van de Wieringermeerdijk plus stortsteenberm

3 Plan van aanpak voor onderzoekstraject

Voorafgaande aan het onderzoekstraject is er een kosten-batenanalyse uitgevoerd, zie [3]. Deze analyse resulteerde in de conclusie dat zelfs bij een geringe kans op een succesvol resultaat van het onderzoek (zeg 20%) het onderzoek nog steeds lonend is.

Het plan van aanpak voor het onderzoekstraject wordt in de kosten-batenanalyse [3] uitgewerkt. Het plan van aanpak omvatte 5 stappen, na elke stap was een duidelijk "GO" dan wel "NO-GO" ingebouwd. De vijf stappen waren:

0. Haalbaarheidsstudie
1. Vooronderzoek
2. In situ grondonderzoek
3. Selectie keileem voor het onderzoek in de Deltagoot
4. Deltagootonderzoek

In onderstaande tabel (tabel 3.1) wordt weergegeven met welke onderzoeken de verschillende stappen in het onderzoekstraject zijn ingevuld.

Stap	Onderdeel	Onderzoek
0	Haalbaarheidsstudie	Kostenbaten Infram [3]
1	Vooronderzoek	Literatuurstudie Fugro [5], GeoDelft [6] Infram [7]
2	In situ onderzoek	Aanwezigheid keileem over de gehele lengte van de Wieringermeerdijk Fugro [9] GeoDelft [10]
3	Selectie keileem voor het onderzoek	Keileem terplekke van de winlocatie GeoDelft [10]
4	Het onderzoek	Voorstudie t.b.v. het winnen, vervoeren en plaatsen van de keileem Sterkte keileem Geavanceerde toets (Bewezensterkte) WL/Delft Hydraulics [11] WL/Delft Hydraulics [12] WL/Delft Hydraulics [13] Infram [8]

Tabel 3.1: Invulling van het plan van aanpak voor het onderzoekstraject

0. Haalbaarheidsstudie

De haalbaarheidsstudie omvatte twee vragen t.w.: Is onderzoek op ware grootte mogelijk en wegen de kosten hiervan op tegen het te verwachten resultaat? Beide vragen konden positief worden beantwoord en de haalbaarheidsstudie resulteerde daarom in een "GO".

Deze conclusie werd door de werkgroep TAW Techniek tijdens haar vergadering van 19 mei 2005 volmondig onderschreven, zie bijlage 1 van het rapport van de kosten-batenanalyse [3].

1. Vooronderzoek

Bij de aanvang van het onderzoek bleek dat er een leemte in kennis over keileem als bouw materiaal in de waterbouw bestond. Vandaar dat een literatuurstudie naar keileem in het vooronderzoek werd voorzien. In deze studie moest zoveel mogelijk relevante kennis over keileem worden verzameld. En met name zou deze studie moeten aangeven of een zekere

mate van erosiebestendigheid mocht worden verwacht en welke eigenschappen van de keileem hierbij van belang zijn.

Het resultaat was dat op basis van de literatuurstudies **niet** geconcludeerd kon worden dat:

- a. de golfbestendigheid van keileem duidelijk minder is dan matige tot slechte klei of dat,
- b. dit vergelijkbaar is met goede klei.

In beide gevallen zou verder onderzoek niet nodig zijn daar dan het toetsspoor ook zonder nader onderzoek uitgewerkt zou kunnen worden. Het vooronderzoek resulteerde derhalve in een "GO".

Verder werd op basis van de resultaten uit het bronnenonderzoek de volgende stelling geformuleerd: "Om snelle grootschalige ontgroning te voorkomen moet de keileem minimaal een ongedraineerde schuifsterkte van 50 – 70 kPa hebben [6]".

2. In situ grondonderzoek

De resultaten van het uiteindelijke onderzoek naar de erosiebestendigheid van keileem kunnen alleen voor de geavanceerde toets van de dijk worden gebruikt als duidelijk is dat over de gehele lengte van de dijk er een keileemkern aanwezig is en dat dit keileem ongeveer gelijk of beter van kwaliteit is dan het onderzochte monster. Het beschikbare geotechnisch langprofiel gaf aan dat op twee punten na de keileemkern conform het ontwerp als aanwezig kan worden aangenomen [3]. Tussen dijkpaal (dp) 6 en 7 en tussen dp 13 en 14 is volgens het geotechnisch langprofiel een onderbreking van de keileemkern aanwezig. Deze laatste is het gat in de dijk dat door de Duitsers tijdens WO II in de dijk is aangebracht. Het geotechnisch langprofiel is samengesteld op basis van de resultaten van sonderingen om de 100 m en een achttal handboringen [15]. In het PvA is voorzien in een extra onderzoeksprogramma om de aanwezigheid van de keileemkern en de eigenschappen hiervan beter vast te leggen. Hier is uiteindelijk als volgt (in beperkte mate) invulling aan gegeven.

Fugro heeft op 7 locaties in de Amstelmeerdijk onderzoek gedaan naar de keileem [9]. Uit eerder onderzoek was bekend dat de keileem voor de Wieringermeerdijk uit de dezelfde winlocatie als die voor de Amstelmeerdijk komt. Uit het onderzoek bleek dat zowel in lengterichting als in diepte de samenstelling van de keileem in de Amstelmeerdijk nauwelijks varieerde. De ongedraineerde schuifweerstand bleek 93 kPa te bedragen (met een standaard afwijking van 23 kPa). Dit is ruim meer dan de 50 – 70 kPa, die wordt vereist om een snelle erosie te voorkomen.

GeoDelft heeft op 7 locaties plus de winlocatie nader onderzoek [10] gedaan naar de eigenschappen van de keileem van de Wieringermeerdijk. Om beter inzicht in de erosiebestendigheid van het keileem te krijgen is deze vastgesteld op basis van de resultaten van centrifugeproeven. Geconcludeerd werd dat over de lengte van de dijk de erosiesterkte gelijkmatig was verdeeld en dat deze goed vergelijkbaar is met klei (Lekdijkklei). Uit triaxiaalproeven bleek dat de keileemkern van de Wieringermeerdijk een ongedraineerde schuifsterkte heeft die hoger ligt dan het gestelde criterium van 50 – 70 kPa voor erosiebestendige keileem.

3. Selectie keileem voor het onderzoek

In eerste instantie werd er van uitgegaan dat er geen keileem uit de dijk zelf gebruikt zou kunnen worden voor het onderzoek. Vandaar dat een uitgebreid selectietraject voor het te beproeven monster was voorzien. Toen bleek dat keileem uit de Wieringermeerdijk zelf gebruikt kon worden was de selectie eenvoudig en resulteerde deze stap in een "GO". Uitgebreid is er onderzoek gedaan naar de samenstelling van de keileem, die voor het onderzoek was geselecteerd [10].

4. Het modelonderzoek

Uit het bronnenonderzoek [6] bleek dat het mogelijk is om, onder strikte voorwaarden, keileem in de Deltagoot in te bouwen zonder dat dit de eigenschappen van de keileem zou verslechteren. Zo mocht de keileem niet al te zeer worden geroerd en moest het enige tijd (enkele weken) rust krijgen in de goot voordat de proeven konden beginnen. In [11] wordt hiertoe een werkwijze beschreven die voldoende vertrouwen in deze verschaft.

Bij het plan van aanpak werd een opzet van het modelonderzoek gepresenteerd waarbij zowel de golfbestendigheid van de keileem in het algemeen zou worden vast gelegd als de invloed van de stortberm bij de Wieringermeerdijk op de golfbelasting op de keileemkern. Uiteindelijk is er voor gekozen om dit laatste punt bij het modelonderzoek niet mee te nemen.

Achteraf kan worden geconcludeerd dat het voorgestelde plan van aanpak is gevolgd en dat de verschillende "GO/NO-GO" mijlpalen ook daadwerkelijk als beslispunten zijn gebruikt.

Nadat dit onderzoekstraject was uitgevoerd is er een analyse van de stormschade aan de Proefpolderdijk in 1928 [8] gedaan. Het resultaat van deze analyse geeft een ondersteuning van het uiteindelijke toetsresultaat van de Wieringermeerdijk.

4 Keileem in de waterbouw

De keileemafzettingen in ons land zijn ontstaan tijdens de ijstijd. De compacte lemige massa die werd gevormd aan de onderzijde van de gletsjer waar het getransporteerde materiaal steeds meer vergruisd werd, wordt keileem genoemd. Keileem bestaat voornamelijk (50 tot 80%) uit silt (deeltjes van 2 - 50 μm) en verder uit klei, zand en keien. Klei daarentegen bevat minstens 25 % lutum (deeltjes < 2 μm) en bestaat uit kleimineralen, wat klei in meer of mindere mate kneedbaar maakt.

Het feit dat keileem waterdicht is maakt het uitermate geschikt als kernmateriaal voor dijken. Het is als zodanig toegepast in de Zuiderzeedijken, mede doordat het materiaal in Noord-Nederland dicht aan de oppervlakte gevonden wordt. Keileem is erosiebestendiger dan op basis van de huidige beoordelingsmethode (zandgehalte en Attenbergse grenzen) zou worden verwacht ([8] t/m [11]). Bij het ontgraven en verwerken van de keileem verliest het een deel van zijn sterkte.

Keileem verschilt ook in gedrag duidelijk van klei. Onder invloed van water vervloeit keileem snel en verliest daarmee zijn erosiesterkte, dit in tegenstelling tot klei. Vanwege de grote leemfractie kan water echter moeilijk in de keileem binnendringen. Keileem krijgt zijn sterkte alleen door de negatieve poriëndruk en door humus en organische stoffen [6]. De poriëndruk gaat verloren onder water, maar blijft bestaan als het oppervlakte dicht genoeg is. Dit kan de bewezen reststerkte van keileem tijdens de stormen van 1926 en 1928 verklaren. Klei daarentegen heeft vanwege zijn structuur een natuurlijke samenhang. Anderzijds verandert keileem met de tijd veel minder dan klei en is minder gevoelig voor weersinvloeden. Scheuren en vervormingen door uitdroging komen minder voor. Keileem is in grondmechanische termen “erg gevoelig” dat wil zeggen dat het materiaal een relatief grote afname van schuifsterkte vertoont als een bepaalde, relatief geringe, vervorming wordt overschreden (zoals bij dynamische belasting). Geringe vervormingen (0,05 à 0,2 % rek) in de keileem zullen de integriteit lokaal al aan kunnen tasten. Voor het transport van de keileem voor de Deltagoot moest hier rekening mee worden gehouden.

Op basis van het literatuuronderzoek heeft GeoDelft de volgende hypothese geformuleerd: Ongeroeerde grond (keileem) krijgt binnen korte tijd na inbouw een groot deel van zijn sterkte terug. De grootste toename in sterkte treedt op in de eerste ca. 3 dagen en na 3 weken is de sterkte in belangrijke mate teruggewonnen. De originele sterkte zal echter pas worden bereikt na vele jaren.

Uit de door Kruse van GeoDelft [6] uitgevoerde analyse van het gedrag van keileem onder golfbelasting blijkt dat de erosiebestendigheid onverwacht groot is. Eerder was bij prototype metingen bij de afsluiting van de Amstelmeerdijk al gebleken dat de stroombestendigheid van keileem groot is, zie [14].

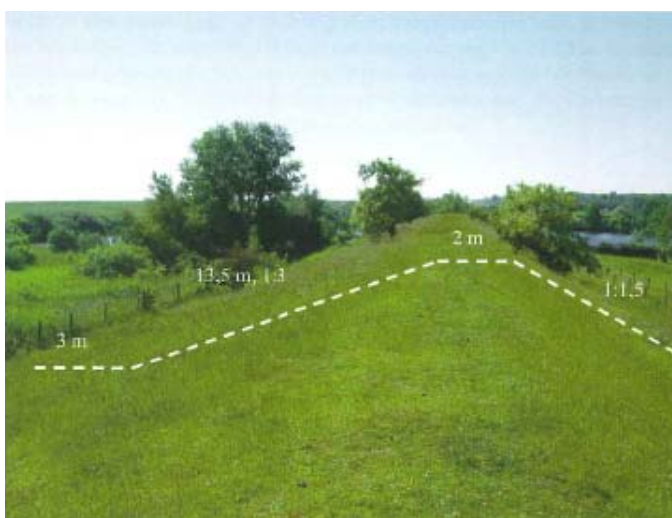
Kruse stelt in [6] dat golfbestendigheid van keileem in hoge mate wordt bepaald door de ongedraineerde schuifsterkte. Een schuifsterkte van 50-70 kPa kan als criterium voor de erosiebestendige keileem worden gehanteerd.

5 Het modelonderzoek

5.1 Winlocatie

De keileem, die voor de Deltagootproeven zou worden gebruikt, moest representatief zijn voor die in de kern van de Wieringermeerdiijk. Dit kon het best worden gerealiseerd door materiaal uit de dijk zelf te gebruiken. Meestal heeft dit dusdanig destructieve gevolgen voor de dijk dat dit niet wordt toegestaan. Bij de Wieringermeerdiijk doet zich echter de volgende “gelukkige” situatie voor dat er een loos deel van de oorspronkelijke dijk aanwezig is. Aan het eind van WO II hebben de Duitsers de Wieringermeerpolder geïnnundeerd door tussen dijkpaal 13 en 14 een gat in de dijk aan te brengen. Na de oorlog is dit gat gedicht door een nieuw stuk dijk meerwaarts van de oorspronkelijke dijk te leggen, zie figuur 2.1. Hierdoor zijn er twee loze stukken oude dijk achter de nieuwe dijk komen te liggen. Door de huidige beheerder Staatbosbeheer is onder voorwaarden toestemming gegeven om keileem uit één van de loze delen van de oude dijk te gebruiken voor het onderzoek.

In de onderstaande foto wordt de winlocatie (nabij dijkpaal 14) getoond.

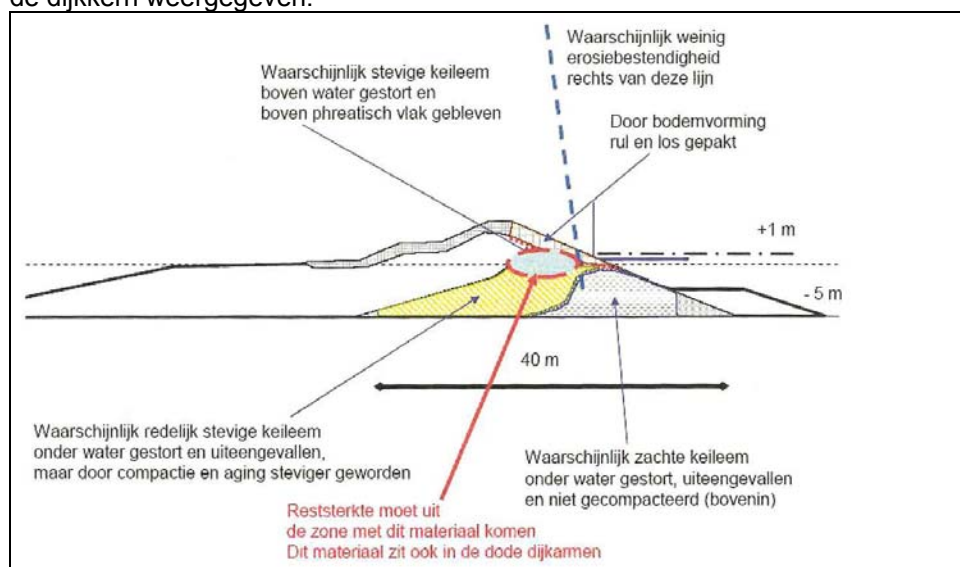


Figuur 5.1: Winlocatie van de keileem voor de Deltagoot (links meerzijde) [11]

Door GeoDelft is uitgebreid onderzoek gedaan naar de samenstelling van de keileem ter plaatse van de winlocatie. GeoDelft heeft geconcludeerd dat de samenstelling van de keileem op de winlocatie nagenoeg identiek is met die in de kern van de rest van de Wieringermeerdiijk. Volgens GeoDelft kunnen als veilige rekenwaarden voor de keileem in de winlocatie 5 kPa cohesie en een wrijvingshoek van 28° worden aangenomen. Verder geldt voor de ongedraineerde sterkte 50 kPa als ondergrens (maximaal gemeten waarde was 150 kN) en is de massadichtheid van $\rho_{\text{keileem}} = 2160 \text{ kg/m}^3$ [10]. N.B. De gemeten waarde voor de schuifsterkte is in belangrijke mate afhankelijk van de meetmethode. De gemeten schuifsterktes op de winlocatie zijn op basis van vinproeven bepaald en daardoor veel lager dan de schuifsterktes in de rest van de dijk die middels triaxiaalproeven zijn bepaald, verwezen wordt naar tabel 3.2 en 3.3 uit [10].

In analogie met het eerder uitgevoerd kleionderzoek [16] mag worden verwacht dat de keileemkern tussen stilwaterniveau en 1 m minus het stilwaterniveau het zwaarst wordt belast vandaar dat de te onderzoeken keileem met name uit dat deel van de dijk moet worden

gewonnen. In de onderstaande figuur wordt door GeoDelft een kwalitatieve zone-indeling voor de dijk kern weergegeven.



Figuur 5.2: Kwalitatieve zone-indeling van de Wieringermeerdijk [10]

Voor de Wieringermeerdijk ligt de waterstand, die behoort bij de maatgevende combinatie van hydraulische randvoorwaarden, tussen NAP + 0,53 m en NAP + 0,65 m. De gebruikte keileemblokken zijn afkomstig uit het gedeelte van de kern tussen NAP – 1,0 m en NAP + 2,0 m.

5.2 Het winnen van de keileem

Om de keileem in de Deltagoot zo goed mogelijk te doen lijken op de keileem in de dijk is het noodzakelijk dat de blokken tijdens het steken, vervoer en plaatsen in de goot zo min mogelijk worden geroerd of vervormd. In een aparte voorstudie heeft WL/Delft Hydraulics meerdere alternatieve methoden voor het winnen van de keileem geanalyseerd en uiteindelijk voor de volgende methode gekozen, zie [11]:

- Voor het steken van de keileem uit de dijk is gebruik gemaakt van een 1,8 m lange, 1,3 m brede en 1,5 m hoge stalen mal. De dimensies van de stalen mal waren zo gekozen dat de vervorming van de keileem onder de 0,007 m (in enkele rapporten wordt abusievelijk 0,07 m genoemd) zou blijven (dit betekent een rek < 0,5 %). De maximaal opgetreden vervormingen waren in de orde van 0,003 tot 0,005 m.
- De afzonderlijke platen van de steekmal werden met zo min mogelijk wrijving in de keileem gedrukt hiertoe waren de platen van te voren behandeld.
- Trillingen bij het omhooghalen van de blokken werden voorkomen door hiervoor een palletvork te gebruiken.
- De blokken werden met plastic afgedekt om uitdrogen te voorkomen.
- De 10 ton wegende blokken werden per vrachtwagen naar de Deltagoot gebracht.

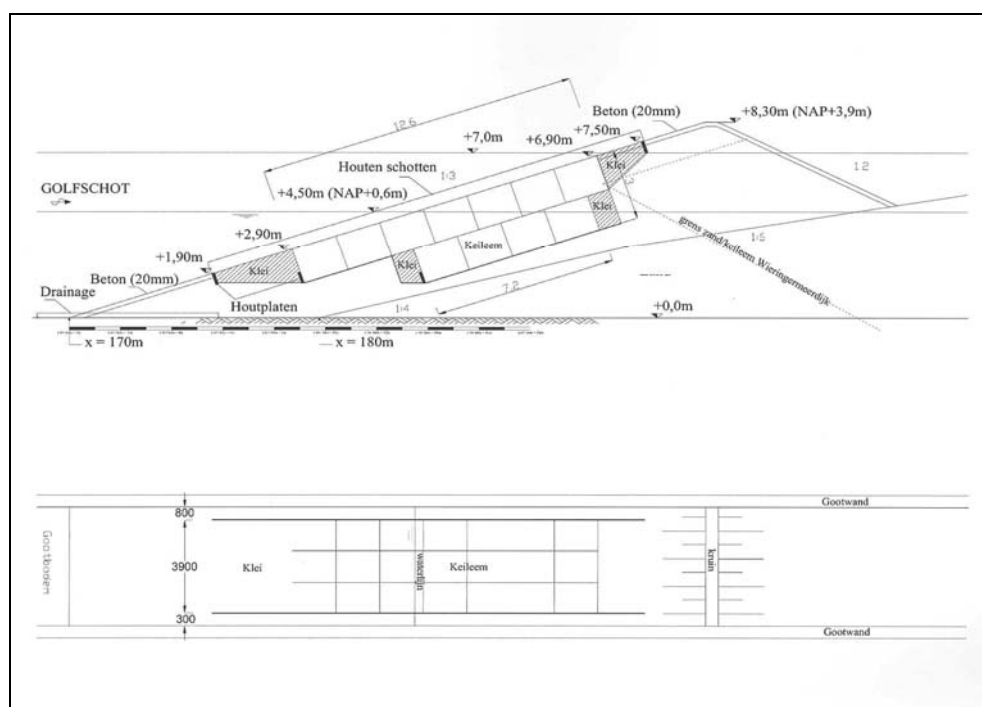
5.3 Het onderzoek

5.3.1 De Deltagoot

De proeven zijn uitgevoerd in de Deltagoot van WL/Delft Hydraulics. De goot heeft een lengte van 240 m, een breedte van 5 m en een diepte van 7 m. De goot is uitgerust met een translerend golfschot. Tweede orde golfschotsturing is mogelijk en verder is het systeem uitgerust met een actief reflectiecompensatie systeem. De maximaal realiseerbare golfcondities zijn golfhoogtes tot $H_s = 1,7$ m met een golfperiode van 1 à 12 s uitgaande van een waterdiepte van 5 m en geen reflectiecompensatie en gecorrigeerde 2^{de} orde golfschotsturing. Daar de hoogste golfconditie voor de Wieringermeerdijk $H_{s,i} = 1,62$ m bedraagt is de Deltagoot geschikt voor het uitvoeren van de ware grootte proeven op het keileem.

5.3.2 Modelopstelling

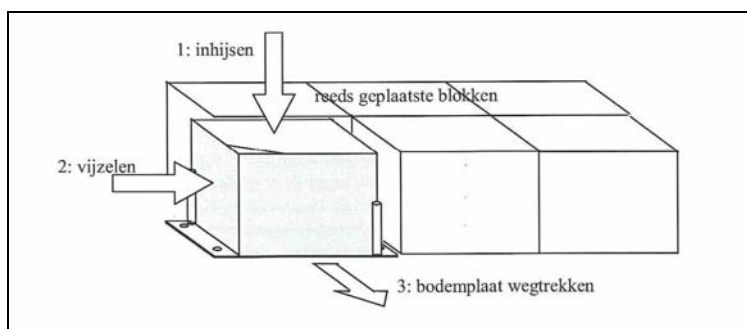
De keileemblokken zijn onder een taludhelling 1:3 in de goot aangebracht. De positie van de blokken is bepaald op basis van eerder opgedane ervaring bij onderzoek naar de sterkte van klei [14]. In onderstaande figuur wordt de modelopstelling weergegeven.



Figuur 5.3: Proefopstelling in de Deltagoot [12]

Voor het keileemonderzoek is een waterdiepte van 4,5 m toegepast. Dit heeft invloed op de maximaal te genereren golfhoogte in de goot. Het onderzoek is uitgevoerd zonder voorland (horizontale bodem). De invloed van de beperkte waterdiepte voor de teen van de constructie in de goot op de golfhoogte ter plaatse wordt door WL als klein ingeschat.

Om tijdens het plaatsen de keileem zo min mogelijk te beroeren zijn de 1,8 m lange, 1,3 m brede en 1,5 m hoge blokken met bekisting en al in het talud geplaatst. Het plaatsen van de keileemblokken wordt in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 5.4 : Plaatsen van de keileemblokken [12]

Na het inhijzen (1) van het blok werd eerst de onderplaat verwijderd (3), daarna werd het blok met een vijzel tegen de reeds aanwezige keileem aangeduwd (2). Hierna kon de zijmal worden verwijderd.

Als dummy taludbekleding is vanaf de gootbodem tot een niveau + 1,9 m beton gebruikt. Vanaf het beton tot de keileem is geroerde en verdichte klei aangebracht. Dit klei is ook gebruikt boven de keileem waarna het talud weer overging in een betonafdekking. De breedte van het keileem pakket in de goot was $3 \times 1,3 \text{ m} = 3,9 \text{ m}$; dit betekent dat tussen de gootwand en de keileem een ruimte van $\frac{1}{2} (5,0 - 3,9) = 0,55 \text{ m}$ over blijft. Aan de zijkanten naast het keileempakket waren houten wanden gezet en de ruimte tussen de houten wanden en de gootwand werd met zand opgevuld dat vervolgens met beton werd afgedekt. De houten wanden staken ca. 0,5 m boven de keileem uit om modeffecten aan de zijkanten te voorkomen. Tussen en onder de keileemblokken waren gekleurde drijvers geplaatst om tijdens de proeven na te kunnen gaan tot hoever de erosie was gevorderd. Daar de bovenkanten van de geplaatste blokken niet overal gelijk lagen is het oppervlakte met de schep gelijk gemaakt. Na de inbouw van de keileem is middels natte lakens de keileem vochtig gehouden en werd het geheel afgedekt met plastic folie. De geplaatste keileem heeft daarna minimaal vier weken in de goot gerust om de keileem te laten zetten en zijn sterkte zoveel mogelijk terug te laten winnen.

Voor en na de proeven zijn er monsters gestoken uit de keileem, dit had o.a. tot doel om na te gaan of de keileem te lijden had gehad van het transport. Dit bleek niet het geval te zijn. Op twee monsters zijn triaxiaalproeven uitgevoerd met het volgende resultaat voor de cohesie en wrijvingshoek. De schuifsterkte die in deze tabel wordt weergegeven is bepaald door middel van vinproeven.

Monster	Cohesie [kPa]	Wrijvingshoek [°]	Schuifsterkte [kPa]
Winlocatie	n.b.	n.b.	38,0 (4,5)
Voor de proef	1,5	35,9	67,3 (29,2)
Na de proef	3	33,2	58,6 (28,5)
In situ (dijkkern)	7,7 (2,3)	31,3 (4,3)	48,8 (20,6)

Tabel 5.1: Karakteristieke waarden voor de keileem [12]; bij het in situ onderzoek staat tussen haakjes de standaard afwijking aangegeven (n.b. = niet bepaald)

Het verschil in gevonden cohesie is op zich niet verwaarloosbaar maar gezien het kleine aantal proeven zegt dit weinig over een eventueel afwijken de samenstelling van de keileem.

Ook het verschil in gemeten schuifsterkte is opvallend maar blijkt bij nadere beschouwing statistisch niet significant te zijn, zie het rapport van WL/Delft Hydraulics [12, blz 40]. Met name op basis van het nat volumiek gewicht van alle vergeleken monsters en de samenstelling van de keileem wordt geconcludeerd dat de in de goot onderzochte keileem representatief is voor die in de kern van de Wieringermeerdijk [12].

5.3.3 Meetmethoden

De golfhoogte in de goot werd door drie halverwege de goot geplaatste golfhoogtemeters gemeten. Vervolgens werd softwarematig het gemeten golfsignaal opgedeeld in een inkomende golfenergie en gereflecteerde golfenergie. Het golfschot werd gestuurd op de gewenste waarde van $H_{s,i}$.

De erosie van keileem werd vastgelegd met behulp van een mechanische profielvolger. Na elke proef werd het profiel van de keileem in drie parallelle raaien gemeten. Eén op 1,2 m, één op 2,5 m en één op 3,8 m van de gootwand. Zowel de drie afzonderlijke profielen als het gemiddelde van deze drie profielen werd vervolgens berekend.

5.3.4 Schaal- en modeffecten

In [12] wordt uitgebreid stilgestaan bij mogelijke schaal- en modeffecten. Het feit dat het talud is opgebouwd uit blokken kan tot gevolg hebben dat er op de naden zwakke plekken in het talud ontstaan. Uit visuele waarnemingen tijdens de proeven is er echter niet geconstateerd dat het erosieproces bij de naden sneller of minder snel is gegaan dan over de rest van het talud. Waarschijnlijk was de rustperiode tussen het plaatsen van de blokken en het beproeven van de blokken voldoende om dit modeffect te voorkomen.

Wel bleek er een duidelijk effect te bestaan tussen de hardheid van de blokken en de erosiesnelheid. Zachte blokken erodeerden duidelijk sneller dan blokken van harde keileem. Bekend is dat de kwaliteit van de keileem in prototype sterk kan variëren. De aanwezigheid van zowel zachte als harde keileemblokken in de goot geeft derhalve een min of meer juiste afspiegeling van de werkelijkheid.

Verder verschilt het model nog op de volgende punten met de situatie in werkelijkheid:

- Vaste helling van 1:3 voor het onderwatertalud terwijl in werkelijkheid de taludhelling varieert en onder water altijd flauwer dan 1:3 is (1:3 à 1:3,75). Dit wordt als een conservatieve benadering gezien.
- De proeven zijn uitgevoerd zonder de ca. 5 m brede breukstenen berm. Dit is een conservatieve benadering.
- De steenbekleding ontbreekt op de keileem, deze wordt verondersteld te verdwijnen tijdens de aanloofase van de storm.

5.3.5 Proevenprogramma

Het proevenprogramma begon met een proef met $H_{s,i} = 1,25$ m, dit is de laagste maatgevende golfhoogte voor de Wieringermeerdijk. Het proevenprogramma was verder zo ingericht dat er een beslissingsmoment was ingebouwd voor de vraag of er wel of geen stortstenen berm in gebouwd zou worden. Indien de erosielengte na 1,5 uur golven met $H_{s,i} = 1,25$ m kleiner zou zijn dan 3 m dan zou er doorgegaan worden zonder berm. Indien de erosielengte meer dan 3 m zou zijn dan zou alsnog een berm worden ingebouwd. Na 1,5 uur golven was de erosie

lengte orde grootte 1,5 m, zodat er verder niet is overwogen om met een stortstenen berm in te bouwen en hierop de proeven uit te voeren.

Hierbij was het de bedoeling om verder met een golfhoogte van $H_{s,i} = 1,6$ m verder te gaan totdat een erosielengte van 7 m of meer was bereikt of tot een totale proefduur van 20 uur. Respectievelijk na 0,5 uur, 1,5 uur, 2,5 uur, 4,5 uur en 7,5 uur waren profielmetingen gepland op basis waarvan de erosielengte kon worden bepaald. In tabel 5.2 wordt het uitgevoerde proevenprogramma weergegeven. De proeven zijn uitgevoerd in januari bij een temperatuur tussen 5 en 10 ° C.

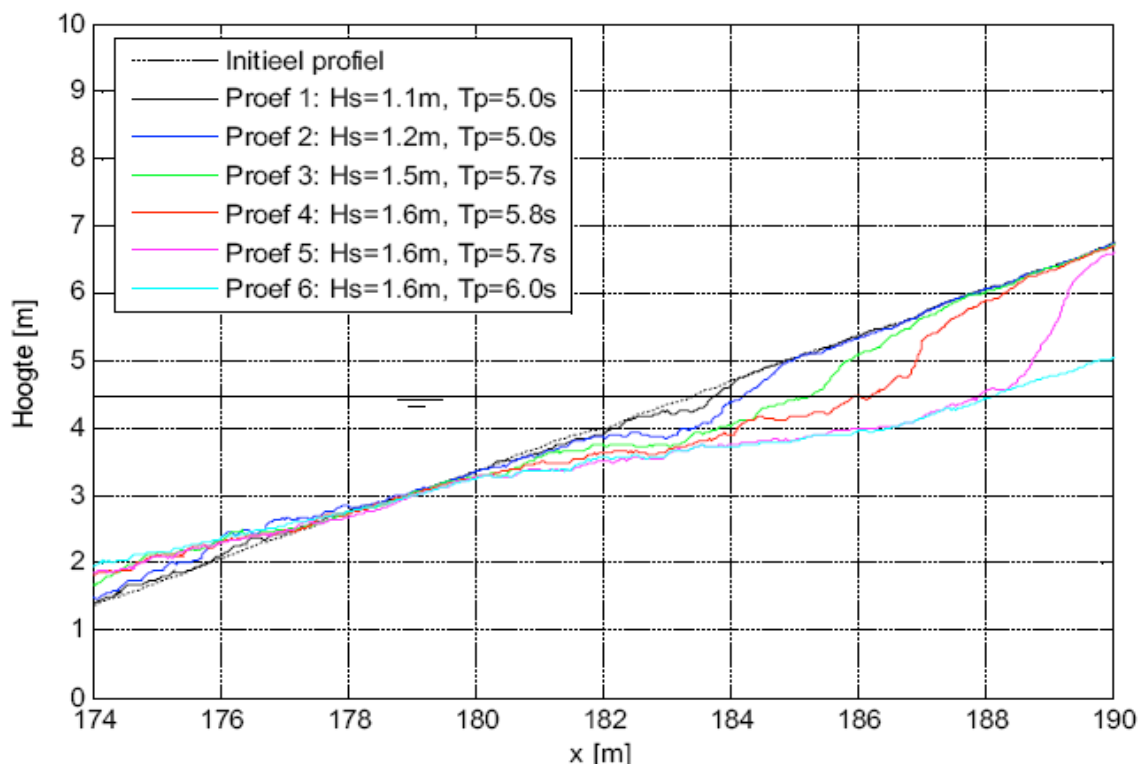
De erosielengte is als volgt gedefinieerd:

E_x = de maximale horizontale afstand waarover het profiel is geërodeerd. Deze afstand wordt horizontaal gemeten vanaf het oorspronkelijke talud.

De maximale erosielengte werd op 0,1 à 0,3 m onder de waterlijn gevonden, dit komt overeen met de bevinding hieromtrent bij het onderzoek naar klei-erosie onder golfbelasting [16].

5.3.6 Modelresultaten

In de onderstaande figuur is de gemiddelde erosie van de keileem in de Deltagoot weergegeven. Met gemiddeld wordt hier bedoeld de gemiddelde waarden van de drie profielmetingen die over de breedte van het keileempakket in de goot zijn gedaan.



Figuur 5.5 : Resultaten van de profielmetingen na de verschillende proeven [12]. De waterstand was + 4,50 m

Bij de laatste proeven (Proef 5 en 6) is het ontstaan van een scheur in het bovenste kleipakket geconstateerd. Mogelijk is dit een reden voor de toename van de erosie tijdens Proef 5. In het

betreffende onderzoeksrapport wordt dit niet gemeld en ook niet nader uitgewerkt [Bron dr. J.W. van der Meer]

In tabel 5.2 zijn proefomstandigheden en de gemeten waarden voor de erosielengte samengevat. De gemiddelde en de maximaal gemeten waarden voor de drie profielmetingen worden gegeven.

Proef no.	H_s (m)	T_p (s)	Duur (uur)	Duur cumulatief (uur)	E_x maximaal (m)	E_x gemiddeld (m)
1	1,12	4,97	0,50	0,50	1,06	0,67
2	1,17	5,01	0,82	1,32	2,19	1,53
3	1,51	5,73	1,00	2,32	2,54	2,12
4	1,56	5,77	1,24	3,56	3,57	2,98
5	1,58	5,72	1,68	5,24	5,03	4,67
6	1,57	5,98	0,74	5,98	5,40	5,14

Tabel 5.2: Resultaten van de proeven [12]

Bij de eerste proeven zijn de verschillen tussen de onderlinge profielmetingen aanzienlijk. Echter nadat de proeven verder gevorderd zijn wordt het verschil steeds kleiner en na proef 6 kan worden geconcludeerd dat het verschil klein is. Op basis van de metingen is voor het in de goot onderzochte keileem de volgende relatie afgeleid:

$$E_x = 1,36 H_s t^{0,56} \text{ (m)} \dots\dots\dots 5.1$$

waarin:

E_x = max. horizontale erosielengte in het keileempakket (m)

H_s = significante golfhoogte (op basis van energie) (m)

t = belastingduur (uur)

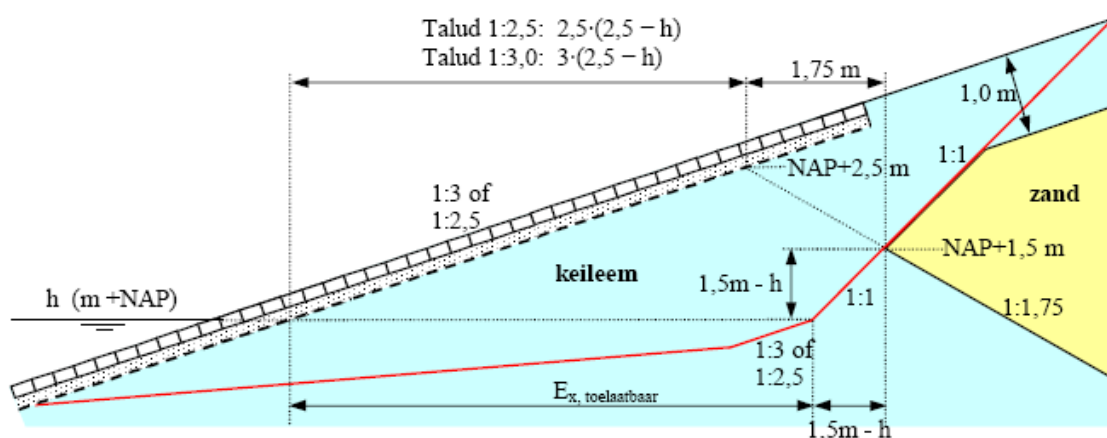


Foto 5.1: Keileemtalud in de Deltagoot na Proef 4

6 Geavanceerde toets steenbekleding Wieringermeerdijk

In [13] wordt de geavanceerde toets voor de steenbekleding van de Wieringermeerdijk uitvoerig beschreven, in dit voorliggende hoofdstuk wordt een samenvatting van de toets gegeven. Bij de geavanceerde toets is nagegaan of de keileemkern onder maatgevende omstandigheden breed genoeg is om bij volledig bezwijken van de steenbekleding te voorkomen dat de zandkern van de dijk wordt aangetast. De normfrequentie voor Dijkkring 12 (Wieringen) is 1/4000 per jaar.

Op basis van een uitgebreide documentenstudie en in situ onderzoek bij de Wieringermeerdijk is de onderstaande (veilige) dwarsdoorsnede van het voor deze studie relevante deel van de Wieringermeerdijk opgesteld, zie figuur 6.1.



Figuur 6.1: Toelaatbare erosielengte bij de Wieringermeerdijk [13]

Op basis van deze schematisatie kan de toelaatbare erosielengte worden berekend met:

Talud 1 : 2,5

$$E_{x, \text{toelaatbaar}} + (1,5 - h) = 2,5 (2,5 - h) + 1,75$$

$$E_{x, \text{toelaatbaar}} = 6,0 - 1,5 (m) \dots\dots\dots 6.1$$

Talud 1 : 3

$$E_{x, \text{toelaatbaar}} + (1,5 - h) = 3 (2,5 - h) + 1,75$$

$$E_{x, \text{toelaatbaar}} = 7,75 - 2h (m) \dots\dots\dots 6.2$$

waarin:

$E_{x, \text{toelaatbaar}}$ = erosielengte bij begin van het bereiken van de zandkern (m)

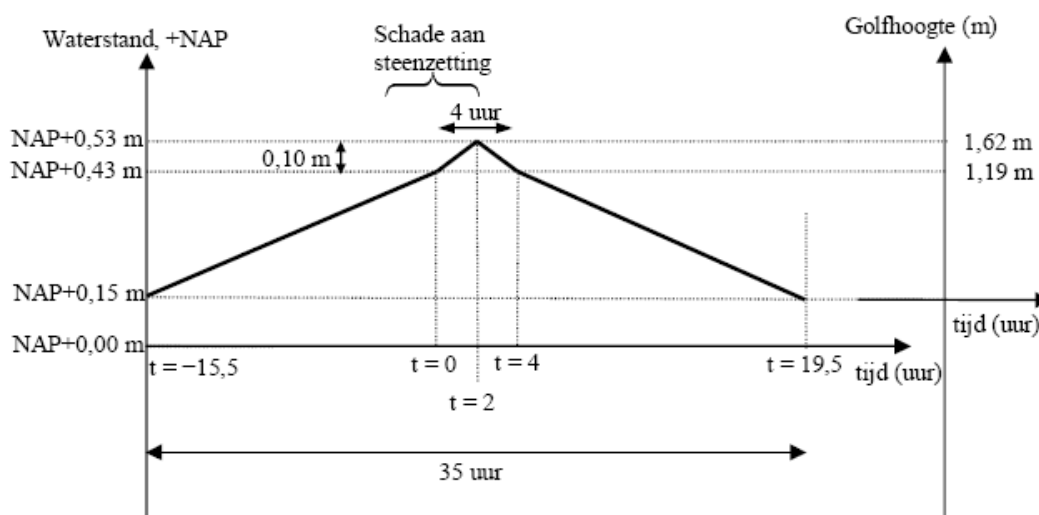
h = waterstand t.o.v. NAP (m)

De maatgevende hydraulische belasting voor de Wieringermeerdijk is door de beheerder voor deze studie berekend. De normfrequentie is 1/4000 per jaar en de resultaten zijn in tabel 6.1 gegeven. N.B. De berekende randvoorwaarden verschillen iets met die uit [1] en ook de vakindeling is aangepast. Ook bleek dat de maximale taludhelling op enkele dijkvakken niet 1 : 3 is maar 1 : 2,5.

Dijkvak	Taludhelling	Waterstand (h)	H_s	T_p
dp – dp		NAP + ... m	(m)	(s)
0,0 – 6,0	1 : 2,5	0,53	1,62	5,7
6,0 – 11,0	1 : 2,5	0,54	1,33	5,7
11,0 – 13,2	1 : 2,5	0,58	1,18	5,5
13,2 – 17,0	1 : 3,0	0,63	1,36	5,1
17,0 – 17,7	1 : 3,0	0,65	1,04	5,0

Tabel 6.1: Maatgevende hydraulische randvoorwaarden [13]

Volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (2004) moet rekening gehouden worden met een totale stormduur van 35 uur. De storm kent een hoogtepunt gedurende 4 uur, waarin de waterstand nog maar 0,10 m stijgt, dus gedurende 4 uur wordt bij de hoogste waterstand de dijk met de maximale golfhoogte belast, zie figuur 6.2. De golfhoogte wordt verondersteld evenredig met de waterstand toe- en af te nemen. In tegenstelling tot de voorschriften in het Hydraulisch Randvoorwaardenboek is niet uitgegaan van het streefmeerpeil in het IJsselmeer (NAP – 0,40 m) maar van de waterstand zoals deze uit de Hydra-Q sommen resulteerde, namelijk NAP + 0,15 m.



Figuur 6.2: Verloop van de waterstand tijdens maatgevende storm voor dijkvak 0 - 6 [13]

In figuur 6.2 is het nulpunt van de tijdas gelegd op 2 uur voor het optreden van het toetspeil. Dit is gedaan omdat bij de berekeningen heel lang ervan was uitgegaan dat op dit tijdstip de steenbekleding dusdanig zou zijn beschadigd dat deze geen bescherming meer zou bieden aan de keileemkern. In [13] wordt een analyse gegeven van het bezwijkgedrag van de steenbekleding en hieruit blijkt dat op enkele dijkvakken de mogelijkheid bestaat dat de steenbekleding voor tijdstip $t = 0$ is bezweken.

Dijkvak dp – dp	Taludhelling	Tijdstip verwachte schade
0,0 – 6,0	1 : 2,5	t is ca. – 3 à – 2 uur
6,0 – 11,0	1 : 2,5	t is ca. – 2 à – 1 uur
11,0 – 13,2	1 : 2,5	t is ca. – 1 à + 1 uur
13,2 – 17,0	1 : 3,0	t is ca. 0 à + 1 uur
17,0 – 17,7	1 : 3,0	t is ca. 2 uur

Tabel 6.2: Tijdstip waarop de steenbekleding schade ondervindt [13]

Voor de berekening van de uiteindelijke erosielengte is de effectieve erosieduur in vier delen gesplitst. Bij elk van de vier perioden is de gemiddelde golfhoogte berekend waarbij wordt er van uitgegaan dat de golfhoogte evenredig is met de waterstandsverhoging. Met formule 5.1 is de totale erosielengte uitgerekend. Eerst is de erosielengte voor de eerste periode t_1 (4 uur plus hoogste golf) uitgerekend. Dan wordt de belastingduur van de eerste periode omgerekend naar een equivalente belastingduur t_{1*} met een golfhoogte van de tweede periode, die dezelfde erosielengte geeft als de eerste periode. Hier wordt de belastingduur van de tweede periode bij opgeteld en wordt de erosielengte na de tweede periode uitgerekend. En op gelijke wijze wordt vervolgens de uiteindelijke erosielengte na de derde en de vierde periode uitgerekend. In onderstaande tabel zijn de aldus berekende erosielengtes, alsmede de toelaatbare erosielengtes weergegeven.

Dijkvak	Te verwachten erosielengte E_x	Toelaatbare erosielengte	Vershil
$dp - dp$	[m]	[m]	[m]
0,0 – 6,0	6,85	5,21	- 1,64
6,0 – 11,0	5,34	5,19	- 0,15
11,0 – 13,2	4,65	5,13	0,48
13,2 – 17,0	5,29	6,49	1,20
17,0 – 17,7	3,62	6,45	2,83

Tabel 6.3: Toetsresultaten zonder stortberm [13]

Conclusie: Op het gedeelte van de dijk tussen de dijpalen 0,0 en 11,0 is, indien er geen stortberm aanwezig zou zijn, de breedte van de keileemkern niet voldoende om de veiligheid van achtergelegen gebied te garanderen nadat de steenbekleding heeft gefaald.

In [13] wordt apart aandacht geschonken aan het effect van de stortstenen berm op de te verwachte erosie van de keileemkern. De breedte van de stortsteen berm varieert tussen de 2,5 en 5,0 m en ligt tussen NAP -0,50 m en NAP + 0,50 m, de M_{50} is 112 kg. Onder maatgevende omstandigheden zal de berm vervormen, maar onder NAP -0,8 à -0,6 m zal er geen vervorming optreden en blijft de berm dus volledig aanwezig.

Door de aanwezigheid van de berm breken de golven al op enige afstand van de keileemkern en kan verwacht worden dat de belasting van de keileem zal worden gereduceerd. Uitgaande van een bermbreedte van 2,5 m is de belastingduur berekend die een gelijke erosielengte heeft als de breedte van de berm t_{berm} zodat formule 5.1 in geval van de aanwezigheid van een 2,5 m brede berm als volgt kan worden geschreven.

$$E_{x, \text{ berm}} = 1,36 H_s (t + t_{\text{berm}})^{0,56} - 2,5 \quad (\text{m}) \dots\dots\dots 6.3$$

Indien de gehele storm met deze formule wordt doorgerekend dan resulteert dit in de te verwachte erosielengtes zoals deze in tabel 6.4 zijn opgenomen.

Dijkvak	Te verwachte erosielengte E_x	Toelaatbare erosielengte	Vershil
dp – dp	[m]	[m]	[m]
0,0 – 6,0	4,96	5,21	0,25
6,0 – 11,0	3,57	5,19	1,62
11,0 – 13,2	2,95	5,13	2,18
13,2 – 17,0	3,53	6,49	2,96
17,0 – 17,7	2,07	6,45	4,38

Tabel 6.4: Toetsresultaat met stortberm [13]

Op basis van deze resultaten, het feit dat de berm een wezenlijk onderdeel van het dijkprofiel is (opgenomen in de legger) en de “veilige” schematisaties, wordt geconcludeerd dat voor alle dijkvakken van de Wieringermeerdijk geldt dat de keileemkern voldoende breed is om tijdens maatgevende omstandigheden te voorkomen dat de zandkern bereikt wordt. Zij het dat de marge voor het dijkvak tussen dp 0,0 en 6,0 wel erg minimaal is.

De “veilige” schematisaties zijn:

- 1 Constant verondersteld waterstandniveau.
- 2 Loodrechte golfval.
- 3 De werkelijke bermbreedte van de berm is meer dan 2,5 m en deze berm ligt veelal hoger dan NAP – 0,50 m.

Enige onzekerheid blijft er bestaan over de precieze geometrie van de keileemkern op sommige locaties van de dijk.

Dit resultaat wordt ondersteund door de ervaring met de Proefpolderdijk [8]. In de winter van 1926 werden de in uitvoering zijnde dijken (Proefpolderdijk) bij Andijk gedeeltelijk beschadigd. Door de keileemkern is de dijk echter niet doorgebroken. Ook tijdens de storm van 25 november 1928 is de dijk niet doorgebroken hoewel grote delen van de steenbekleding waren bezweken waardoor plaatselijk de keileemkern onbeschermd door de golven werd belast. Gedurende deze storm was de waterstand meer dan 3 uur boven NAP + 1,90 m en meer dan een etmaal boven NAP + 1,0 m (bij de Proefpolderdijk ligt de kruin van de keileemkern op NAP + 1,0 m). De maximale golfhoogte tijdens deze storm zal enkele uren ca. $H_s = 1,8$ m zijn geweest, terwijl deze gedurende de rest van de dag boven de $H_s = 1,4$ m is geweest. Aan het eind van de storm was de 0,75 m dikke keilemen afdeklaag weg geërodeerd. Echter hoewel de zandlaag vrij was gekomen is er geen sprake geweest van een dreigende doorbraak van de dijk.

Dit geeft aan dat er nog wel een extra marge zit tussen het bereiken van de zandkern en het doorbreken van de dijk. Dus de reststerkte van de keileemkern gebruiken is acceptabel. Overigens zal bij de Wieringermeerdijk op zo'n moment geen sprake zijn van golfoverslag, terwijl dit bij de Proefpolderdijk wel het geval moet zijn geweest gezien de hogere waterstand.

Een belangrijk aspect dat maakt dat de erosielengte groter zou kunnen zijn dan berekend, is het alternatieve belastingscenario dat mogelijk in de toekomst gehanteerd zou kunnen gaan worden. Er bestaan plannen om de hydraulische randvoorwaarden voor het IJsselmeer aan te scherpen. Met name de stormduur zou in deze plannen vergroot worden van 35 naar 48 uur. In [13] is de invloed hiervan op de reststerkte van de Wieringermeerdijk berekend en dan blijkt

dat tussen dp 0 en dp 13,2 de breedte van de keileemkern niet meer voldoende is. Echter in het eindoordeel wordt daar geen rekening mee gehouden.

Wel wordt het volgende punt, dat voor de beheerder in deze zwaar weegt en ook is ingebracht, meegenomen. Na het optreden van de maatgevende storm moet de resterende dijk kern een tweede storm met een herhalingsfrequentie van bijvoorbeeld eens per 10 jaar nog veilig kunnen keren. Om de invloed van deze tweede storm te berekenen is van de volgende stormcondities uitgegaan; een stormduur van 9,5 uur (alleen de tijd dat de waterstand boven NAP 0,0 m is meegenomen), stormpeil NAP + 0,15 m en een H_s van 1,23 m

Dijkvak	Erosielengte E_x na toetsstorm	Erosielengte E_x na tweede storm	Toelaatbare erosielengte	Vershil
dp – dp	[m]	[m]	[m]	[m]
0,0 – 6,0	4,96	6,33	5,21	- 1,12
6,0 – 11,0	3,57	5,14	5,19	0,05
11,0 – 13,2	2,95	4,63	5,13	0,50
13,2 – 17,0	3,53	5,11	6,49	1,38
17,0 – 17,7	2,07	3,93	6,45	2,52

Tabel 6.5: Toetsresultaat na tweede storm [13]

De toetsresultaten in tabel 6.5 laten zien dat dijkvak 0 – 6,0 dan niet voldoet en dat de marge voor dijkvak 6,0 – 11,0 minimaal is. Overigens geeft een 1/1 storm geen enkele vermeerdering van het erosieprofiel en gelden bij zo'n tweede storm de resultaten in tabel 6.4.

Op basis van de overweging dat na de toetsstorm de keileemkern een tweede storm met een terugkeerperiode van 10 jaar moet kunnen keren, wordt de volgende toetsscore aan de bekleding van de Wieringermeerdijk toegekend:

- De dijkvakken 11,0 -13,2 km, 13,2 – 17,0 km en 17,0 – 17,7 “**voldoende**”.
- De dijkvakken 0 – 6,0 km en 6,0 – 11,0 km “**onvoldoende**”.

7 Conclusies en toetsresultaat

De volgende conclusies kunnen op basis van het onderzoek worden getrokken.

1. De golfbestendigheid van keileem is groter dan op basis van de huidige beoordelingsmethode (zandgehalte en Attenbergse grenzen) zou worden verwacht. Deze conclusie bevestigt de indruk die hieromtrent is ontstaan naar aanleiding van bekende schadegevallen uit het verleden.
2. De golfbestendigheid van keileem wordt in hoge mate bepaald door de ongedraineerde schuifsterkte in combinatie met de cohesie en wrijvingshoek. Om een snelle grootschalige ontgroning van de keileemkern te voorkomen kan als criterium een schuifsterkte van 50-70 kPa voor de keileem worden gehanteerd.
3. De in de Deltagoot beproefde keileem is representatief voor die van de kern van de Wieringermeerdijk. Vandaar dat kan worden gesteld dat de uit de proeven afgeleide erosieformule voor de keileemkern van de Wieringermeerdijk geldt en onder voorwaarden zou kunnen gelden voor andere dijken met een keileemkern

$$E_x = 1,36 H_s t^{0,56} \text{ (m)}$$

waarin:

E_x = max. horizontale erosielengte in het keileempakket (m)

H_s = significante golfhoogte (op basis energie) (m)

t = belastingduur (uur)

De voorwaarden zijn:

- a. De keileem moet vergelijkbaar zijn met de onderzochte keileem, belangrijke indicatoren hiervoor zijn: de winplaats van de keileem, de schuifsterkte > 50 – 70 kPa en het nat volumiek gewicht.
 - b. De maatgevende golfhoogte mag niet te veel hoger zijn dan de maximale golfhoogte uit het onderzoek van $H_s = 1,6$ m.
4. Zonder de invloed van de stortstenen berm mee te nemen is de reststerkte als gevolg van de keileemkern van de Wieringermeerdijk niet op alle beschouwde dijkvakken voldoende om na bezwijken van de taludbekleding doorbreken van de dijk te voorkomen. De berm is echter een wezenlijk onderdeel van het dijkprofiel en als zodanig in de legger opgenomen. Indien de invloed van de stortstenen berm in de beschouwing wordt meegenomen dan is deze over de gehele lengte van de dijk wel voldoende. Hierbij geldt de aanname dat:
- “Het op basis van de aanwezige gegevens veronderstelde minimum profiel van de keileemkern over de gehele lengte van de dijk aanwezig is”.
- Aanbevolen wordt om hier nog nader onderzoek naar uit te voeren. (Gosse Jan: ik begrijp dit niet. Als de berm in de legger is opgenomen, dan dient de beheerder te zorgen dat deze berm er ligt. Welk onderzoek moet dan nog worden uitgevoerd?)
5. De beheerder heeft aangegeven dat een tweede storm na de maatgevende storm gekeerd zou moeten worden. De resterende keileemkern, na het optreden van de maatgevende storm, is dan niet voldoende om op alle locaties een tweede storm (1/10 jaar) veilig te kunnen weerstaan.

Op basis van de in hoofdstuk 6 beschreven geavanceerde toets en met name op basis van de in Tabel 6.5 samengevatte toetsresultaten wordt in [13], waarbij gesteld wordt dat een zware

tweede storm ook moet kunnen worden gekeerd, de volgende toetsscore aan de bekleding van de Wieringermeerdijk toegekend:

- De dijkvakken 11,0 -13,2 km, 13,2 – 17,0 km en 17,0 – 17,7 “**voldoende**”.
- De dijkvakken 0 – 6,0 km en 6,0 – 11,0 km “**onvoldoende**”.

Referenties

1. Toetsing op veiligheid van de IJsselmeerdijken van Noord-Holland; Eenvoudige toets. Infram i279 november 2000.
2. Landelijke Inventarisatie Steenzettingen; Westerschelde en IJsselmeer. Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, januari 2002
3. Wieringermeerdijk; Kosten/batenanalyse voor de geavanceerde reststerktetoets. Infram 04i114 juli 2005.
4. Huitema T: Dijken langs zee, rivieren en kanalen; Kaden om polders, groogmakerijen enz. Uitgave van Kosmos 1947
5. Literatuurstudie keileem; Fugro november 2005
6. Bronnenonderzoek naar erosie en reststerkte van keileem van de Wieringermeerdijk; GeoDelft nummer 419110/610 augustus 2006
7. Literatuurstudie naar keileem en bloksteen uit de (drie)maandelijke berichten betreffende de Zuiderzeewerken. Infram 05i089 oktober 2006
8. Stormschade aan den zeedijk van den Proefpolder nabij Andijk; Een analyse van historisch opgetreden belastingen. Infram 07i079 september 2007
9. Aanvullend grondonderzoek Amsteldijk (dp 14- dp 25). Fugro mei 2006
10. Onderzoek keileemkern Wieringermeerdijk; Rapportage veld- en laboratoriumwerkzaamheden. GeoDelft CO-424310.0017 maart 2007
11. Methodiek Deltagootproeven met keileem van de Wieringermeerdijk. Delft/Hydraulics H4739 augustus 2006
12. Deltagootproeven naar de sterkte van keileem. WL/Delft Hydraulics H4739 december 2007
13. Reststerkte van de Wieringermeerdijk. WL/Delft Hydraulics H4739, maart 2008.
14. Visser dr. J.P.; Groei bres in Afsluitdijk; een verkenning van de mogelijke omvang van de bres in de Afsluitdijk na een eventuele dijkdoorbraak enz. Uitgave TU Delft 2002
15. Detailonderzoek fase 9 "Wieringermeerdijk en (omgelegde) Stonteldijk" Deel 1: Grond- en laboratorium onderzoek. Fugro november 1997
16. Reststerkte van dijkbekledingen; stabiliteit van steenzetting en klei-onderlaag. Grondmechanica Delft en WL, H1550 deel III, juni 1993