

Grondonderzoek Haringvlietmond

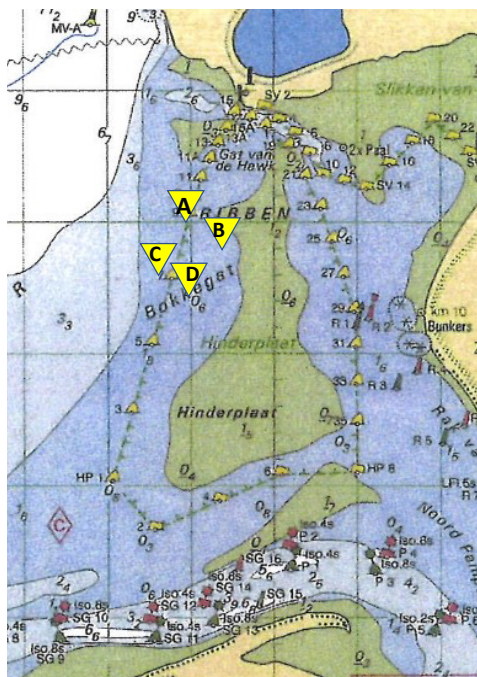
1. Inleiding:

Fugro heeft in 1985, in opdracht van NEOM, met een hefeiland grondonderzoek gedaan in de Haringvlietmond (C-4981/02). Het grondonderzoek bestond uit 4 diepsonderingen en een diepe boring. Twee extra sonderingen mislukten, waarschijnlijk als gevolg van een obstakel onder de bodem.

De locatie van de sonderingen en de boring lag tussen NB 51 gr. 53' en 51 gr 53' en WL 3 gr 58'en 4 graden, zie schets.

Nummer	Zeebodemdiepte	maximale diepte
DKMW1 (D)	NAP – 3,45 m	NAP – 67,5m
DKMW2 (C)	NAP – 4,61 m	NAP – 72 m
DKMW3 (A)	NAP – 1,7 m	NAP – 36 m
DKMW4 (B)	NAP – 4,05 m	NAP – 68 m
Boring	NAP – 3,5	zeebodem – 80 m

Tabel 1: Diepsonderingen en boring uit onderzoek voor PAC



Schema1: Locatie sonderingen en boring

Voor de boring is de spoelboormethode uitgevoerd, in totaal werden 34 ongeroerde monsters van 0,5 m lang gestoken, die in het laboratorium zijn onderzocht op korrelverdeling, korrelvorm, met samendrukkingsproeven en een triaxiaalproef.

2. Geologische opbouw:

De bodemsamenstelling tot NAP - 80 m kon uit de boringen en sonderingen worden vastgesteld. De stratigrafie van de lagen kan met overige gegevens als volgt worden beschreven:

Diepte	Lithologie
--------	------------

NAP -3,5 -18,1 m	Brak mariene geul- en plaatafzettingen, zand met kleilaagjes , Elbow Formatie; Holoceen
NAP -18,1 -20,5 m	Lagunaire silthoudende klei, Elbow Formatie, klei van Velsen, Holoceen
NAP -20,5 -39 m	Fluvatiel zand met enig grind, Kreftenheye Formatie, Wachelsien tot Saalien
NAP - 39 - 70 m	Fluviatische delta afzettingen zand met dunne siltlaagjes , Kedichem Formatie, Tegelen Formatie, Waalien tot Tichlien
NAP – 70 - 210 m	Mariene zanden met dunne kleilaagjes, Maassluis Formatie, Tiglien
NAP – 210 - 320 m	Mariene glaconiet houdende kleien, Oosterhout Formatie, Plioceen
NAP -320 - 500 m	Mariene Kleien en zanden, Boomse klei, Midden Oligoceen
NAP – 500 - 580 m	Mariene kleien, Boven Eoceen
NAP - 580 - 680 m	Mariene zanden, Midden Eoceen

Tabel 2: Geologische opbouw Haringvliet monding uit PAC

De bovenste laag van de Haringvlietmonding bestaat uit holocene schelphoudende brak mariene geul en plaatafzettingen tot een peil van NAP – 20 m, de Elbow formatie genoemd. Aan de basis van deze formatie ligt een silt- en zandhoudende kleilaag van ca. 2 m dik (klei van Velsen). De daaronder gelegen Kreftenheye formatie bestaat uit grof tot middel fijn zand met enkele dunne veen- en grondlaagjes. De top van deze laag ligt op NAP - 22 tot - 24 m, de basis ligt op NAP – 39 tot - 45,5 m. Daaronder ligt de bekende fluviale Kedichem formatie, die een basis heeft op NAP – 70 m en bestaat uit fijn zand met dunne laagjes silt.

3. Grondmechanische eigenschappen:

De grondmechanische eigenschappen van de bodem in de Haringvlietmonding kon tot NAP - 80 m uit de boringen en sonderingen worden vastgesteld:

Diepte	Boring en Sonderingen:
NAP -3,5 – 8 tot 10 m	Silthoudend zandpakket, plaatselijk afgewisseld met klei- en siltlagen, conusweerstand 1 tot 12 MN/m ²
NAP -8 tot 10 – 18,1 m	Vaste zandlaag, conusweerstand 12 tot 20 MN/m ²
NAP -18,1 - 20,5 m	1,5 tot 3 m dikke kleilaag, conusweerstand 1,0 tot 1,5 MN/m ²
NAP – 20,5 – 39/47 m	Vast tot zeer vast zandpakket met plaatselijk een enkel kleilaagje; conusweerstand 30 tot 40 MN/m ² en plaatselijk ook vaste zandlagen tot 60 tot 70 MN/m ²
NAP – 39/47 - 80 m	Matig vast tot vast zandpakket met veelvuldig dunne klei- en siltlagen, conusweerstand 20 tot 30 MN/m ² , plaatselijk bij siltlagen tot 8 tot 10 MN/m ²

Tabel 3: Grondmechanische opbouw Haringvliet monding

4. Geohydrologische eigenschappen:

De bovenste laag van de Haringvlietmonding bestaat uit holocene schelphoudende mariene geul- en plaatafzettingen met een dikte van ca. 2 m, de Elbow formatie. De daaronder gelegen Kreftenheye Formatie, VAN NAP – 22 tot – 24 m met de basis op NAP – 39 tot 45,5 m. Daaronder ligt de Kedichem Formatie, die een basis heeft op ca. NAP – 70 m.

Diepte Boring B3	Geohydrologische eigenschappen:
NAP -3,5 – 21,3 m	Silthoudend zandpakket met een laag doorlaatvermogen van ca. 150-180 m ² /dag
NAP -21,3 – 23,5 m	Waterscheidende 1,5 tot 3 m dikke kleilaag, hydraulische weerstand (c-waarde): 15.000- 25.000 dagen
NAP – 23,5 – 42 m	Dik zandpakket met tussenlaagjes van silt en een doorlaatvermogen van 1000-3000 m ² /dag
NAP – 42 – 46,4 m	Zand met meerdere lokale siltlagen ter plaatse van de boring en een hydraulische weerstand (c-waarde)= 3.000 – 5.000 dagen.
NAP – 46,4 - 80 m	Zandpakket met enkele dunne siltlaagjes; doorlaatvermogen 800 m ² /dag minimaal

Tabel 4: Doorlaatvermogen en hydraulische weerstand ondergrond Haringvliet monding

Er zijn doorlatendheidstesten in het laboratorium uitgevoerd op 34 gestoken ongeroerde monsters van de boring. De 2 m dikke kleilaag op NAP -22 m heeft een zeer lage doorlatendheid. De k-waarde van de sterk zandhoudende grondlagen boven en onder de kleilaag zijn ook laag en variëren van $2 \cdot 10^{-4}$ tot 10^{-5} m/s.

Diepte Boring B3	Doorlatendheid k waarde in m/s:
NAP -3,5 – 21,3 m	9 monsters, D10 van de monsters varieert van 0,085 tot 0,1 mm, k-waarde gemiddeld 17 m/dag, varieert van 7,2 tot 40 m/dag, gemiddeld ca. $2 \cdot 10^{-4}$ m/s
NAP -21,3 – 23,5 m	1 monster: 1,5 tot 3 m dikke kleilaag, 85% is kleiner dan 63 μ m.
NAP – 23,5 – 42 m	10 monsters, D10 varieert van 0,1 tot 0,33 mm, k-waarde gemiddeld 40 m/dag, varieert van 10 tot 109 m/dag, gemiddeld ca. $5 \cdot 10^{-4}$ m/s
NAP – 42 – 46,4 m	1 monster: zand met enkele dunne veen- en kleilaagjes; 14% is kleiner dan 63 μ m.
NAP – 46,4 - 80 m	12 monsters, D10 varieert van 0,1 tot 0,18 mm, k-waarde gemiddeld 15 m/dag, varieert van 8 tot 32 m/dag, gemiddeld ca. $1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s

Tabel 5: K-waarden 34 monsters boring in de Haringvliet monding

De k-waarden in de zandlaag boven de 2 m dikke kleilaag op NAP -21,5 is $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, andere bronnen (Maasvlakte 2) noemen ook wel k-waarden van $5 \cdot 10^{-5}$. De zandlaag tussen NAP -20 m en NAP -80 m heeft een k-waarde tussen $(1 \text{ en } 5) \cdot 10^{-4}$ m/s, andere bronnen (Maasvlakte 2) schatten de waarde op waarden tussen 10^{-4} en 10^{-5} m/s.

Er zijn ook bronnen (Maasvlakte 2) die spreken van een watervoerende bovenlaag tot NAP -22 m met een k-waarde van 4 m/dag, daaronder een waterscheidende laag van NAP-22 m tot NAP -24 m, met een c van 2000 dagen. De tweede watervoerende laag loopt van NAP-24 m tot NAP -80m, die bestaat uit 2 delen, één tot NAP -45 m met een k-waarde van 8 m/dag en een laag daaronder tot NAP -80 m met een k-waarde van ca. 1 m/dag. Er is daar ook een tweede waterscheidende laag gemeten van NAP-80 m tot NAP -84 met een c waarde van 4000 dagen. Daaronder zit weer een watervoerende laag met een k-waarde van minder dan 1 m/dag. De watervoerende pakketten hebben een doorlatendheid die hoort bij fijn zand. De waterscheidende kleilaag rond NAP -20 m - 25 m is uiteraard slecht doorlatend.

NAP: 0 m		Beschrijving	Conusweerstand	Formatie
-1				
-2				
-3		zeebodem NAP - 3,5 m		
-4				
-5				
-6		Brak mariene geul en plaatafzettingen, silthoudend zand met dunne kleilaagjes	1-12 MN/m ² , k= 17 m/dag	Elbow formatie, holoceen
-7				
-8				
-9				
-10				
-11				
-12				
-13				
-14		Vaste zandlaag	12 tot 20 MN/m ² , k-waarde 7/40 m/dag	Elbow formatie, holoceen
-15				
-16				
-17				
-18				
-19				
-20		1,5-3 m dikke kleilaag	1-1,5 MN/m ² , 85% < 63u	Kreftenheye Form.
-21				
-22				
-23		Fluvatiel zand vast tot zeer vast zand met enig grind	30-40 MN/m ² , plaatselijk 60-70 MN/m ² , k-waarde 10-100 m/dag	Kreftenheye Formatie, Wachelsien tot Saalien
-24				

- 25			
- 26			
- 27			
- 28			
- 29			
- 30			
- 31			
- 32			
- 33			
- 34			
- 35			
- 36			
- 37			
- 38			
- 39			
- 40			
- 41			
- 42			
- 43		8-10 MN/m ² , 14% < 63 um	Kedichem Formatie, Tegelen Formatie, Waalien tot Tichlien
- 44	Zand met plaatselijk dunne veen- en kleilaagjes		
- 45			
- 46			
- 47			
- 48			
- 49	Fluviatische delta afzettingen zand met dunne siltlaagjes met een vast tot vast		Kedichem Formatie, Tegelen

-		zandpakket met veelvuldig dunne klei- en siltlagen		Formatie, Waalien tot Tichlien
50				
-				
51				
-				
52				
-				
53				
-				
54				
-				
55				
-				
56				
-				
57				
-				
58				
-				
59				
-				
60				
-				
61				
-				
62				
-				
63				
-				
64				
-				
65				
-				
66				
-				
67				
-				
68				
-				
69				
-				
70				
-				
71				
-				
72				
-				
73				
-				
74				
-				
75				

**20 tot 30 MN/m²,
plaatselijk bij
siltlagen tot 8 tot
10 MN/m², k-
waarde 8-32
m/dag**

- 76			
- 77			
- 78			
- 79			
- 80			
- 81	Tot -210 m	Mariene zanden met dunne kleilaagjes	Maassluis Formatie, Tiglien

Schema: Grondmechanische waarden

5. Discussie over enkele grondmechanische eigenschappen

5.1 Stabiliteit van de hellingen

Voor de hellingen van het Energieopslagmeer is 1:20 aangehouden. Door Steve van Adrichem, afstudeerder van TUDelft is onderzoek gedaan naar de stabiliteit van de hellingen. Uit dat onderzoek bleek dat een helling tot 1:10 in principe mogelijk lijkt, zonder dat deze instabiel wordt door uittredend water. Voorlopig gaan wij uit van een conservatieve aanname van een helling van 1:20. De kleibodem ter plaatse van het Energieopslagmeer zal verwijderd worden.

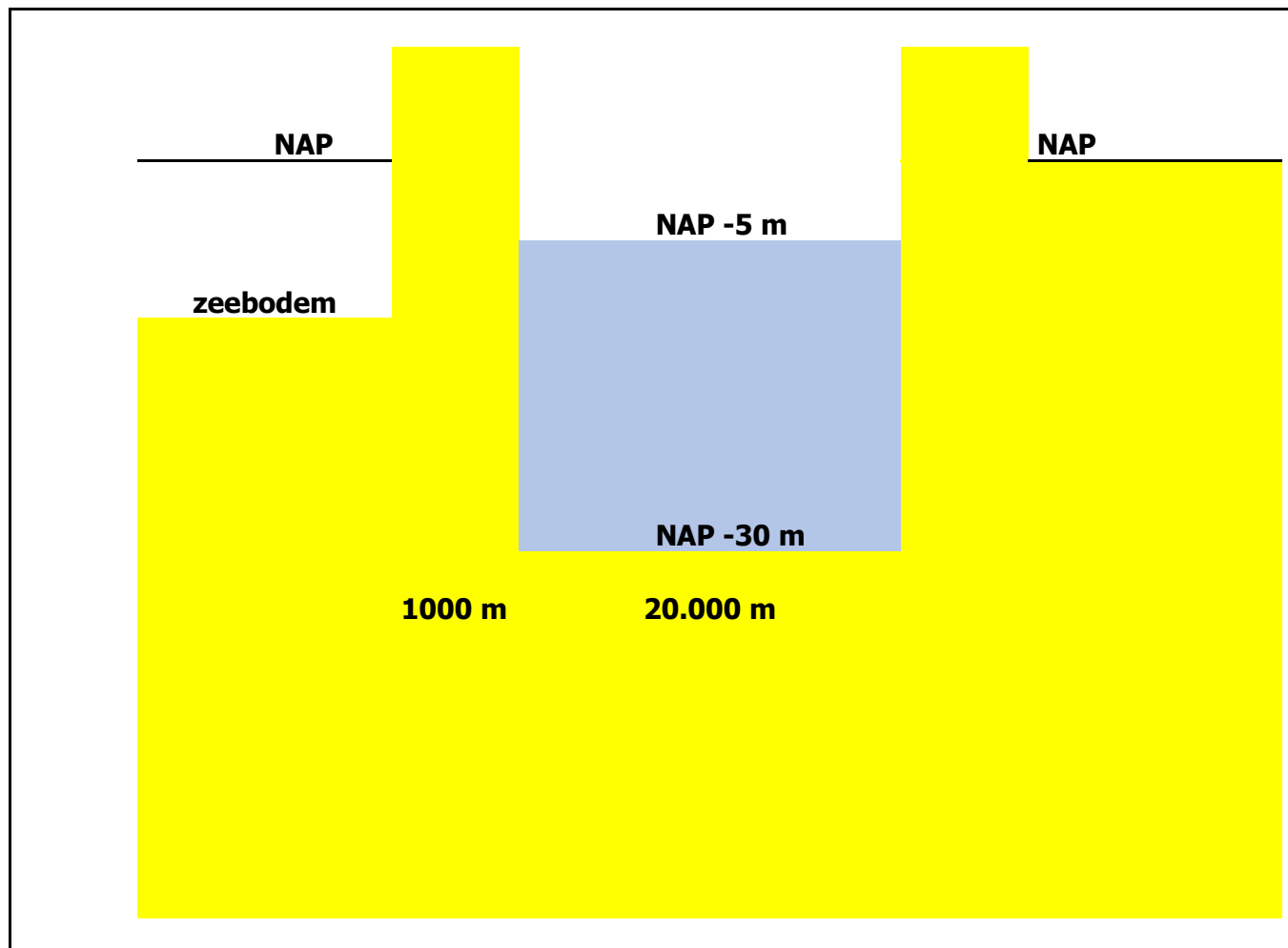
5.2 Bodeminstabiliteit

Er is in alle aannames en berekeningen uitgegaan van een laagste bodempeil van het Energieopslagmeer van NAP -30 m. In ieder geval is het belangrijk dat de kleilaag op een diepte van NAP – 20 m van ca. 2 dik ter plaatse van het Energieopslagmeer wordt verwijderd en wellicht gebruikt in het hart van de duinen. Onder dit peil van de bodem van het Energieopslagmeer bevindt zich een zandpakket met tussenlaagjes van silt en een doorlaatvermogen van 1000-3000 m²/dag. Uit de getrokken monsters en de laboratorium proeven blijkt een k-waarde gemiddeld 40 m/dag, die varieert van 10 tot 109 m/dag, gemiddeld ca. $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Boven de bodem varieert de waterlaag van minimaal 5 m en maximaal 25 m, de waterschijf bedraagt dus ca. 20 m. De snelheid waarmee dit peil van het ene naar het andere extreem varieert is minimaal 12 uur, oftewel maximaal 1,7 m per uur. Mònica Relats Martinez, eveneens student op de TUDelft onderzoekt de stabiliteit van de bodem als gevolg van een mogelijk opbarsten en de eventuele maatregelen die genomen zouden moeten worden om een eventueel opbarsten te voorkomen. Zij is uitgegaan van de meest ongunstige aanname dat er ook beneden ca. NAP – 50 m een ca. 10 m dikke kleilaag aanwezig is, die elders in het Maasvlakte gebied is waargenomen op sonderingen. Zij komt tot de conclusie dat een bodempeil tot NAP -25 m geen probleem zou moeten zijn, als deze

kleilaag ook op de plaats van het Energieopslagmeer aanwezig zou zijn. Op de eerder beschreven en recent gevonden sonderingen en de boring van FUGRO in het mondingsgebied blijkt echter niets van een dergelijke kleilaag. Wel lijkt de bodem op die diepte enkele dunne siltlaagjes te bevatten, waardoor de totale doorlatendheid van de bodem op dat niveau gering is. Een kans op bodeminstabiliteit blijkt voornamelijk zeer gering.

5.3 Kwel door de bodem en de hellingen

Het waterpeil in het Energieopslagmeer varieert van NAP -5 m tot NAP - 25 m. Kwel van zeewater via de ondergrond naar het Energieopslagmeer zal daarom zeker plaatsvinden. Vaak gestelde vragen zijn wat de mate van de kwel is en tot op welke afstand de toestroom van water merkbaar zou zijn en of dat eventueel een ongunstig effect zou kunnen hebben op de grondwaterspiegel aldaar. De k-waarde van de kleilaag op ca. NAP - 20 m is niet bekend, in de zandlagen varieert deze van 5 tot 100 m/dag. De horizontale breedte van de duinen tot de zeebodem bedraagt aan de zeezijde minimaal 2000 m en aan de landzijde minimaal 8000 m, gemiddeld ca. 5000 m. Voor de k-waarde wordt aangehouden: 100 m/dag. Voor de totale diepte van het watervoerend pakket wordt aangehouden: 40 m. Voor de totale omtrek is aangehouden 60 km. Een hele ruwe schatting van de kwelverliezen volgt uit het volgende sommetje: Het totale debiet bij een permanent maximaal verval van 15 m in het Energieopslagmeer bedraagt: $Q = k * dh/dx * A = 100 * 15 / 5000 * 60.000 * 40 = 720.000$ m³/dag. Gezien het maximaal debiet van de pompen van 10.000 m³/s is dat ongeveer het debiet dat gedurende ca. 1 minuut wordt verpompt, een geringe hoeveelheid dus.



Schema: Kwelafstanden rond het Energieopslagmeer

Verwacht mag ook worden dat de horizontale invloed van de kwel zich beperkt tot enkele kilometers. Er wordt nog een student gezocht die deze kwel berekeningen nog verder modelmatig zal verifiëren.